

การกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิตสำหรับ  
กระบวนการปั๊มชิ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์  
**Lot Sizing and Scheduling for Automobile Body Part Pressing Process**

จักรวาล คุณะดิลก\* และ รดาทร กิตติยานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอมือง จังหวัดชลบุรี 20131

E-mail: jakrawarn@eng.buu.ac.th\*

Jakrawarn Kunadilok\* and Radatorm Kittiyannont

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering

Burapha University, Mueang, Chonburi 20131

E-mail: jakrawarn@eng.buu.ac.th\*

Received 30 Sep 2020; Revised 30 Sep 2021

Accepted 25 Dec 2021; Available online 29 Dec 2021

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการวางแผนการผลิตรายวันสำหรับเครื่องปั๊มชิ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบ 4 ลำดับขั้นถูกออกแบบให้ใช้สำหรับการกำหนดปริมาณการผลิต ขั้นที่ 1 มีเป้าหมายเพื่อหาเวลาสายสูงสุดจากทุกกะทำงานให้มีค่าน้อยที่สุด ขั้นที่ 2 เป็นการหาผลรวมเวลาสายแบบถ่วงน้ำหนักให้มีค่าน้อยที่สุด ขั้นที่ 3 เป็นการหาเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยให้มีค่ามากที่สุด และขั้นสุดท้ายเป็นการกำหนดปริมาณการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมจากการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการปรับตั้งเครื่องจักรให้ต่ำที่สุด ค่าตัวแปรตัดสินใจเกี่ยวกับการส่งมอบชิ้นส่วนถูกนำไปใช้ในการจัดตารางการผลิตของแต่ละกะทำงาน ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอจากปัญหาการวางแผนการผลิตจริง 20 วัน พบว่าแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ทุกแบบจำลองของทุกปัญหา ต้นทุนรวมจากการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงร้อยละ 1.58 เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยของทุกกะทำงานและของสองกะทำงานแรกมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง เป็นไปตามเกณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา วิธีการที่เสนอใช้เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนการผลิตรายวันได้ต่ำกว่า 1 นาที เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมที่ใช้เวลาเฉลี่ย 108 นาที

**คำหลัก:** กำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้น, การกำหนดปริมาณการผลิต, การจัดตารางการผลิต

**Abstract**

This research proposed a daily production planning method for an automobile body part pressing machine by using 4-stages mixed integer linear programming model. This research proposed four steps for lot sizing determination. The first stage aims to minimize the maximum tardiness. The second stage uses for minimizing the total weighted tardiness. The third stage uses for maximizing the average earliness. The final stage determines production volumes for each part with minimizing the total cost of holding cost and setup cost

as the objective. Next, the decision variables corresponding to the part delivery of the final model were utilized to build the production schedules. The performance of the proposed method was evaluated by comparing with the real production plan of 20 days. The results revealed that the optimal solutions were found for all models of all problems. The total cost was reduced 1.58% and the average completion times of parts produced in their shipping period before delivery were met the delivery restriction. The average computational time for creating the daily production plan was less than one minute comparing to 108 minutes of previous method.

**Keywords:** Multi-stages Mathematical Programming, Lot Sizing, Production Scheduling

## 1. บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตชิ้นส่วนโครงรถยนต์ในอุตสาหกรรม การผลิตรถยนต์ขนาดใหญ่ที่รุ่นการผลิตมีความ หลากหลายและรูปแบบการผลิตเป็นไปตามคำสั่งซื้อต้อง มีการวางแผนการผลิตที่มั่นใจได้ว่าจะสามารถผลิตชิ้นส่วน ต่าง ๆ ได้เพียงพอและส่งมอบได้ทันเวลาเพื่อนำไปใช้ใน กระบวนการประกอบรถยนต์ต่อไป ชิ้นส่วนโครงรถยนต์ เป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ เช่น ประตูหน้า-หลัง หลังคา ฝากระโปรง เป็นต้น การกำหนดปริมาณการผลิตและ การจัดตารางการผลิต (Lot sizing and scheduling problem, LSS) ที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อต้นทุนด้าน การจัดการสินค้าคงคลังและต้นทุนด้านการตั้งเครื่องจักร เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต และอาจส่งผลต่อกำลังการผลิตที่ทำให้ไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนทุกรุ่นการผลิตได้ ตามกำหนดส่งมอบ การกำหนดปริมาณการผลิตและ การจัดตารางการผลิตเป็นการวางแผนการผลิตระยะสั้น ที่เชื่อมโยงกับปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ใน แผนการผลิตหลัก แผนการผลิตระยะสั้นที่สร้างขึ้นนี้ช่วย เพิ่มความสามารถปรับเปลี่ยนแผนการผลิตได้ง่ายเมื่อ ตามความต้องการของลูกค้าเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือมี ความไม่แน่นอนของการผลิตที่ทำให้ปริมาณสินค้าที่ ผลิตเสร็จไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้ [1]

แนวทางการแก้ปัญหา LSS เริ่มจากการ กำหนดปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นต่าง ๆ ในแต่ละ ช่วงเวลา ก่อน แล้วจึงนำผลลัพธ์ปริมาณการผลิตใน แต่ละช่วงเวลามาจัดตารางการผลิต ปัญหาการกำหนด ปริมาณการผลิตเป็นปัญหาที่ต้องวางแผนการผลิต ภายใต้ทรัพยากรจำกัดทั้งด้านเวลา วัตถุดิบ และ กำลังคน รูปแบบปัญหานี้เป็นปัญหาเอนพีแบบยาก (NP-hard) [2] วิธีการฮิวริสติกและแบบจำลอง กำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีการ

นำเสนอไว้ในงานวิจัยเป็นจำนวนมาก [3-4]

การประยุกต์แบบจำลองกำหนดการทาง คณิตศาสตร์สำหรับตัดสินใจในภาคอุตสาหกรรมช่วยให้ ประหยัดต้นทุนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องได้มาก [5-6] การวางแผนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมเป็น กิจกรรมหนึ่งที่มีตัดสินใจหลายหลากรูปแบบตาม เงื่อนไขการผลิตของแต่ละโรงงานที่มีความแตกต่างกัน การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่มี ลักษณะเฉพาะตามกิจกรรมการวางแผนการผลิตนั้นจึง เป็นแนวทางที่ทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตเพิ่มขึ้น และสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ [7-13]

งานวิจัยนี้เป็นการวางแผนการผลิตของ กระบวนการบ่มชิ้นส่วนโครงรถยนต์ของโรงงาน กรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ชิ้นส่วนรุ่นต่าง ๆ ถูกจัดกลุ่มให้ ผลิตได้บนเครื่องจักรเดียว เครื่องบ่มชิ้นรูปนี้เป็น เครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีการผลิตที่สามารถเตรียม แม่พิมพ์ของงานรุ่นที่จะผลิตถัดไปไว้ก่อนได้ เมื่อมีการ เปลี่ยนรุ่นการผลิตเครื่องจักรจะสลับแม่พิมพ์ได้โดย อัตโนมัติทำให้ไม่สูญเสียเวลาผลิตชิ้นงานไปในการ เปลี่ยนแม่พิมพ์ การวางแผนการผลิตชิ้นส่วนรุ่นต่าง ๆ ด้วยการกำหนดปริมาณการผลิตให้ครอบคลุมความต้องการทุกรุ่นตลอดช่วงเวลาการวางแผน จึงสามารถ ทำได้ไม่ยากหากไม่มีเงื่อนไขการผลิตและการส่งมอบ อื่น แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming model) สำหรับปัญหาการกำหนด ปริมาณส่งผลิตที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในด้านการจัดเก็บ สินค้าคงคลังกับด้านการตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุดภายใต้ ข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต (Capacitated lot sizing problem, CLSP) สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ไม่ยาก [2-4] อย่างไรก็ตามการบ่มชิ้นส่วนโครงรถยนต์นี้มี เงื่อนไขที่ต้องผลิตชิ้นส่วนให้ครบตามปริมาณที่ต้องส่ง

มอบในการทำงานนั้นโดยต้องเสร็จก่อนสิ้นสุดการทำงานอย่างน้อย 6 ชั่วโมง จึงทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการอย่างง่ายในการวางแผนการผลิตได้ รวมถึงเงื่อนไขการผลิตตามขนาดรุ่นผลิต (Lot size) ของชิ้นส่วน เงื่อนไขการผลิตชิ้นส่วนที่ต่างรุ่นให้ผลิตพร้อมกันได้หลายรูปแบบ และเงื่อนไขความจุของชั้นวางชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จ ยังทำให้ปัญหานี้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอวิธีการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิตที่มี 2 วัตถุประสงค์ คือ ลดต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการเปลี่ยนรุ่นการผลิตต่ำที่สุด และทำให้เวลาผลิตเสร็จก่อนการส่งมอบเป็นไปตามที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดให้มากที่สุด

