



การจัดตารางการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก



นิกร ตาเมืองมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การจัดตารางการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก



นิกร ตาเมืองมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

AUTOMOTIVE PART SCHEDULING OF PLASTIC INJECTION MACHINE



NIKORN TAMAUNGMA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF ENGINEERING  
IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
BURAPHA UNIVERSITY

2024

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ นิกร ตาเมืองมา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....  
(ดร.จักรวาล คุณะดิลก)

..... ประธาน  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนาริน จันทะ)

..... กรรมการ  
(ดร.จักรวาล คุณะดิลก)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย จันทระ)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรหาญ ลิลา)

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณยศ คุรุกิจโกศล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ของ  
มหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ่มเยี่ยม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

62920344: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)

คำสำคัญ: การจัดการการผลิตเครื่องจักรแบบขนาน/ แบบจำลองกำหนดการทาง  
คณิตศาสตร์/ การลดต้นทุนค่าแรงและค่าเดินเครื่องจักร

นิกร ตาเมืองมา : การจัดการการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก.

(AUTOMOTIVE PART SCHEDULING OF PLASTIC INJECTION MACHINE) คณะกรรมการ  
ควบคุมวิทยานิพนธ์: จักรวาล คุณะดิลก ปี พ.ศ. 2567.

งานวิจัยนี้เสนอวิธีแก้ปัญหาการจัดการการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่มีจุดประสงค์เพื่อจะลดต้นทุนค่าแรงและต้นทุนค่าพลังงาน กรณีศึกษาเป็นการจัดการตารางการผลิตของงาน 75 รุ่นบน บนเครื่องจักรแบบขนาน 30 เครื่อง ตารางการผลิตประจำวันถูกสร้างขึ้นจากประสบการณ์ของผู้วางแผนทำให้ภาระงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องไม่เหมาะสมทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงเสนอแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาการจัดการผลิตนี้ที่จะตัดสินใจเกี่ยวกับเวลาการทำงานของเครื่องจักร 5 รูปแบบ คือ 8 10 16 18 และ 20 ชั่วโมง และทำการจัดลำดับงานรุ่นต่าง ๆ ลงบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องให้ขึ้นไปตามเงื่อนไขด้านเวลาทำงานสูงสุดนี้ ปัญหาการจัดการผลิตจริง 10 ปัญหาถูกใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เป็นการกำหนดให้จำนวนเครื่องจักรคงที่ 30 เครื่อง และแบบที่ 2 เป็นการกำหนดให้หาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม โดยกำหนดเวลาประมวลผลสูงสุดที่ 1200 วินาที ผลการวิจัยพบว่า การจัดการตารางการผลิตแบบที่ 1 สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ 6 ปัญหาโดยใช้เวลาประมวลผลโดยเฉลี่ย 212.5 วินาที สำหรับปัญหาที่ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ดีที่สุดกับค่าขอบเขตล่างของปัญหาโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.006% ส่วนแบบที่ 2 สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ 3 ปัญหาที่เวลาประมวลผลโดยเฉลี่ย 631 วินาที สำหรับปัญหาที่ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ดีที่สุดกับค่าขอบเขตล่างของปัญหาโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.104% ผลการเปรียบเทียบด้านต้นทุนพบว่าการจัดการตารางการผลิตแบบที่ 1 มีต้นทุนการผลิตลดลงจากวิธีการเดิมเท่ากับ 14,926 บาท หรือคิดเป็นการลดลง 4.6% และแบบที่ 2 มีต้นทุนการผลิตลดลงจากวิธีการเดิมเท่ากับ 18,949 บาท หรือคิดเป็นการลดลง 5.8%

62920344: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)

KEYWORDS: PARALLEL MACHINE SCHEDULING/ MATHEMATICAL PROGRAMMING MODEL/ LABOR AND MACHINE RUNNING COST REDUCTION

NIKORN TAMAUNGMA : AUTOMOTIVE PART SCHEDULING OF PLASTIC INJECTION MACHINE. ADVISORY COMMITTEE: JAKKRAWARN KUNADILOK, 2024.

This research proposes a method for automotive parts production scheduling in plastic injection molding machines that aims to reduce labor costs and electrical energy costs. The case study is the production scheduling of 75 models on 30 parallel machines. The daily production schedule was created based on the planner's experience, causing the workload of each machine to be inappropriate, which results have overtime costs. This research therefore proposes a mathematical scheduling model for solving this production scheduling problem. The model decides on each machine from five variations: 8, 10, 16, 18, and 20 hours, and sequences the jobs on each machine according to this maximum run time condition. Ten scheduling problems from the past production data are used to test the effectiveness of the proposed method in two types: Model 1 is to set the number of machines to be fixed at 30 machines, and Model 2 is to find the appropriate number of machines as well. The research results reveal that the proposed Model 1 was able to find an optimal solution for 6 problems with an average processing time of 212.5 seconds. For problems with unfounded optimal solution, the percentage of gap between the best feasible solution and the lower bound is 0.006% on average. For the proposed Model 2, an optimal solution was found for 3 problems with an average processing time of 631 seconds. The percentage of gap between the best feasible solution and the lower bound is 0.104% for problems with unfounded optimal solution. The cost comparison results found that production schedules with the proposed Model 1 and 2 have production costs reduced from the previous method by 14,926 baht and 18,949 baht, or a reduction of 4.6% and 5.8%

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาจากอาจารย์ ดร. จักรวาล คุณะดิลก อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้สามารถดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ได้สำเร็จ และเสร็จสมบูรณ์ รวมถึงท่านประธานและคณะกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงเกียรติทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นและสามารถเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาข้อมูลในอนาคตต่อไปได้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ภรรยาและครอบครัว รวมไปถึงเพื่อนๆ พี่น้องทุกท่านที่มีส่วนสำคัญในการให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทครั้งนี้ได้ด้วยดี ขอแสดงความนับถืออย่างสูง

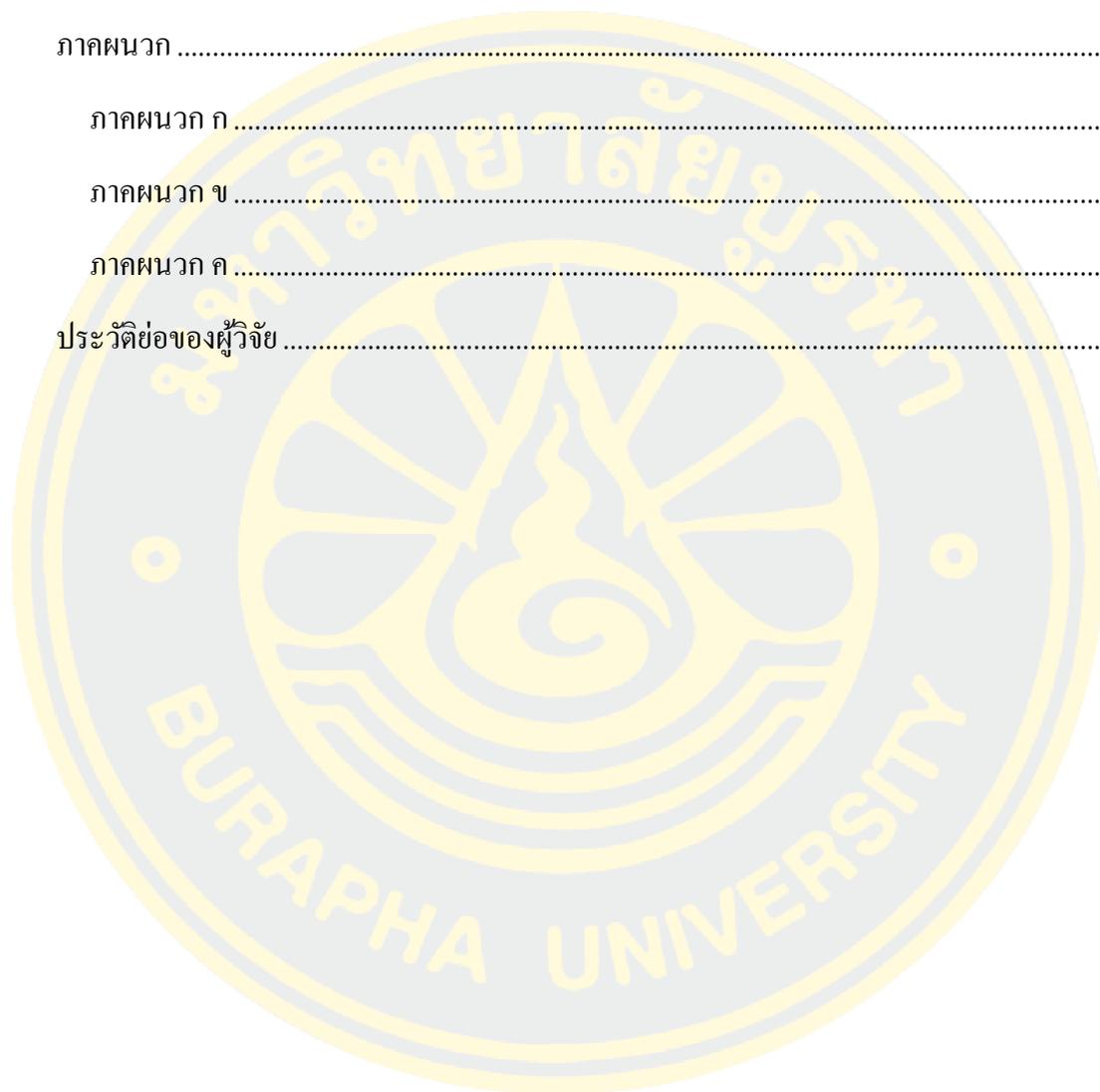
นิกร ตาเมืองมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
ที่มาและความสำคัญ .....	1
วัตถุประสงค์ .....	3
ขอบเขตของการวิจัย .....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	5
การวางแผนการผลิต (Production Planning) .....	5
ชนิดของการวางแผนการผลิต .....	5
การจัดตารางการผลิต (Production Scheduling) .....	7
การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine Mcheduling) .....	8
แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) .....	8
การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver .....	9
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน .....	15

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	15
การศึกษาข้อมูลปัจจุบันของการจัดตารางแผนการผลิตบริษัทกรณีศึกษา.....	16
ขั้นตอนการผลิตของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก.....	16
ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต.....	19
ขั้นตอนการวางแผนการผลิตของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก.....	20
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	21
การวิเคราะห์ปัญหาปัจจุบันและแนวทางการแก้ไข.....	22
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	26
การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนการใช้งาน.....	27
ดัชนีและเซต.....	27
พารามิเตอร์.....	27
ตัวแปรตัดสินใจ.....	27
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	28
ข้อจำกัด.....	28
การจัดตารางงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง....	29
การจัดตารางงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบการหาจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ให้เหมาะสม.....	30
การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	32
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักรเทียบกับวิธีการเดิม.....	34
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใช้จำนวนเครื่องที่เหมาะสมเทียบกับวิธีการเดิม.....	36
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล.....	40
สรุปผลการวิจัย.....	40

อภิปรายผล.....	41
ข้อเสนอแนะ .....	43
บรรณานุกรม .....	44
ภาคผนวก .....	46
ภาคผนวก ก .....	47
ภาคผนวก ข .....	51
ภาคผนวก ค .....	54
ประวัติย่อของผู้วิจัย .....	65



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 เครื่องจักรและร่นการผลิตที่เป็นไปได้.....	18
ตารางที่ 2 เวลาการผลิตและเวลาเปลี่ยนร่นการผลิต.....	18
ตารางที่ 3 ต้นทุนค่าแรงแต่ละช่วงเวลา.....	19
ตารางที่ 4 รูปแบบต้นทุนค่าแรงแต่ละช่วงเวลา.....	19
ตารางที่ 5 ต้นทุนค่าพลังงาน.....	20
ตารางที่ 6 แผนการผลิตและต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการวางแผนจากพนักงานวางแผน.....	23
ตารางที่ 7 แผนการผลิตและต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการจัดแผนผลิตใหม่.....	24
ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบเวลาการทำงาน ต้นทุนค่าแรงและต้นทุนพลังงานไฟฟ้า.....	25
ตารางที่ 9 ผลของการประมวลผลด้วยแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่องของปัญหาที่ 1.....	29
ตารางที่ 10 ผลของการประมวลผลแบบจำลองแบบการหาจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ให้เหมาะสมของ ปัญหาที่ 1.....	31
ตารางที่ 11 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่ 1.....	35
ตารางที่ 12 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่ 2.....	37

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา .....	2
ภาพที่ 2 ตัวอย่างกราฟแสดงเวลาการผลิตของแต่ละเครื่องจักรในปัญหาที่ 1 .....	3
ภาพที่ 3 การติดตั้ง Add-ins ของ OpenSolver ใน Microsoft excel .....	10
ภาพที่ 4 การเรียกใช้งาน OpenSolver (OpenSover,2021).....	10
ภาพที่ 5 หน้าต่าง OpenSolver Parameters สำหรับกรอกข้อมูลแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์...11	
ภาพที่ 6 เครื่องฉีดพลาสติกและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง .....	17
ภาพที่ 7 รุ่นการผลิต $i$ จำนวน 75 รุ่นที่สามารถผลิตบนเครื่องจักร $j$ จำนวน 30 เครื่อง.....	21
ภาพที่ 8 เวลาและรูปแบบค่าแรงที่เกิดขึ้นของแต่ละเครื่องจักร .....	22
ภาพที่ 9 ผลที่แสดงใน Log หลังจาการประมวลผลของแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่องของปัญหาที่ 1 .....	33
ภาพที่ 10 การพบ Optimal Solution ของแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง ปัญหาที่ 1.....	33
ภาพที่ 11 การพบ Optimal Solution ของแบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมปัญหาที่ 1 .....	34
ภาพที่ 12 การปรับปรุงผลลัพธ์ระหว่างประมวลผลของปัญหาที่ 2 ของแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง .....	36
ภาพที่ 13 การปรับปรุงผลลัพธ์ระหว่างประมวลผลของปัญหาที่ 3 ของแบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม .....	38
ภาพที่ 14 เวลาการทำงานของปัญหาที่ 1 การจัดตารางการผลิตแบบต่าง ๆ .....	39
ภาพที่ 15 เวลาการผลิตแต่ละเครื่องจักรหลังการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่งของปัญหาที่ 1 .....	41

ภาพที่ 16 เวลาการผลิตแต่ละเครื่องจักรหลังการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สองของ  
 ปัญหาที่ 1 .....42



# บทที่ 1

## บทนำ

### ที่มาและความสำคัญ

จากสถานการณ์ปัจจุบันเศรษฐกิจโลกเกิดการชะลอตัว และพบว่ายอดขายของแต่ละบริษัท มีแนวโน้มลดลงเป็นอย่างมาก ทำให้หลายบริษัทมีการปรับลดต้นทุนการผลิตโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การปรับกำลังการผลิตให้เหมาะสมกับความต้องการของลูกค้า และการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของพนักงาน เป็นต้น เพื่อให้บริษัทสามารถมีกำไรในช่วงของสถานการณ์ดังกล่าว นอกจากนี้ก็ยังมีความจำเป็นเรื่องของการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต เช่น การรวมสายการผลิต การปรับปรุงวิธีการทำงาน เพื่อลดเวลาในการผลิต การปรับเปลี่ยนต่าง ๆ เหล่านี้ก็เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนการผลิตให้เหมาะสมกับความต้องการของลูกค้าที่ลดลง ซึ่งการปรับเปลี่ยนในลักษณะดังกล่าวจำเป็นต้องมีต้นทุนเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาและมีการคำนวณให้ถูกต้องก่อนการตัดสินใจ เพื่อให้การปรับเปลี่ยนมีความผิดพลาดน้อยที่สุด และในบริษัทที่ได้เลือกมาเป็นกรณีศึกษานี้ก็เป็นหนึ่งในบริษัทที่ได้รับผลกระทบดังกล่าว บริษัทนี้เป็นบริษัทผลิตชิ้นส่วนของอุตสาหกรรมรถยนต์ ซึ่งมีสองกระบวนการผลิตหลักที่สำคัญคือ กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกและกระบวนการชุบโครเมียม จากผลกระทบเศรษฐกิจชะลอตัว ทำให้บริษัทจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการหรือคิดค้นวิธีการใหม่มุ่งเน้นให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีต้นทุนการผลิตที่ลดลง เพื่อให้บริษัทสามารถดำเนินกิจการอยู่ได้ต่อไป ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เพื่อจะปรับปรุงวิธีการจัดการการผลิตให้เกิดลำดับการผลิตที่เหมาะสมและสามารถลดต้นทุนการผลิตจากการวางแผนที่ใช้ประสบการณ์ของพนักงานวางแผนลงได้ โดยใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการทำวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นในส่วนของ การลดต้นทุนค่าแรงและค่าพลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรเป็นหลัก

ผลิตภัณฑ์ของบริษัทที่ศึกษาจะเป็นชิ้นส่วนประกอบตกแต่งภายนอกรถยนต์ดังภาพที่ 1 ซึ่งจะมีกระบวนการผลิตหลักคือการฉีดขึ้นรูปพลาสติกและการชุบโครเมียม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นงานที่ตกแต่งภายนอก เช่น กริลบาร์ด้านนอกรถ ชิ้นส่วนประกอบโลโก้รถ และกรอบของหลอดไฟรถ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกนั้นเป็นกระบวนการแรก จึงต้องมีการวางแผนการผลิตอย่างรอบคอบและมีความถูกต้องเพื่อให้สามารถส่งต่อชิ้นงานให้กระบวนการถัดไปได้ได้อย่างราบรื่นและมีจำนวนที่เพียงพอเหมาะสม เพื่อที่จะสามารถผลิตชิ้นงานและส่งให้ลูกค้าได้ตามความต้องการของลูกค้า การวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญที่จะช่วยให้

สามารถผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้า และการวางแผนที่มีประสิทธิผลยังส่งผลทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงอีกด้วย

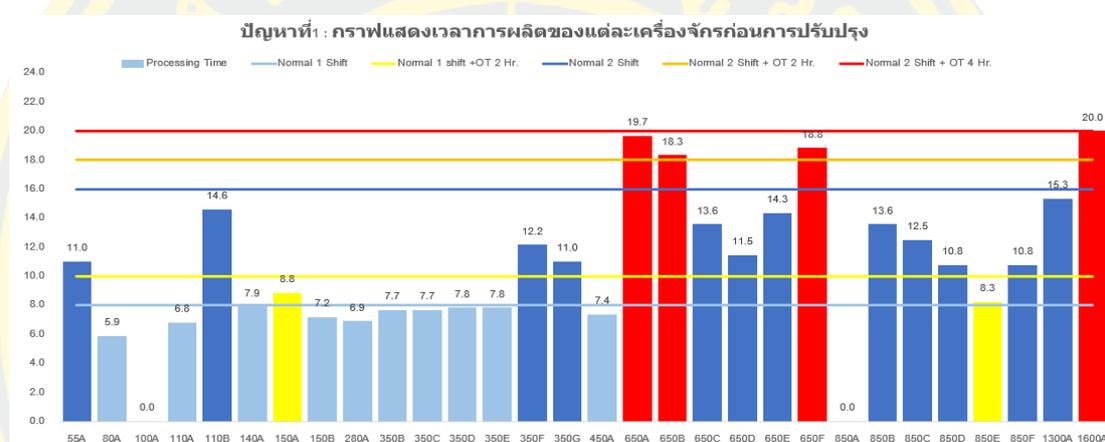


ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นเฉพาะการวางแผนการผลิตของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเท่านั้น สาเหตุที่เลือกกระบวนการนี้ขึ้นมาศึกษาเนื่องจากเป็นกระบวนการต้นน้ำ และจากข้อมูลมีค่าแรงล่วงเวลาเกิดขึ้นโดยไม่จำเป็นในการผลิตอยู่บ่อยครั้งเพราะเครื่องฉีดพลาสติกหนึ่งเครื่องสามารถผลิตชิ้นงานพลาสติกได้หลายรุ่น เนื่องจากรุ่นการผลิตมีความแตกต่างกันทั้งหมด 75 รุ่น ใช้เวลาเปลี่ยนรุ่น 15 นาทีหรือ 30 นาทีขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักร และพนักงานวางแผนจะคำนวณเฉพาะจำนวนที่ต้องการเพื่อที่จะสามารถผลิตงานได้เพียงพอต่อกระบวนการถัดไป นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของการเปลี่ยนรุ่นการผลิตแล้ว อีกหนึ่งปัจจัยคือเวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละรุ่นพิจารณาอีกด้วย ในกรณีศึกษาจะทำการศึกษาข้อมูลการจัดตารางการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกที่เป็นข้อมูลการวางแผนผลิตจริงของบริษัทกรณีศึกษา และเลือกใช้ข้อมูลในการผลิตแต่ละวันทั้งหมดจำนวน 10 วันมาใช้ในการวิเคราะห์และทำการวิจัยในครั้งนี้

เนื่องจากการวางแผนการผลิตในปัจจุบันเป็นการวางแผนด้วยประสบการณ์ของพนักงานวางแผนการผลิต ซึ่งอาศัยประสบการณ์ในการวางแผนโดยใช้ข้อมูลคำสั่งซื้อของลูกค้าในการวางแผนผลิตโดยตรงและไม่ได้สมดุลภาระงานของแต่ละเครื่องจักร จึงทำให้มีการใช้เวลาในการผลิตที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เกิดการทำงานล่วงเวลาในการผลิตหลายเครื่องจักร ดังแสดงตัวอย่างใน

กราฟภาพที่ 2 กราฟแท่งสี่เหลี่ยมแสดงเวลาการทำงานของเครื่องจักร 2 เครื่องที่ต้องทำงานล่วงเวลา 2 ชั่วโมง และกราฟแท่งสี่เหลี่ยมแสดงเวลาการทำงานของเครื่องจักร 4 เครื่องที่ต้องทำงานล่วงเวลา 4 ชั่วโมง รวมการทำงานล่วงเวลาทั้งหมดของแผนการผลิตนี้เท่ากับ 20 ชั่วโมง กราฟแท่งสีน้ำเงินแสดงเวลาการทำงานของเครื่องจักร 12 เครื่องที่ต้องทำงาน 2 กะตามเวลาปกติ แต่เนื่องจากไม่ได้จัดภาระงานให้ดี ทำให้เกิดเวลารวมกัน 41 ชั่วโมง ดังนั้นหากจัดตารางการผลิตให้เหมาะสมโดยย้ายรุ่นงานที่ผลิตบนเครื่องจักรที่ต้องทำงานล่วงเวลา มาผลิตบนเครื่องจักรที่มีเวลาร่างาน ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนด้านการทำงานล่วงเวลา หรืออาจสามารถลดจำนวนการเปิดเครื่องจักรลงได้



