การจัดตารางการผลิตขอบยางรถบรรทุก โดยมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักร: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางรถบรรทุกแห่งหนึ่ง

ธนัญญา กิรวิทย์[1] และ วรวุฒิ หวังวัชรกุล[*2]

สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Received: 02 April 2025; Revised: 29 May 2025; Accepted: 19 June 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้จัดตารางการผลิตของแผนกขอบยางรถบรรทุก เพื่อแก้ไขปัญหาปริมาณสินค้าคงคลังที่มากเกินความจำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แรงงานในแผนกขอบยาง ซึ่งมีความสำคัญต่อต้นทุนรวมของการผลิต กระบวนการผลิตขอบยางประกอบด้วย 3 กระบวนการ ที่ต่อเนื่องกัน โดยมีพนักงานปฏิบัติงานเฉลี่ย 23 คนต่อวัน ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีขอบยางทั้งหมด 6 ชนิด ใช้เครื่องจักร 13 เครื่อง ปัจจุบันพนักงานระดับปฏิบัติการจำนวน 3 คนจะเป็นผู้ดูแลสินค้าคงคลัง และจัดตารางการผลิตแยกกันในแต่ละกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลความต้องการของลูกค้า เทียบกับจำนวนสินค้าคงคลังแต่ละชนิด ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อป้องกันลูกค้าขาดขอบยางในการผลิต แต่ก็มักนำไปสู่การผลิตที่มากเกินไป การสะสมสินค้าคงคลังโดยไม่จำเป็น และการใช้แรงงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ จึงได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำนวน 3 แบบ โดยมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันดังนี้ 1) จำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด 2) จำนวนวันที่เปิดเครื่องจักรน้อยที่สุด 3) จำนวนรถเข็นที่จัดเก็บน้อยที่สุด เมื่อนำผลลัพธ์เปรียบเทียบกับการผลิตจริงในช่วงเวลาเดียวกันพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 สามารถทำให้ปริมาณสินค้าคงคลังลดลงได้ อย่างไรก็ตาม ต้นทุนแรงงานเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตของสินค้า โดยแบบจำลองที่ 2 แสดงผลลัพธ์ที่โดดเด่นที่สุดในด้านการลดจำนวนแรงงานที่ใช้ลงได้ถึงร้อยละ 14.13 ทั้งยังสามารถลดจำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรลงได้อย่างมีนัยสำคัญถึงร้อยละ 27.23 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะใช้แบบจำลองที่ 2 เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการวางแผนการผลิตขอบยาง ของโรงงานกรณีศึกษา

คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิตรวม, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, เวลาปรับตั้งเครื่องจักร

* Corresponding author. E-mail: fengwww@ku.ac.th

[1] สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Bead production scheduling with setup time: a case study of a truck tire factory

Thananya Kirawit[1] and Worawut Wangwatcharakul[*2]

Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart university, Bangkok 10900

Received: 02 April 2025; Revised: 29 May 2025; Accepted: 19 June 2025

Abstract

This research studies and compares mathematical models for production scheduling of bead production in truck tire factory. The objective is to reduce excessive inventory and improving labor efficiency, both of which are critical factors influencing overall production cost. The bead production process involves three stages, with 23 workers. The process produces six types of bead with a total of 13 machines. Three operational workers are responsible for managing inventory and production scheduling separately in each process. Scheduling is based on customer demand and current stock levels which aim to prevent shortages, but it often leads to overproduction and inefficient use of labor. To address these challenges, three mathematical models were developed: 1) minimizing machine setup frequency, 2) minimizing machine operation days, and 3) minimizing the number of storage carts. A comparison between model outputs and actual production data shows that all three models can reduce inventory levels. However, labor costs remain a major concern. Among the models, the second demonstrates the most promising results by reducing labor usage by 14.13 percent and machine setups by 27.23 percent. Thus, the second model is selected as the most suitable for production planning in the case study factory.

Keywords: aggregate scheduling, mathematical model, setup time

* Corresponding author. E-mail: fengwww@ku.ac.th

[1] Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart university

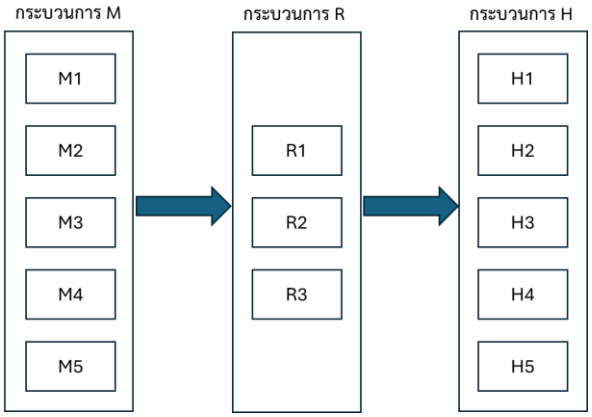
[2] Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart university

1. คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ในประเทศไทยเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตยางรถยนต์รายใหญ่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภายใต้สภาพแวดล้อมการแข่งขันทางธุรกิจปัจจุบันที่วงจรอายุของผลิตภัณฑ์จะสั้นลงเรื่อย ๆ ความต้องการของลูกค้ามีความหลากหลาย และเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น ทำให้บริษัทต่าง ๆ ต้องปรับตัวและพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง บริษัทผู้ผลิตยางรถยนต์ในประเทศไทยจึงต้องมุ่งเน้นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของตนเอง โดยการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างหลากหลาย รวดเร็ว แม่นยำ และด้วยคุณภาพที่เชื่อถือได้ การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับตัวได้ตามความต้องการของตลาดเป็นสิ่งที่จำเป็น

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตยางรถบรรทุก ซึ่งผลิตจากชิ้นส่วนหลาย ๆ ชนิดถูกประกอบเข้าด้วยกัน แล้วนำไปอบให้ยางสุก ให้พร้อมใช้งาน โดยขอบยางรถบรรทุกจะทำหน้าที่ในการรับและกระจายน้ำหนักจากยางไปยังล้อและส่วนอื่น ๆ ของรถยนต์ ทำให้การขับขี่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากขึ้น กระบวนการผลิตขอบยางมีกระบวนการทั้งหมด 3 กระบวนการที่ต่อเนื่องกัน ได้แก่ M, R และ H ดังรูปที่ 1 โดยจะทำการผลิตขอบยางทั้งหมด 6 ชนิด ดังนั้นแต่ละกระบวนการจะทำการผลิตเป็นชุด ๆ ตามขนาดการสั่งผลิตที่ถูกกำหนดไว้ มีการเก็บสินค้าคงคลังไว้ก่อนที่จะส่งมอบให้กับขั้นตอนถัด ๆ ไป