ปัญหาการวางแผนที่มีความซับซ้อนและมีหลายจุดประสงค์สามารถแก้ได้ด้วยการใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้น (Multi-stage mathematical programming model) แนวคิดในการใช้แบบจำลองแบบหลายขั้นนี้เป็นการแยกปัญหาในภาพรวมออกเป็นปัญหาย่อย แล้วสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาย่อย โดยนำผลลัพธ์ที่เหมาะสมของปัญหาย่อยในขั้นตอนก่อนหน้าที่มีวัตถุประสงค์หนึ่ง ๆ ไปสร้างเป็นสมการข้อจำกัด (Constraints) ของแบบจำลองสำหรับแก้ปัญหาย่อยในขั้นตอนถัดไปที่มีวัตถุประสงค์ต่างจากเดิม [14-16] สำหรับปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตของงานวิจัยนี้ที่มีเงื่อนไขให้ผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมงนั้นเป็นเงื่อนไขที่อาจเป็นไปได้ในกรณีที่ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตและปริมาณชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นเพื่อหาขีดจำกัดของเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของแต่ละกะทำงานที่ไม่เป็นตามเกณฑ์ของโรงงานก่อน แล้วนำไปเป็นข้อจำกัดในแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดปริมาณการผลิตที่ทำให้ต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการเปลี่ยนรุ่นการผลิตต่ำที่สุดต่อไป

## 2. ข้อมูลการผลิตโรงงานกรณีศึกษา

### 2.1 ชิ้นส่วนที่ทำการผลิต

รุ่นชิ้นส่วนโคจรรถยนต์ที่ทำการผลิตมีทั้งหมด

46 รุ่น (เรียกว่าชิ้นส่วนที่ 1-46) จัดเป็นกลุ่มรุ่นชิ้นส่วนได้ 23 กลุ่ม (เรียกว่ากลุ่มชิ้นส่วนที่ 1-23) การผลิตชิ้นส่วนแต่ละกลุ่มมีเงื่อนไขในการผลิตที่แตกต่างกันตามลักษณะชิ้นส่วนในกลุ่มว่าประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก (Main part) เพียงอย่างเดียว หรือมีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม (Co-part) กลุ่มชิ้นส่วนถูกจำแนกได้เป็น 3 ประเภท มีรายละเอียดต่อไปนี้

1. กลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักเท่านั้น มีทั้งสิ้น 15 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 1-15 การบีบขึ้นรูปหนึ่งครั้งของกลุ่มชิ้นส่วนที่ 1-13 จะได้ชิ้นส่วนหลัก 2 ชิ้น ส่วนกลุ่มชิ้นส่วนที่ 14-15 จะได้ชิ้นส่วนหลัก 1 ชิ้น ตัวอย่างของกลุ่มชิ้นส่วนประเภทนี้แสดงดังตารางที่ 1 การขึ้นรูปชิ้นส่วนต้องผลิตให้ครบตามขนาดรุ่นผลิต (Lot size) และต้องไม่เกินปริมาณการจัดเก็บสูงสุดหลังการส่งมอบ (Maximum inventory) เมื่อผลิตเสร็จจะนำชิ้นส่วนไปวางบนชั้นวางชิ้นงาน (Rack) ให้เต็มตามความจุ (Rack capacity) เงื่อนไขการวางชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จบนชั้นวางให้เต็มจำนวนนี้ได้รับการยกเว้นสำหรับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนบางกลุ่มที่เมื่อผลิตชิ้นส่วนครบตามขนาดรุ่นการผลิตแล้วไม่จำเป็นต้องผลิตจนครบตามความจุของชั้นวาง เช่น ชิ้นส่วนกลุ่มที่ 1 ผลิตได้ครั้งละ 680 ชิ้น ใช้ชั้นวางจำนวน 57 อัน มีชั้นวาง 1 อันที่ว่าง ชิ้นส่วนจำนวน 4 ชิ้น คงเหลือที่ว่าง 8 ชิ้น เป็นต้น

ตารางที่ 1 ตัวอย่างกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 1

| กลุ่ม | ชิ้นส่วน | ขนาด<br>รุ่น | ความจุ<br>ชั้นวาง | ระดับคง<br>คลังสูงสุด |
|-------|----------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 1     | 1        | 680          | 12                | 900                   |
| 7     | 7        | 560          | 35                | 680                   |
| 14    | 14       | 180          | 12                | 240                   |

2. กลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม มีจำนวนชิ้นส่วนรวมทั้งสิ้น 27 ชิ้นส่วน ถูกแยกเป็นกลุ่มได้ 7 กลุ่ม คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 16-22 ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2 การผลิตกลุ่มชิ้นส่วนประเภทนี้เมื่อบีบขึ้นรูปหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นส่วน 1 ชิ้น ยกเว้นกลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 ได้ชิ้นส่วน 2 ชิ้น ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2

| กลุ่ม | ชิ้นส่วน | ขนาด<br>รุ่น | ความจุ<br>ชิ้นวาง | ระดับคง<br>คลังสูงสุด |
|-------|----------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 16    | 16       | 660          | 12                | 880                   |
|       | 17       | 660          | 12                | 880                   |
| 21    | 34       | 750          | 20                | 900                   |
|       | 35       | 750          | 20                | 900                   |

การกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอยู่ภายใต้เงื่อนไข คือ ผลรวมของจำนวนการผลิตชิ้นส่วนภายในกลุ่มต้องเท่ากับขนาดรุ่นการผลิตที่กำหนด เช่น ปริมาณการผลิตชิ้นส่วนที่ 16 และ 17 รวมกันเท่ากับ 660 ชิ้น เป็นต้น และชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเมื่อผลิตเสร็จต้องถูกวางบนชั้นวางเดียวกันไม่สามารถนำไปวางรวมกับชิ้นส่วนอื่นได้ การบรรจุชิ้นส่วนบนชั้นวางต้องเต็มตามความจุของชั้นวาง ยกเว้นความจุของชั้นวางกับขนาดรุ่นผลิตไม่สัมพันธ์กัน สามารถกำหนดให้ชั้นวางสุดท้ายมีชิ้นส่วนไม่เต็มความจุได้ แต่ต้องไม่ผสมชิ้นส่วนมากกว่า 1 รุ่น เช่น กลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 ใช้ชั้นวางจำนวน 38 อัน โดยที่ชั้นวางสุดท้ายจะวางชิ้นงานไม่เต็มความจุ ปริมาณการผลิตของชิ้นส่วนที่ 34 และ 35 รวมกันเท่ากับ 750 ชิ้น และชั้นวางสุดท้ายจะวางได้เฉพาะชิ้นส่วนที่ 34 หรือ 35 รุ่นเดียวเท่านั้น เป็นต้น

3. กลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วมที่แยกออกเป็นสองกลุ่มย่อย กลุ่มชิ้นส่วนประเภทนี้ คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 23 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 3

| กลุ่ม | ชิ้นส่วน | ขนาด<br>รุ่น | ความจุ<br>ชิ้นวาง | ระดับคง<br>คลังสูงสุด |
|-------|----------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 23(1) | 43       | 680          | 43                | 970                   |
|       | 44       | 680          | 43                | 970                   |
| 23(2) | 45       | 680          | 43                | 970                   |
|       | 46       | 680          | 43                | 970                   |

กลุ่มชิ้นส่วนที่ 23 แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มย่อยที่ 1 ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ 43 และ 44 และกลุ่มย่อยที่ 2 ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ 45 และ 46 การบิมัขึ้นรูปหนึ่งครั้งได้ชิ้นส่วน 2 ชิ้นจากกลุ่มย่อยละ 1

ชิ้น เช่น ชิ้นส่วนที่ 43 และ 46 รุ่นละ 1 ชิ้น เป็นต้น

การวางแผนการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนนี้เป็นการกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนภายในกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มโดยที่ผลรวมของปริมาณการผลิตชิ้นส่วนภายในกลุ่มย่อยต้องเท่ากับขนาดรุ่นการผลิต เช่น ปริมาณการผลิตชิ้นส่วนที่ 43 44 45 และ 46 เท่ากับ 602 78 293 และ 387 ชิ้น ตามลำดับ เป็นต้น และเงื่อนไขการวางแผนชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จบนชั้นวางภายในกลุ่มย่อยหนึ่ง ๆ เป็นไปตามเงื่อนไขของกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 เช่น ชิ้นส่วนที่ 43 ใช้ชั้นวางจำนวน 14 อัน และชิ้นส่วนที่ 44 ใช้ 2 อัน โดยชั้นวางที่ 2 วางชิ้นงาน 35 ชิ้น (ไม่เต็มความจุของชั้นวาง)

## 2.2 เวลาการทำงานและช่วงเวลาของแผนการผลิต

การทำงานแบ่งออกเป็น 2 กะใน 1 วันทำงาน เวลาทำงานแบบปกติ 8 ชั่วโมงต่อกะ เวลาทำงานแบบล่วงเวลารวม 10 หรือ 11 ชั่วโมงต่อกะ การวางแผนการผลิตเป็นการวางแผนการผลิตวันละหนึ่งครั้งโดยวางแผนล่วงหน้า 14 กะทำงาน แต่ละกะทำงานถูกกำหนดไว้แล้วว่าเป็นการทำงานแบบปกติหรือแบบล่วงเวลา

