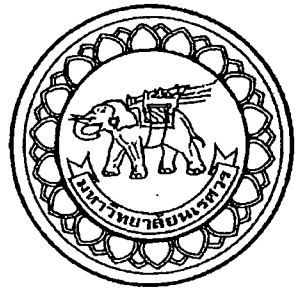


อภิธานวิชาการ



สำนักหอสมุด



การใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา
การกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ
A MATHEMATICAL PROGRAMMING MODEL FOR THE QUAY CRANE
ASSIGNMENT PROBLEM



สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน..... 14 ส.ย. 2554.....
เลขทะเบียน..... 5503024.....
เลขเรียกหนังสือ..... 7 D.....

195
.1-87
ก657
2553

นายกิตติศักดิ์ สันตติภัก รหัส 50380058
นางสาวคณิตา นวมขำ รหัส 50381895

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2553



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการ
 กำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ

ผู้ดำเนินโครงการ นายกิตติศักดิ์ สันตติภัก รหัส 50380058
 นางสาวคณิตา นวมขำ รหัส 50381895

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ขวัญนิตี คำเมือง

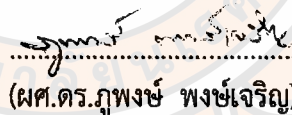
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

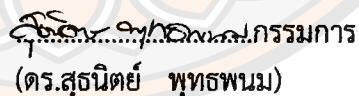
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

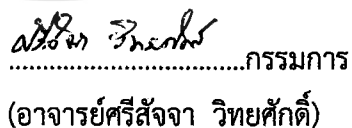
ปีการศึกษา 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.ขวัญนิตี คำเมือง)


.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.อุพงษ์ พงษ์เจริญ)


.....กรรมการ
(ดร.สุนิตย์ พุทธพนม)


.....กรรมการ
(อาจารย์ศรีสังจา วิทยศักดิ์)

| | | | |
|-------------------|---|-----------|---------------|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | การใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ | | |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายกิตติศักดิ์ | สันตติภัก | รหัส 50380058 |
| | นางสาวคณิตา | นวมขำ | รหัส 50381895 |
| ที่ปรึกษาโครงการ | ดร.ขวัญนิธิ | คำเมือง | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหกรรม | | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมอุตสาหกรรม | | |
| ปีการศึกษา | 2553 | | |

บทคัดย่อ

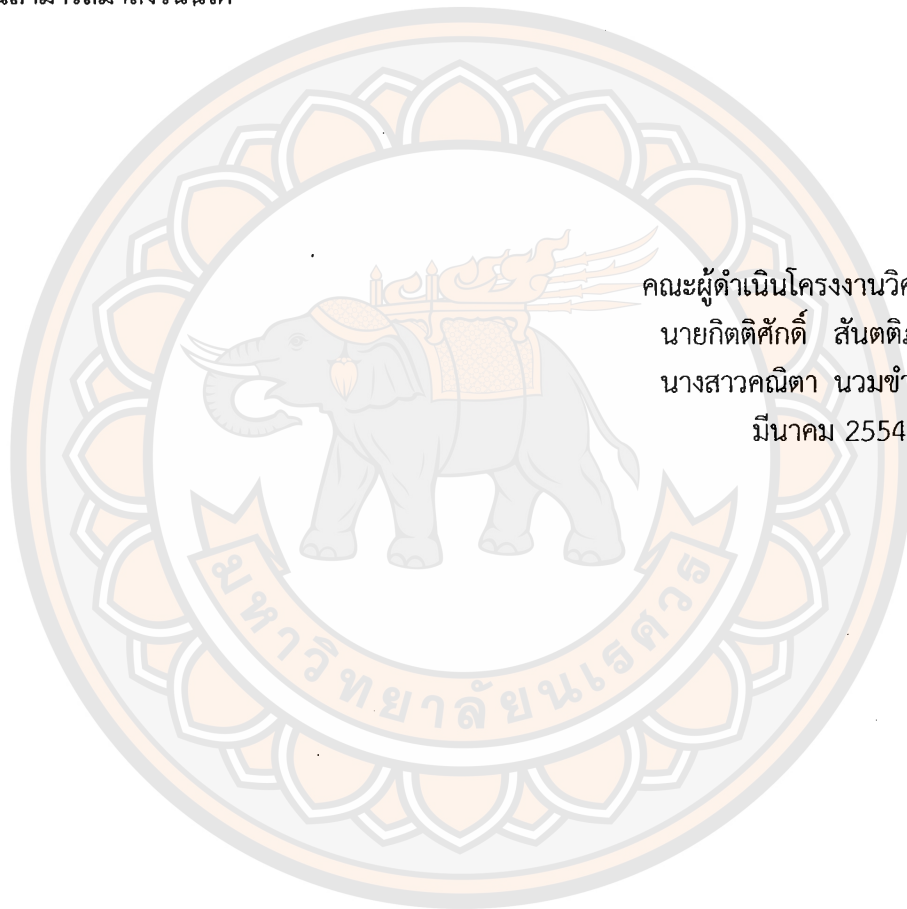
อุตสาหกรรมท่าเรือมีความสำคัญมากต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ฉะนั้นในด้านการขนส่งสินค้าโดยใช้เรือบรรทุกคอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้า จึงจำเป็นต้องอาศัยเครนเพื่อช่วยในการขนย้ายคอนเทนเนอร์บนเรือ ซึ่งความต้องการเครนบนเรือแต่ละลำนั้นจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับว่าขนาดของเรือหรือระยะเวลาในการเทียบท่า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดการทำงานของเครนให้กับเรือที่เข้ามาเทียบท่า โครงการนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อช่วยแก้ปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ ประกอบไปด้วยทั้งหมด 4 แบบจำลอง เพื่อรองรับกับสถานะความเป็นจริง ซึ่งแต่ละแบบจำลองจะพิจารณาวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไปและเพื่อหาระยะการเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุดในการทำงาน อาทิเช่นพิจารณาโดยกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของเครน และพิจารณาที่ความต้องการของเครน ณ เวลาใดๆ ในเรือ 1 ลำ มีความต้องการจำนวนเครนไม่เท่ากัน เป็นต้น เพื่อหาระยะการเคลื่อนที่ของเครนที่น้อยที่สุดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วย ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาที่ง่ายต่อการเข้าใจและใช้งานได้ง่าย และสามารถหาผลลัพธ์ได้จริงเกือบทุกขนาดปัญหา โดยผู้ที่สนใจสามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้กับธุรกิจ และอุตสาหกรรมของตนเองให้ประสบผลสำเร็จได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ตลอดจนผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาชี้แนะข้อเสนอแนะ แนวทางแก้ไขปัญหา เพื่อให้การทำโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณ

ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้พร้อมคำแนะนำที่ดีและ เอื้อเพื่อเอกสารต่างๆ เพื่อใช้ประกอบในการทำโครงการนี้

คณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และขอขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่คอยให้กำลังใจ และคำสั่งสอนที่ดี จนสามารถมาถึงวันนี้ได้



คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม
นายกิตติศักดิ์ สันตติภัก
นางสาวคณิตา นวมขำ
มีนาคม 2554

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| ใบรับรองปริญญาโท..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูป..... | ช |
| สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ..... | ญ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... | 1 |
| 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน..... | 1 |
| 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ..... | 2 |
| 1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงการ..... | 2 |
| 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ..... | 2 |
| 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ..... | 2 |
| 1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ..... | 2 |
| 1.9 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ..... | 3 |
| | |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี..... | 4 |
| 2.1 การกำหนดการทำงานของโครง..... | 5 |
| 2.2 การวิจัยดำเนินงาน..... | 6 |
| 2.3 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์..... | 10 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 10 |
| | |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ..... | 16 |
| 3.1 ปัญหาการกำหนดการทำงานของโครง..... | 16 |
| 3.2 ตัวอย่างปัญหาการกำหนดการทำงานของโครง..... | 16 |
| 3.3 ศึกษาการสร้างแบบจำลองและโปรแกรมสำเร็จรูป..... | 25 |
| 3.4 สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์..... | 25 |
| 3.5 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์..... | 27 |
| 3.6 เขียนแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป..... | 27 |
| 3.7 ทดลองแบบจำลองเพื่อหาคำตอบบนคอมพิวเตอร์..... | 27 |
| 3.8 สรุปผลและนำเสนอ..... | 27 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์..... | 28 |
| 4.1 แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ 4 แบบจำลอง..... | 28 |
| 4.2 ศึกษาปัญหาที่พบของการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ..... | 28 |
| 4.3 ศึกษาการสร้างแบบจำลองและโปรแกรมสำเร็จรูป..... | 29 |
| 4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... | 29 |
| | |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 52 |
| 5.1 บทสรุป..... | 52 |
| 5.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคำนวณหาค่าตอบที่ดีที่สุด..... | 52 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 53 |
| | |
| เอกสารอ้างอิง..... | 54 |
| | |
| ภาคผนวก ก..... | 55 |
| | |
| ประวัติผู้ดำเนินโครงการ..... | 130 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานวิจัย (Gantt Chart)..... | 2 |
| 3.1 ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 1..... | 17 |
| 3.2 ตารางแสดงตำแหน่งครนบนท่าเรือในแบบจำลองที่ 1..... | 18 |
| 3.3 ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 2..... | 19 |
| 3.4 ตารางแสดงตำแหน่งครนบนท่าเรือในแบบจำลองที่ 2..... | 20 |
| 3.5 ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 3..... | 21 |
| 3.6 ตารางแสดงตำแหน่งครนบนท่าเรือในแบบจำลองที่ 3..... | 22 |
| 3.7 ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 4..... | 23 |
| 3.8 ตารางแสดงตำแหน่งครนบนท่าเรือในแบบจำลองที่ 4..... | 24 |
| 4.1 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก..... | 32 |
| 4.2 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง..... | 33 |
| 4.3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่..... | 33 |
| 4.4 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก..... | 37 |
| 4.5 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง..... | 37 |
| 4.6 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่..... | 38 |
| 4.7 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก..... | 41 |
| 4.8 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง..... | 42 |
| 4.9 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่..... | 43 |
| 4.10 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก..... | 46 |
| 4.11 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง..... | 47 |
| 4.12 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่..... | 48 |
| 4.13 แสดงผลลัพธ์ของแต่ละโจทย์ปัญหาทั้งสามขนาดและของแต่ละแบบจำลอง..... | 50 |
| 4.14 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบของแต่ละโจทย์ปัญหาและของแต่ละแบบจำลอง..... | 51 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แสดงความสัมพันธ์ในระบบการดำเนินงานท่าเรือ..... | 4 |
| 2.2 แสดงแผนการเทียบท่าของท่าเรือ..... | 5 |
| 2.3 แสดงกระบวนการวิจัยดำเนินงาน..... | 8 |
| 3.1 แสดงตัวอย่างการเข้าเทียบท่าของเรือแบบจำลองที่ 1..... | 17 |
| 3.2 แสดงตัวอย่างการเข้าเทียบท่าของเรือแบบจำลองที่ 2..... | 19 |
| 3.3 แสดงตัวอย่างการเข้าเทียบท่าของเรือแบบจำลองที่ 3..... | 21 |
| 3.4 แสดงตัวอย่างการเข้าเทียบท่าของเรือแบบจำลองที่ 4..... | 23 |
| 4.1 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 1..... | 34 |
| 4.2 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 2..... | 39 |
| 4.3 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 3..... | 44 |
| 4.4 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 4..... | 49 |
| ก.1 แสดงคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป..... | 56 |
| ก.2 แสดงเวลาในการคำนวณหาคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป..... | 56 |
| ก.3 แสดงผลลัพธ์ที่ปรากฏ Out of memory จากโปรแกรมสำเร็จรูป..... | 56 |
| ก.4 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-S1)..... | 57 |
| ก.5 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (1-S2)..... | 57 |
| ก.6 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (1-S3)..... | 58 |
| ก.7 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (1-S4)..... | 58 |
| ก.8 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (1-S5)..... | 58 |
| ก.9 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-M1)..... | 59 |
| ก.10 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (1-M2)..... | 60 |
| ก.11 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (1-M3)..... | 61 |
| ก.12 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (1-M4)..... | 61 |
| ก.13 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (1-M5)..... | 62 |
| ก.14 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-L1)..... | 63 |
| ก.15 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (1-L2)..... | 64 |
| ก.16 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (1-L3)..... | 66 |
| ก.17 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (1-L4)..... | 68 |
| ก.18 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (1-L5)..... | 71 |
| ก.19 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (2-S1)..... | 74 |
| ก.20 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (2-S2)..... | 74 |
| ก.21 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (2-S3)..... | 75 |
| ก.22 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (2-S4)..... | 75 |
| ก.23 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (2-S5)..... | 75 |
| ก.24 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (2-M1)..... | 76 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| ก.59 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (4-L1)..... | 119 |
| ก.60 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (4-L2)..... | 120 |
| ก.61 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (4-L3)..... | 122 |
| ก.62 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (4-L4)..... | 124 |
| ก.63 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (4-L5)..... | 127 |



สารบัญญัตินัยลักษณะและอักษรย่อ

- แสดงขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่า ในช่วงเวลาที่เท่าไร และระยะเวลาในการเทียบท่า
- แสดงตำแหน่งความต้องการครนบนเรือ



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การขนส่งสินค้าทางน้ำ นับว่าเป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการขนส่งสินค้าภายในประเทศและระหว่างประเทศและท่าเรือนั้นก็มีความสำคัญในด้านการเป็นสถานที่จัดส่งสินค้าต่างๆ เช่น สินค้าแปรรูปทางการเกษตร สินค้าเทกองและสินค้าอื่นๆ ที่ใช้ในการขนส่งทางน้ำ ปัจจุบันการขนส่งทางทะเลจัดเป็นการขนส่งที่มีความสำคัญที่สุดและนิยมมากที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบการขนส่งอื่นๆ เนื่องจากมีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำและสามารถขนส่งสินค้าได้คราวละมากๆ และได้รับการยอมรับว่ามีความปลอดภัย มีมลภาวะน้อย มีการขนส่งภายในประเทศร้อยละ 0.6 และขนส่งระหว่างประเทศ ร้อยละ 2.7 ซึ่งการขนส่งทางทะเลคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 90 ของการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ สำหรับไทยก็ใช้การขนส่งทางทะเลคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 90-96 แต่กองเรือไทยยังมีสัดส่วนน้อย (ประมาณร้อยละ 10) และบริษัทเรือในประเทศส่วนใหญ่ (ร้อยละ 90-96) ก็เป็นเจ้าของโดยคนต่างชาติ รูปแบบการขนส่งทางทะเลในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการขนส่งด้วยระบบตู้คอนเทนเนอร์ (Container Box) โดยสินค้าที่จะขนส่งจะต้องมีการนำมาบรรจุตู้ และมีการขนย้ายตู้ขึ้นไว้บนเรือ ซึ่งออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้ในการขนส่งสินค้าด้วยตู้คอนเทนเนอร์ การขนส่งสินค้าด้วยระบบตู้คอนเทนเนอร์ ได้รับการยอมรับเป็นรูปแบบการขนส่งมาตรฐาน โดยคิดเป็นสัดส่วนประมาณถึง 95% ของการขนส่งสินค้าทางทะเล โดยผู้ประกอบการขนส่งด้วยระบบตู้คอนเทนเนอร์ จะมีเพียงไม่มากมายเมื่อเทียบกับปริมาณของการขนส่ง ซึ่งลักษณะของตู้คอนเทนเนอร์จะทำด้วยเหล็กหรืออลูมิเนียม มีขนาดมาตรฐาน 20 ฟุต และ 40 ฟุต มีขนาดใหญ่มาก ส่งผลให้มีความลำบากในการขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์บนเรือ สถานประกอบการต่างๆ จึงนำเครนเข้ามาใช้ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการขนย้าย แต่ในการขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์โดยใช้เครนก็ยังพบปัญหาอีกมากมาย เพราะเรือแต่ละลำนั้นมีขนาดที่ต่างกัน บรรจุจำนวนตู้คอนเทนเนอร์มากน้อยต่างกันและระยะเวลาในการมาถึงของเรือแต่ละลำนั้นก็ต่างกัน นอกจากนี้อุตสาหกรรมท่าเรือก็มีจำนวนเครนจำกัด อาจจะไม่พอต่อการขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์จึงส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆ ในการทำงานของเครนบนเรือแต่ละลำ

ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming Model) ขึ้นมาเพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้แก้ปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์และโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้หาผลลัพธ์ของแบบจำลอง

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

แบบจำลองนี้สามารถนำไปช่วยกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือได้

1.5 ขอบเขตการทำโครงการ

1.5.1 ศึกษาเฉพาะการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด ซึ่งเราจะพิจารณาแต่ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครน

1.5.2 ลักษณะของปัญหาที่จะหาคำตอบเป็นไปตามข้อสมมติฐานเบื้องต้น ซึ่งได้ระบุไว้หน้า 16 ในส่วนของบทที่ 3

1.5.3 ลักษณะของปัญหามี 3 ขนาด คือปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่

ปัญหาขนาดเล็ก มีเรือ 10-12 ลำ มีเครน 9 ตัว

ปัญหาขนาดกลาง มีเรือ 20-30 ลำ มีเครน 9-10 ตัว

ปัญหาขนาดใหญ่ มีเรือ 40-100 ลำ มีเครน 15 ตัว

1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

กรกฎาคม 2553 - กุมภาพันธ์ 2554

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานวิจัย (Gantt Chart)

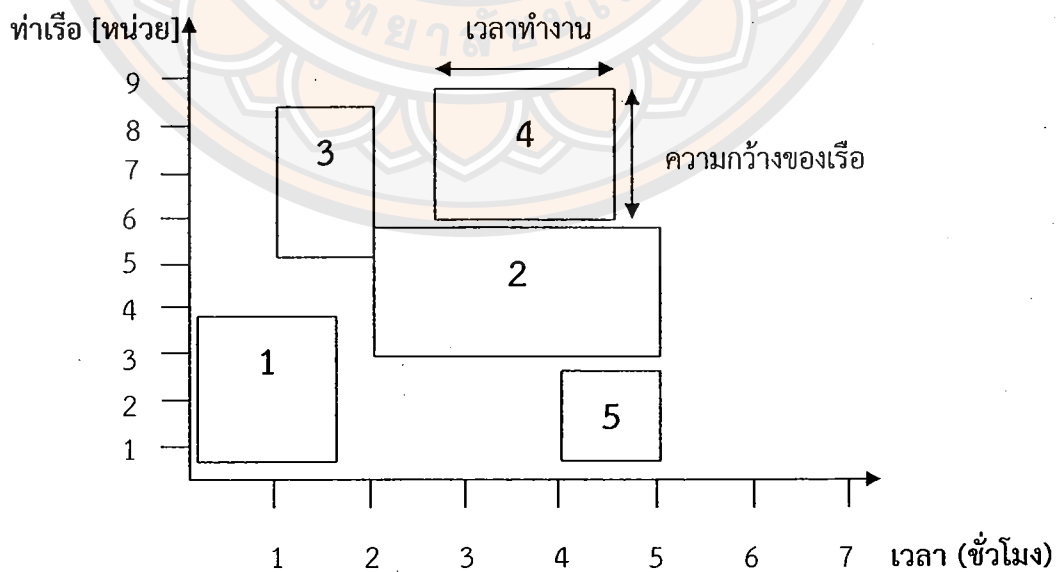
| ลำดับ | การดำเนินงาน | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|--|--|--|
| | | ก.ค | ส.ค | ก.ย | ต.ค | พ.ย | ธ.ค | ม.ค | ก.พ | | | | | | |
| 1 | ศึกษาปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 2 | ศึกษาทฤษฎี การสร้างแบบจำลองและโปรแกรมสำเร็จรูป | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 3 | สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 4 | ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| 5 | เขียนแบบจำลองลงบนคอมพิวเตอร์ | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | |

2.1 การกำหนดการทำงานของเครน (Quay Crane Assignment Problem: QCAP)

ปัญหาจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือ (Berth Allocation Problem: BAP) จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน (Quay Crane Assignment Problem: QCAP) โดยงานวิจัยส่วนใหญ่มักรวมปัญหาทั้งสองนี้ไว้ในปัญหาจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือเป็นปัญหาเดียวกันซึ่งจัดได้ว่าเป็นปัญหาที่ยาก และใช้เวลานานเมื่อต้องแก้ด้วยแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ เมื่อทำการศึกษาปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน จากงานวิจัยบางงาน การตั้งเฉพาะปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน มาศึกษาจะสามารถหาคำตอบด้วยวิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่า โดยการศึกษาปัญหานี้ จะศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเครนในการทำงานบนเรือที่ได้เข้ามาเทียบท่า

โดยการทำงานของเครนจะทำงานตามความต้องการของเรือ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเรือนั้นด้วย เรือขนาดใหญ่ย่อมต้องการเครนทำงานมาก โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของเครนจะเคลื่อนที่ในแนวราบ บนเส้นทางตลอดแนวท่าเรือ ซึ่งเครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามเครนอีกตัวได้ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่ง ซึ่งระยะเวลาทำงานของเครนในเรือแต่ละลำ ขึ้นอยู่กับปัจจัยของสินค้าที่ต้องทำการขนส่ง (สมมติฐานว่าประสิทธิภาพในการทำงานของเครนทุกตัวเท่ากันหมด) ซึ่งการเทียบท่าของเรือนั้นจะเข้ามาตามกำหนดการการจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือ โดยการคำนวณหาการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุดของเครนนั้น จะพิจารณาจากตำแหน่งเดิมของเครนตั้งแต่เริ่มต้น หรือเมื่อเรือลำแรกเข้าเทียบท่าเรือ ตลอดจนเรือลำสุดท้ายของการเทียบท่าของเรือได้ออกจากท่าเรือ โดยผลรวมของการเคลื่อนที่ของเครนทุกตัวของระบบใน 1 วัน ที่มีค่าน้อยที่สุดคือผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยการใช้วิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด

แผนท่าเรือถือเป็นปัจจัยนำเข้าหลักในการกำหนดการทำงานของเครนซึ่งจะแสดงลำดับการมาถึงของเรือแต่ละลำ ความยาวของเรือที่เทียบท่า ระยะเวลาในการดำเนินงาน ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแผนการเทียบท่าของท่าเรือ

ที่มา: Zhi-Hua Hu (2010)

2.2 การวิจัยดำเนินงาน

การวิจัยดำเนินงาน (Operations research) เป็นการใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ สถิติ และ อัลกอริทึมช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการปฏิบัติงานในระบบองค์กรต่างๆ ว่าควรจะทำเนิกรอย่างไร แก้ปัญหาการร่วมมือกันระหว่างองค์กรและปัญหาของงานต่างๆ ในองค์กรอย่างไร โดยปกติจะใช้การวิจัยดำเนินงานในการวิเคราะห์ระบบที่มีอยู่ในโลกจริงที่มีความซับซ้อน โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด การวิจัยดำเนินงานถือเป็นสาขาย่อยของคณิตศาสตร์ประยุกต์

2.2.1 ลักษณะสำคัญของทางการวิจัยการดำเนินงาน (The Essential Characteristics of OR)

- 2.2.1.1 ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์มาช่วยในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ
- 2.2.1.2 เป็นการศึกษาพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของระบบที่ซับซ้อน
- 2.2.1.3 ใช้เป็นวิธีการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของระบบที่ซับซ้อน
- 2.2.1.4 ใช้เป็นพื้นฐานช่วยในการตัดสินใจ
- 2.2.1.5 ใช้ทีมงานของผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาการต่างๆ เช่น คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเศรษฐศาสตร์
- 2.2.1.6 มีการสร้างตัวแบบแทนระบบที่ต้องการศึกษาและวิเคราะห์ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด
- 2.2.1.7 เป็นการพบปัญหาใหม่หลังจากที่ได้แก้ไขปัญหานึงๆ ไปแล้ว

2.2.2 หลักการวิจัยดำเนินงาน

- 2.2.2.1 มีลักษณะเป็น RESEARCH ON OPERATIONS คือเป็นการศึกษาและวิจัยขั้นตอนในการดำเนินงานและการประสานงาน เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการดำเนินหรือกิจการภายในองค์กร อุตสาหกรรม หรือขอบเขตหนึ่งๆ
- 2.2.2.2 มีลักษณะพิจารณาปัญหาของระบบองค์กรเป็นส่วนรวม (CONSIDER AN ORGANIZATION AS A WHOLE) คือความเข้าใจในสถานการณ์และหน้าที่ของโครงสร้างของส่วนต่างๆภายในระบบ (SUBSYSTEM) ที่มีความเกี่ยวพันกันในการรวมตัวกันเข้าเป็นระบบที่ซับซ้อนและแก้ปัญหาให้มีผลดีต่อส่วนรวมเป็นหลัก
- 2.2.2.3 เป็น INTERDISCIPLINARY TEAM EFFORT คือการดำเนินงานโดยทีมงานของผู้ชำนาญงานในด้านต่างๆ เช่น วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ ฯลฯ
- 2.2.2.4 เพื่อให้ได้ OPTIMAL DECISION MAKING คือให้ผลลัพธ์หรือแนวทางการแก้ปัญหาของระบบที่ซับซ้อนได้เหมาะสมที่สุด เพื่อช่วยในการตัดสินใจ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2.2.2.5 เป็นการใช้ APPLICATION OF SCIENTIFIC METHOD คือการใช้หลักเกณฑ์อย่างมีขั้นตอนในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ
- 2.2.2.6 มีลักษณะแบบ QUANTITATIVE MODEL CONSTRUCTION AND ANALYSIS คือการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์แทนระบบที่ต้องการศึกษาและดำเนินการวิเคราะห์โดยเทคนิคที่มีอยู่ สรรหาแนวทางหรือผลลัพธ์ต่างๆซึ่งทำให้สามารถได้คำตอบเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด
- 2.2.2.7 เป็นการ IDENTIFICATION OF FURTHER RESEARCH NEEDS คือ การพบปัญหาใหม่หลังจากที่ได้แก้ไขปัญหานึงๆ ไปแล้ว

2.2.3 ขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย

2.2.3.1 การจัดตั้งปัญหา (Formulating the Problem)

ปัญหาที่เกิดขึ้นย่อมมีความซับซ้อน การกำหนดปัญหาให้ตรงกับเป้าหมายจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะหาผลลัพธ์แล้วนำไปปฏิบัติจริงได้ การจัดตั้งปัญหามีหลักพอสังเขปดังนี้

- ก. ศึกษาความสัมพันธ์เกี่ยวข้อง
- ข. กำหนดปัญหาที่พิจารณาให้ชัดเจน
- ค. กำหนดจุดประสงค์ และวิธีการวัดผลการดำเนินงาน
- ง. กำหนดขอบเขตและสมมติฐานของปัญหา
- จ. กำหนดแนวทางดำเนินงานที่เป็นไปได้ในการการแก้ปัญหา
- ฉ. กำหนดช่วงเวลาในการแก้ปัญหา

2.2.3.2 การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Constructing a Mathematical Model)

เมื่อกำหนดและเข้าใจปัญหาอย่างถูกต้องในทางการวิจัยดำเนินงานนิยมสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับแทนระบบของปัญหา โดยมีสมการต่างๆ แสดงความสัมพันธ์ที่มีโครงสร้างดังนี้

- ก. สมการหรือฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)
- ข. ตัวแปรที่ควบคุม (Decision Variable) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
- ค. มีขอบเขต (Constraints)

2.2.3.3 การหาผลลัพธ์ของปัญหา (Deriving a Solution)

หลักการของการวิจัยดำเนินงาน เป็นการหาผลลัพธ์ที่ได้ผลดีเหมาะสมที่สุดภายใต้ เงื่อนไขที่กำหนด ไม่ได้หมายความว่า จะสามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมาปฏิบัติงานได้

2.2.3.4 การทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ และผลลัพธ์ (Testing the Model and Solution)

การใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องมีการทดสอบ เนื่องจากความบกพร่องในการละเว้นองค์ประกอบบางส่วนที่สำคัญบางส่วนจะทำให้การหาผลลัพธ์ที่ได้นั้นเป็นไปได้ อาจจะใช้การทดสอบโดยตั้งรูปแบบทางคณิตศาสตร์ใหม่เปรียบเทียบกับชุดเดิม

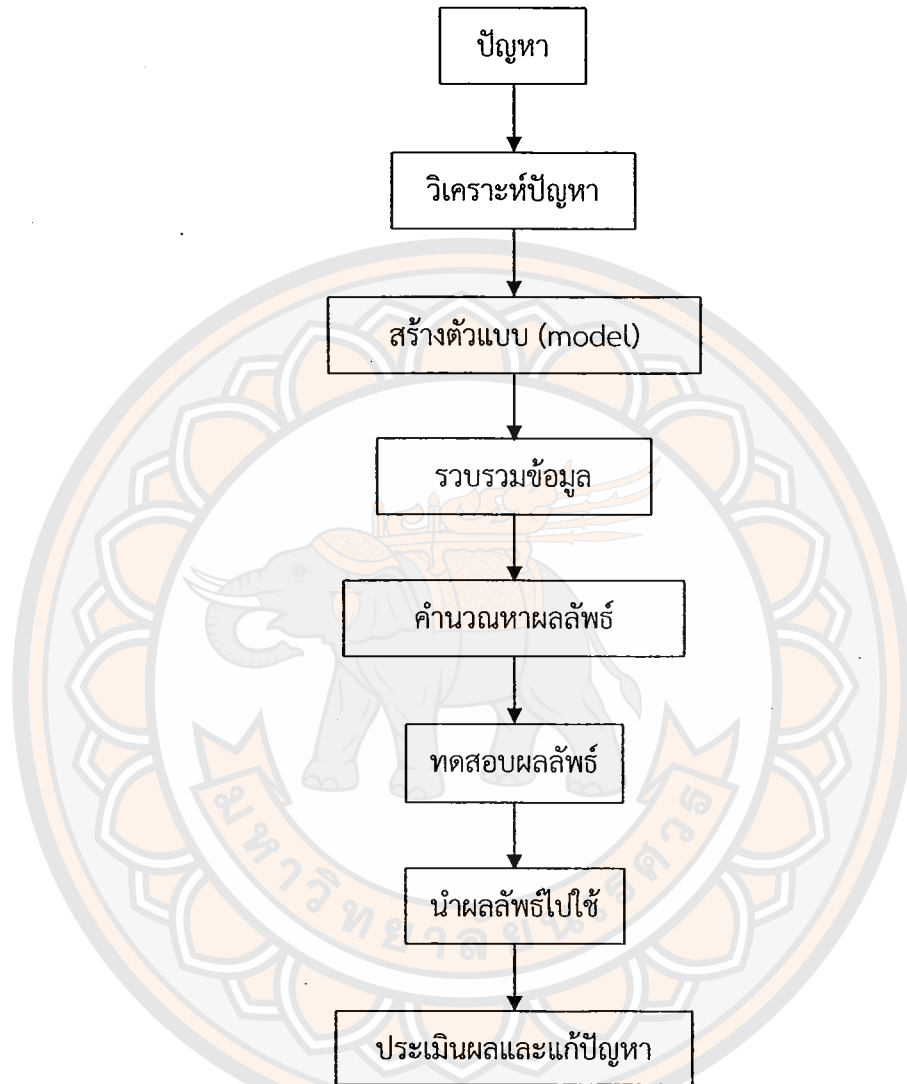
2.2.3.5 การตั้งข้อบ่งชี้แทนการควบคุมผลลัพธ์ (Establishing Control over the Solution)

ควรมีการควบคุมขอบเขตของการได้รับผลลัพธ์ในการจำกัดสภาพแวดล้อมของปัญหา

2.2.3.6 การนำผลลัพธ์ไปใช้งาน (Implementation)

ผลลัพธ์จากการวิจัยดำเนินงาน ต้องสามารถชี้แจงให้ผู้บริหารเข้าใจถึงการดัดแปลงผลที่ได้และวิธีการนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ โดยที่ผลการวิจัยดำเนินงานและฝ่ายบริหารต้องร่วมมือในการพัฒนาวิธีการเพื่อนำหลักการของผลลัพธ์นั้นๆ ออกใช้งานและต้องมีการประเมินผลและติดตามข้อบกพร่องเพื่อแก้ไขทันตามความต้องการ

การวิจัยดำเนินงานถือได้ว่าเป็นเครื่องมือทางการจัดการที่ช่วยผู้บริหารในการตัดสินใจ วางแผน ควบคุม และแก้ปัญหาต่างๆ ได้อย่างมีหลักเกณฑ์ สร้างความมั่นใจในการตัดสินใจ และเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหาได้มากขึ้น ซึ่งกระบวนการจะสอดคล้องกับแผนภาพที่แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการวิจัยดำเนินงาน
ที่มา: สุทธิมา ชำนาญเวช (2552)

จากการศึกษาพบว่า การแก้ปัญหาในการวิจัยดำเนินงานเป็นเครื่องมือในการหาคำตอบจากปัญหาที่ทำการศึกษา ซึ่งการวิจัยดำเนินงานถือเป็นวิธีการหาคำตอบขั้นพื้นฐานที่ได้เรียนรู้จากรายวิชาการวิจัยดำเนินงาน ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อ Operation Research: OR โดยงานวิจัยนี้จะนำไปโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยดำเนินงานมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ

2.2.4 โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming)

การดำเนินงานต่างๆ จะบรรลุความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ จำเป็นต้องอาศัยการวางแผนและการตัดสินใจที่เหมาะสม การวางแผนที่ดีจะต้องมีการใช้หลักเกณฑ์ทางวิชาการควบคู่กัน กับการปฏิบัติ ซึ่งต้องศึกษาให้เข้าใจถึงหลักการ รายละเอียดของระบบงาน และเป้าหมายของการทำงานนั้น เพื่อให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ครบถ้วนและถูกต้อง แล้วนำมาสร้างแบบจำลอง เพื่อการวิเคราะห์และวางแผนในลักษณะต่างๆ ตามที่ต้องการต่อไป ในขณะที่ปริมาณงาน ปริมาณข้อมูลและระบบต่างๆ ได้ขยายกว้างขวางและสลับซับซ้อนยิ่งขึ้น จึงต้องอาศัยเทคนิคใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) มาใช้ในการวิเคราะห์หาค่า และใช้เครื่องคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ที่ให้ผลลัพธ์อย่างรวดเร็วและแม่นยำในการประมวลผล

การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ วิจัย และการดำเนินงาน เมื่อศึกษาและเข้าใจปัญหาอย่างถูกต้องแล้ว ทำการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อนำมากำหนดตัวแปร แล้วทำการสร้างแบบจำลองกำหนดเชิงทางคณิตศาสตร์สำหรับแทนระบบของปัญหา โดยมีเป้าหมายและข้อจำกัด อยู่ในรูปของฟังก์ชันหรือความสัมพันธ์ของฟังก์ชันของตัวแปร

โครงสร้างของแบบจำลอง ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ ดังนี้

ก. ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ต้องกำหนดเป้าหมายชัดเจนว่า ต้องการให้ได้ค่าสูงสุดหรือต่ำสุด และกำหนดค่าเป็นปริมาณ

ข. เงื่อนไขของข้อจำกัด (Constraints) จะอยู่ในรูปสมการ (=) หรือสมการในรูป \leq หรือในรูป \geq ซึ่งจะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ที่สอดคล้องตามคุณสมบัติที่กำหนดหรือเงื่อนไขที่มีอยู่

ค. ตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ ตัวแปรควบคุม (Decision variable) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ค่าของตัวแปรทุกตัว จะต้องไม่เป็นลบ แต่จะมีค่าต่อเนื่องหรือเป็นเลขจำนวนเต็มก็ได้

โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ ซึ่งเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการตัดสินใจที่ซับซ้อน เทคนิคการตัดสินใจนี้ขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการหาแนวปฏิบัติที่ให้ผลดีที่สุด เช่น ให้ได้ผลตอบแทนมากที่สุด ให้เสียค่าใช้จ่ายต่ำสุด ให้ใช้เวลาดำเนินการต่ำสุด เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า มีเป้าหมายวางไว้อย่างไร เป้าหมายนี้จะเป็ฟังก์ชันของตัวแปรโดยที่ตัวแปรเหล่านี้ อาจเป็นอิสระต่อกัน หรืออาจจะมีความสัมพันธ์กันตามข้อกำหนดที่มี

ปัญหาโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming Problem) จึงเป็นปัญหาการหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยมีเป้าหมายและข้อจำกัด อยู่ในรูปของฟังก์ชันหรือความสัมพันธ์ของฟังก์ชันของตัวแปร แสดงด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\text{ค่าที่ดีที่สุด} \quad Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\text{โดยมีข้อจำกัด} \quad g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, =, \geq \} b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{และ} \quad x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

ในเมื่อ x_1, x_2, \dots, x_n เป็นตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) หรือตัวแปรควบคุมได้ (controlled variables)

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ เป็นฟังก์ชันเป้าหมาย}$$

$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, =, \geq \} b_i$ เป็นเงื่อนไขของการดำเนินงาน หรือข้อจำกัดในการใช้ทรัพยากร

$$i, i = 1, 2, \dots, m$$

$b_i, i = 1, 2, \dots, m$ เป็นปริมาณของทรัพยากร i ที่มีอยู่

การหาแนวปฏิบัติหรือค่าที่ดีที่สุด ก็คือการหาค่าของ x_1, x_2, \dots, x_n ที่จะทำให้ได้ค่า Z ดีที่สุด นั่นคือค่า Z สูงสุดหรือต่ำสุดแล้วแต่เป้าหมายที่วางไว้ ภายใต้ข้อจำกัดที่มี

2.3 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน ในอุตสาหกรรมท่าเรือนั้น มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาเพื่อสร้างแบบจำลอง

การวิจัยดำเนินงานส่วนมากถ้าหากเป็นปัญหาที่ใหญ่มากๆ ไม่สามารถใช้การคำนวณด้วยมือมาช่วยได้หรือจะเสียเวลามากในการคิดด้วยมือ จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณเพื่อความแม่นยำและได้คำตอบที่รวดเร็ว ซึ่งในปัจจุบันมีผู้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณมากมาย เพื่อเอื้ออำนวยต่อความสะดวกในการใช้ และใช้เวลาในการหาผลลัพธ์ที่รวดเร็ว การแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้การสร้างและหาคำตอบที่ดีที่สุดของแบบจำลองเชิงเส้น ไม่เป็นเชิงเส้น และจำนวนเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมสูง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhi-Hua Hu กล่าวถึงการจัดลำดับการเทียบท่าของเรือ (Berth Allocation Problem: BAP) และ การกำหนดการทำงานของเครน (Quay Crane Assignment Problem) มักถูกผนวกเข้าด้วยกัน และพิจารณาเป็นปัญหาเดียวกัน ในการคิดวิเคราะห์ของบางงานวิจัยนั้นคือ ผลลัพธ์จากการจัดการท่าเรือจะเป็นปัญหาต่อไปของการกำหนดการทำงานของเครน และการกำหนดการทำงานของเครน จะศึกษาจากการระบุข้อสมมุติฐาน

งานวิจัยฉบับนี้ได้กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองการกำหนดการทำงานของเครน ซึ่งขั้นตอนการสร้างแบบจำลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

- ก. เซต ข้อจำกัดและเงื่อนไข
- ข. ตัวแปรการตัดสินใจ
- ค. เงื่อนไขปัจจัยนำเข้า ก่อนการคำนวณ
- ง. ข้อจำกัด

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของงานวิจัย ดังนี้

2.4.1 เซต ข้อจำกัดและเงื่อนไข

โดยให้ SN คือจำนวนเรือทั้งหมดที่เข้ามาเทียบท่า

QCN คือจำนวนเครนทั้งหมดที่มี

TN คือช่วงเวลาทั้งหมด

BN คือจำนวนท่าเรือทั้งหมดที่มี

เซตที่ถูกกำหนดมีดังนี้

$S = \{1, 2, \dots, SN\}$: เซตของเรือ เมื่อ s คือเรือ 1 ลำเป็นสับเซตของ $S, s \in S$

$QC = \{1, 2, \dots, QCN\}$: เซตของเครนที่เรียงตั้งแต่หัวท่าจนสุดท่าเรือ q คือเครน 1 ตัว เป็นสับเซตของ $QC, q \in QC$

$T = \{1, 2, \dots, TN\}$: ขอบเขตแผนผังถูกแบ่งเป็นส่วนตามช่วงเวลาแต่ละหน่วยเวลาเป็นสับเซตของ $T, t \in T$

$B = \{1, 2, \dots, BN\}$: พื้นที่บนท่า โดยที่ b 1 ส่วนคือสับเซตของพื้นที่ท่าเรือทั้งหมด $b \in B$

จากการจัดลำดับการเทียบท่า ข้อมูลจะเป็นเงื่อนไขและปัจจัยนำเข้าของการกำหนดการทำงานของเครน

QCS_s คือ จำนวนเครนที่เรือ s ต้องการ

$SBT_{s,b,t} = \begin{cases} 1 & \text{คือ เมื่อเรือลำที่ } s \text{ เทียบท่าในท่าเรือที่ } b \text{ ในช่วงเวลา } t \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

$ST_{s,t} = \begin{cases} 1 & \text{คือ ในเรือลำที่ } s \text{ ทำงานในช่วงเวลา } t \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

$ADJLR_{s_1, s_2} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อเรือลำที่ } s_1 \text{ เทียบท่าทางด้านซ้ายมือของ } s_2 \text{ ทุกๆ ช่วงเวลา} \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

SBL_s, SBU_s, SBM_s เป็นสับเซตของ B ($SBL_s \in B, SBU_s \in B, SBM_s \in B$)

SBL_s แทนตำแหน่งซ้ายสุดที่เทียบท่าบนท่าเรือ ของเรือลำที่ s
 SBU_s แทนตำแหน่งขวาสุดที่เทียบท่าบนท่าเรือ ของเรือลำที่ s
 SBM_s แทนตำแหน่งตรงกลางสุดที่เทียบท่าบนท่าเรือ ของเรือลำที่ s } โดยที่เรือ s เป็นสมาชิกของ $S, s \in S$

$QCBM_q, QCBL_q, QCBU_q$ เป็นสมาชิกของ B โดยที่เครน q เป็นสมาชิก Q ที่เคลื่อนที่บนท่าเรือ โดย $QCBM_q$ คือเครนที่อยู่ตรงกลาง $QCBL_q$ คือซ้ายที่สุดและ $QCBU_q$ คือขวาสุด

2.4.2 ตัวแปรการตัดสินใจ

จุดประสงค์หลักของการกำหนดการทำงานของเครน คือการกำหนดเครนให้ไปทำงานบนเรือแต่ละลำ ดังนั้นตัวแปรจึงเป็นตัวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรือกับเครน ในการออกแบบทุกๆ ช่วงเวลา สำหรับตัวแปรที่มี 2 ตัวห้อยจะแสดงตำแหน่ง ซ้ายสุด-ขวาสุด ของเครนบนเรือแต่ละลำ ตัวแปรจะใช้ในฟังก์ชันเป้าประสงค์เพื่อหาเครนที่ถูกจัดสรรน้อยที่สุด

$a_{q,s,t} = \begin{cases} 1 & \text{แสดงว่าเครนที่ } q \text{ ถูกกำหนดให้ทำงานบนเรือ } s \text{ ในช่วงเวลา } t \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

sq_upp_s เป็นสมาชิกของเครนบนท่าเรือ โดยตัวแปร sq_upp คือหมายเลขของเครนตัวขวาสุดที่ถูกกำหนดบนเรือลำที่ s

sq_cnt_s คือใช้เพื่อแสดงผลรวมจำนวนครอนที่อยู่ใกล้ๆ ถึง sq_upp_s ที่ถูกจัดสรรบนเรือลำใดๆ ในทุกช่วงเวลา โดยจะอธิบายความชัดเจนในข้อจำกัด

2.4.3 เงื่อนไขปัจจัยนำเข้า ก่อนการคำนวณ

จากผลที่ได้จากปัญหา BAP จะทราบค่า $SBT_{s,b,t} \in \{0,1\}$ และการคำนวณตัวแปร $ST_{s,t} \in \{0,1\}, ADJLR_{s_1,s_2} \in \{0,1\}, SBL_s \in B, SBU_s \in B, SBM_s \in B$ และทราบค่า $QCBM_q, QCBL_q, QCBU_q$.