ในการวางแผนการผลิต พนักงานจากแผนกขอบยางในแต่ละกระบวนการ จะวางแผนการผลิตแยกกันตามกระบวนการ โดยนำความต้องการในแต่ละวันของแผนกประกอบยางมาเปรียบเทียบกับปริมาณสินค้าคงคลังที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อทำการตัดสินใจว่าควรผลิตขอบยางชนิดใดในแต่ละวันซึ่งจะมุ่งเน้นการป้องกันการขาดสินค้าของกระบวนการถัดไป อีกทั้งการวางแผนการผลิตนี้ไม่ได้กำหนดจำนวนที่ต้องผลิตในแต่ละวันอย่างชัดเจน ส่งผลให้เกิดการผลิตเกินความต้องการจริง และนำไปสู่การสะสมสินค้าคงคลัง



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตขอบยางของแผนกขอบยาง บริษัทกรณีศึกษา

จากข้อมูลเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 พบว่าสินค้าคงคลังของแผนกขอบยางมีสำหรับผลิตยาง 9,231 เส้น ในขณะที่ความต้องการต่อวันของแผนกประกอบยางอยู่ที่ 2,536 เส้น ซึ่งหมายความว่าสินค้าคงคลังเหล่านี้สามารถนำไปประกอบยางได้อีก 3.64 วันโดยที่ไม่ต้องทำการผลิตเพิ่มเติม ส่งผลกระทบกับพื้นที่ในการจัดเก็บ โดยจากข้อมูลพบว่าต้องการพื้นที่ทั้งหมด 217 ที่ แต่พื้นที่ที่มีอยู่ในแผนกขอบยางมีเพียง 200 ที่เท่านั้น การขาดแคลนพื้นที่จัดเก็บนี้ทำให้เกิดความยุ่งยากในการจัดการสินค้าคงคลัง อีกทั้งยังก่อให้เกิดการใช้แรงงานมาผลิตขอบยางมากเกินความจำเป็น

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าการจัดตารางการผลิตของแผนกขอบยางในปัจจุบันยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะควบคุมปริมาณสินค้าคงคลัง และแรงงานให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม แม้ว่าจะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ แต่การมีสินค้าคงคลัง และแรงงานที่มากเกินไปยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งส่งผลกระทบต่อพื้นที่จัดเก็บและต้นทุนในการผลิต

งานวิจัยนี้จึงเป็นงานวิจัยประยุกต์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจัดตารางการผลิตรวมของแผนกขอบยางในบริษัทกรณีศึกษา โดยพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตขอบยาง ได้แก่ ปริมาณความต้องการในแต่ละวันของแผนกประกอบยาง ปริมาณสินค้าคงคลังที่มีอยู่ในปัจจุบัน เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร และประสิทธิภาพของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ เป้าหมายหลักของการจัด

ตารางการผลิตเพื่อลดปริมาณสินค้าคงคลัง และแรงงานที่ใช้ในการผลิตขอบยางลง

2. การทบทวนวรรณกรรม

การวางแผนและควบคุมการผลิต มีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมวัสดุคงคลัง และการส่งมอบให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยจัดการทรัพยากรที่ประกอบไปด้วย คน วัสดุ เครื่องจักร และสารสนเทศ เพื่อทำให้การไหลของวัสดุระหว่างผู้ส่งมอบ กระบวนการผลิต และลูกค้า ลื่นไหล [1] ซึ่งวัสดุคงคลัง คือ วัสดุทุก ๆ รายการที่องค์กรถือครองไว้เพื่อดำเนินการทางธุรกิจ ได้แก่ วัตถุดิบ (Raw Material) ที่ใช้ในการผลิตหรือประกอบ งานระหว่างผลิต (Work-in-Process) ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (Finished Product) และวัสดุประกอบ (Components) วัสดุที่ซื้อหรือผลิตขึ้นเองที่ถูกนำไปผลิตหรือประกอบ เป็นส่วนหนึ่งของชิ้นส่วนประกอบหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป [2]

การวางแผนความต้องการกำลังการผลิต (Capacity Requirements Planning) เป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนและควบคุมการผลิต โดยจะคำนวณหากำลังการผลิตของเครื่องจักรและแรงงานที่ต้องการในการผลิตชิ้นส่วนให้เสร็จตามจำนวนและกำหนดเวลาที่ได้กำหนดไว้ในทุกขั้นตอนของการผลิต ซึ่งแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model) ถูกนำมาใช้เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะที่สุด (Optimal Solution) ได้ด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่ซับซ้อนในปัญหาการจัดตารางการผลิตในหลากหลายรูปแบบ [3] เช่น ปัญหาขนาดการผลิตที่ทำให้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด ของกระบวนการผลิตที่มีหลายระดับชั้น โดยคำนึงถึงข้อจำกัดด้านทรัพยากรได้มีการศึกษาไว้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นดังสมการ (1) [4]

$$min \sum_{t=1}^{T} (SY_{it} + hI_{it}) \qquad (1)$$

โดยที่ T คือ จำนวนคาบเวลาที่ต้องการวางแผนการผลิต

t คือ คาบเวลาที่ t ของการวางแผนผลิต

S คือ ค่าใช้จ่ายในการเริ่มการผลิตต่อครั้ง

i คือ ประเภทสินค้าที่ต้องการผลิต

Y_{it} มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการผลิตสินค้า i ในคาบเวลา t

มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีการผลิตสินค้า i ในคาบเวลา t

I_{it} คือ ระดับสินค้าคงคลังของสินค้าชนิด i ที่คาบเวลา t

สมการสมดุลระดับสินค้าคงคลังจะเป็น สินค้าคงคลังของสินค้า i ในคาบเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับผลรวมของสินค้าคงคลังของสินค้า i ในสัปดาห์ที่แล้วกับจำนวนสินค้าi ที่ผลิตในคาบเวลาปัจจุบันลบด้วยปริมาณความต้องการของสินค้า i ดังสมการ (2)

$$I_{it} = I_{it-1} + X_{it} - \sum_{j \in \Gamma_i} b_{ji} X_{jt} - E_{it} \qquad (2)$$

โดยที่ X_{it} คือ ขนาดการผลิตของสินค้า i ที่คาบเวลา t

Γ_i คือ เซตของสินค้าที่ต้องผลิตก่อนหน้าสินค้า i

b_{ji} มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการผลิตสินค้า i บนเครื่องจักร j

มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีการผลิตสินค้า i บนเครื่องจักร j

X_{jt} คือ ขนาดการผลิตของเครื่องจักร j ที่คาบเวลา t

E_{it} คือ ปริมาณความต้องการจากภายนอกของสินค้าชนิด i ในคาบเวลา t

สำหรับข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร สามารถคำนวณได้จากสมการ (3) ที่จำนวนทรัพยากรที่ใช้ไปทั้งหมดกับสินค้าทุกชนิดต้องไม่เกินจำนวนทรัพยากรที่มี

$$\sum_{i=1}^{I} a_i X_{it} \leq C_t \qquad (3)$$

โดยที่ C_t คือ ปริมาณทรัพยากรที่มีในหนึ่งคาบเวลา t

a_i คือ จำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตสินค้า i หนึ่งหน่วย