## 2.3 วิธีการเดิมสำหรับการวางแผนการผลิต

โรงงานกรณีศึกษาใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลวีบีเอ (Visual basic application for Excel) ที่พัฒนาโดยผู้เชี่ยวชาญของบริษัทแม่ในการวางแผนการผลิตรายวัน การวางแผนเริ่มจากการนำข้อมูลระดับชิ้นส่วนคงคลังปัจจุบันและปริมาณความต้องการชิ้นส่วน 14 กะล่วงหน้าบันทึกลงในโปรแกรมเพื่อสร้างแผนการผลิตที่สามารถผลิตชิ้นส่วนที่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการทั้ง 14 กะทำงาน โดยที่แผนการผลิตใน 2 กะทำงานแรกจะถูกนำไปใช้ในการผลิตจริง เวลาสิ้นสุดการทำงานของกะทำงานหนึ่ง ๆ เป็นตัวกำหนดเวลาส่งมอบงานในกะทำงานนั้น แผนการผลิตแสดงผลลัพธ์สองส่วนคือปริมาณส่งผลิตล่วงหน้า 14 กะทำงาน และตารางการผลิต ดัชนีสำหรับวัดประสิทธิภาพของแผนการผลิตในปัจจุบันที่สำคัญที่สุดคือ เวลาผลิตเสร็จของชิ้นส่วนที่ผลิตในกะทำงานที่ส่งมอบ และเป็นชิ้นส่วนที่ผลิตเป็นลำดับสุดท้ายหากมีการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบในกะทำงานมากกว่า 1 รุ่นเวลานี้กำหนดให้มีความน้อย 6 ชั่วโมงก่อนสิ้นสุดกะ

ทำงาน กรณีที่ไม่สามารถวางแผนได้ตามเกณฑ์ จะกำหนดเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบนี้ให้มีค่ามากที่สุด เวลาที่ถูกใช้สำหรับเป็นเวลาเผื่อในการแก้ปัญหาความไม่แน่นอนต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการผลิต

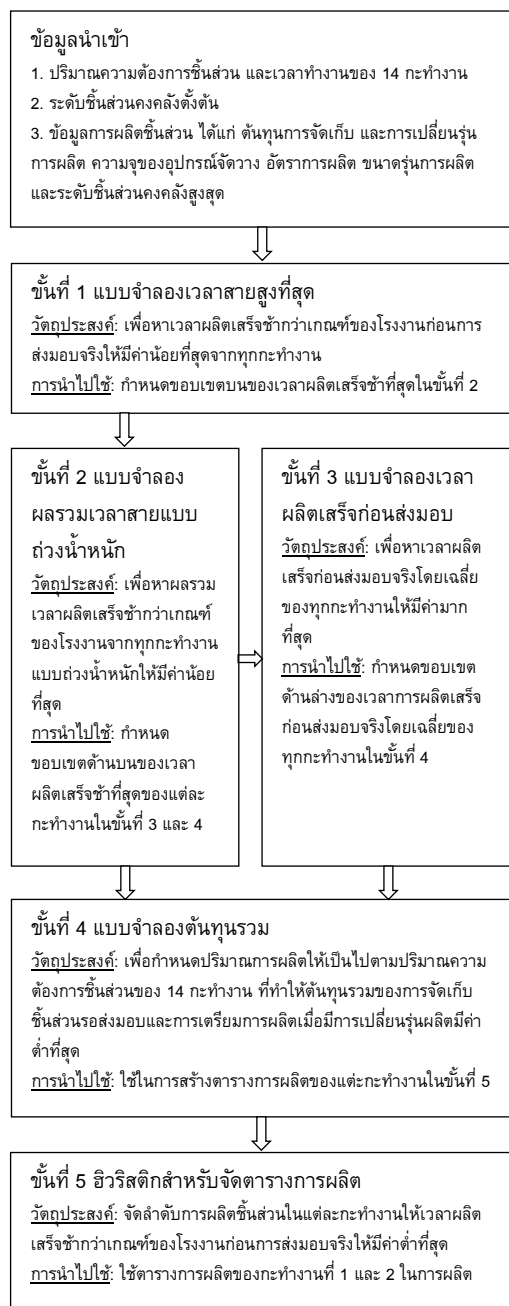
ตัวอย่างแผนการผลิตของกะทำงานที่ 1 บางส่วนแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ระดับชั้นส่วนคงคลังของชิ้นส่วนที่ 1 น้อยกว่าปริมาณความต้องการจำนวน 100 ชิ้น หากสมมติให้ระดับชั้นส่วนคงคลังของชิ้นส่วนที่ 2-46 เพียงพอต่อปริมาณความต้องการในกะทำงานนี้ ทำให้การผลิตชิ้นส่วนอื่นเป็นการผลิตเพื่อส่งมอบในกะทำงานอื่น แผนการผลิตชิ้นส่วนที่ 1 ต้องผลิตตามขนาดรุ่นผลิต 680 ชิ้น หากกำหนดลำดับการผลิตชิ้นส่วนนี้เป็นลำดับแรก จะทำให้เวลาผลิตเสร็จ 100 ชิ้นแรกของชิ้นส่วนนี้เป็นตัวกำหนดเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของกะทำงานนี้ เช่น หากใช้เวลา 15 นาทีในการผลิตชิ้นส่วนที่ 1 จำนวน 100 ชิ้น และกะทำงานนี้เป็นกะทำงานปกติ เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของกะทำงานนี้จึงเท่ากับ 7 ชั่วโมง 45 นาที เป็นต้น

ตารางที่ 4 ตัวอย่างแผนการผลิตบางส่วนของกะทำงานที่ 1

| ชิ้นส่วน | ระดับคงคลังตั้งต้น | ปริมาณความต้องการ | แผนการผลิต | ระดับคงคลังสิ้นสุด |
|----------|--------------------|-------------------|------------|--------------------|
| 1        | 280                | 380               | 680        | 580                |
| 2        | 350                | 120               | 0          | 230                |
| 46       | 600                | 0                 | 387        | 937                |

### 3. ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการกำหนดปริมาณการผลิตให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการชิ้นส่วนใน 14 กะทำงานด้วยแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบ 4 ขั้นที่สร้างจากพื้นฐานแบบจำลองสำหรับปัญหา CLSP ผลลัพธ์ปริมาณการผลิตจะถูกนำมาใช้ในการสร้างตารางการผลิตของแต่ละกะทำงานในขั้นที่ 5 ต่อไป ภาพรวมของวิธีการที่เสนอแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วิธีการกำหนดปริมาณการผลิตด้วยแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้น

วิธีการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิตที่เสนอดังรูปที่ 1 เริ่มจากการนำข้อมูลจากแผนการผลิตหลัก และข้อมูลด้านต้นทุนมาใช้ในการ

วางแผนการผลิตของ 14 กะทำงาน จากนั้นใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ขั้นที่ 1-3 สำหรับจัดการกับปัญหาระดับชิ้นส่วนคงคลังและกำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการชิ้นส่วนของแต่ละกะทำงาน ทำให้ไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนเสร็จได้ทัน 6 ชั่วโมงก่อนการส่งมอบจริงเมื่อสิ้นสุดกะทำงานตามเกณฑ์ของโรงงานที่กำหนดไว้ เวลาผลิตชิ้นส่วนเสร็จที่เกินไปจากเกณฑ์นี้กำหนดให้เป็นเวลาสาย การจัดการกับปัญหานี้เริ่มจากการใช้แบบจำลองขั้นที่ 1 สำหรับสร้างแผนการผลิตที่ทำให้เวลาสายสูงที่สุดจากทุกกะทำงานมีค่าน้อยที่สุด แบบจำลองนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าหากจำเป็นต้องผลิตชิ้นส่วนเสร็จช้ากว่าเกณฑ์ของโรงงานแล้ว เวลาที่ผลิตเสร็จช้ากว่ากำหนดของแผนการผลิตที่สร้างขึ้นนี้จะมีค่าต่ำที่สุด

แบบจำลองขั้นที่ 2 ใช้สำหรับกำหนดขอบเขตด้านบนของเวลาสายในแต่ละกะทำงาน แบบจำลองนี้ใช้สร้างแผนการผลิตที่ทำให้ผลรวมเวลาสายจากทุกกะทำงานแบบถ่วงน้ำหนักมีค่าต่ำที่สุด โดยให้ความสำคัญของเวลาสายในกะทำงานที่ 1-4 มากกว่ากะทำงานที่ 5-14 เนื่องจากปริมาณความต้องการชิ้นส่วนในกะทำงานที่ 1 และ 2 ได้รับการยืนยันแล้ว แผนการผลิตที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปใช้ในการผลิตจริง และกะทำงานที่ 3 และ 4 รอยืนยันปริมาณความต้องการชิ้นส่วนโดยอาจมีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณไม่มาก ส่วนปริมาณความต้องการชิ้นส่วนในกะทำงานที่ 5-14 มีการเปลี่ยนแปลงได้ในปริมาณมาก แบบจำลองนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าสร้างแผนการผลิตที่เวลาสายในภาพรวมจะมีค่าต่ำเมื่อพิจารณาจากทุกกะทำงาน