(1) ค่า $ST_{s,t} \in \{0,1\}$ ดังสมการ (1).

$$\begin{aligned} & (\forall s \in SHIP, \forall t \in T): \\ & ST_{s,t} = \begin{cases} 1, & \left(\sum_{b \in B} SBT_{s,b,t} > 0 \right) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

(2) ค่า $ADJLR_{s_1,s_2} \in \{0,1\}$ ดังสมการ (2).

$$\begin{aligned} & (\forall s_1 \in S, \forall s_2 \in S): ADJLR_{s_1,s_2} = 0 \\ & \left[\begin{array}{l} \forall s_1 \in S, \forall s_2 \in S \setminus \{s_1\}, \\ \forall t \in T, \\ \forall b_1 \in B, \forall b_2 \in B, b_1 \neq b_2 \\ SBT(s_1, b_1, t) = 1, SBT(s_2, b_2, t) = 1 \end{array} \right] \\ & ADJLR_{s_1,s_2} = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

(3) ค่า $SBL_s \in B, SBU_s \in B, SBM_s \in B$ ดังสมการ (3).

$$\begin{aligned} & (\forall s \in S): \\ & \begin{cases} SBL(s) = \min_{t \in T, b \in B, SBT(s,b,t) = 1} (SBT(s,b,t) \cdot b) \\ SBU(s) = \max_{t \in T, b \in B} (SBT(s,b,t) \cdot b) \\ SBM(s) = \text{ceil} \left(\frac{SBL(s) + SBU(s)}{2} \right) \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

(4) ค่าของ $QCBM_q$, $QCBL_q$ และ $QCBU_q$ ควรจะตั้งตามการกำหนดการตั้งค่าของท่าเทียบเรือ แต่ในการศึกษาครั้งนี้เราจะกำหนดค่าเริ่มต้นโดยเป็นไปดังสมการ (4).

$$\begin{aligned} & (\forall s \in S): \\ & \left\{ \begin{array}{l} QCBL_q = 1 \\ QCBU_q = BN \\ QCBM_q = \text{ceil} \left((q-1) \cdot \frac{BN}{QCN} \right) \end{array} \right. \end{aligned} \quad (4)$$

2.4.4 ข้อจำกัด

การกำหนดความเป็นไปได้ควรจะตอบสนองข้อ จำกัด ดังต่อไปนี้

(1) ทุกๆ เวลา ค่าของ QC_s ที่กำหนดให้บนเรือต้องมีค่าเท่ากับความต้องการของเรือ ดังในสมการ (5) โดยที่ $ST_{s,t}=1$ จะช่วยลดจำนวนของข้อจำกัดได้

$$\forall (s \in S, t \in T, ST_{s,t}=1), \sum_{s \in SHIP} a_{q,s,t} = QC_s \quad (5)$$

(2) ค่า QC_s ที่กำหนดให้เรือแต่ละลำต้องเป็นแบบต่อเนื่อง คือเมื่อเครนสองตัวถูกกำหนดให้ทำงานบนเรือลำใด เครนตัวอื่นที่อยู่ระหว่างเครนสองตัวนั้น จะถูกบังคับให้ทำงานบนเรือลำนั้นด้วย ข้อจำกัดดังกล่าวจัดเป็นไปตามสมการ (6).

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} \forall (s \in SHIP, t \in T, ST_{s,t}=1) \\ \forall (q_1, q_2 \in QC, q_1 < q_2), \\ q_1 + q_2 + 1 \leq \sum_{q=q_1}^{q_2} a_{q,s,t} + \max(2 - a_{q_1,s,t} - a_{q_2,s,t}) \end{array} \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

(3) การวางแผนเทียบท่าเรือจะคำนวณหาตำแหน่งจอดของเรือโดยที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน ถ้าเรือลำใดอยู่ทางซ้ายมือลำอื่นๆ การกำหนดค่า QC_s จะต้องเป็นไปตามความสัมพันธ์ที่อธิบายในสมการ (7). โดยใช้ ST , $ADJLR$ เป็นค่าในการกำหนดข้อจำกัด

$$\left(\begin{array}{l} \forall t \in T, \\ \forall s_1 \in S, \forall s_2 \in S, s_1 \neq s_2, \\ ST_{s_1,t} = 1, ST_{s_2,t} = 1, \\ ADJLR_{s_1,s_2} = 1, \\ \forall q_1 \in QC, \forall q_2 \in QC, q_1 < q_2 \\ a_{q_2,s_1,t} + a_{q_1,s_2,t} \leq 1 \end{array} \right), \quad (7)$$

- (4) ณ เวลาใดๆ เครื่องไม่สามารถทำงานบนเรือสองลำพร้อมกันได้ โดยกำหนดในสมการ (8).

$$\left(\begin{array}{l} \forall t \in T, \\ \forall s_1 \in S, \forall s_2 \in S, s_1 \neq s_2, \\ ST_{s_1,t} = 1, ST_{s_2,t} = 1, \\ ADJLR_{s_1,s_2} = 1, \\ \forall q \in QC \\ a_{q,s_1,t} + a_{q,s_2,t} \leq 1 \end{array} \right), \quad (8)$$

- (5) ช่วงการเคลื่อนที่ของเครื่องจำกัดโดยสายอิเล็กทรอนิกส์ โดยข้อจำกัดนี้อธิบายไว้ในสมการ (9). และเครื่องสามารถเดินทางเป็นเส้นตรง โดยถูกกำหนดไว้ในสมการ (10).

$$\forall s \in SHIP, \forall q \in QC, \quad (9)$$

$$(a_{q,s} = 1) \rightarrow$$

$$(SBL_s \geq QCBL_q) \wedge (SBU_s \leq QCBU_q)$$

$$(\forall s \in SHIP, t \in T, \forall q \in QC), \quad (10)$$

$$\begin{cases} SBL_s \geq a_{q,s,t} \cdot QCBL_q \\ a_{q,s,t} \cdot SBU_s \leq QCBU_q \end{cases}$$

- (6) ในสมการ (11). ตำแหน่งของเครื่องทางด้านขวาสุดที่ถูกกำหนดบนเรือคือค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการ (12). $sq_cnt(s)$ ของเรือในแต่ละลำ คือค่าที่คำนวณได้

$$\left(\begin{array}{l} \forall s \in S, \forall t \in T, \forall q \in QC \\ ST_{s,t} = 1 \end{array} \right): \quad (11)$$

$$sq_upp(s) \geq q \cdot a_{q,s,t}$$

$$(\forall s \in S): sq_cnt(s) \geq \quad (12)$$

$$\sum_{ST_{s,t}=1} q \in QC, t \in T, (sq_upp(s) - q \cdot a(q,s,t))$$

2.4.5 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์เกี่ยวกับเวลา พื้นที่ และค่าใช้จ่าย เป็นข้อพิจารณาพื้นฐานในปัญหาการกำหนดการเทียบท่าของท่าเรือ ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุดของคอน ที่เคลื่อนที่ไปทำงานบนเรือแต่ละลำ ดังสมการ (13).

$$\text{Minimize : } \sum_{s \in S} sq_cnt(s) \quad (13)$$

ข้อจำกัดและวัตถุประสงค์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ สามารถแสดงเป็นเชิงเส้นได้ ยิ่งไปกว่านั้น ตัวแปรการตัดสินใจเป็นแบบ 0/1 ด้วยเหตุนี้ จึงนำเสนอแบบจำลองเป็นการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP)

จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่าแบบจำลองที่สร้างมีความซับซ้อน เข้าใจยากและตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองเยอะเกินความจำเป็นทำให้เกิดความสับสน นอกจากนี้ยังไม่มีผลการทดลองจากการหาคำตอบ ซึ่งทำให้สรุปไม่ได้ว่าแบบจำลองนี้ถูกต้องและใช้ได้ในงานจริงหรือไม่



บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ เพื่อให้ง่ายต่อการทำงานของเครนของเรือ จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์และโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้หาผลลัพธ์ของแบบจำลอง

3.1 ปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน

การจัดลำดับการเทียบท่าของเรือ (Berth allocation problem: BAP) และการกำหนดการทำงานของเครน มักถูกผนวกเข้าด้วยกัน และพิจารณาเป็นปัญหาเดียวกัน ในการคิดวิเคราะห์ของบางงานวิจัยนั้นคือ ผลลัพธ์จากการจัดการท่าเรือ จะเป็นปัญหาต่อไปของ การกำหนดงานของเครน (QCAP) จะศึกษาจากการระบุข้อสมมติฐาน (Assumptions) ดังนี้

3.1.1 ผู้ตัดสินใจทราบว่าจำนวนเครนที่ต้องการของเรือแต่ละลำ

3.1.2 จำนวนเครนของเรือที่กำหนดให้เรือแต่ละลำจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตาม เครนที่ใช้กับเรือแต่ละลำสามารถเปลี่ยนแปลงได้

3.1.3 เวลาในการเทียบท่า ตำแหน่งการเทียบท่าเรือ และเวลาในการทำงานของเครน ถูกกำหนดไว้ก่อนแล้ว จากปัญหาการจัดลำดับการเทียบท่าของเรือ

3.1.4 เครนแต่ละตัวถูกตั้งสมมติฐานว่า มีประสิทธิภาพในการทำงานเทียบเท่ากันทั้งหมด

3.1.5 เครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกันได้

จากการศึกษาการจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือแล้วพบว่าจะศึกษารวมกับปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน เมื่อผนวกรวมกันแล้วจัดว่าเป็นปัญหาที่ยาก อาจจะใช้เวลานานต่อการแก้ด้วยโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) ในการวิจัยนี้จึงได้แยกปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนออกจากปัญหาการจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือ เพื่อที่จะสามารถแก้ปัญหาโดยโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ได้

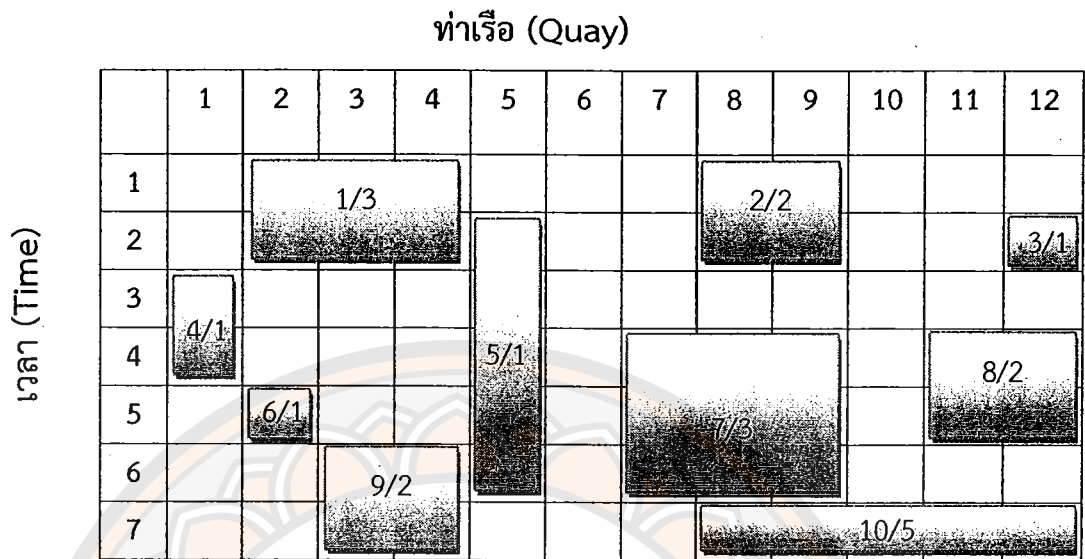
เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจในการศึกษาปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน จึงได้ยกตัวอย่างการกำหนดการทำงานของเครน ดังหัวข้อ 3.2

3.2 ตัวอย่างปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน

ตัวอย่าง แสดงการเทียบท่าของเรือ การกำหนดการทำงานของเครนให้กับเรือที่เข้ามาเทียบท่า และผลจากการหาคำตอบ ซึ่งจะแสดงตำแหน่งของเครนแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ จึงยกตัวอย่างแต่ละแบบจำลองซึ่งมีทั้งหมด 4 แบบจำลอง แต่ละแบบจำลองจะหาการเคลื่อนที่ของเครนที่น้อยที่สุด โดยแบบจำลองที่ยกตัวอย่างมานั้น จะเป็นตัวอย่างปัญหามานกลาง ข้อที่ 1 ที่มีเรือ 10 ลำ เครน 9 ตัว ดังรูปที่ 3.1-3.4

3.2.1 แบบจำลองที่ 1 พิจารณาโดยให้เครนทำงานตามความกว้างของเรือที่เข้ามาเทียบท่า โดย □ แสดงขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่า ในช่วงเวลาที่เท่าไร และระยะเวลาในการเทียบท่า ส่วนหมายเลขเรือและความต้องการเครนของเรือ ถูกกำหนดไว้ในรูปแบบของ A/B โดยที่ A

คือหมายเลขเรือ และ B คือความต้องการเครนของเรือ เช่น 1/3 คือ เรือลำที่ 1 มีความต้องการเครน 3 ตัว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเข้าเทียบท่าของเรือแบบจำลองที่ 1

ข้อกำหนด

- ก. เครนมีทั้งหมด 9 ตัว
- ข. จำนวนท่าเรือ กว้าง 12 ท่า
- ค. ช่วงเวลาในการทำงาน 7 ช่วงเวลา
- ง. จำนวนเรือทั้งหมดที่เข้ามาเทียบท่า 10 ลำ

3.2.1.1 ผลจากคำตอบในแต่ละช่วงเวลา

คำตอบที่ได้จะเป็นค่า X_{qt} ของเครนแต่ละตัวในทุกช่วงเวลาโดยค่าของ X_{qt} แสดงถึงตำแหน่งบนท่าเรือ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 1

| ช่วงเวลา | เครน ตัวที่ 1 | เครน ตัวที่ 2 | เครน ตัวที่ 3 | เครน ตัวที่ 4 | เครน ตัวที่ 5 | เครน ตัวที่ 6 | เครน ตัวที่ 7 | เครน ตัวที่ 8 | เครน ตัวที่ 9 |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 3 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 4 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 6 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 7 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

ค่าที่แสดงในตารางบอกตำแหน่งเครนที่อยู่บนท่าเรือในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งข้อมูลอ้างอิงจากตารางที่ 3.1 โดยค่าในตารางจะบอกถึงเครนตัวใดๆ เช่น เลข 1 แสดงเครนตัวที่ 1 เป็นต้น

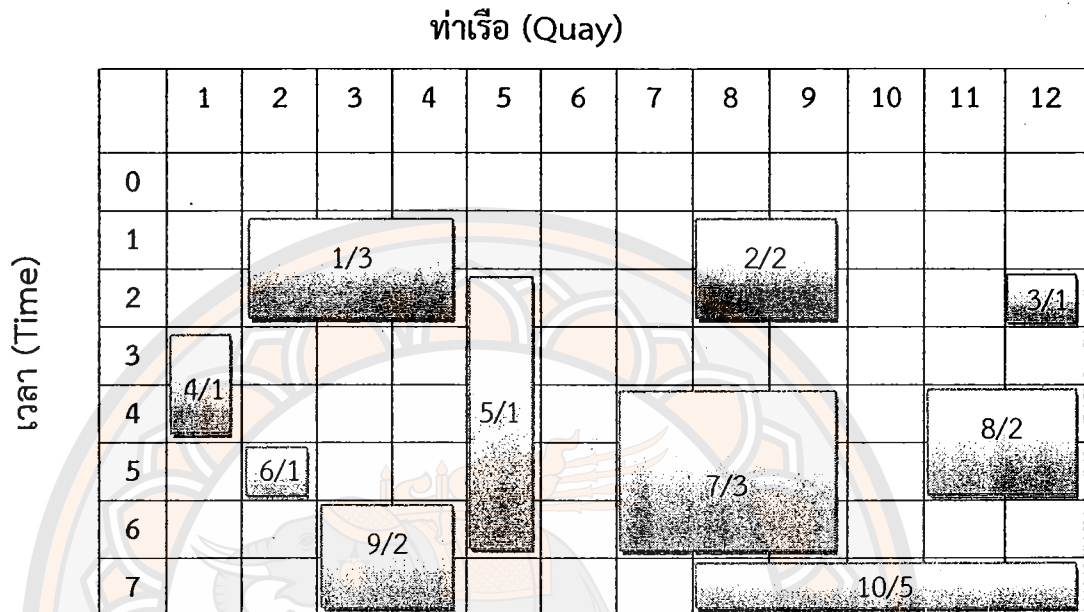
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงตำแหน่งเครนบนท่าเรือในแบบจำลองที่ 1

ท่าเรือ (Quay)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|
| เวลา (Time) | 1 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | | 8 | 9 |
| | 2 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | | 8 | 9 |
| | 3 | 1 | | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | | 8 | 9 |
| | 4 | 1 | | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | | 8 | 9 |
| | 5 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | | 8 | 9 |
| | 6 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | | 8 | 9 |
| | 7 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

จากผลการทดลองจะได้คำตอบของค่า X_{qt} ดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3.1 มาสร้างตารางแสดงตำแหน่งของเครนบนท่าเรือดังตารางที่ 3.2 ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบค่า X_{qt} ยกตัวอย่างเช่น เครนตัวที่ 1 ช่วงเวลาที่ 3 ถึงช่วงเวลาที่ 4 ทำงานบนท่าเรือที่ 1 และในช่วงเวลาที่ 5 เครนตัวที่ 1 เคลื่อนที่ไปทำงานบนท่าเรือที่ 2 เป็นต้น ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นไปตามข้อสมมติฐานเบื้องต้น ดังที่ระบุไว้ในหน้า 16

3.2.2 แบบจำลองที่ 2 พิจารณาโดยให้เครนทำงานตามความกว้างของเรือที่เข้ามาเทียบท่าและมีการกำหนดจุดเริ่มต้นของเครน แบบสุ่ม โดย □ แสดงขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่าในช่วงเวลาที่เท่าไร และระยะเวลาในการเทียบท่า ส่วนหมายเลขเรือและความต้องการเครนของเรือถูกกำหนดไว้ในรูปแบบของ A/B โดยที่ A คือหมายเลขเรือ และ B คือความต้องการเครนของเรือ เช่น 1/3 คือ เรือลำที่ 1 มีความต้องการเครน 3 ตัว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการเข้าเทียบท่าของเรือแบบจำลองที่ 2

ข้อกำหนด

- ก. เครนมีทั้งหมด 9 ตัว
- ข. จำนวนท่าเรือ กว้าง 12 ท่า
- ค. ช่วงเวลาในการทำงาน 7 ช่วงเวลา
- ง. จำนวนเรือทั้งหมดที่เข้ามาเทียบท่า 10 ลำ
- จ. ตำแหน่งเริ่มต้นของเครน ณ ช่วงเวลาที่ 0 (1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12)

3.2.2.1 ผลจากคำตอบในแต่ละช่วงเวลา

คำตอบที่ได้จะเป็นค่า X_{qt} ของเครนแต่ละตัวในทุกช่วงเวลาโดยค่าของ X_{qt} แสดงถึงตำแหน่งบนท่าเรือ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 โดยกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของเครน ณ ช่วงเวลาที่ 0 (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11)

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 2

| ช่วงเวลา | เครน ตัวที่ 1 | เครน ตัวที่ 2 | เครน ตัวที่ 3 | เครน ตัวที่ 4 | เครน ตัวที่ 5 | เครน ตัวที่ 6 | เครน ตัวที่ 7 | เครน ตัวที่ 8 | เครน ตัวที่ 9 |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 12 |

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 2

| ช่วงเวลา | เครน ตัวที่ 1 | เครน ตัวที่ 2 | เครน ตัวที่ 3 | เครน ตัวที่ 4 | เครน ตัวที่ 5 | เครน ตัวที่ 6 | เครน ตัวที่ 7 | เครน ตัวที่ 8 | เครน ตัวที่ 9 |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 3 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 4 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 5 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 6 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 7 | 1 | 3 | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

ค่าที่แสดงในตารางบอกตำแหน่งเครนที่อยู่บนท่าเรือในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งข้อมูลอ้างอิงจากตารางที่ 3.3 โดยค่าในตารางจะบอกถึงเครนตัวใดๆ เช่น เลข 1 แสดงเครนตัวที่ 1 เป็นต้น

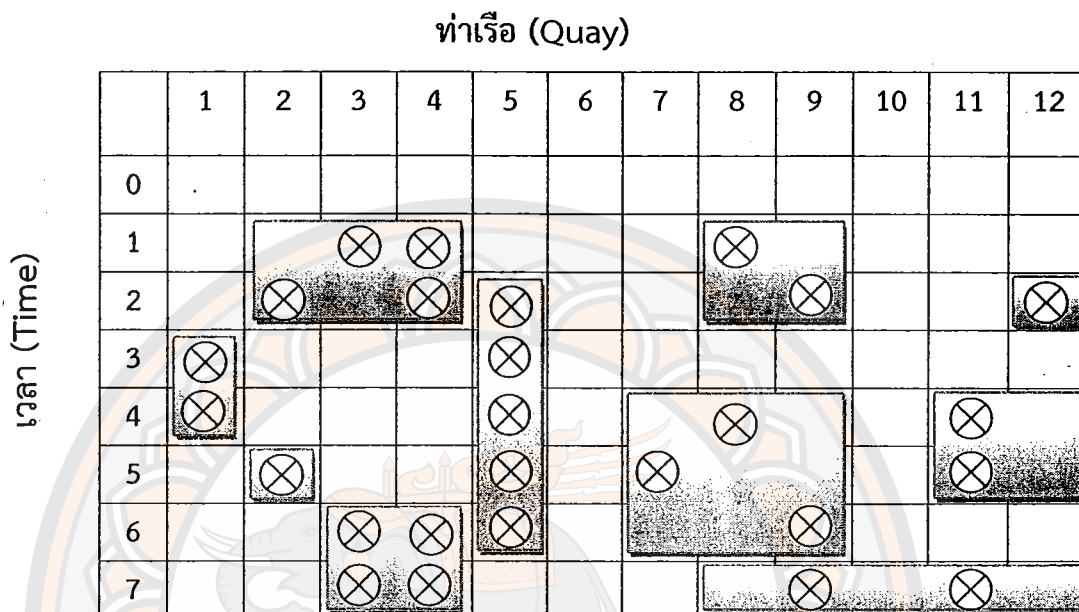
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงตำแหน่งเครนบนท่าเรือในแบบจำลองที่ 2

ท่าเรือ (Quay)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| เวลา (Time) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |

จากผลการทดลองจะได้คำตอบของค่า X_{qt} ดังที่แสดงในตารางที่ 3.3 และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3.3 มาสร้างตารางแสดงตำแหน่งของเครนบนท่าเรือดังตารางที่ 3.4 ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบค่า X_{qt} ยกตัวอย่างเช่น เครนตัวที่ 5 ในช่วงเวลาที่ 4 ถึงเวลาที่ 6 ทำงานบนท่าเรือที่ 7 และในช่วงเวลาที่ 7 เครนตัวที่ 5 เคลื่อนที่ไปทำงานบนท่าเรือที่ 8 เป็นต้น ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นไปตามข้อสมมติฐานเบื้องต้น ดังที่ระบุไว้ในหน้า 16

3.2.3 แบบจำลองที่ 3 พิจารณาที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการเครนบางตำแหน่งเท่านั้น และแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการเครนนั้นจะต้องมีเครนทำงานเท่านั้นทุกช่วงเวลา และมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของเครน แบบสุ่ม โดย \square แสดงขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่า ในช่วงเวลาที่เท่าไร และระยะเวลาในการเทียบท่า และ \otimes แสดงตำแหน่งความต้องการเครนบนเรือ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการเข้าเทียบท่าของเรือแบบจำลองที่ 3

ข้อกำหนด

- ก. เครนมีทั้งหมด 9 ตัว
- ข. จำนวนท่าเรือ กว้าง 12 ท่า
- ค. ช่วงเวลาในการทำงาน 7 ช่วงเวลา
- ง. จำนวนเรือทั้งหมดที่เข้ามาเทียบท่า 10 ลำ
- จ. ตำแหน่งเริ่มต้นของเครน ณ ช่วงเวลาที่ 0 (1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12)

3.2.3.1 ผลจากคำตอบในแต่ละช่วงเวลา

คำตอบที่ได้จะเป็นค่า X_{qt} ของเครนแต่ละตัวในทุกช่วงเวลาโดยค่าของ X_{qt} แสดงถึงตำแหน่งบนท่าเรือ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 3

| ช่วงเวลา | เครน ตัวที่ 1 | เครน ตัวที่ 2 | เครน ตัวที่ 3 | เครน ตัวที่ 4 | เครน ตัวที่ 5 | เครน ตัวที่ 6 | เครน ตัวที่ 7 | เครน ตัวที่ 8 | เครน ตัวที่ 9 |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 1 | 2 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2 | 1 | 2 | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 3

| ช่วงเวลา | เครน ตัวที่ 1 | เครน ตัวที่ 2 | เครน ตัวที่ 3 | เครน ตัวที่ 4 | เครน ตัวที่ 5 | เครน ตัวที่ 6 | เครน ตัวที่ 7 | เครน ตัวที่ 8 | เครน ตัวที่ 9 |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 3 | 1 | 2 | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 4 | 1 | 2 | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 5 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 6 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 7 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 |

ค่าที่แสดงในตารางบอกตำแหน่งเครนที่อยู่บนท่าเรือในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งข้อมูลอ้างอิงจากตารางที่ 3.5 โดยค่าในตารางจะบอกถึงเครนตัวใดๆ เช่น เลข 1 แสดงเครนตัวที่ 1 เป็นต้น

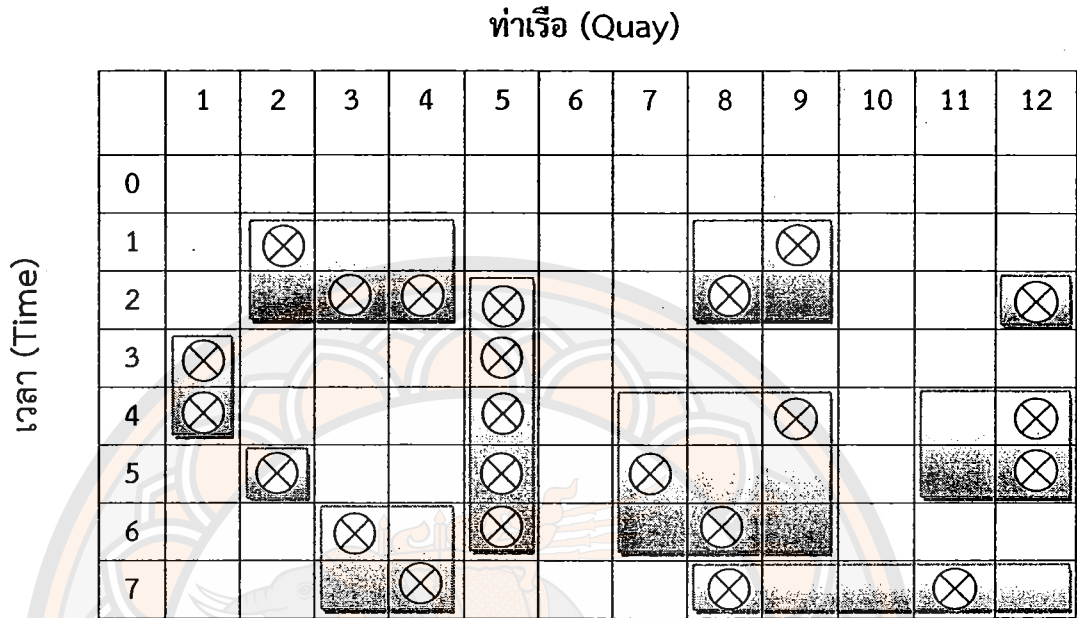
ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงตำแหน่งเครนบนท่าเรือในแบบจำลองที่ 3

ท่าเรือ (Quay)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| เวลา (Time) | 0 | 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 1 | | ⊗ | ⊗ | 4 | | | ⊗ | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2 | 1 | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | | | 5 | ⊗ | 7 | 8 | ⊗ |
| 3 | ⊗ | 2 | | 3 | ⊗ | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 4 | ⊗ | 2 | | 3 | ⊗ | | | ⊗ | 6 | 7 | ⊗ | 9 |
| 5 | 1 | ⊗ | | 3 | ⊗ | | ⊗ | | 6 | 7 | ⊗ | 9 |
| 6 | 1 | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | 5 | | ⊗ | 7 | 8 | 9 |
| 7 | 1 | | ⊗ | ⊗ | 4 | | 5 | | ⊗ | 7 | ⊗ | 9 |

จากผลการทดลองจะได้คำตอบของค่า X_{qt} ดังที่แสดงในตารางที่ 3.5 และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3.5 มาสร้างตารางแสดงตำแหน่งของเครนบนท่าเรือดังตารางที่ 3.6 ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบค่า X_{qt} ยกตัวอย่างเช่น เครนตัวที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 5 ทำงานบนท่าเรือที่ 2 และในช่วงเวลาที่ 6 ถึงช่วงเวลา 7 เครนตัวที่ 2 เคลื่อนที่ไปทำงานบนท่าเรือที่ 3 เป็นต้น ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นไปตามข้อสมมติฐานเบื้องต้น ดังที่ระบุไว้ในหน้า 16

3.2.4 แบบจำลองที่ 4 พิจารณาที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการบางตำแหน่งเท่านั้น เรือที่ต้องการครนนั้นจะมีครนทำงานไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา และมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของครน แบบสุ่ม โดย □ แสดงขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่า ในช่วงเวลาที่เท่าไร และระยะเวลาในการเทียบท่าและ ⊗ แสดงตำแหน่งความต้องการครนบนเรือ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการเข้าเทียบท่าของเรือแบบจำลองที่ 4

ข้อกำหนด

- ก. ครนมีทั้งหมด 9 ตัว
- ข. จำนวนท่าเรือ กว้าง 12 ท่า
- ค. ช่วงเวลาในการทำงาน 7 ช่วงเวลา
- ง. จำนวนเรือทั้งหมดที่เข้ามาเทียบท่า 10 ลำ
- จ. ตำแหน่งเริ่มต้นของครน ณ ช่วงเวลาที่ 0 (1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12)

3.2.4.1 ผลจากคำตอบในแต่ละช่วงเวลา

คำตอบที่ได้จะเป็นค่า X_{qt} ของครนแต่ละตัวในทุกช่วงเวลาโดยค่าของ X_{qt} แสดงถึงตำแหน่งบนท่าเรือ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 4

| ช่วงเวลา | ครน ตัวที่ 1 | ครน ตัวที่ 2 | ครน ตัวที่ 3 | ครน ตัวที่ 4 | ครน ตัวที่ 5 | ครน ตัวที่ 6 | ครน ตัวที่ 7 | ครน ตัวที่ 8 | ครน ตัวที่ 9 |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 1 | 2 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 |

ตารางที่ 3.7 (ต่อ) ตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลองที่ 4

| ช่วงเวลา | เครน ตัวที่ 1 | เครน ตัวที่ 2 | เครน ตัวที่ 3 | เครน ตัวที่ 4 | เครน ตัวที่ 5 | เครน ตัวที่ 6 | เครน ตัวที่ 7 | เครน ตัวที่ 8 | เครน ตัวที่ 9 |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 3 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| 4 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 6 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 7 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |

ค่าที่แสดงในตารางบอกตำแหน่งเครนที่อยู่บนท่าเรือในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งข้อมูลอ้างอิงจากตารางที่ 3.7 โดยค่าในตารางจะบอกถึงเครนตัวใดๆ เช่น เลข 1 แสดงเครนตัวที่ 1 เป็นต้น

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงตำแหน่งเครนบนท่าเรือในแบบจำลองที่ 4

ท่าเรือ (Quay)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|
| เวลา (Time) | 0 | 1 | 2 | | | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 1 | ⊗ | | 3 | | 4 | 5 | | ⊗ | 7 | 8 | 9 | |
| 2 | 1 | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | 5 | ⊗ | | 7 | 8 | ⊗ | |
| 3 | ⊗ | | 2 | 3 | ⊗ | | 5 | 6 | | 7 | 8 | 9 | |
| 4 | ⊗ | | 2 | 3 | ⊗ | | 5 | 6 | ⊗ | | 8 | ⊗ | |
| 5 | | ⊗ | 2 | 3 | ⊗ | | ⊗ | 6 | 7 | | 8 | ⊗ | |
| 6 | | 1 | ⊗ | 3 | ⊗ | | 5 | ⊗ | 7 | | 8 | 9 | |
| 7 | | 1 | 2 | ⊗ | 4 | | 5 | ⊗ | 7 | | ⊗ | 9 | |

จากผลการทดลองจะได้คำตอบของค่า X_{qt} ดังที่แสดงในตารางที่ 3.7 และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3.7 มาสร้างตารางแสดงตำแหน่งของเครนบนท่าเรือดังตารางที่ 3.8 ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบค่า X_{qt} ยกตัวอย่างเช่น เครนตัวที่ 6 ในช่วงเวลาที่ 1 ทำงานบนท่าเรือที่ 9 และในช่วงเวลาที่ 2 เครนตัวที่ 6 เคลื่อนที่ไปทำงานบนท่าเรือที่ 8 เป็นต้น ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นไปตามข้อสมมติฐานเบื้องต้น ดังที่ระบุไว้ในหน้า 16

จากแบบจำลองตัวอย่าง ต้องการแสดงให้เห็นตำแหน่งของเครนแต่ละตัว ในทุกช่วงเวลามีความถูกต้องตามข้อสมมติฐาน ดังที่กล่าวในหน้า 16 ซึ่งได้นำผลการทดลองจากโปรแกรมสำเร็จรูปจากตารางแสดงค่าตำแหน่ง X_{qt} แบบจำลอง 1-4 ตามลำดับ มาแสดงในรูปแบบของตารางแสดงตำแหน่งเครนบนท่าเรือในแบบจำลอง 1-4 ตามลำดับ



ในแต่ละแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงค่าตำแหน่ง ซึ่งส่งผลให้ผลลัพธ์จากการทดลองของระบบการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุดเปลี่ยนแปลง

3.3 ศึกษาการสร้างแบบจำลองและโปรแกรมสำเร็จรูป

3.3.1 ศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รายละเอียด และข้อจำกัดของแบบจำลอง

3.3.2 ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

สำนักหอสมุด

TD

145

145

145

2554

3.4 สร้างแบบจำลองกำหนดการแข่งขันคณิตศาสตร์

3.4.1 ข้อตกลงเบื้องต้น

3.4.1.1 การทำงานของเครนจะทำงานตามความต้องการของเรือ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเรือนั้นด้วย

3.4.1.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเครนจะเคลื่อนที่ในแนวราบบนเส้นทางตลอดแนวท่าเรือ

3.4.1.3 เครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามเครนอีกตัวได้

3.4.1.4 ระยะเวลาทำงานของเครนในเรือแต่ละลำ ขึ้นอยู่กับปัจจัยของสินค้าที่ต้องทำการขนส่ง (สมมติฐานว่าประสิทธิภาพในการทำงานของเครนทุกตัวเท่ากันหมด)

3.4.1.5 การเทียบท่าของเรือนั้นจะเข้ามาตามกำหนดการการจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือ

3.4.1.6 การคำนวณหาการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุดของเครนนั้น จะพิจารณาจากตำแหน่งเดิมของเครนตั้งแต่เริ่มต้น หรือเมื่อเรือลำแรกเข้าเทียบท่าเรือ ตลอดจนเรือลำสุดท้ายของการเทียบท่าของเรือได้ออกจากท่าเรือ

3.4.1.7 ผลรวมของการเคลื่อนที่ของเครนทุกตัวของระบบ ใน 1 วัน ที่มีค่าน้อยที่สุดคือผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยการใช้วิธีแบบจำลองกำหนดการแข่งขันคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาค่าตอบที่ดีที่สุด

3.4.2 กำหนดตัวแปรการตัดสินใจ

3.4.2.1 ดัชนี (Indices)

b คือ ค่าแสดงตำแหน่งของท่าเรือ ($b = 1, 2, 3, \dots, NOB$)

q คือ เครนที่อยู่บนท่าเรือ ($q = 1, 2, 3, \dots, NOQ$)

s คือ เรือที่เข้าเทียบท่าในท่าเรือ ($s = 1, 2, 3, \dots, S$)

t คือ ช่วงเวลาที่เครนใช้ในการดำเนินงานบนท่าเรือ ($t = 1, 2, 3, \dots, T$)

3.4.2.2 พารามิเตอร์ (Parameters)

NOQ คือ จำนวนของเครนที่มีอยู่บนท่าเรือทั้งหมด

NOB คือ จำนวนท่าเรือทั้งหมดที่มีบนท่าเรือ

X_{qt} คือ ค่าแสดงตำแหน่งของเครน ตัวที่ q ในเวลาที่ t

$POSR_s$ คือ ค่าแสดงตำแหน่งขวสุดของเรือลำที่ s ที่เทียบท่าบนท่าเรือ

$POSL_s$ คือ ค่าแสดงตำแหน่งซ้ายสุดของเรือลำที่ s ที่เทียบท่าบนท่าเรือ

A_{qst} คือ ค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบน
เรือลำที่ s ในเวลา t มีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น

DS_{st} คือ ปริมาณความต้องการเครนของเรือลำที่ s ในเวลา t

$CrSt_q$ คือ ค่าแสดงตำแหน่งเริ่มต้นบนท่าเรือของเครนตัวที่ q (เวลาเริ่มต้น $t=0$)

A_{qbt} คือ ค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานใน
ท่าเรือ b ในเวลา t มีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น

DS_{bt} คือ ค่าแสดงความต้องการเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ ท่าที่ b ในเวลา t มี
ความต้องการเครน มีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น

3.4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{NOQ} |x_{q,t+1} - x_{qt}| \quad (3.1)$$

Subject to

$$x_{q+1,t} - x_{qt} \geq 1 \quad \forall t, q, \dots, NOQ - 1 \quad (3.2)$$

$$x_{qt} \geq A_{qst} \times POSL_s \quad \forall q, s, t \quad (3.3)$$

$$x_{qt} - POSR_s \leq (1 - A_{qst})M \quad \forall q, s, t \quad (3.4)$$

$$\sum_{q=1}^{NOQ} A_{qst} = DS_{st} \quad \forall s, t \quad (3.5)$$

$$x_{qt} \geq q \quad \forall q, t \quad (3.6)$$

$$x_{qt} \leq NOB - (NOQ - q) \quad \forall q, t \quad (3.7)$$

โดยสามารถอธิบายความหมายของสมการและอสมการของแบบจำลองข้างต้นได้ดังนี้
สมการที่ 3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้ คือการหาระยะการเคลื่อนที่ของ
เครนที่น้อยที่สุด

อสมการที่ 3.2 เป็นการกำหนดข้อจำกัดทางด้านกายภาพของเครน สามารถระบุได้ว่า
เครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกันได้

อสมการที่ 3.3 เป็นการระบุตำแหน่งทางด้านซ้ายสุดของเรือที่เครนต้องไปทำงาน

อสมการที่ 3.4 เป็นการระบุตำแหน่งทางด้านขวาสุดของเรือที่เครนต้องไปทำงาน

สมการที่ 3.5 สมการนี้สามารถกำหนดได้ว่าเครนต้องเคลื่อนที่ไปทำงานเพียงพอต่อความ
ต้องการของเรือทุกลำ ในทุกเวลา

อสมการที่ 3.6 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครนทางด้านซ้ายสุด ที่เครน
สามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ

อสมการที่ 3.7 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครนทางด้านขวาสุด ที่เครน
สามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ

3.5 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์

3.5.1 ตรวจสอบอย่างครบถ้วนของตัวแปรและข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือว่าครบถ้วนหรือไม่

3.5.2 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น ใช้การทดสอบโดยการตั้งรูปแบบทางคณิตศาสตร์ใหม่เปรียบเทียบกับแบบจำลอง ด้วยการตั้งโจทย์ปัญหาขนาดเล็กเพื่อวิเคราะห์จุดผลลัพธ์ของแบบจำลองว่าผลลัพธ์ที่ได้สมเหตุสมผลหรือไม่

3.6 เขียนแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.6.1 เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นลงบนโปรแกรมสำเร็จรูป

3.6.2 ตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของแบบจำลองก่อนการทดลองหาคำตอบ

3.7 ทดลองแบบจำลองเพื่อหาคำตอบบนคอมพิวเตอร์

3.7.1 คำตอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.7.2 ตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการหาคำตอบบนโปรแกรมสำเร็จรูปปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

3.8 สรุปผลและนำเสนอ

หลังจากที่ได้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้หรือดีที่สุดแล้วของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับปัญหาที่พบของการกำหนดการทำงานของเครน ในอุตสาหกรรมท่าเรือแล้ว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ของคำตอบที่ได้จากแบบจำลองแล้วสรุปผล

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

บทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินการวิจัย และแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ ในการแก้ปัญหา การกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ โดยลักษณะของปัญหามี 3 ขนาด คือปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่

ปัญหาขนาดเล็ก มีเรือ 10-12 ลำ มีเครน 9 ตัว

ปัญหาขนาดกลาง มีเรือ 20-30 ลำ มีเครน 9-10 ตัว

ปัญหาขนาดใหญ่ มีเรือ 40-100 ลำ มีเครน 15 ตัว

4.1 แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ 4 แบบจำลอง

4.1.1 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด โดยให้เครนทำงานตามความกว้างของเรือที่เข้ามาเทียบท่า เช่น เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความยาวเท่ากับ 4 ท่า ดังนั้นเรือลำนี้จึงต้องใช้เครน 4 ตัว เป็นต้น

4.1.2 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด โดยให้เครนทำงานตามความกว้างของเรือที่เข้ามาเทียบท่าและมีการกำหนดจุดเริ่มต้นของเครน แบบสุ่ม

4.1.3 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด โดยที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการเครนบางตำแหน่งเท่านั้น และแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการเครนนั้นจะต้องมีเครนทำงานเท่ากันทุกช่วงเวลา และมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของเครน แบบสุ่ม

4.1.4 แบบจำลองโดยที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการเครนบางตำแหน่งเท่านั้น เรือที่ต้องการเครนนั้นจะมีเครนทำงานไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา และมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของเครน แบบสุ่ม

4.2 ศึกษาปัญหาที่พบของการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ

จากการศึกษาปัญหาที่ได้รับข้อมูลจากบทความวิชาการ พบว่าในการเคลื่อนที่ของเครนมีผลต่อการทำงานบนเรือจึงต้องการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ เพื่อให้เครนสามารถเคลื่อนที่ในการทำงานน้อยที่สุด ภายใต้ ข้อสมมติฐาน (Assumptions) ดังนี้

4.2.1 ผู้ตัดสินใจทราบจำนวนเครนที่ต้องการของเรือแต่ละลำ

4.2.2 จำนวนเครนของเรือที่กำหนดให้เรือแต่ละลำจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตาม เครนที่ใช้กับเรือแต่ละลำสามารถเปลี่ยนแปลงได้

4.2.3 เวลาในการเทียบท่า ตำแหน่งการเทียบท่าเรือ และเวลาในการทำงานของเครน ถูกกำหนดไว้ก่อนแล้ว จากปัญหาการจัดลำดับการเทียบท่าของเรือ

4.2.4 เครนแต่ละตัวถูกตั้งสมมติฐานว่า มีประสิทธิภาพในการทำงานเทียบเท่ากันทั้งหมด

4.2.5 เครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกันได้

4.3 ศึกษาการสร้างแบบจำลองและโปรแกรมสำเร็จรูป

4.3.1 ศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รายละเอียด และข้อจำกัดของแบบจำลอง นำข้อมูลที่ได้ข้างต้นมาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และระบุข้อสมมติฐานของแบบจำลองในเบื้องต้น

4.3.2 ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

นำข้อมูลที่ได้ข้างต้นมาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป

4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

4.4.1 ข้อตกลงเบื้องต้น

4.4.1.1 การทำงานของเครนจะทำงานตามความต้องการของเรือ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเรือนั้นด้วย

4.4.1.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเครนจะเคลื่อนที่ในแนวราบ บนเส้นทางตลอดแนวท่าเรือ

4.4.1.3 เครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามเครนอีกตัวได้

4.4.1.4 ระยะเวลาทำงานของเครนในเรือแต่ละลำ ขึ้นอยู่กับปัจจัยของสินค้าที่ต้องทำการขนส่ง (สมมติฐานว่าประสิทธิภาพในการทำงานของเครนทุกตัวเท่ากันหมด)

4.4.1.5 การเทียบท่าของเรือนั้นจะเข้ามาตามกำหนดการการจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือ

4.4.1.6 การคำนวณหาการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุดของเครนนั้น จะพิจารณาจากตำแหน่งเดิมของเครนตั้งแต่เริ่มต้น หรือเมื่อเรือลำแรกเข้าเทียบท่าเรือ ตลอดจนเรือลำสุดท้ายของการเทียบท่าของเรือได้ออกจากท่าเรือ