ภาพที่ 2 ตัวอย่างกราฟแสดงเวลาการผลิตของแต่ละเครื่องจักรในปัญหาที่ 1

### วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตรายวันที่ทำให้ต้นทุนของค่าแรงและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด

### ขอบเขตของการวิจัย

ในการทำวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาการจัดตารางการผลิตที่เกี่ยวกับกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเท่านั้น โดยจะมีการกำหนดขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลจริงของการวางแผนในกระบวนการฉีดพลาสติก
2. ข้อมูลมีการกำหนดวันและเวลาที่ในการผลิตอย่างชัดเจน
3. เครื่องจักรเริ่มผลิตงานที่เวลา  $t = 0$
4. เครื่องฉีดพลาสติกแต่ละเครื่องเป็นอิสระต่อกัน

5. ไม่นำเวลาที่เครื่องจักรหยุดซ่อมหรือหยุดบำรุงรักษามาคำนวณ
6. เครื่องจักรหนึ่งเครื่องผลิตงานได้มากกว่าหนึ่งรุ่นขึ้นอยู่กับขนาดแม่พิมพ์ที่เครื่องนั้นสามารถขึ้นงานรุ่นนั้นได้ และจำนวนชิ้นงานต่อการฉีดหนึ่งครั้งมีจำนวนชิ้นต่อครั้งขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์นั้นเช่นกัน
7. เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรแต่ละรุ่นเป็นแบบไม่ขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้าและรู้ค่าชัดเจน
8. งานแต่ละงานเป็นอิสระต่อกัน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพและความถูกต้อง
2. ลดต้นทุนการผลิตในส่วนของค่าแรงและค่าพลังงานไฟฟ้า
3. ลดเวลาในการจัดตารางการผลิตลง
4. เพิ่มความสามารถในการผลิตและตอบสนองความต้องการของกระบวนการถัดไปได้
5. เป็นงานวิจัยที่สามารถเป็นแนวทางให้กับผู้ที่มีปัญหาลักษณะเดียวกันได้ศึกษาต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้จะใช้สำหรับออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในงานวิจัยนี้

#### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### การวางแผนการผลิต (Production Planning)

การวางแผนการผลิต เป็นการวางแผนในการจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เช่น แรงงาน เครื่องจักร วัตถุดิบกระบวนการผลิต หรือ 4M (Man Machine Method Material) เพื่อให้ผลการผลิตบรรลุตามเป้าหมายที่ถูกกำหนดไว้โดยความต้องการของลูกค้า (Customer Demand) ซึ่งความต้องการของลูกค้านั้นอาจเกิดจากการสั่งซื้อจริงที่เกิดขึ้นแล้ว และการพยากรณ์ ความต้องการที่จะซื้อสินค้าในอนาคตตามช่วงเวลาต่าง ๆ

การวางแผนการผลิตมีทั้งแผนการผลิตระยะสั้น และแผนการผลิตระยะยาว โดยแผนการผลิตในระยะยาวส่วนมากจะเป็นไปในลักษณะของการลงทุนเพื่อรองรับการเติบโตของธุรกิจในอนาคต เช่น การวางแผนการสร้างหรือการขยายโรงงาน การซื้อเครื่องจักรการวางแผนด้านบุคลากร แผนการผลิตในระยะยาวนี้ส่วนมากจะมีระยะเวลาเกิน 1 ปีขึ้นไป (ประมาณ 3-5 ปี) โดยจะเน้นไปที่การเพิ่มกำลังการผลิตและการขยายกิจการ

ส่วนแผนการผลิตในระยะสั้น จะเป็นการวางแผนการผลิตตามช่วงเวลาต่าง ๆ ภายใน 12 เดือน เช่น แผนการผลิตประจำวัน แผนการผลิตประจำสัปดาห์ แผนการผลิตประจำเดือน แผนการผลิตประจำปี เป็นต้น การวางแผนการผลิตระยะสั้นนี้จะมีการกำหนดเป้าหมายที่ชัดเจน ซึ่งเป้าหมายนี้จะถูกคำนวณจากกำลังการผลิตที่มีอยู่ การวางแผนการผลิตจะทำควบคู่ไปกับการควบคุมการผลิตเพื่อที่จะเฝ้าติดตามและควบคุมสถานะและระดับของการผลิตให้ยังคงอยู่ในแผนการทำผลิตตามระยะเวลา

##### ชนิดของการวางแผนการผลิต

ชนิดของแผนการผลิตจะถูกปรับเปลี่ยนตามลักษณะของการผลิตและผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. แผนการผลิตตามคำสั่ง (Job Order Production Planning) แผนการผลิตแบบตามคำสั่งผลิตภัณฑ์มักจะมีหลากหลายชนิด มีจำนวนการผลิตต่อครั้งน้อย ดังนั้นเครื่องจักรที่จะทำการ

ผลิตต้องมีความยืดหยุ่นสูง สามารถแปรรูปผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายขบวนการการ เช่น เครื่องกลึง CNC, เครื่อง Machining Center เป็นต้น รวมถึงวิธีการการผลิตต้องอาศัยทักษะของผู้ปฏิบัติงานที่สูงด้วยเช่นกัน เนื่องจากหลายครั้งที่พบว่าเป็นงานแบบพิเศษ ที่ไม่ค่อยมีการผลิตและมีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบใหม่อยู่เสมอ การวางแผนการผลิตแบบตามสั่งนี้ความยากจะอยู่ที่กระบวนการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อนและระยะเวลาในการผลิตที่ไม่ค่อยแน่นอน บางครั้งผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น ต้องระยะเวลาในการผลิตหลายวันหรือเป็นเดือน แต่ก็มีข้อดีคือชิ้นงานค่อนข้างที่จะมีราคาสูง ถ้าสามารถผลิตชิ้นงานได้เสร็จทันตามกำหนดเวลาตามที่วางแผนไว้ไม่มีงานเสียเกิดขึ้นผลกำไรที่ตามมาค่อนข้างที่จะสูงด้วยเช่นกัน การวางแผนการผลิตแบบตามสั่งที่แม่นยำนั้นควรจะต้องได้รับความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะหน่วยงานด้านเทคนิคและวิศวกรรม เพราะเป็นงานที่ต้องอาศัยทักษะอย่างมากในการผลิต ตัวอย่างงานผลิตตามใบสั่ง เช่น แม่พิมพ์, งานซ่อมบำรุง เป็นต้น

2. แผนการผลิตแบบต่อเนื่องหรือจำนวนมาก (Mass Production Planning) แผนการผลิตแบบต่อเนื่องหรือการผลิตแบบจำนวนมาก มีการนำมาใช้หลากหลายในปัจจุบัน มีจำนวนสินค้าน้อยชนิดแต่ผลิตครั้งละจำนวนมาก ๆ มีลักษณะความต้องการที่ที่แน่นอนตามแนวโน้มซึ่งต้องอาศัยการพยากรณ์ที่แม่นยำด้วยเช่นกัน โดยส่วนมากแล้วการผลิตแบบต่อเนื่องนี้จะมีการวางแผนการผลิตเพื่อเก็บเป็นสต็อกเพื่อจำหน่ายให้กับลูกค้าตามแผนการส่งมอบต่อไป เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตแบบต่อเนื่องหรือจำนวนมากนั้นจะใช้เครื่องจักรเฉพาะทางซึ่งสามารถผลิตได้ครั้งละจำนวนมาก ๆ คุณภาพแม่นยำ แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงการลงทุนอย่างรอบคอบเนื่องจากเครื่องจักรมีราคาแพง ส่วนแรงงานก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์และสายการผลิต บางสายการผลิตก็จะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเป็นส่วนมากทำให้ใช้แรงงานน้อยอาจจะเหลือเฉพาะผู้ควบคุมเครื่องจักร, พนักงานตรวจสอบคุณภาพ เป็นต้น บางสายการผลิตที่ต้องอาศัยฝีมือแรงงานเป็นหลัก เช่น สายงานประกอบที่ต้องอาศัยความประณีตของฝีมือ ก็อาจจะต้องใช้แรงงานจำนวนมากด้วยเช่นกันขึ้นอยู่กับแผนการผลิตในการจัดสรรปัจจัยด้านแรงงาน ความสำคัญของการจัดการสายการผลิตแบบต่อเนื่องก็คือ การจัดการความสมดุลของแต่ละหน่วยผลิต ต้องมีขนาดเท่ากัน ซึ่งหมายถึงทั้ง มีระยะเวลาในการผลิตเท่ากันหรือมีจำนวนการผลิตที่พอดีต่อความต้องการของหน่วยการผลิตถัดไป จะต้องไม่เกิดคอขวดหรือจุดชะงักในการผลิตที่จุดใดจุดหนึ่ง หรือถ้าเกิดแล้วต้องมีการจัดการแก้ไขปัญหาได้อย่างทันท่วงที่ไม่ให้การผลิตหยุด ข้อดีของการผลิตแบบต่อเนื่องคือ สามารถวางแผนการผลิตได้แม่นยำกว่าการวางแผนการผลิตแบบสั่งทำเนื่องจากสามารถคำนวณหาเวลามาตรฐานแต่ละกระบวนการผลิตได้แม่นยำกว่า อีกทั้งชนิดของผลิตภัณฑ์มีไม่มาก ผลิตใช้เวลานาน ทำให้มีเวลาเพียงพอในการเตรียมการและจัดทำมาตรฐานต่าง ๆ แรงงานก็ไม่ต้องอาศัยทักษะที่สูงมากนักยกเว้นหน่วยงานด้าน

เทคนิค ส่วนข้อเสียก็คือ ราคาสินค้าต่อหน่วยค่อนข้างถูก การผลิตเมื่อเกิดงานเสียหายก็ไม่มี การป้องกันและควบคุมที่ดีส่วนมากจะเสียทั้งรุ่นการผลิต (Lot) เนื่องจากการผลิตมีความรวดเร็วและต่อเนื่อง การวางแผนการผลิตแบบต่อเนื่องนี้ส่วนมากจะใช้กับสายงานประกอบหรือผลิตสินค้าที่มีความต้องการสูงในตลาด เช่น รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า สินค้าอุปโภคบริโภค เป็นต้น การเลือกใช้แผนการผลิตที่เหมาะสมนั้น ไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดตายตัว ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนการผลิต กระบวนการผลิต เครื่องจักร และปัจจัยการผลิตต่าง ๆ สุดท้ายนั้นก็ขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจของผู้บริหาร เพื่อตัดสินใจและแก้ไขปัญหาต่างๆ

### **การจัดตารางการผลิต (Production Scheduling)**

การจัดตารางการผลิตเป็นเรื่องที่มีความสำคัญสำหรับการบริหารจัดการโรงงานหรือสถานที่ผลิตสินค้า เพื่อให้การผลิตเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นการสรุปความรู้เกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตเป็นไปดังต่อไปนี้

**การวางแผนการผลิต (Production Planning):** การวางแผนการผลิตเป็นกระบวนการที่สำคัญในการจัดการโรงงาน โดยใช้ข้อมูลเชิงกลยุทธ์และตลาดเพื่อกำหนดปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในระยะเวลาที่กำหนด เป้าหมายคือการสร้างแผนการผลิตที่เป็นไปได้ในขอบเขตของทรัพยากรที่มีอยู่อย่างเหมาะสม

**การจัดตารางการผลิต (Scheduling):** การจัดตารางการผลิตเป็นกระบวนการที่ใช้ข้อมูลจากการวางแผนเพื่อกำหนดลำดับและเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องจักรและการผลิต เพื่อให้การใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

**การจัดการความสามารถในการผลิต (Capacity Management):** การจัดการความสามารถในการผลิตเป็นกระบวนการที่ใช้เทคนิคและเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรและลดค่าใช้จ่าย โดยการปรับปรุงแผนการผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับความสามารถในการผลิตของโรงงาน

**การควบคุมการผลิต (Production Control):** การควบคุมการผลิตเป็นกระบวนการที่ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ เพื่อควบคุมการดำเนินงานของกระบวนการผลิตในเวลาที่กำหนด การควบคุมการผลิตช่วยให้สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**การวิเคราะห์และปรับปรุง (Analysis and Improvement):** การวิเคราะห์และปรับปรุงเป็นกระบวนการที่ใช้ข้อมูลที่ได้จากการควบคุมการผลิตเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาและหาวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ เช่น การใช้หลักการ Lean Manufacturing หรือ Six Sigma เพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มความมั่นคงในกระบวนการผลิต

การจัดตารางการผลิตเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและมีความสำคัญต่อความสำเร็จของธุรกิจ การที่มีการวางแผนและจัดการการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดค่าใช้จ่าย ลดระยะเวลาในการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การเรียนรู้และประยุกต์ใช้ความรู้ด้านการจัดตารางการผลิตจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

### การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine Scheduling)

การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine Scheduling) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการวางแผนการผลิตที่มุ่งเน้นการจัดเวลาให้เครื่องจักรหลายๆ เครื่องทำงานพร้อมกันในขั้นตอนการผลิตเดียวกันหรือขั้นตอนการผลิตที่ต่างกันในเวลาเดียวกัน เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการผลิตรวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรเครื่องจักรที่มีอยู่

วัตถุประสงค์หลักของการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานคือการลดเวลาในการผลิตทั้งหมดหรือการทำให้เครื่องจักรทำงานได้มากที่สุดในช่วงเวลาที่กำหนด โดยปกติแล้ว การจัดตารางนี้จะคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น

เวลาที่ต้องการในการผลิต (processing time): คือเวลาที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องใช้ในการประมวลผลงานที่ได้รับมอบหมาย

ลำดับการประมวลผล (Sequence): ลำดับที่เครื่องจักรจะทำงานตามเวลา

เงื่อนไขและข้อจำกัดเฉพาะ (Constraints): เช่น การจำกัดเวลาการทำงาน, ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานมักใช้เทคนิคหลายๆ วิธี เช่น

Rule-based heuristics: ใช้กฎที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเพื่อเลือกลำดับการทำงาน

Mathematical optimization: ใช้วิธีการคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

Simulation: จำลองการทำงานเพื่อปรับปรุงและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแผนการผลิต

การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานมีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมที่มีการผลิตเป็นเชิงมวล เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น เพื่อให้การผลิตเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดและมีประสิทธิภาพที่สูงสุด

### แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming)

โปรแกรมเชิงเส้นที่เป็นค่าจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming: ILP) เป็นการศึกษาปัญหาที่นิยมใช้ในการค้นหาโครงสร้างที่ดีที่สุดหรือการวางแผนที่มีข้อจำกัดและเงื่อนไขต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้คำตอบเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น ที่ทฤษฎีและแนวคิดหลักของ ILP มีดังนี้

1. การกำหนดปัญหา (Problem Formulation): ILP นิยมใช้ในการแก้ปัญหาที่มีตัวแปรต่างๆ ซึ่งมีข้อจำกัดและเงื่อนไขในการใช้งาน เช่น การจัดสรรทรัพยากร การจัดเรียงกำหนดการผลิต หรือการวางแผนการขนส่ง เป้าหมายของ ILP คือการหาค่าของตัวแปรที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุด โดยเป็นไปตามเงื่อนไขข้อจำกัดที่กำหนด

2. การเขียนและการแก้ระบบ (Modeling and Solving): ILP จะกำหนดตัวแปรต่าง ๆ และเงื่อนไขข้อจำกัดเป็นรูปแบบของสมการเชิงเส้น (Linear Equations) ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปของเมทริกซ์ และเมื่อระบบถูกแปลงให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์แล้ว การแก้ปัญหาก็จะเป็นการหาค่าของตัวแปรที่ทำให้เงื่อนไขทั้งหมดเป็นจริง โดยใช้เทคนิคและอัลกอริทึมที่เหมาะสม เช่น Simplex Algorithm, Branch and Bound, Cutting Plane Method เป็นต้น

3. ความยากและการแก้ปัญหา (Complexity and Solvability): การแก้ปัญหา ILP มีความยากอยู่ในระดับ NP-Hard ซึ่งหมายความว่าไม่มีวิธีการที่มีประสิทธิภาพและมั่นคงที่จะหาคำตอบให้กับปัญหาทุกกรณี แต่อย่างไรก็ตาม มีเทคนิคและอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาบางประเภท และสามารถหาคำตอบที่มีความใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้

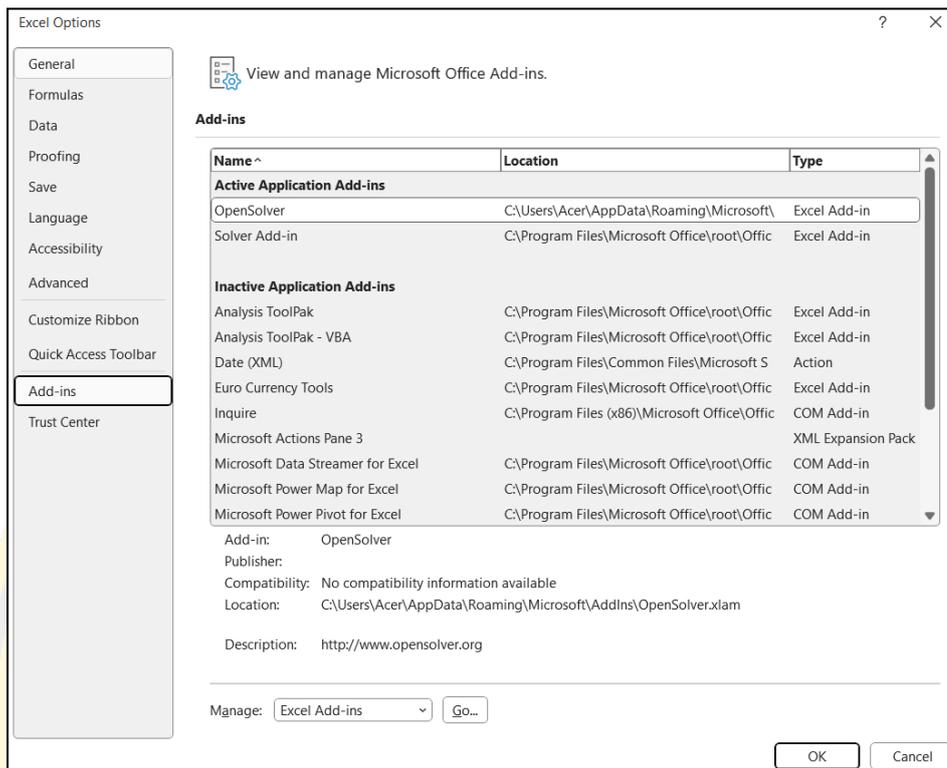
4. การประยุกต์ใช้ (Applications): ILP มีการประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน เช่น การวางแผนการผลิต การวางแผนการจัดสินค้าในโรงงาน การวางแผนการท่องเที่ยว การจัดสรรทรัพยากรในโครงการ โครงสร้างพื้นฐาน และในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม

5. การพัฒนาเทคโนโลยี (Technological Advancements): การพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา ILP มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การพัฒนาอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา, การใช้งานระบบคอมพิวเตอร์แบบควอนตัมในการแก้ปัญหา ILP และการใช้งานแบบ Paralleling Computing เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาใหญ่ ๆ ที่มีข้อมูลมาก ๆ อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหา ILP

### การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver

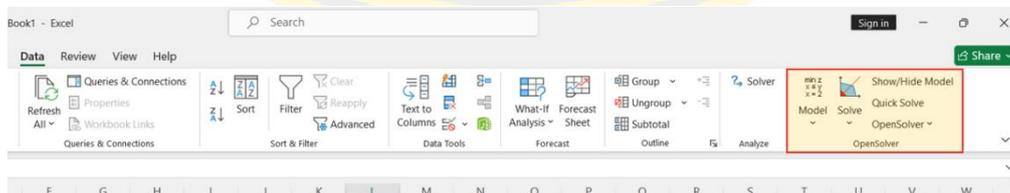
OpenSolver เป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาคำนวณแบบเชิงเส้นใน Excel ที่ใช้แก้ปัญหาเชิงเส้นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นปัญหาที่มีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยมีข้อจำกัดเพียงแค่น้อย แต่หากคุณต้องการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วย OpenSolver ตามขั้นตอนนี้

1. ติดตั้ง OpenSolver: ใน Excel, เข้าไปที่ "Insert" แล้วเลือก "Get Add-ins" จากนั้นค้นหา "OpenSolver" และติดตั้งเครื่องมือนี้ ตามภาพที่ 3



### ภาพที่ 3 การติดตั้ง Add-ins ของ OpenSolver ใน Microsoft excel

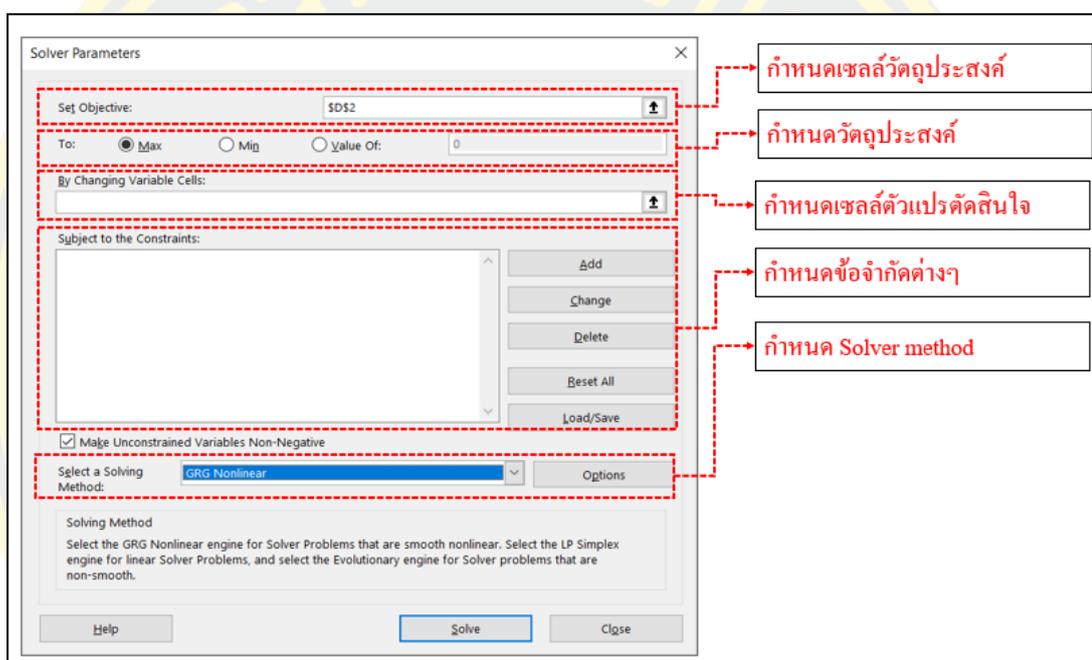
1. เตรียมข้อมูล: ต้องมีข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่คุณต้องการแก้ เช่น การคำนวณค่าต่าง ๆ และข้อจำกัดที่เกี่ยวข้อง
2. เลือกเซลล์สำหรับการคำนวณ: เลือกเซลล์ที่ต้องการให้คำนวณใน Excel
3. เปิด OpenSolver: เข้าไปที่แท็บ "Data" และคลิกที่ "OpenSolver" ตามภาพที่ 4