โดยขนาดการผลิตของสินค้า i มีค่ามากกว่าศูนย์ เมื่อค่า Y_{it} มีค่าเป็น 1 ดังสมการ (4)

$$X_{it} - GY_{it} \leq 0 \qquad (4)$$

โดยที่ G คือ จำนวนจริงที่มีมูลค่ามาก ๆ

จำนวนระดับสินค้าคงคลังสินค้า และขนาดการผลิต i ในคาบเวลา t ต้องมีค่ามากกว่าศูนย์เสมอ ถูกกำหนดเป็นคุณสมบัติในสมการ (5)-(6)

$$I_{it} \geq 0 \qquad (5)$$

$$X_{it} \geq 0 \qquad (6)$$

Y_{it} มีคุณสมบัติเป็นตัวแปรไบนารีใช้ในการตัดสินใจดังสมการ (7)

$$Y_{it} \in \{0,1\} \qquad (7)$$

เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Claassen และคณะ [5] ที่ศึกษาการวางแผนและจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อให้ต้นทุนในการผลิตน้อยที่สุด และมีการกำหนดข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร และอายุการจัดเก็บของสินค้าประเภทอาหาร โดยขอบเขตที่ทำการศึกษามีเพียงเครื่องจักรเดียว และงานวิจัยของจักรวาล และ อารดา [6] ที่ต้องการลดต้นทุนการผลิตให้น้อยที่สุดเช่นเดียวกันในระบบการผลิตสินค้าหลายชนิดที่มีเครื่องจักรแบบขนาน หรืองานวิจัยของ Benbrik และคณะ [8] จัดตารางการซ่อมบำรุงให้กับอุปกรณ์ลำเลียงสินค้าของท่าเรือเพื่อลดเวลาทำงานรวมของอุปกรณ์ให้ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นการศึกษากระบวนการเดียว ในขณะที่งานวิจัยที่ศึกษามุ่งเน้นไปที่การจัดการปริมาณสินค้าคงคลังของกระบวนการผลิตที่มี 3 ขั้นตอนต่อเนื่องกันซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีเครื่องจักรแบบขนาน ส่วนการศึกษาของ Shang และคณะ [7] พัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม เพื่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด โดยมีการนำกำลังการผลิต และสินค้าคงคลังขั้นต่ำ (Safety Stock) ที่ผลิตเข้ามาเป็นข้อจำกัด แต่ไม่ได้นำเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรมาพิจารณา

ในการกระบวนการผลิต ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรจะเป็นตัวบอกความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร [9] โดยที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีประสิทธิผลโดยรวมในการผลิตที่ไม่เท่ากัน ควรจะนำมาเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองด้วยเช่นกัน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขอบยางจะถูกผลิตและส่งให้กับแผนกประกอบซึ่งเป็นกระบวนการผลิตในขั้นตอนถัดไป แผนกขอบยางจะได้รับข้อมูลปริมาณความต้องการในแต่ละวันของแผนกประกอบยางใหม่ทุกสัปดาห์ โดยจะนำมาจัดประเภทของขอบยางที่ใช้ เพื่อเป็นปริมาณความต้องการในแต่ละวันของแผนกขอบยาง ดังตัวอย่างตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตัวอย่างปริมาณความต้องการในแต่ละวันของแผนกขอบยางช่วงวันที่ 5 ถึง 18 สิงหาคม พ.ศ. 2567 (เส้นต่อวัน)

ชนิดขอบยาง	05 Aug	06 Aug	07 Aug	08 Aug	09 Aug	10 Aug	11 Aug
P1	183	269	316	336	326	320	
P2	300	344	344	160			
P3	244	273	222	222	222	211	
P4	106	235	235	235	235	225	
P5	108	135	124	146	161	179	
	7	9	8	0	3	5	
P6	223	263	245	263	263	143	

3.1 กระบวนการผลิตขอบยางรถบรรทุก

กระบวนการผลิตขอบยางประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ซึ่งเป็นชื่อเฉพาะจึงกำหนดชื่อย่อว่า กระบวนการ M กระบวนการ R และกระบวนการ H

ตารางที่ 2 รายละเอียดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

ผู้เขียน	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	ผลลัพธ์ที่ต้องการ	เงื่อนไข
ระพีพันธ์	ต้นทุนรวมจากการเริ่มการผลิต และค่าจัดเก็บสินค้าคงคลังที่ต่ำที่สุด	ขนาดการผลิตรายวันของสินค้าแต่ละชนิดในระบบการผลิตที่ต่อเนื่องกันหลายขั้นตอน	– ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตมีอย่างจำกัด – สินค้าคงคลังถูกใช้จากเครื่องจักรในกระบวนการถัดไป
Claassen และคณะ	ต้นทุนรวมจากการเริ่มการผลิต และค่าจัดเก็บสินค้าคงคลังที่ต่ำที่สุด	ตารางการผลิตรายวันของเครื่องจักรหนึ่งที่มีสินค้าหลายชนิด	– เวลาการตั้งเครื่องจักรที่ผันแปรตามลำดับงานก่อนหน้า – อายุในการจัดเก็บสินค้ามีจำกัด
จักรวาล และ อารดา	ต้นทุนรวมจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าต่ำที่สุด	ตารางการผลิตรายวันของระบบการผลิตที่มีสินค้าหลายชนิดบนเครื่องจักรแบบขนาน	– เวลาการตั้งเครื่องจักรที่ผันแปรตามลำดับงานก่อนหน้า – งานจะต้องถูกผลิตให้ครบตามปริมาณคำสั่งผลิตในแผนการผลิต
Shang และคณะ	ระดับการบริการสูงที่สุด	ขนาดการผลิตรายวันของสินค้าแต่ละชนิดในระบบการผลิตที่ต่อเนื่องกันหลายขั้นตอน	– กำลังการผลิตของเครื่องจักร – สินค้าคงคลังขั้นต่ำ
Benbrik และคณะ	เวลาในการทำงานรวมของเครื่องจักรต่ำที่สุด	ตารางการซ่อมบำรุงของอุปกรณ์ลำเลียงสินค้าของท่าเรือ	– เวลาการตั้งเครื่องจักรที่ผันแปรตามลำดับงานก่อนหน้า
แบบจำลองที่เสนอ	สินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด	ขนาดการผลิตรายวันของสินค้าแต่ละชนิดในระบบการผลิตที่ต่อเนื่องกันหลายขั้นตอน	– เวลาการตั้งเครื่องจักร – ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตมีอย่างจำกัด – ประสิทธิผลโดยรวมในการผลิต

ในแต่ละขั้นตอน ขอบยางถูกจัดเก็บบนรถเข็นที่สามารถเคลื่อนย้าย และจัดเก็บได้โดยการเข็น ซึ่งการผลิตจะต้องทำการผลิตให้เต็มรถเสมอ จำนวนขอบยางที่สามารถบรรจุในรถเข็น 1 คันได้จึงถูกกำหนดเป็นขนาดการสั่งผลิต และเนื่องจากขอบยางแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน ปริมาณขอบยางจึงสามารถบรรจุบนรถเข็นได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดการสั่งผลิต (Lot Size) ของขอบยางแต่ละชนิด (เส้น)