4.4.1.7 ผลรวมของการเคลื่อนที่ของเครนทุกตัวของระบบ ใน 1 วัน ที่มีค่าน้อยที่สุดคือผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยการใช้วิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด

4.4.2 กำหนดตัวแปรการตัดสินใจ

4.4.2.1 ดัชนี (Indices)

b คือ ค่าแสดงตำแหน่งของท่าเรือ ($b = 1, 2, 3, \dots, NOB$)

q คือ เครนที่อยู่บนท่าเรือ ($q = 1, 2, 3, \dots, NOQ$)

s คือ เรือที่เข้าเทียบท่าในท่าเรือ ($s = 1, 2, 3, \dots, S$)

t คือ ช่วงเวลาที่เครนใช้ในการดำเนินงานบนท่าเรือ ($t = 1, 2, 3, \dots, T$)

4.4.2.2 พารามิเตอร์ (Parameters)

NOQ คือ จำนวนของเครนที่มีอยู่บนท่าเรือทั้งหมด

NOB คือ จำนวนท่าเรือทั้งหมดที่มีบนท่าเรือ

X_{qt} คือ ค่าแสดงตำแหน่งของเครน ตัวที่ q ในเวลาที่ t

$POSR_s$ คือ ค่าแสดงตำแหน่งขาสุดของเรือลำที่ s ที่เทียบท่าบนท่าเรือ
 $POSL_s$ คือ ค่าแสดงตำแหน่งซ้ายสุดของเรือลำที่ s ที่เทียบท่าบนท่าเรือ
 A_{qst} คือ ค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนเรือลำที่ s ในเวลา t มีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น
 DS_{st} คือ ปริมาณความต้องการเครนของเรือลำที่ s ในเวลา t
 $CrSt_q$ คือ ค่าแสดงตำแหน่งเริ่มต้นบนท่าเรือของเครนตัวที่ q (เวลาเริ่มต้น $t=0$)
 A_{qbt} คือ ค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานในท่าเรือ b ในเวลา t มีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น
 DS_{bt} คือ ค่าแสดงความต้องการเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อท่าที่ b ในเวลา t มีความต้องการเครน มีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น

4.4.3 ความสามารถของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

Acer Aspire 4710G Core 2 Duo T5500 Processor 1.66GHz, 2.5GB RAM

4.4.4 การอธิบายแบบจำลอง

จากการศึกษาปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ พบว่าเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการจัดลำดับการเทียบท่าของเรือ งานวิจัยส่วนใหญ่มักจะศึกษาสองปัญหาเข้าด้วยกันซึ่งจัดว่าเป็นปัญหาที่ยากและใช้เวลานานเมื่อต้องแก้ด้วยแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาเฉพาะปัญหาการกำหนดการทำงานของเครน ซึ่งปัญหาการกำหนดการทำงานของเครนนั้น จะศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเครน เพื่อให้เครนนั้นสามารถเคลื่อนที่ในระยะสั้นที่สุดในการทำงานบนเรือที่เข้ามาเทียบท่า ภายใต้ข้อสมมติฐานต่าง ๆ ที่ระบุไว้ในหน้า 16

4.4.4.1 แบบจำลองที่ 1 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด โดยให้เครนทำงานตามความกว้างของเรือที่เข้ามาเทียบท่า

ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 1

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{NOQ} |x_{q,t+1} - x_{qt}| \quad (4.1)$$

Subject to

$$x_{q+1,t} - x_{qt} \geq 1 \quad \forall t, q, \dots, NOQ - 1 \quad (4.2)$$

$$x_{qt} \geq A_{qst} \times POSL_s \quad \forall q, s, t \quad (4.3)$$

$$x_{qt} - POSR_s \leq (1 - A_{qst})M \quad \forall q, s, t \quad (4.4)$$

$$\sum_{q=1}^{NOQ} A_{qst} = DS_{st} \quad \forall s, t \quad (4.5)$$

$$X_{qt} \geq q \quad \forall q, t \quad (4.6)$$

$$X_{qt} \leq \text{NOB} - (\text{NOQ} - q) \quad \forall q, t \quad (4.7)$$

เพื่อหาระยะการเคลื่อนที่ของเครนให้น้อยที่สุด โดยทำการสร้างแบบจำลอง กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Programming Model) ประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 1 ดังที่แสดงในสมการ 4.1 และข้อจำกัดต่างๆ (Subject to) ดังแสดงในสมการ 4.2-สมการ 4.7

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{\text{NOQ}} |X_{q,t+1} - X_{qt}|$$

ข. ข้อจำกัดของแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วย

สมการที่ 4.2 เป็นการกำหนดข้อจำกัดทางด้านกายภาพของเครน สามารถระบุได้ว่าเครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกันได้ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ $q+1$ ณ เวลาที่ t จะมีค่ามากกว่าตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t เสมอ)

$$X_{q+1,t} - X_{qt} \geq 1 \quad \forall t, q, \dots, \text{NOQ} - 1$$

สมการที่ 4.3 เป็นการระบุตำแหน่งของเครนที่อยู่ทางด้านซ้ายสุดของเรือที่ต้องไปทำงาน (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีความมากกว่าหรือเท่ากับ ตำแหน่งของเครนตัวซ้ายสุดของเรือลำที่ s ที่เทียบท่าบนท่าเรือ คุณด้วยค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนเรือลำที่ s ในเวลา t)

$$X_{qt} \geq A_{qst} \times \text{POS}_s \quad \forall q, s, t$$

สมการที่ 4.4 เป็นการระบุตำแหน่งของเครนที่อยู่ทางด้านขวาสุดของเรือที่ต้องไปทำงาน (ผลต่างระหว่างตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t กับตำแหน่งของเครนตัวขวาสุดของเรือลำที่ s ที่เทียบท่าบนท่าเรือ จะต้องมีความน้อยกว่าเท่ากับ (1 ลบด้วยค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนเรือลำที่ s ในเวลา t) คูณด้วยค่ามากมายนหศาสตร์)

$$X_{qt} - \text{POS}_s \leq (1 - A_{qst})M \quad \forall q, s, t$$

สมการที่ 4.5 กำหนดว่าจำนวนครนที่มีอยู่บนท่าเรือต้องเพียงพอต่อความต้องการของเรือทุกลำ ในทุกเวลา (ผลรวมจำนวนครนตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึงจำนวนครนทั้งหมดที่มีอยู่บนท่าเรือของค่าที่แสดงสถานะของครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ ครนตัวที่ q ทำงานบนเรือลำที่ s ในเวลา t จะต้องมีค่าเท่ากับปริมาณความต้องการครนของเรือลำที่ s ในเวลา t)

$$\sum_{q=1}^{NOQ} A_{qst} = DS_{st} \quad \forall s, t$$

สมการที่ 4.6 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของครนทางด้านซ้ายสุด ที่ครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ (ตำแหน่งของครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า q)

$$X_{qt} \geq q \quad \forall q, t$$

สมการที่ 4.7 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของครนทางด้านขวาสุด ที่ครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ (ตำแหน่งของครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับผลต่างระหว่างปริมาณท่าเรือทั้งหมด กับผลต่างระหว่างปริมาณครนทั้งหมดที่มีอยู่บนท่าเรือกับครนตัวที่ q)

$$X_{qt} \leq NOB - (NOQ - q) \quad \forall q, t$$

4.4.4.2 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือผลรวมระยะเวลาการเคลื่อนที่ของครนทุกตัวและระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 1-S3 คือ เลข 1 แสดงถึงแบบจำลองที่ 1 และ S3 แสดงถึงโจทย์ปัญหขนาดเล็ข้อที่ 3

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหขนาดเล็

| โจทย์ปัญหา ขนาดเล็ | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|-----------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 1-S1 | เรือ 10 ลำ | 12 | 9 | 7 | 5 | 00.00.05 |
| 1-S2 | เรือ 12 ลำ | 12 | 9 | 9 | 6 | 00.00.05 |
| 1-S3 | เรือ 10 ลำ | 12 | 9 | 8 | 7 | 00.00.06 |
| 1-S4 | เรือ 12 ลำ | 12 | 9 | 8 | 4 | 00.00.11 |
| 1-S5 | เรือ 11 ลำ | 12 | 9 | 7 | 9 | 00.00.05 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 1-S5 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 1-S2

แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหาขนาดเล็ก จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจน

โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 1-M3 คือ เลข 1 แสดงถึงแบบจำลองที่ 1 และ M3 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 3

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

| โจทย์ปัญหา ขนาดกลาง | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 1-M1 | เรือ 23 ลำ | 12 | 9 | 14 | 29 | 00.00.13 |
| 1-M2 | เรือ 21 ลำ | 12 | 9 | 17 | 11 | 00.00.06 |
| 1-M3 | เรือ 31 ลำ | 12 | 9 | 18 | 26 | 00.00.08 |
| 1-M4 | เรือ 21 ลำ | 15 | 10 | 15 | 51 | 00.00.19 |
| 1-M5 | เรือ 26 ลำ | 15 | 10 | 24 | 86 | 00.00.03 |

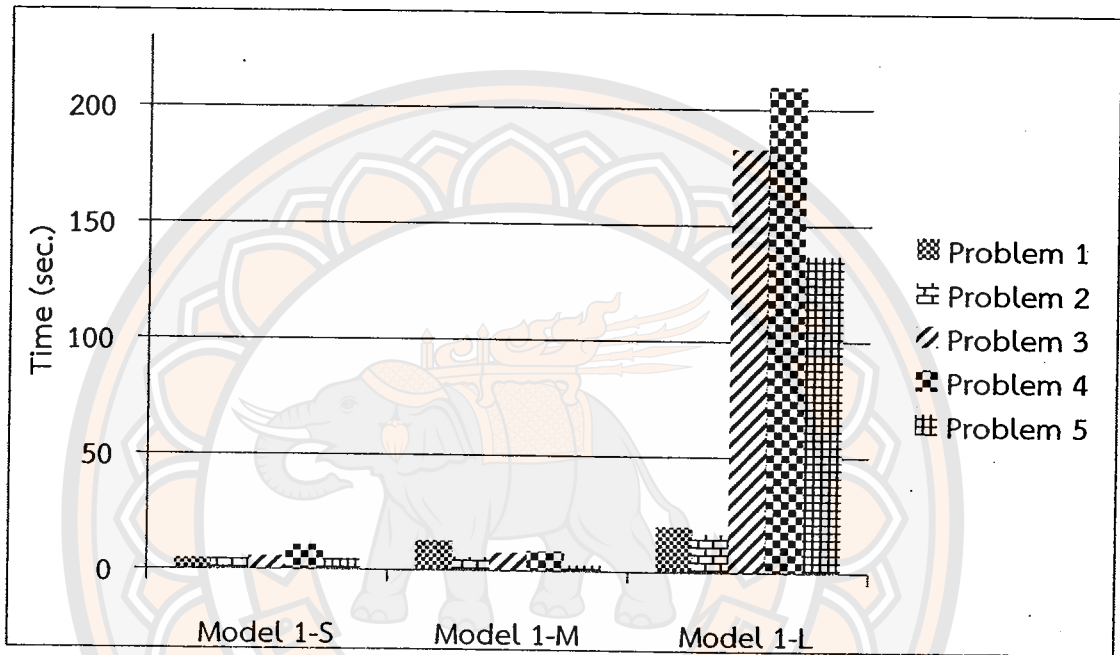
จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 1-M4 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 1-M3 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหาขนาดกลาง สามารถเห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจนมากขึ้น ทำให้ทราบว่านอกจากปริมาณของเรือ ท่าเรือจำนวนครน และช่วงเวลา จะส่งผลต่อผลลัพธ์แล้ว ขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่ายังส่งผลต่อระยะเวลาคำนวณด้วย ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นคาดว่า เรือที่เข้ามาเทียบท่ายังมีความต้องการครนน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกของครนมากเท่านั้น

โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 1-L3 คือ เลข 1 แสดงถึงแบบจำลองที่ 1 และ L3 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

| โจทย์ปัญหา ขนาดใหญ่ | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 1-L1 | เรือ 75 ลำ | 20 | 15 | 48 | 85 | 00.00.20 |
| 1-L2 | เรือ 47 ลำ | 20 | 15 | 39 | 154 | 00.00.17 |
| 1-L3 | เรือ 83 ลำ | 20 | 15 | 98 | 258 | 00.03.03 |
| 1-L4 | เรือ 78 ลำ | 20 | 15 | 98 | 184 | 00.03.30 |
| 1-L5 | เรือ 66 ลำ | 20 | 15 | 98 | 137 | 00.02.17 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 1-L2 มีปริมาณเรือน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 1-L1 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนเครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหาขนาดใหญ่สามารถเห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจนมากขึ้น ทำให้ทราบว่านอกจากปริมาณของเรือ ท่าเรือจำนวนเครน และช่วงเวลา จะส่งผลต่อผลลัพธ์แล้ว ขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่ายังส่งผลต่อระยะเวลาคำนวณด้วย ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นคาดว่า เรือที่เข้ามาเทียบท่ายังมีความต้องการเครนน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกของเครนมากเท่านั้น



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 1

จากกราฟระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูปของปัญหาขนาดเล็ก และปัญหาขนาดกลางไม่มีความแตกต่างกันเท่าไร แต่ปัญหาขนาดใหญ่ระยะเวลาในการหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูปจะเห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหา และปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น

4.4.4.3 แบบจำลองที่ 2 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด โดยให้เครนทำงานตามความกว้างของเรือที่เข้ามาเทียบท่าและมีการกำหนดจุดเริ่มต้นของเครน แบบสุ่ม

ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 2

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{NOQ} |x_{q,t+1} - x_{qt}| \quad (4.1)$$

Subject to

$$X_{q+1,t} - X_{qt} \geq 1 \quad \forall t, q, \dots, \text{NOQ} - 1 \quad (4.2)$$

$$X_{qt} \geq A_{qst} \times \text{POSL}_s \quad \forall q, s, t \quad (4.3)$$

$$X_{qt} - \text{POSR}_s \leq (1 - A_{qst})M \quad \forall q, s, t \quad (4.4)$$

$$\sum_{q=1}^{\text{NOQ}} A_{qst} = \text{DS}_{st} \quad \forall s, t \quad (4.5)$$

$$X_{qt} \geq q \quad \forall q, t \quad (4.6)$$

$$X_{qt} \leq \text{NOB} - (\text{NOQ} - q) \quad \forall q, t \quad (4.7)$$

$$X_{qt} = \text{CrStq} \quad \forall q \quad (4.8)$$

เพื่อหาระยะเวลาการเคลื่อนที่ของเครนให้น้อยที่สุด โดยทำการสร้างแบบจำลอง กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Programming Model) ประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของแบบจำลองที่ 2 ดังที่แสดงในสมการ 4.1 และข้อจำกัดต่างๆ (Subject to) ดังแสดงในสมการ 4.2-สมการ 4.8

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{\text{NOQ}} |X_{q,t+1} - X_{qt}|$$

ข. ข้อจำกัดของแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วย

สมการที่ 4.2 เป็นการกำหนดข้อจำกัดทางด้านกายภาพของเครน สามารถระบุได้ว่าเครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกันได้ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ $q+1$ ณ เวลาที่ t จะมีค่ามากกว่าตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t เสมอ)

$$X_{q+1,t} - X_{qt} \geq 1 \quad \forall t, q, \dots, \text{NOQ} - 1$$

สมการที่ 4.3 เป็นการระบุตำแหน่งของเครนที่อยู่ทางด้านซ้ายสุดของเรือที่ต้องไปทำงาน (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ตำแหน่งของเครนตัวซ้ายสุดของเรือลำที่ s ที่เทียบท่าบนท่าเรือ คูณด้วยค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนเรือลำที่ s ในเวลา t)

$$X_{qt} \geq A_{qst} \times \text{POSL}_s \quad \forall q, s, t$$

อสมการที่ 4.4 เป็นการระบุตำแหน่งของเครนที่อยู่ทางด้านขวาสุดของเรือที่ต้องไปทำงาน (ผลต่างระหว่างตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t และตำแหน่งของเครนตัวขวาสุดของเรือลำที่ s ที่เทียบท่าบนท่าเรือ จะต้องมิต่ำกว่าเท่ากับ (1 ลบด้วยค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนเรือลำที่ s ในเวลา t) คูณด้วยค่ามากมายนามศาสตร์)

$$X_{qt} - POSR_s \leq (1 - A_{qst})M \quad \forall q, s, t$$

สมการที่ 4.5 กำหนดว่าจำนวนเครนที่มีอยู่บนท่าเรือต้องเพียงพอต่อความต้องการของเรือทุกลำ ในทุกเวลา (ผลรวมจำนวนเครนตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึงจำนวนเครนทั้งหมดที่มีอยู่บนท่าเรือของค่าที่แสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนเรือลำที่ s ในเวลา t จะต้องมีค่าเท่ากับปริมาณความต้องการเครนของเรือลำที่ s ในเวลา t)

$$\sum_{q=1}^{NOQ} A_{qst} = DS_{st} \quad \forall s, t$$

อสมการที่ 4.6 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครนทางด้านซ้ายสุด ที่เครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า q)

$$X_{qt} \geq q \quad \forall q, t$$

อสมการที่ 4.7 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครนทางด้านขวาสุด ที่เครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับผลต่างระหว่างปริมาณท่าเรือทั้งหมด กับผลต่างระหว่างปริมาณเครนทั้งหมดที่มีอยู่บนท่าเรือกับเครนตัวที่ q)

$$X_{qt} \leq NOB - (NOQ - q) \quad \forall q, t$$

อสมการที่ 4.8 กำหนดจุดเริ่มต้นของเครนว่าเครนตัวไหนจะไปอยู่ตำแหน่งไหน (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่าเท่ากับตำแหน่งเริ่มต้นบนท่าเรือของเครนตัวที่ q (เวลาเริ่มต้น $t=0$))

$$X_{qt} = CrStq \quad \forall q$$

4.4.4.4 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือผลรวมระยะเวลาการเคลื่อนที่ของเครนทุกตัวและระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเพิ่มจุดเริ่มต้นของเครน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 2-S3 คือ เลข 2 แสดงถึงแบบจำลองที่ 2 และ S3 แสดงถึงโจทย์ปัญหขนาดเล็ข้อยที่ 3

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

| โจทย์ปัญหา ขนาดเล็ก | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 2-S1 | เรือ 10 | 12 | 9 | 7 | 14 | 00.00.03 |
| 2-S2 | เรือ 12 | 12 | 9 | 9 | 18 | 00.00.06 |
| 2-S3 | เรือ 10 | 12 | 9 | 8 | 12 | 00.00.03 |
| 2-S4 | เรือ 12 | 12 | 9 | 8 | 7 | 00.00.03 |
| 2-S5 | เรือ 11 | 12 | 9 | 7 | 14 | 00.00.03 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 2-S1 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 2-S4 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหามีขนาดเล็ก จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจน

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดเล็กของแบบจำลองที่ 1 กับแบบจำลองที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 2 เพิ่มตำแหน่งเริ่มต้นของครน ก่อนที่เรือเข้ามาเทียบท่า ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 มากกว่าแบบจำลองที่ 1

โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 2-M3 คือ เลข 2 แสดงถึงแบบจำลองที่ 2 และ M3 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 3

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

| โจทย์ปัญหา ขนาดกลาง | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 2-M1 | เรือ 23 ลำ | 12 | 9 | 14 | 44 | 00.00.05 |
| 2-M2 | เรือ 21 ลำ | 12 | 9 | 17 | 17 | 00.00.06 |
| 2-M3 | เรือ 31 ลำ | 12 | 9 | 18 | 36 | 00.00.11 |
| 2-M4 | เรือ 21 ลำ | 15 | 10 | 15 | 64 | 00.00.11 |
| 2-M5 | เรือ 26 ลำ | 15 | 10 | 24 | 101 | 00.00.05 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 2-M5 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 2-M3 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหาขนาดกลาง สามารถเห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจนมากขึ้น ทำให้ทราบว่านอกจากปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา จะส่งผลต่อผลลัพธ์แล้ว ขนาดของเรือที่เข้ามา

เทียบทำยังส่งผลต่อระยะเวลาคำนวณด้วย ข้อเสนอพื้นฐานเบื้องต้นคาดว่า เรือที่เข้ามาเทียบทำยังมีความต้องการครนน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกของครนมากเท่านั้น

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดกลางของแบบจำลองที่ 1 กับแบบจำลองที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 2 เพิ่มตำแหน่งเริ่มต้นของครน ก่อนที่เรือเข้ามาเทียบทำ ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 มากกว่าแบบจำลองที่ 1

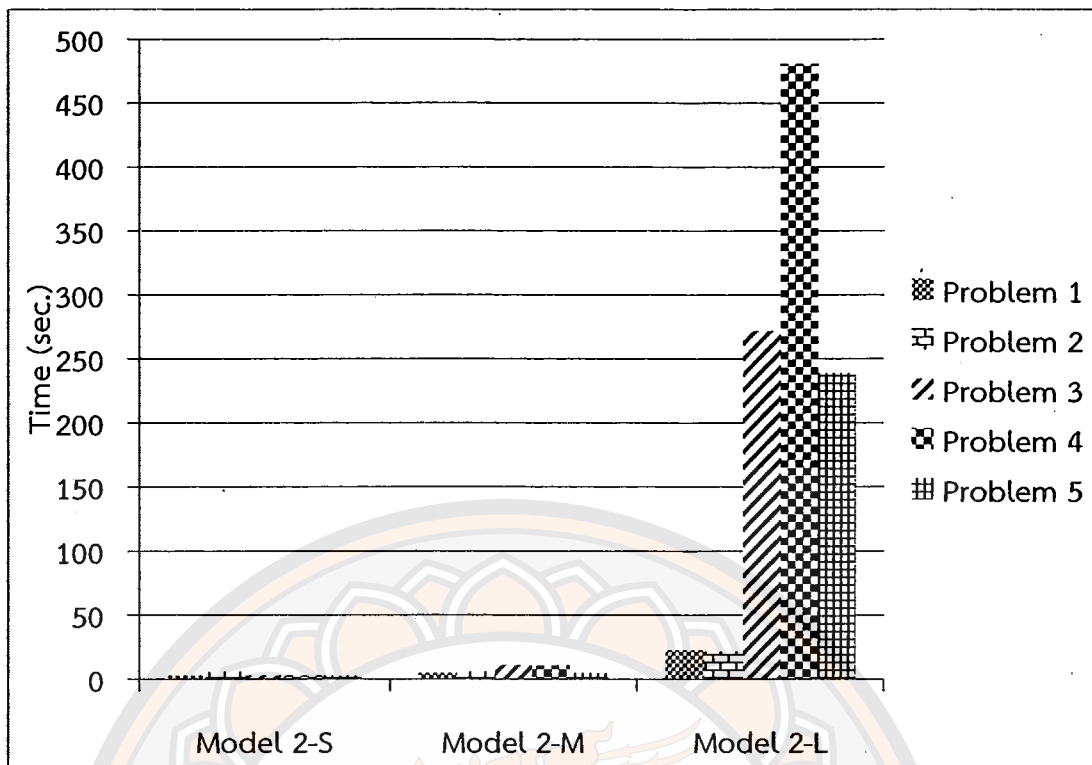
โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 2-L3 คือ เลข 2 แสดงถึงแบบจำลองที่ 2 และ L3 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

| โจทย์ปัญหา ขนาดใหญ่ | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 2-L1 | เรือ 75 ลำ | 20 | 15 | 48 | 93 | 00.00.23 |
| 2-L2 | เรือ 47 ลำ | 20 | 15 | 39 | 160 | 00.00.22 |
| 2-L3 | เรือ 83 ลำ | 20 | 15 | 98 | 276 | 00.04.32 |
| 2-L4 | เรือ 78 ลำ | 20 | 15 | 98 | 197 | 00.08.01 |
| 2-L5 | เรือ 66 ลำ | 20 | 15 | 98 | 151 | 00.03.59 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบทำมีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 2-L2 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 2-L1 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบทำมีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหาขนาดใหญ่สามารถเห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจนมากขึ้น ทำให้ทราบว่านอกจากปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา จะส่งผลต่อผลลัพธ์แล้ว ขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบทำยังส่งผลต่อระยะเวลาคำนวณด้วย ข้อเสนอพื้นฐานเบื้องต้นคาดว่า เรือที่เข้ามาเทียบทำยังมีความต้องการครนน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกของครนมากเท่านั้น

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดใหญ่ของแบบจำลองที่ 1 กับแบบจำลองที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 2 เพิ่มตำแหน่งเริ่มต้นของครน ก่อนที่เรือเข้ามาเทียบทำ ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 มากกว่าแบบจำลองที่ 1



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 2

จากกราฟระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูปของปัญหาขนาดเล็ก และปัญหาขนาดกลางไม่มีความแตกต่างกันเท่าไร แต่ปัญหาขนาดใหญ่ระยะเวลาในการหาคำตอบ โดยโปรแกรมสำเร็จรูปจะเห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหา และปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น

4.4.4.5 แบบจำลองที่ 3 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของครนน้อยที่สุด โดยที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการครนบางตำแหน่งเท่านั้น และแต่ละช่วงเวลาเรือต้องการครนนั้นจะต้องมีครนทำงานเท่ากันทุกช่วงเวลา และมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของครน แบบสุ่ม

ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 3

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{NOQ} |x_{q,t+1} - x_{qt}| \tag{4.1}$$

Subject to

$$x_{q+1,t} - x_{qt} \geq 1 \quad \forall t, q, \dots, NOQ - 1 \tag{4.2}$$

$$x_{qt} \geq A_{qbt} \times b \quad \forall q, b, t \tag{4.3}$$

$$x_{qt} \leq (1 - A_{qbt}) \times M + b \quad \forall q, b, t \tag{4.4}$$

$$\sum_{q=1}^{NOQ} A_{qbt} = DS_{bt} \quad \forall b,t \quad (4.5)$$

$$X_{qt} \geq q \quad \forall q,t \quad (4.6)$$

$$X_{qt} \leq NOB - (NOQ - q) \quad \forall q,t \quad (4.7)$$

$$X_{qt} = CrStq \quad \forall q \quad (4.8)$$

เพื่อหาระยะเวลาเคลื่อนที่ของเครนให้น้อยที่สุด โดยทำการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Programming Model) ประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 3 ดังที่แสดงในสมการ 4.1 และข้อจำกัดต่างๆ (Subject to) ดังแสดงในสมการ 4.2-สมการ 4.8

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{NOQ} |X_{q,t+1} - X_{qt}|$$

ข. ข้อจำกัดของแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วย

สมการที่ 4.2 เป็นการกำหนดข้อจำกัดทางด้านกายภาพของเครน สามารถระบุได้ว่าเครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกันได้ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ $q+1$ ณ เวลาที่ t จะมีค่ามากกว่าตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t เสมอ)

$$X_{q+1,t} - X_{qt} \geq 1 \quad \forall t,q,\dots,NOQ-1$$

สมการที่ 4.3 เป็นการระบุตำแหน่งของเครนว่าเครนตัวไหนจะไปอยู่ตำแหน่งที่ b และกำหนดตำแหน่งทางด้านซ้ายสุดของท่าเรือที่เครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนท่าเรือที่ b ในเวลา t คู่ด้วยท่าเรือที่ b)

$$X_{qt} \geq A_{qbt} \times b \quad \forall q,b,t$$

สมการที่ 4.4 เป็นการระบุตำแหน่งของเครนว่าเครนตัวไหนจะไปอยู่ตำแหน่งที่ b และกำหนดตำแหน่งทางด้านขวาสุดของท่าเรือที่เครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t ต้องมีค่าน้อยกว่าเท่ากับ (1 ลบด้วยค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนท่าเรือที่ b ในเวลา t) คูณด้วยค่ามากมายนหาศาล บวกด้วยตำแหน่งของท่าเรือ)

$$X_{qt} \leq (1 - A_{qbt}) \times M + b \quad \forall q,b,t$$

สมการที่ 4.5 มีจำนวนครนเพียงพอสอดคล้องความต้องการของเรือที่เข้ามาเทียบท่า (ผลรวมจำนวนครนตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึง จำนวนครนทั้งหมดที่มีอยู่บนท่าเรือของค่าที่แสดงสถานะของครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ ครนตัวที่ q ทำงานตรงตำแหน่งท่าเรือที่ b ในเวลา t จะต้องมีค่าเท่ากับปริมาณความต้องการครนของท่าเรือที่ b ในเวลา t)

$$\sum_{q=1}^{NOQ} A_{qbt} = DS_{bt} \quad \forall b,t$$

สมการที่ 4.6 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของครนทางด้านซ้ายสุดที่ครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ (ตำแหน่งของครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า q)

$$X_{qt} \geq q \quad \forall q,t$$

สมการที่ 4.7 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของครนทางด้านขวาสุดที่ครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ (ตำแหน่งของครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับผลต่างระหว่างปริมาณท่าเรือทั้งหมด กับผลต่างระหว่างปริมาณครนทั้งหมดที่มีอยู่บนท่าเรือกับครนตัวที่ q)

$$X_{qt} \leq NOB - (NOQ - q) \quad \forall q,t$$

สมการที่ 4.8 กำหนดจุดเริ่มต้นของครนว่าครนตัวไหนจะไปอยู่ตำแหน่งไหน (ตำแหน่งของครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่าเท่ากับตำแหน่งเริ่มต้นบนท่าเรือของครนตัวที่ q (เวลาเริ่มต้น t=0))

$$X_{qt} = CrStq \quad \forall q$$

4.4.4.6 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือผลรวมระยะเวลาการเคลื่อนที่ของครนทุกตัวและระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเพิ่มจุดเริ่มต้นของครน ดังแสดงในตารางที่ 4.7 โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 3-S2 คือ เลข 3 แสดงถึงแบบจำลองที่ 3 และ S2 แสดงถึงโจทย์ปัญหขนาดเล็ข้อที่ 2

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหขนาดเล็

| โจทย์ปัญห ขนาดเล็ | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|----------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 3-S1 | เรือ 10 ลำ | 12 | 9 | 7 | 7 | 00.00.08 |
| 3-S2 | เรือ 12 ลำ | 12 | 9 | 9 | 9 | 00.00.01.01 |

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

| โจทย์ปัญหา ขนาดเล็ก | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 3-S3 | เรือ 10 ลำ | 12 | 9 | 8 | 5 | 00.00.09 |
| 3-S4 | เรือ 12 ลำ | 12 | 9 | 8 | 5 | 00.00.28 |
| 3-S5 | เรือ 11 ลำ | 12 | 9 | 7 | 6 | 00.00.05 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 3-S1 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 3-S4 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหามีขนาดเล็ก จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจน

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดเล็กของแบบจำลองที่ 3 กับแบบจำลองที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 3 เพิ่มลักษณะความต้องการครน โดยที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการครนบางตำแหน่งเท่านั้น และแต่ละช่วงเวลาที่เรือต้องการครนนั้นจะต้องมีครนทำงานเท่ากันทุกช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับข้อสันนิษฐานที่ว่า ยิ่งเรือมีความต้องการครนน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกให้กับครนมากขึ้น ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 มากกว่าแบบจำลองที่ 2

โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 3-M2 คือ เลข 3 แสดงถึงแบบจำลองที่ 3 และ M2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

| โจทย์ปัญหา ขนาดกลาง | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 3-M1 | เรือ 23 ลำ | 12 | 9 | 14 | 12 | 00.00.50 |
| 3-M2 | เรือ 21 ลำ | 12 | 9 | 17 | 6 | 00.00.42 |
| 3-M3 | เรือ 31 ลำ | 12 | 9 | 18 | 15 | 00.00.36 |
| 3-M4 | เรือ 21 ลำ | 15 | 10 | 15 | 23 | 00.10.44 |
| 3-M5 | เรือ 26 ลำ | 15 | 10 | 24 | 29 | 00.04.16 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 3-M5 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 3-M3 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหาขนาดกลาง สามารถเห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจนมากขึ้น ทำให้ทราบว่านอกจากปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครน และช่วงเวลา จะส่งผลต่อผลลัพธ์แล้ว ขนาดของเรือที่เข้ามา

เทียบทำยังส่งผลต่อระยะเวลาคำนวณด้วย ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นคาดว่า เรือที่เข้ามาเทียบทำยังมีความต้องการเครนน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกของเครนมากเท่านั้น

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดกลางของแบบจำลองที่ 3 กับแบบจำลองที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 3 เพิ่มลักษณะความต้องการเครน โดยที่เรือที่เข้ามาเทียบทำมีความต้องการเครนบางตำแหน่งเท่านั้น และแต่ละช่วงเวลาที่เราต้องการเครนนั้นจะต้องมีเครนทำงานเท่ากันทุกช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับข้อสันนิษฐานข้างต้น ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 มากกว่าแบบจำลองที่ 2

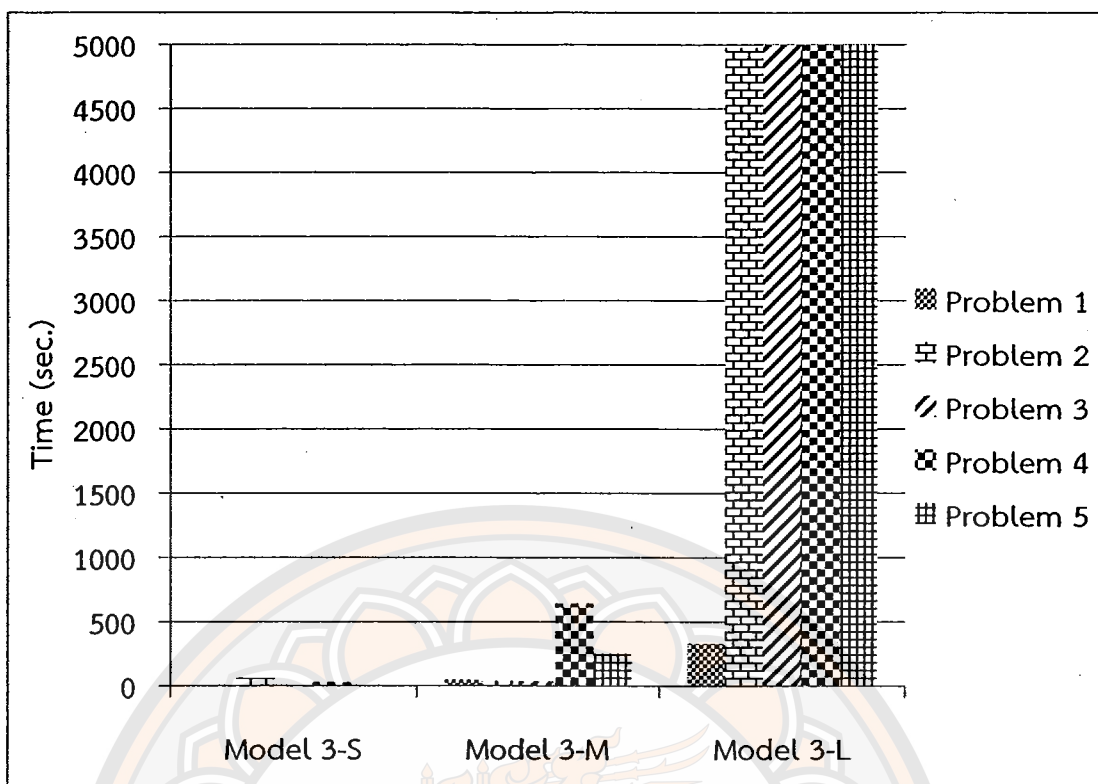
โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 3-L2 คือ เลข 3 แสดงถึงแบบจำลองที่ 3 และ L2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ตารางที่ 4.9 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

| โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ | ปริมาณเรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนเครน | ช่วงเวลาทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|--------------------|------------|-------------|-----------|---------------------|---------------|-----------------|
| 3-L1 | เรือ 75 ลำ | 20 | 15 | 48 | 36 | 00.05.31 |
| 3-L2 | เรือ 47 ลำ | 20 | 15 | 39 | 49 | 01.22.57 |
| 3-L3 | เรือ 83 ลำ | 20 | 15 | 98 | out of memory | 22.54.00 |
| 3-L4 | เรือ 78 ลำ | 20 | 15 | 98 | out of memory | 22.37.32 |
| 3-L5 | เรือ 66 ลำ | 20 | 15 | 98 | out of memory | 21.05.59 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบทำมีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 3-L2 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 3-L1 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบทำมีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนเครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหาขนาดใหญ่สามารถเห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจนมากขึ้น ทำให้ทราบว่านอกจากปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนเครน และช่วงเวลา จะส่งผลต่อผลลัพธ์แล้ว ขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบทำยังส่งผลต่อระยะเวลาคำนวณด้วย ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นคาดว่า เรือที่เข้ามาเทียบทำยังมีความต้องการเครนน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกของเครนมากเท่านั้น

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดใหญ่ของแบบจำลองที่ 3 กับแบบจำลองที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 3 เพิ่มลักษณะความต้องการเครน โดยที่เรือที่เข้ามาเทียบทำมีความต้องการเครนบางตำแหน่งเท่านั้น และแต่ละช่วงเวลาที่เราต้องการเครนนั้นจะต้องมีเครนทำงานเท่ากันทุกช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับข้อสันนิษฐานข้างต้น ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 มากกว่าแบบจำลองที่ 2 และในกรณี ปัญหาขนาดใหญ่หลายๆ ระยะเวลาในการคำนวณที่ได้ก่อน Out of memory ไม่สามารถบอกได้ว่าการคำนวณใกล้ที่จะได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้วหรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาที่ 3-L3



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 3

จากกราฟระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูปของปัญหาขนาดเล็ก และปัญหขนาดกลางไม่มีความแตกต่างกันเท่าไร แต่ปัญหขนาดใหญ่วะระยะเวลาในการหาคำตอบ โดยโปรแกรมสำเร็จรูปจะเห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหา และปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น

4.4.4.7 แบบจำลองที่ 4 แบบจำลองโดยที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการบาง ตำแหน่งเท่านั้น เรือที่ต้องการครั้นนั้นจะมีครั้นทำงานไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา และมีการกำหนด ตำแหน่งเริ่มต้นของครั้น แบบสุ่ม

ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 4

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{NOQ} |X_{q,t+1} - X_{qt}| \quad (4.1)$$

Subject to

$$X_{q+1,t} - X_{qt} \geq 1 \quad \forall t, q, \dots, NOQ - 1 \quad (4.2)$$

$$X_{qt} \geq A_{qbt} \times b \quad \forall q, b, t \quad (4.3)$$

$$X_{qt} \leq (1 - A_{qbt}) \times M + b \quad \forall q, b, t \quad (4.4)$$

$$\sum_{q=1}^{NOQ} A_{qbt} = DS_{bt} \quad \forall b,t \quad (4.5)$$

$$X_{qt} \geq q \quad \forall q,t \quad (4.6)$$

$$X_{qt} \leq NOB - (NOQ - q) \quad \forall q,t \quad (4.7)$$

$$X_{qt} = CrStq \quad \forall q \quad (4.8)$$

เพื่อหาระยะการเคลื่อนที่ของเครนให้น้อยที่สุด โดยทำการสร้างแบบจำลอง กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Programming Model) ประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของแบบจำลองที่ 4 ดังที่แสดงในสมการ 4.1 และข้อจำกัดต่างๆ (Subject to) ดังแสดงในสมการ 4.2-สมการ 4.8

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{q=1}^{NOQ} |X_{q,t+1} - X_{qt}|$$

ข. ข้อจำกัดของแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วย

อสมการที่ 4.2 เป็นการกำหนดข้อจำกัดทางด้านกายภาพของเครน สามารถระบุได้ว่าเครนไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกันได้ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ $q+1$ ณ เวลาที่ t จะมากกว่าตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t เสมอ)

$$X_{q+1,t} - X_{qt} \geq 1 \quad \forall t,q,\dots,NOQ-1$$

อสมการที่ 4.3 เป็นการระบุตำแหน่งของเครนว่าเครนตัวไหนจะไปอยู่ตำแหน่งที่ b และกำหนดตำแหน่งทางด้านซ้ายสุดของท่าเรือที่เครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนท่าเรือที่ b ในเวลา t คูณด้วยท่าเรือที่ b)

$$X_{qt} \geq A_{qbt} \times b \quad \forall q,b,t$$

อสมการที่ 4.4 เป็นการระบุตำแหน่งของเครนว่าเครนตัวไหนจะไปอยู่ตำแหน่งที่ b และกำหนดตำแหน่งทางด้านขวาสุดของท่าเรือที่เครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้ (ตำแหน่งของเครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่าน้อยกว่าเท่ากับ (1 ลบด้วยค่าแสดงสถานะของเครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ เครนตัวที่ q ทำงานบนท่าเรือที่ b ในเวลา t) คูณด้วยค่ามากมายมหาศาล บวกด้วยตำแหน่งของท่าเรือ)

$$X_{qt} \leq (1 - A_{qbt}) \times M + b \quad \forall q,b,t$$

สมการที่ 4.5 มีจำนวนครนเพียงพอต่อความต้องการของเรือที่เข้ามาเทียบท่า (ผลรวมจำนวนครนตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึง จำนวนครนทั้งหมดที่มีอยู่บนท่าเรือของค่าที่แสดงสถานะของครน โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อ ครนตัวที่ q ทำงานตรงตำแหน่งท่าเรือที่ b ในเวลา t จะต้องมีค่าเท่ากับปริมาณความต้องการครนของท่าเรือที่ b ในเวลา t)

$$\sum_{q=1}^{NOQ} A_{qbt} = DS_{bt} \quad \forall b, t$$

สมการที่ 4.6 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของครนทางด้านซ้ายสุดที่ครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ (ตำแหน่งของครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า q)

$$X_{qt} \geq q \quad \forall q, t$$

สมการที่ 4.7 ระบุเงื่อนไขตำแหน่งการเคลื่อนที่ของครนทางด้านขวาสุดที่ครนสามารถเคลื่อนที่ไปได้บนท่าเรือ (ตำแหน่งของครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับผลต่างระหว่างปริมาณท่าเรือทั้งหมด กับ ผลต่างระหว่างปริมาณครนทั้งหมดที่มีอยู่บนท่าเรือกับครนตัวที่ q)

$$X_{qt} \leq NOB - (NOQ - q) \quad \forall q, t$$

สมการที่ 4.8 กำหนดจุดเริ่มต้นของครนว่าครนตัวไหนจะไปอยู่ตำแหน่งไหน (ตำแหน่งของครนตัวที่ q ณ เวลาที่ t จะต้องมีค่าเท่ากับตำแหน่งเริ่มต้นบนท่าเรือของครนตัวที่ q (เวลาเริ่มต้น t=0))

$$X_{qt} = CrStq \quad \forall q$$

4.4.4.8 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือผลรวมระยะเวลาการเคลื่อนที่ของครนทุกตัวและระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 4-S2 คือ เลข 4 แสดงถึงแบบจำลองที่ 4 และ S2 แสดงถึงโจทย์ปัญหามิติขนาดเล็กข้อที่ 2

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหามิติเล็ก

| โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก | ปริมาณเรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครน (NOQ) | ช่วงเวลาทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|--------------------|------------|-------------|----------------|---------------------|---------|-----------------|
| 4-S1 | เรือ 10 ลำ | 12 | 9 | 7 | 6 | 00.00.08 |
| 4-S2 | เรือ 12 ลำ | 12 | 9 | 9 | 7 | 00.00.51 |
| 4-S3 | เรือ 10 ลำ | 12 | 9 | 8 | 7 | 00.00.27 |

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

| โจทย์ปัญหา ขนาดเล็ก | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนเครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 4-S4 | เรือ 12 ลำ | 12 | 9 | 8 | 6 | 00.00.56 |
| 4-S5 | เรือ 11 ลำ | 12 | 9 | 7 | 9 | 00.00.22 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 4-S5 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 4-S4 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนเครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหามีขนาดเล็ก จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจน

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดเล็กของแบบจำลองที่ 3 กับแบบจำลองที่ 4 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 4 แต่ละช่วงเวลาที่เรือต้องการเครนนั้นจะต้องมีเครนทำงานไม่เท่ากันทุกช่วงเวลา ซึ่งระยะเวลาในการคำนวณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของตำแหน่งที่เรือต้องการเครน

โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 4-M2 คือ เลข 4 แสดงถึงแบบจำลองที่ 4 และ M2 แสดงถึงโจทย์ปัญหากลางข้อที่ 2

ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหากลาง

| โจทย์ปัญหา ขนาดกลาง | ปริมาณ เรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนเครน (NOQ) | ช่วงเวลา ทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|------------------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 4-M1 | เรือ 23 ลำ | 12 | 9 | 14 | 12 | 00.01.54 |
| 4-M2 | เรือ 21 ลำ | 12 | 9 | 17 | 13 | 00.01.03 |
| 4-M3 | เรือ 31 ลำ | 12 | 9 | 18 | 14 | 00.01.11 |
| 4-M4 | เรือ 21 ลำ | 15 | 10 | 15 | 28 | 00.08.44 |
| 4-M5 | เรือ 26 ลำ | 15 | 10 | 24 | 33 | 00.23.31 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 4-M5 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 4-M3 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนเครน และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหากลาง สามารถเห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจนมากขึ้น ทำให้ทราบว่านอกจากปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนเครน และช่วงเวลา จะส่งผลต่อผลลัพธ์แล้ว ขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่ายังส่งผลต่อระยะเวลาคำนวณด้วย ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นคาดว่า เรือที่เข้ามาเทียบท่ายังมีความต้องการเครนน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกของเครนมากเท่านั้น

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดกลางของแบบจำลองที่ 3 กับแบบจำลองที่ 4 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 4 แต่ละเวลาที่เรือต้องการครุณนั้นจะต้องมีครุณทำงานไม่เท่ากันทุกช่วงเวลา ซึ่งระยะเวลาในการคำนวณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของตำแหน่งที่เรือต้องการครุณ

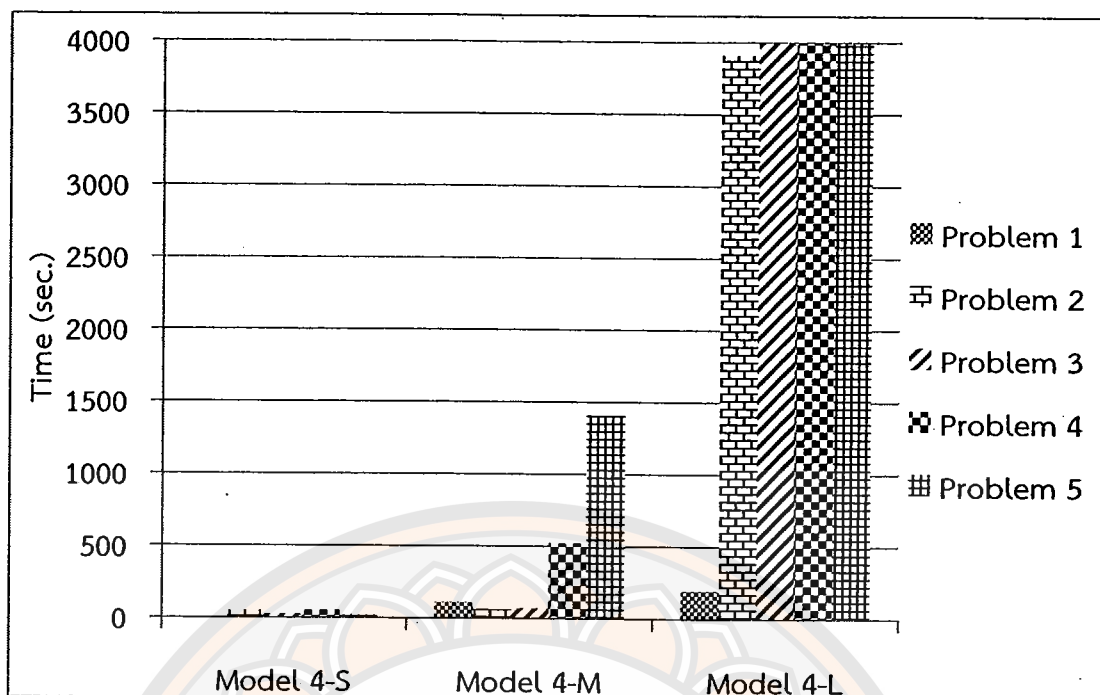
โดยมีการกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 4-L2 คือ เลข 4 แสดงถึงแบบจำลองที่ 4 และ L2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

| โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ | ปริมาณเรือ | ท่าเรือ (S) | จำนวนครุณ (NOQ) | ช่วงเวลาทั้งหมด (T) | ผลลัพธ์ | เวลา (hr.min.s) |
|--------------------|------------|-------------|-----------------|---------------------|---------------|-----------------|
| 4-L1 | เรือ 75 ลำ | 20 | 15 | 48 | 35 | 00.03.15 |
| 4-L2 | เรือ 47 ลำ | 20 | 15 | 39 | 52 | 01.05.11 |
| 4-L3 | เรือ 83 ลำ | 20 | 15 | 98 | out of memory | 09.01.07 |
| 4-L4 | เรือ 78 ลำ | 20 | 15 | 98 | out of memory | 28.33.57 |
| 4-L5 | เรือ 66 ลำ | 20 | 15 | 98 | out of memory | 23.29.41 |

จากผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมากเท่าไร จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 4-L2 มีปริมาณเรื่อน้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ 4-L1 แต่มีค่าผลลัพธ์มากกว่า เพราะเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีการกระจายตำแหน่งมาก และระยะเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครุณ และช่วงเวลา เนื่องจากปัญหาขนาดใหญ่สามารถเห็นความแตกต่างของระยะเวลาในการคำนวณชัดเจนมากขึ้น ทำให้ทราบว่านอกจากปริมาณของเรือ ท่าเรือ จำนวนครุณ และช่วงเวลา จะส่งผลต่อผลลัพธ์แล้ว ขนาดของเรือที่เข้ามาเทียบท่ายังส่งผลต่อระยะเวลาคำนวณด้วย ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นคาดว่า เรือที่เข้ามาเทียบท่ายังมีความต้องการครุณน้อยเท่าไร ยิ่งเพิ่มทางเลือกของครุณมากเท่านั้น

จากการเปรียบเทียบปัญหาขนาดใหญ่ของแบบจำลองที่ 3 กับแบบจำลองที่ 4 ซึ่งใช้ข้อมูลเดียวกันแต่แบบจำลองที่ 4 แต่ละเวลาที่เรือต้องการครุณนั้นจะต้องมีครุณทำงานไม่เท่ากันทุกช่วงเวลา ซึ่งระยะเวลาในการคำนวณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของตำแหน่งที่เรือต้องการครุณ และสามารถบอกได้ว่าระยะเวลาในการคำนวณของแบบจำลองที่ 4 จะมากกว่าแบบจำลองที่ 3 ยกเว้นในกรณี ปัญหาขนาดใหญ่หลายๆ ระยะเวลาในการคำนวณที่ได้ ก่อน Out of memory ไม่สามารถบอกได้ว่าค่าการคำนวณใกล้ที่จะได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้ว ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาที่ 4-L3



รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 4

จากกราฟระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูปของปัญหาขนาดเล็ก และปัญหาขนาดกลางไม่มีความแตกต่างกันเท่าไร แต่ปัญหาขนาดใหญ่ระยะเวลาในการหาคำตอบ โดยโปรแกรมสำเร็จรูปจะเห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหา และปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น

ตารางที่ 4.13 แสดงผลลัพธ์ของแต่ละโจทย์ปัญหาทั้งสามขนาดและของแต่ละแบบจำลอง

| Model | ข้อที่ | ผลลัพธ์โจทย์ปัญหา | | |
|---------|--------|-------------------|----------|---------------|
| | | ขนาดเล็ก | ขนาดกลาง | ขนาดใหญ่ |
| Model 1 | 1 | 5 | 29 | 85 |
| | 2 | 6 | 11 | 154 |
| | 3 | 7 | 26 | 258 |
| | 4 | 4 | 51 | 184 |
| | 5 | 9 | 86 | 137 |
| Model 2 | 1 | 14 | 44 | 93 |
| | 2 | 18 | 17 | 160 |
| | 3 | 12 | 36 | 276 |
| | 4 | 7 | 64 | 197 |
| | 5 | 14 | 101 | 151 |
| Model 3 | 1 | 7 | 12 | 36 |
| | 2 | 9 | 6 | 49 |
| | 3 | 5 | 15 | out of memory |
| | 4 | 5 | 23 | out of memory |
| | 5 | 6 | 29 | out of memory |
| Model 4 | 1 | 6 | 12 | 35 |
| | 2 | 7 | 13 | 52 |
| | 3 | 7 | 14 | out of memory |
| | 4 | 6 | 28 | out of memory |
| | 5 | 9 | 33 | out of memory |

ตารางที่ 4.14 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบของแต่ละโจทย์ปัญหาและ
ของแต่ละแบบจำลอง

| Model | ข้อที่ | เวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบของโจทย์ปัญหา (hr.min.s) | | |
|---------|--------|--|----------|----------|
| | | ขนาดเล็ก | ขนาดกลาง | ขนาดใหญ่ |
| Model 1 | 1 | 00.00.05 | 00.00.13 | 00.00.20 |
| | 2 | 00.00.05 | 00.00.06 | 00.00.17 |
| | 3 | 00.00.06 | 00.00.08 | 00.03.03 |
| | 4 | 00.00.11 | 00.00.19 | 00.03.30 |
| | 5 | 00.00.05 | 00.00.03 | 00.02.17 |
| Model 2 | 1 | 00.00.03 | 00.00.05 | 00.00.23 |
| | 2 | 00.00.06 | 00.00.06 | 00.00.22 |
| | 3 | 00.00.03 | 00.00.11 | 00.04.32 |
| | 4 | 00.00.03 | 00.00.11 | 00.08.01 |
| | 5 | 00.00.03 | 00.00.05 | 00.03.59 |
| Model 3 | 1 | 00.00.08 | 00.00.50 | 00.05.31 |
| | 2 | 00.00.1.01 | 00.00.42 | 01.22.57 |
| | 3 | 00.00.09 | 00.00.36 | 22.54.00 |
| | 4 | 00.00.28 | 00.10.44 | 22.37.32 |
| | 5 | 00.00.05 | 00.04.16 | 21.05.59 |
| Model 4 | 1 | 00.00.08 | 00.01.54 | 00.03.15 |
| | 2 | 00.00.51 | 00.01.03 | 01.05.11 |
| | 3 | 00.00.27 | 00.01.11 | 09.01.07 |
| | 4 | 00.00.56 | 00.08.44 | 28.33.57 |
| | 5 | 00.00.22 | 00.23.31 | 23.29.41 |

**หมายเหตุ เวลาที่ได้ในการคำนวณหาคำตอบมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ช่วยในการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ แก้ไขปัญหาการเคลื่อนที่ของเครนในสถานการณ์จำลองต่างๆ ดังนี้

โดยลักษณะของปัญหามี 3 ขนาด คือปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่

ปัญหาขนาดเล็ก มีเรือ 10-12 ลำ มีเครน 9 ตัว

ปัญหาขนาดกลาง มีเรือ 20-30 ลำ มีเครน 9-10 ตัว

ปัญหาขนาดใหญ่ มีเรือ 40-100 ลำ มีเครน 15 ตัว

5.1.1 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด โดยให้เครนทำงานตามความกว้างของเรือที่เข้ามาเทียบท่า เช่น เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความยาวเท่ากับ 4 ท่า ดังนั้นเรือลำนี้จึงต้องใช้เครน 4 ตัว เป็นต้น

5.1.2 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด โดยให้เครนทำงานตามความกว้างของเรือที่เข้ามาเทียบท่าและมีการกำหนดจุดเริ่มต้นของเครน แบบสุ่ม

5.1.3 แบบจำลองเพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครนน้อยที่สุด โดยที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการเครนบางตำแหน่งเท่านั้น และแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการเครนนั้นจะต้องมีเครนทำงานเท่ากันทุกช่วงเวลา และมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของเครน แบบสุ่ม

5.1.4 แบบจำลองโดยที่เรือที่เข้ามาเทียบท่ามีความต้องการเครนบางตำแหน่งเท่านั้น เรือที่ต้องการเครนนั้นจะมีเครนทำงานไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา และมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของเครน แบบสุ่มได้ให้ผลการทดลองออกมา

จากผลการทดลองจะได้ค่าผลรวมการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุดของเครนทุกตัว โดยค่าที่ได้แสดงออกมาเป็นเลขจำนวนเต็ม และแบบจำลองสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เกือบทุกโจทย์ปัญหา โดยระยะเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหา และปัญหาขนาดใหญ่บางข้อคอมพิวเตอร์ทั่วไปมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการหาคำตอบ ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณน้อยที่สุดเป็นปัญหาขนาดเล็กซึ่งใช้ระยะเวลาในการคำนวณไม่ถึง 1 วินาที ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณมากที่สุดเป็นปัญหาขนาดใหญ่ และไม่สามารถระบุเวลาที่ชัดเจนได้ เนื่องจากเกิดกรณี out of memory

5.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด

5.2.1 ปัจจัยที่ทำให้ใช้เวลานานในการหาคำตอบ คือปริมาณเรือที่เข้ามาเทียบท่า ช่วงเวลาทั้งหมดในการทำงานของเครน ปริมาณความต้องการเครนของเรือ รวมไปถึงในกรณีความซับซ้อนของตำแหน่งที่เรือเทียบท่า ในกรณี out of memory สาเหตุมาจากโจทย์ปัญหามีขนาดใหญ่เกินกว่าความสามารถของคอมพิวเตอร์ เช่น โจทย์ปัญหาที่ 3-L3 และ 4-L3

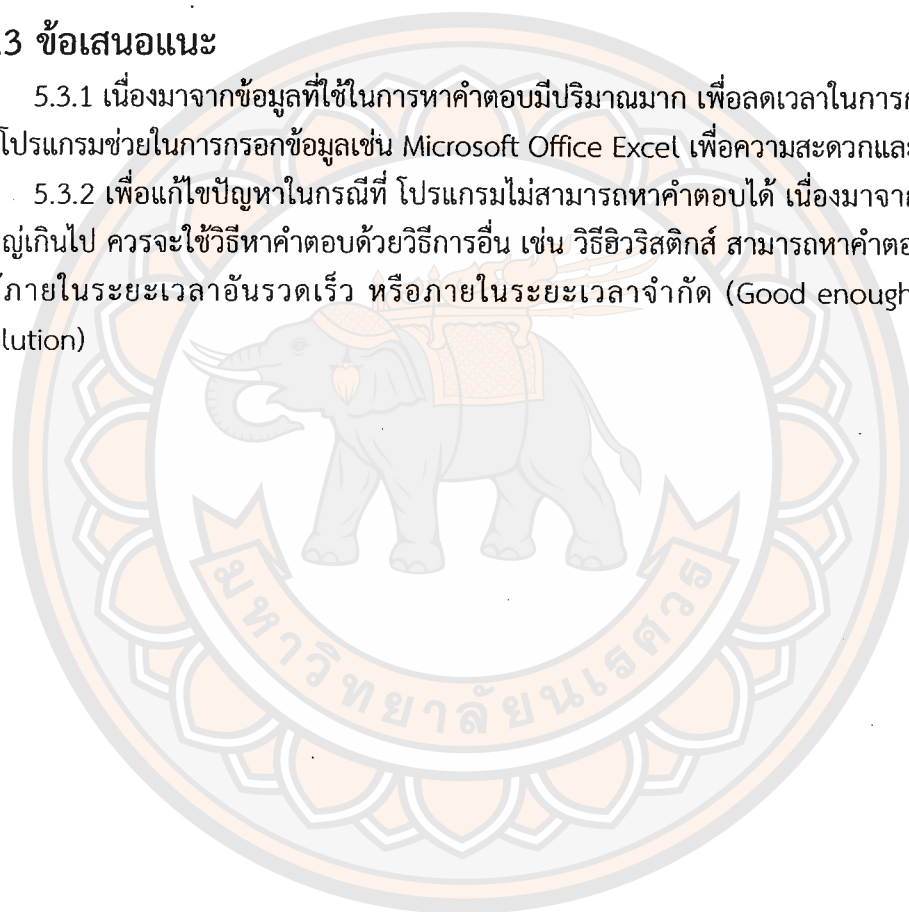
5.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ คือ ปริมาณเรือที่เข้ามาเทียบท่า และการกระจายตัวของเรือที่เข้ามาเทียบท่า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปริมาณเรือที่เข้ามาเทียบท่า และการกระจายตัวของเรือมากเท่าไร ยิ่งส่งผลต่อผลลัพธ์ ทำให้ผลลัพธ์แปรผันตามปัจจัยไปด้วย

สรุปได้ว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการกำหนดการทำงานของเครนในอุตสาหกรรมท่าเรือ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการวางแผน ถ้าการวางแผนในอุตสาหกรรมท่าเรือมีความดีมากสามารถใช้แบบจำลองนี้เพื่อช่วยในการวางแผนได้ และสามารถใช้เวลาในการหาผลลัพธ์ได้รวดเร็ว หากเป็นการวางแผนระยะยาวมาก เช่น การวางแผนตลอดทั้งปี อาจจะใช้ระยะเวลาในการหาผลลัพธ์นาน หรืออาจจะไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถของคอมพิวเตอร์ที่ใช้และปริมาณข้อมูล เป็นต้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการหาคำตอบมีปริมาณมาก เพื่อลดเวลาในการกรอกข้อมูลควรใช้โปรแกรมช่วยในการกรอกข้อมูลเช่น Microsoft Office Excel เพื่อความสะดวกและรวดเร็ว

5.3.2 เพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีที่ โปรแกรมไม่สามารถหาคำตอบได้ เนื่องจากปัญหามีขนาดใหญ่เกินไป ควรจะใช้วิธีหาคำตอบด้วยวิธีการอื่น เช่น วิธีฮิวริสติกส์ สามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดีได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว หรือภายในระยะเวลาจำกัด (Good enough fast enough solution)



เอกสารอ้างอิง

- กรภัทร์ สุทธิธารา. (2547). Basic & Advanced Excel 2003. (พิมพ์ครั้งที่ 1). บริษัท ไอทีซี อินโฟติสปีวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด.
- กิตติชัย มะณีแสง, เจนณรงค์ ปวงขันคำ. (2553). การใช้แบบจำลองการวางแผนเชิงคณิตศาสตร์ช่วยในการวางแผนการผลิตน้ำมันปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติ: รายงานการวิจัยการวิจัยการดำเนินงาน. หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- นราศรี ไวนิชกุล. (2522). การวิจัยชิ้นดำเนินงาน 1. รพ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นเมื่อ 19 ตุลาคม 2553,
จาก <http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp?code=OR233>.
- รองศาสตราจารย์ ดร. ระห์ตร โรจนประดิษฐ์. (2553). กรณีศึกษา ท่าเรือกรุงเทพและเขตเศรษฐกิจพระรามสาม. 35
- รองวุฒิ วีรบุตร. (พฤษภาคม 2553). เพราะโลกร้อนขึ้นเรือถึงต้องวิ่งช้าลง. เนชั่นสุดสัปดาห์. 27
- เวชยันต์ สังข์จ้อย. (2551). ล้วงลึก! เขียนโปรแกรมฐานข้อมูลด้วย Excel (Data Base Programming with Excel). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุทธิมา ชำนาญเวช. (2552). การวิจัยดำเนินงาน. (ฉบับพิมพ์ที่ 1). กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์จำกัด.
- เอราวิล ถาวร, หนึ่งฤทัย ทิพย์ใหญ่, กนกพร อารยิกานนท์. (2550). การแก้ปัญหาการจัดลำดับงานของ เครื่องโดยใช้โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์: รายงานการวิจัย การวิจัยการดำเนินงาน. หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- Zhi-Hua Hu.(2010). A Quay crane Assignment approach for berth allocation problem in container terminal.



ภาคผนวก ก

โจทย์ปัญหาในการคำนวณแต่ละแบบจำลอง

มหาวิทยาลัยรัตนนคร

1. ข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป

จากโปรแกรมสำเร็จรูปสามารถดูค่าผลลัพธ์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบได้

| Value |
|---------------------------------------|
| solution (optimal) with objective 151 |

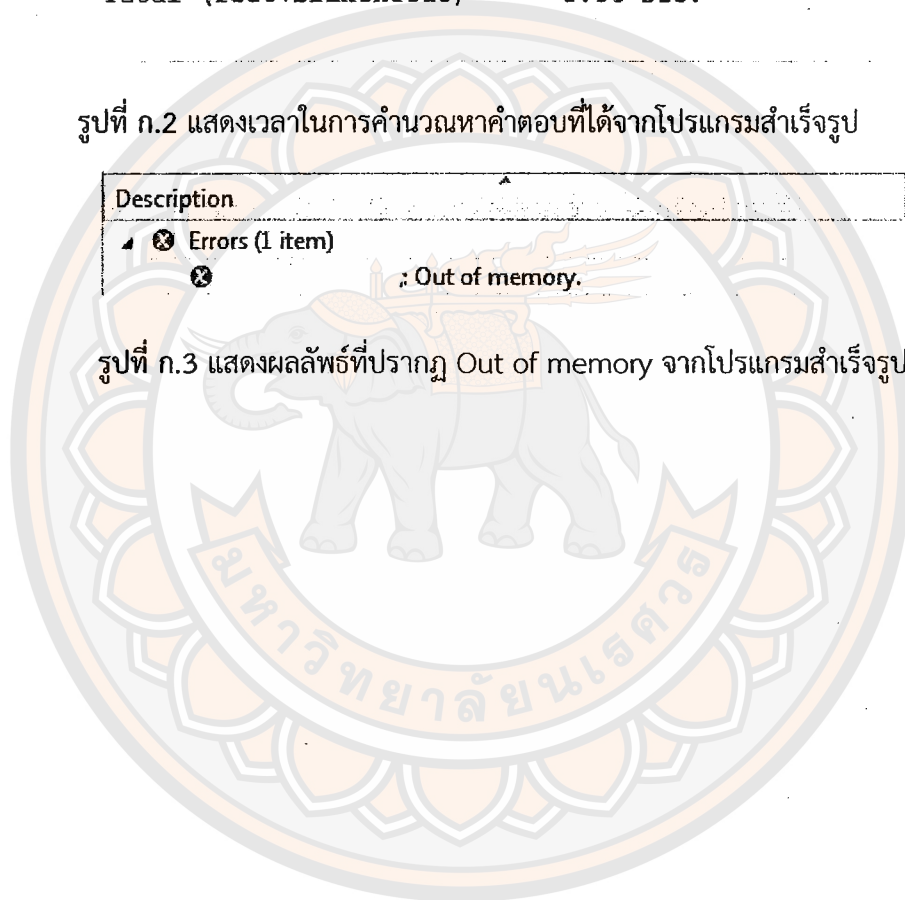
รูปที่ ก.1 แสดงคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป

| | | |
|-------------------------|---|-----------|
| Real time | = | 0.84 |
| Sync time (average) | = | 0.05 |
| Wait time (average) | = | 0.29 |
| ----- | | |
| Total (root+branch&cut) | = | 3.56 sec. |

รูปที่ ก.2 แสดงเวลาในการคำนวณหาคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป

| Description |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ✖ Errors (1 item) ✖ ; Out of memory. |

รูปที่ ก.3 แสดงผลลัพธ์ที่ปรากฏ Out of memory จากโปรแกรมสำเร็จรูป



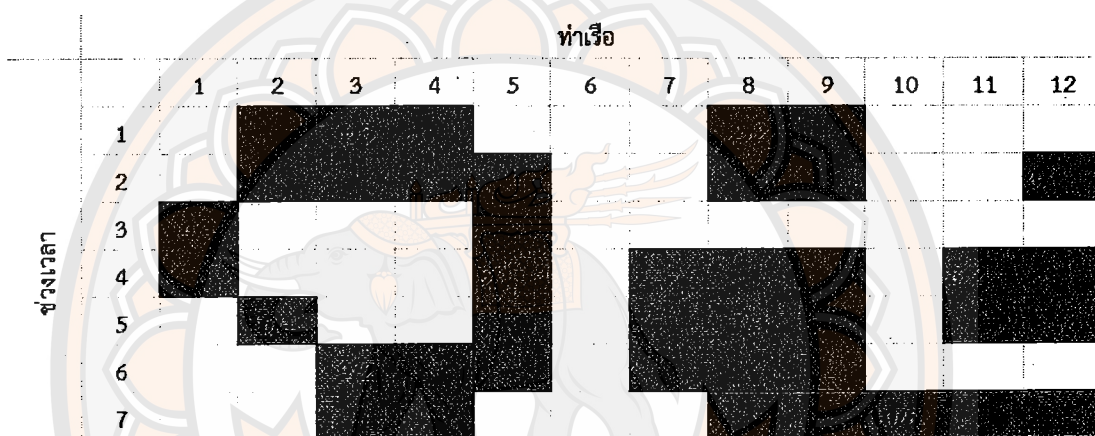
2. โจทย์ปัญหา

ในส่วนนี้จะแสดงโจทย์ปัญหาในการคำนวณแต่ละแบบจำลอง เป็นแผนภูมิรูปภาพของการเทียบท่าเรือในช่วงเวลาต่างๆ

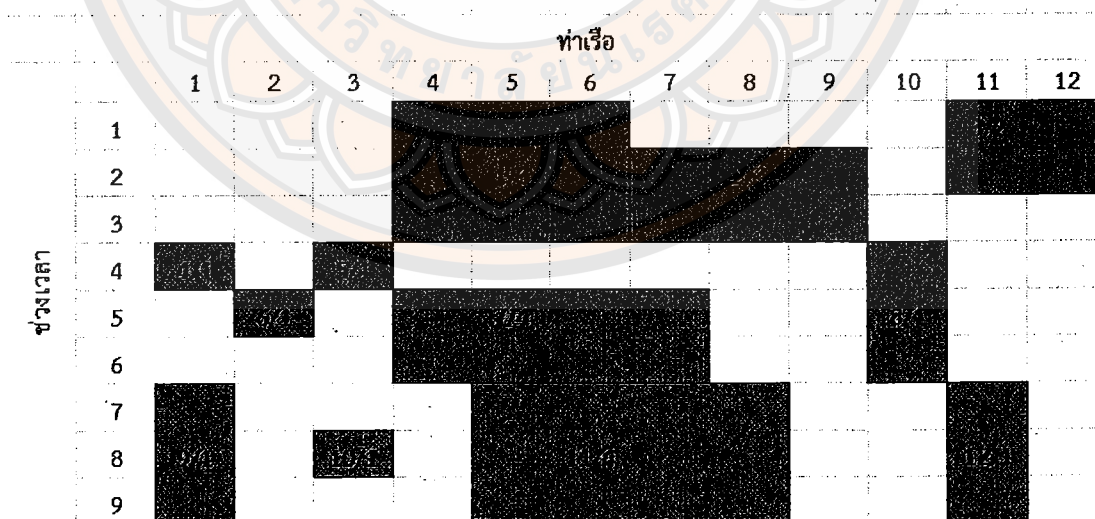
2.1 แบบจำลองที่ 1

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ Model 1 ซึ่งเป็นแผนภูมิรูปภาพแสดงการเทียบท่าของเรือในช่วงเวลาต่างๆ และการเข้าเทียบท่าของเรือถูกจัดลำดับไว้ก่อนแล้ว เช่นในแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (1-S1) 1/3 คือเรือลำที่ 1 มีความต้องการเครน 3 ตัว จะเข้ามาเทียบท่าตั้งแต่ท่าที่ 2 ถึงท่าที่ 4 เป็นต้น

2.1.1 แบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก



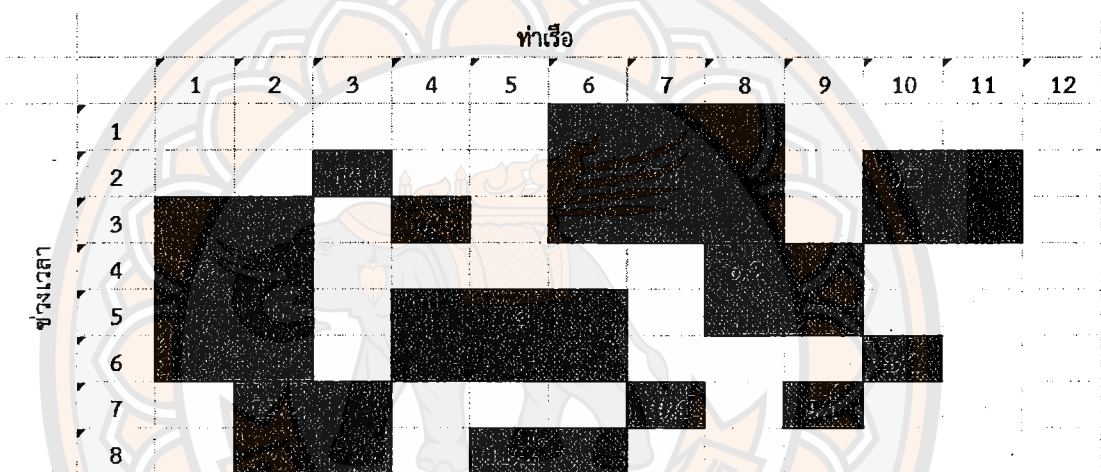
รูปที่ ก.4 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-S1)



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



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



รูปที่ ก.7 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (1-S4)

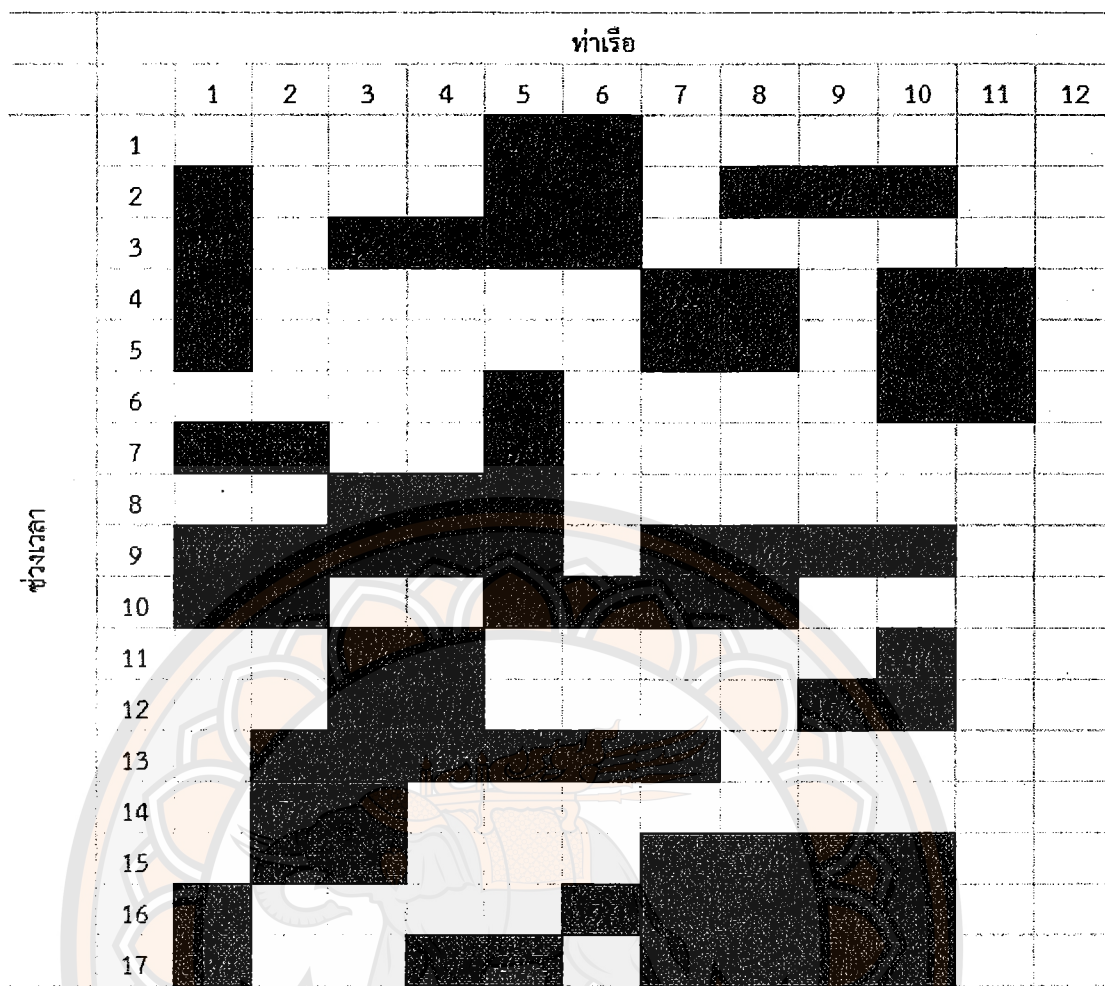


รูปที่ ก.8 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (1-S5)

2.1.2 แบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 1 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 4 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 6 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 7 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 8 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 11 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 12 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 14 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

รูปที่ ก.9 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-M1)



รูปที่ ก.10 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (1-M2)

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 1 | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | | | | | ■ |
| | 4 | ■ | | | ■ | | | | | ■ | ■ | | |
| | 5 | | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | 6 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 7 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 8 | ■ | | | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | | ■ | ■ | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| | 12 | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 13 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 14 | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | |
| | 15 | ■ | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 16 | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 17 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 18 | ■ | | | | | | | | | | | |

รูปที่ ก.11 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (1-M3)

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ช่วงเวลา | 1 | | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | |
| | 2 | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | |
| | 3 | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | |
| | 6 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | 7 | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 8 | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | | | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 11 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 12 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 14 | | | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 15 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |

รูปที่ ก.12 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (1-M4)

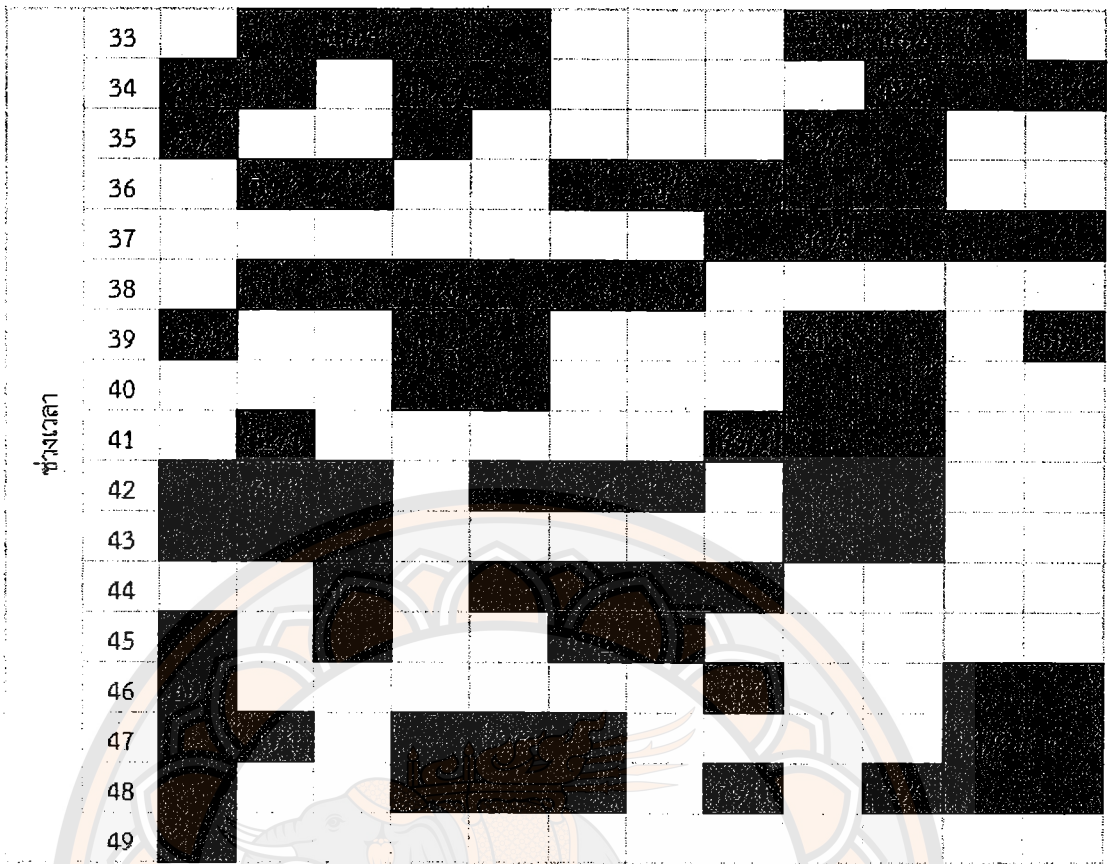
| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ทางเวลา | 1 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 4 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 6 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 7 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 8 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 11 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 12 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 14 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 15 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 16 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 17 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 18 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 19 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 20 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 21 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 22 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 23 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 24 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

รูปที่ ก.13 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (1-M5)

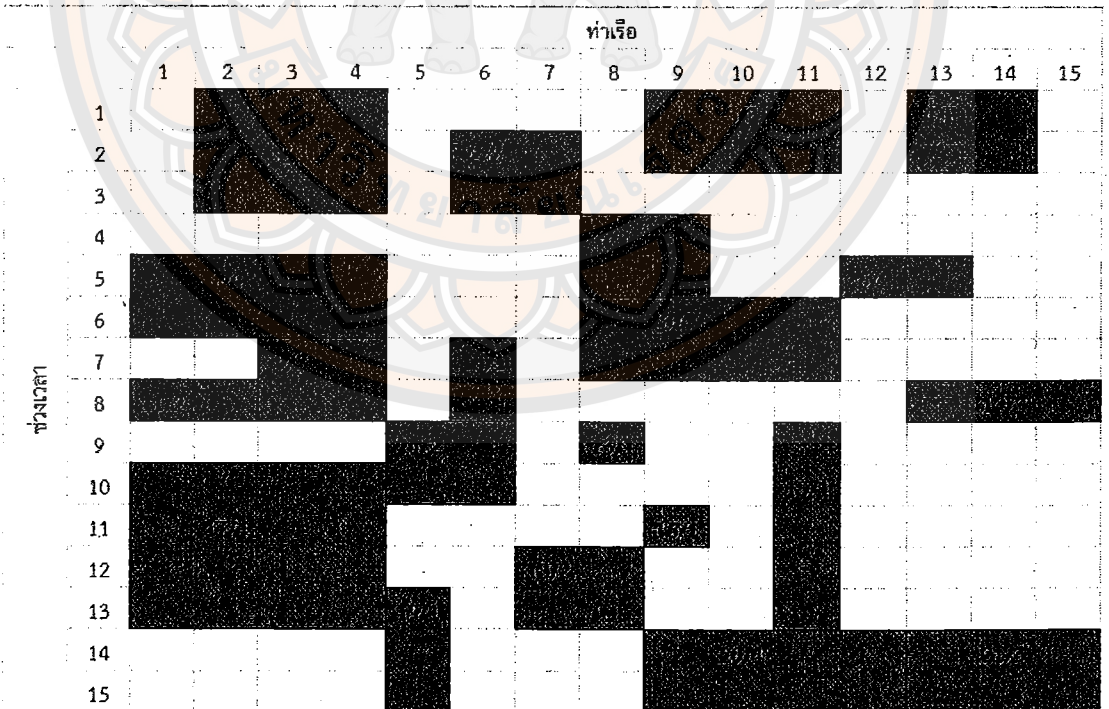
2.1.3 แบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 1 | | ■ | | ■ | | | ■ | | | | ■ | |
| | 2 | | ■ | | | ■ | | ■ | | | | ■ | |
| | 3 | ■ | | | ■ | | ■ | | | | | | |
| | 4 | ■ | | | ■ | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 5 | ■ | | ■ | | | | | ■ | | | | |
| | 6 | | | | | ■ | | | | | | ■ | |
| | 7 | ■ | ■ | | ■ | | | | | | ■ | | ■ |
| | 8 | ■ | | | | | | ■ | | | | | ■ |
| | 9 | | | | | | | | | ■ | | | |
| | 10 | ■ | | ■ | | | | ■ | | | | | ■ |
| | 11 | ■ | | ■ | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| 13 | ■ | | | | ■ | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | ■ | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| 17 | ■ | | ■ | | | | | | | | | | |
| 18 | ■ | | | | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | |
| 19 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | ■ | | | | | | ■ | ■ | |
| 21 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | |
| ช่วงเวลา | 23 | ■ | | | | | | | | | ■ | ■ | |
| | 24 | ■ | | | | | | | ■ | | | | |
| | 25 | | | | | | | | | | | ■ | |
| | 26 | | | | | | | | | | ■ | ■ | |
| | 27 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 28 | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| | 29 | | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| | 30 | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | 31 | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | 32 | | | | | | | | | | | | |

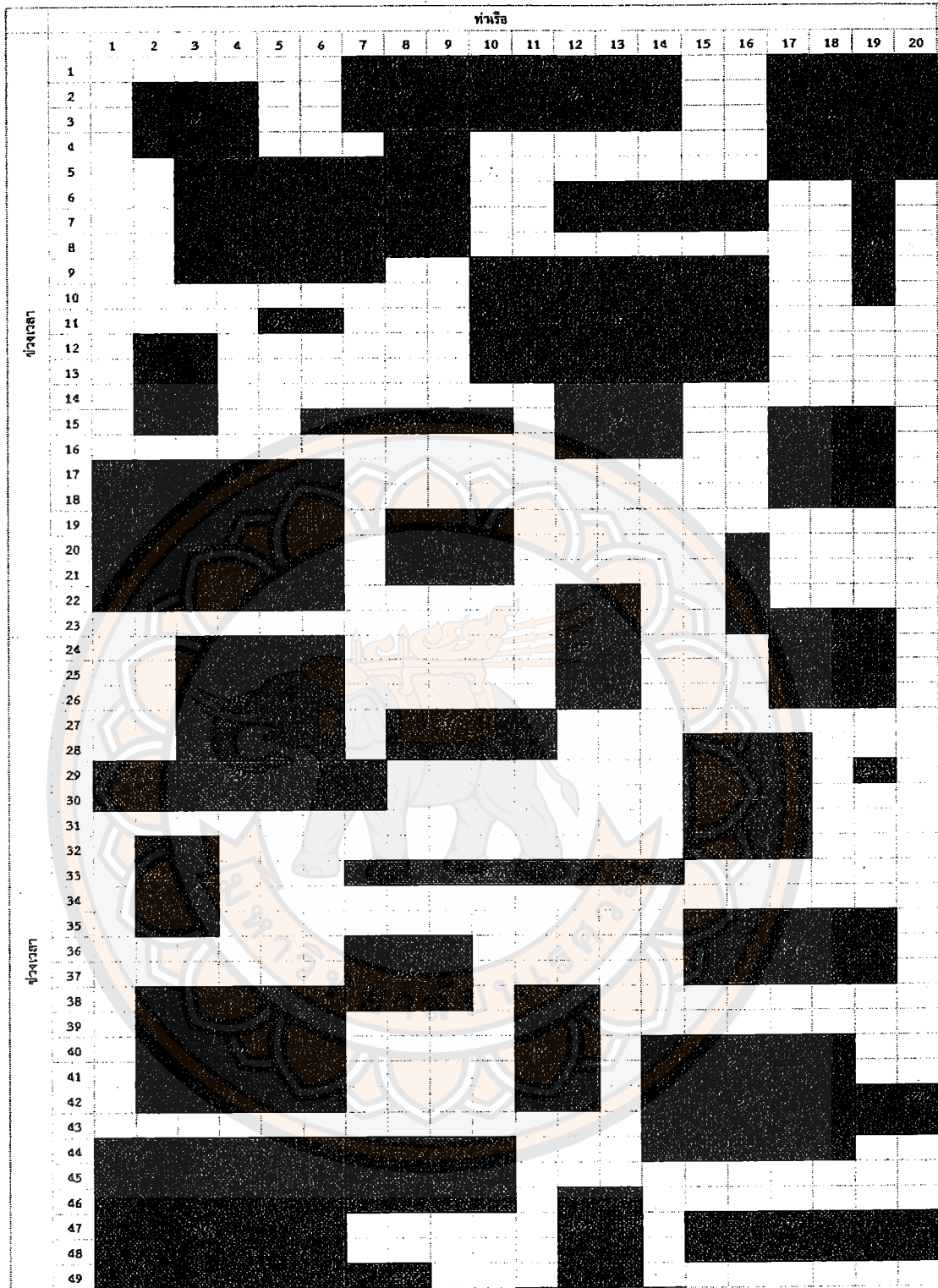
รูปที่ ก.14 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-L1)



รูปที่ ก.14 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-L1)



รูปที่ ก.15 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (1-L2)