แบบจำลองในสองขั้นตอนแรกพิจารณาเฉพาะกรณีที่กะทำงานที่ผลิตชิ้นส่วนไม่ทันตามเกณฑ์ของโรงงานเท่านั้น สำหรับกะทำงานอื่นที่ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนไม่มากนักแผนการผลิตที่สร้างขึ้นอาจกำหนดปริมาณการผลิตที่สามารถผลิตชิ้นส่วนเสร็จได้ทันเวลาตามเกณฑ์พอดีเพื่อลดต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนก่อนส่งมอบ การสร้างแผนการผลิตนี้จะทำให้เวลาผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบจริงโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงานอาจมีค่าต่ำกว่า 6 ชั่วโมงได้ วิธีการที่เสนอจึงใช้แบบจำลองขั้นที่ 3 ในการหาค่ามากที่สุดเวลาผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบจริงโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงาน

เพื่อนำไปกำหนดเป็นขอบเขตด้านล่างในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยนี้มีค่ามากที่สุดต่ำกว่า 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปใช้ในแบบจำลองขั้นที่ 4 ที่ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตขั้นสุดท้ายที่ทำให้ต้นทุนรวมของการจัดเก็บชิ้นส่วนและการเปลี่ยนรุ่นผลิตมีค่าต่ำที่สุด ก่อนนำไปจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกในขั้นที่ 5 ต่อไป

รายละเอียดของวิธีการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิต ประกอบไปด้วย ดัชนีและเซต พารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ 4 ชั้น และฮิวริสติกสำหรับจัดตารางการผลิต ดังนี้

### 3.1 ดัชนี เซต และพารามิเตอร์

สัญลักษณ์และคำอธิบายของดัชนี เซต และพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีการที่เสนอ แสดงได้ดังตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ดัชนีและเซต

| สัญลักษณ์และคำอธิบาย |                                                                    |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $i$                  | ดัชนีกลุ่มชิ้นส่วนในเซต $K$                                        |
| $K$                  | เซตของกลุ่มชิ้นส่วนทั้งหมด                                         |
| $K1$                 | เซตของกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 1                                     |
| $K2$                 | เซตของกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2                                     |
| $K3$                 | เซตของกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 3                                     |
| $KG$                 | $K2 \cup K3$                                                       |
| $G_i$                | เซตของชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนที่ $i$                               |
| $N$                  | เซตของชิ้นส่วนทั้งหมด                                              |
| $j$                  | ดัชนีชิ้นส่วนในเซตกลุ่มชิ้นส่วน $G_i \subset N$                    |
| $n_i$                | จำนวนชิ้นส่วนในเซต $G_i$                                           |
| $a_i$                | จำนวนกลุ่มย่อยของกลุ่มชิ้นส่วนที่ $i, i \in K3$                    |
| $l$                  | ดัชนีกลุ่มย่อยของกลุ่มชิ้นส่วนที่ $i, i \in K3$                    |
| $SG_{i,l}$           | เซตของชิ้นส่วนในกลุ่มย่อยที่ $l$ ของกลุ่มชิ้นส่วนที่ $i, i \in K3$ |
| $t_{max}$            | จำนวนกะทำงานในการวางแผนการผลิต                                     |
| $t$                  | ดัชนีกะการทำงาน                                                    |
| $T$                  | เซตของกะทำงาน                                                      |

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์

| สัญลักษณ์และคำอธิบาย |                                                                              |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $D_{ij}^t$           | ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน $j$ ในกลุ่มชิ้นส่วน $i$ ในกะทำงาน $t$              |
| $I_{ij}^0$           | ระดับชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้นของชิ้นส่วน $j$ ในกลุ่มชิ้นส่วน $i$                |
| $WT_t$               | เวลาการทำงานในกะทำงาน $t$ (นาทึ)                                             |
| $Wg_t$               | น้ำหนักความสำคัญของกะทำงาน $t$                                               |
| $L_i$                | ขนาดรุ่นผลิตของกลุ่มชิ้นส่วน $i$                                             |
| $RS_i$               | ความจุชิ้นวางชิ้นส่วนของกลุ่มชิ้นส่วน $i$                                    |
| $R_i$                | ปริมาณการผลิตคงเหลือในการผลิตให้ครบตามขนาดรุ่นผลิตของกลุ่มชิ้นส่วน $i$       |
| $I_i^{max}$          | ปริมาณสูงสุดของการจัดเก็บชิ้นส่วนทั้งหมดในกลุ่มชิ้นส่วน $i$                  |
| $C_{ij}$             | ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วน $j$ ในกลุ่มชิ้นส่วน $i$ (บาทต่อชิ้นต่อกะ)     |
| $S_i$                | ค่าใช้จ่ายในการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปกลุ่มชิ้นส่วน $i$ (บาทต่อครั้ง) |
| $P_i$                | เวลาการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วน $i$ (นาทึต่อชิ้น)                         |
| $LWT_t$              | เวลาการผลิตขั้นต่ำของกะทำงาน $t$ (นาทึ)                                      |
| $HWT_t$              | เวลาการผลิตสูงที่สุดที่เป็นไปได้ของกะทำงาน $t$ (นาทึ)                        |
| $PWT_t$              | เวลาการทำงานของกะทำงาน $t$ ที่ไม่รวมเวลาพัก (นาทึ)                           |
| $U$                  | เกณฑ์เวลาการผลิตเสร็จก่อนการส่งมอบจริงตามข้อกำหนดของโรงงาน (นาทึ)            |
| $UTD_t$              | ขอบเขตด้านบนของเวลาสายของกะทำงาน $t$ (นาทึ)                                  |
| $AEL$                | ขอบเขตด้านล่างของเวลาการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบจริงโดยเฉลี่ยของทุกกะทำงาน (นาทึ) |

### 3.2 ตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจสำหรับแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ 4 ชั้นประกอบด้วยตัวแปรสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วน ตัวแปรสำหรับช่วย

จัดการเงื่อนไขการผลิตต่าง ๆ และตัวแปรสำหรับแบบจำลองที่เกี่ยวกับเวลา ดังต่อไปนี้

$x_{ij}^t$  คือ ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตชิ้นส่วน  $j$  ในกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  ในกะทำงาน  $t$  ไม่เช่นนั้นจะมีค่าเป็น 0 ตัวแปรนี้ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 1

$y_{ij}^t$  คือ ปริมาณชิ้นวางชิ้นส่วนที่ใช้สำหรับวางชิ้นส่วน  $j$  ให้เต็มความจุของชิ้นวางของการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  ในกะทำงาน  $t$  ตัวแปรนี้ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 และ 3

$z_{ij}^t$  คือ ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตชิ้นส่วน  $j$  ที่ไม่เต็มความจุของชิ้นวางของการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  ในกะทำงาน  $t$  ไม่เช่นนั้นจะมีค่าเป็น 0 ตัวแปรนี้ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 และ 3

$sc_i^t$  คือ ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  ในกะทำงาน  $t$  ไม่เช่นนั้นจะมีค่าเป็น 0 ตัวแปรนี้ใช้ช่วยในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนรุ่นผลิตของกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 และ 3

$g_i^t$  คือ ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  ในกะทำงาน  $t$  ที่เป็นกะทำงานที่ต้องส่งมอบงาน ไม่เช่นนั้นจะมีค่าเป็น 0 ตัวแปรนี้ใช้ในการคำนวณเวลาผลิตเสร็จของกลุ่มชิ้นส่วนทุกประเภท

$pd_{ij}^t$  คือ ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตชิ้นส่วน  $j$  ในกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  ในกะทำงาน  $t$  ที่เป็นกะทำงานที่ต้องส่งมอบงาน ไม่เช่นนั้นจะมีค่าเป็น 0 ตัวแปรนี้ใช้ช่วยกำหนดว่ากลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 และ 3 มีการผลิตที่กะทำงาน  $t$  หรือไม่

$maxTar$  คือ เวลาสายสูงที่สุดจากทุกกะทำงาน ตัวแปรนี้ใช้สำหรับแบบจำลองชั้นที่ 1

$td_t$  คือ เวลาสายของกะทำงาน  $t$  ที่ผลิตชิ้นส่วนเสร็จไม่ทันตามเกณฑ์ของโรงงานที่กำหนดไว้ 6 ชั่วโมงก่อนการส่งมอบจริง ตัวแปรนี้ใช้สำหรับแบบจำลองชั้นที่ 1 และ 2

$I_{ij}^t$  คือ ปริมาณชิ้นส่วน  $j$  ในกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  เมื่อสิ้นสุดการทำงานในกะทำงาน  $t$  ตัวแปรนี้เป็นตัวแปรตามที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิตชิ้นส่วนจากค่าตัวแปรตัดสินใจ  $x_{ij}^t$ ,  $y_{ij}^t$  และ  $z_{ij}^t$

### 3.3 แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ขั้นที่ 1

แบบจำลองนี้ใช้สำหรับหาเวลาสายสูงสุดจากทุก  
กะทำงานให้มีค่าต่ำที่สุด มีรายละเอียดดังนี้