ชนิดขอบยาง	**ขนาดการสั่งผลิต (เส้น)**
P1	80
P2	60
P3	80
P4	60
P5	60
P6	60

3.1.1 กระบวนการ M

กระบวนการ M ในแผนกขอบยางมีเครื่องจักรจำนวน 5 เครื่องจักร โดยใช้พนักงานจำนวน 2 คนต่อกะในการทำงาน มีประสิทธิภาพการทำงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 70

เครื่องจักรจะนำลวดมาขดเป็นวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่กำหนด โดยแต่ละเครื่องใช้เวลาในการผลิตชิ้นงานแต่ละชนิดไม่เท่ากัน จากเทคโนโลยีของเครื่องจักรที่ไม่เหมือนกัน และลักษณะของขอบยางที่แตกต่างกัน โดยแต่ละเครื่องไม่สามารถชิ้นงานทุกชนิดได้ เวลาในการผลิตขอบยางเฉลี่ยต่อเส้นแสดงในตารางที่ 4

ขอบยางมีความหลากหลาย การเปลี่ยนชนิดของชิ้นงานที่ทำการผลิตในแต่ละเครื่องจักรช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้มากขึ้น โดยเวลาในการเปลี่ยนชนิดของชิ้นงานที่ผลิตของกระบวนการ M จะเป็นไปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 4 เวลาในการผลิตขอบยางในกระบวนการ M (นาทีต่อเส้น)

ชนิดขอบยาง	เวลาในการผลิตขอบยาง (นาทีต่อเส้น)				
	M1	M2	M3	M4	M5
P1	1.34				
P2	1.33				
P3		1.23			
P4		1.23	1.38	1.18	1.05
P5		1.23	1.38	1.23	1.08
P6		1.23	1.38	1.23	1.08

ตารางที่ 5 เวลาในการเปลี่ยนชนิดของชิ้นงานที่ผลิตของกระบวนการ M (นาทีต่อครั้ง)

ชนิดขอบยาง	เวลาในการเปลี่ยนชนิดของชิ้นงานที่ผลิตของกระบวนการ M (นาทีต่อครั้ง)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1		120				
P2	120					
P3				360	360	360
P4			360		120	120
P5			360	120		120
P6			360	120	120	

3.1.2 กระบวนการ R

กระบวนการ R จะนำลวดที่ถูกดัดเป็นวงกลมจากกระบวนการ M มาหุ้มด้วยยาง ซึ่งมีเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง ควบคุมการทำงานโดยพนักงาน 1 คนต่อเครื่องจักรต่อกะ มีประสิทธิภาพการทำงานโดยเฉลี่ยที่ร้อยละ 65 เวลาการผลิตชิ้นงานโดยเฉลี่ยของกระบวนการ R แสดงในตารางที่ 6 และเวลาในการเปลี่ยนชนิดของชิ้นงานที่ผลิตของกระบวนการ R อยู่ที่ 40 นาทีต่อครั้ง

ตารางที่ 6 เวลาในการผลิตขอบยางในกระบวนการ R (นาทีต่อเส้น)

ชนิดขอบยาง	เวลาในการผลิตขอบยาง (นาทีต่อเส้น)		
	R1	R2	R3
P1			0.79
P2			0.79
P3			0.81
P4	0.71	0.77	
P5	0.71	0.77	
P6	0.71	0.77	

3.1.3 กระบวนการ H

กระบวนการ H จะนำชิ้นงานมาพันด้วยเส้นใยสังเคราะห์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับขอบยาง มีเครื่องจักรจำนวน 5 เครื่อง ใช้พนักงาน 1 คนต่อเครื่องจักรต่อกะในการควบคุมการทำงาน โดยประสิทธิภาพการทำงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 80 และเวลาเฉลี่ยในการผลิตชิ้นงานของกระบวนการ H แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เวลาในการผลิตขอบยางในกระบวนการ H (นาทีต่อเส้น)

ชนิดขอบยาง	เวลาในการผลิตขอบยาง (นาทีต่อเส้น)				
	H1	H2	H3	H4	H5
P1		0.96	0.96		
P2		0.96	0.96		
P3		0.96	0.96		
P4	0.82		1.08	1.00	1.03
P5	0.82		1.08	1.00	1.03
P6	0.82		1.08	1.00	1.03

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การจัดตารางการผลิตของแผนกขอบยางสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการหาคำตอบได้ และกำลังการผลิตของเครื่องจักรในแผนกขอบยางมีมากกว่าความต้องการผลิตต่อวัน ดังนั้นการหาจำนวนการผลิตในแต่ละวันให้เหมาะสมจึงสามารถหาได้จากหลายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) 3 แบบ ได้แก่ จำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด จำนวนวันที่เปิดเครื่องจักรน้อยที่สุด และจำนวนรถเข็นที่จัดเก็บน้อยที่สุด โดยจะประกอบไปด้วย ดัชนี เซต พารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ และข้อจำกัด ดังนี้

3.2.1 ดัชนีและเซต

i คือ เครื่องจักรที่ทำการศึกษา

เซต M คือ เซตของเครื่องจักรในกระบวนการ M;

$$M = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

เซต R คือ เซตของเครื่องจักรในกระบวนการ R;

$$R = \{6, 7, 8\}$$

เซต H คือ เซตของเครื่องจักรในกระบวนการ H;

$$H = \{9, 10, 11, 12, 13\}$$

j คือ ชนิดของขอบยาง โดย $j = 1, 2, 3, \ldots, 6$

k คือ วันที่ในการวางแผนการผลิต โดย $k = 1, 2, 3, \ldots, 14$

l คือ เครื่องจักรในกระบวนการที่ถัดไป

3.2.2 พารามิเตอร์

D_{jk} คือ ปริมาณการใช้ขอบยาง j ของแผนกประกอบยางในวันที่ k (เส้น)

E_i คือ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร i

H คือ ปริมาณสินค้าคงคลังในหน่วยรถเข็นที่มากที่สุด (คัน)

L_j คือ ขนาดการสั่งผลิตของขอบยาง j (เส้น)

M_i คือ กำลังการผลิตของเครื่องจักร i ต่อวัน (เส้นต่อวัน)

R คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 10

SSM_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังขั้นต่ำในกระบวนการ M ของขอบยาง j ในวันที่ k

SSR_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังขั้นต่ำในกระบวนการ R ของขอบยาง j ในวันที่ k

SSH_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังขั้นต่ำในกระบวนการ H ของขอบยาง j ในวันที่ k

T_i คือ เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร i (นาที)

U_{ij} คือ เวลาในการผลิตขอบยางชนิด j บนเครื่องจักร i (นาทีต่อเส้น)