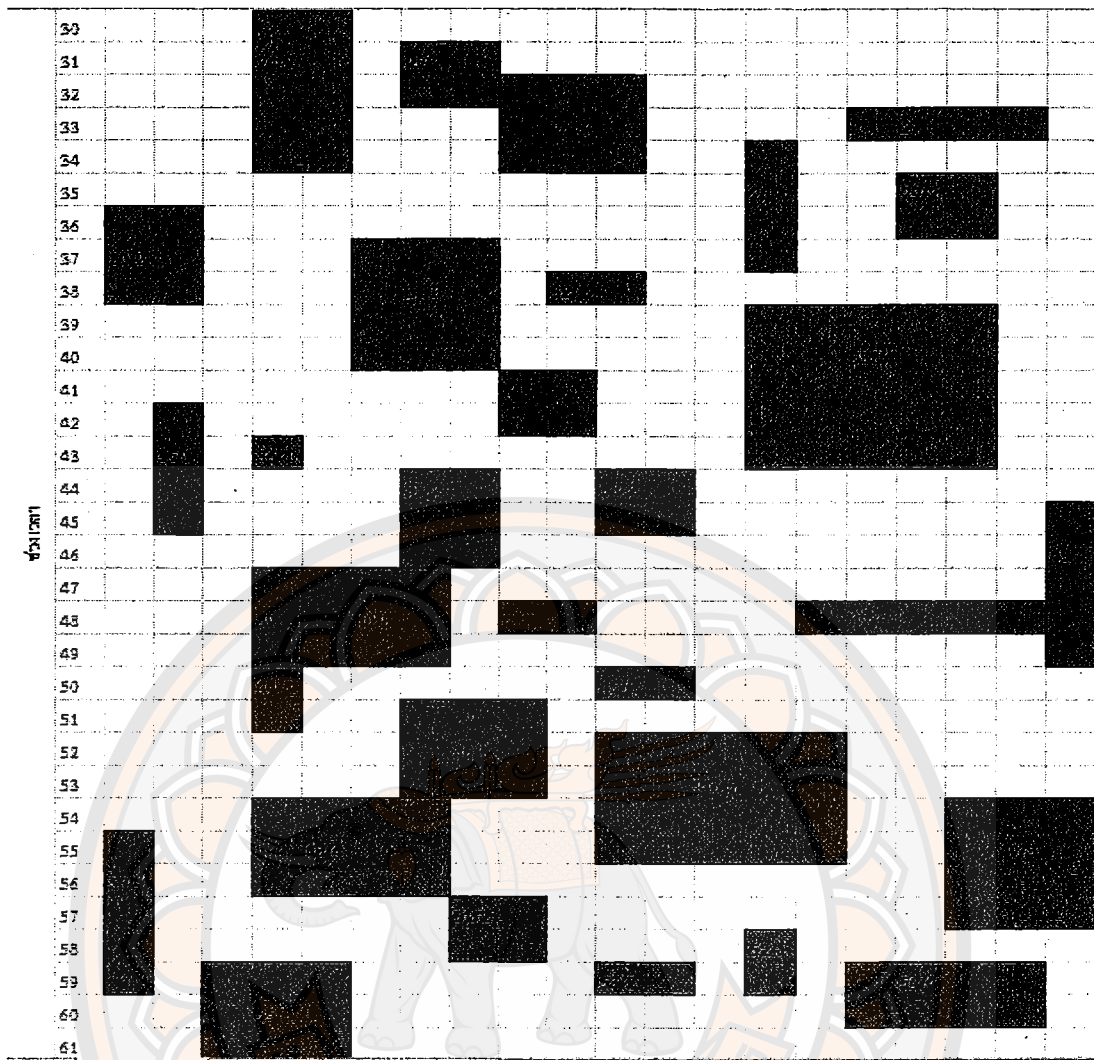
รูปที่ ก.16 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (1-L3)



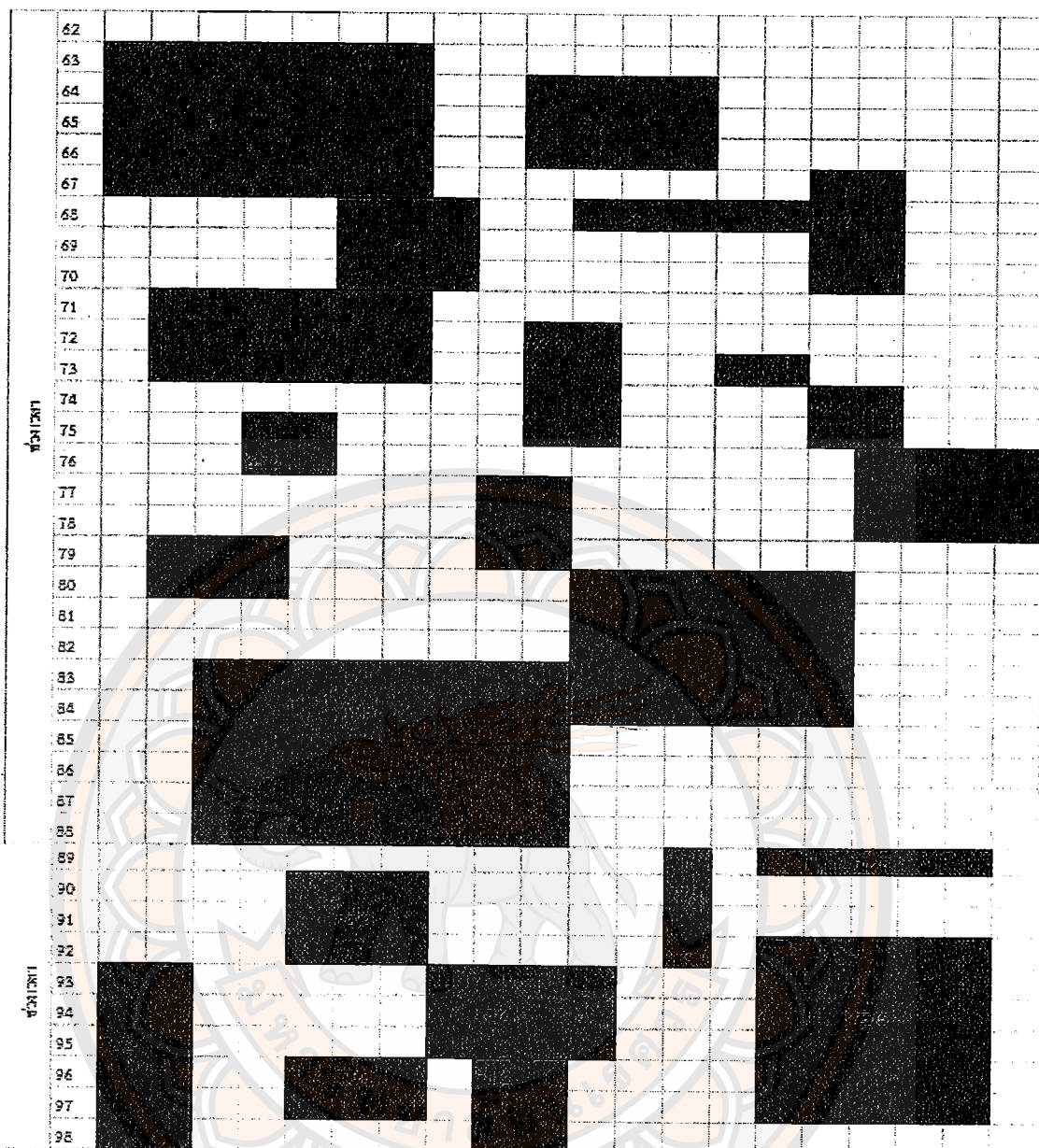
รูปที่ ก.16 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (1-L3)

| | | ตัวเรือ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| 1 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | ช่วงเวลา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

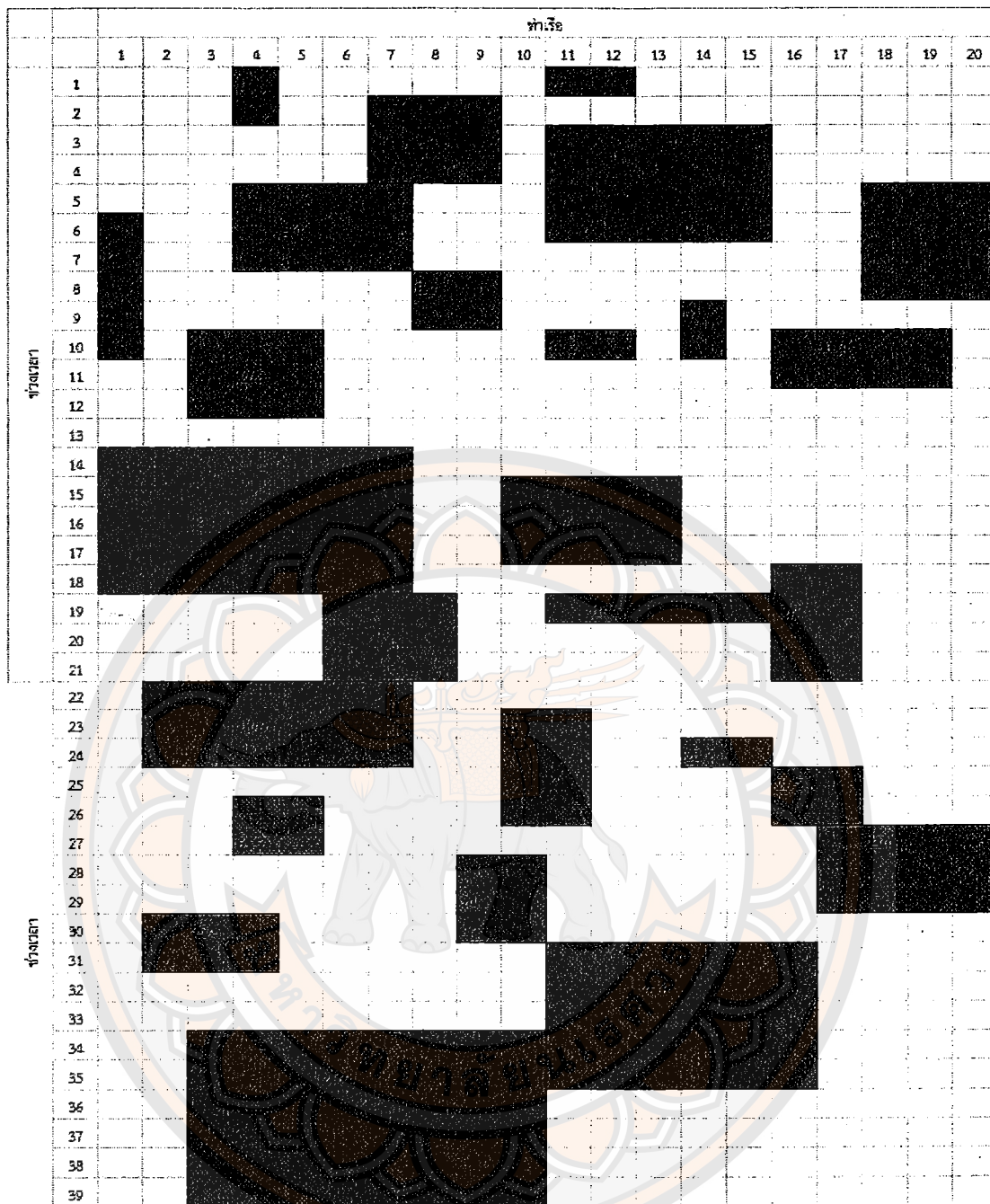
รูปที่ ก.17 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (1-L4)



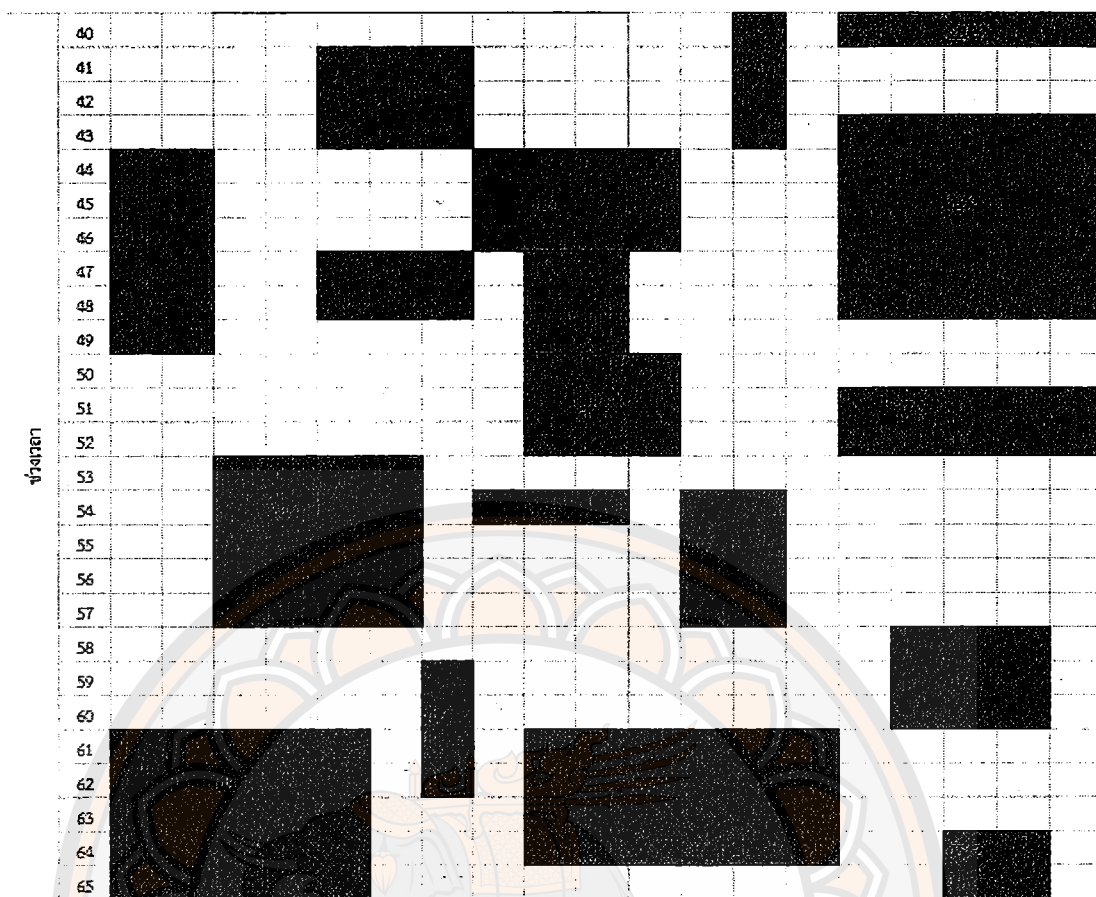
รูปที่ ก.17 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (1-L4)



รูปที่ ก.17 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (1-L4)

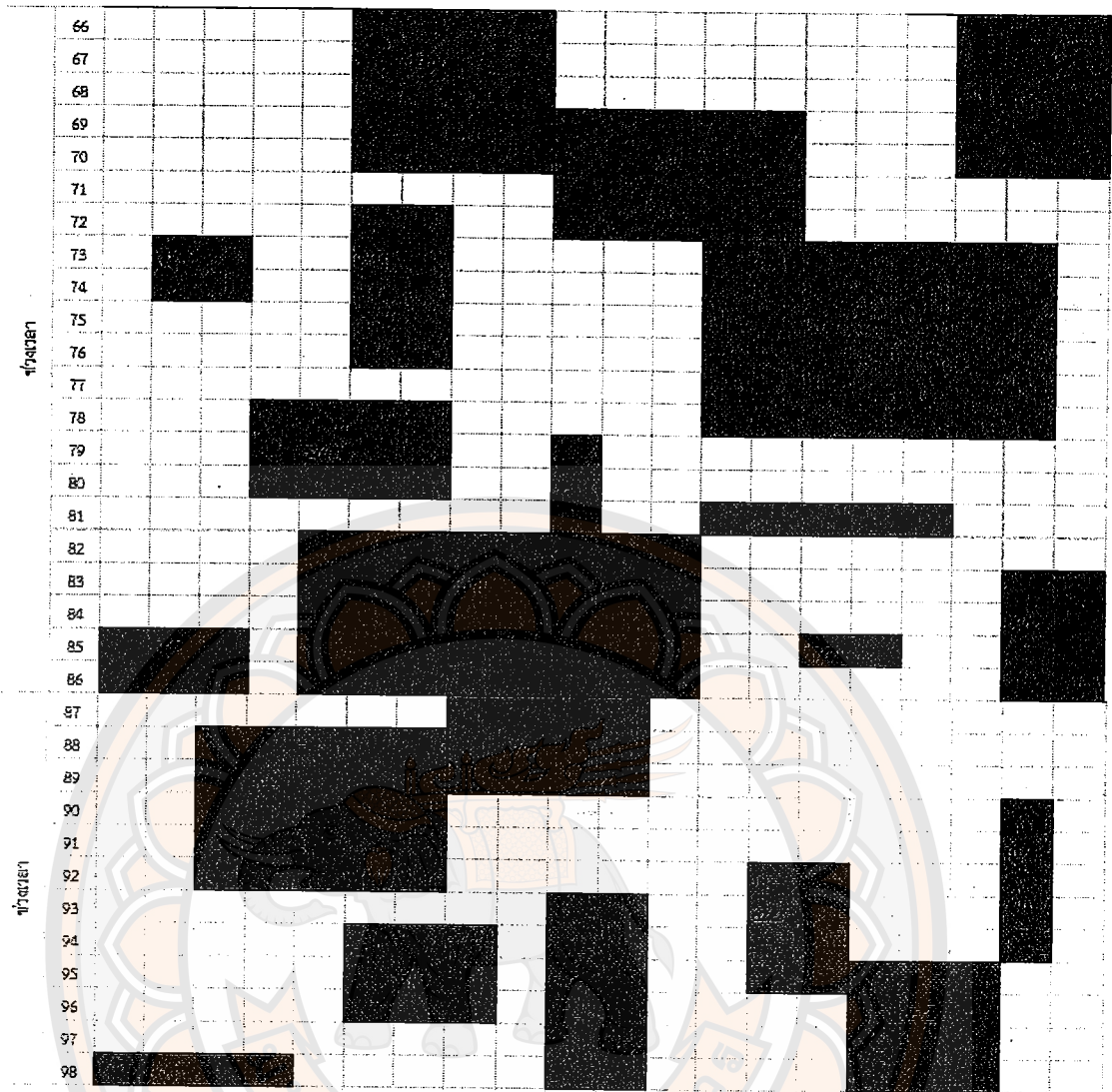


รูปที่ ก.18 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (1-L5)



รูปที่ ก.18 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (1-L5)



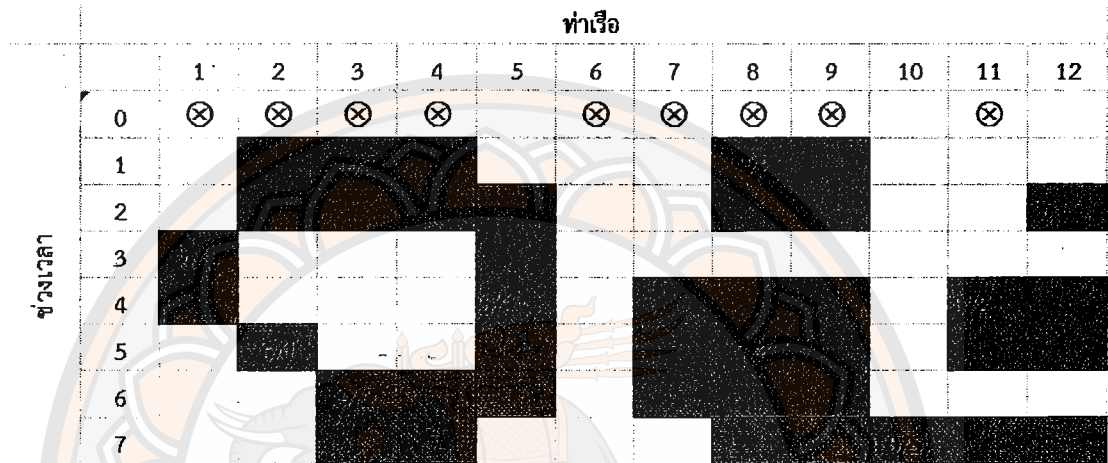


รูปที่ ก.18 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (1-L5)

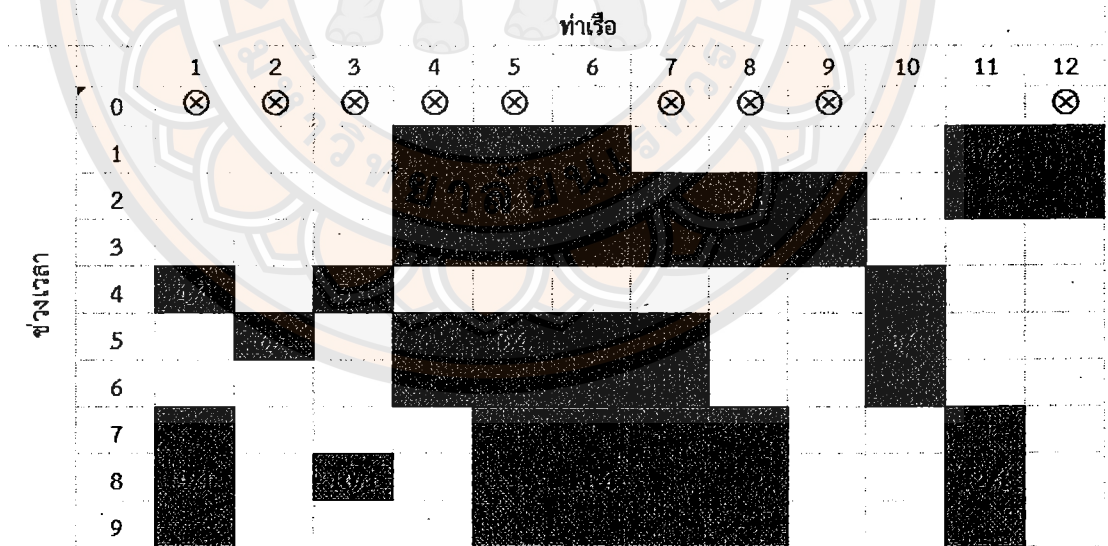
2.2 แบบจำลองที่ 2

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ แบบจำลองที่ 2 ซึ่งเป็นแผนภูมิรูปภาพแสดงการเทียบท่าของเรือในช่วงเวลาต่างๆ การกำหนดจุดเริ่มต้นของเครื่องบินเวลา 0 โดยการท่าเรือหมาย ⊗ ในตำแหน่งท่าเรือและการเข้าเทียบค่าของเรือถูกจัดลำดับไว้ก่อนแล้ว เช่นในแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (2-S1) 1/3 คือเรือลำที่ 1 มีความต้องการเครื่องบิน 3 ตัว จะเข้ามาเทียบท่าตั้งแต่ท่าที่ 2 ถึงท่าที่ 4 เป็นต้น

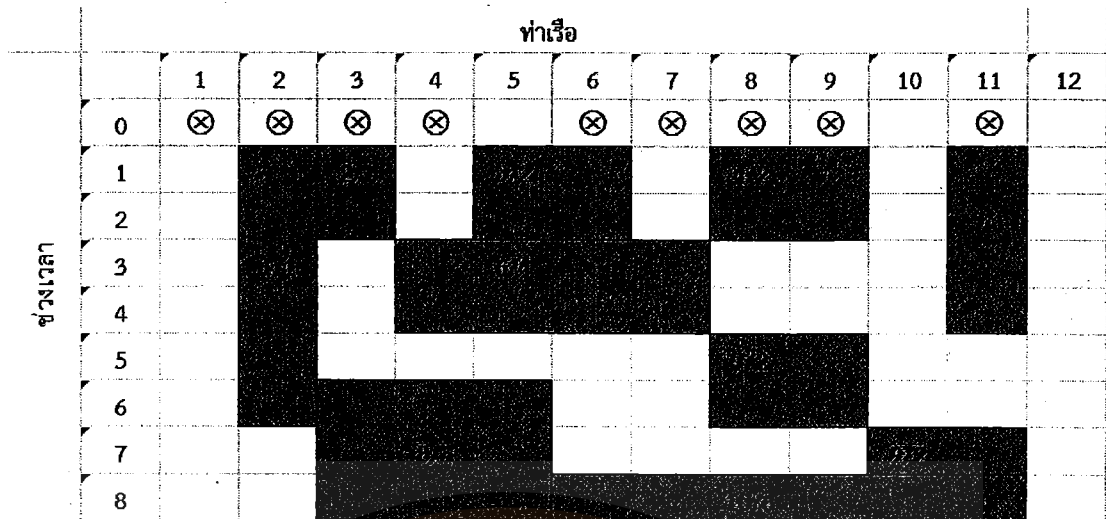
2.2.1 แบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก



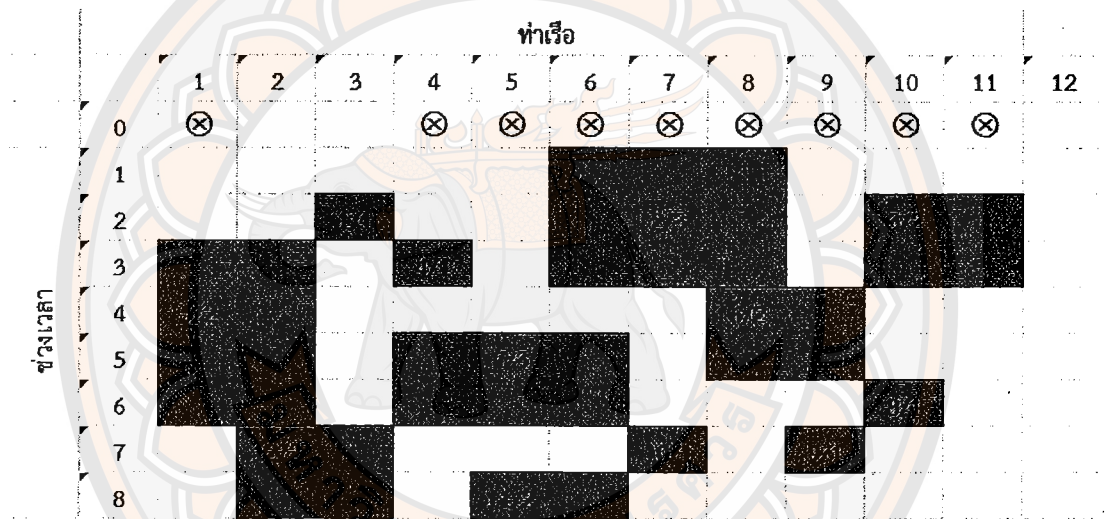
รูปที่ ก.19 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (2-S1)



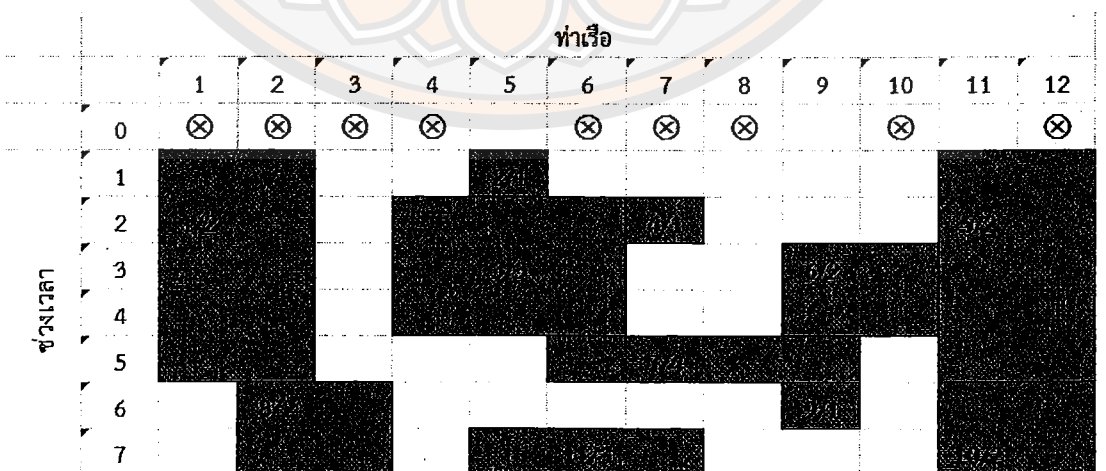
รูปที่ ก.20 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (2-S2)



รูปที่ ก.21 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (2-S3)



รูปที่ ก.22 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (2-S4)

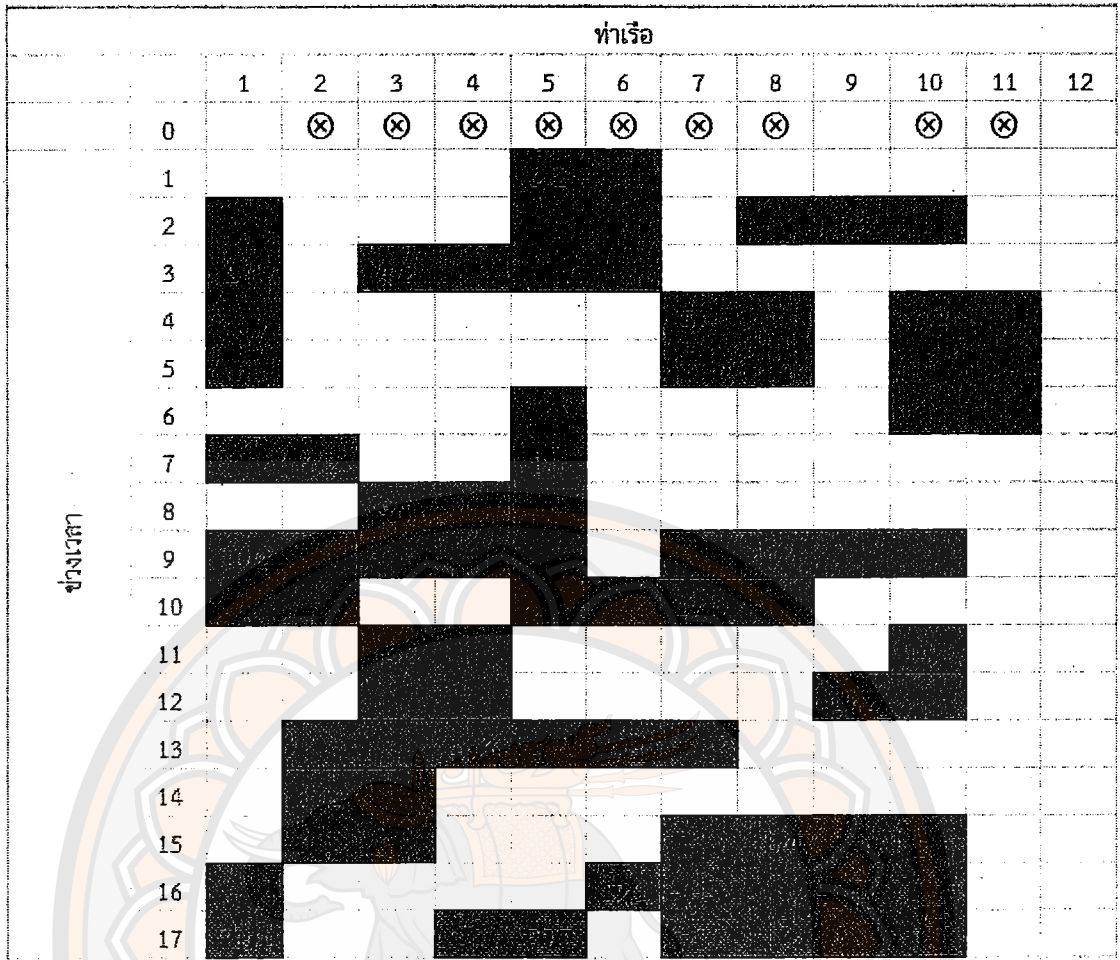


รูปที่ ก.23 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (2-S5)

2.2.2 แบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | |
| | 1 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | 4 | ■ | | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | ■ | | |
| | 6 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | |
| | 7 | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | ■ |
| | 8 | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 9 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | ■ |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| | 11 | ■ | | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 12 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | | |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | ■ | ■ |
| | 14 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ |

รูปที่ ก.24 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (2-M1)



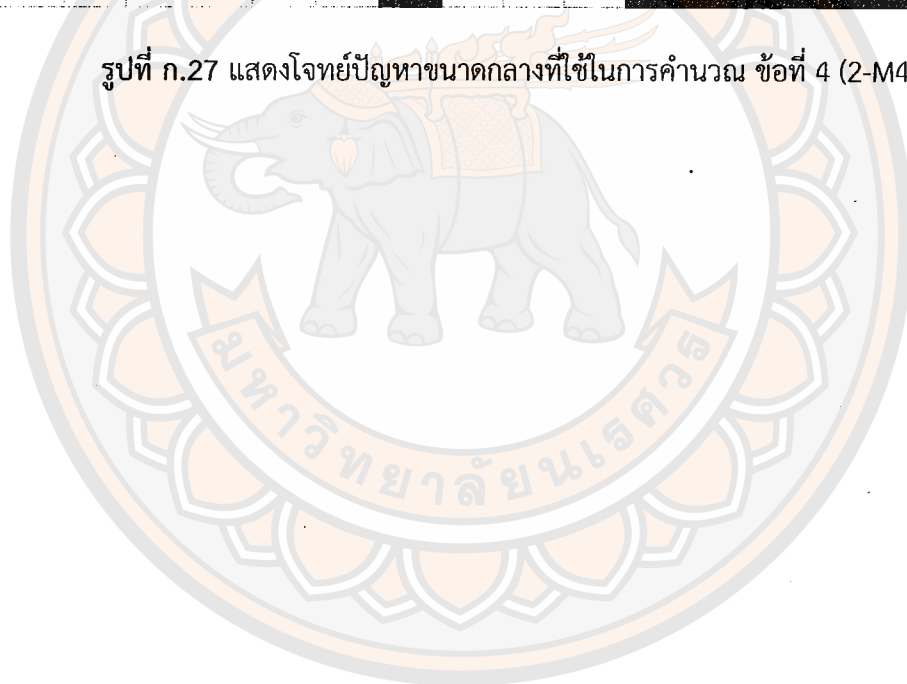
รูปที่ ก.25 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (2-M2)

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ |
| | 1 | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | | | ■ | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 4 | ■ | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| | 5 | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | 6 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 7 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | | |
| | 8 | ■ | | | ■ | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | ■ | | | | | | | | ■ | ■ | | ■ |
| | 10 | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| | 11 | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | 12 | ■ | ■ | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 13 | ■ | | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | 14 | ■ | | | ■ | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 15 | ■ | | | | | | | | ■ | ■ | | ■ |
| | 16 | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| | 17 | ■ | | | ■ | | | | | ■ | ■ | | ■ |
| | 18 | ■ | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |

รูปที่ ก.26 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (2-M3)

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ช่วงเลข | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ |
| | 1 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 2 | | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 3 | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | ■ | ■ | |
| | 6 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 7 | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 8 | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | | | | | ■ | ■ | | | ■ | | | | ■ | ■ | |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| | 11 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | | | | |
| | 12 | | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | |

รูปที่ ก.27 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (2-M4)



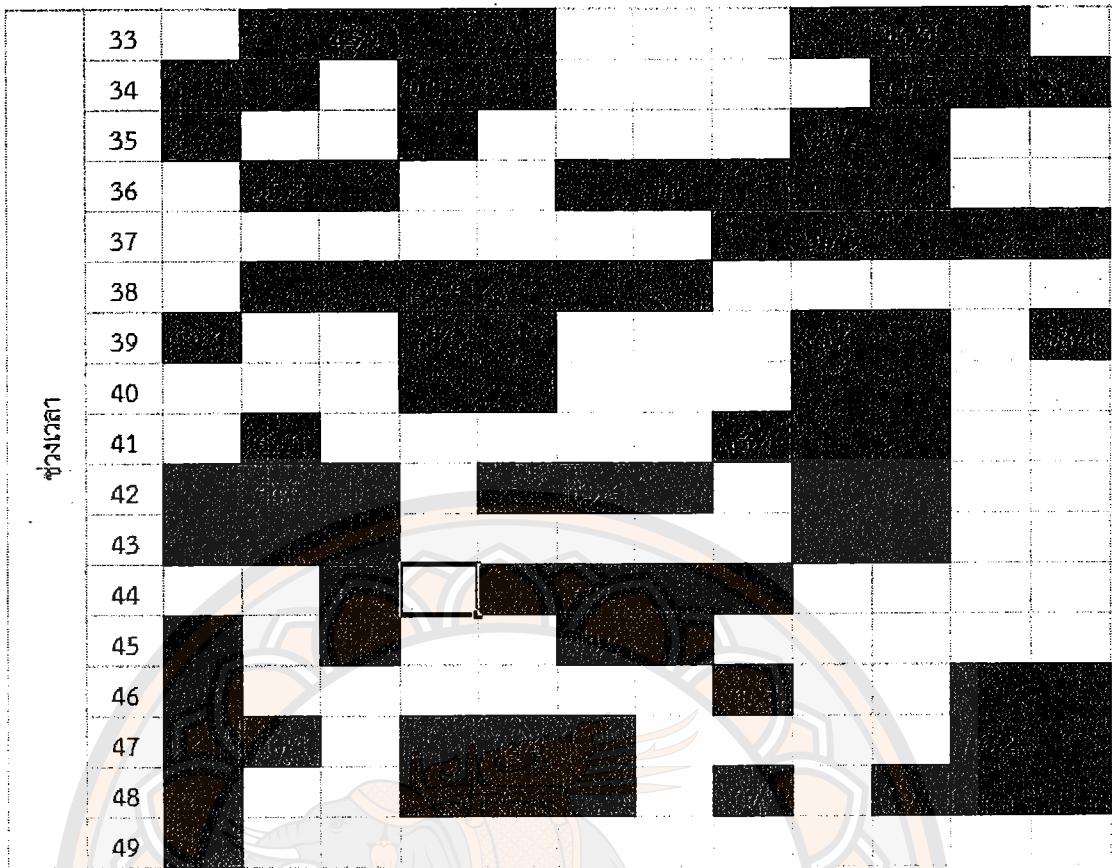
| | | ทำเรื่อง | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ช่วงกลาง | 0 | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ |
| | 1 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 4 | ■ | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 5 | ■ | | | ■ | ■ | | | | | | | ■ | ■ | | ■ |
| | 6 | ■ | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | ■ |
| | 7 | ■ | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | ■ |
| | 8 | | | ■ | ■ | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| | 9 | | | ■ | ■ | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| | 10 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| | 11 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| | 12 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| | 13 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| | 14 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| | 15 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| | 16 | | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 17 | | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 18 | | | | | | | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 19 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| | 20 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| | 21 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| | 22 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| | 23 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ |
| | 24 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ |

รูปที่ ก.28 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (2-M5)

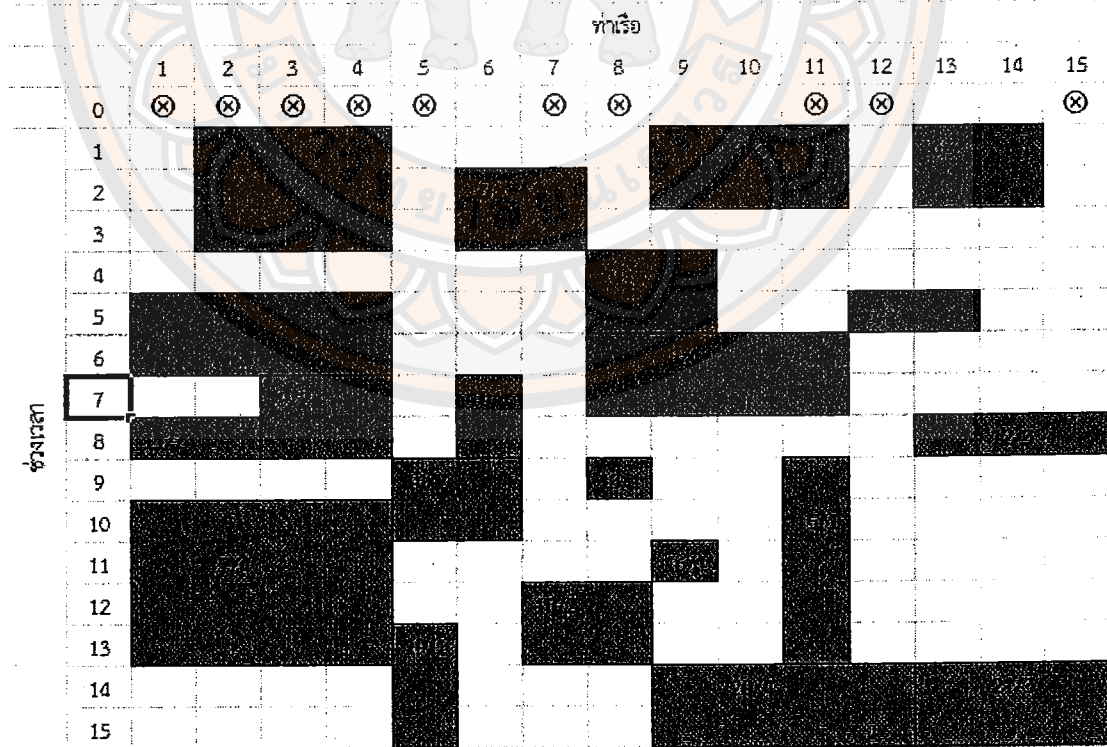
2.2.3 แบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ |
| | 1 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 4 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 6 | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 8 | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 11 | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 14 | | | | | | | | | | | | |

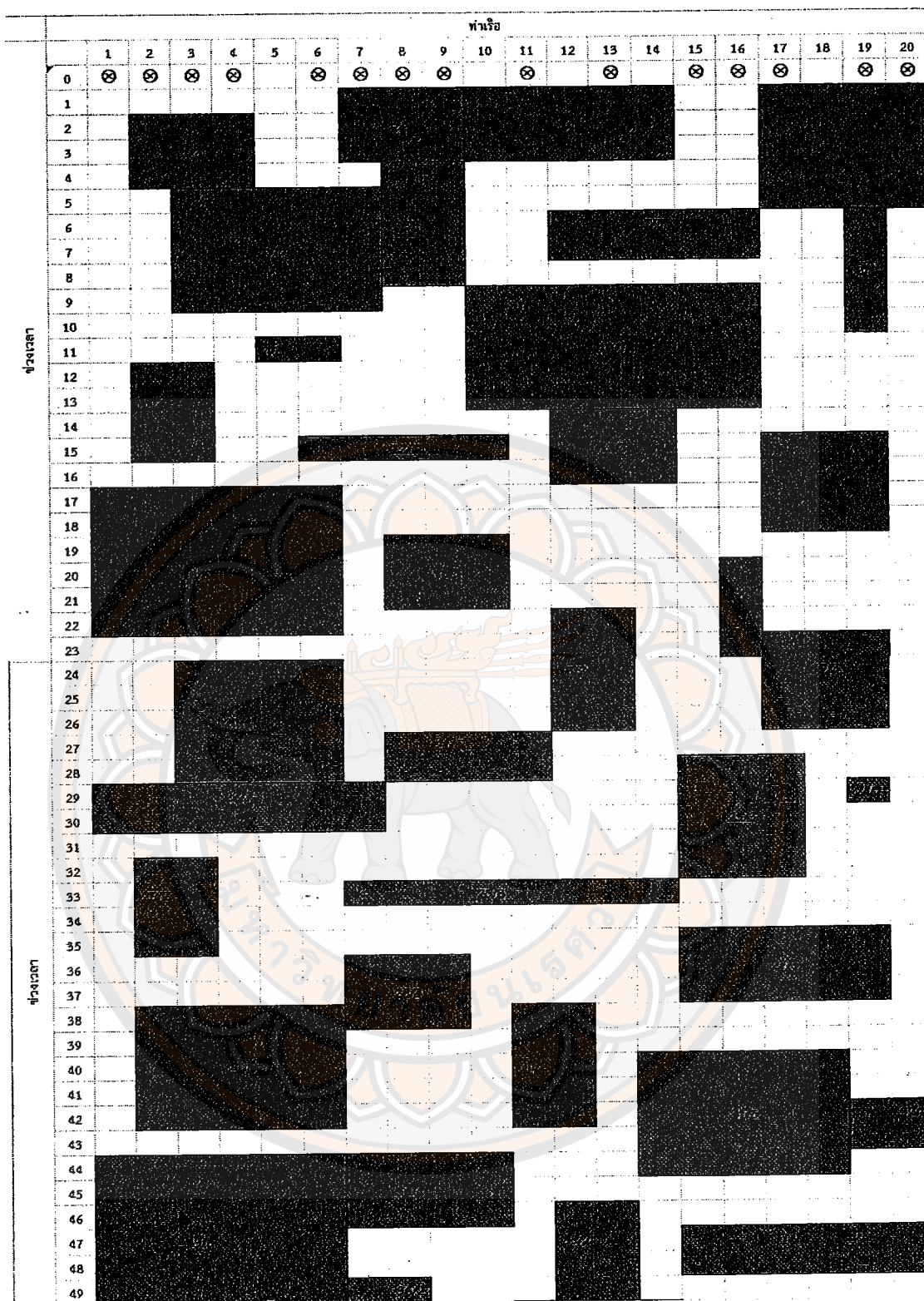
รูปที่ ก.29 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (2-L1)