พารามิเตอร์ที่ใช้ประกอบด้วย  $D_{ij}^0$ ,  $WT_t$ ,  $P_i$ ,  
 $RS_i$ ,  $R_i$ ,  $L_i$ ,  $I_{ij}^{max}$ ,  $LWT_t$ ,  $HWT_t$ ,  $PWT_t$  และ  $U$

ตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ประกอบด้วย  $x_{ij}^t$ ,  $y_{ij}^t$ ,  $z_{ij}^t$ ,  $sc_i^t$ ,  
 $pd_{ij}^t$ ,  $g_i^t$ ,  $td_t$  และ  $maxTar$

ฟังก์ชันจุดประสงค์แสดงการหาค่าต่ำที่สุดของ  
เวลาสายสูงสุด ดังสมการ (1) เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับ  
เงื่อนไขบังคับจำนวน 22 เงื่อนไข แสดงดังสมการ (2)-  
(23) ต่อไปนี้

$$\text{Minimize } Z_1 = maxTar \quad (1)$$

$$I_{ij}^t = I_{ij}^{t-1} + L_i x_{ij}^t - D_{ij}^t, \forall i \in K1; \quad (2)$$

$$j \in G_i; t \in T$$

$$I_{ij}^t = I_{ij}^{t-1} + RS_i y_{ij}^t + R_i z_{ij}^t - D_{ij}^t, \forall i \in KG; \quad (3)$$

$$j \in G_i; t \in T$$

$$I_{ij}^t \geq 0, \forall i \in K; j \in G_i; t \in T \quad (4)$$

$$I_{ij}^t \leq I_i^{max}, \forall i \in K1; j \in G_i; t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{j \in G_i} I_{ij}^t \leq I_i^{max}, \forall i \in K2; t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{j \in SG_{i,l}} I_{ij}^t \leq I_i^{max}, \forall i \in K3; t \in T; l = 1, \dots, a_i \quad (7)$$

$$\sum_{j \in G_i} RS_i y_{ij}^t + \sum_{j \in G_i} R_i z_{ij}^t = L_i sc_i^t, \forall i \in K2; \quad (8)$$

$$t \in T$$

$$\sum_{j \in SG_{i,l}} RS_i y_{ij}^t + \sum_{j \in SG_{i,l}} R_i z_{ij}^t = L_i sc_i^t, \forall i \in K3; \quad (9)$$

$$t \in T$$

$$\sum_{j \in G_i} z_{ij}^t \leq 1, \forall i \in K2; t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{j \in SG_{i,l}} z_{ij}^t \leq 1, \forall i \in K3; t \in T; l = 1, \dots, a_i \quad (11)$$

$$y_{ij}^t \geq z_{ij}^t, \forall i \in KG; j \in G_i; t \in T \quad (12)$$

$$\sum_{i \in K1} \sum_{j \in G_i} P_i L_i x_{ij}^t + \sum_{i \in KG} \sum_{j \in G_i} P_i RS_i y_{ij}^t + \quad (13)$$

$$\sum_{i \in KG} \sum_{j \in G_i} P_i R_i z_{ij}^t \geq LWT_t, \forall t = 1, \dots, 4$$

$$\sum_{i \in K1} \sum_{j \in G_i} P_i L_i x_{ij}^t + \sum_{i \in KG} \sum_{j \in G_i} P_i RS_i y_{ij}^t + \quad (14)$$

$$\sum_{i \in KG} \sum_{j \in G_i} P_i R_i z_{ij}^t \leq HWT_t, \forall t = 1, 3, \dots, (t_{max} - 1)$$

$$\sum_{i \in K1} \sum_{j \in G_i} P_i L_i (x_{ij}^{t-1} + x_{ij}^t) + \quad (15)$$

$$\sum_{i \in KG} \sum_{j \in G_i} P_i RS_i (y_{ij}^{t-1} + y_{ij}^t) +$$

$$\sum_{i \in KG} \sum_{j \in G_i} P_i R_i (z_{ij}^{t-1} + z_{ij}^t) \leq PWT_{t-1} + PWT_t, \quad (16)$$

$$\forall t = 2, 4, \dots, t_{max}$$

$$I_{ij}^{max} g_i^t + I_{ij}^{t-1} - D_{ij}^t \geq 0, \forall i \in K1; j \in G_i; \quad (17)$$

$$t \in T$$

$$I_{ij}^{max} pd_{ij}^t + I_{ij}^{t-1} - D_{ij}^t \geq 0, \forall i \in KG; \quad (18)$$

$$j \in G_i; t \in T$$

$$\sum_{j \in G_i} pd_{ij}^t \leq n_i g_i^t, \forall i \in KG; t \in T \quad (19)$$

$$td_t \geq \sum_{i \in K} P_i L_i g_i^t - WT_t + U, \forall t \in T \quad (20)$$

$$td_t \geq 0, \forall t \in T \quad (21)$$

$$maxTar \geq td_t, \forall t \in T \quad (22)$$

$$x_{ij}^t, z_{ij}^t, sc_i^t, pd_{ij}^t, g_i^t \in \{0, 1\}, \forall i \in K; \quad (23)$$

$$j \in G_i; t \in T$$

$$y_{ij}^t \in \{0, 1, 2, \dots\}, \forall i \in KG; j \in G_i; t \in T$$

สมการ (2)-(3) เป็นเงื่อนไขบังคับสำหรับคำนวณ  
ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเมื่อสิ้นสุดกะทำงานของชิ้นส่วน  
ในกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 1 และกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่

2 และ 3 ตามลำดับ สมการ (4)-(12) เป็นเงื่อนไขบังคับด้านปริมาณการผลิต สมการ (4) ทำให้มั่นใจได้ว่าสามารถผลิตชิ้นส่วนได้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการของทุกกะทำงาน สมการ (5)-(7) บังคับให้ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังต้องไม่เกินปริมาณการจัดเก็บสูงสุด สมการ (8) ทำให้มั่นใจได้ว่าปริมาณการผลิตรวมทุกชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 ต้องเท่ากับขนาดรุ่นผลิต สมการ (9) ใช้สำหรับกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 3 เพื่อบังคับให้ปริมาณการผลิตรวมของชิ้นส่วนในกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มต้องเท่ากับขนาดรุ่นผลิต เงื่อนไขบังคับสมการ (8)-(9) ยังทำให้มั่นใจได้ว่าการคิดค่าใช้จ่ายในการเตรียมผลิตหากมีการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในแบบจำลองขั้นที่ 4 ที่จะนำเสนอต่อไป สมการ (10)-(11) บังคับให้มีชิ้นส่วนเพียงรุ่นเดียวเท่านั้นที่ถูกเลือกผลิตให้ไม่เต็มความจุของชั้นวางเมื่อต้องผลิตชิ้นส่วนใด ๆ ในกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 และ 3 ตามลำดับ สมการ (12) ทำให้มั่นใจได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นส่วนที่มีปริมาณการผลิตไม่พอดีกับความจุของชั้นวางชิ้นส่วน ชิ้นส่วนนั้นต้องถูกผลิตให้เต็มความจุของชั้นวางด้วย

สมการ (13)-(15) เป็นเงื่อนไขบังคับด้านเวลาการผลิต สมการ (13) บังคับให้กะทำงาน 1 ถึง 4 ต้องใช้เวลาการผลิตไม่น้อยกว่าเวลาการผลิตขั้นต่ำ สมการ (14) ทำให้มั่นใจได้ว่าการวางแผนการผลิตในกะทำงานกลางวัน ( $t = \text{เลขคู่}$ ) ต้องใช้เวลาการผลิตไม่เกินเวลาการผลิตสูงสุดที่ยอมให้วางแผนได้ และสมการ (15) บังคับให้เวลาการผลิตชิ้นส่วนใน 1 วัน ต้องไม่เกินเวลาการทำงานที่ใช้ในการวางแผน เกณฑ์เวลาต่าง ๆ นี้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามชั่วโมงการทำงานของกะทำงานแบบปกติ หรือแบบล่วงเวลา แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์เวลาของกะทำงานในแบบจำลอง

| ชั่วโมงทำงาน | WT  | LWT | HWT | PWT |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| 8            | 480 | 420 | 540 | 455 |
| 10           | 600 | 455 | 660 | 550 |
| 11           | 660 | 455 | 720 | 610 |

สมการ (16)-(18) เป็นเงื่อนไขบังคับสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในกะทำงานที่ส่งมอบ สมการ (16)-

(17) ทำให้มั่นใจได้ว่าหากปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเมื่อเริ่มกะทำงานไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการของกะทำงานนั้น ชิ้นส่วนนี้ต้องถูกกำหนดให้เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตในกะทำงานที่ส่งมอบ โดยสมการ (16) ใช้กับกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 1 และสมการ (17) ใช้กับชิ้นส่วนภายในกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 และ 3 ส่วนสมการ (18) ทำให้มั่นใจได้ว่าเมื่อมีการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบในกะทำงานที่ผลิต กลุ่มชิ้นส่วนของชิ้นส่วนนั้นต้องถูกกำหนดเป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตในกะทำงานที่ส่งมอบด้วย สมการ (19)-(21) เป็นเงื่อนไขบังคับด้านเวลาผลิตชิ้นส่วนเสร็จช้ากว่าเกณฑ์ของโรงงาน สมการ (19)-(20) ใช้สำหรับกำหนดเวลาสายในกรณีที่ใช้เวลาผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบในกะทำงานที่ผลิตเกินจาก 6 ชั่วโมงก่อนสิ้นสุดกะทำงาน และสมการ (21) ใช้สำหรับหาเวลาสายสูงที่สุดจากทุกกะทำงาน สมการ (22)-(23) แสดงเงื่อนไขบังคับด้านตัวแปรตัดสินใจ