3.2.3 ตัวแปรตัดสินใจ

FM_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังของขอบยาง j ในกระบวนการ M ณ เริ่มต้นวันที่ k

FR_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังของขอบยาง j ในกระบวนการ R ณ เริ่มต้นวันที่ k

FH_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังของขอบยาง j ในกระบวนการ H ณ เริ่มต้นวันที่ k

GM_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังของขอบยาง j ในกระบวนการ M ณ สิ้นสุดวันที่ k

GR_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังของขอบยาง j ในกระบวนการ R ณ สิ้นสุดวันที่ k

GH_{jk} คือ ปริมาณสินค้าคงคลังของขอบยาง j ในกระบวนการ H ณ สิ้นสุดวันที่ k

P_{ijk} คือ ปริมาณขอบยางชนิด j ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักร i ในวันที่ k

S_{ij} คือ จำนวนครั้งในการปรับตั้งเครื่องจักร i เมื่อผลิตขอบยางชนิด j ในวันที่ k

W_{ijk} คือ ปริมาณคำสั่งผลิตของขอบยาง j ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักร i ในวันที่ k

Y_{ijk} คือ ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตขอบยาง j บนเครื่องจักร i ในวันที่ k ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

Z_{ik} คือ ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อเครื่องจักร i มีกี่ผลิตในวันที่ k

3.2.4 จำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด

เวลาในการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักรมีอยู่อย่างจำกัด การปรับตั้งเครื่องจักรที่น้อยช่วยลดการหยุดทำงานของเครื่องจักร ทำให้กระบวนการผลิตดำเนินไปอย่างราบรื่นและต่อเนื่อง ส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มสูงขึ้น

1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function): ผลรวมของจำนวนครั้งในการปรับตั้งเครื่องจักร i เมื่อผลิตขอบยางชนิด j ในวันที่ k มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการ (8)

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^{14}\sum_{j=1}^{6}\sum_{i=1}^{13} S_{ijk} \qquad (8)$$

2) เงื่อนไข

ผลรวมของเวลาที่ใช้ในการผลิตและเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของยางทุกชนิดในเครื่องจักร i ในแต่ละวัน k จะต้องไม่เกินเวลาในหนึ่งวันคูณกับประสิทธิภาพในการเดินเครื่องจักร ดังสมการ (9)

$$\sum_{j=1}^{6}\left[\left(U_{ij} * P_{ijk}\right) + \left(T_i * S_{ijk}\right)\right] \leq 1440 * E_i \quad ; \forall i,k \qquad (9)$$

ปริมาณการผลิตขอบยางจะต้องผลิตตามขนาดการสั่งผลิต (Lot Size) ซึ่งแตกต่างกันออกไปตามชนิดของขอบยาง สามารถคำนวณดังสมการ (10) และขนาดการสั่งผลิตมีค่าเป็นจำนวนเต็มที่มากกว่า 0 ดังสมการ (11)

$$P_{ijk} = W_{ijk} * L_j \quad ; \forall i,j,k \qquad (10)$$

$$W_{ijk} \geq 0, interger \quad ; \forall i,j,k \qquad (11)$$

ปริมาณการผลิตขอบยางจะต้องไม่เกินกำลังการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่องดังสมการ (12) โดยที่

$$P_{ijk} \leq M_i Y_{ijk} \quad ; \forall i,j,k \qquad (12)$$

Y_{ijk} มีคุณสมบัติเป็นตัวแปรไบนารีใช้ในการตัดสินใจดังสมการ (13)

$$Y_{ijk} \in \{0,1\} \quad ; \forall i,j,k \qquad (13)$$

สินค้าคงคลังของกระบวนการ M ในวันที่ k จะต้องมีไม่ต่ำกว่าระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ (Safety Stock) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (15)-(18)

$$SSM_{jk} = \frac{\sum_{k=1}^{7} D_{j,k}}{6} * 1.5 \quad ; \forall j,k \qquad (15)$$

$$GM_{jk} = FM_{jk} + P_{ijk} - P_{ljk} \quad ; \forall i \in M, \forall l \in R, \forall j,k \qquad (16)$$

$$FM_{jk} = GM_{j,k-1} \quad ; \forall j,k \qquad (17)$$

$$GM_{jk} \geq SSM_{jk} \quad ; \forall j,k \qquad (18)$$

สมการ (15) เป็นตัวกำหนดระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำของกระบวนการ M โดยมีค่าเท่ากับความต้องการเฉลี่ยของแผนกประกอบยาง 1.5 วัน สมการ (16) เป็นการหาจำนวนสินค้าคงคลัง (เส้น) ของกระบวนการ M ณ เวลาสิ้นสุดวัน โดยนำสินค้าคงคลัง ตอนเริ่มวันรวมกับจำนวนที่ผลิตเพิ่มและหักลบกับจำนวนที่กระบวนการ R ใช้ ซึ่งสินค้าคงคลังตอนเริ่มวันจะเท่ากับสินค้าคงคลัง ณ เวลาสิ้นสุดวันก่อนหน้า ดังสมการ (17) ท้ายที่สุดสินค้าคงคลัง ณ เวลาสิ้นสุดของแต่ละวันจะต้องไม่ต่ำกว่าระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ ดังสมการ (18)

สินค้าคงคลังของกระบวนการ R ในวันที่ k จะต้องมีไม่ต่ำกว่าระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ (Safety Stock) ดังสมการ (19)-(22)

$$SSR_{jk} = \frac{\sum_{k=1}^{7} D_{j,k}}{6} * 0.75 \quad ; \forall j,k \qquad (19)$$

$$GR_{jk} = FR_{jk} + P_{ijk} - P_{ljk} \quad ; \forall i \in R, \forall l \in H, \forall j,k \qquad (20)$$

$$FR_{jk} = GR_{j,k-1} \quad ; \forall j,k \qquad (21)$$

$$GR_{jk} \geq SSR_{jk} \quad ; \forall j,k \qquad (22)$$

สมการ (19) เป็นตัวกำหนดระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำของกระบวนการ R โดยมีค่าเท่ากับความต้องการเฉลี่ยของแผนกประกอบยาง 0.75 วัน สมการ (20) เป็นการหาจำนวนสินค้าคงคลัง (เส้น) ของกระบวนการ R ณ เวลาสิ้นสุดวัน โดยนำสินค้าคงคลัง ตอนเริ่มวันรวมกับจำนวนที่ผลิตเพิ่มและหักลบกับจำนวนที่กระบวนการ H ใช้ ซึ่งสินค้าคงคลังตอนเริ่มวันจะเท่ากับสินค้าคงคลัง ณ เวลาสิ้นสุดวันก่อนหน้า ดังสมการ (21) ท้ายที่สุดสินค้าคงคลัง ณ เวลาสิ้นสุดของแต่ละวันจะต้องไม่ต่ำกว่าระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ ดังสมการ (22)