รูปที่ ก.29 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (2-L1)



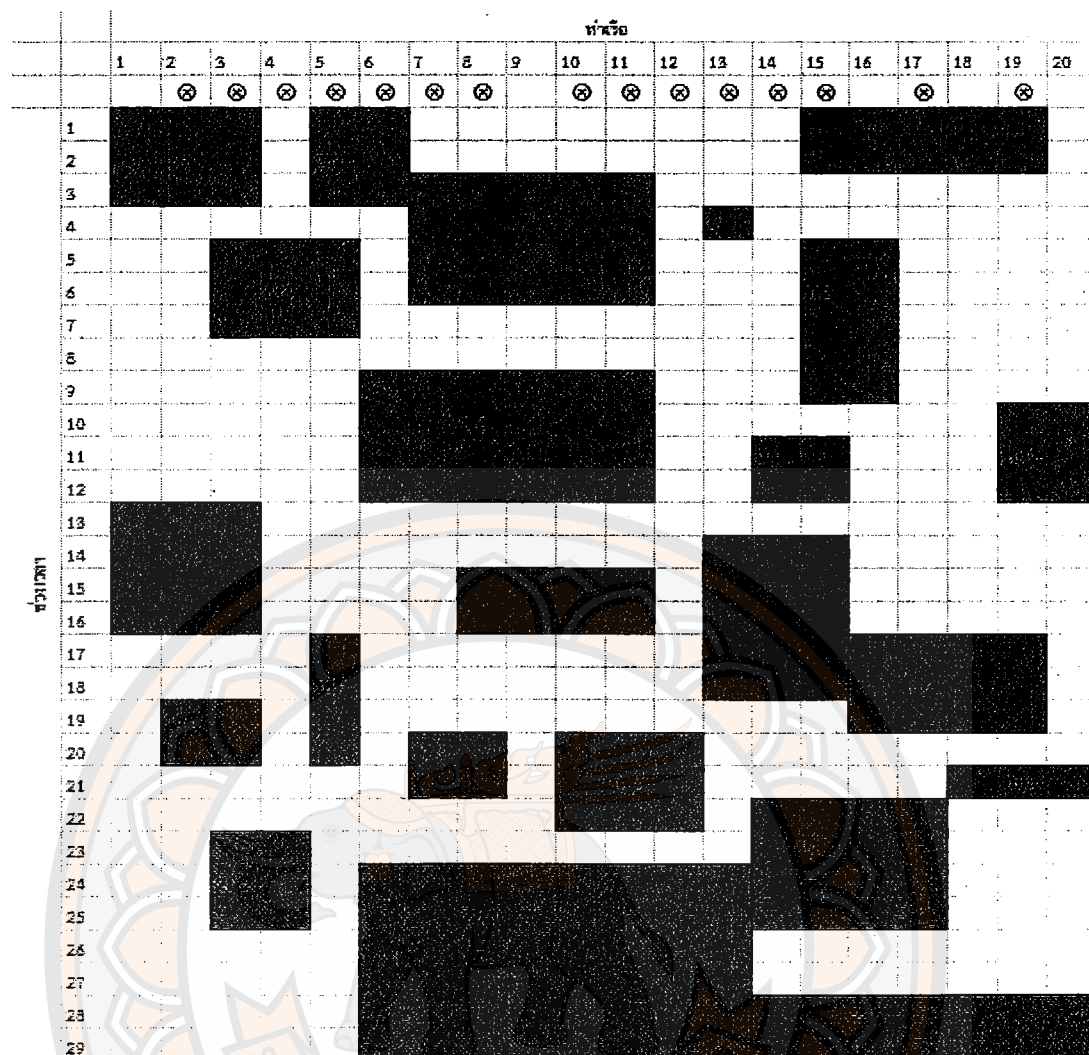
รูปที่ ก.30 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (2-L2)



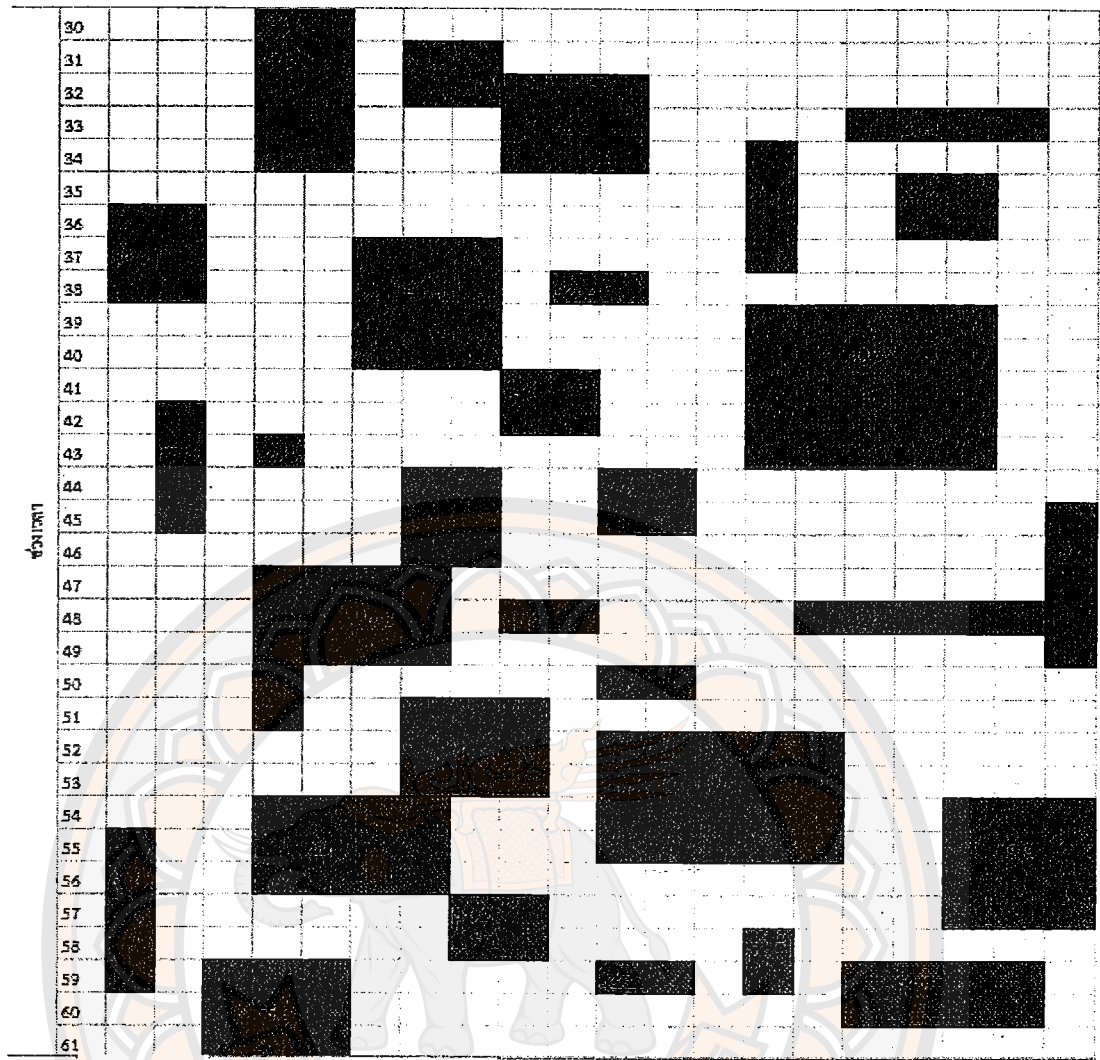
รูปที่ ก.31 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (2-L3)



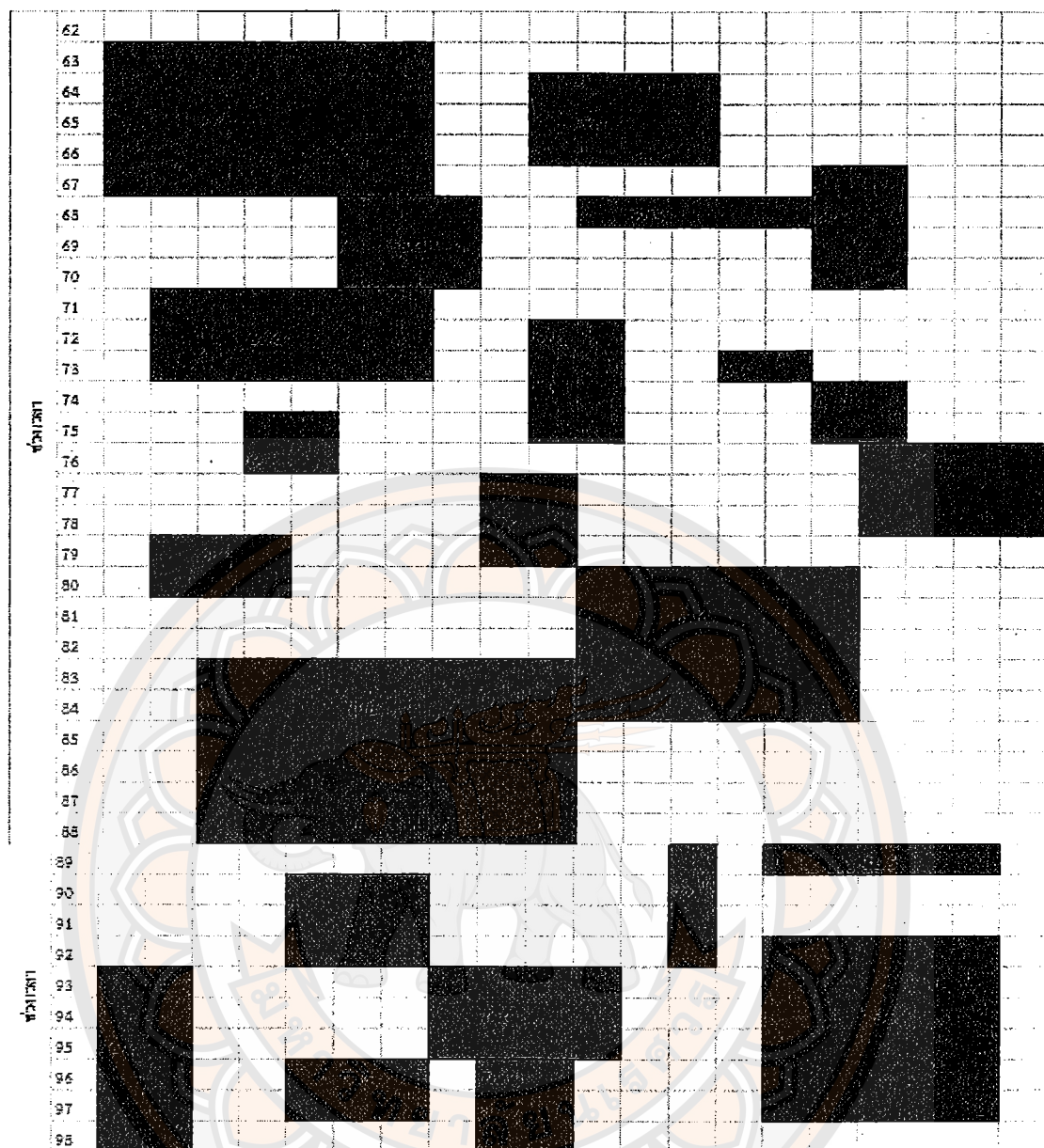
รูปที่ ก.31 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (2-L3)



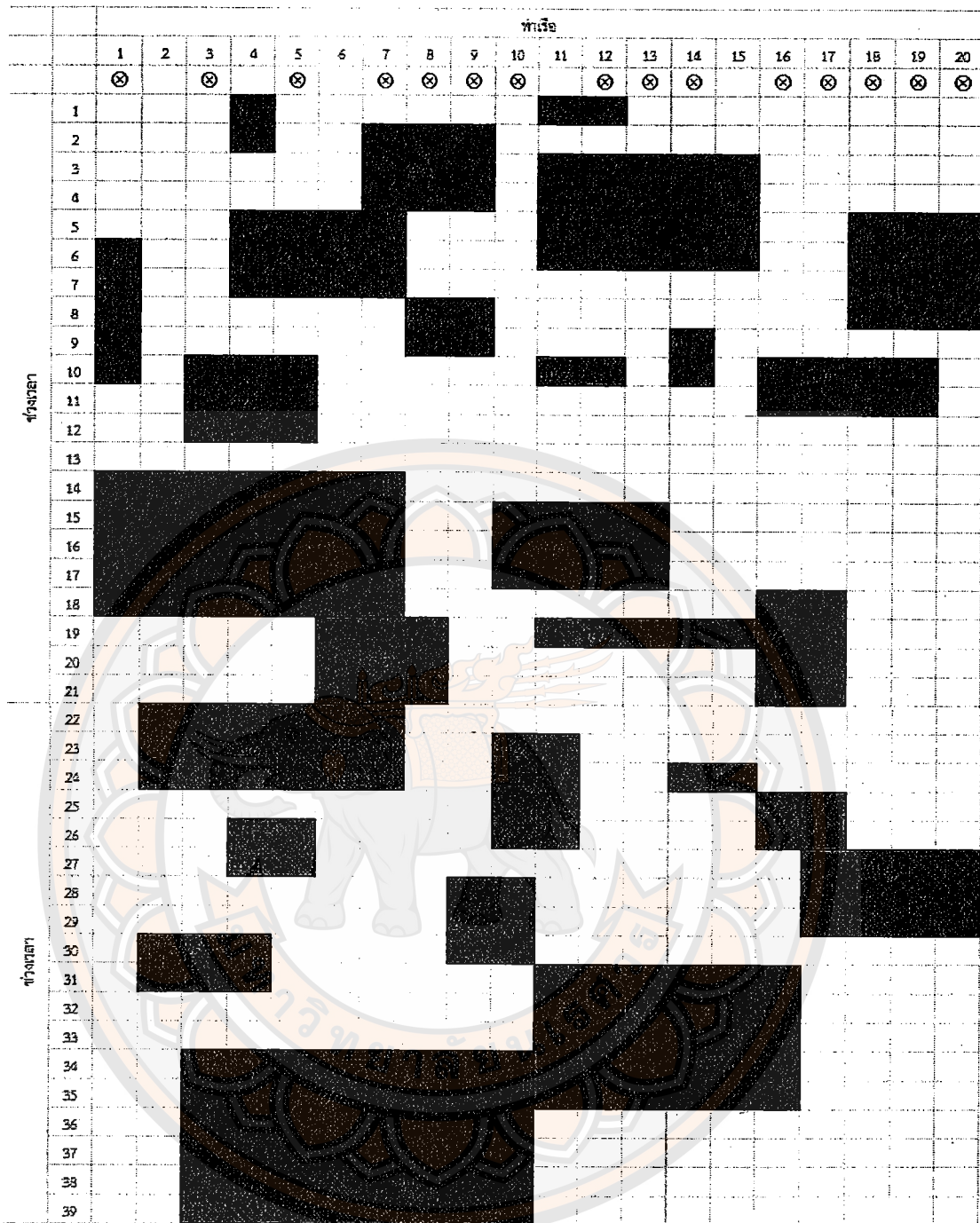
รูปที่ ก.32 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (2-L4)



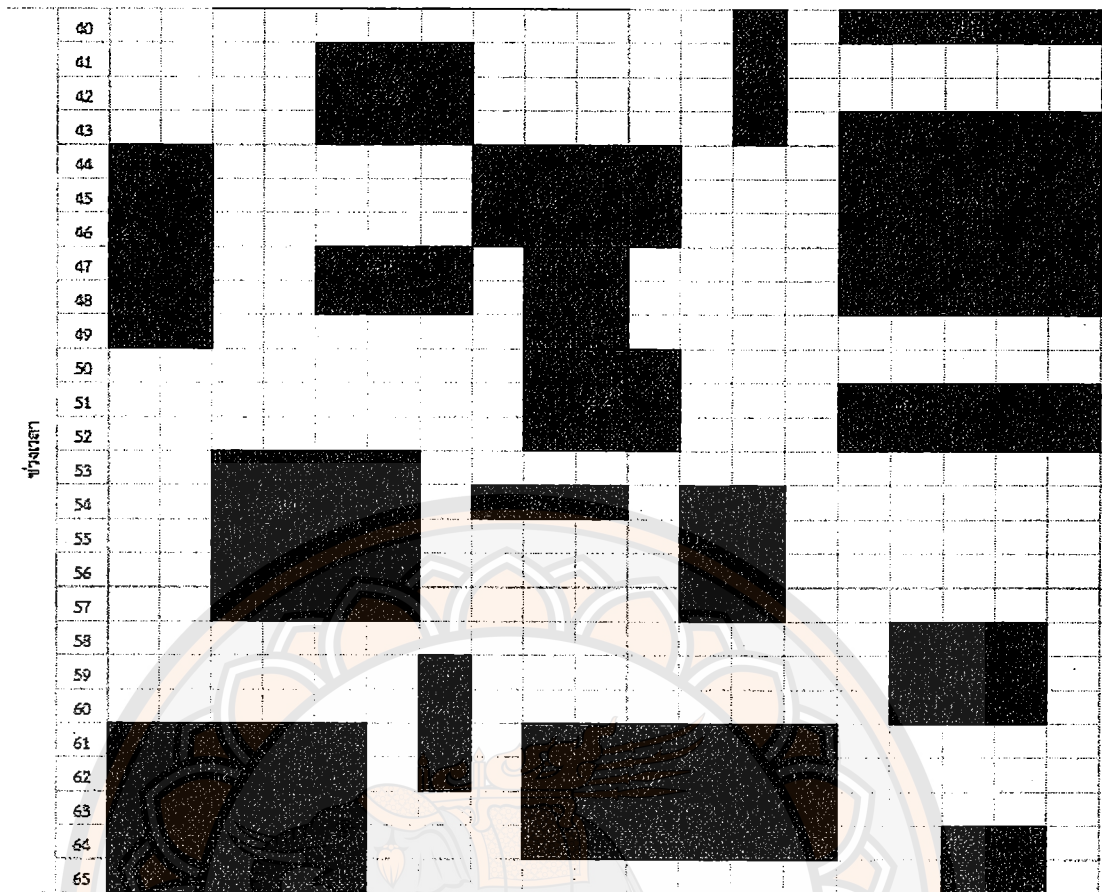
รูปที่ ก.32 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (2-L4)



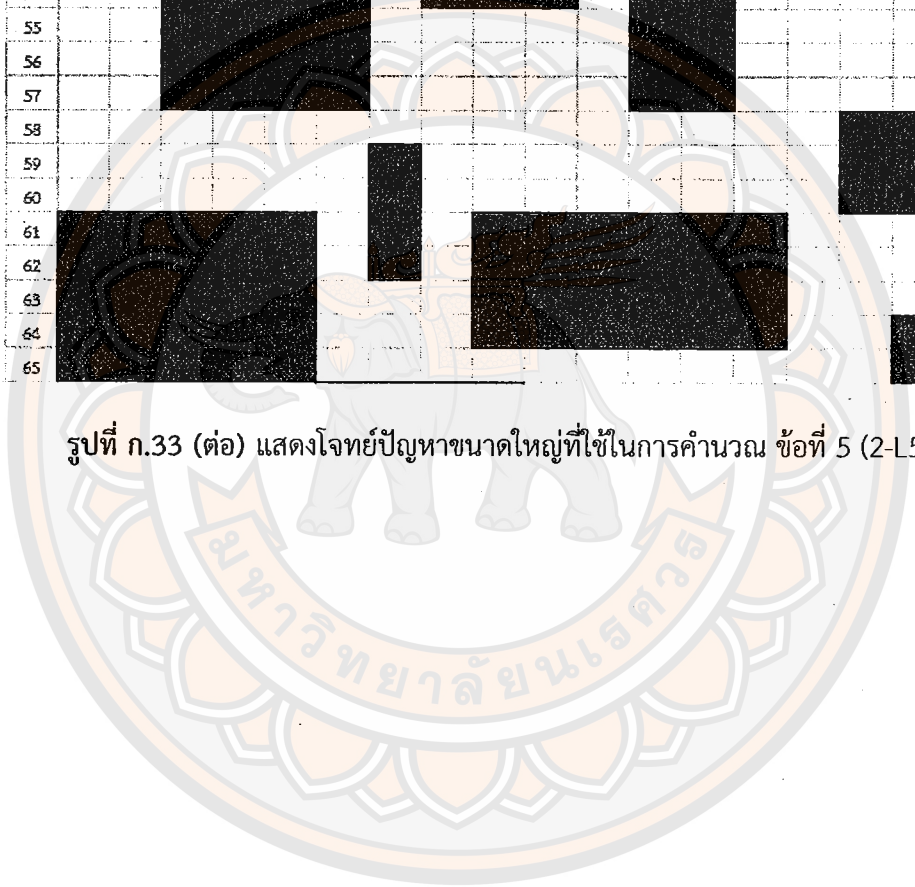
รูปที่ ก.32 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (2-L4)

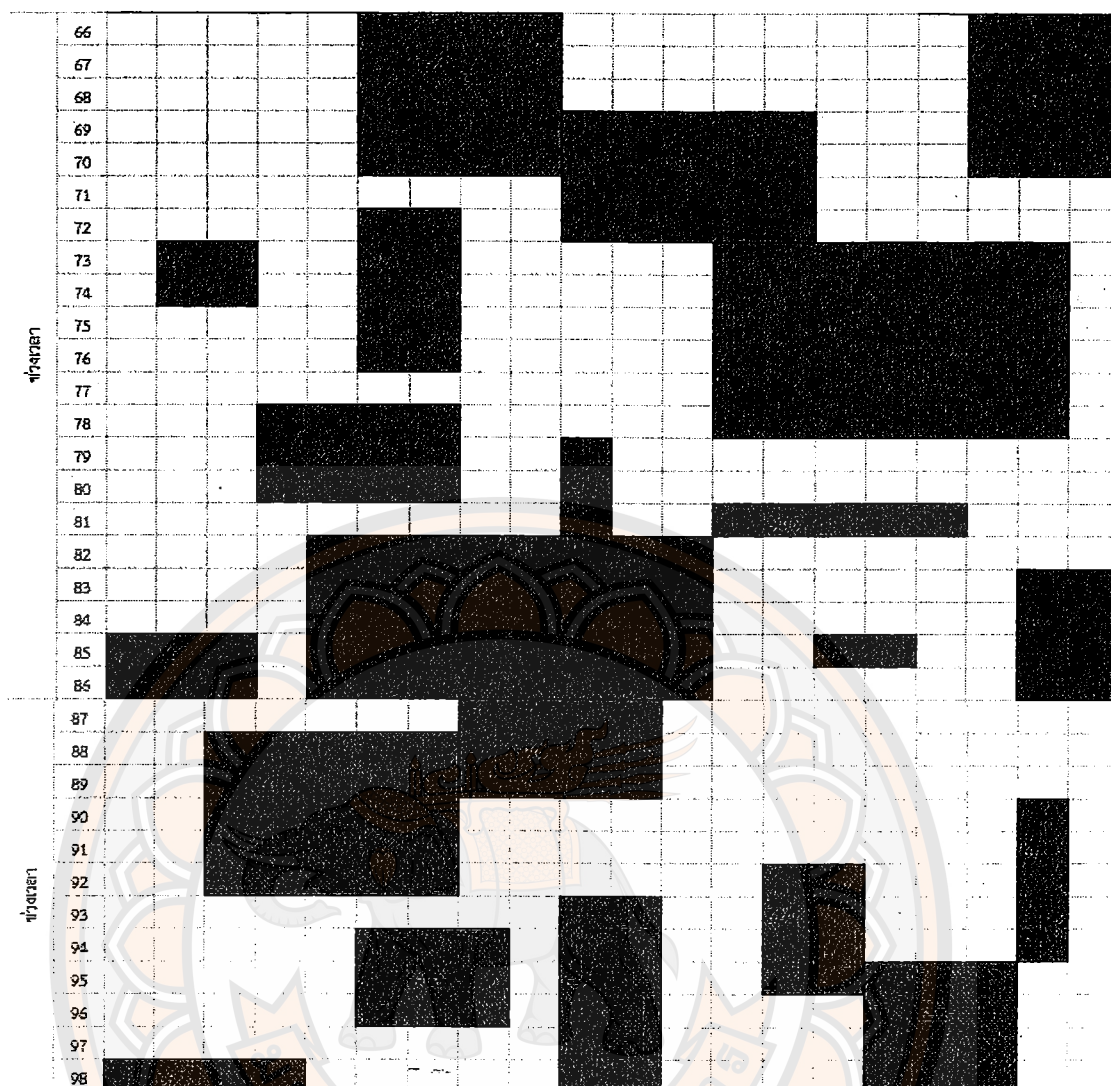


รูปที่ ก.33 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (2-L5)



รูปที่ ก.33 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (2-L5)



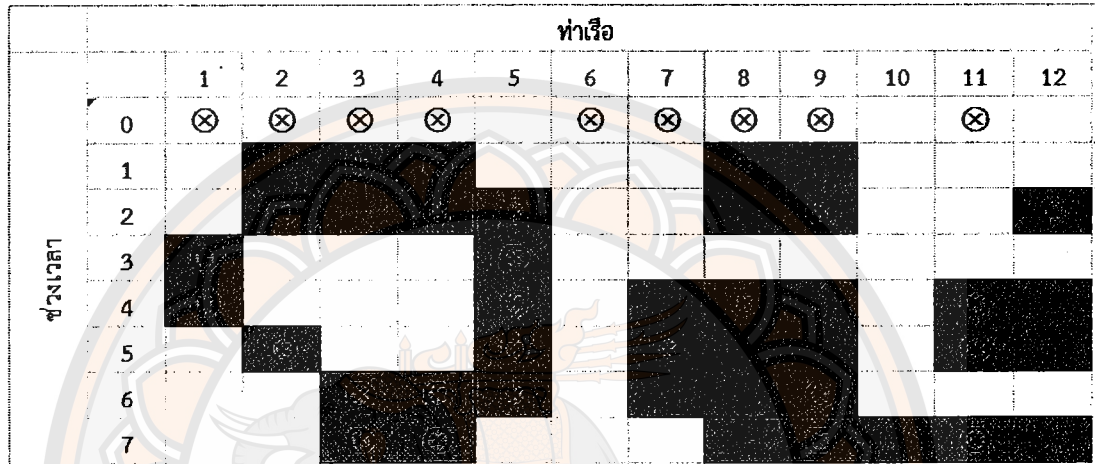


รูปที่ ก.33 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (2-L5)

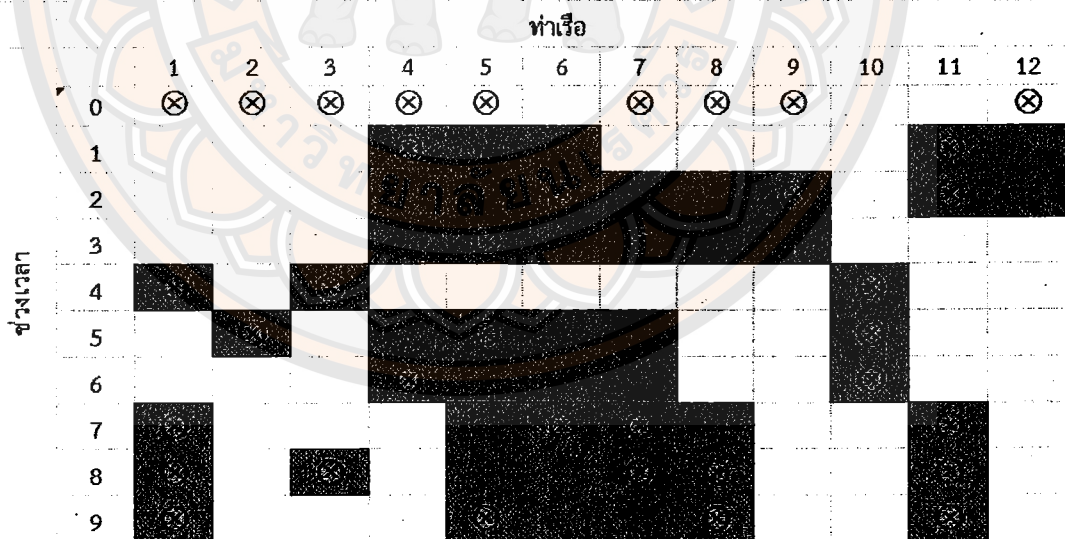
2.3 แบบจำลองที่ 3

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ แบบจำลองที่ 3 ซึ่งเป็นแผนภูมิรูปภาพแสดงการเทียบท่าของเรือในช่วงเวลาต่างๆ การกำหนดจุดเริ่มต้นของครนในเวลาที่เป็น 0 โดยการทำเครื่องหมาย ⊗ ในตำแหน่งท่าเรือ และการทำเครื่องหมาย ⊗ ยังแสดงถึงตำแหน่งที่ต้องการครนบนเรือแต่ละลำ และการเข้าเทียบค่าของเรือถูกจัดลำดับไว้ก่อนแล้ว เช่นในแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (3-S1) 1/3 คือเรือลำที่ 1 มีความต้องการครน 3 ตัว จะเข้ามาเทียบท่าตั้งแต่ท่าที่ 2 ถึงท่าที่ 4 เป็นต้น

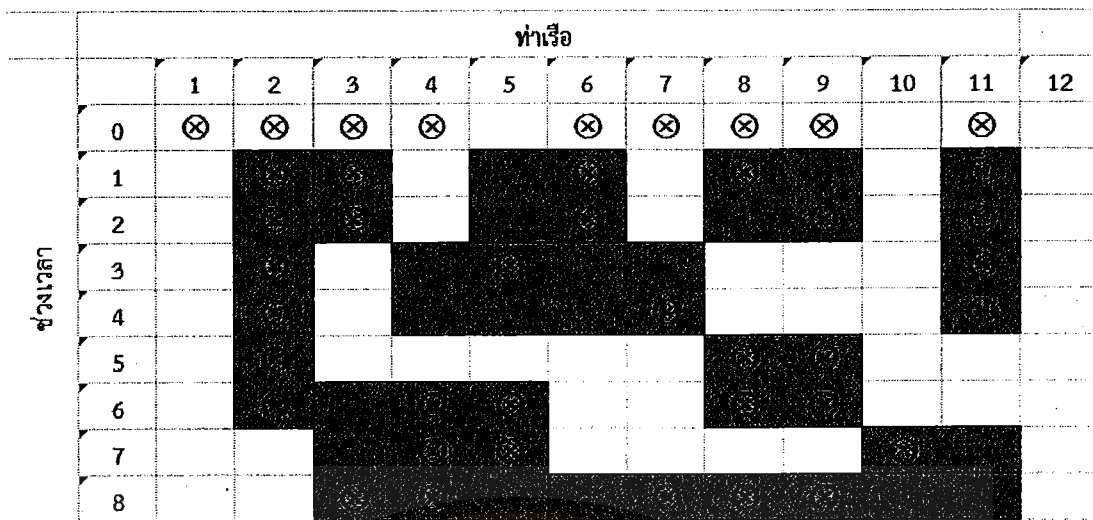
2.3.1 แบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก



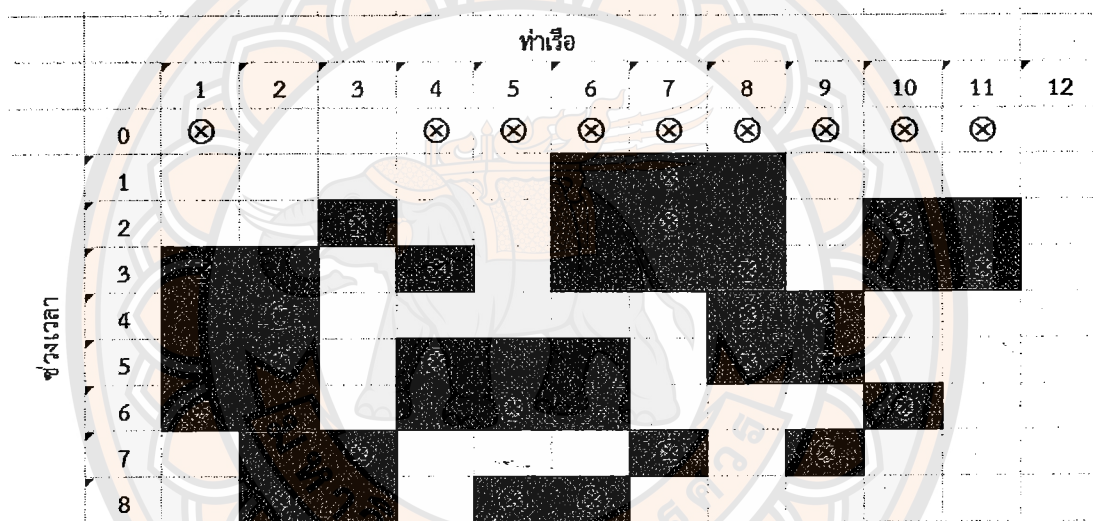
รูปที่ ก.34 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (3-S1)



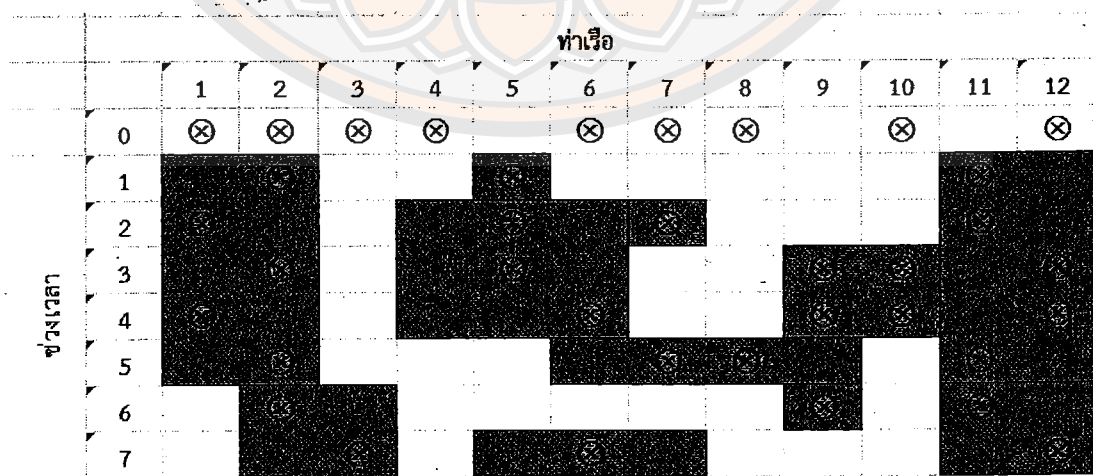
รูปที่ ก.35 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (3-S2)



รูปที่ ก.36 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (3-S3)



รูปที่ ก.37 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (3-S4)



รูปที่ ก.38 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (3-S5)

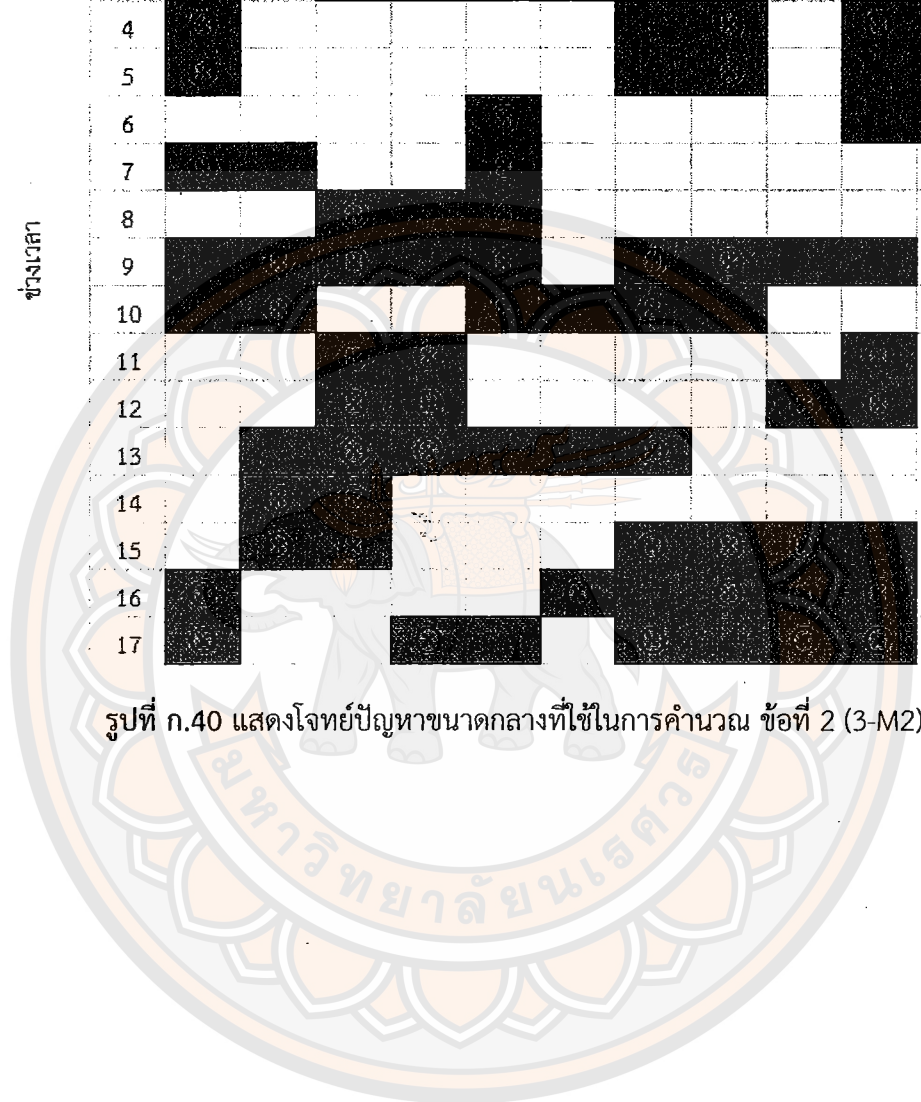
2.3.2 แบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | |
| | 1 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 4 | ■ | ■ | ■ | | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 6 | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 7 | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 8 | ■ | ■ | ■ | | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 11 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 12 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 14 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

รูปที่ ก.39 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (3-M1)

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 0 | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | |
| | 1 | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | ■ | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| | 3 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ |
| | 5 | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | ■ | | | | | | ■ | ■ |
| | 7 | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | 9 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 10 | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 11 | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | ■ | ■ |
| | 12 | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | ■ | ■ |
| | 13 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 14 | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| | 15 | | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 16 | ■ | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 17 | ■ | | | ■ | ■ | | | | | | | |

รูปที่ ก.40 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (3-M2)



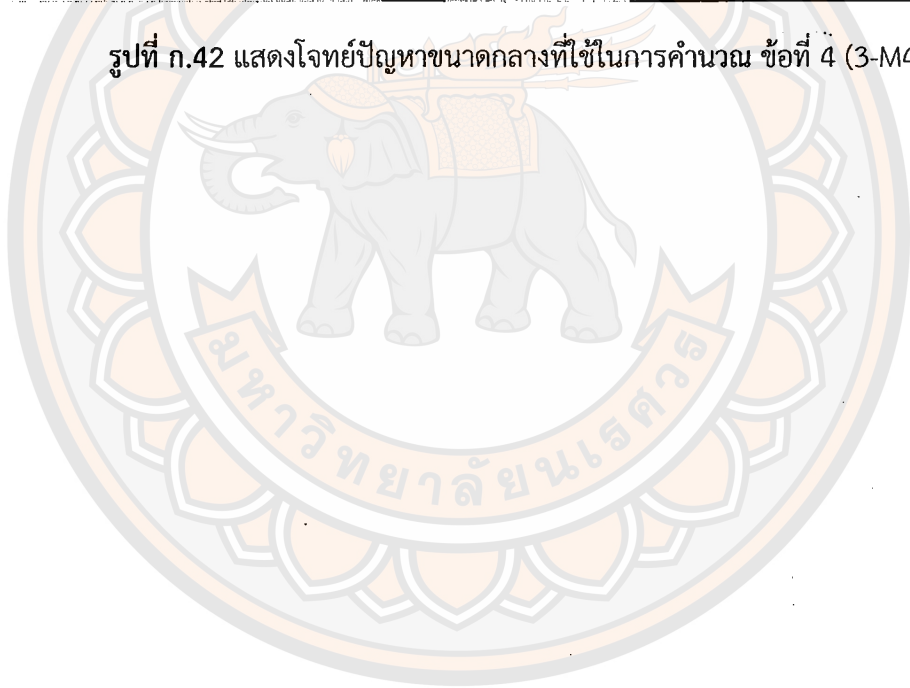
| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ |
| | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | |
| | 16 | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | | | | |

รูปที่ ก.41 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (3-M3)



| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ |
| | 1 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ |
| | 2 | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | |
| | 3 | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | |
| | 4 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | |
| | 5 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 6 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 7 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 8 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 9 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 10 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 11 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 12 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 13 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 14 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 15 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |

รูปที่ ก.42 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (3-M4)



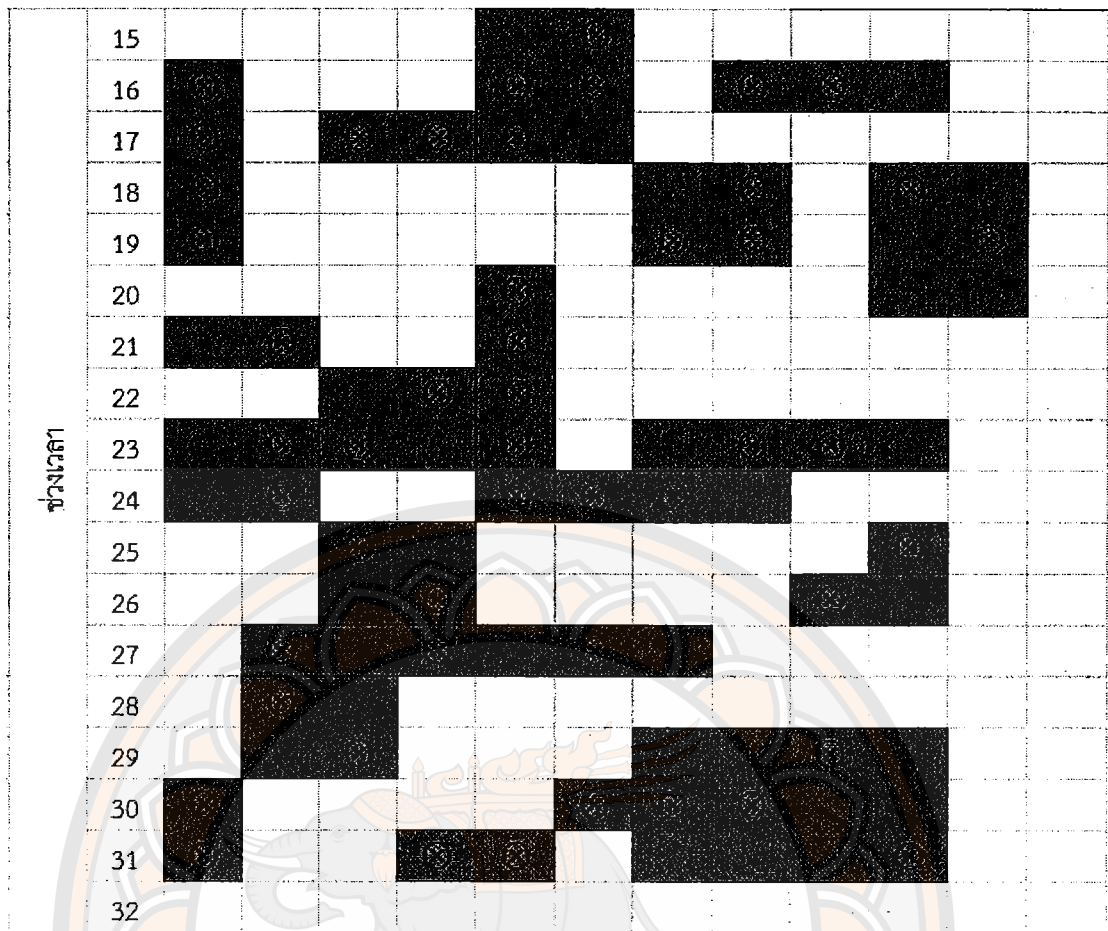
| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ทางเวลา | 0 | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ |
| | 1 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 4 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 6 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 7 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 8 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 11 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 12 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 14 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 15 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 16 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 17 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 18 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 19 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 20 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 21 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 22 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 23 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 24 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

รูปที่ ก.43 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (3-M5)