### ภาพที่ 4 การเรียกใช้งาน OpenSolver (OpenSover,2021)

1. กำหนดเงื่อนไข: กำหนดเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหา เช่น การตั้งค่าขอบเขตของเซลล์ที่ต้องการคำนวณ และวัตถุประสงค์ของการค้นหา ตามภาพที่ 5

2. เลือกวิธีการแก้ปัญหา: เลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมสำหรับปัญหาของคุณ เช่น Simplex Solver หรือ CBC (Coin-OR Branch and Cut) Solver
3. กด Solve: เมื่อคุณตั้งค่าทุกอย่างเสร็จสิ้นแล้ว กดที่ปุ่ม "Solve" เพื่อให้ OpenSolver ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
4. ตรวจสอบผลลัพธ์: เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ว่ามั่นคงกับความคาดหวังของคุณหรือไม่



ภาพที่ 5 หน้าต่าง OpenSolver Parameters สำหรับกรอกข้อมูลแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดการการผลิตในงานวิจัยนี้เป็นการจัดการการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่มีเวลาการตั้งเครื่องจักรเป็นเงื่อนไขการผลิต เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นชิ้นส่วนผลิตจะต้องใช้เวลาในการตั้งเครื่องขึ้นรูปพลาสติก เครื่องจักรที่มีขนาดไม่เกิน 850 ตันจะใช้เวลาการตั้งเครื่องจักร 15 นาที ขณะที่เครื่องจักรที่มีขนาด 1,300 ตันและ 1,600 ตันจะใช้เวลาในการตั้งเครื่องจักร 30 นาที ปัญหานี้สามารถใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model) ในการจัดการการผลิตได้ (Ali Allahverdi, 2015, pp. 355-356)

แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตัดสินใจแก้ไขปัญหาหนึ่ง ๆ ที่มีทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดในการดำเนินธุรกิจนั้นให้บรรลุเป้าหมายของธุรกิจ เช่น กำไรสูงสุด ต้นทุนต่ำที่สุด เป็นต้น (Cliff T. RagsDale, 2011, pp. 17)

จักรวาล คุณะดิลก และอารดา ไชยโคตร (2564, น. 104-116) ได้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming, MILP) สำหรับจัดการตารางการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ที่มีเป้าหมายในการลดต้นทุนรวมจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร ระบบการผลิตนี้มีลักษณะเป็นแบบเครื่องจักรแบบขนานจำนวน 32 เครื่อง สำหรับผลิตงานประมาณ 80 รุ่นรวม 7,000 เส้นต่อวัน วิธีการที่เสนอสามารถสร้างตารางการผลิตที่เป็นไปได้ที่ทำให้ต้นทุนรวมลดลงเฉลี่ย 328,848 บาทต่อเดือน จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ลดลงเฉลี่ย 3.3 เครื่องต่อวัน เวลาตั้งเครื่องจักรลดลงเฉลี่ย 34.9 นาทีต่อวัน และเวลาการทำงานล่วงเวลาลดลงเฉลี่ย 6.3 ชั่วโมงต่อวัน

Süer and K. Mathu. (2015, น. 58-72) เสนอแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ในการจัดการตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานร่วมกับการตัดสินใจเกี่ยวกับความต้องการในการทำงานล่วงเวลาที่มีอัตราค่าแรงล่วงเวลาต่างกันในช่วงวันธรรมดาและวันหยุดเพื่อให้กำไรสุทธิสูงสุด แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้สำหรับการตัดสินใจทำงานล่วงเวลาได้ทั้งแบบเต็มเวลาหรือบางส่วนของเวลา และสามารถกำหนดให้เครื่องจักรทุกเครื่องจะต้องทำงานแบบล่วงเวลาในกะทำงานที่ต้องการได้

ศศิธร โรจนพร และจักรวาล คุณะดิลก (2023, น. 1863-1876) ได้เสนองานวิจัยการจัดการตารางการผลิตสำหรับกระบวนการตัดสายไฟอัตโนมัติที่มีสองวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการตั้งเครื่องจักรและลดเวลาปิดงานของระบบ ซึ่งระบบการผลิตนี้มีลักษณะเป็นแบบเครื่องจักรขนานจำนวน 20 เครื่อง สำหรับผลิตงานประมาณ 140 งานต่อวัน โดยเวลาในการตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลำดับการผลิตของงานก่อนหน้านั้น การจัดการตารางการผลิตนี้ทำเป็นรายวัน โดยวางแผนการผลิตทั้งในช่วงเวลาทำงานปกติและล่วงเวลา การวิจัยได้ออกแบบวิธีการสร้างตารางการผลิตหลายตารางโดยใช้วิธีการประยุกต์หลักสองวิธีเข้าด้วยกัน คือวิธีการเลือกปฏิบัติงานที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดก่อน (Similar Required Setups; SETUP) และวิธีการจัดงานที่ใช้เวลาการผลิตมากที่สุดก่อน (Longest processing time; LPT) จากนั้นใช้วิธีพื้นฐานพาเรโต (Pareto-based approach) สำหรับเลือกตารางการผลิต โดยให้ความสำคัญกับเวลารวมของการปรับตั้งเครื่องจักรมากกว่าเวลาปิดงานของระบบ เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกที่เสนอและวิธีการเดิม พบว่าสามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเฉลี่ยลงได้ถึง 88.7 นาทีต่อวัน หรือประมาณ 11.1% ของ

วิธีการเดิม และลดเวลาปิดงานของระบบเฉลี่ยลงถึง 86.9 นาทีต่อวัน หรือประมาณ 7.1% ของวิธีการเดิม

เพ็ญศิริ สมพงษ์ (2552) ได้ศึกษาการจัดการตารางการผลิตของเครื่องจักรขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน โดยมีการปรับตั้งค่าเครื่องจักรของแต่ละงานที่มีความต้องการอันแตกต่างกันวิธีเชิงพันธุกรรมเมมเมติก (Memetic algorithm) ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่กล่าวถึง โดยที่วิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้ในการสำรวจทั้งระบบ (Global Search) เพื่อหาลำดับการผลิตที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มอัลกอริทึมเข้าไปในกระบวนการพันธุกรรมเพื่อพิจารณาการหาค้นหาในพื้นที่เฉพาะ (Local Search) เพื่อหาตารางการผลิตที่ดีที่สุดในแต่ละลำดับงานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเชิงพันธุกรรมเชิงเมมเมติกกับคำตอบที่ดีที่สุดในการแตกกิ่งและใช้วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอย่างง่ายอย่างชัดเจน (Simple Branch and Bound Method) คำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมเชิงเมมเมติกมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยไม่เกิน 2% และยังใช้เวลาในการประมวลผลต่ำกว่าวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอย่างง่ายอย่างชัดเจน เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

ธนวัฒน์ วงศ์เครือ และวรุติ หวังวัชรกุล (2564) ได้ศึกษาการจัดการตารางการผลิตของเครื่องจักรขนาน โดยมุ่งเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้เครื่องจักรให้เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราการใช้เครื่องจักร งานวิจัยได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมและวิธีการจัดการตารางการผลิตแบบฮิวริสติกผสมผสาน โดยใช้หลักการของ Earliest Due Date (EDD) และ Longest Processing Time (LPT) จากผลการวิจัยพบว่า ผลของการจัดการตารางการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และสามารถลดต้นทุนรวมของการผลิตลงได้ 13.43 เปอร์เซ็นต์ ลดเวลารวมที่งานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดลง 24.63 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดเวลารวมที่งานเสร็จก่อนกำหนดลงได้ 10.35 เปอร์เซ็นต์

ทวีพร ขำดี (2554) ได้ทำการวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการจัดการตารางการผลิตของกลุ่มงานกับเครื่องจักรแบบขนาน โดยมุ่งหวังในการปรับเครื่องจักรแบบขนานที่มีประสิทธิภาพของเครื่องจักรต่าง ๆ มีเงื่อนไขเกี่ยวกับเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับความล่าช้าในการเริ่มงานมีเป้าหมายในการจัดการตารางการผลิตให้มีเวลาปิดงานต่ำที่สุด และจำนวนงานสายน้อยที่สุด โดยใช้เมตาฮิวริสติก ที่เป็นไปได้ในการค้นหาซ้ำแบบวิวัฒนาการในการจัดการตารางการผลิต ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของการปิดงานลดลงถึง 17.5 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนงานสายลดลงเฉลี่ยถึง 9 งาน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดการตารางการผลิตที่ใช้หลักการจัดลำดับงานเวลาการผลิตน้อยที่สุด (SPT) และหลักการกำหนดส่งมอบหลังสุด (EDD) จากงานวิจัยในอดีต

กัญชลา สุตตาชาติ (2552) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้หลักการฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนาน โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับเวลาในการติดตั้งเครื่องจักรที่มีผลมาจากลำดับของงานรวมถึงข้อจำกัดของเครื่องจักรซึ่งบางเครื่องไม่สามารถผลิตงานบางประเภทได้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เวลาในการผลิตของระบบมีค่าน้อยที่สุด และใช้รูปแบบโปรแกรมกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming: ILP) ที่พัฒนาขึ้นมาจากปัญหาการจัดเส้นทาง การขนส่งในการจัดตารางการผลิต ผลการทดลองพบว่าการใช้วิธี ILP นี้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในปัญหาขนาดเล็กเท่านั้น จากนั้นได้นำเสนอวิธีการฮิวริสติกสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ และมีผลการทดลองที่พบว่าฮิวริสติกที่ออกแบบมาใหม่นั้นมีประสิทธิภาพดีโดยมีค่าของคำตอบที่แตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุดอย่างน้อย 7.6%

Balin (2011) ได้ทำการจัดตารางการผลิตในเครื่องจักรขนานที่แตกต่างกัน และกล่าวถึงปัญหาที่เป็น NP-hard ซึ่งมีความยากในการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ในการจัดอันดับก่อนหน้า เป้าหมายของกลุ่มในการเตรียมการที่ต้องการสูงสุด คำตอบที่ได้จาก GA สามารถทำให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมและสามารถทำได้ง่ายยิ่งกว่า และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธี LPT ในเรื่องของเวลาการปิดงานที่น้อยที่สุด (Makespan) ซึ่งผลลัพธ์มีแนวโน้มที่ดีและในปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่า GA ก็ยังสามารถใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็วกว่า

ปริญญา กวีกิจบัณฑิต และ อรจิตร แจ่มแสง (2554) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรมในการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรในอุตสาหกรรม โดยเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการส่งมอบงานล่าช้าและเพื่อวัดประสิทธิภาพของเทคนิคเชิงพันธุกรรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น ผลการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการจัดตารางการผลิตในรูปแบบอื่น ๆ ได้แก่ วิธีจัดตารางการผลิตโดยใช้หลักการทำงานที่ใช้เวลาทำงานน้อยที่สุดก่อน (SPT) วิธีจัดตารางการผลิตโดยใช้หลักการทำงานที่ใช้เวลาทำงานมากที่สุดก่อน (LPT) วิธีจัดตารางการผลิตโดยใช้หลักการทำงานที่มีกำหนดส่งมอบงานที่เร็วที่สุดก่อน (EDD) ผลการทดลองพบว่าเทคนิคเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพในการจัดตารางการผลิตที่ดีกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่ได้ทำการกล่าวมาทั้งสามรูปแบบ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาของงานวิจัยครั้งนี้ นำแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming Model) มาช่วยในการจัดตารางการผลิตของกระบวนการฉีดพลาสติกของบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่งในนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ชลบุรี โดยตั้งเป้าหมายดังนี้คือ ทำให้ตารางการผลิตใช้จำนวนเครื่องจักรได้อย่างเหมาะสม ซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัย โดยรายละเอียดจะประกอบไปด้วย วิธีการและขั้นตอนในการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน การวิเคราะห์ข้อมูลของแผนผลิตปัจจุบัน ต้นทุนที่ใช้ เช่น ต้นทุนค่าแรงของช่วงเวลาต่างๆ และต้นทุนค่าพลังงานของเครื่องจักรแต่ละขนาด เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลและปัญหาที่เกิดขึ้นมา กำหนดแนวทางการแก้ไขในบทถัดไป

#### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาข้อมูลปัจจุบันของการจัดตารางแผนการผลิตบริษัทกรณีศึกษา  
ขั้นตอนและกระบวนการตั้งแม่พิมพ์เวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละรุ่น เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ ต้นทุนค่าแรงและค่าพลังงานไฟฟ้า รวมไปถึงจำนวนรุ่นที่สามารถผลิตได้ในแต่ละเครื่องจักร
2. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง  
ขั้นตอนนี้จะแสดงทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาเพื่อใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ โดยได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 โดยมีหัวข้อหลักๆ ดังต่อไปนี้ ทฤษฎีการวางแผนและควบคุมการผลิต ทฤษฎีการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine Scheduling) ทฤษฎีแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม วิธีการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิต เป็นต้น
3. การวิเคราะห์ข้อมูล  
การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลของตารางการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา ในตารางการผลิตจะแสดงรายละเอียดต่างๆ เช่น รหัสชิ้นงาน เวลาผลิตชิ้นงานต่อชิ้น จำนวนที่ต้องการให้ผลิต รวมไปถึงเวลาในการตั้งค่าเครื่องฉีดเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต
4. การวิเคราะห์ปัญหาปัจจุบันและแนวทางการแก้ไข

ในขั้นตอนนี้จะแสดงการวิเคราะห์สภาพของปัญหาที่เกิดขึ้นของการจัดการการผลิตในรูปแบบปัจจุบันเพื่อที่จะกำหนดแนวทางในการแก้ไขให้ตรงกับปัญหาได้อย่างถูกต้อง

#### 5. การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนการใช้งาน

ในขั้นตอนนี้เป็นการผลิตที่พิจารณาเวลาการทำงานให้เวลาการผลิตมีการทำงานล่วงเวลาเกิดขึ้นน้อยที่สุดในขั้นตอนนี้จะนำเสนอแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการจัดการการผลิตและการตัดสินใจเลือกงานไปผลิตบนเครื่องจักรที่สามารถผลิตงานรุ่นนั้นได้ โดยในแบบจำลองจะประกอบไปด้วย 1) ต้นทุนและเซต 2) พารามิเตอร์คือค่านำเข้าและค่าคงที่ของแบบจำลอง 3) ตัวแปรตัดสินใจ 4) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่จะสามารถใช้ค่าแรงและค่าพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำที่สุด 5) เงื่อนไขบังคับเช่นเวลาการผลิตต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ต้นทุนค่าแรงแต่ละช่วงเวลา จำนวนเครื่องจักรที่ต้องเปิดใช้ เป็นต้น

#### 6. การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ขั้นตอนนี้จะแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของแบบจำลองทั้งสองแบบกับตารางแผนการผลิตเดิมของบริษัทกรณีศึกษาโดยพิจารณาดัชนีชี้วัด เป็น ต้นทุนค่าแรงงานกับต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้า

#### 7. การสรุปอภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เป็นขั้นตอนในการสรุปผลต่าง ๆ ที่ได้จากการทำการวิจัยในประเด็นที่สนใจโดยจะต้องเน้นให้ตรงกับวัตถุประสงค์ตั้งไว้พร้อมทั้งมีการอภิปรายเพื่อให้เกิดความเข้าใจและสามารถเป็นแนวทางให้บุคคลที่สนใจนำข้อมูลไปใช้ต่อยอดได้ต่อไป รวมไปถึงการเสนอแนวทางการปรับปรุงเพื่อให้วิธีการดังกล่าวสามารถพัฒนาประสิทธิภาพได้

### การศึกษาข้อมูลปัจจุบันของการจัดการแผนการผลิตบริษัทกรณีศึกษา

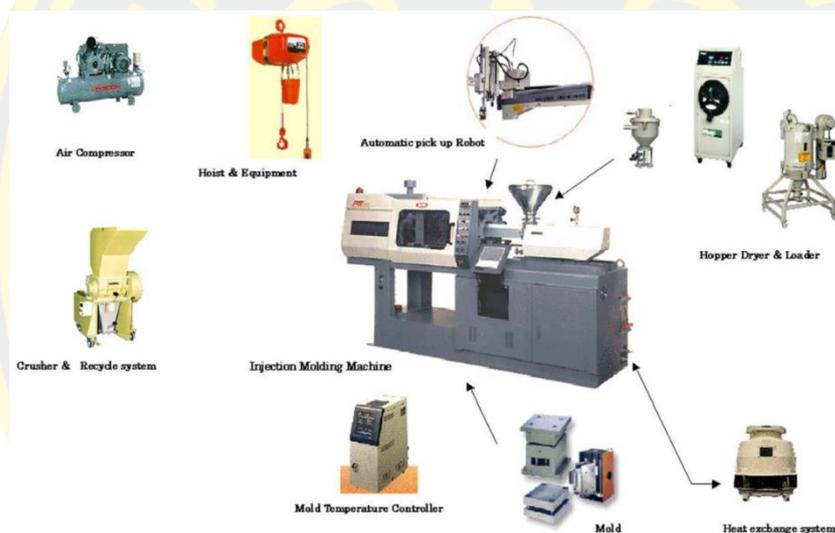
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงสภาพปัจจุบันของขั้นตอนในการจัดการการผลิตของกระบวนการผลิตขึ้นรูปพลาสติก เพื่อที่จะสามารถระบุปัญหาและส่วนที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการแก้ไข ได้อย่างชัดเจนและเป็นขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนของกระบวนการจัดการการผลิตจะมีขั้นตอนดังนี้

#### ขั้นตอนการผลิตของกระบวนการผลิตขึ้นรูปพลาสติก

กระบวนการผลิตขึ้นรูปพลาสติกจะมีขั้นตอนการทำงานอยู่ทั้งหมด 7 ขั้นตอนดังนี้

1. ทำการตั้งค่าเพื่อติดตั้งแม่พิมพ์ตามแผนที่กำหนด
2. เบิกเม็ดพลาสติกจากหน่วยงานคลังสินค้าระบุจำนวนวัตถุดิบตามแผนที่กำหนดไว้ โดยให้ชนิดกับรหัสตัวเลขวัตถุดิบตรงกับใบเบิก

3. ทำการอบเม็ดพลาสติกด้วยอุณหภูมิ  $85 \pm 5$  องศา เป็นเวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง ตามมาตรฐานการอบวัตถุดิบ (Work Instruction)
4. กระบวนการผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องฉีด (Injection machine) โดยเม็ดพลาสติกจะผ่านความร้อนกลายเป็นของเหลว ฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ (Mold) ได้ออกมาเป็นชิ้นงาน (Product)
5. ทำการตัด Gate (รูต้นและเส้นทางไหลของน้ำพลาสติก)
6. ทำการตรวจสอบชิ้นงาน โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้หากมีชิ้นงานไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ให้ทิ้งชิ้นงานลงในกล่องสีแดง
7. นำชิ้นงานดีที่ผ่านการตรวจสอบบรรจุลงในกล่องเพื่อส่งให้กระบวนการผลิตถัดไป



ภาพที่ 6 เครื่องฉีดพลาสติกและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

โรงงานกรณีศึกษาผลิตชิ้นส่วนจำนวน 75 รุ่น โดยมีเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกจำนวน 30 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 6 และชิ้นส่วนแต่ละรุ่นสามารถผลิตได้บนเครื่องจักรบางเครื่องเท่านั้น ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และเวลาการผลิตของรุ่นชิ้นส่วน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เครื่องจักรและรุ่นการผลิตที่เป็นไปได้

ลำดับ	ขนาดเครื่องจักร (ตัน)	จำนวนเครื่องจักร	รุ่นที่ผลิตได้
1	55	1	M01 - M04
2	80	1	M01 - M05
3	100	1	M01 - M06
4	110	2	M01 - M17
5	140	1	M01 - M18
6	150	2	M01 - M21
7	280	1	M18 - M22
8	350	6	M22 - M30
9	450	1	M23 - M32
10	650	6	M23 - M56
11	850	6	M31 - M67
12	1300	1	M68 - M71
13	1600	1	M68 - M75

ตารางที่ 2 เวลาการผลิตและเวลาเปลี่ยนรุ่นการผลิต

ลำดับ	รุ่น	เวลาผลิตต่อรุ่น (นาทีต่อชิ้น)
1	M01 - M04	0.125
2	M05	0.188
3	M06 - M17	0.333
4	M18 - M21	0.417
5	M22	0.500
6	M23 - M32	0.875
7	M33 - M67	2.000

8	M68 - M71	5.000
9	M72 - M75	6.000

### ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต

ต้นทุนที่เกี่ยวข้องในการวางแผนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือต้นทุนค่าแรงพนักงานที่ต้องทำงานกับเครื่องฉีดพลาสติกหนึ่งคนต่อหนึ่งเครื่องและต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้เมื่อมีการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก ค่าแรงพนักงานควบคุมเครื่องจักรแสดงได้ดังตารางที่ 3 และแยกออกเป็นต้นทุนค่าแรงตามเงื่อนไขเวลาการทำงานได้ 5 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4

#### ตารางที่ 3 ต้นทุนค่าแรงแต่ละช่วงเวลา

รูปแบบของช่วงเวลาการทำงาน	ต้นทุนค่าแรง (บาทต่อชั่วโมง)	หมายเหตุ
ช่วงเวลาการทำงานปกติ	42.5	แบ่งเป็น 2 กะ กลางวัน 08:00 – 17:00 กลางคืน 20:00 – 05:00
ช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลา	63.75	แบ่งเป็น 2 กะ กลางวัน 18:00 – 20:00 กลางคืน 06:00 – 08:00

#### ตารางที่ 4 รูปแบบต้นทุนค่าแรงแต่ละช่วงเวลา

รูปแบบ	เงื่อนไขช่วงเวลา	ค่าแรง (บาท)	หมายเหตุ
1	PC Time ไม่เกิน 8 ชม.	340	เวลาทำงานปกติ 1 กะ
2	PC Time เกิน 8 ชม. แต่ไม่เกิน 10 ชม.	467.5	เวลาทำงานปกติ 1 กะ + OT 2ชม.
3	PC Time เกิน 10 ชม. แต่ไม่เกิน 16 ชม.	680	เวลาทำงานปกติ 2 กะ
4	PC Time เกิน 16 ชม. แต่ไม่เกิน 18 ชม.	807.5	เวลาทำงานปกติ 2 กะ + OT 2ชม.
5	PC Time เกิน 18 ชม. แต่ไม่เกิน 20 ชม.	935	เวลาทำงานปกติ 2 กะ + OT 4ชม.