### 3.4 แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ขั้นที่ 2

แบบจำลองนี้ใช้สำหรับหาผลรวมเวลาสายจากทุกกะทำงานแบบถ่วงน้ำหนักให้ค่าต่ำที่สุด มีรายละเอียดดังนี้

พารามิเตอร์ที่ใช้แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ พารามิเตอร์ของแบบจำลองขั้นที่ 1 ขอบเขตด้านบนของเวลาสายสูงสุดที่เป็นค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบบจำลองขั้นที่ 1 ( $Z_1$ ) และน้ำหนักความสำคัญของกะทำงาน ( $Wg_t$ )

ตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ประกอบด้วย  $x_{ij}^t$ ,  $y_{ij}^t$ ,  $z_{ij}^t$ ,  $sc_i^t$ ,  $pd_{ij}^t$ ,  $g_i^t$  และ  $td_t$

ฟังก์ชันจุดประสงค์แสดงดังสมการ (24) เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขบังคับจากแบบจำลองขั้นที่ 1 ได้แก่ สมการ (2)-(20) และสมการ (22)-(23) และเงื่อนไขบังคับเพิ่มเติมแสดงดังสมการ (25) ต่อไปนี้

$$\text{Minimize } Z_2 = \sum_{t \in T} Wg_t td_t \quad (24)$$

$$td_t \leq Z_1, \quad \forall t \in T \quad (25)$$

สมการ (24) ใช้สำหรับการหาค่าต่ำที่สุดของผลรวมเวลาสายแบบถ่วงน้ำหนัก งานวิจัยนี้ให้น้ำหนัก

ความสำคัญของเวลาสายในกะทำงาน 1-4 เป็น 10 เท่าของกะทำงานอื่นเพื่อกระจายเวลาสายที่อาจเกิดขึ้นไปยังกะทำงาน 5-14 ที่ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนยังมีความผันแปรอยู่ สมการ (25) บังคับให้เวลาสายของแต่ละกะทำงานต้องไม่เกินค่าเวลาสายสูงสุดที่เป็นผลลัพธ์จากแบบจำลองขั้นที่ 1

### 3.5 แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ขั้นที่ 3

แบบจำลองนี้ใช้สำหรับหาเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงานให้มีค่าสูงที่สุด มีรายละเอียดดังนี้

พารามิเตอร์ที่ใช้ประกอบด้วย พารามิเตอร์ของแบบจำลองขั้นที่ 1 และขอบเขตด้านบนของเวลาสายของแต่ละกะทำงาน ( $UTD_t$ ) ที่ได้จากผลลัพธ์ค่าตัวแปรตัดสินใจ  $td_t$  ของแบบจำลองขั้นที่ 2

ตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ประกอบด้วย  $x_{ij}^t$ ,  $y_{ij}^t$ ,  $z_{ij}^t$ ,  $sc_i^t$ ,  $pd_{ij}^t$  และ  $g_i^t$

ฟังก์ชันจุดประสงค์แสดงดังสมการ (26) เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขบังคับจากแบบจำลองขั้นที่ 1 ได้แก่ สมการ (2)-(18) และสมการ (22)-(23) และเงื่อนไขบังคับเพิ่มเติมแสดงดังสมการ (27) ต่อไปนี้

$$\text{Maximize } Z_3 = \frac{\sum_{t \in T} (WT_t - \sum_{i \in K} P_i L_i g_i^t)}{t_{\max}} \quad (26)$$

$$\sum_{i \in K} P_i L_i g_i^t - WT_t + U \leq UTD_t, \quad \forall t \in T \quad (27)$$

สมการ (26) ใช้สำหรับหาค่าสูงที่สุดของเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของกลุ่มชิ้นส่วนสุดท้ายที่ผลิตในกะทำงานที่ต้องส่งมอบโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงาน สมการ (27) ทำให้มั่นใจได้ว่าแผนการผลิตในแต่ละกะทำงานมีเวลาผลิตเสร็จของกลุ่มชิ้นส่วนที่ช้ากว่า 6 ชั่วโมงก่อนส่งมอบไม่เกินขอบเขตด้านบนของเวลาสาย

### 3.6 แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ขั้นที่ 4

แบบจำลองนี้ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมมีค่าต่ำที่สุด มีรายละเอียดดังนี้

พารามิเตอร์ที่ใช้แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ พารามิเตอร์ของแบบจำลองขั้นที่ 3 ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนและการเตรียมการผลิต ได้แก่  $C_{ij}$  และ  $S_i$

ตามลำดับ และขอบเขตด้านล่างของเวลาการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบจริงโดยเฉลี่ย ( $AEL$ ) ที่กำหนดจากค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบบจำลองขั้นที่ 3 ( $Z_3$ )

ตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ประกอบด้วย  $x_{ij}^t$ ,  $y_{ij}^t$ ,  $z_{ij}^t$ ,  $sc_i^t$ ,  $pd_{ij}^t$  และ  $g_i^t$

ฟังก์ชันจุดประสงค์แสดงดังสมการ (28) เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขบังคับจากแบบจำลองขั้นที่ 3 ได้แก่ สมการ (2)-(18) สมการ (22)-(23) และสมการ (27) และเงื่อนไขบังคับเพิ่มเติมแสดงดังสมการ (29) ต่อไปนี้

$$\text{Minimize } Z_4 = \sum_{i \in K} \sum_{j \in G_i} \sum_{t \in T} C_{ij} I_{ij}^t + \sum_{i \in K} \sum_{j \in G_i} \sum_{t \in T} S_i x_{ij}^t + \sum_{i \in K} \sum_{t \in T} S_i sc_i^t \quad (28)$$

$$\frac{\sum_{t \in T} (WT_t - \sum_{i \in K} P_i L_i g_i^t)}{t_{\max}} \geq AEL \quad (29)$$

สมการ (28) แสดงการหาค่าต่ำที่สุดของต้นทุนรวมของการจัดเก็บและการเตรียมแม่พิมพ์ของกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องการผลิต สมการ (29) ทำให้มั่นใจได้ว่าแผนการผลิตเวลาการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบจริงโดยเฉลี่ยไม่น้อยกว่า  $AEL$  ที่หาจากสมการ (30) ดังนี้

$$AEL = \min(360, Z_3 - f) \quad (30)$$

โดยที่  $f$  คือ เวลาเผื่อ (นาที) สำหรับทำให้แบบจำลองขั้นที่ 4 สามารถหาผลลัพธ์ที่แตกต่างจากแบบจำลองขั้นที่ 3 ได้ในกรณีที่ค่ามากที่สุดของเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 6 ชั่วโมง งานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 12 นาที

### 3.7 อีวิริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิต

ปริมาณการผลิตชิ้นส่วนจากผลลัพธ์ของแบบจำลองขั้นที่ 4 ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับการผลิตเพื่อให้เวลาผลิตเสร็จก่อนการส่งมอบของชิ้นส่วนที่ผลิตในกะทำงานที่ส่งมอบมีค่ามากที่สุด วิธีการจัดตารางการผลิตเริ่มจากจัดลำดับการผลิตของกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตในกะทำงานที่ส่งมอบก่อนตามลำดับความสำคัญดังนี้

1. กลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 1 ผลิตก่อน

2. กลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 2 และ 3 ให้พิจารณาเลือกกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  ที่มีผลรวมของเวลาการผลิตของชิ้นส่วน  $j$  ที่ยังไม่ต้องส่งมอบที่มีค่าน้อยที่สุดให้ผลิตก่อน จากนั้นให้จัดลำดับการผลิตชิ้นส่วนภายในกลุ่มชิ้นส่วน  $i$  โดยจัดลำดับชิ้นส่วน  $j$  ที่ต้องส่งมอบเมื่อสิ้นสุดกะทำงานให้ผลิตก่อน

หลังจากนั้นให้นำกลุ่มชิ้นส่วนอื่นมาจัดลำดับการผลิตแบบไม่เงื่อนไข เช่นเดียวกับการลำดับการผลิตของกะทำงานที่ไม่มีการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน จากนั้นนำลำดับการผลิตชิ้นส่วนของแต่ละกะทำงานมาสร้างเป็นตารางการผลิตสำหรับใช้งานต่อไป