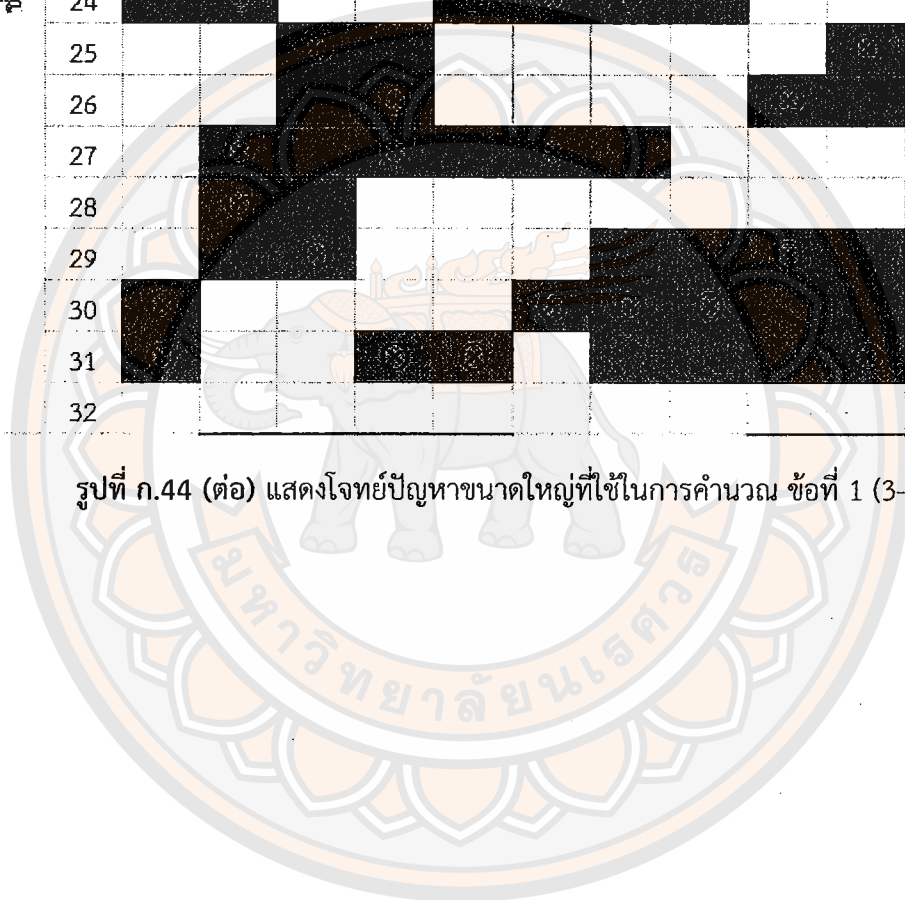
2.3.3 แบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

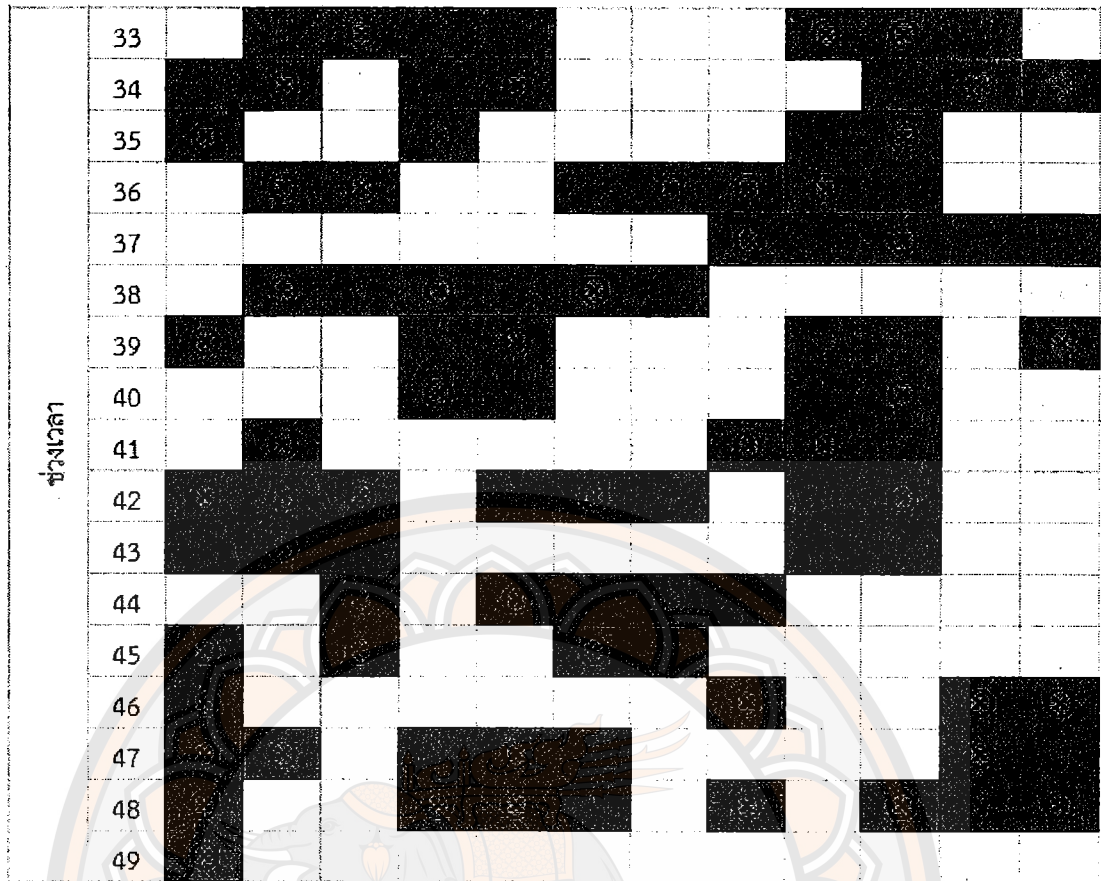
| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | |
| | 1 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | | ■ | | | ■ | | ■ | | | ■ | | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | | ■ | | ■ | | | | | | |
| | 4 | ■ | | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 6 | | | | | ■ | | ■ | | | ■ | | |
| | 7 | ■ | ■ | | | | | | | ■ | | | ■ |
| | 8 | | | | | | | | ■ | | | | |
| | 9 | | | ■ | | | | | | ■ | ■ | | ■ |
| | 10 | ■ | | | | | ■ | ■ | | | | | ■ |
| | 11 | ■ | | ■ | | | | | ■ | ■ | | | |
| | 12 | | | | | | ■ | ■ | | ■ | | | |
| | 13 | ■ | | | | | ■ | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |

รูปที่ ก.44 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (3-L1)

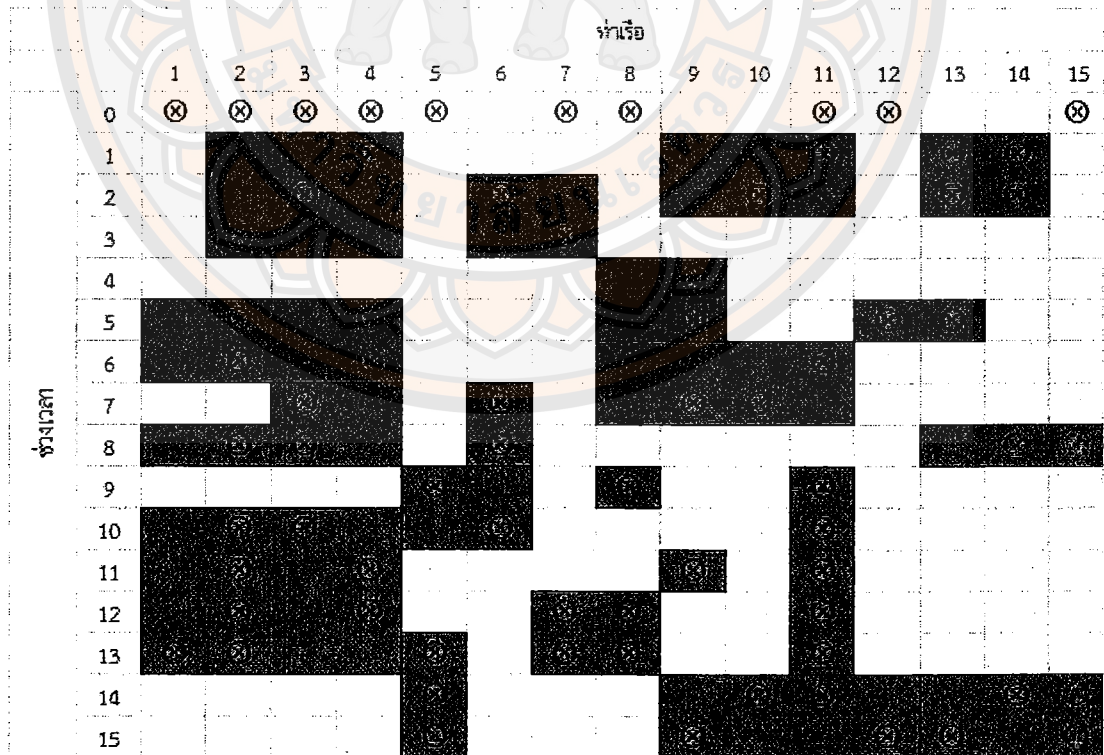


รูปที่ ก.44 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (3-L1)

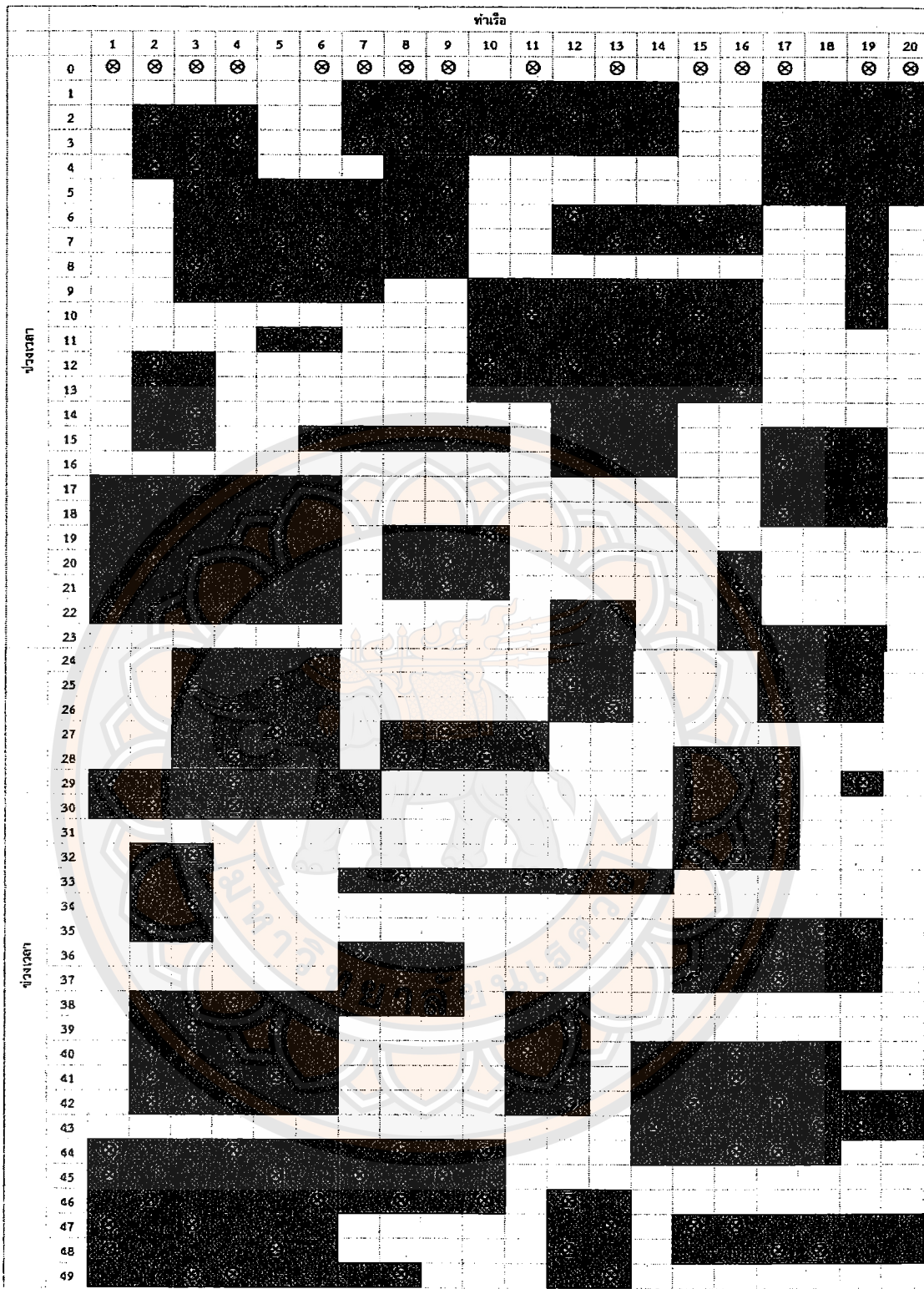




รูปที่ ก.44 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (3-L1)



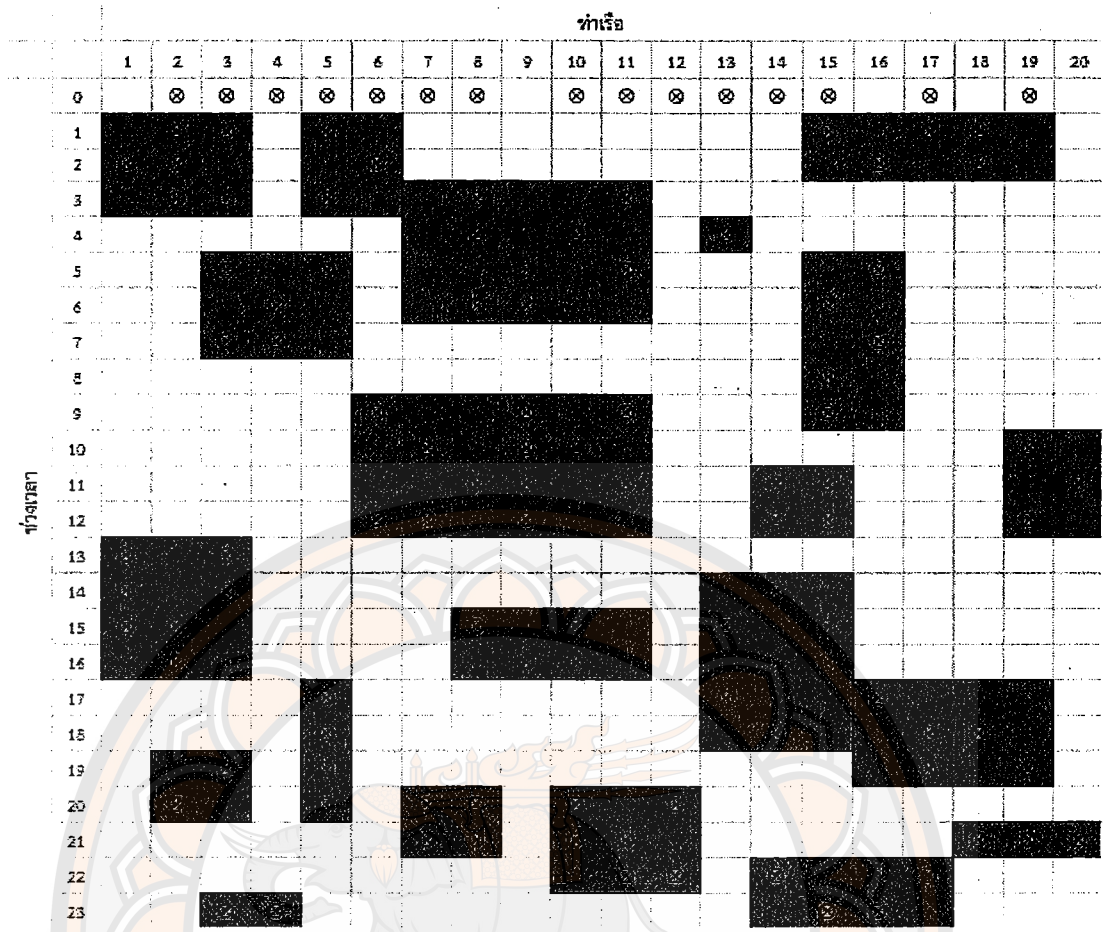
รูปที่ ก.45 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (3-L2)



รูปที่ ก.46 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (3-L3)

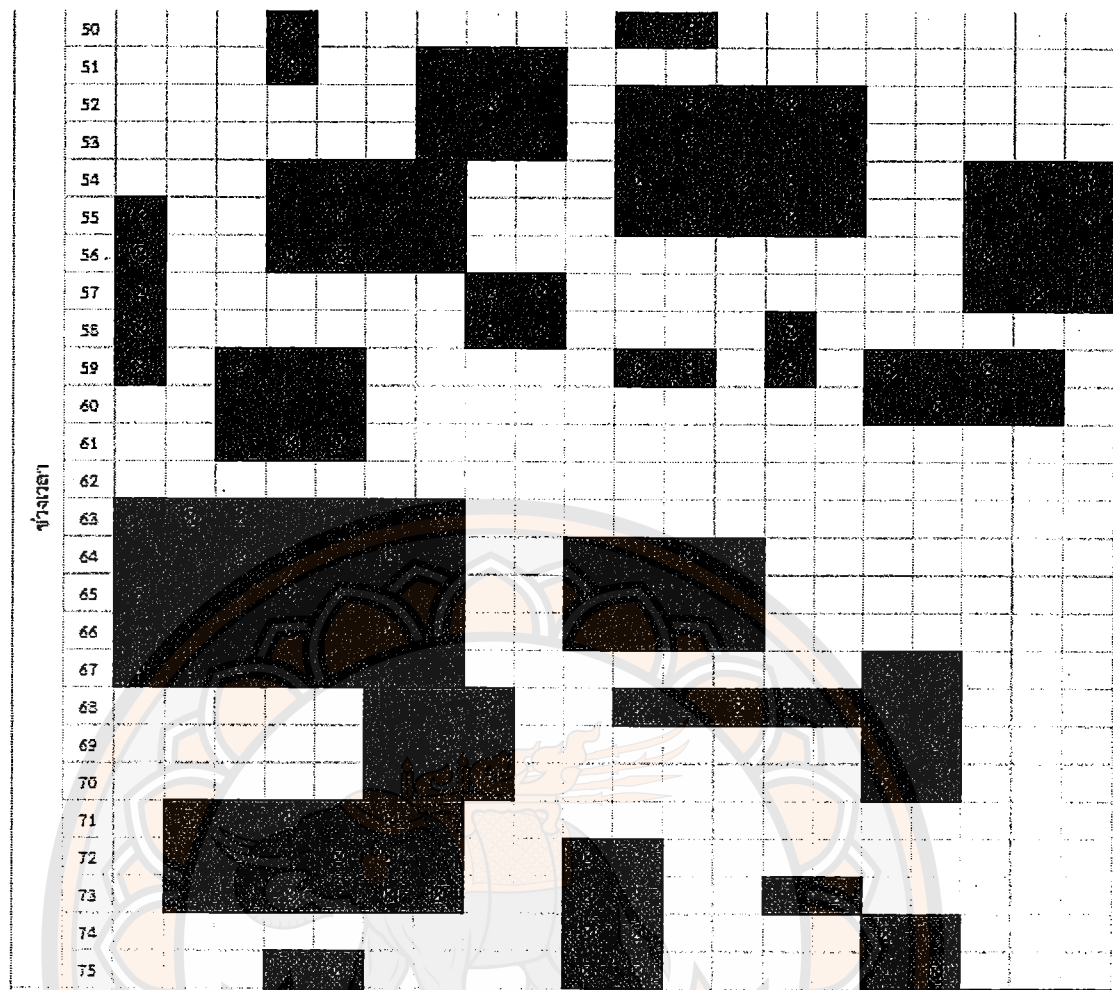


รูปที่ ก.46 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (3-L3)

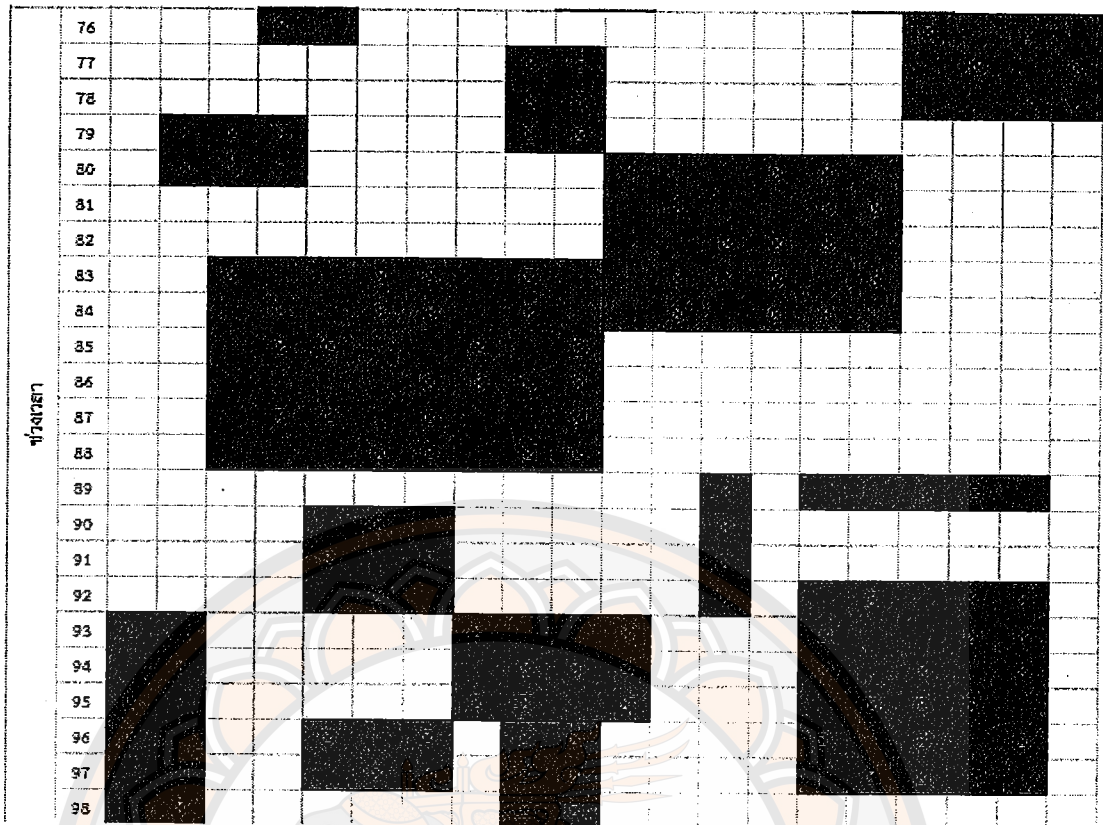


รูปที่ ก.47 แสดงโครงข่ายปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (3-L4)

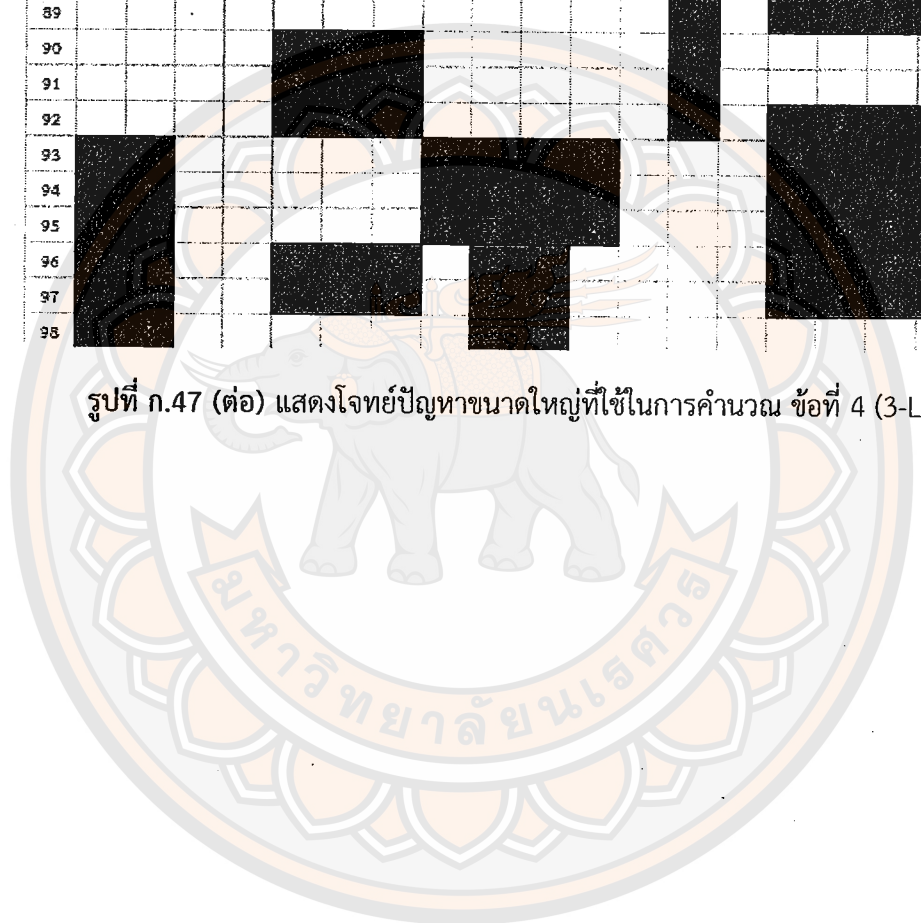


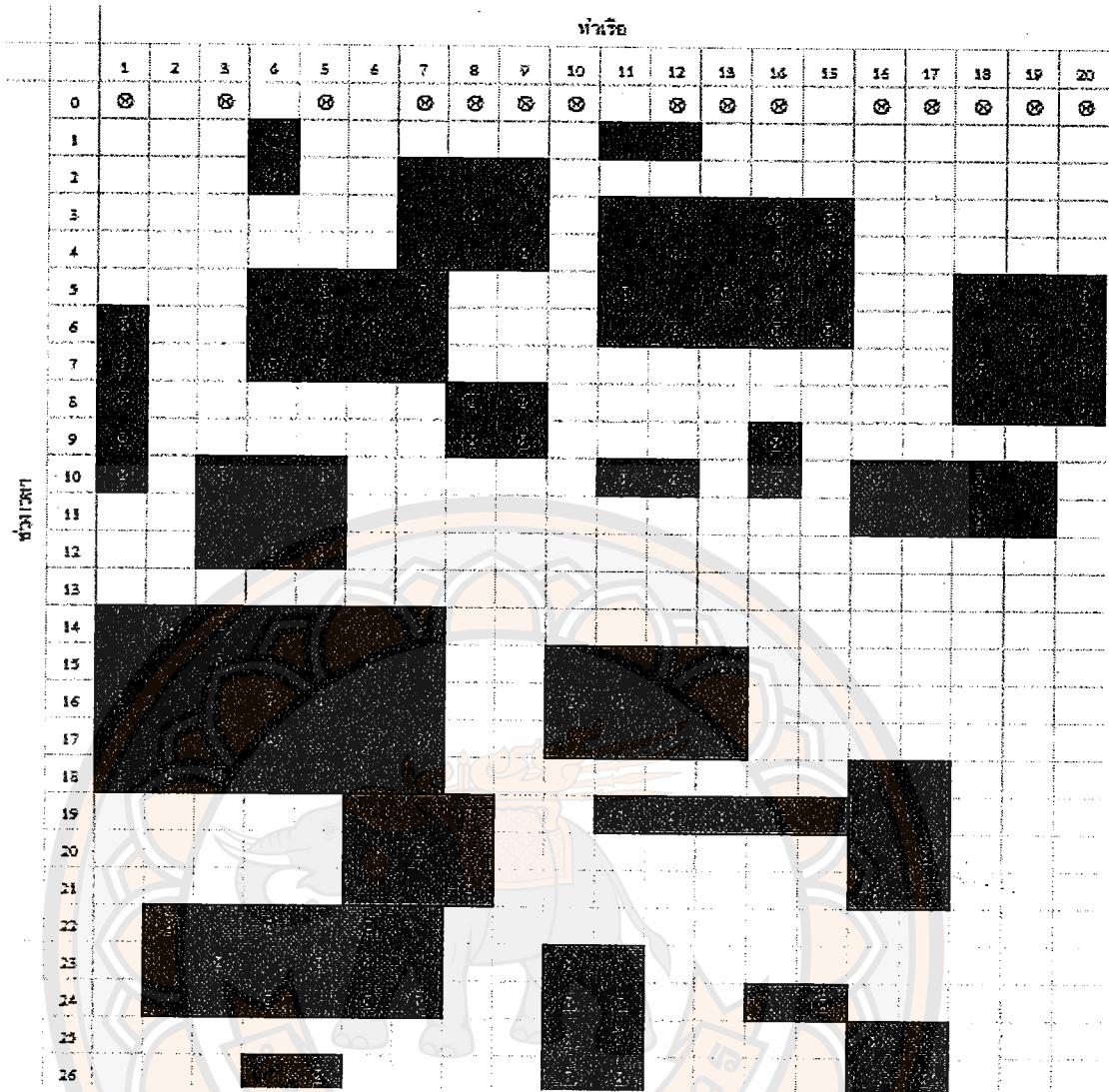


รูปที่ ก.47 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (3-L4)

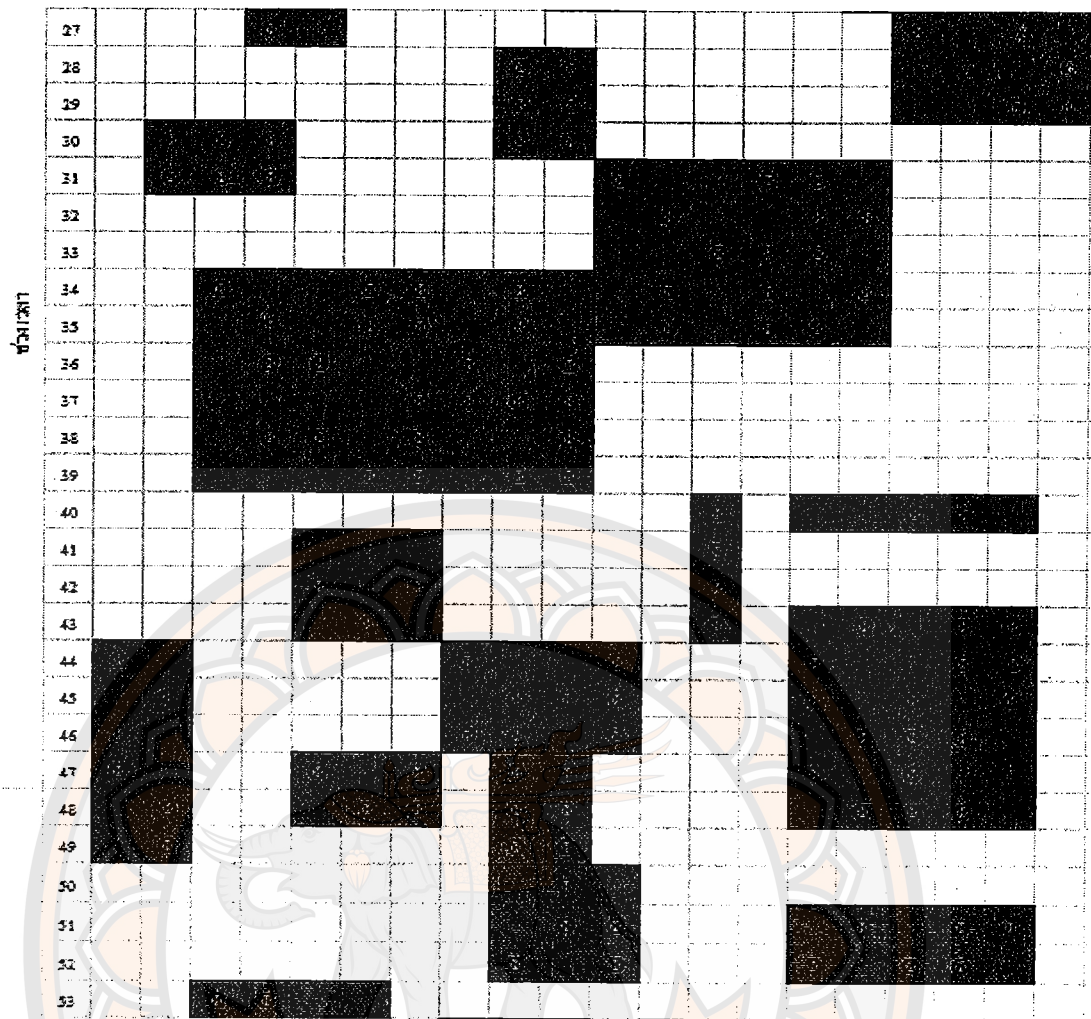


รูปที่ ก.47 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (3-L4)

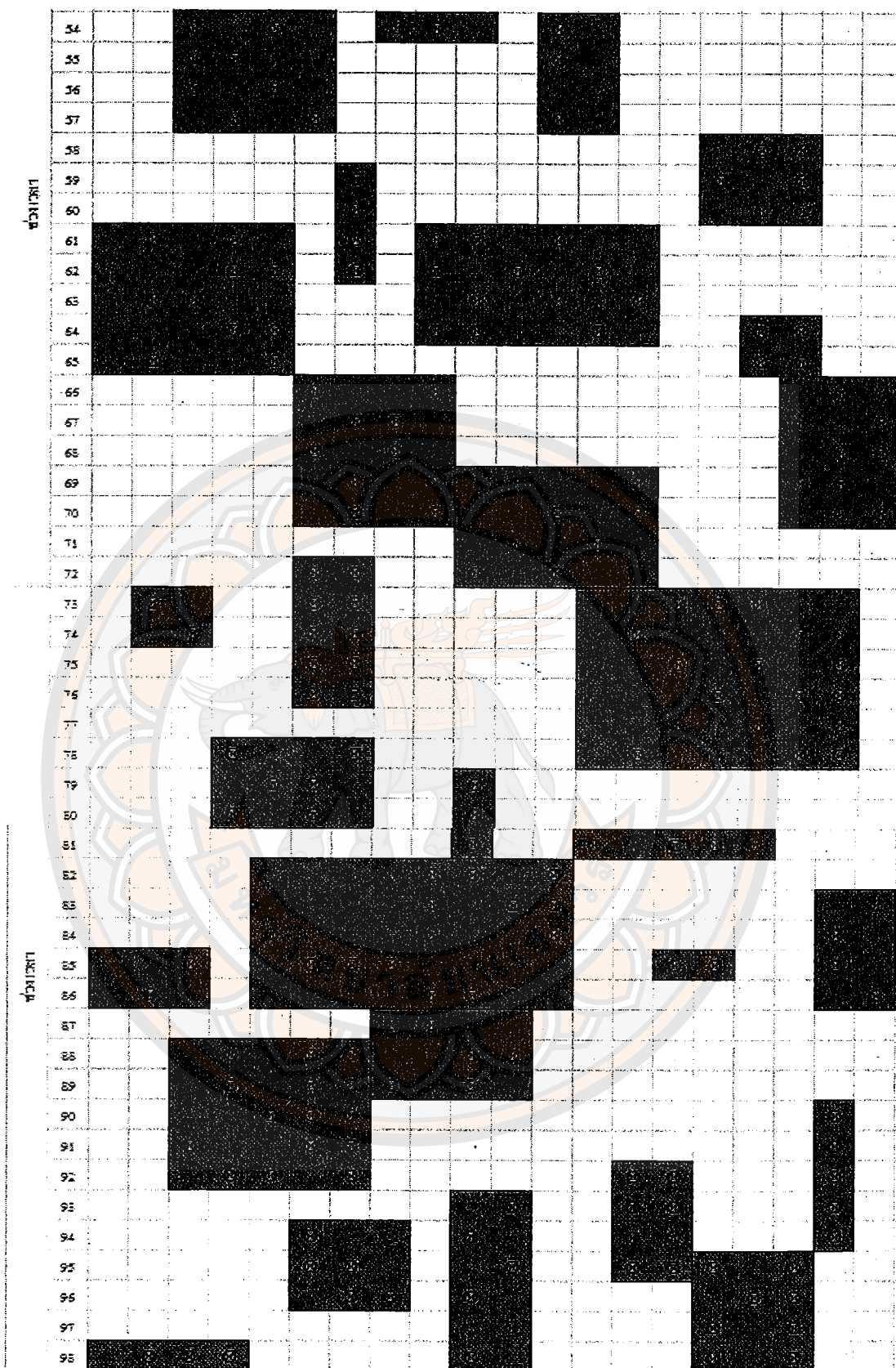




รูปที่ ก.48 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (3-L5)



รูปที่ ก.48 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (3-L5)

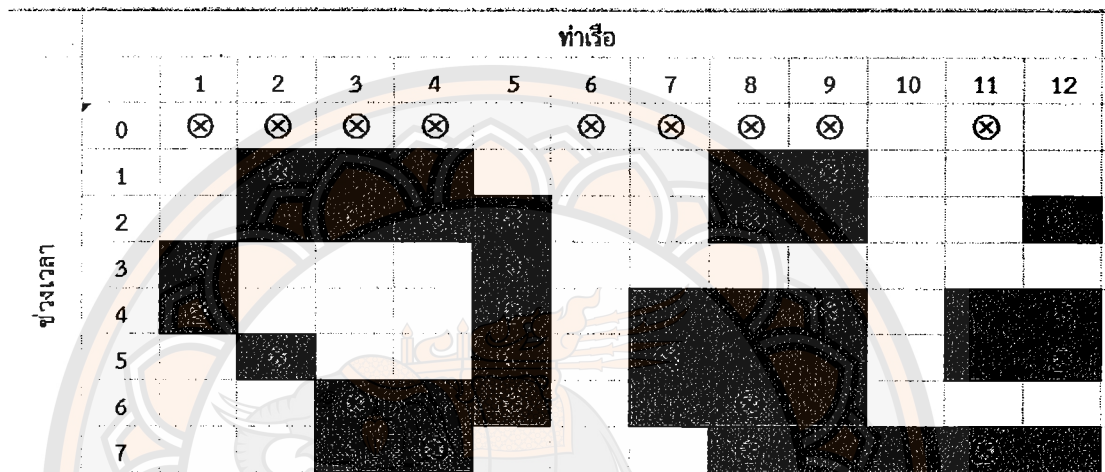


รูปที่ ก.48 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (3-L5)

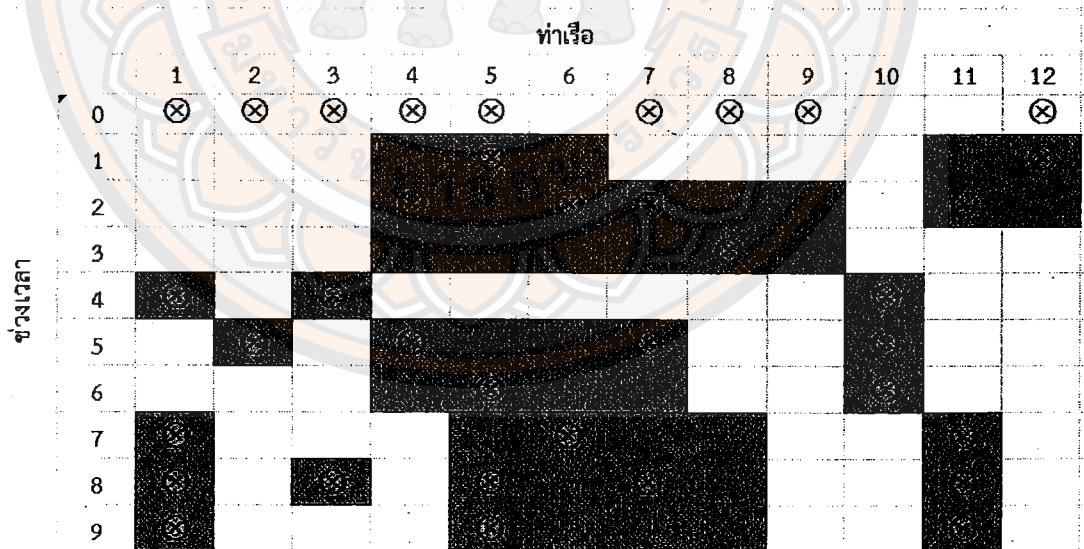
2.4 แบบจำลองที่ 4

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ แบบจำลองที่ 3 ซึ่งเป็นแผนภูมิรูปภาพแสดงการเทียบท่าของเรือในช่วงเวลาต่างๆ การกำหนดจุดเริ่มต้นของครนในเวลาที 0 โดยการทำให้เครื่องหมาย ⊗ ในตำแหน่งท่าเรือ และการทำให้เครื่องหมาย ⊗ ยังแสดงถึงตำแหน่งที่ต้องการครนบนเรือแต่ละลำ และการเข้าเทียบค่าของเรือถูกจัดลำดับไว้ก่อนแล้ว เช่นในแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหขนาดเล็ก (4-S1) 1/3 คือเรือลำที่ 1 มีความต้องการครน 3 ตัว จะเข้ามาเทียบท่าตั้งแต่ท่าที่ 2 ถึงท่าที่ 4 เป็นต้น

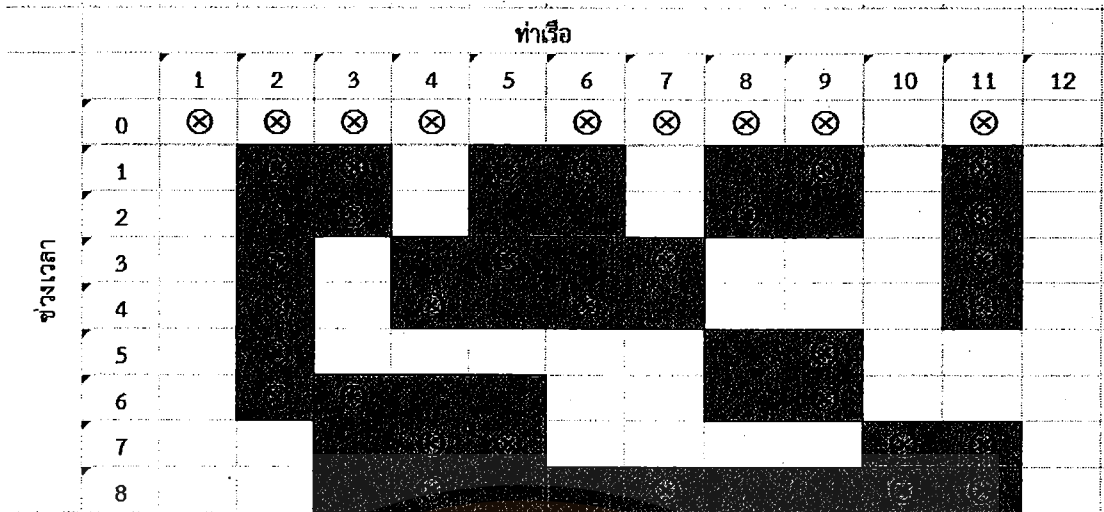
2.4.1 แบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหขนาดเล็ก



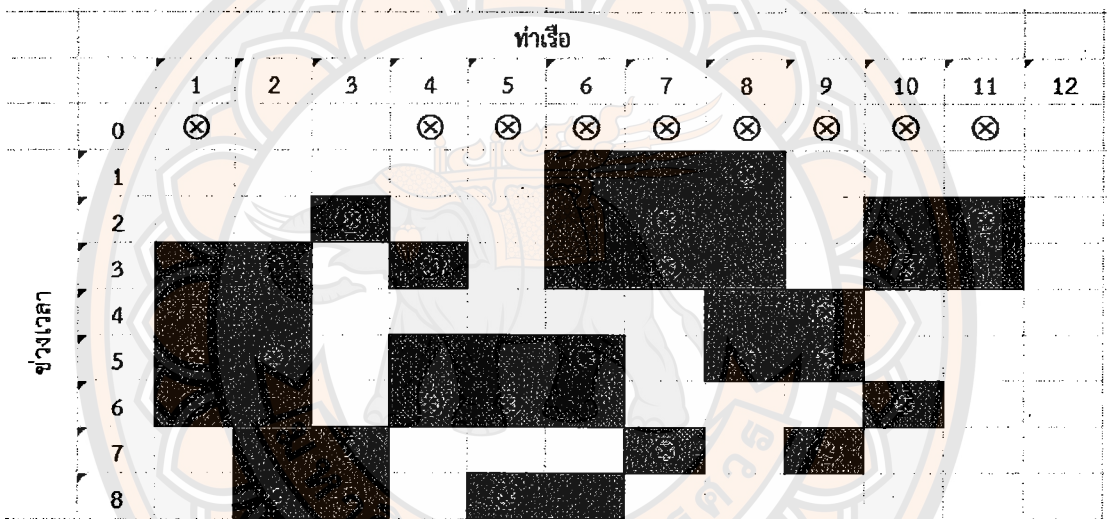
รูปที่ ก.49 แสดงโจทย์ปัญหขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (4-S1)