\*PC = Processing Time \*OT = Over Time

ในส่วนของค่าพลังงานไฟฟ้าจะคิดเป็นต้นทุนต่อเวลาการทำงานของเครื่องจักรแต่ละขนาด ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าไฟฟ้าของข้อมูลที่บ้านที่กในอดีตของบริษัทกรณีศึกษา โดยค่าไฟฟ้าจะแบ่งตามขนาดของเครื่องจักรทั้งหมด 13 ขนาดและแสดงเป็นอัตราหน่วยเป็นบาทต่อนาทีของการเดินเครื่องจักร ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ต้นทุนค่าพลังงาน

ขนาดของเครื่องจักร (ตัน)	ต้นทุนค่าไฟฟ้า (บาทต่อนาที)
55	0.3741
80	0.3926
100	0.4074
110	0.4148
140	0.4370
150	0.4444
280	0.5407
350	0.5926
450	0.6667
650	0.8148
850	0.9630
1300	1.2963
1600	1.5185

#### ขั้นตอนการวางแผนการผลิตของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

1. ขั้นตอนการรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า ขั้นตอนนี้ บริษัทจะได้รับข้อมูลการพยากรณ์ (Forecast) ความต้องการของลูกค้าในเดือนถัดไป (M+1) ในที่ 25 ของเดือน (M) เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนในขั้นตอนถัดไป
2. เมื่อได้รับคำสั่งซื้อแล้วก็นำมาลบกับจำนวนสินค้าสำเร็จรูปและจำนวนชิ้นงานคงค้างในกระบวนการผลิตทั้งหมดโดยแยกตามรุ่นของสินค้า จากนั้นนำความต้องการสุทธิมาหารกับวันทำงานของเดือนนั้น ๆ และจะได้จำนวนชิ้นงานที่ต้องการผลิตต่อวัน จากนั้นจะทำการจัดตารางการ



จากตารางจะเห็นได้ว่าเครื่องจักรหนึ่งเครื่องสามารถผลิตงานได้หลายรุ่นทำให้สามารถจัด  
 ภาระงานให้เหมาะสมได้ โดยการให้ภาระงานอยู่ในช่วงเวลาการทำงานปกติ และอาจยังสามารถ  
 หยุดการใช้เครื่องจักรบางเครื่องได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามเครื่องจักรที่สามารถขึ้นงานได้หลายรุ่น  
 ก็จะมีขนาดเครื่องจักรที่ใหญ่ขึ้นเช่นกันอาจส่งผลกระทบต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้สูงขึ้น ทำให้  
 การพิจารณาผลต้องพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายรวมที่สามารถลดลงได้อีกครั้ง อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญใน  
 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ เวลาที่ใช้ผลิตแต่ละรุ่นควรจะแปลงหน่วยให้เป็นเวลาต่อ  
 ชิ้น เนื่องจากบางแม่พิมพ์การผลิตหนึ่งรอบเวลาสามารถผลิตได้หลายชิ้นตามลักษณะการออกแบบ  
 แม่พิมพ์นั้น ส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของเวลาการเปลี่ยนและตั้งค่าแม่พิมพ์ซึ่งแม่พิมพ์ขนาด 55 ดัน  
 ถึง 850 ดันจะใช้เวลา 15 นาทีและแม่พิมพ์ขนาด 1300 ดันถึง 1600 ดันจะใช้เวลา 30 นาที

**การวิเคราะห์ปัญหาปัจจุบันและแนวทางการแก้ไข**

หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลได้นำตัวอย่างแผนการผลิตปัญหาที่ 1 มาทำตารางแสดงเวลาที่  
 ใช้ในการผลิตของแต่ละเครื่องและรูปแบบของค่าแรงที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 8 ความไม่สมดุล  
 ของภาระงานบนเครื่องจักรจากแผนการผลิตรายวันของปัญหาที่ 1 จากภาพตารางสีเหลืองแสดงเวลา  
 การทำงานของเครื่องจักร 2 เครื่องที่ต้องทำงานล่วงเวลา 2 ชั่วโมง และสีแดงแสดงเวลาการทำงาน  
 ของเครื่องจักร 4 เครื่องที่ต้องทำงานล่วงเวลา 4 ชั่วโมง รวมการทำงานล่วงเวลาทั้งหมดของ  
 แผนการผลิตนี้เท่ากับ 20 ชั่วโมง สิ้นน้ำเงินแสดงเวลาการทำงานของเครื่องจักร 12 เครื่องที่ต้องการ  
 ทำงาน 2 กะตามเวลาปกติ โดยที่มีเวลาว่างรวมกันทั้งหมด 41 ชั่วโมง ดังนั้นหากจัดตารางการผลิต  
 ให้เหมาะสม สามารถย้ายรุ่นงานที่ผลิตบนเครื่องจักรที่ต้องทำงานล่วงเวลามาผลิตบนเครื่องจักรที่  
 ว่างงาน จะส่งผลให้ลดต้นทุนด้านการทำงานล่วงเวลาลงได้

Machine	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	TOTAL
Processing Time	11.0	5.9	0.0	6.8	14.6	7.9	8.8	7.2	6.9	7.7	7.7	7.8	7.8	12.2	11.0	7.4	19.7	18.3	13.6	11.5	14.3	18.8	0.0	13.6	12.5	10.8	8.3	10.8	15.3	20.0	318
Normal 1 Shift	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Normal 1 Shift + OT 2Hr	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Normal 2 Shift	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	12
Normal 2 Shift + OT 2Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Normal 2 Shift + OT 4Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
Machine ON/Off	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	28

**ภาพที่ 8 เวลาและรูปแบบค่าแรงที่เกิดขึ้นของแต่ละเครื่องจักร**

จากของข้อมูลกราฟแสดงเวลาภาพที่ 8 เวลาการผลิตที่เกิดขึ้นจากประสิทธิภาพของ  
 พนักงานวางแผนสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 6 ในที่นี้จะยกตัวอย่างเฉพาะเครื่องจักร 55A 80A  
 110A 110B 140A 150A และ 150B และการวางแผนหลังจัดรุ่นการผลิตใหม่จะแสดงตามตารางที่ 7

ตารางที่ 6 แผนการผลิตและต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการวางแผนจากพนักงานวางแผน

เครื่องจักร	รุ่น ที่ ผลิต	เวลา การ ผลิต ต่อรุ่น (นาที)	เวลา เปลี่ยน รุ่น (นาที)	จำนวน ที่ผลิต (นาที)	เวลา ผลิต ต่อรุ่น (นาที)	เวลา ผลิต รวม (นาที)	เวลา ผลิต รวม (ชั่วโมง)	ต้นทุน ค่าแรง (บาท)	ต้นทุนค่า พลังงาน ไฟฟ้า (บาท)	ต้นทุน รวม (บาท)
55A	M01	0.125	15	1200	165					
	M02	0.125	15	1200	165	660.0	11.0	680.0	246.9	926.9
	M03	0.125	15	1200	165					
	M04	0.125	15	1200	165					
80A	M05	0.188	15	1800	353	352.5	5.9	340.0	138.4	478.4
110A	M07	0.333	15	180	75					
	M08	0.333	15	180	75					
	M09	0.333	15	180	75	410.0	6.8	340.0	170.1	510.1
	M10	0.333	15	180	75					
	M11	0.333	15	120	55					
	M12	0.333	15	120	55					
110B	M13	0.333	15	480	175					
	M14	0.333	15	480	175					
	M15	0.333	15	480	175	875.0	14.6	680.0	363.0	1043.0
	M16	0.333	15	480	175					
	M17	0.333	15	480	175					
140A	M18	0.417	15	1100	473	473.3	7.9	340.0	206.9	546.9
150A	M19	0.417	15	600	265	530.0	8.8	467.5	235.6	703.1
	M20	0.417	15	600	265					
150B	M21	0.417	15	1000	432	431.7	7.2	340.0	191.9	531.9
<b>Total</b>						<b>3732.5</b>	<b>62.2</b>	<b>3187.5</b>	<b>1552.6</b>	<b>4740.1</b>

ตารางที่ 7 แผนการผลิตและต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการจัดแผนผลิตใหม่

Machine	รุ่นที่ผลิต	เวลา	เวลา	จำนวน ที่ผลิต (นาท)	เวลา	เวลา	เวลา	ต้นทุน		
		การ ผลิต ต่อรุ่น (นาท)	เปลี่ยน รุ่น (นาท)		ผลิต ต่อรุ่น (นาท)	ผลิต รวม (นาท)	ผลิต รวม (ชั่วโมง)	ต้นทุน ค่าแรง (บาท)	ต้นทุน พลังงาน ไฟฟ้า (บาท)	ต้นทุน รวม (บาท)
110A	M01	0.125	15	1200	165					
	M04	0.125	15	1200	165					
	M07	0.333	15	180	75					
	M09	0.333	15	180	75					
	M10	0.333	15	180	75	960.0	16.0	680.0	398.2	1078.2
	M11	0.333	15	120	55					
	M13	0.333	15	480	175					
	M16	0.333	15	480	175					
110B	M05	0.188	15	1800	353					
	M08	0.333	15	180	75					
	M14	0.333	15	480	175	952.5	15.9	680.0	395.1	1075.1
	M15	0.333	15	480	175					
	M17	0.333	15	480	175					
140A	M18	0.417	15	1100	473	473.3	7.9	340.0	206.9	546.9
150A	M02	0.125	15	1200	165					
	M12	0.333	15	120	55					
	M19	0.417	15	600	265	916.7	15.3	680.0	407.4	1087.4
	M21	0.417	15	1000	432					
150B	M03	0.125	15	1200	165					
	M20	0.417	15	600	265	430.0	7.2	340.0	191.1	531.1
<b>Total</b>						<b>3732.5</b>	<b>62.2</b>	<b>2720.0</b>	<b>1598.7</b>	<b>4318.7</b>

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบเวลาการทำงานต้นทุนค่าแรงและต้นทุนพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่	เวลาผลิตรวม (ชั่วโมง)	ต้นทุนค่าแรง (บาท)	ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)
6	62.2	3187.5	1552.6	4740.1
7	62.2	2720.0	1598.7	4318.7
ผลต่าง	0.0	-467.5	46.1	-421.4

จากตารางที่ 6 และ 7 เมื่อนำผลรวมของทั้งสองตารางมาเปรียบเทียบกันจะได้ผลตามตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าเวลาการทำงานของทั้งสองตารางยังเท่าเดิมแตกต่างกันที่ต้นทุนค่าแรงลดลงจากเดิม 467.5 บาทแต่ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 46.1 เนื่องมาจากการจัดการระงงานจากเครื่องจักรขนาดเล็กมาผลิตที่เครื่องจักรขนาดใหญ่ขึ้นแต่ก็ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายของทั้งสองต้นทุนลงได้ 421.4 บาทเมื่อเทียบกับแผนผลิตแบบเดิม แต่เนื่องจากจำนวนรุ่นการผลิตมีถึง 75 รุ่นบนเครื่องจักร 30 เครื่อง การจัดแผนโดยลักษณะดังกล่าวจะมีความยากและซับซ้อนจึงได้นำแนวคิดดังกล่าวมาเขียนเป็นแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ดังจะแสดงในหัวข้อถัดไป

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

จากบทที่ 3 ในเนื้อหาได้กล่าวถึงปัญหาของการจัดการการผลิตของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ซึ่งใช้ประสิทธิภาพของพนักงานในการจัดการการผลิตทำให้เกิดการคำนวณภาระงานของแต่ละเครื่องจักรไม่เหมาะสม ส่งผลให้บางเครื่องจักรมีเวลาดำเนินการและบางเครื่องจักรเกิดการว่างเวลาโดยไม่จำเป็น จากปัญหาดังกล่าวจึงได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวขึ้น 2 แบบดังนี้

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง (Mathematical Model for Fixed Machine) ซึ่งวิธีนี้แบบจำลองจะจัดการภาระงานให้เกิดต้นทุนค่าล่วงเวลารวมกับค่าพลังงานไฟฟ้าให้เกิดขึ้นต่ำที่สุดและจะคงที่จำนวนเครื่องจักรไว้ 30 เครื่อง และจะเลือกเฉพาะงานที่เครื่องจักรนั้นสามารถทำการผลิตได้และจัดการการผลิตโดยเน้นให้ภาระงานอยู่ในช่วงเวลาที่ปกติให้ได้มากที่สุดและลดภาระงานที่อยู่ในช่วงว่างเวลาให้เหลือน้อยที่สุดเช่นกัน โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบทั้งหมด 10 ปัญหา เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนปรับปรุงโดยใช้เวลาประมวลผลแต่ละปัญหา 1200 วินาที

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบกำหนดจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม (Mathematical Model for Optimal Machine) วิธีนี้แบบจำลองจะพยายามจัดการภาระงานให้เกิดต้นทุนค่าล่วงเวลารวมกับค่าพลังงานไฟฟ้าให้เกิดขึ้นต่ำที่สุดพร้อมทั้งสามารถใช้จำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมได้โดยพร้อมกัน โดยเน้นให้ภาระงานอยู่ในช่วงเวลาที่ปกติให้ได้มากที่สุดและลดภาระงานที่อยู่ในช่วงว่างเวลาให้เหลือน้อยที่สุดเช่นกัน โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบทั้งหมด 10 ปัญหาเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนปรับปรุงโดยใช้เวลาประมวลผลแต่ละปัญหา 1200 วินาที เช่นกันกับแบบที่ 1

ผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคือเครื่องจักรสามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ (Optimal Solution Found) โดยวัตถุประสงค์ของทั้ง 2 แบบจำลองจะเป็นวัตถุประสงค์เดียวกันคือ เพื่อสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตรายวันที่ทำให้ต้นทุนของค่าแรงและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด

## การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนการใช้งาน

แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่เสนอในงานวิจัยนี้ใช้สำหรับกำหนดแผนการผลิตรายวันชิ้นส่วนพลาสติกหุ้มโครเมียมจำนวน 75 รุ่นบนเครื่องจักร 30 เครื่อง ที่ทำให้ต้นทุนรวมของค่าเดินเครื่องจักรและค่าแรงพนักงานคุมเครื่องจักรต่ำที่สุด รายละเอียดของแบบจำลองประกอบด้วยดัชนีและเซต พารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### ดัชนีและเซต

$i$  = ดัชนีรุ่นชิ้นส่วน

$j$  = ดัชนีเครื่องจักร

$t$  = ดัชนีรูปแบบเวลาการทำงานตามเวลาการทำงานแบบปกติและแบบล่วงเวลา 5

รูปแบบตามตารางที่ 4

$N$  = เซตของรุ่นชิ้นส่วนทุกรุ่น

$K$  = เซตของเครื่องจักรทั้งหมด

$N_j$  = เซตของรุ่นชิ้นส่วนที่สามารถผลิตบนเครื่องจักร  $j$  ได้

$K_i$  = เซตของเครื่องจักรที่สามารถผลิตชิ้นส่วนรุ่น  $i$  ได้

### พารามิเตอร์

พารามิเตอร์เป็นค่าคงที่ในแบบจำลองที่แสดงถึงข้อมูลการผลิตต่าง ๆ ดังนี้

$p_i$  = เวลาการผลิตชิ้นส่วนรุ่น  $i$  (นาทีก)

$s_j$  = เวลาที่ใช้สำหรับเตรียมเครื่องจักร  $j$  เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต (นาทีก)

$c_j$  = อัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักร  $j$  (บาทต่ออนาทีก)

$w_t$  = ค่าแรงพนักงานควบคุมเครื่องจักรตามรูปแบบเวลาการทำงาน  $t$  (บาท)

$m$  = จำนวนเครื่องจักรที่กำหนดตามแผนการทำงานประจำวันให้ใช้ในการผลิตชิ้นส่วน

### ตัวแปรตัดสินใจ

$x_{ij}$  = ตัวแปรแบบไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตงาน  $i$  บนเครื่องจักร  $j$  ไม่เช่นนั้นจะมีค่าเป็น 0

$y_{jt}$  = ตัวแปรแบบไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อใช้เครื่องจักร  $j$  ในการผลิตตามรูปแบบเวลาการทำงาน  $t$  ไม่เช่นนั้นจะมีค่าเป็น 0

## ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in N_j} \sum_{j \in K} c_j (s_j + p_i) x_{ij} + \sum_{j \in K} \sum_{t=1}^5 w_t y_{jt} \quad (4-1)$$

## ข้อจำกัด

$$\sum_{j \in K_i} x_{ij} = 1, \forall i \in N \quad (4-2)$$

$$\sum_{t=1}^5 y_{jt} \leq 1, \forall j \in K \quad (4-3)$$

$$\sum_{i \in N_j} (s_j + p_i) x_{ij} \leq 480y_{j1} + 600y_{j2} + 960y_{j3} + 1080y_{j4} + 1200y_{j5}, \forall j \in K \quad (4-4)$$

$$\sum_{j \in K} \sum_{t=1}^5 y_{jt} = m \quad (4-5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i \in N_j, j \in K \quad (4-6)$$

$$y_{jt} \in \{0,1\}, \forall j \in K, t = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (4-7)$$

แบบจำลองประกอบด้วยฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ทำให้ต้นทุนค่าแรงรวมกับต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุดดังสมการ (1) พจน์แรกของสมการใช้สำหรับคำนวณต้นทุนค่าแรง ส่วนพจน์ที่สองของสมการใช้สำหรับคำนวณค่าไฟฟ้า ฟังก์ชันจุดประสงค์นี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดตามสมการ (2)-(7) โดยที่ สมการ (2) ทำให้มั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนทุกรุ่นต้องถูกจัดลงในตารางการผลิตบนเครื่องจักรที่สามารถผลิตได้ 1 เครื่องเท่านั้น สมการ (3) เป็นสมการสำหรับกำหนดให้เครื่องจักรเครื่องหนึ่ง ๆ สามารถทำงานได้ตามรูปแบบเวลาการทำงาน 1 รูปแบบเท่านั้น หรือไม่ทำการผลิตเลย สมการ (4) ทำให้มั่นใจได้ว่าเวลาการทำงานของเครื่องจักรที่นำไปใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้าเป็นเวลาที่เพียงพอสำหรับผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่กำหนดให้ผลิตบนเครื่องจักรนั้น สมการ (5) ทำให้มั่นใจได้ว่าจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตเป็นไปตามที่กำหนด สมการ (6) เป็นสมการตัวแปรแบบไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตงาน  $i$  บนเครื่องจักร  $j$  ไม่เช่นนั้นก็มีค่าเป็น 0

สมการ (7) ตัวแปรแบบไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อใช้เครื่องจักร  $j$  ในการผลิตตามรูปแบบเวลาการทำงาน  $t$  ไม่เช่นนั้นจะมีค่าเป็น 0 และในการทดสอบโมเดลทางคณิตศาสตร์จะทำการทดสอบเป็น 2 แบบ แบบที่ 1 คือแบบคงที่จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ไว้ 30 เครื่อง และแบบที่ 2 คือแบบการหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม ในกรณีนี้ให้เปลี่ยนเครื่องหมายในสมการ (5) จาก “=” เป็น “<=”

### การจัดการวางแผนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง

หลังจากสร้างแบบจำลองเสร็จได้ทดลองนำปัญหาที่ 1 มากรอกข้อมูลนำเข้า และกดประมวลผลเมื่อได้ผลลัพธ์จากการประมวลผลของปัญหาที่หนึ่ง โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักรไว้ 30 เครื่องโดยการป้อนข้อมูลเข้าไปครั้งละหนึ่งปัญหาและกดประมวลผลรวมทั้งหมด 10 ปัญหาและนำผลลัพธ์ที่ได้มาใส่ในตาราง ตัวอย่างการประมวลผลของปัญหาที่ 1 ได้ผลลัพธ์ตามข้อมูลในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของการประมวลผลด้วยแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่องของปัญหาที่

1

ลำดับ	เครื่องจักร ( $j$ )	งาน ( $i$ )	เวลาดัง เครื่อง ( $S_j$ ) (นาที)	เวลาผลิต ( $P_i$ ) (นาที)	เวลารวม (นาที)	เวลารวม (ชั่วโมง)	ต้นทุน ค่าไฟฟ้า (บาท)	ต้นทุน ค่าแรง (บาท)	ต้นทุน รวม (บาท)
1	55TA	M02 M04	30	300.0	330.0	5.5	123	340	463
2	80TA	M05	15	337.5	352.5	5.9	138	340	478
3	100TA	M01 M03	30	300.0	330.0	5.5	134	340	474
4	110TA	M08 M11 M14 M15	60	420.0	480.0	8.0	199	340	539
5	110TB	M07 M12 M16 M17	60	420.0	480.0	8.0	199	340	539
6	140TA	M18	15	460.0	475.0	7.9	208	340	548
7	150TA	M09 M10 M19	45	370.0	415.0	6.9	184	340	524
8	150TB	M13 M20 M21	45	827.5	872.5	14.5	388	680	1068
9	280TA	M22	15	402.0	417.0	7.0	225	340	565
10	350TB	M25	15	455.0	470.0	7.8	279	340	619
11	350TC	M29	15	315.0	330.0	5.5	196	340	536
12	350TD	M23	15	448.0	463.0	7.7	274	340	614
13	350TE	M24	15	448.0	463.0	7.7	274	340	614
14	350TF	M26	15	455.0	470.0	7.8	279	340	619
15	350TG	M27 M28 M30	45	1015.0	1060.0	17.7	628	808	1436
16	450TA	M31 M32	30	413.0	443.0	7.4	295	340	635
17	650TA	M43 M47 M48 M52 M56	75	880.0	955.0	15.9	778	680	1458
18	650TB	M34 M37 M53 M54	60	880.0	940.0	15.7	766	680	1446

19	650TC	M35 M51	30	440.0	470.0	7.8	383	340	723
20	650TD	M41 M42	30	920.0	950.0	15.8	774	680	1454
21	650TE	M39 M40 M50 M55	60	880.0	940.0	15.7	766	680	1446
22	650TF	M36 M38 M46 M49	60	892.0	952.0	15.9	776	680	1456
23	850TA	M45 M58	30	920.0	950.0	15.8	915	680	1595
24	850TB	M62 M64 M65	45	880.0	925.0	15.4	891	680	1571
25	850TC	M63 M66	30	400.0	430.0	7.2	414	340	754
26	850TD	M60 M61	30	560.0	590.0	9.8	568	468	1036
27	850TE	M44	30	400.0	430.0	7.2	414	340	754
28	850TF	M59 M67	30	560.0	590.0	9.8	568	468	1036
29	1300TA	M68 M69 M70 M71	120	800.0	920.0	15.3	1193	680	1873
30	1600TA	M72 M73 M74 M75	120	1080.0	1200.0	20.0	1822	935	2757
<b>TOTAL</b>			<b>1215</b>	<b>17878.0</b>	<b>19093.0</b>	<b>318.2</b>	<b>15052</b>	<b>14578</b>	<b>29630</b>