สินค้าคงคลังของกระบวนการ H ในวันที่ k จะต้องมีไม่ต่ำกว่าระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ (Safety Stock) ดังสมการ (23)-(26)

$$SSH_{jk} = \frac{\sum_{k=1}^{7} D_{j,k}}{6} \quad ; \forall j,k \qquad (23)$$

$$GH_{jk} = FH_{jk} + P_{ijk} - D_{jk} \quad ; \forall i \in H, \forall j,k \qquad (24)$$

$$FH_{jk} = GH_{j,k-1} \quad ; \forall j,k \qquad (25)$$

$$GH_{jk} \geq SSH_{jk} \quad ; \forall j,k \qquad (26)$$

สมการ (23) เป็นตัวกำหนดระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำของกระบวนการ H โดยมีค่าเท่ากับความต้องการเฉลี่ยของแผนกประกอบยาง 1 วัน สมการ (24) เป็นการหาจำนวนสินค้าคงคลัง (เส้น) ของกระบวนการ H ณ เวลาสิ้นสุดวัน โดยนำสินค้าคงคลัง ตอนเริ่มวันรวมกับจำนวนที่ผลิตเพิ่มและหักลบกับจำนวนแผนกประกอบยางใช้ ซึ่งสินค้าคงคลังตอนเริ่มวันจะเท่ากับสินค้าคงคลัง ณ เวลาสิ้นสุดวันก่อนหน้า ดังสมการ (25) ท้ายที่สุดสินค้าคงคลัง ณ เวลาสิ้นสุดของแต่ละวันจะต้องไม่ต่ำกว่าระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ ดังสมการ (26)

เนื่องจากพื้นที่ในการจัดเก็บภายในแผนกขอบยางมีจำกัด จำนวนรถเข็นที่ใช้ในการจัดเก็บจึงต้องนำมาเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจำนวนรถเข็นมีค่าเท่ากับผลรวมสินค้าคงคลังทั้งหมดจากทุกกระบวนการหารด้วยขนาดการสั่งผลิตดังสมการ (27)

$$\frac{GM_{jk} + GR_{jk} + GH_{jk}}{L_j} \leq H \quad ; \forall j,k \qquad (27)$$

3.2.5 จำนวนวันที่เปิดเครื่องจักรน้อยที่สุด

การหาจำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดก่อให้เกิดการผลิตที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงเกิดเป็นแบบจำลองฯ ในการหาจำนวนวันที่เปิดเครื่องจักรน้อยที่สุดเพื่อทำให้มีการใช้งานเครื่องจักรอย่างเต็มที่ ซึ่งจำนวนวันที่

เปิดเครื่องจักรมีผลกระทบโดยตรงต่อจำนวนแรงงานที่ต้องการในการดำเนินงาน

1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function): ผลรวมของจำนวนวันที่เปิดเครื่องจักร i ตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ k มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการ (30)

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^{14}\sum_{i=1}^{13} Z_{ik} \qquad (30)$$

2) เงื่อนไข

เงื่อนไขของแบบจำลองนี้เหมือนกับแบบจำลองที่ 1 จำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด โดยมีสมการเพิ่มเติม คือ จำนวนวันที่เครื่องจักร i ที่เปิดทำการผลิตในวันที่ k สามารถคำนวณจากสมการ (31) และ (32)

$$\sum_{j=1}^{6} Y_{ijk} \leq RZ_{ik} \qquad ;\forall i,k \qquad (31)$$

$$Z_{ik} \in \{0,1\} \qquad ;\forall i,k \qquad (32)$$

3.2.6 จำนวนรถเข็นที่จัดเก็บน้อยที่สุด

การจัดเก็บรถเข็นในปริมาณที่เหมาะสมช่วยให้ระบบทำงานด้วยความราบรื่น อีกทั้งจำนวนพื้นที่ภายในแผนกขอบยางมีอย่างจำกัด จึงต้องการค้นหาแบบจำลองฯ สำหรับกรณีที่ทำให้ใช้พื้นที่จัดเก็บให้น้อยที่สุด

1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function): ค่าเฉลี่ยของจำนวนรถเข็นที่เก็บในช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ k มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการ (33)

$$\text{Min } Z = \frac{\sum_{k=1}^{14}\sum_{j=1}^{6}(GM_{jk} + GR_{jk} + GH_{jk})}{14} \qquad (33)$$

2) เงื่อนไข

เงื่อนไขของแบบจำลองนี้เหมือนกับแบบจำลองที่ 1 จำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด

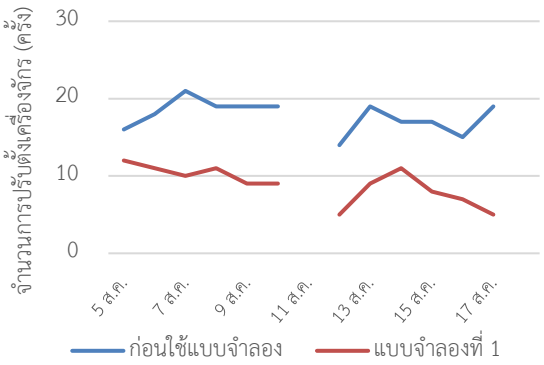
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกนำไปหาคำตอบโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล MSI GL65 Leopard 10th Gen. Intel® Core™ i7 Processor ในโปรแกรม Microsoft Office 365: Excel ที่ติดตั้งโปรแกรม OpenSolver เวอร์ชัน 2.9.3 เพิ่มเติม โดยตั้งค่า Branch and Bound tolerance ที่ 10% ใช้เวลาในการหาคำตอบภายในเวลา 3 นาที

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและทดลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับความต้องการของแผนกประกอบยาง ช่วงเวลา 2 สัปดาห์ระหว่างวันที่ 5 ถึง 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2567 ผลลัพธ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 แบบจำลองเป็นดังต่อไปนี้

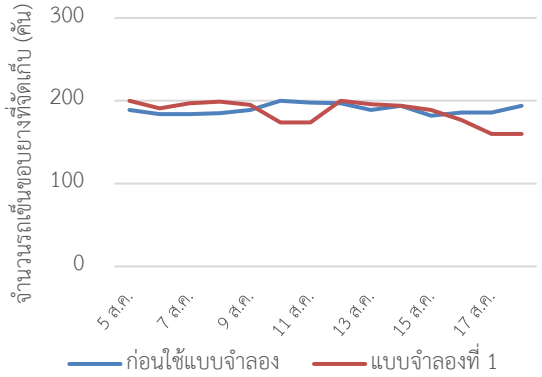
4.1 ผลของแบบจำลองฯ ที่ 1 จำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด

ตารางการผลิตของแผนกขอบยางจากแบบจำลองที่ 1 มีจำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรอยู่ที่ 107 ครั้งในช่วง 2 สัปดาห์ ลดลงร้อยละ 49.8 เมื่อเทียบกับจำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนการใช้แบบจำลองฯ ดังรูปที่ 2