#### 4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การทดสอบประสิทธิภาพใช้การเปรียบเทียบแผนการผลิตรายวันที่สร้างด้วยวิธีที่เสนอกับแผนการผลิตจริงที่สร้างจากวิธีการของโรงงานกรณีศึกษาจำนวน 20 วัน โดยมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ 3 ด้าน คือ ด้านการส่งมอบ ด้านต้นทุน และด้านเวลาที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิต การหาผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ใช้โปรแกรม OpenSolver เวอร์ชัน 2.9.0 [17] และตัวประมวลผล Gurobi เวอร์ชัน 7.5.2 ที่ติดตั้งในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล 2016 แบบ 64 บิต บนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ Intel® Core™ i7-3520M CPU @ 2.90 GHz เป็น Processor และ RAM 8.0 GB ผลการทดสอบพบว่าตัวประมวลผล Gurobi สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 ชิ้นของทุกปัญหาที่ทำการทดสอบได้ ผลการทดสอบประสิทธิภาพ 3 ด้านแสดงได้ดังต่อไปนี้

##### 4.1 ผลการทดสอบด้านการส่งมอบ

การทดสอบประสิทธิภาพด้านการส่งมอบพิจารณาจากแผนการผลิตในกะทำงานที่ 1-2 ที่ถูกนำไปใช้ผลิตจริง และจากกะทำงานทั้ง 14 กะ โดยมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพคือ จำนวนกะทำงานที่เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของโรงงาน และเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของชิ้นส่วนสุดท้ายที่ผลิตใน

กะทำงานที่ส่งมอบ ผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 8 พบว่า กะทำงานที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ในกะทำงานที่ 1 และ 2 ของแผนการผลิตที่สร้างจากวิธีการที่เสนอมีจำนวนไม่มากกว่าวิธีการเดิมในทุกปัญหา โดยสามารถลดจำนวนกะทำงานที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ลงได้ 4 กะทำงาน ได้แก่ ปัญหาที่ 15 17 18 และ 20 คิดเป็นการลดลงร้อยละ 10 จากจำนวนกะทำงาน 40 กะทำงาน เมื่อพิจารณาแผนการผลิตรวม 14 กะทำงาน พบว่าวิธีการที่เสนอสามารถสร้างแผนการผลิตที่มีจำนวนกะทำงานไม่เป็นไปตามเกณฑ์ลดลงได้ 16 กะทำงานคิดเป็นการลดลงร้อยละ 5.7 จากจำนวนกะทำงาน 280 กะทำงาน ผลทดสอบปัญหาที่ 6 7 12 และ 14 ที่มีจำนวนกะทำงานไม่เป็นไปตามเกณฑ์เพิ่มขึ้นอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากวิธีการที่เสนอใช้แบบจำลองขั้นที่ 2 ในการหาผลรวมเวลาสายแบบถ่วงน้ำหนักของกะทำงานทั้งหมดให้มีค่าต่ำที่สุด ทำให้เกิดการกระจายเวลาสายไปหลายกะทำงานได้

เมื่อพิจารณาเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจาก 2 กะทำงานแรก ผลการทดสอบพบว่า วิธีการทั้งสองสามารถสร้างแผนการผลิตที่มีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6 ชั่วโมง เป็นไปตามเกณฑ์ของโรงงาน เมื่อพิจารณาเฉพาะปัญหาที่วิธีการเดิมสร้างแผนการผลิตที่มีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 6 ชั่วโมงจำนวน 8 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาที่ 6 8 14-17 และ 19-20 พบว่า วิธีการที่เสนอสร้างแผนการผลิตที่มีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีการเดิมจำนวน 3 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาที่ 6 16 และ 19 ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของกะทำงานที่ 1-2 ในแบบจำลองขั้นที่ 2 ต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับกะทำงานที่ 3-14 ส่วนการพิจารณาแผนการผลิตรวม 14 กะทำงาน พบว่า วิธีการที่เสนอสร้างแผนการผลิตที่มีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ย 6.4 ชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าวิธีการเดิมที่มีเวลาเฉลี่ยนี้ 6.8 ชั่วโมง ทั้งนี้เกิดจากวิธีการที่เสนอกำหนดขอบเขตด้านล่างของเวลานี้ไม่เกิน 6 ชั่วโมงในแบบจำลองขั้นที่ 4 สำหรับหาต้นทุนรวมให้ต่ำที่สุด การปรับค่าขอบเขตล่างให้มากขึ้นจะบังคับให้เริ่มผลิตชิ้นส่วนที่โดยไม่ต้องส่งมอบเร็วขึ้น ทำให้ต้นทุนด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนสูงขึ้น

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบด้านการส่งมอบและต้นทุนรวม

| ปัญหา          | จำนวนกะที่ไม่เป็นตามเกณฑ์การส่งมอบ / เวลาเฉลี่ยของการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ (ชั่วโมง) |             |                |             |          | ต้นทุนรวม (บาท) |             |         |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|-------------|----------|-----------------|-------------|---------|
|                | กะทำงานที่ 1-2                                                                     |             | รวม 14 กะทำงาน |             |          |                 |             |         |
|                | วิธีเดิม                                                                           | วิธีที่เสนอ | วิธีเดิม       | วิธีที่เสนอ | ผลต่าง*  | วิธีเดิม        | วิธีที่เสนอ | ผลต่าง* |
| 1              | 0 / 6.6                                                                            | 0 / 6.6     | 4 / 6.7        | 4 / 6.3     | 0 / 0.4  | 127,430         | 125,452     | 1,978   |
| 2              | 0 / 7.5                                                                            | 0 / 7.5     | 4 / 6.5        | 4 / 6.3     | 0 / 0.2  | 135,997         | 135,274     | 723     |
| 3              | 1 / 6.7                                                                            | 1 / 6.7     | 6 / 6.4        | 6 / 6.3     | 0 / 0.1  | 135,724         | 135,650     | 74      |
| 4              | 0 / 8.7                                                                            | 0 / 8.1     | 7 / 6.4        | 6 / 6.3     | 1 / 0.1  | 131,239         | 130,488     | 751     |
| 5              | 1 / 6.9                                                                            | 1 / 7.1     | 8 / 5.9        | 8 / 5.7     | 0 / 0.2  | 131,746         | 130,159     | 1,587   |
| 6              | 1 / 4.8                                                                            | 1 / 4.4     | 4 / 7.0        | 5 / 6.3     | -1 / 0.7 | 138,344         | 138,236     | 108     |
| 7              | 0 / 7.2                                                                            | 0 / 7.3     | 2 / 7.7        | 3 / 6.5     | -1 / 1.2 | 155,800         | 152,208     | 3,592   |
| 8              | 2 / 4.1                                                                            | 2 / 4.1     | 6 / 7.4        | 4 / 6.4     | 2 / 1.0  | 151,929         | 149,047     | 2,882   |
| 9              | 0 / 7.4                                                                            | 0 / 6.6     | 4 / 7.3        | 4 / 6.2     | 0 / 1.1  | 152,799         | 149,968     | 2,831   |
| 10             | 0 / 9.0                                                                            | 0 / 7.5     | 4 / 7.8        | 3 / 6.8     | 1 / 1.0  | 149,216         | 147,369     | 1,847   |
| 11             | 0 / 8.6                                                                            | 0 / 8.7     | 3 / 8.0        | 2 / 7.1     | 1 / 0.9  | 150,599         | 148,028     | 2,571   |
| 12             | 0 / 9.5                                                                            | 0 / 8.1     | 3 / 7.4        | 4 / 6.8     | -1 / 0.6 | 154,506         | 151,630     | 2,876   |
| 13             | 1 / 6.9                                                                            | 1 / 6.7     | 6 / 6.1        | 3 / 6.6     | 3 / -0.5 | 151,353         | 149,048     | 2,305   |
| 14             | 2 / 2.9                                                                            | 2 / 3.7     | 7 / 5.6        | 8 / 5.6     | -1 / 0.0 | 150,882         | 148,838     | 2,044   |
| 15             | 2 / 3.4                                                                            | 1 / 4.3     | 7 / 6.0        | 6 / 6.1     | 1 / -0.1 | 142,816         | 140,731     | 2,085   |
| 16             | 2 / 4.0                                                                            | 2 / 3.6     | 6 / 6.4        | 5 / 6.4     | 1 / 0.0  | 138,324         | 137,161     | 1,163   |
| 17             | 2 / 3.5                                                                            | 1 / 4.6     | 6 / 6.8        | 2 / 6.6     | 4 / 0.2  | 144,137         | 137,689     | 6,448   |
| 18             | 1 / 6.6                                                                            | 0 / 7.5     | 3 / 7.1        | 2 / 6.8     | 1 / 0.3  | 140,495         | 134,504     | 5,991   |
| 19             | 2 / 2.1                                                                            | 2 / 1.7     | 4 / 6.8        | 3 / 6.5     | 1 / 0.3  | 134,244         | 132,564     | 1,680   |
| 20             | 2 / 4.5                                                                            | 1 / 6.1     | 8 / 6.5        | 4 / 6.8     | 4 / -0.3 | 144,272         | 142,544     | 1,728   |
| รวม/<br>เฉลี่ย | 19 / 6.0                                                                           | 15 / 6.0    | 102 / 6.8      | 86 / 6.4    | 16 / 0.4 | 143,092         | 140,829     | 2,263   |

หมายเหตุ \*ผลต่าง = ค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพจากวิธีเดิม - ค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพจากวิธีที่เสนอ