จากข้อมูลจะพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้พยายามจัดการะงานให้อยู่ในช่วงเวลาการทำงานปกติโดยพบว่าจัดอยู่ช่วงงานปกติ 1 ถึง 13 เครื่อง และจัดอยู่ช่วงเวลาปกติ 2 ถึง 9 เครื่อง และจัดการะงานอยู่ในช่วงที่ต้องเสียค่าล่วงเวลาเกิดขึ้นเพียง 4 เครื่องเท่านั้น โดยมีต้นทุนรวมที่เกิดขึ้น 29,630 บาทเมื่อเทียบกับปัญหาเดียวกันก่อนการปรับปรุงต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 31,857 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 2,228 บาทและจะทำประมวลต่อเนื่องทั้งหมด 10 ปัญหาและสรุปเป็นผลการวิจัยท้ายบท เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักรถูกกำหนดให้ต้องใช้เครื่องจักรให้ครบทั้ง 30 เครื่องจึงทำให้การทำงานในช่วงเวลาปกติ 8 ชั่วโมงของบางเครื่องจักรมีเวลาว่างเกิดขึ้นอยู่ดังจะเห็นได้ในเครื่องจักร 55A 80A และ 100A ที่ชั่วโมงทำงานของเครื่องจักรอยู่ที่ 5.5 5.9 และ 5.5 ชั่วโมงตามลำดับ จึงได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่ 2 ที่เป็นแบบกำหนดจำนวนเครื่องจักรให้เหมาะสมโดยการแก้สมการที่ 5 โดยเปลี่ยนเครื่องหมายจาก “=” เป็น “<=” เพื่อให้แบบจำลองมีทางเลือกที่จะสามารถใช้เครื่องจักรได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้นและปิดเครื่องจักรที่ไม่จำเป็นลงไป

**การจัดการตารางงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบการหาจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ให้เหมาะสม**

หลังจากเปลี่ยนเครื่องหมายในสมการที่ 5 เสร็จได้ทดลองนำปัญหาที่ 1 มากรอกข้อมูลนำเข้า และกดประมวลผลเมื่อได้ผลลัพธ์จากการประมวลผลของปัญหาที่ 1 โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบการหาจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ให้เหมาะสม โดยการป้อนข้อมูลเข้าไปที่ละปัญหา และกดประมวลผลรวมทั้งหมด 10 ปัญหาและนำผลลัพธ์ที่ได้มาใส่ในตาราง ตัวอย่างของการประมวลผลปัญหาที่ 1 ได้ผลลัพธ์ตามข้อมูลในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลของการประมวลผลแบบจำลองแบบการหาจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ให้เหมาะสมของ  
ปัญหาที่ 1

ลำดับ	เครื่องจักร (j)	งาน (i)	เวลา ตั้ง เครื่อง (S <sub>j</sub> ) (นาที)	เวลา ผลิต (P <sub>j</sub> ) (นาที)	เวลา รวม (นาที)	เวลา รวม (ชั่วโมง)	ต้นทุน ค่า ไฟฟ้า (บาท)	ต้นทุน ค่าแรง (บาท)	ต้นทุน รวม (บาท)
1	55TA		0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
2	80TA		0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
3	100TA		0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
4	110TA	M01 M04 M07 M09 M10 M11 M15 M17	120	840.0	960.0	16.0	398	680	1078
5	110TB	M05 M08 M13 M14 M16	75	877.5	952.5	15.9	395	680	1075
6	140TA	M18	15	460.0	475.0	7.9	208	340	548
7	150TA	M02 M12 M20 M21	60	857.5	917.5	15.3	408	680	1088
8	150TB	M03 M19	30	400.0	430.0	7.2	191	340	531
9	280TA		0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
10	350TB		0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
11	350TC	M24	15	448.0	463.0	7.7	274	340	614
12	350TD	M25	15	455.0	470.0	7.8	279	340	619
13	350TE	M22 M29 M30	45	1032.0	1077.0	18.0	638	808	1446
14	350TF		0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
15	350TG	M23 M26	30	903.0	933.0	15.6	553	680	1233
16	450TA	M27 M28 M31	45	910.0	955.0	15.9	637	680	1317
17	650TA	M34 M36 M46 M50	60	892.0	952.0	15.9	776	680	1456
18	650TB	M38 M43 M44 M49 M54	75	880.0	955.0	15.9	778	680	1458
19	650TC	M37 M47 M48 M55	60	880.0	940.0	15.7	766	680	1446
20	650TD	M32 M33 M40 M52	60	883.0	943.0	15.7	768	680	1448
21	650TE	M41 M45	30	920.0	950.0	15.8	774	680	1454

22	650TF	M35 M39 M53 M57	60	880.0	940.0	15.7	766	680	1446
23	850TA	M42 M58	30	920.0	950.0	15.8	915	680	1595
24	850TB	M64 M66 M66	45	880.0	925.0	15.4	891	680	1571
25	850TC	M61 M62 M63 M67	60	800.0	860.0	14.3	828	680	1508
26	850TD		0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
27	850TE	M51 M59 M60	45	880.0	925.0	15.4	891	680	1571
28	850TF		0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
29	1300TA	M68 M69 M70 M71	120	800.0	920.0	15.3	1193	680	1873
30	1600TA	M72 M73 M74 M75	120	1080.0	1200.0	20.0	1822	935	2757
<b>TOTAL</b>			<b>1215</b>	<b>17878.0</b>	<b>19093.0</b>	<b>318.2</b>	<b>15148</b>	<b>13983</b>	<b>29130</b>

จากข้อมูลจะพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้พยายามจัดการระงานให้อยู่ในช่วงเวลาการทำงานปกติพร้อมทั้งใช้จำนวนเครื่องจักรให้น้อยที่สุด โดยพบว่าจัดอยู่ช่วงงานปกติ 1 กะจำนวน 4 เครื่อง และจัดอยู่ช่วงเวลางานปกติ 2 กะถึง 16 เครื่อง และจัดการระงานอยู่ในช่วงที่ต้องเสียค่าล่วงเวลาเกิดขึ้นเพียง 2 เครื่องเท่านั้น โดยมีต้นทุนรวมที่เกิดขึ้น 29,130 บาทเมื่อเทียบกับปัญหาเดียวกันก่อนการปรับปรุงต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 31,857 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 2,727 บาทและทำการประผลของปัญหาที่ 2 ถึง 10 ต่อทำการบันทึกผลเพื่อนำมาอภิปรายและสรุปต่อไป

### การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การทดสอบประสิทธิภาพการ จัดตารางการผลิตด้วยแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ทั้งสองแบบจะใช้ปัญหาการจัดตารางการผลิตจริงในอดีตจำนวน 10 วันเป็นปัญหาสำหรับทดสอบ การหาผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ใช้โปรแกรม OpenSolver เวอร์ชัน 2.9.0 (A. J. Mason, 2011, pp. 401-406) และตัวประมวลผล Gurobi เวอร์ชัน 7.5.2 ที่ติดตั้งในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซล 2016 แบบ 64 บิต บนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ Intel® Core™ i7-3520M CPU @ 2.90 GHz เป็น Processor และ RAM 8.0 GB และกำหนดพารามิเตอร์ของโปรแกรมประมวลผลดังนี้

- เวลาประมวลผลสูงสุด 1200 วินาที (20 นาที)

- ค่าเพื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (Branch and bound tolerance) เท่ากับ 0.00% ซึ่งอธิบายได้ว่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุด (Best Feasible Solution, BFS) กับค่าขอบเขตล่างของปัญหา (Lower Bound, LB) ต้องเท่ากันจึงสรุปได้ว่าพบผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

ตัวประมวลผล Gurobi จะแสดงผลลัพธ์เมื่อประมวลผลครบ 1200 วินาทีหรือก่อนหน้านั้นในกรณีที่พบผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด ตัวอย่างผลลัพธ์แสดงดังภาพที่ 9 ค่า BFS จะมีค่าเท่ากับ 29629.67 หรือปัดทศนิยมจะได้ค่าเท่ากับ 29630 บาท

Explored 623568 nodes (10061513 simplex iterations) in 689.78 seconds  
Thread count was 4 (of 4 available processors)

Solution count 10: 29629.7 29631.9 29673.5 ... 30242.3  
Pool objective bound 29629.7

Optimal solution found (tolerance 0.00e+00)  
Best objective 2.962967407407e+04, best bound 2.962967407407e+04, gap 0.0000%

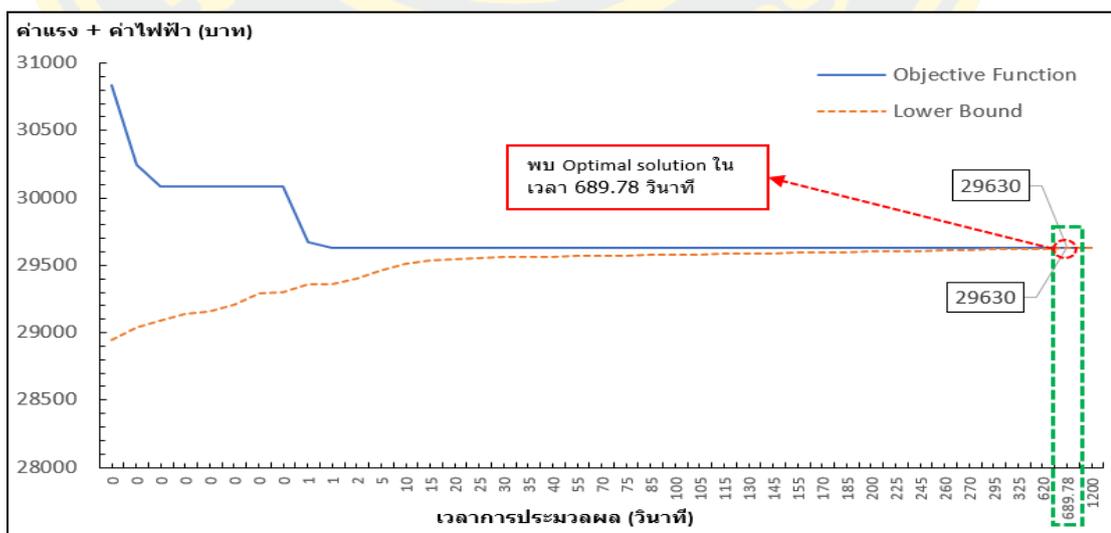
แสดงเวลาที่พบ Optimal solution

แจ้งว่าพบ Optimal solution

เมื่อพบ Optimal solution ค่า Best objective และ ค่า Best bound จะมีค่าเท่ากันและ %gap จะมีค่าเท่ากับ 0.0000%

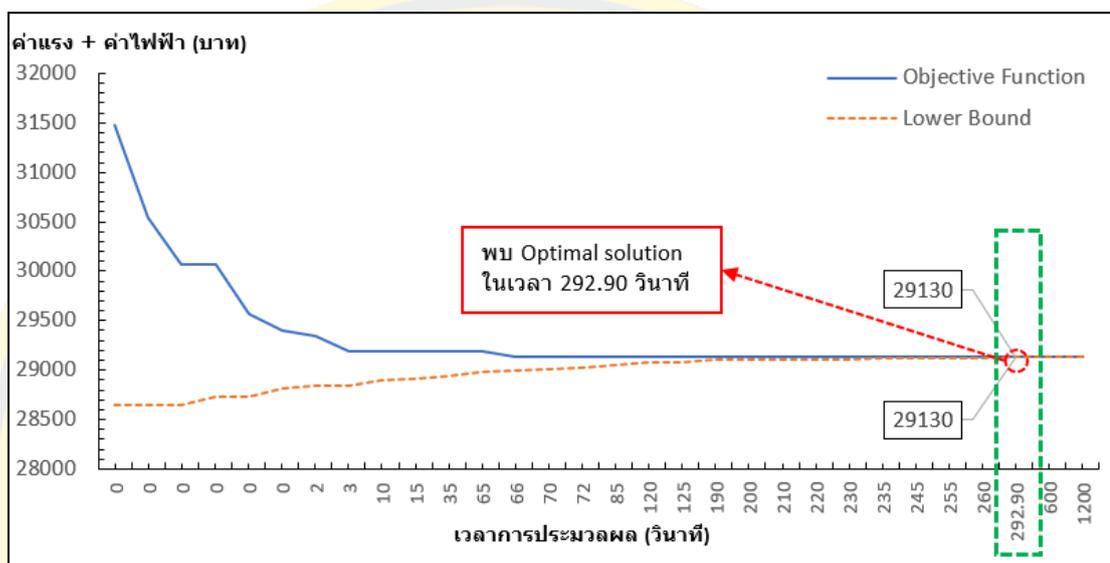
ภาพที่ 9 ผลที่แสดงใน Log หลังการประมวลผลของแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่องของปัญหาที่ 1

การเปลี่ยนแปลงของค่า BFS และ LB ในแต่ละช่วงเวลาการประมวลผลและสามารถพบ Optimal Solution ตัวอย่างนี้แสดงได้ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การพบ Optimal Solution ของแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง ปัญหาที่

และในการประมวลผลของแบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงของค่า BFS และ LB ในแต่ละช่วงเวลาการประมวลผลและสามารถพบ Optimal Solution ตัวอย่างนี้แสดงได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การพบ Optimal Solution ของแบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมปัญหาที่ 1

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการจัดการการผลิตที่ใช้แบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง และแบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด จะแสดงดังนี้

**การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักรเทียบกับวิธีการเดิม**

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในตารางที่ 11 พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่งสามารถวางแผนการผลิตที่มีต้นทุนค่าแรงรวม 10 ปัญหาลดลงจากเดิม 16,320 บาท หรือลดลงเท่ากับ 9.8% แต่ต้นทุนพลังงานสูงขึ้นกว่าเดิม 1,394 บาท คิดเป็นการเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ 0.9% และเมื่อพิจารณาต้นทุนทั้งหมดพบว่าสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 14,926 บาท คิดเป็นการลดลงจากเดิมเท่ากับ 4.6%

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) ภายในเวลาการประมวลผล 1,200 วินาที ได้จำนวน 6 ปัญหา คือ ปัญหาที่ 1 3 4 5 6 และ 10 ส่วนปัญหาที่ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ คือ ปัญหาที่ 2 7 8 และ 9 พบว่าค่าเฉลี่ย

ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากค่าขอบเขตต่ำที่สุดของผลลัพธ์ (Lower bound) มีค่าเท่ากับ 0.0062% ซึ่งอธิบายได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้มีต้นทุนรวมใกล้เคียงมากกับ optimal Solution

เมื่อพิจารณาโครงสร้างต้นทุนที่เกิดจากตารางการผลิตที่สร้างขึ้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าแบบจำลองสร้างตารางการผลิตที่ทำให้เครื่องจักรแต่ละเครื่องทำการผลิตในช่วงเวลาทำงานปกติ หรือทำการผลิตเต็มเวลาของการทำงานล่วงเวลา ซึ่งจะทำให้ต้นทุนด้านแรงงานลดลง ส่วนการกำหนดรุ่นการผลิตขึ้นส่วนบนเครื่องจักรต่าง ๆ จะมีการกำหนดรุ่นการผลิตขึ้นส่วนขนาดเล็กบนเครื่องจักรใหญ่ ซึ่งทำให้ต้นทุนการเดินเครื่องจักรที่เกิดจากค่าไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่ 1

CASE	Optimal Solution (Found/Not)	%Gap*	ต้นทุนค่าแรง (บาท)**			ต้นทุนค่าพลังงาน (บาท)**			ต้นทุนรวม (บาท)**		
			วิธีการเดิม	วิธีการใหม่	ผลต่าง	วิธีการเดิม	วิธีการใหม่	ผลต่าง	วิธีการเดิม	วิธีการใหม่	ผลต่าง
1	Found	0.0000	16915	14578	-2338	14942	15052	110	31857	29630	-2228
2	Not	0.0003	16745	15300	-1445	15713	15842	129	32458	31142	-1316
3	Found	0.0000	16788	15385	-1403	15697	15889	191	32485	31274	-1211
4	Found	0.0000	17128	15513	-1615	15749	15852	103	32876	31365	-1512
5	Found	0.0000	17000	15513	-1488	15585	15678	93	32585	31190	-1394
6	Found	0.0000	16703	15513	-1190	15788	15916	128	32491	31429	-1062
7	Not	0.0141	16618	14790	-1828	15395	15602	206	32013	30392	-1621
8	Not	0.0009	17085	15385	-1700	15558	15687	130	32643	31072	-1570
9	Not	0.0096	16915	15258	-1658	15524	15618	94	32439	30875	-1563
10	Found	0.0000	16660	15003	-1658	15515	15725	210	32175	30728	-1447
<b>Total</b>			<b>168555</b>	<b>152235</b>	<b>-16320</b>	<b>155466</b>	<b>156861</b>	<b>1394</b>	<b>324021</b>	<b>309096</b>	<b>-14926</b>

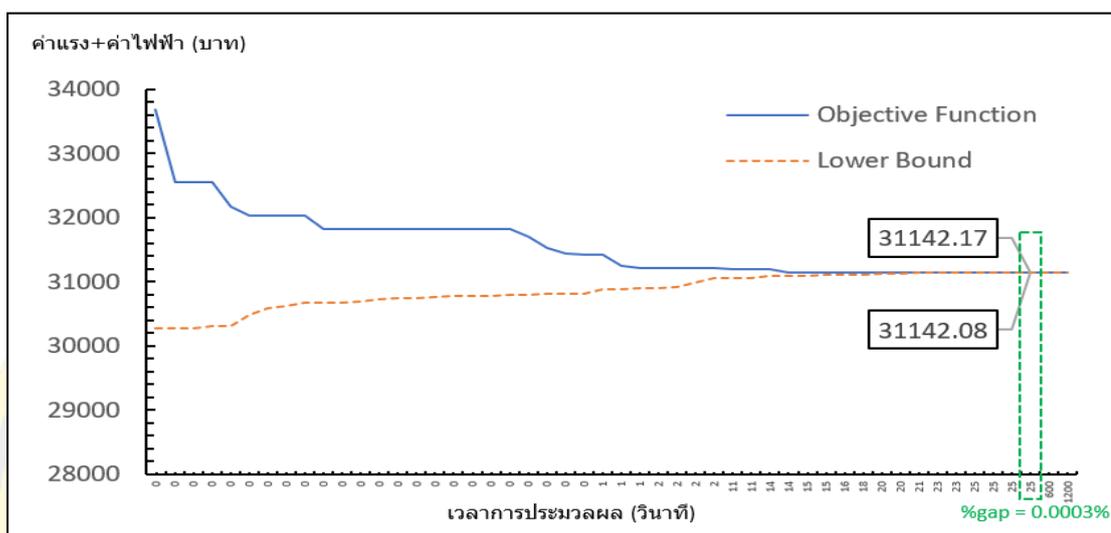
\* เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากค่าขอบเขตต่ำที่สุดของผลลัพธ์

\*\* ผลต่าง = วิธีใหม่-วิธีเดิม

\*\*\*ปัญหาที่ 1 3 4 5 6 และ 10 ใช้เวลา 690 107 119 224 64 และ 71 วินาที ตามลำดับ

ในส่วนของคุณภาพด้านการประมวลผลของปัญหาที่เจอ Optimal Solution ได้ 6 ปัญหาคือปัญหาที่ 1 3 4 5 6 และ 10 จากข้อมูลในส่วนของเวลาการประมวลผลของปัญหาที่เจอ Optimal Solution มีลักษณะไม่แน่นอนบางปัญหาใช้เวลาน้อยและบางปัญหาใช้เวลามาก ในส่วนของปัญหาที่ไม่สามารถหา Optimal Solution ได้ยกตัวอย่างปัญหาที่ 2 เมื่อนำข้อมูลจาก Log ที่

บันทึกไว้โดยนำค่าระหว่าง Objective Function กับค่า Lower Bound มาพล็อตเป็นกราฟเปรียบเทียบกันในแต่ละช่วงเวลาการประมวลผลจะได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การปรับปรุงผลลัพธ์ระหว่างประมวลผลของปัญหาที่ 2 ของแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง

จากกราฟพบว่าแบบจำลองสามารถลดค่าความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ของ Objective Function กับ ค่า Lower Bound ได้เหลือ 0.0003% ภายในเวลา 25 วินาทีและคงที่ค่าดังกล่าวไปจนเสร็จสิ้นเวลาการประมวลผลที่ตั้งไว้ 1200 วินาทีและแสดงผลว่าไม่สามารถหา Optimal Solution ได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นกับปัญหาที่ 7, 8 และ 9 เช่นกัน

**การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใช้จำนวนเครื่องที่เหมาะสมเทียบกับวิธีการเดิม**

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในตารางที่ 12 พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สองสามารถสร้างแผนการผลิตที่มีต้นทุนค่าแรงรวม 10 ปัญหาลดลงจากเดิม 20,358 บาท หรือลดลงเท่ากับ 12.1% แต่ต้นทุนพลังงานสูงขึ้นกว่าเดิม 1,409 บาท คิดการเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ 0.9% และเมื่อพิจารณาต้นทุนทั้งหมดพบว่าสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 18,949 บาท คิดเป็นการลดลงจากเดิมเท่ากับ 5.8% แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สองสามารถหา Optimal Solution ภายในเวลาการประมวลผล 1,200 วินาที ได้จำนวน 3 ปัญหา คือ ปัญหาที่ 1 2 และ 4 ส่วนอีก 7 ปัญหาที่ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

ระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากค่าขอบเขตต่ำที่สุดของผลลัพธ์มีค่าเท่ากับ 0.1038% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่มีต้นทุนรวมใกล้เคียงมากกับ Optimal Solution

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่ 2

ปัญหา	Optimal Solution (Found/Not)	%Gap*	ต้นทุนค่าแรง (บาท)**				ต้นทุนค่าพลังงาน (บาท)**			ต้นทุนรวม (บาท)**		
			วิธีการใหม่	วิธีการเดิม	วิธีการใหม่	ผลต่าง	วิธีการเดิม	วิธีการใหม่	ผลต่าง	วิธีการเดิม	วิธีการใหม่	ผลต่าง
			แบบ 2	แบบ 2	แบบ 2		แบบ 2	แบบ 2		แบบ 2	แบบ 2	
1	Found	0.0000	22	16915	13983	-2933	14942	15148	205	31857	29130	-2727
2	Found	0.0000	23	16745	15088	-1658	15713	15787	74	32458	30874	-1584
3	Not	0.0099	23	16788	14960	-1828	15697	15888	191	32485	30848	-1637
4	Found	0.0000	23	17128	15088	-2040	15749	15830	81	32876	30917	-1959
5	Not	0.0050	23	17000	14918	-2083	15585	15737	152	32585	30654	-1930
6	Not	0.0002	24	16703	14918	-1785	15788	16042	253	32491	30959	-1532
7	Not	0.0098	24	16618	14663	-1955	15395	15480	85	32013	30143	-1870
8	Not	0.1937	23	17085	14960	-2125	15558	15635	78	32643	30595	-2047
9	Not	0.2293	24	16915	14790	-2125	15524	15674	150	32439	30464	-1975
10	Not	0.2784	25	16660	14833	-1828	15515	15656	140	32175	30488	-1687
<b>Total</b>				<b>168555</b>	<b>148198</b>	<b>-20358</b>	<b>155466</b>	<b>156875</b>	<b>1409</b>	<b>324021</b>	<b>305073</b>	<b>-18949</b>

\* เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากค่าขอบเขตต่ำที่สุดของผลลัพธ์

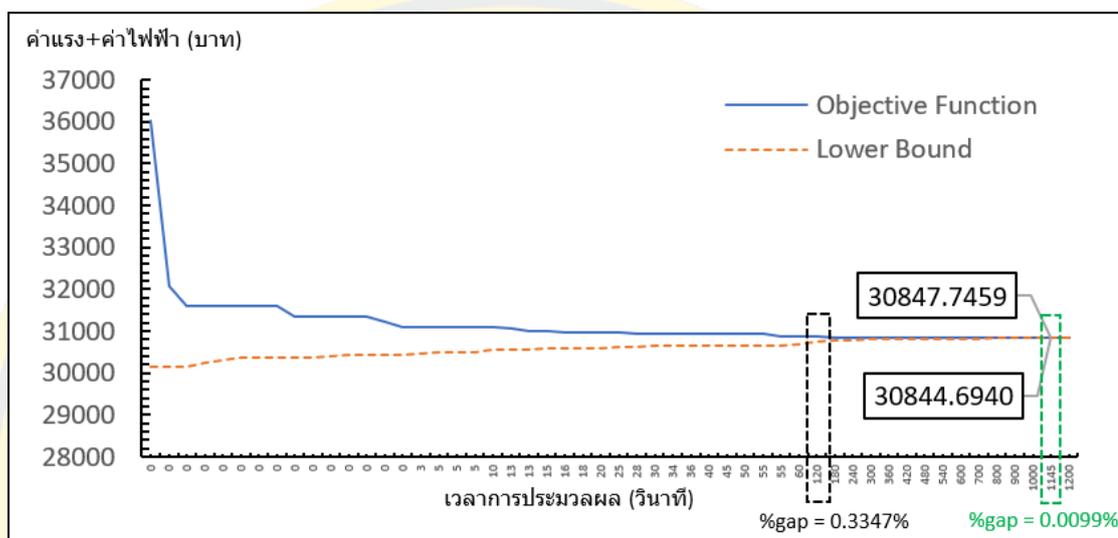
\*\* ผลต่าง = วิธีใหม่-วิธีเดิม

\*\*\*ปัญหาที่ 1 2 และ 4 ใช้เวลา 293 463 และ 1137 วินาที ตามลำดับ

ในส่วนของประสิทธิภาพด้านการประมวลผลของปัญหาที่เจอ Optimal Solution ได้ 3 ปัญหาคือปัญหาที่ 1 2 และ 4 จากข้อมูลในส่วนของเวลาการประมวลผลของปัญหาที่เจอ Optimal Solution มีลักษณะไม่แน่นอนบางปัญหาใช้เวลาน้อยและบางปัญหาใช้เวลามากซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกับแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร ต่างกันที่แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสมนั้นสามารถหา Optimal Solution ได้น้อยกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร ในส่วนของปัญหาที่ไม่สามารถหา Optimal Solution ได้ยกตัวอย่างปัญหาที่ 3 เมื่อนำข้อมูลจาก Log ที่บันทึกไว้โดยนำค่าระหว่าง Objective Function กับค่า Lower Bound มาพลอตเป็นกราฟเปรียบเทียบกันในแต่ละช่วงเวลาการประมวลผลจะได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 13

จากกราฟพบว่าแบบจำลองสามารถลดค่าความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ของค่า Objective Function กับ ค่า Lower Bound ให้เหลือ 0.3347% ภายในเวลา 120 วินาทีและสามารถปรับปรุงค่า Objective Function ให้ใกล้เคียงกับค่า Lower Bound ได้อย่างต่อเนื่องจนถึงเวลาที่ 1145 วินาทีค่า

ความแตกต่างระหว่างค่า Objective function กับ ค่า Lower bound คงที่อยู่ที 0.0099% และคงอยู่ที่ค่านี้นจนเสร็จสิ้นเวลาการประมวลผลที่ตั้งไว้ 1200 วินาทีและแสดงผลว่าไม่สามารถหา Optimal Solution ได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นกับปัญหาที่ 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 เช่นกัน



ภาพที่ 13 การปรับปรุงผลลัพธ์ระหว่างประมวลผลของปัญหาที่ 3 ของแบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม

จากการเปรียบเทียบผลการประมวลผล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง สามารถลดต้นทุนการผลิตรวมได้ดีกว่าแบบที่หนึ่ง เป็นปริมาณต้นทุนเท่ากับ 4,023 บาท สิ่งที่แตกต่างกันคือแบบจำลองแบบที่สอง จะให้โปรแกรมหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุดโดยจากผลการประมวลผล ทั้ง 10 ปัญหา จำนวนเครื่องจักรเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตอยู่ที่ 23.4 เครื่องและยังคงผลิตงานได้ตามแผนเดิม แต่เมื่อเทียบกับในเชิงประสิทธิภาพการหา Optimal Solution แล้วแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเนื่องจากสามารถพบ Optimal Solution ได้ถึง 6 ปัญหาในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง สามารถพบ Optimal Solution ได้เพียง 3 ปัญหา

และเมื่อนำตัวอย่างเวลาการทำงานของปัญหาที่ 1 มาพรวดเป็นกราฟเปรียบเทียบกันระหว่างการจัดการการผลิตปัจจุบัน การจัดการการผลิตด้วยแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง และการจัดการการผลิตด้วยแบบจำลองแบบใช้จำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด จะได้ผลตามภาพที่ 14 สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา

ลดลง เมื่อคิดตามเกณฑ์ของการกำหนดค่าแรง ตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 20 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 10 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 2,228 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 6 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 2,727 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร



ภาพที่ 14 เวลาการทำงานของปัญหาที่ 1 การจัดตารางการผลิตแบบต่าง ๆ

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผล

#### สรุปผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพใช้การเปรียบเทียบแผนการผลิตหลักที่สร้างด้วยแบบจำลอง กำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่เสนอกับแผนการผลิตเดิมที่ทำโดยพนักงานวางแผน กรณีศึกษาทำการประมวลผลแผนการผลิตทั้งหมด 10 ปัญหาโดยเลือกมาจากแผนการผลิตเดิมที่เป็นข้อมูลในการศึกษา การสร้างแผนการผลิตหลักด้วยแบบจำลองที่เสนอใช้ข้อมูลนำเข้าได้แก่ ปริมาณที่ต้องการผลิตในแต่ละรุ่นรวมทั้งหมดจะมี 75 รุ่น ปริมาณจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต และเวลาการผลิตชิ้นงานแต่ละรุ่นที่อ้างอิงตามแผนการผลิตเดิม โดยจะแบ่งเป็น 2 แบบ แบบที่หนึ่งคือแบบคงที่จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ไว้ 30 เครื่อง และแบบที่สองคือแบบการหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมในการผลิต และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ทั้ง 2 แบบกำหนดให้เท่ากับ 1,200 วินาที คำนวณประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ จำนวนเครื่องที่เปิดผลิต ต้นทุนค่าแรง และต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต ผลการทดสอบพบว่าจากการประมวลผล 10 ปัญหาการผลิตของ 2 รูปแบบการหาผลลัพธ์ ตัวประมวลผล Gurobi สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ 9 การประมวลผล โดยแบ่งเป็น 2 แบบจำลองได้ดังนี้

1. การจัดตารางด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง (Mathematical model Fixed Machine) แบบจำลองสามารถจัดการงานให้อยู่ในช่วงเวลาการทำงานปกติได้เป็นส่วนใหญ่ จากการทดสอบ 10 ปัญหาพบว่า เจอผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution found) 6 ครั้ง คือ ปัญหาที่ 1, 3, 4, 5, 6 และปัญหาที่ 10 และถึงแม้ว่าปัญหาที่เหลือทั้ง 4 ปัญหาจะไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแต่ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายค่าแรงและค่าพลังงานรวมกันทั้ง 10 ปัญหาได้ถึง 14,926 บาท เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมแต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองแบบคงที่เครื่องจักรก็ยังมีเวลาว่างบ้างเครื่องจักรเกิดขึ้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้แก้ไขโดยการเขียนแบบจำลองแบบที่สองขึ้นมาดังแสดงผลสรุปในหัวข้อที่ 2

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบกำหนดจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม (Mathematical model Optimize Machine) แบบจำลองแบบที่สองนี้สามารถจัดการงานให้อยู่ในช่วงเวลาปกติได้ดียิ่งขึ้นเนื่องจากปลดเงื่อนไขการคงที่จำนวนเครื่องจักรออก และหลังจากการประมวลผลปัญหา 10 ปัญหาพบว่าเจอผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution Found) ได้ 3 ครั้งคือปัญหาที่ 1, 2 และปัญหาที่ 4 และสามารถลดค่าใช้จ่ายค่าแรงและค่าพลังงานรวมกันได้ถึง 18,949 บาทซึ่งสามารถลด

ค่าใช้จ่ายได้ดีกว่าแบบจำลองแบบที่หนึ่ง เป็นเงินจำนวน 4,023 บาท โดยจากผลการประมวลผล ทั้ง 10 ปัญหา จำนวนเครื่องจักรเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตอยู่ที่ 23.4 เครื่องและยังคงผลิตงานได้ตามแผนเดิม

### อภิปรายผล

ผลการวิจัยจากตารางที่ 9 ในบทที่ 4 เมื่อนำผลเวลาของการทำงานแต่ละเครื่องจักรที่ทำการประมวลผลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง ในที่นี้จะยกตัวอย่างปัญหาที่ 1 เปรียบเทียบกับกราฟภาพที่ 2 ซึ่งเป็นปัญหาเดียวกัน จะได้เวลาการผลิตแต่ละเครื่องจักรตามกราฟภาพที่ 15 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำการจัดเวลาการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องเพื่อให้เกิดช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลาน้อยที่สุดและเกิดเวลาว่างของการทำงานน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน จากกราฟภาพที่ 15 เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟภาพที่ 2 เห็นได้ว่าจำนวนเวลาการทำงานล่วงเวลาลดลงจาก 20 ชั่วโมง เหลือเพียง 10 ชั่วโมง และเวลาว่างจากการทำงานช่วงเวลาคงที่ 2 กะลดลงจาก 41 ชั่วโมงเหลือเพียง 3.9 ชั่วโมง แต่เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง ถูกกำหนดให้ต้องใช้เครื่องจักรครบทั้ง 30 เครื่องจึงทำให้การทำงานในช่วงเวลาคงที่ 8 ชั่วโมงของเครื่องจักรบางเครื่องมีเวลาว่างเกิดขึ้นอยู่คงจะเห็นได้ในกราฟแท่งสีน้ำเงินอ่อน จึงได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สองขึ้นมา

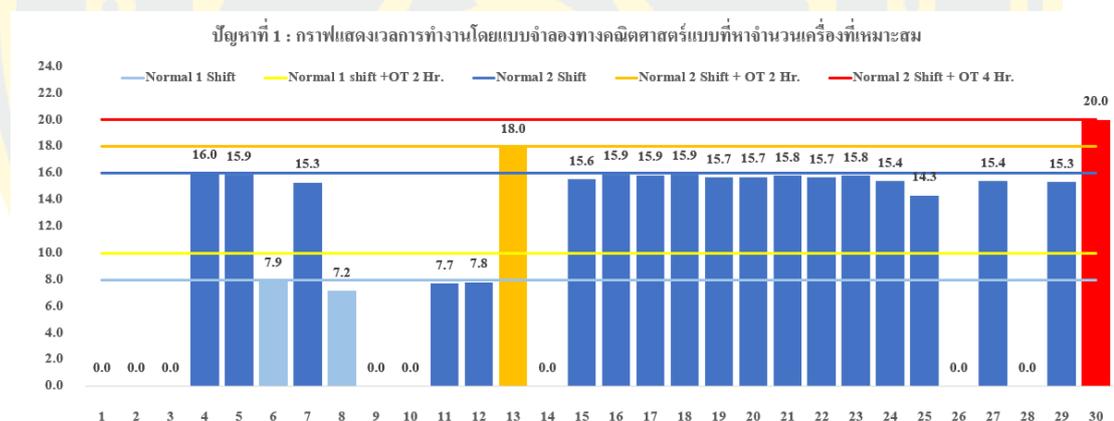
ปัญหาที่ 1 : กราฟแสดงเวลาการทำงานโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่



ภาพที่ 15 เวลาการผลิตแต่ละเครื่องจักรหลังการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่งของปัญหาที่ 1

ผลการวิจัยจากตารางที่ 10 ในบทที่ 4 เมื่อนำผลเวลาของการทำงานแต่ละเครื่องจักรที่ทำงานประมวลผลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง จะได้เวลาการผลิตแต่ละเครื่องจักรตามกราฟภาพที่ 16 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำการจัดเวลาการทำงานของแต่ละ

เครื่องจักรเพื่อให้เกิดช่วงเวลากการทำงานล่วงเวลาน้อยที่สุดและเกิดเวลาว่างของการทำงานน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน จากกราฟภาพที่ 16 เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 2 เห็นได้ว่าจำนวนเวลากการทำงานล่วงเวลาลดลงจาก 20 ชั่วโมง เหลือเพียง 6 ชั่วโมงและเวลาว่างจากการทำงานช่วงเวลาคปกติ 2 กะ ลดลงจาก 41 ชั่วโมงเหลือเพียง 6.4 ชั่วโมง และเนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง เป็นแบบที่ทำการหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมทำให้ใช้จำนวนเครื่องจักรในการผลิตเหลือเพียง 22 เครื่อง และสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนค่าพลังงานของทั้งสองแบบจำลองเพิ่มขึ้น เนื่องจากแบบจำลองพยายามจะจัดเวลากการผลิตให้อยู่ในช่วงเวลากการทำงานปกติซึ่งเครื่องจักรที่สามารถทำการผลิตได้หลายโมเดลจะเป็นเครื่องที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าพลังงานสูงขึ้นตามเวลาที่ใช้ในเครื่องจักรนั้น ดังจะเห็นได้ชัดในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง ยกตัวอย่างเช่น เครื่องจักรที่ 4 สามารถขึ้นงานของเครื่องจักรที่ 1 2 และ 3 ได้แบบจำลองจึงนำงานของทั้ง 3 เครื่องจักรมาจัดการผลิตบนเครื่องจักรที่ 4 แต่ก็ต้องแลกด้วยค่าพลังงานต่อชั่วโมงที่สูงขึ้นตามขนาดเครื่องซึ่งแบบจำลองทำการคำนวณแล้วว่าคุ้มกับค่าแรงล่วงเวลาที่ลดลงได้



ภาพที่ 16 เวลาการผลิตแต่ละเครื่องจักรหลังการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สองของปัญหาที่ 1

จากการอภิปรายผลการวิจัยทำให้สรุปได้ว่า การใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่เสนอในการสร้างแผนการผลิต สามารถลดต้นทุนค่าแรงลงได้ แต่ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าอาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากต้องการจัดเวลากการผลิตให้อยู่ในช่วงเวลากการทำงานปกติซึ่งส่งผลให้ต้อง

จัดบนเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่และตั้งผลิตนานขึ้นเป็นสองกะ เพื่อสามารถลดต้นทุนที่ต้องเสียไปกับการทำงานล่วงเวลาเวลาลงได้ ทั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ในเชิงของประสิทธิภาพในการหาผลลัพธ์ Optimal Solution จากการท้าวิจัยพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง มีประสิทธิภาพมากกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม เพราะสามารถหาผลลัพธ์ Optimal Solution ได้พบ 6 ปัญหาในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมสามารถหาผลลัพธ์ Optimal Solution ได้เพียง 3 ปัญหาจากการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากข้อจำกัดที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียกใช้เครื่องจักรที่สามารถผลิตงานรุ่นนั้นๆ ได้อย่างอิสระซึ่งทำให้แบบจำลองมีความซับซ้อนมากขึ้นที่เป็นลักษณะของปัญหาแบบ NP hard จึงต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้นซึ่งในการท้าวิจัยครั้งนี้กำหนดเวลาการประมวลผลไว้ที่ 1200 วินาทีซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม

### ข้อเสนอแนะ

หลังจากได้อภิปรายและสรุปผลพบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นทั้งสองแบบสามารถช่วยจัดตารางการผลิตที่สามารถลดต้นทุนได้จริง แต่เพื่อให้สามารถนำวิธีการดังกล่าวไปใช้งานได้ดียิ่งขึ้นจึงได้มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. การนำแบบจำลองไปใช้งานควรเลือกใช้แบบจำลองแบบที่หนึ่ง ถึงแม้จะสามารถลดต้นทุนได้น้อยกว่าแบบจำลองแบบที่สอง แต่สามารถบริหารจัดการด้านแรงงานและมีประสิทธิภาพในการหาผลลัพธ์ Optimal Solution ได้ดีกว่า เพราะในการวางแผนผลิตเป็นการวางแผนผลิตรายวันถ้าหากต้องปรับเปลี่ยนกำลังคนทุกวันในทางปฏิบัติแล้วอาจทำได้ยากเมื่อเทียบกับการคงที่กำลังคนไว้
2. เพื่อที่สามารถใช้งานแบบจำลองได้ง่ายขึ้นควรจัดการให้ผลจากการประมวลผลเชื่อมโยงกับแบบฟอร์มแผนผลิตเพื่อให้สามารถส่งแผนให้หน่วยงานผลิตหลังจากที่ทำการประมวลผลเสร็จได้ทันที

## บรรณานุกรม

- กัญชลา สุดตาชาติ. (2552). *ฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน กรณีมีเวลาติดตั้งเครื่องจักรและมีข้อจำกัดของเครื่องจักร*. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 5(2), หน้า 77-88.
- จักรวาล คุณะดิลก และอารดา ไชยโคตร. (2564). *การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์*. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 9(2), 104-116.
- ทวีพร ขำดี. (2554). *การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรขนานแบบหลายจุดประสงค์*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยบูรพา]. ThaiLIS Digital Collection.
- ชนวัฒน์ วงศ์เครือ และ วรุฒิ หวังวัชรกุล. (2564). *การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานในกระบวนการทดสอบวงจรรวม*. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 9(1), 153-162
- ปริญญา กวีกิจบัณฑิต และ อรจิตร แจ่มแสง. (2554). *การประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรมในการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.
- เพ็ญศิริ สมพงษ์. (2552). *การใช้วิธีเชิงพันธุกรรมชนิดเมมเมติกสำหรับการจัดตารางการผลิตของเครื่องขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน โดยมีค่าใช้จ่ายจากงานที่ผลิตเสร็จก่อนค่าใช้จ่ายจากงานที่ล่าช้าและเวลาปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลำดับงาน*. (คณะวิศวกรรมศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.
- ศศิธร โรจนพร จักรวาล คุณะดิลก. (2023). *การลดเวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาปิดงานของกระบวนการตัดสายไฟอัตโนมัติด้วยวิธีการจัดตารางการผลิต*. In The 7<sup>th</sup> UTCC National Conference. 1863-1876.
- Allahverdi, A. (2015). *The third comprehensive survey on scheduling problems with setuptimes/costs*. European Journal of Operational Research, 246. 354-378.
- Balin, S. (2011). *Non-identical parallel machine scheduling using genetic algorithm*. Expert Systems with Application, 38, 6814-6821. doi:10.1016.j.eswa.2010.12.064
- Ragsdale, C. T. (2011). *Managerial Decision Modeling (6th edition)*. South-Western.