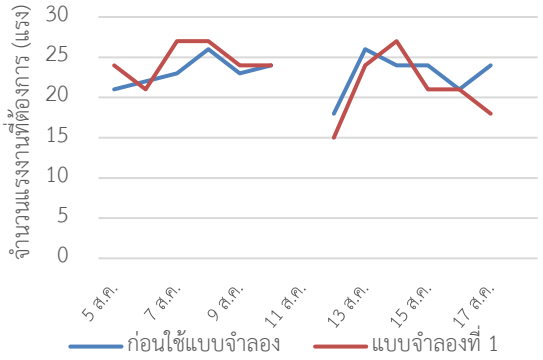
รูปที่ 2 จำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 1 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

แบบจำลองที่ 1 ไม่ได้ทำให้ปริมาณสินค้าคงคลังเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณสินค้าคงคลังลดลงร้อยละ 1.92 จากเดิมสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 190 คันต่อวัน เหลือ 186 คันต่อวัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 จำนวนรถเข็นที่จัดเก็บในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 1 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

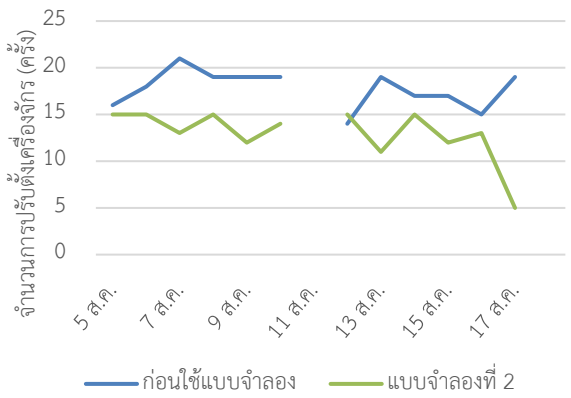
จำนวนแรงงานที่ต้องการจากแบบจำลองที่ 1 ลดลงร้อยละ 1.09 โดยก่อนการใช้แบบจำลองต้องการแรงงานที่ 276 แรง ลดลงเป็น 273 แรง ในช่วงที่ทำการศึกษา ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 จำนวนแรงงานที่ต้องการในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 1 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

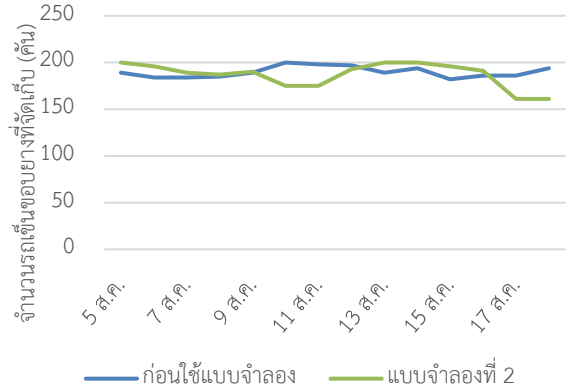
4.2 ผลของแบบจำลองฯ ที่ 2 จำนวนวันที่เปิดเครื่องจักรน้อยที่สุด

จำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงร้อยละ 27.23 เมื่อเทียบกับจำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนการใช้แบบจำลองฯ อยู่ที่ 155 ครั้งในช่วง 2 สัปดาห์ ดังรูปที่ 5



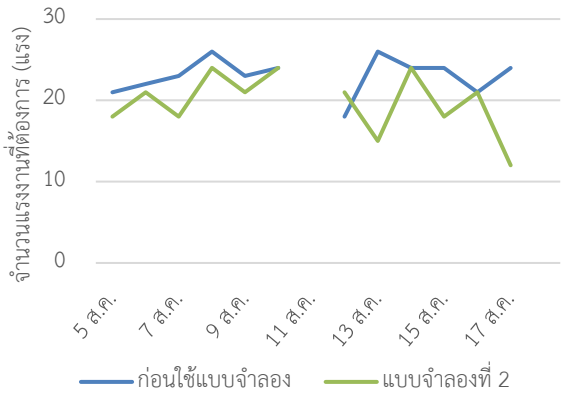
รูปที่ 5 จำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

ปริมาณสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยจากแบบจำลองที่ 2 ลดลงเล็กน้อยร้อยละ 1.62 เมื่อเทียบกับก่อนใช้แบบจำลอง โดยลดลงจาก 190 คันต่อวันเป็น 187 คันต่อวัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 จำนวนรถเข็นที่จัดเก็บในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

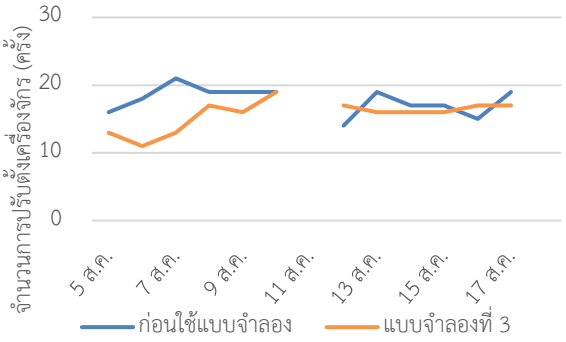
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เครื่องจักรที่มีอยู่ ส่งผลให้จำนวนแรงงานที่ต้องการลดลงร้อยละ 14.13 จากเดิมต้องการแรงงานจำนวน 276 แรงเป็น 237 แรงในช่วงที่ทำการศึกษา ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 จำนวนแรงงานที่ต้องการในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

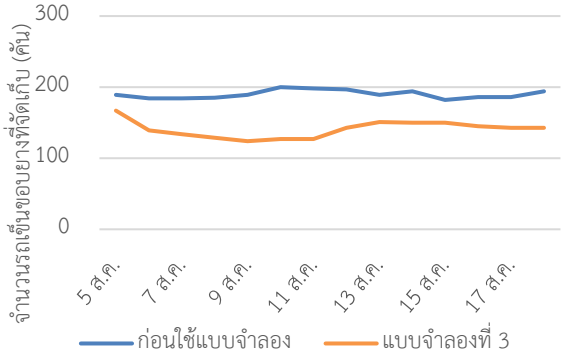
4.3 ผลของแบบจำลองฯ ที่ 3 จำนวนรถเข็นที่จัดเก็บน้อยที่สุด

หลังนำแบบจำลองที่ 3 มาใช้ พบว่าจำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงร้อยละ 11.74 จาก 213 ครั้ง เป็น 188 ครั้ง ดังรูปที่ 8



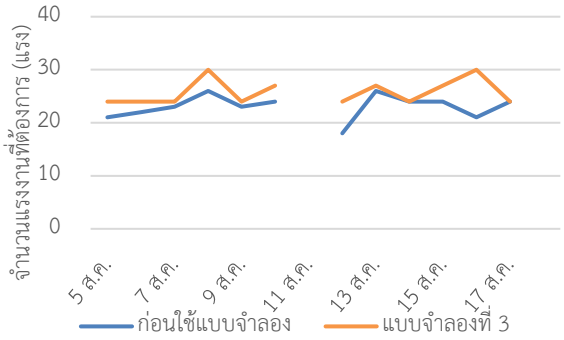
รูปที่ 8 จำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 3 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