#### 4.2 ผลการทดสอบด้านต้นทุน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านต้นทุนรวมจากการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการเตรียมแม่พิมพ์เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่าวิธีการที่เสนอสามารถลดต้นทุนรวมได้ทุกปัญหา โดยต้นทุนรวมเฉลี่ยลดลง 2,263 บาทต่อรอบการวางแผนการผลิต คิดเป็นการลดลงร้อยละ 1.58 การลดลงของต้นทุนนี้สอดคล้องกับวิธีการใช้แบบจำลองชั้นที่ 4 ในการสร้างแผนการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีการที่เสนอนี้เป็นการแยกปัญหา

ออกเป็นปัญหาย่อยเพื่อจัดการเกณฑ์การส่งมอบชิ้นส่วนของโรงงานด้วยการใช้แบบจำลองชั้นที่ 1-3 ดังนั้นต้นทุนรวมของปัญหาย่อยที่ได้จากแบบจำลองชั้นที่ 4 จึงถูกจำกัดด้วยขอบเขตด้านบนของเวลาสายของแต่ละกะทำงาน และขอบเขตด้านล่างของเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงาน การแยกปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตนี้ออกเป็นปัญหาย่อยอาจส่งผลประสิทธิภาพของแผนการผลิตได้ ดังผลทดสอบของปัญหาทดสอบที่ 6 มีต้นทุนรวมลดลงเพียง 108 บาท ขณะที่เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยของกะ

ทำงานที่ 1-2 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของโรงงานและน้อยกว่าวิธีการเดิม 0.4 ชั่วโมง และมีกะทำงานที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์การส่งมอบมากกว่าวิธีการเดิมจำนวน 1 กะจาก 14 กะทำงานที่เกิดแบบจำลองขั้นที่ 2 ถูกจำกัดขอบเขตบนของเวลาสายสูงสุดที่ได้จากแบบจำลองขั้นที่ 1 อาจทำให้เวลาสายถูกกระจายไปหลายกะทำงาน

#### 4.3 ผลการทดสอบด้านเวลาการสร้างแผนการผลิต

การสร้างแผนการผลิตด้วยวิธีที่เสนอใช้เวลาโดยเฉลี่ยของการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมของทุกแบบจำลองเท่ากับ 0.5 นาที โดยใช้เวลามากที่สุดเท่ากับ 5.1 นาที เปรียบเทียบกับวิธีการเดิมที่ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 108 นาที โดยใช้เวลามากที่สุดเท่ากับ 148 นาที ในการสร้างแผนการผลิต ทำให้สรุปได้ว่าการใช้วิธีการที่เสนอสามารถลดเวลาเกือบทั้งหมดในการวางแผนการผลิตรายวันได้ ซึ่งทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการวางแผน

#### 5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตรายวันของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาที่มีกลุ่มชิ้นส่วน 3 ประเภท รวมจำนวน 23 กลุ่ม ภายในกลุ่มชิ้นส่วนประกอบด้วยชิ้นส่วนรุ่นต่าง ๆ รวมทุกกลุ่มจำนวน 46 รุ่น การวางแผนการผลิตรายวันเป็นการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตจำนวน 14 กะทำงานต่อเนื่อง แล้วใช้แผนการผลิตของ 2 กะทำงานแรกในการผลิต การสร้างแผนการผลิตมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมของการจัดเก็บและการเตรียมตั้งเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุด และเวลาการผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบอย่างน้อย 6 ชั่วโมงซึ่งเป็นเกณฑ์ของโรงงาน

งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบ 4 ชั้นสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ จำนวน 14 กะทำงานให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการชิ้นส่วนในแผนการผลิตหลักแบบจำลองขั้นที่ 1-2 ใช้สำหรับกำหนดขอบเขตด้านบนของเวลาผลิตชิ้นส่วนเสร็จไม่เกิน 6 ชั่วโมงก่อนส่งมอบของแต่ละกะทำงาน แบบจำลองขั้นที่ 3 ถูกใช้สำหรับกำหนดขอบเขตด้านล่างของเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยในกรณีที่มีค่าต่ำกว่า 6 ชั่วโมง และแบบจำลอง

ขั้นที่ 4 ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมมีค่าต่ำที่สุด แล้วนำผลลัพธ์ไปสร้างตารางการผลิตของ 14 กะทำงานต่อไป

ผลการทดสอบกับปัญหาจริงจำนวน 20 ปัญหาพบว่าวิธีการที่เสนอสามารถวางแผนการผลิตที่สามารถลดต้นทุนรวมได้ร้อยละ 1.58 จำนวนกะทำงานที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของโรงงานของแผนการผลิต 2 กะทำงานแรกลดลงร้อยละ 10 และมีเวลาการผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6 ชั่วโมงเป็นไปตามเกณฑ์ของโรงงาน วิธีการที่เสนอนี้ใช้เวลาในการวางแผนต่ำกว่า 1 นาที จึงสรุปได้ว่าวิธีการที่เสนอสามารถนำไปใช้วางแผนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะในการนำวิธีการที่เสนอไปประยุกต์สำหรับการวางแผนการผลิตที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ต้องมั่นใจได้ว่าปริมาณความต้องการชิ้นส่วนของแผนการผลิตหลักต้องไม่มากเกินไปจนไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนให้เสร็จเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จากแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบ 4 ชั้นที่เสนอได้

ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตของวิจัยนี้เป็นปัญหาที่ไม่เสียเวลาในการตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตเนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาใช้เครื่องจักรที่สามารถเตรียมและเพิ่มพื้สำหรับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนรุ่นถัดไปไว้ในเครื่องได้ ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไปเป็นการออกแบบวิธีการสำหรับปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตที่รวมเวลาการตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นผลิต ทั้งแบบเวลาการตั้งเครื่องจักรแบบที่ไม่ขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า และแบบขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า ที่มีเวลาการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบเป็นเงื่อนไขของการวางแผนการผลิต

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาเพื่อส่งเสริมความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาหมายเลข 7/2555

เอกสารอ้างอิง

- [1] Clark A, Amanda-Lobo B, Almeder C. Lot sizing and scheduling: industrial extensions and research opportunities. *International Journal of Production Research*. 2011; 49: 390-434.
- [2] Drexel A, Kimms A. Lot sizing and scheduling – survey and extensions. *European Journal of Operational Research*. 1997; 99: 221-35.
- [3] Karimi B, Fatemi Ghomi SMT, Wilson JM. The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. *Omega*. 2003; 31: 365-78.
- [4] Jans R, Degraeve Z. Modeling industrial lot sizing problems: a review. *International Journal of Production Research*. 2008; 46: 1619-43.
- [5] รวิษรณันต์ ทัพย์เสนา. การวางแผนการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติกที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิต [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2556.
- [6] ภิญญา มาณะทวีวัฒน์. แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนสำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์โลหะ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ชลบุรี; มหาวิทยาลัยบูรพา; 2561.
- [7] เพชรายุทธ แซ่หลี่, อภิชัย ฤตวิรุฬห์. แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 2557; 37: 347-60.
- [8] ชัยพร อุดม, ภูพงษ์ พงษ์เจริญ, ขวัญนิธิ คำเมือง. การแก้ปัญหาการวางแผนและจัดตารางการผลิตขั้นสูงที่พิจารณาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบมีกรอบเวลา โดยตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*. 2559; 4: 1-15.
- [9] รัชฎากร โคตรเจริญ. การวางแผนการผลิตที่มีหลายเป้าหมายด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นแบบพอสสิบิลิติก, กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ; มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2554.
- [10] Javanmard H, Kianehkandi. Optimal scheduling in a milk production line based on mixed integer linear programming. *Proceedings of the 2011 2nd International Conference on Education and Management Technology*; 2011 August 19-21; Shanghai, China. 2011. p.318-323.
- [11] Drake MJ, Pentico DW, Toew C. Using the EPQ for coordinated planning of a product with partial backordering and its components. *Mathematical and Computer Modelling*. 2011; 53, 359-75.
- [12] Baldo TA, Santos MO, Almada-lobo B, Morabito R. An optimization approach for the lot sizing and scheduling problem in the brewery industry. *Computer & Industrial Engineering*. 2014; 72: 58-71.
- [13] Enami S, Barzegaran F, Divsalar A. A mathematical model for production planning and scheduling in a production system: a case study. *International Journal of Industrial Engineering and Management Science*. 2019; 6: 1-16.
- [14] Tsai CC, Lee CJ. Optimization of nurse scheduling problem with a two-stage mathematical programming model. *Asia Pacific Management Review*. 2010; 15: 503-16.
- [15] Klemmt A, Lange J, Weigert G, Lehmann F, Seyfert F. A multistage mathematical programming based scheduling approach for the photolithography area in semiconductor manufacturing. *Proceedings of the 2010 Winter*

Simulation Conference; 2010 December 5-8;  
Baltimore, Maryland. 2010. p.2474-2485.

[16] Ahmadi A, Jokar MA. An efficient multiple-stage mathematical programming method for advanced single and multi-floor facility layout problems. Applied Mathematical Modelling. 2016; 40, 5605-20.

[17] Mason AJ. OpenSolver An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel. Proceedings of Operations Research Conference; 2011 Aug 30 - Sep 2; Zurich, Switzerland. 2012. p. 401-406.