Süer, G. A., Mathu K. (2015). *Mathematical models to simultaneously determine overtime requirements and schedule cells*. Engineering. 7. 58-72.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

แสดงรายละเอียดของสมการและตัวแปรในแบบจำลอง

1.ดัชนีและเซตที่เกี่ยวข้อง

$$i = 1, 2, 3, \dots, 75$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, 30$$

$$t = 1, 2, 3, \dots, 5$$

$$N = \{1, 2, 3, 4, \dots, 75\}$$

$$K = \{1, 2, 3, 4, \dots, 30\}$$

$N_j$  = เซตของรุ่นชิ้นส่วนที่สามารถผลิตบนเครื่องจักร  $j$  ได้

$j$	$N_j$	Set
1	$N_1$	{M01, M02, ..., M04}
2	$N_2$	{M01, M02, ..., M04}
:	:	:
15	$N_{15}$	{M22, M24, ..., M30}
:	:	:
30	$N_{30}$	{M68, M69, ..., M75}

$K_i$  = เซตของเครื่องจักรที่สามารถผลิตชิ้นส่วนรุ่น  $i$  ได้

$i$	$K_i$	Set
1	$K_1$	{1, 2, 3, 4, ..., 8}
2	$K_2$	{1, 2, 3, 4, ..., 8}
:	:	:
37	$K_{37}$	{17, 18, 19, 20, ..., 28}
:	:	:
75	$K_{75}$	{30}

2.ข้อจำกัด

สมการข้อจำกัดที่ 1

$$\sum_{j \in K} x_{ij} = 1, \forall i \in N$$

สมการนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนทุกรุ่นต้องถูกจัดลงในตารางการผลิตบนเครื่องจักรที่สามารถผลิตได้ 1 เครื่องเท่านั้นอธิบายได้ดังนี้

$i$	สมการ
1	$x_{1,1} + x_{1,2} + \dots + x_{1,8} = 1$
2	$x_{2,1} + x_{2,2} + \dots + x_{2,8} = 1$
:	:
37	$x_{37,17} + x_{37,18} + \dots + x_{37,28} = 1$
:	:
75	$x_{75,30} = 1$

สมการข้อจำกัดที่ 2

$$\sum_{t=1}^5 y_{jt} \leq 1, \forall j \in K$$

สมการสำหรับกำหนดให้เครื่องจักรเครื่องหนึ่ง ๆ สามารถทำงานได้ตามรูปแบบเวลาการทำงาน 1 รูปแบบเท่านั้น หรือไม่ทำการผลิตเลย

$j$	สมการ
1	$y_{1,1} + y_{1,2} + \dots + y_{1,5} = 1$
2	$y_{2,1} + y_{2,2} + \dots + y_{2,5} = 1$
:	:
15	$y_{15,1} + y_{15,2} + \dots + y_{15,5} = 1$
:	:
30	$y_{30,1} + y_{30,2} + \dots + y_{30,5} = 1$

สมการข้อจำกัดที่ 3

$$\sum_{i \in N_j} (s_j + p_i) x_{ij} \leq 480y_{j1} + 600y_{j2} + 960y_{j3} + 1080y_{j4} + 1200y_{j5}, \forall j \in K$$

สมการนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าเวลาการทำงานของเครื่องจักรที่นำไปใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้าเป็นเวลาเพียงพอสำหรับผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่กำหนดให้ผลิตบนเครื่องจักรนั้น

สมการข้อจำกัดที่ 4

$$\sum_{j \in K} \sum_{t=1}^5 y_{jt} = m$$

สมการนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตเป็นไปตามที่กำหนดอธิบายดังนี้

$$y_{1,1} + \dots + y_{1,5} + y_{2,1} + \dots + y_{2,5} + \dots + y_{30,1} + \dots + y_{30,5} = 30$$

และเมื่อต้องการเปลี่ยนจากแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร 30 เครื่องเป็นแบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสมให้เปลี่ยนเครื่องหมายจาก “=” เป็น “<=” ในสมการก่อนการกดประมวลผล

### 3. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in N_j} \sum_{j \in K} c_j (s_j + p_i) x_{ij} + \sum_{j \in K} \sum_{t=1}^5 w_t y_{jt}$$

พจน์แรกของสมการใช้สำหรับคำนวณต้นทุนค่าแรง ส่วนพจน์ที่สองของสมการใช้สำหรับคำนวณค่าไฟฟ้า ฟังก์ชันจุดประสงค์นี้ขึ้นอยู่กับสมการข้อจำกัดที่กล่าวไปในข้อที่ 2 อธิบายสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & c_1(s_1 + p_1)x_{1,1} + c_1(s_1 + p_2)x_{2,1} + c_1(s_1 + p_3)x_{3,1} \dots \\ & + c_{30}(s_{30} + p_{75})x_{75,30} + w_1y_{1,1} + w_2y_{1,2} + \dots + w_5y_{1,5} + \dots w_1y_{30,1} \\ & + w_2y_{30,2} + \dots + w_5y_{30,5} \end{aligned}$$



**ภาคผนวก ข**

ตารางแสดงเวลาการทำงานของแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องและแบบจำลองแบบหา  
เครื่องจักรที่เหมาะสมของปัญหา 10 ปัญหา

ตารางภาคผนวก ข-1 แสดงเวลาการทำงานของผลลัพธ์แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบคงที่จำนวน  
เครื่องจักร 30 เครื่อง

ลำดับ	เครื่องจักร (j)	ปัญหา ที่ 1	ปัญหา ที่ 2	ปัญหา ที่ 3	ปัญหา ที่ 4	ปัญหา ที่ 5	ปัญหา ที่ 6	ปัญหา ที่ 7	ปัญหา ที่ 8	ปัญหา ที่ 9	ปัญหา ที่ 10
1	55TA	5.5	7.4	7.2	7.2	7.6	7.2	7.6	7.2	7.6	7.8
2	80TA	5.9	6.8	7.1	7.1	6.8	6.8	6.8	6.2	6.2	6.5
3	100TA	5.5	9.2	8.1	8.1	8.1	8.1	9.2	9.2	9.2	7.5
4	110TA	8.0	8.0	8.0	7.8	8.0	8.0	8.0	7.9	8.0	8.0
5	110TB	8.0	8.0	8.0	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
6	140TA	7.9	7.7	7.2	7.9	7.9	7.9	7.9	7.8	7.2	7.4
7	150TA	6.9	6.7	6.2	7.2	7.8	7.8	6.9	7.1	15.6	7.2
8	150TB	14.5	7.3	7.5	7.9	7.6	7.9	7.9	6.6	7.6	7.5
9	280TA	7.0	7.2	15.8	15.1	17.2	7.2	7.5	7.9	7.8	7.2
10	350TB	7.8	7.8	7.7	7.5	13.2	17.1	16.0	15.6	7.7	7.7
11	350TC	5.5	7.7	5.5	5.4	16.3	7.8	9.9	8.1	15.8	7.7
12	350TD	7.7	15.0	7.7	7.7	4.9	13.2	7.8	14.2	14.5	13.8
13	350TE	7.7	7.5	17.0	13.8	7.5	7.5	7.7	5.2	7.5	7.8
14	350TF	7.8	7.8	5.2	7.7	7.5	4.9	15.7	15.7	4.6	14.2
15	350TG	17.7	17.7	15.7	16.1	7.7	15.1	7.7	7.0	8.1	16.0
16	450TA	7.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
17	650TA	15.9	19.8	15.9	7.8	15.9	16.9	15.8	16.0	16.0	16.9
18	650TB	15.7	16.0	16.0	15.9	16.9	16.0	16.9	16.9	7.8	16.0
19	650TC	7.8	15.9	7.8	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	15.8	8.0
20	650TD	15.8	16.0	16.0	16.9	15.9	15.9	7.8	8.0	10.0	16.0
21	650TE	15.7	7.8	15.9	16.0	8.0	8.0	16.0	15.9	16.0	15.9
22	650TF	15.9	15.9	16.9	15.9	16.0	16.0	7.8	16.0	16.0	16.0
23	850TA	15.8	16.9	15.8	16.9	15.5	15.5	15.8	15.8	16.9	16.9
24	850TB	15.4	16.9	16.9	15.8	16.9	16.9	15.8	16.9	15.5	15.5
25	850TC	7.2	9.8	7.3	15.3	9.5	9.8	16.0	16.0	16.0	7.6
26	850TD	9.8	16.0	7.8	7.9	16.0	6.9	7.8	9.8	7.8	16.0
27	850TE	7.2	7.8	16.0	9.8	7.6	7.8	16.0	7.2	16.0	7.8
28	850TF	9.8	7.8	7.8	7.8	7.2	16.0	7.6	7.8	6.6	6.9
29	1300TA	15.3	13.7	15.7	13.7	13.7	14.5	13.7	13.7	13.7	16.0
30	1600TA	20.0	18.0	20.0	20.0	18.0	20.0	18.0	18.0	18.0	18.0
<b>TOTAL</b>		<b>318.2</b>	<b>337.8</b>	<b>337.2</b>	<b>337.7</b>	<b>336.8</b>	<b>338.2</b>	<b>333.2</b>	<b>335.1</b>	<b>335.0</b>	<b>335.2</b>

ตารางภาคผนวก ข-2 แสดงเวลาการทำงานของผลลัพธ์แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบหาจำนวน  
เครื่องจักรที่เหมาะสม

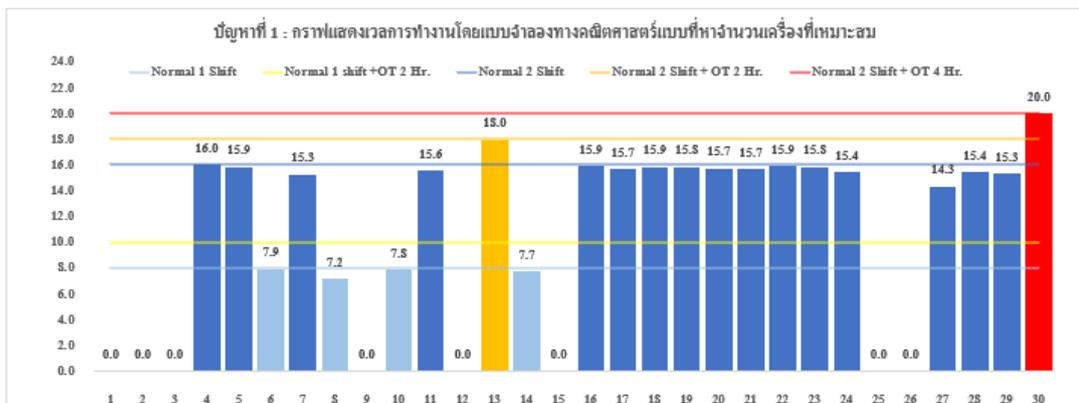
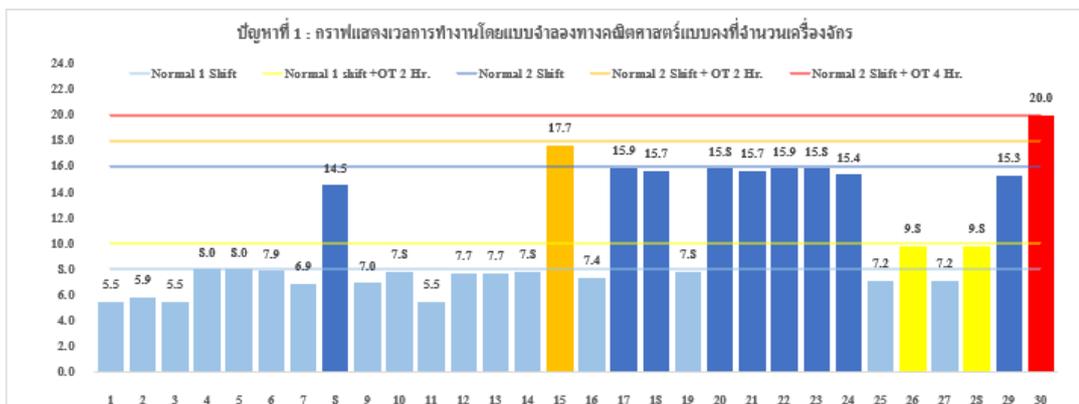
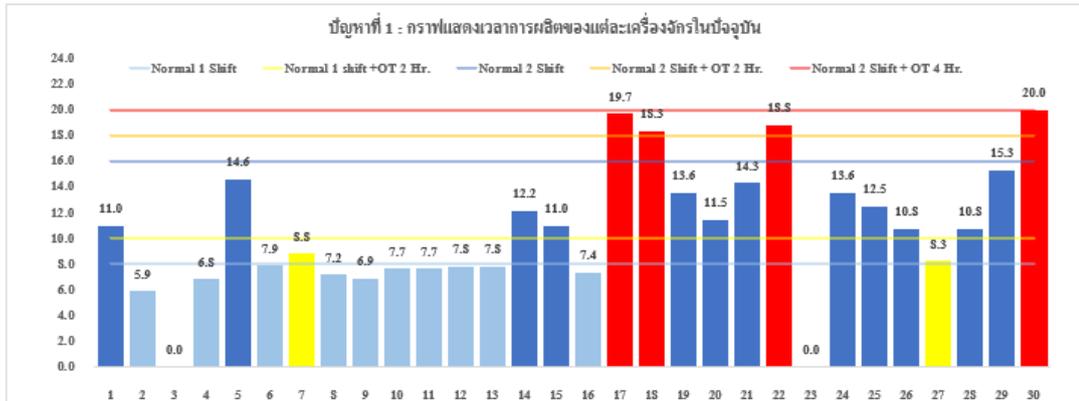
ลำดับ	เครื่องจักร (j)	ปัญหา ที่ 1	ปัญหา ที่ 2	ปัญหา ที่ 3	ปัญหา ที่ 4	ปัญหา ที่ 5	ปัญหา ที่ 6	ปัญหา ที่ 7	ปัญหา ที่ 8	ปัญหา ที่ 9	ปัญหา ที่ 10
1	55TA	0.0	9.6	9.4	0.0	7.6	7.2	7.6	0.0	7.6	7.8
2	80TA	0.0	0.0	0.0	9.7	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0
3	100TA	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	16.0	15.4	9.8
4	110TA	16.0	18.0	16.0	16.0	16.0	8.0	15.7	10.0	0.0	8.0
5	110TB	15.9	0.0	16.0	16.0	16.0	16.0	7.2	18.0	16.0	16.0
6	140TA	7.9	0.0	0.0	7.9	7.9	7.9	7.9	0.0	7.2	9.6
7	150TA	15.3	15.9	17.9	18.0	7.7	7.9	0.0	15.9	7.6	0.0
8	150TB	7.2	0.0	0.0	0.0	15.3	14.9	15.4	7.9	15.6	15.9
9	280TA	0.0	15.8	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	7.8
10	350TB	0.0	7.7	19.7	0.0	15.6	16.0	17.6	16.0	0.0	0.0
11	350TC	7.7	0.0	7.5	17.7	15.7	0.0	16.0	15.8	0.0	15.8
12	350TD	7.8	15.6	15.7	15.7	0.0	15.7	15.6	18.0	15.8	17.7
13	350TE	18.0	7.8	15.8	0.0	16.7	0.0	15.7	0.0	15.8	7.8
14	350TF	0.0	7.8	0.0	15.8	17.8	0.0	0.0	16.0	0.0	18.0
15	350TG	15.6	17.7	0.0	17.6	0.0	16.0	0.0	0.0	14.5	0.0
16	450TA	15.9	7.5	7.5	7.5	7.5	15.6	7.5	7.5	15.9	7.5
17	650TA	15.9	16.0	16.0	19.8	15.9	15.9	16.0	15.9	16.0	15.8
18	650TB	15.9	15.3	16.0	15.7	16.9	15.8	16.9	7.8	17.8	16.0
19	650TC	15.7	15.9	7.8	16.0	16.0	19.8	7.8	16.0	16.0	7.8
20	650TD	15.7	16.0	15.9	15.9	15.9	16.0	16.0	19.8	16.0	16.0
21	650TE	15.8	15.9	16.0	15.9	0.0	16.0	15.8	16.0	7.8	16.0
22	650TF	15.7	16.9	16.9	7.8	16.0	15.9	15.9	15.9	16.0	16.9
23	850TA	15.8	19.5	15.5	16.9	15.8	15.8	15.8	15.2	19.8	16.9
24	850TB	15.4	19.5	16.9	15.2	16.9	16.9	15.8	16.9	15.8	15.5
25	850TC	14.3	15.8	15.8	16.0	16.0	15.8	16.0	15.8	15.2	7.6
26	850TD	0.0	0.0	0.0	7.9	0.0	0.0	7.6	0.0	16.0	15.3
27	850TE	15.4	16.0	7.8	15.0	15.9	16.0	15.7	16.0	0.0	0.0
28	850TF	0.0	0.0	16.0	0.0	16.0	7.8	0.0	7.2	7.8	16.0
29	1300TA	15.3	13.7	15.3	13.7	13.7	14.5	13.7	13.7	13.7	15.7
30	1600TA	20.0	18.0	20.0	20.0	18.0	20.0	18.0	18.0	18.0	18.0
<b>TOTAL</b>		<b>318.2</b>	<b>337.8</b>	<b>337.2</b>	<b>337.7</b>	<b>336.8</b>	<b>338.2</b>	<b>333.2</b>	<b>335.1</b>	<b>335.0</b>	<b>335.2</b>



**ภาคผนวก ค**

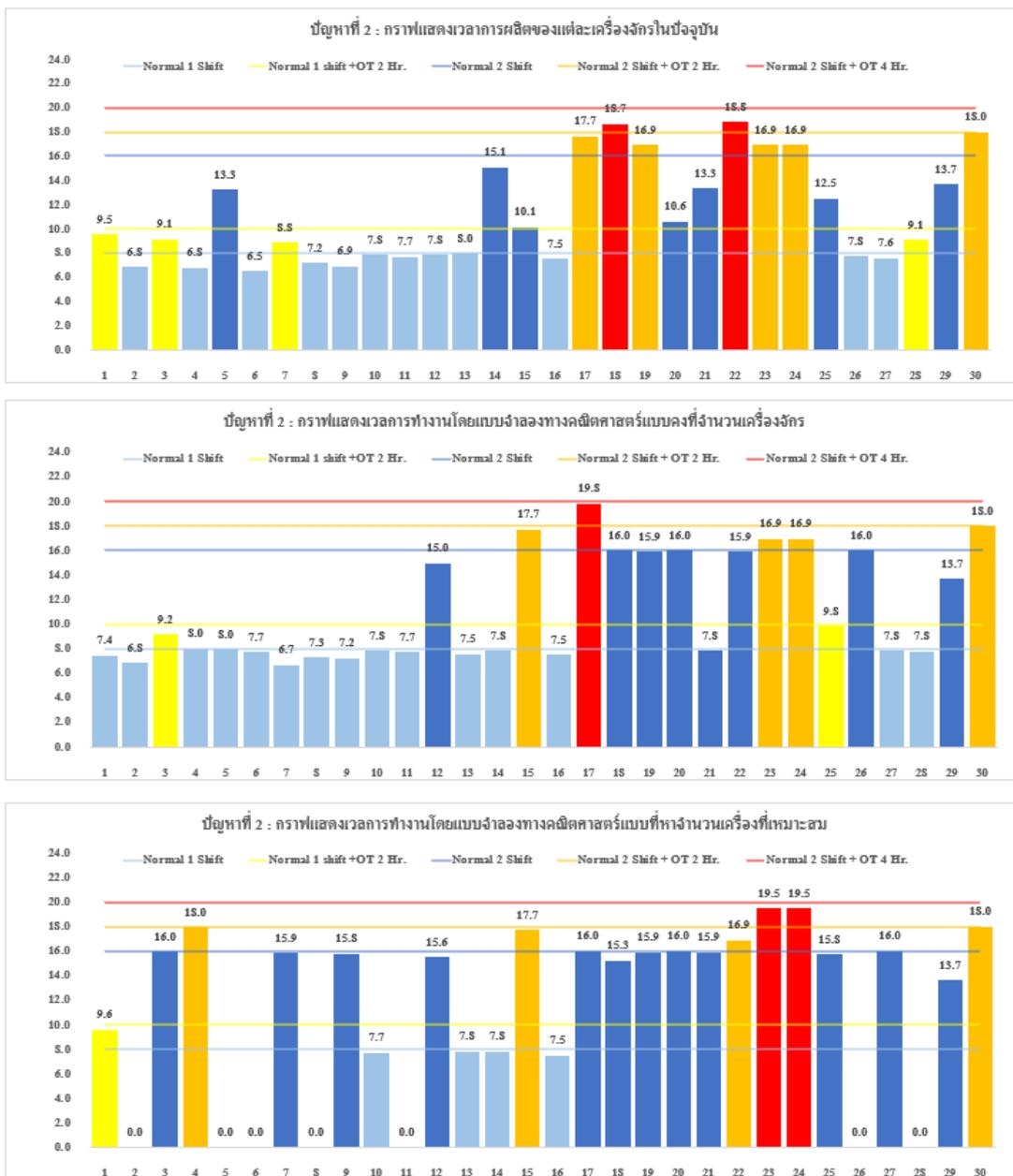
รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานปัจจุบันกับภาระงานของแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องและ  
แบบจำลองแบบหาเครื่องจักรที่เหมาะสมของปัญหา 10 ปัญหา

ภาพภาคผนวก ค-1 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 1 กับภาระงานของแบบจำลอง



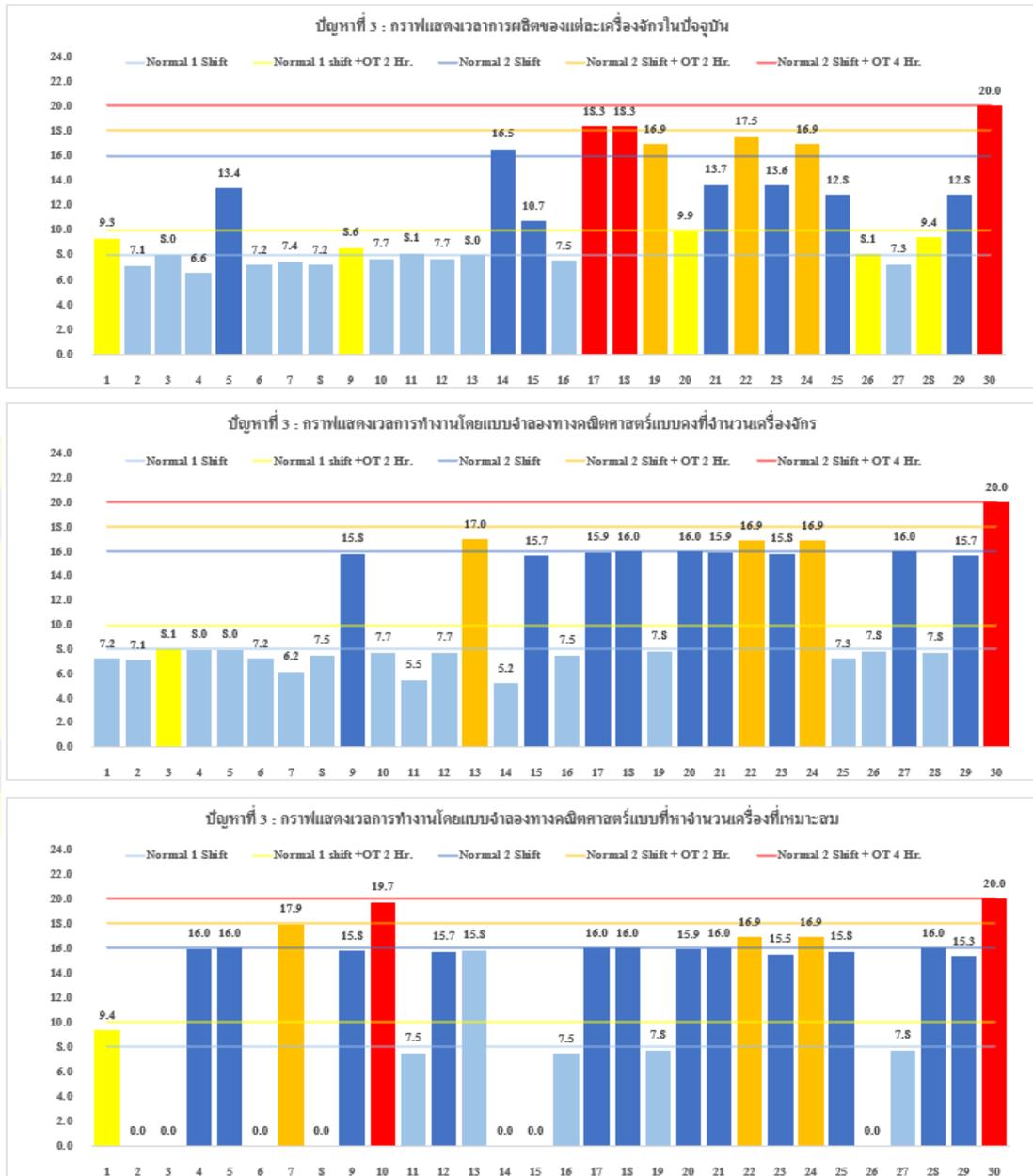
จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 20 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 10 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 2,228 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 6 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 8 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 2,727 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-2 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 2 กับภาระงานของแบบจำลอง