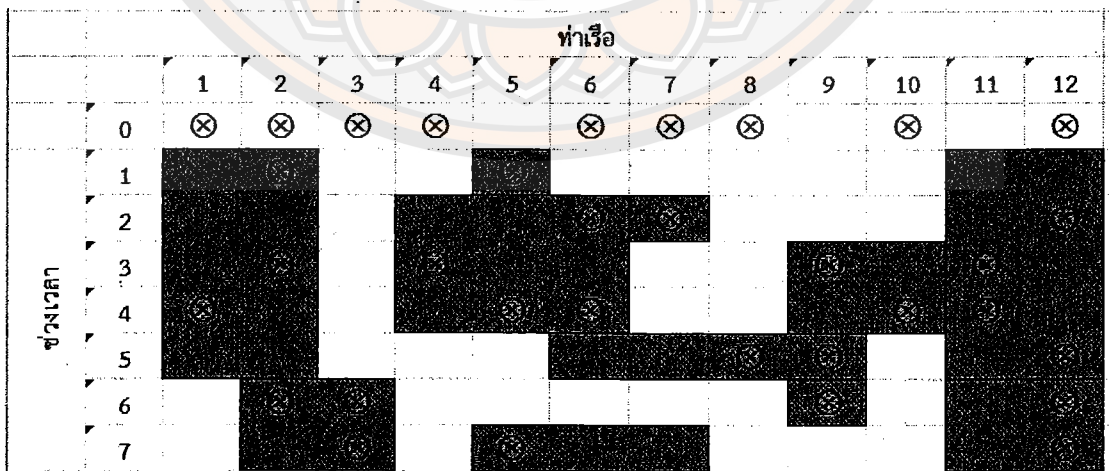
รูปที่ ก.50 แสดงโจทย์ปัญหขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (4-S2)



รูปที่ ก.51 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (4-S3)



รูปที่ ก.52 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (4-S4)



รูปที่ ก.53 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (4-S5)

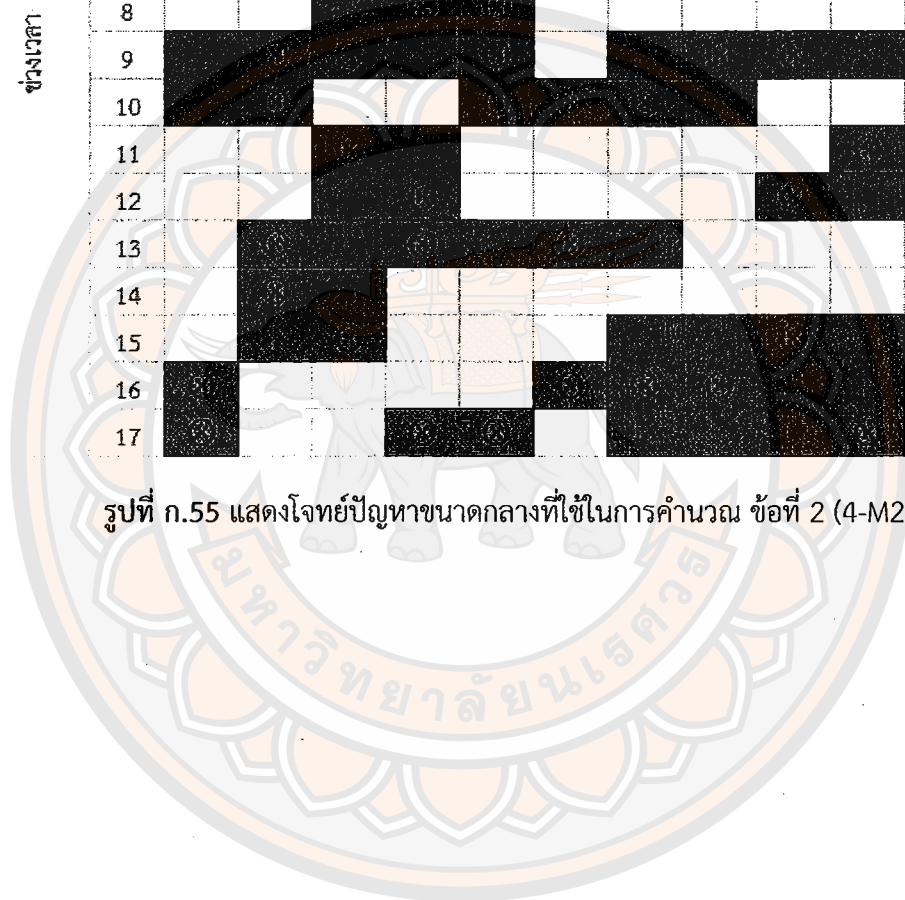
2.4.2 แบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

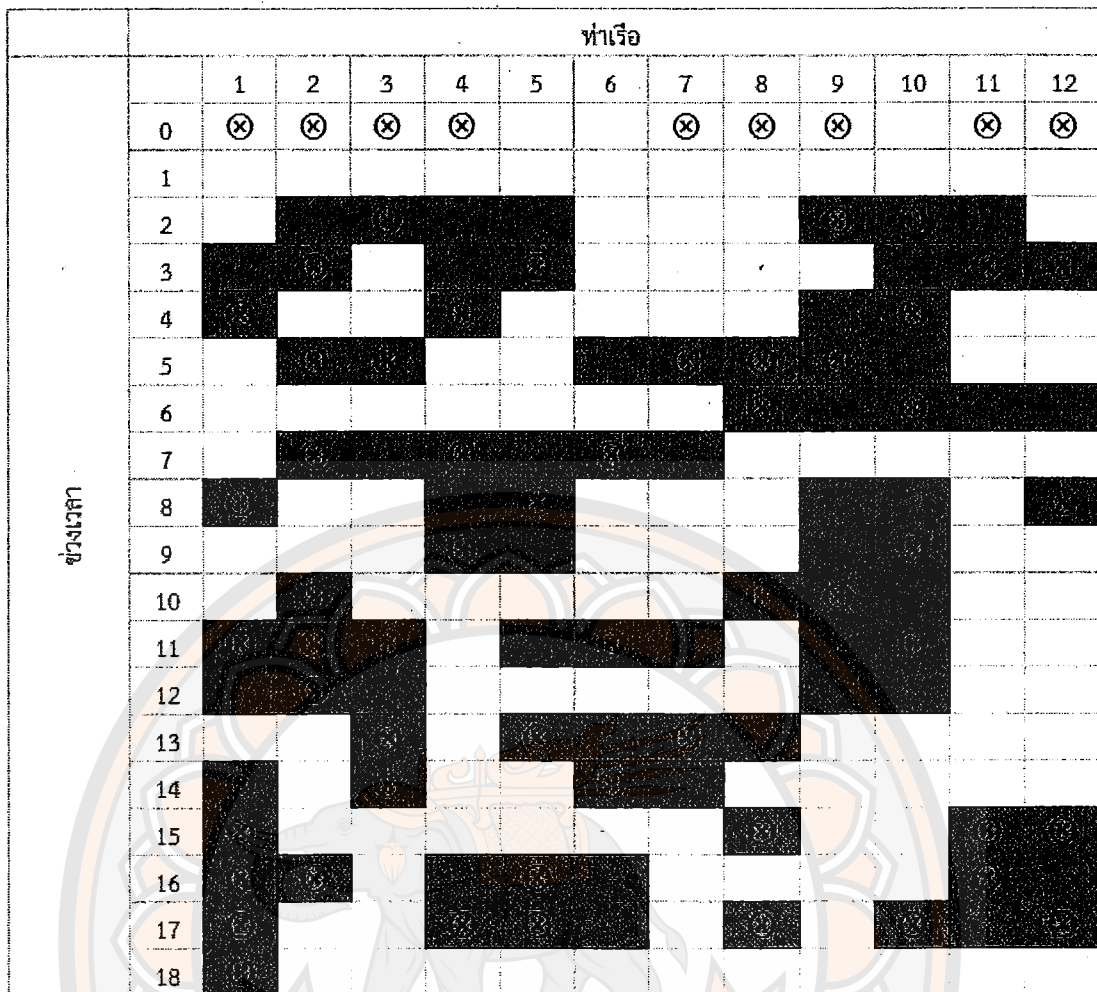
| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ | |
| | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | |

รูปที่ ก.54 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (4-M1)

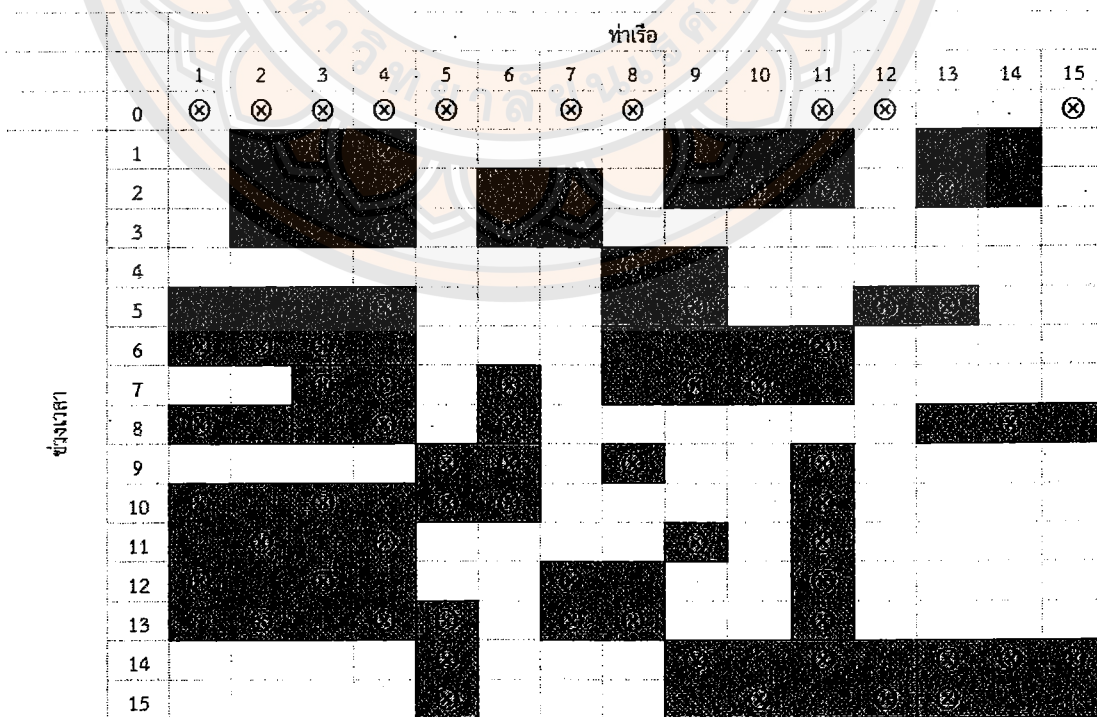
| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ช่วงเวลา | 0 | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | |
| | 1 | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| | 2 | ■ | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | |
| | 3 | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| | 4 | ■ | | | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | |
| | 5 | ■ | | | | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ |
| | 6 | | | | | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ |
| | 7 | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | | | | |
| | 8 | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| | 9 | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | |
| | 10 | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | | | | |
| | 11 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ |
| | 12 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | |
| | 13 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| | 14 | | ■ | ■ | | ■ | ■ | | | | | | |
| | 15 | | ■ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 16 | ■ | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 17 | | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | |

รูปที่ ก.55 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (4-M2)





รูปที่ ก.56 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (4-M3)



รูปที่ ก.57 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (4-M4)

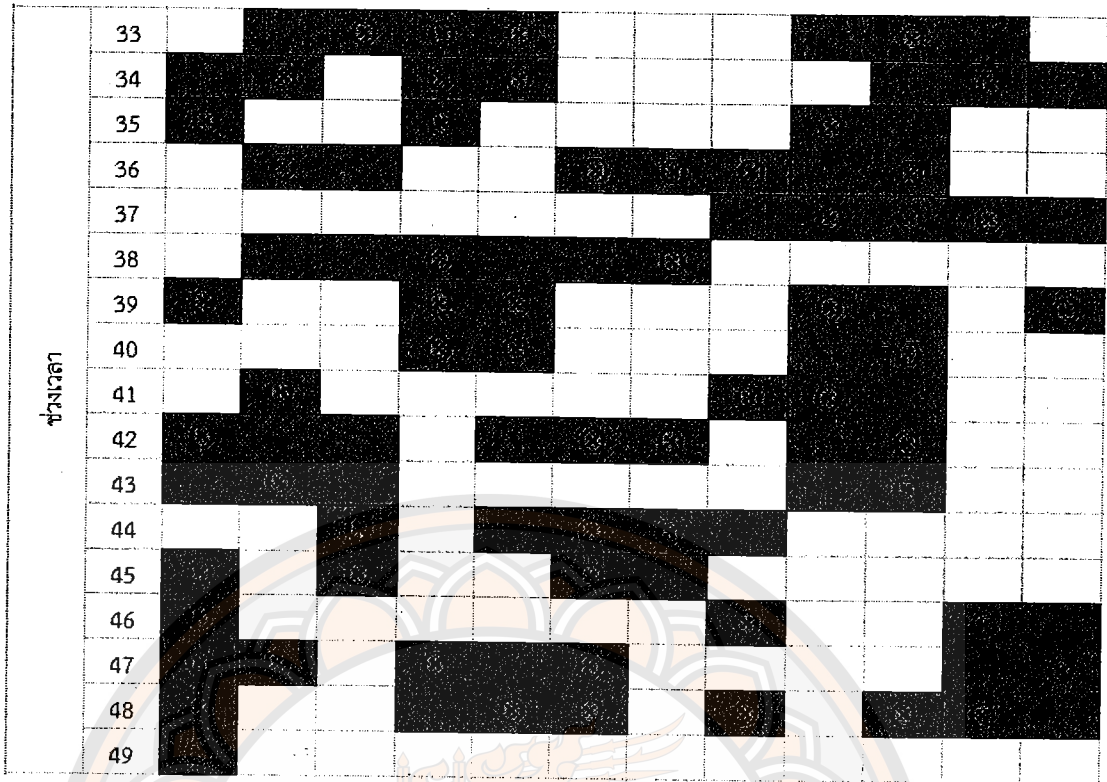
| | | ทำเรื่อง | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|---|
| ช่วงกลาง | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| | 0 | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ |
| | 1 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 2 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 3 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 4 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 5 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 6 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 7 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 8 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 9 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 10 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 11 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 12 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 14 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 15 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 16 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 17 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 18 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 19 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 20 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 21 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 22 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 23 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 24 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |

รูปที่ ก.58 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (4-M5)

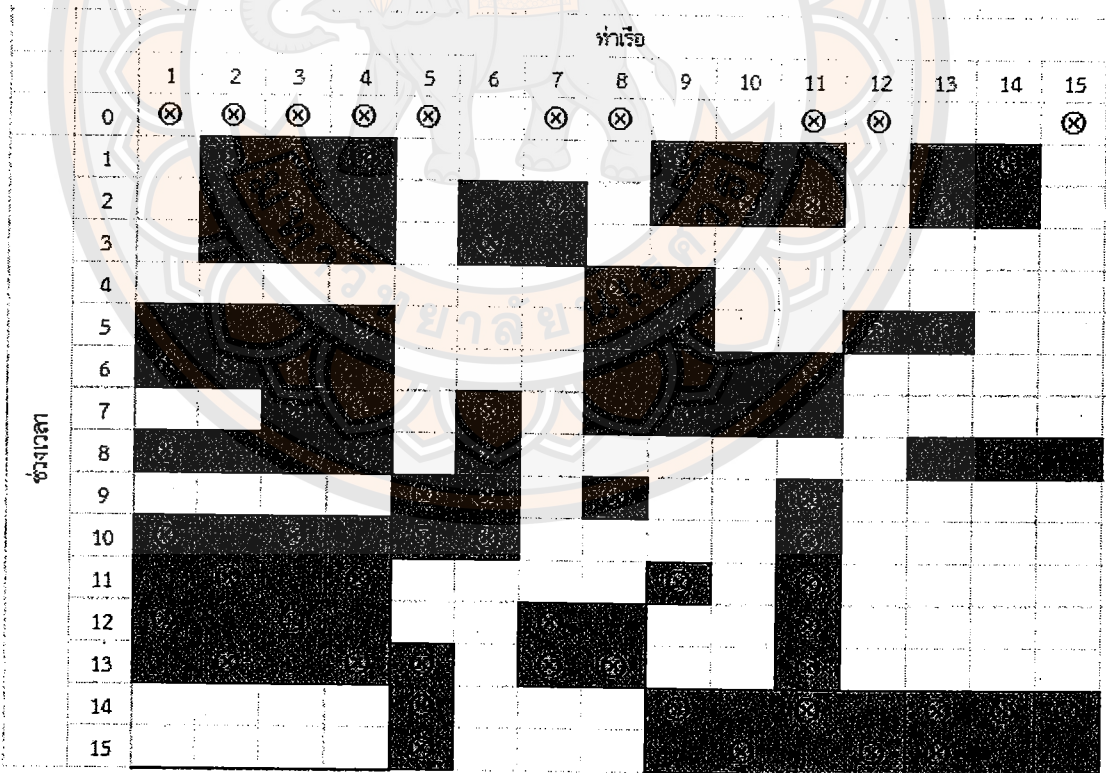
2.4.3 แบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

| | | ท่าเรือ | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--|--|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| ช่วงเวลา | 0 | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | | |
| | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ช่วงเวลา | 13 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 14 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | | | | | | | | |

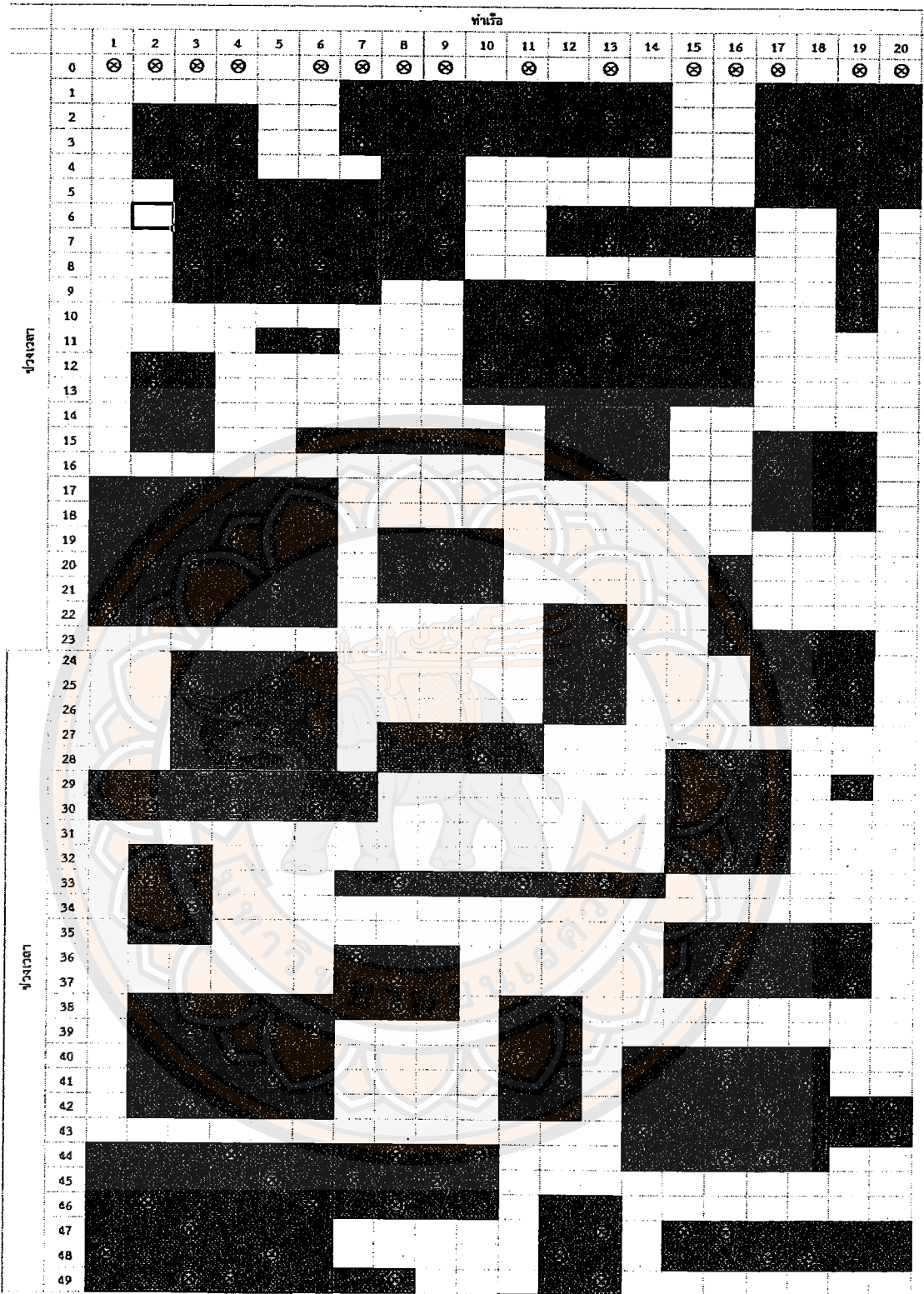
รูปที่ ก.59 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (4-L1)



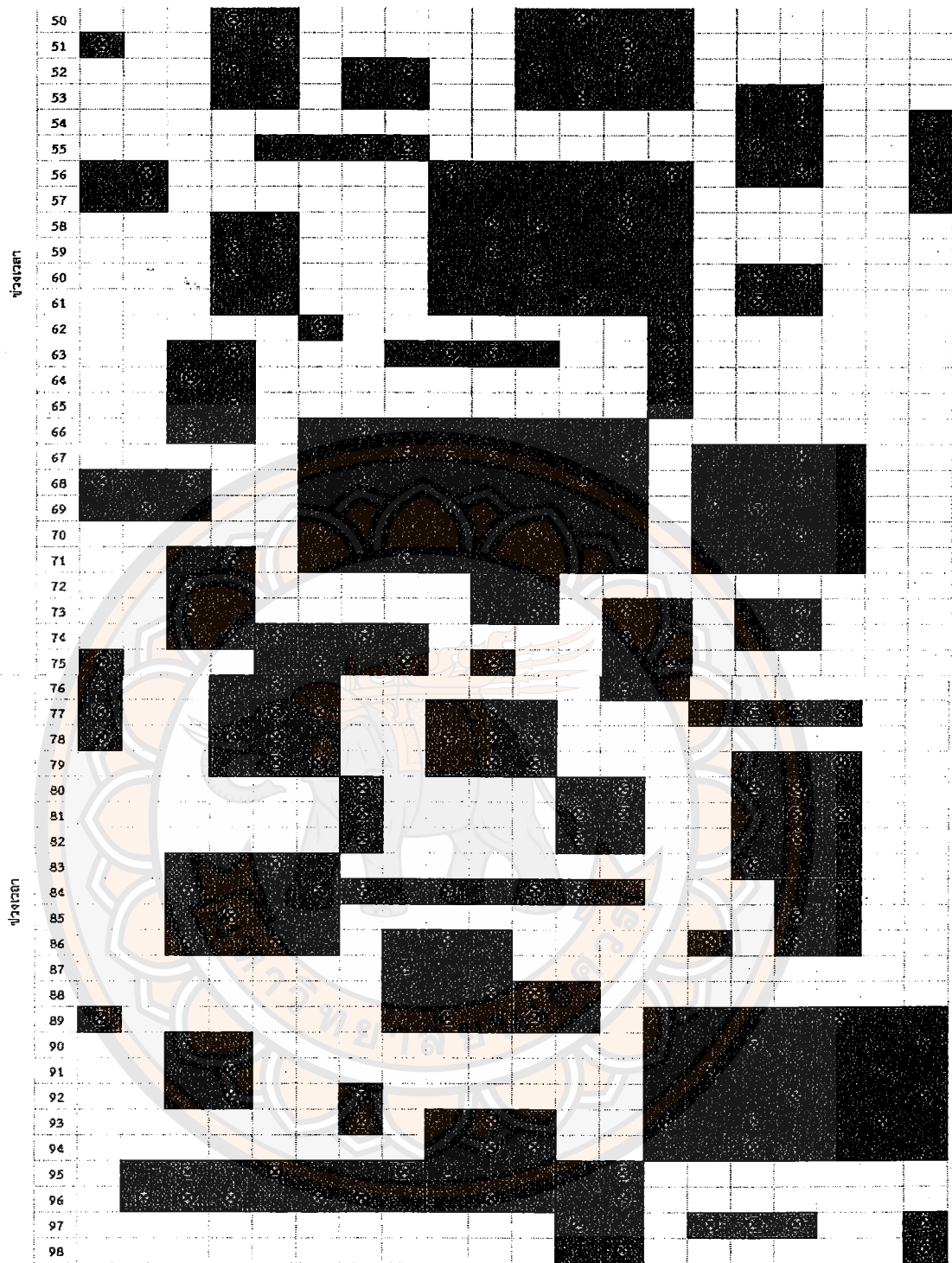
รูปที่ ก.59 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (4-L1)



รูปที่ ก.60 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (4-L2)



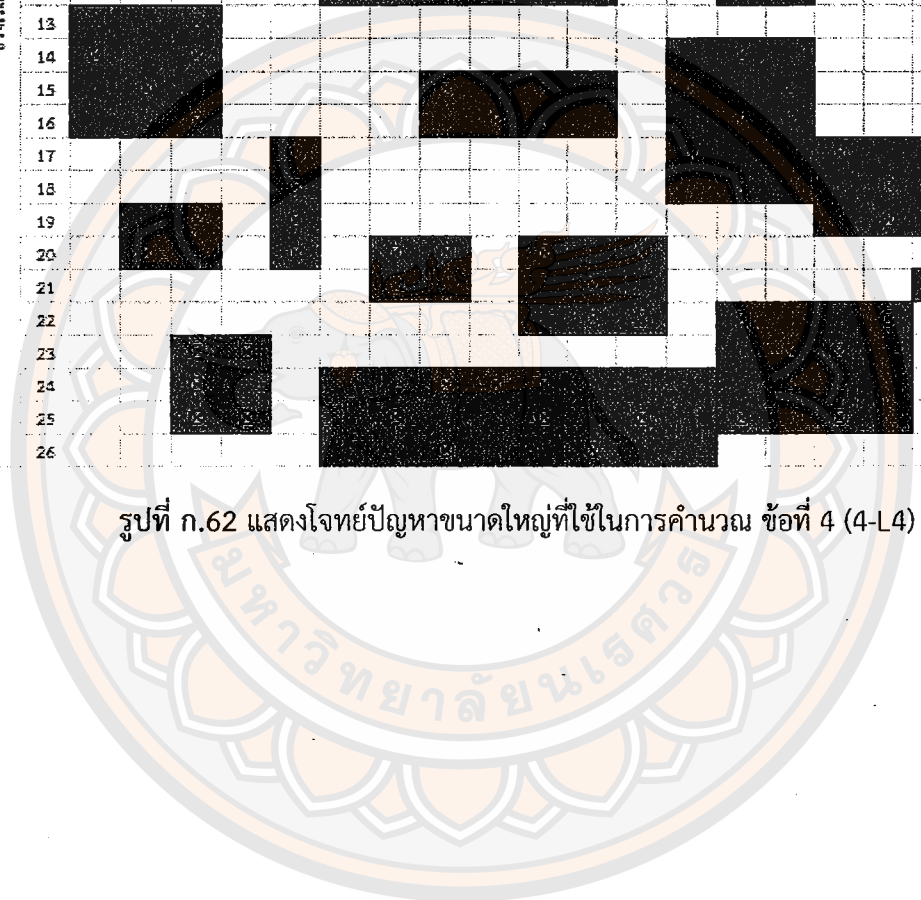
รูปที่ ก.61 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (4-L3)

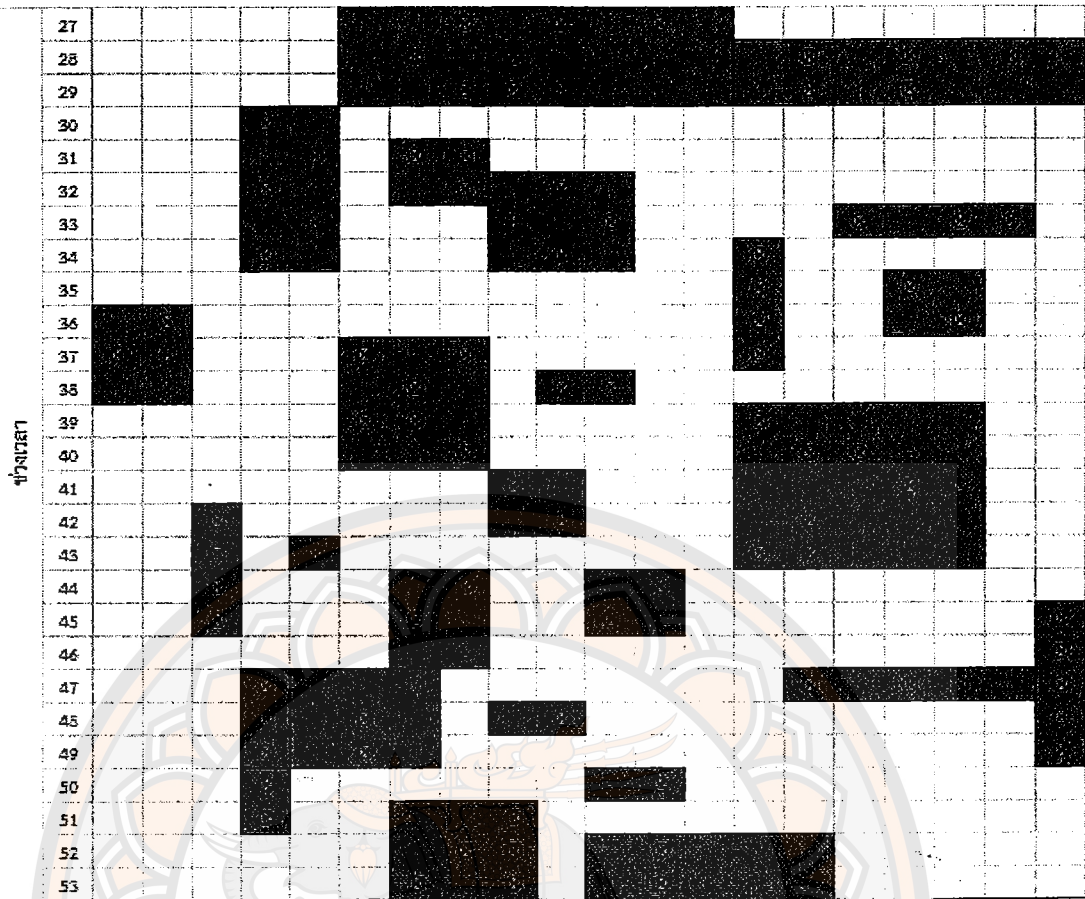


รูปที่ ก.61 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (4-L3)

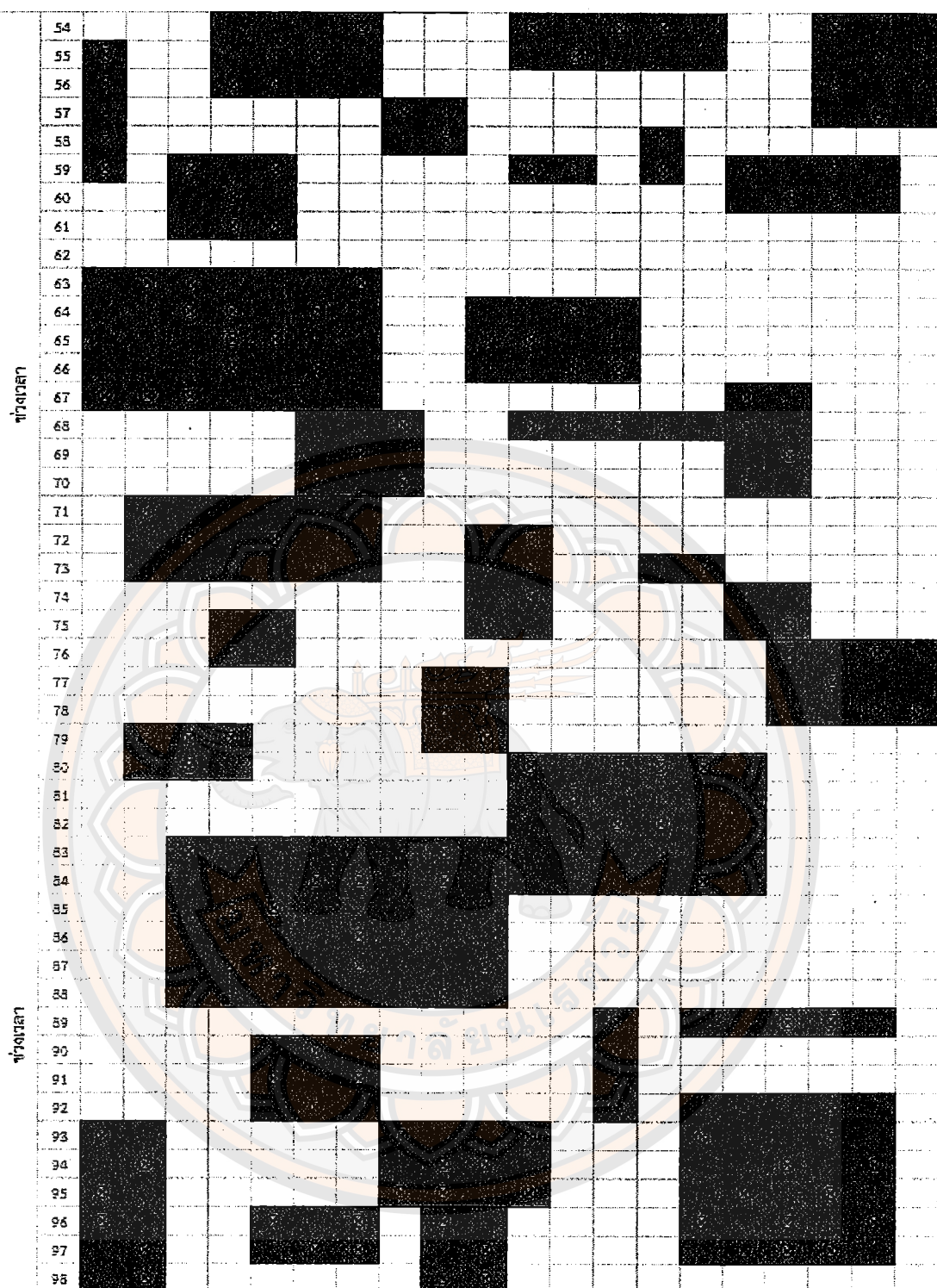
| | | พ.ร.อ. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| พ.ร.อ. | 0 | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | | ⊗ | | |
| | 1 | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 2 | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 3 | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | | | | | | | |
| | 5 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 6 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 7 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 13 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

รูปที่ ก.62 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (4-L4)





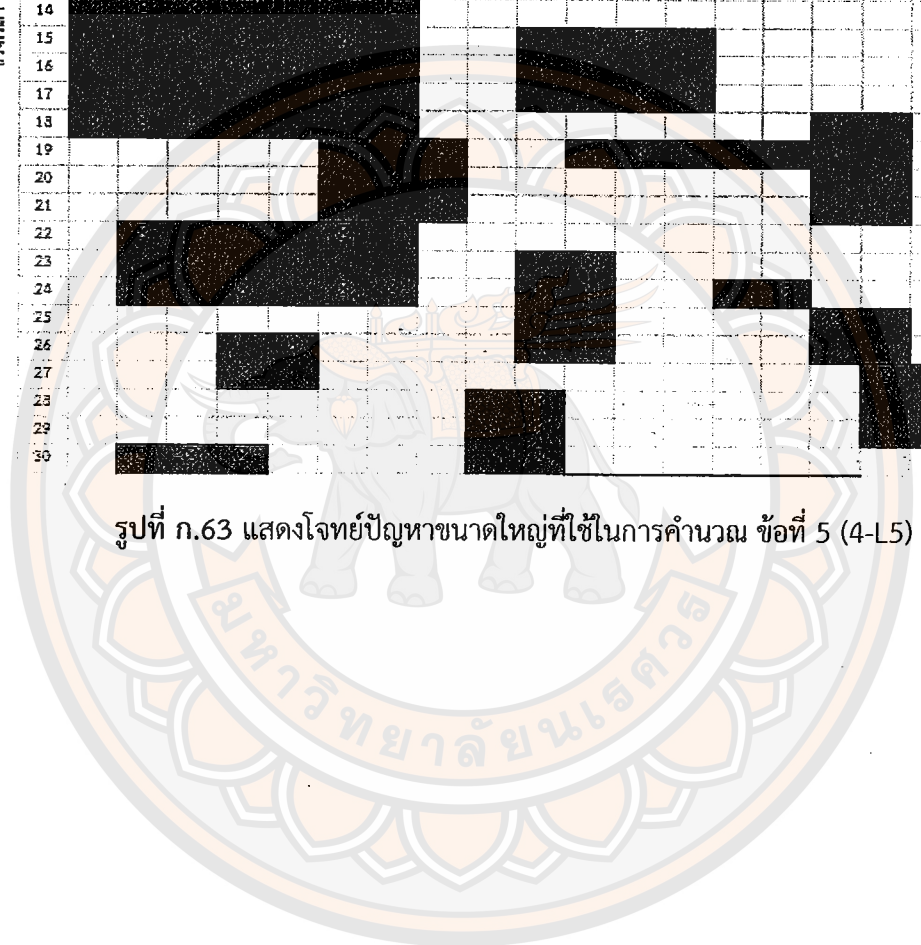
รูปที่ ก.62 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (4-L4)

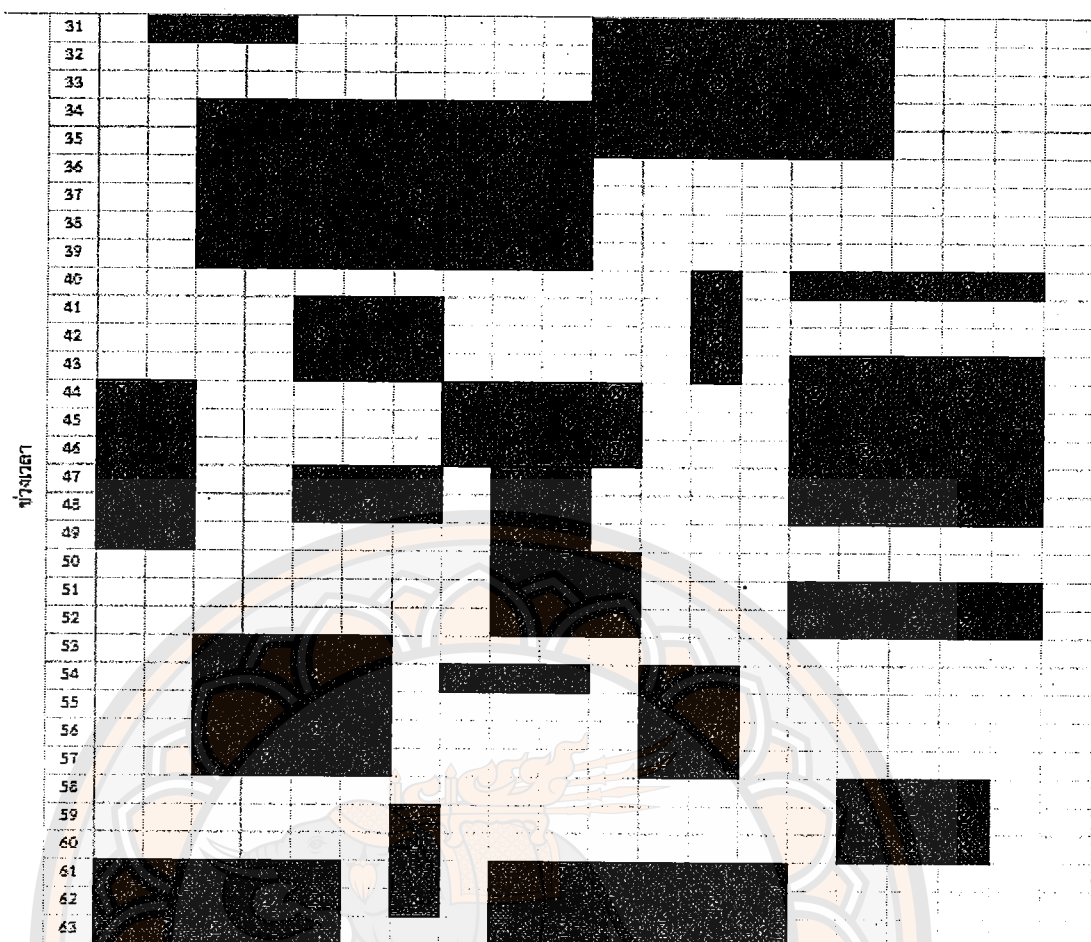


รูปที่ ก.62 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (4-L4)

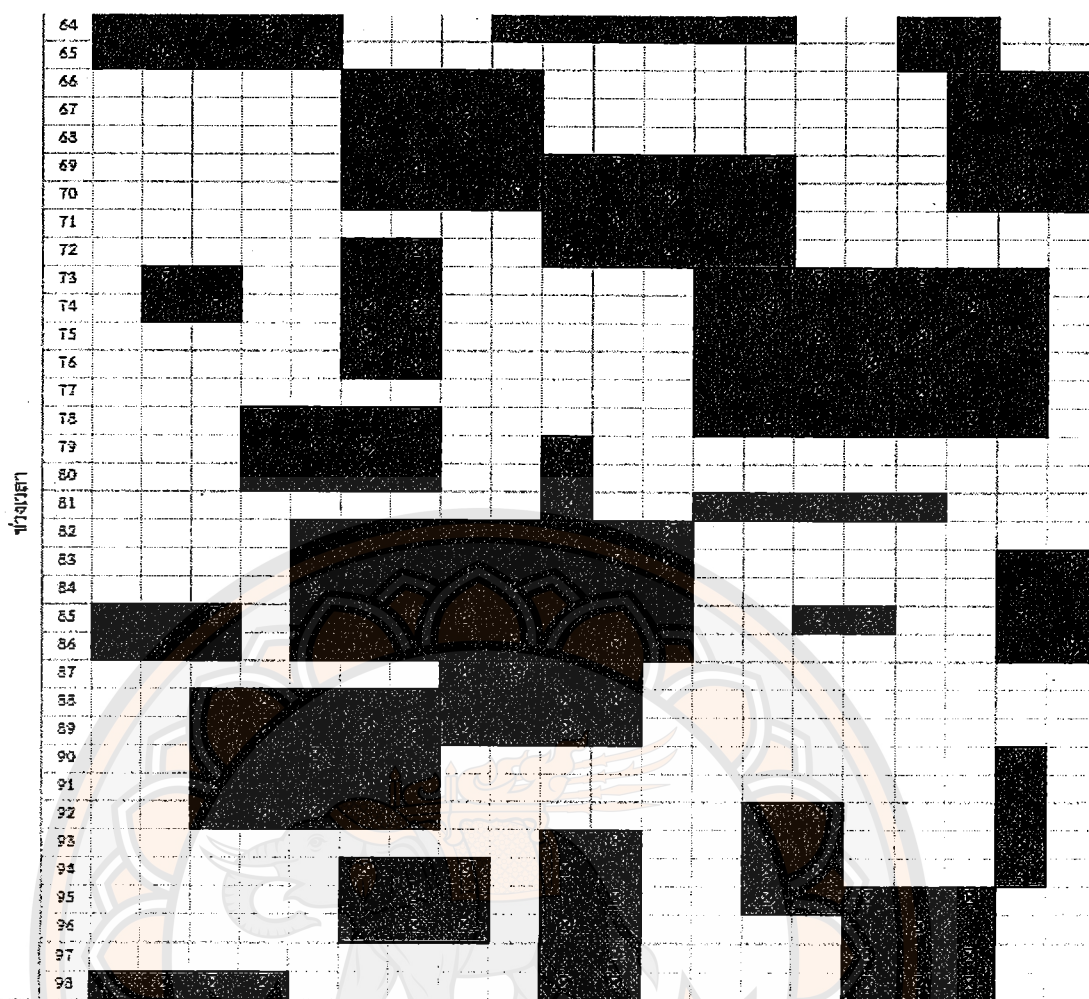
| | | พกระย | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| พกระย | 0 | ⊗ | | ⊗ | | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| | 1 | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

รูปที่ ก.63 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (4-L5)





รูปที่ ก.63 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (4-L5)



รูปที่ ก.63 (ต่อ) แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 5 (4-L5)