ปริมาณสินค้าคงคลังเฉลี่ยลดลงร้อยละ 25.78 จากเดิมเก็บสินค้าคงคลังเฉลี่ยที่ 190 คันต่อวัน ลดลงเป็น 141 คันต่อวัน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 จำนวนรถเข็นที่จัดเก็บในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 3 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

จำนวนแรงงานที่ต้องการเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.96 จาก 276 แรงเป็น 309 แรงในช่วงที่ทำการศึกษา ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 จำนวนแรงงานที่ต้องการในช่วงที่ศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 3 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงในช่วงที่ศึกษา

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ปัจจุบันแผนกขอบยางของบริษัทกรณีศึกษามีระบบการผลิตเป็นเครื่องจักรขนานหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน การวางแผนการผลิตทำแยกกันในแต่ละกระบวนการ โดยความต้องการของลูกค้า และปริมาณสินค้าคงคลังของแผนกขอบยางถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาชนิดของขอบยางที่จะทำการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ซึ่งไม่ได้ระบุจำนวนที่ต้องผลิต ส่งผลให้สินค้าคงคลังของแผนกขอบยางมีมากเกินความจำเป็น

งานวิจัยนี้ประยุกต์การจัดตารางการผลิตรวมของแผนกขอบยางในโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำให้สินค้าคงคลังของแผนกขอบยางลดลง เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และจำนวนพื้นที่ที่มีถูกนำมาเป็นหนึ่งในเงื่อนไขของแบบจำลอง โดยศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 แบบดังที่ได้แสดงสมการไว้ในส่วนที่ 3 ของงานวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วางแผนการผลิตรวม ระหว่างก่อนและหลังใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 8 พบว่า แบบจำลองที่ 1 สามารถลดความถี่ในการปรับตั้งเครื่องจักรได้มากถึงร้อยละ 49.77 โดยไม่ได้ทำให้จำนวนแรงงาน และปริมาณสินค้าคงคลังที่ต้องการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบจำนวนการปรับตั้งเครื่องจักร ปริมาณสินค้าคงคลังในหน่วยรถเข็น และจำนวนแรงงาน ระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ และก่อนใช้แบบจำลอง

ผลลัพธ์	แบบจำลอง 1	แบบจำลอง 2	แบบจำลอง 3
จำนวนการปรับตั้ง (ครั้ง)	-49.8%	-27.2%	-11.7%
จำนวนแรงงาน (แรง)	-2.2%	-14.1%	11.9%
สินค้าคงคลัง (คัน)	-0.9%	-1.6%	-25.8%

แบบจำลองที่ 2 ต้องการลดจำนวนวันเปิดเครื่องจักรลง ส่งผลให้จำนวนแรงงานที่ต้องการลดลงร้อยละ 14.13 และการปรับตั้งเครื่องจักรลดลง ร้อยละ 27.23 อีกทั้งปริมาณสินค้าคงคลังยังลดลงร้อยละ 1.62

แบบจำลองที่ 3 มุ่งเน้นไปที่ปริมาณสินค้าคงคลังที่น้อยที่สุด ดังนั้นสินค้าคงคลังจึงลดลง ร้อยละ 25.78 และความถี่ในการปรับตั้งเครื่องจักรก็ลดลงเช่นเดียวกัน โดยลดลงร้อยละ 11.74 แต่เนื่องจากลดปริมาณสินค้าคงคลังลงส่งผลให้แผนกขอบยางจำเป็นต้องมีความพร้อมในการผลิตตลอดเวลา ทำให้จำนวนแรงงานที่ต้องการเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.96 แต่แรงงานเหล่านี้ไม่ได้ทำงานเต็มประสิทธิภาพ

จากผลลัพธ์ข้างต้น พบว่าแบบจำลองทั้ง 3 แบบสามารถช่วยปรับปรุงการวางแผนการผลิตให้มีปริมาณสินค้าคงคลังลดลงจากก่อนการใช้แบบจำลองได้ทั้งหมด โดยผลลัพธ์ในด้านปริมาณสินค้าคงคลังต่อวันต่ำกว่าพื้นที่ที่แผนกขอบยางมีอยู่ซึ่งเท่ากับ 200 ที่ สะท้อนให้เห็นว่า แบบจำลองทั้ง 3 สามารถตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ที่ต้องการลดปริมาณสินค้าคงคลังลงได้

ในแง่ของการดำเนินธุรกิจ แรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับต้นทุนของสินค้า ซึ่งมูลค่าสูงรองมาจากต้นทุนวัตถุดิบเท่านั้น โดยแบบจำลองที่ 2 มีความสามารถที่โดดเด่นในการลดจำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตขอบยางได้มากที่สุด โดยสามารถลดจำนวนแรงงานลงถึงร้อยละ 14.13 ทั้งยังสามารถลดจำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรลงได้อย่างมีนัยสำคัญถึงร้อยละ 27.23 ซึ่งทำให้การผลิตต่อเนื่องมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะใช้แบบจำลองที่ 2 เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการวางแผนการผลิตขอบยาง ของโรงงานกรณีศึกษา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำการศึกษาได้มีหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งการแยกวิเคราะห์แบบจำลองตามวัตถุประสงค์แต่ละด้านอาจไม่สะท้อนผลลัพธ์ที่สมดุลเพียงพอในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงควรใช้แนวทาง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Mathematical Modeling) เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์และการแลกเปลี่ยน (Trade-off) ระหว่างวัตถุประสงค์ต่าง ๆ อย่างเหมาะสมในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ดำรงค์ ถาวร, *การจัดการการผลิต*. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2565.

[2] พิภพ ลลิตาภรณ์, *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2556.

[3] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์, *กำหนดการเชิงเส้น Linear Programming*. กรุงเทพฯ: แดเน็กซ์อินเตอร์ คอร์ปอเรชั่น, 2560.

[4] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, *การหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[5] G.D.H. Claassen et al., "On production planning and scheduling in food processing industry: Modelling non-triangular setups and product decay," Computers *& Operation Research.*, vol. 76, pp. 147-154, 2016.

[6] จักรวาล คุณะดิลก และ อารดา ไชยโคตร, "การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน.,* ปีที่ 9, ฉบับที่ 2, น. 104-116, 2564.

[7] Y. Shang et al., "An adaptable scheduling model for mixed flexible flow line with production continuity and processing capacity," *Computer & Industrial Engineering.*, vol. 192, 2024, doi: 10.1016/j.cie.2024.110239.

[8] O. Benbrik et al., "Mathematical programming formulations for sequence-dependent setup-times and availability constraints," *Procedia Computer Science.*, vol. 232, pp. 2959-2972, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.02.112.

[9] Productivity Press Development Team, *OEE for Operators: Overall Equipment Effectiveness*, 1st ed. New York: Productivity Press, 1999.