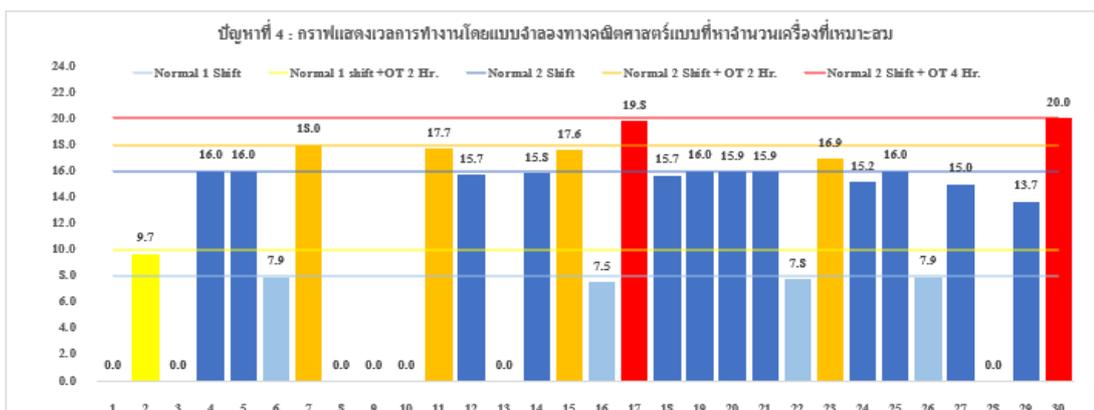
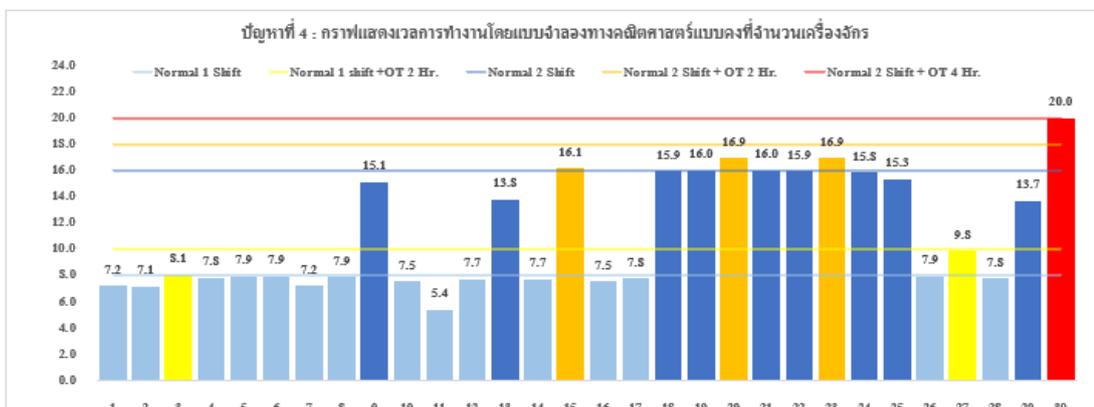
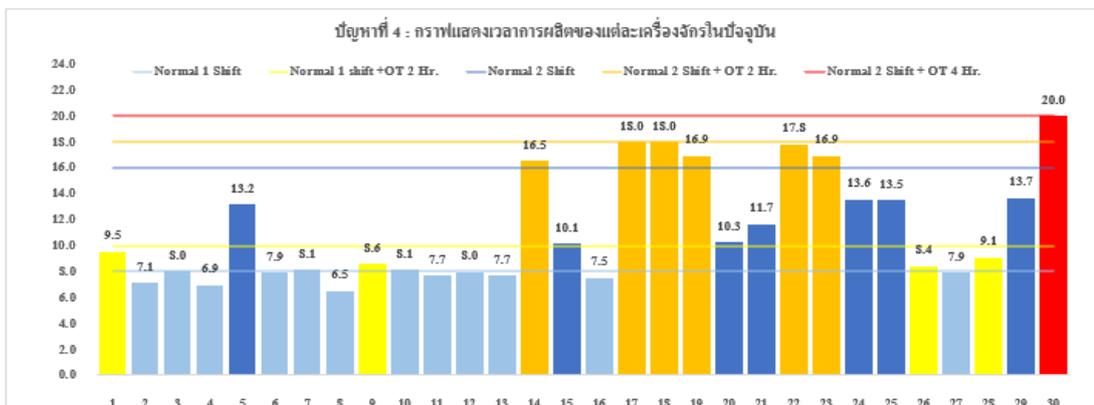
จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 26 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 16 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,316 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 18 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 7 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,584 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-3 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 3 กับภาระงานของแบบจำลอง



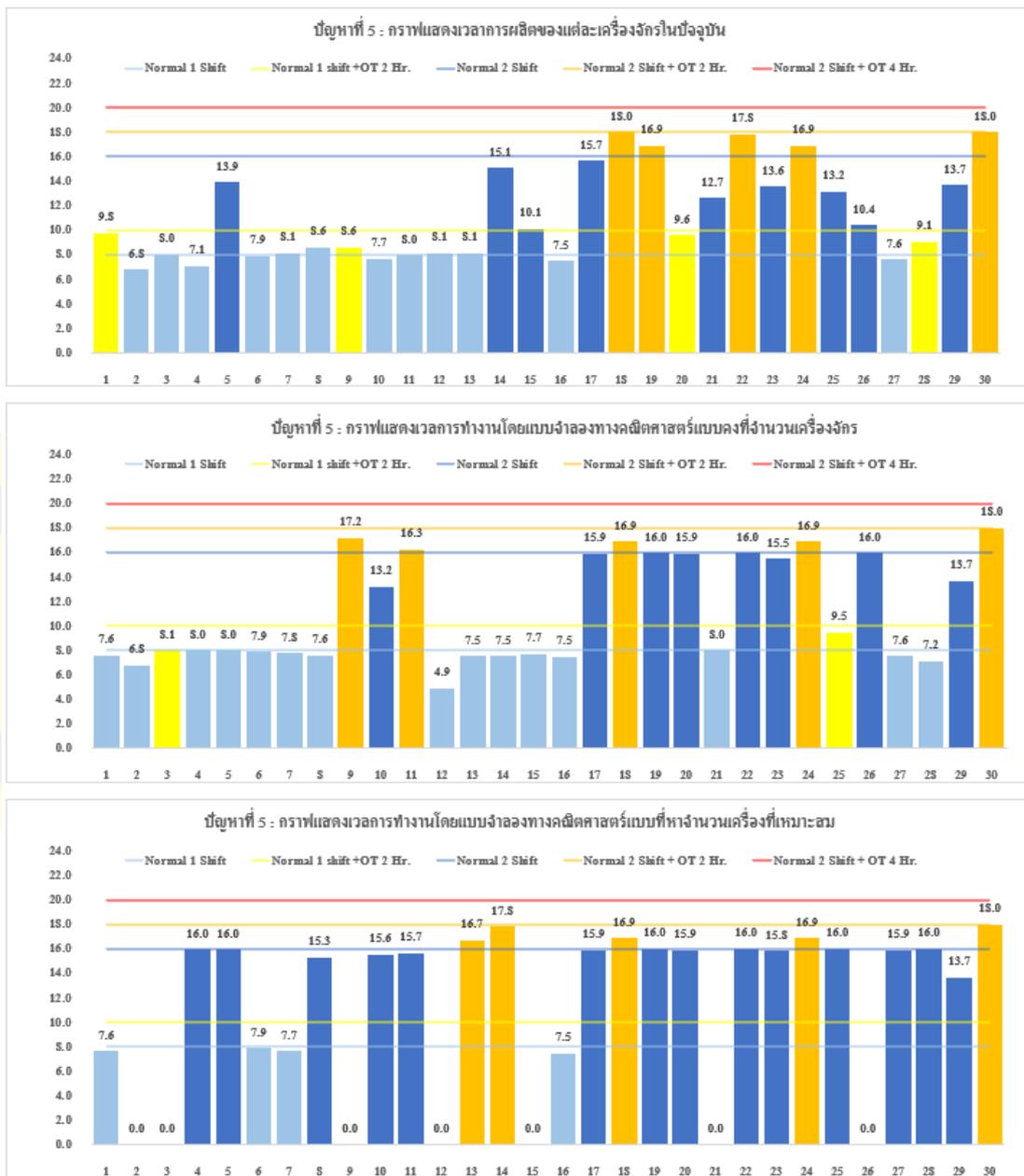
จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 34 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 12 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,211 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 16 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 7 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,637 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-4 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 4 กับภาระงานของแบบจำลอง



จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 30 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 14 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,512 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 18 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 7 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,959 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-5 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 5 กับภาระงานของแบบจำลอง



จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 28 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 14 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,394 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 10 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 7 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,930 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-6 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 6 กับภาระงานของแบบจำลอง



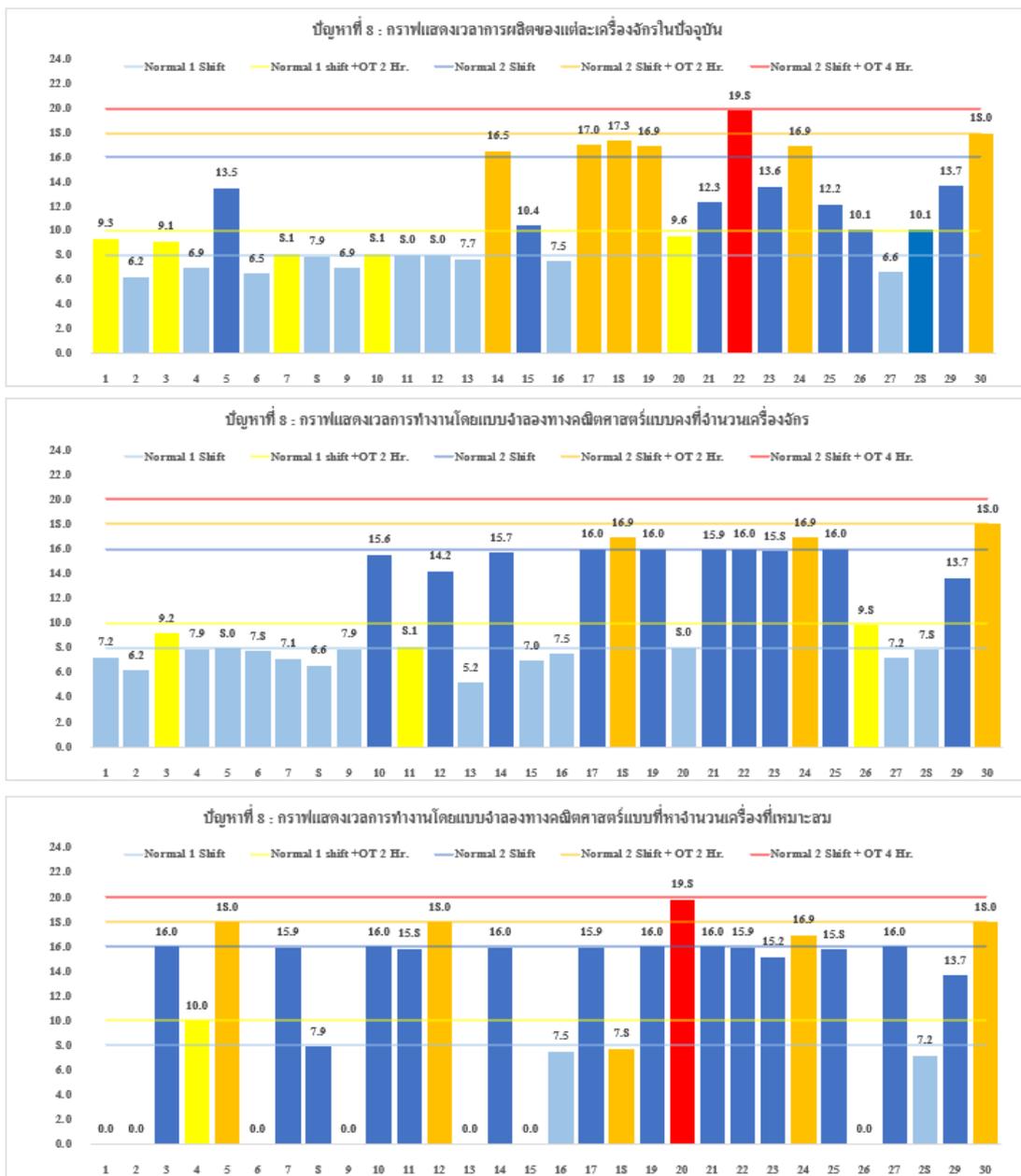
จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 36 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 14 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,062 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 10 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 6 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,532 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-7 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 7 กับภาระงานของแบบจำลอง



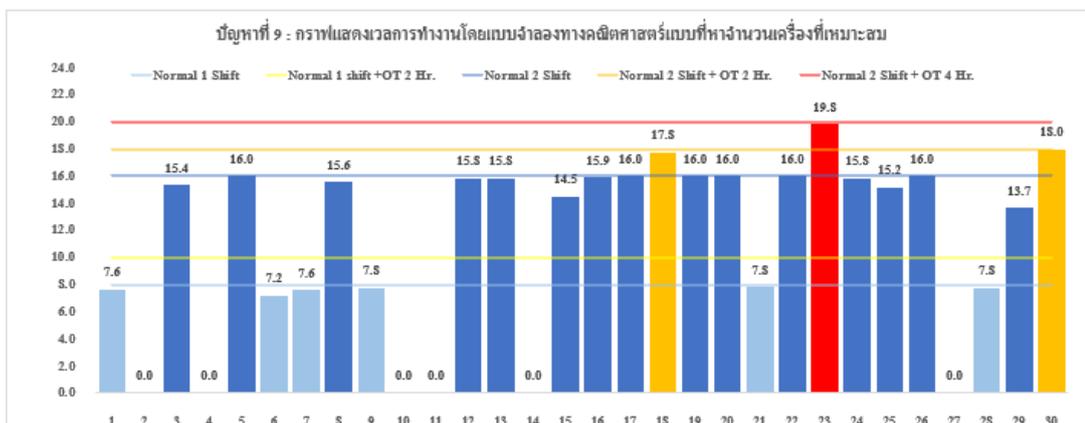
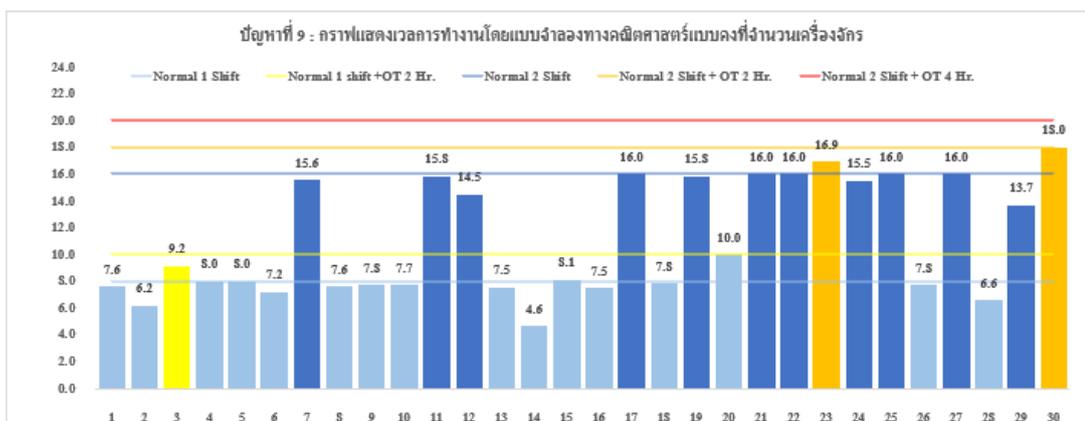
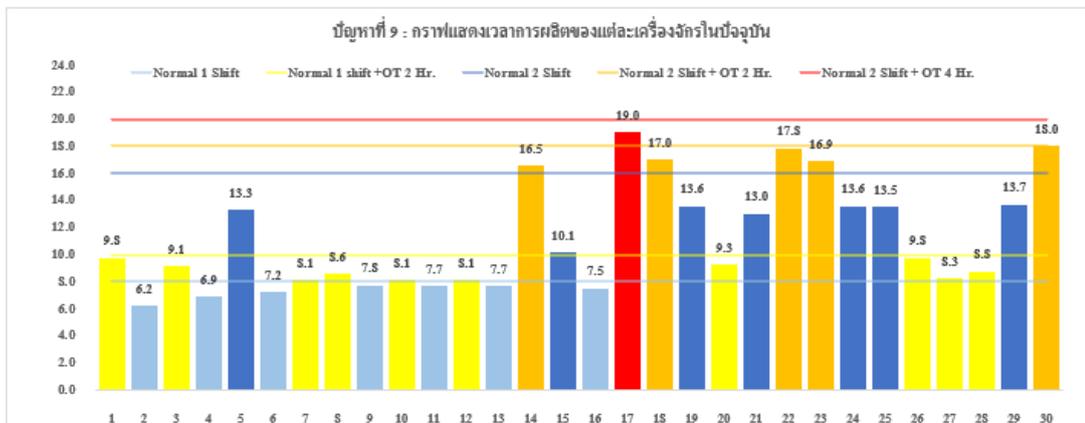
จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 24 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 8 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,621 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 6 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 6 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,870 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-8 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 8 กับภาระงานของแบบจำลอง



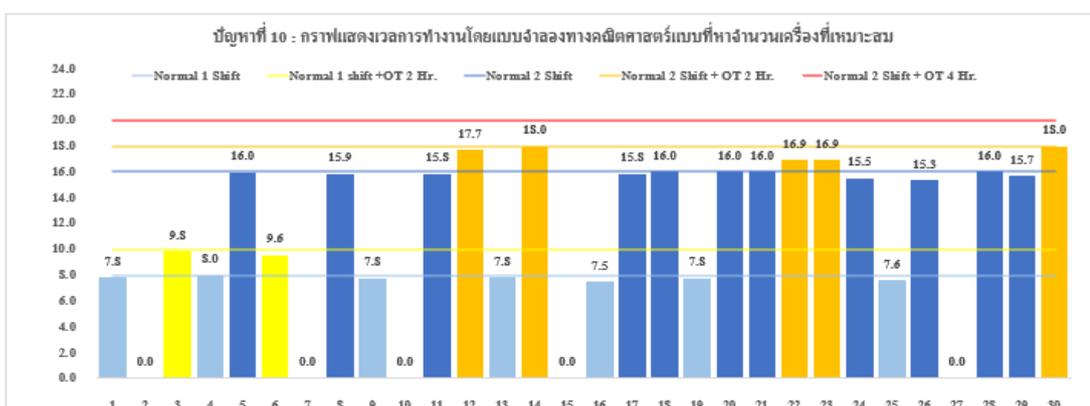
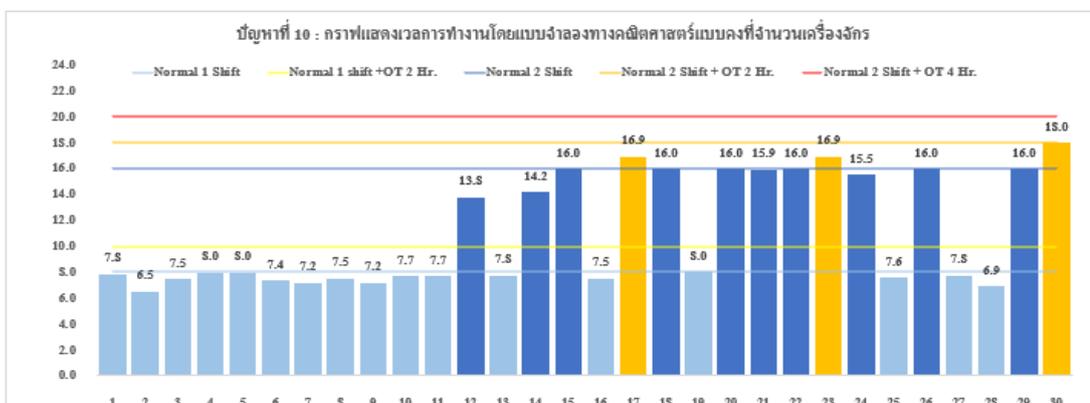
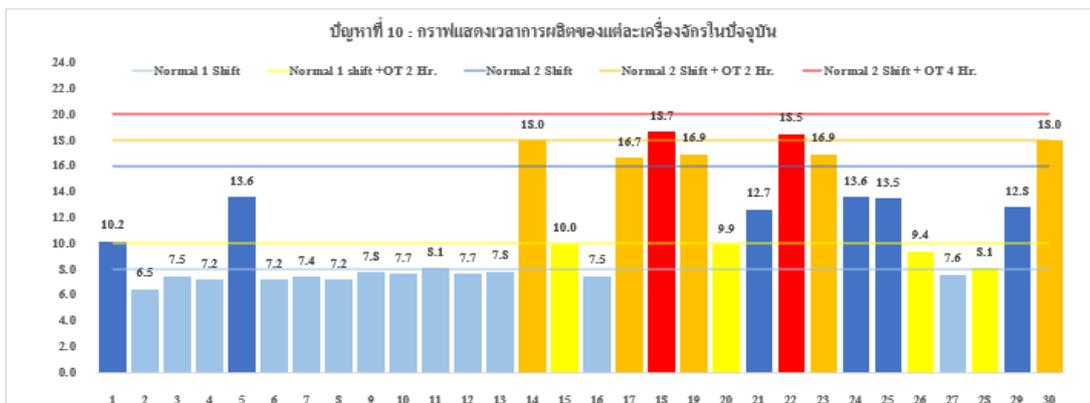
จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 26 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 12 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,570 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 16 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 7 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 2,047 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-9 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 9 กับภาระงานของแบบจำลอง



จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงล่วงเวลาเกิดขึ้น 34 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 10 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ยรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,563 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานล่วงเวลาลดเหลือ 8 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 6 เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ยรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,975 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

ภาพภาคผนวก ค-10 รูปกราฟเปรียบเทียบภาระงานของปัญหาที่ 10 กับภาระงานของแบบจำลอง



จากกราฟตารางการผลิตปัจจุบันมีชั่วโมงว่างเวลาเกิดขึ้น 28 ชั่วโมง หลังจากใช้วิธีแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร เวลาทำงานว่างเวลาลดเหลือ 6 ชั่วโมง ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,447 บาท และเมื่อใช้แบบจำลองแบบหาจำนวนเครื่องที่เหมาะสม เวลาทำงานว่างเวลาลดเหลือ 14 ชั่วโมง และสามารถลดการทำงานของเครื่องจักรได้ 5เครื่อง ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระหว่างค่าแรงและค่าพลังงานลดลง 1,687 บาท ซึ่งดีกว่าแบบจำลองแบบคงที่จำนวนเครื่องจักร

## ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายนิกร ตาเมืองมา
วัน เดือน ปี เกิด	20 กรกฎาคม 2529
สถานที่เกิด	จังหวัดลำปาง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	56 ม.11 ห้อง A504 อาคาร The icon place ตึกA ต.หนองไข่น้ำ อ.หนองแค จ.สระบุรี 18140
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	Logistics and planning supervisor,Maxion Wheels (Thailand) Co., Ltd
ประวัติการศึกษา	Bachelor of Engineer in Industrial Engineering,Suranaree University of Technology