

การจำลองสถานการณ์สำหรับการปรับปรุงสายการผลิตด้วยการปรับเรียงการไหล

Computer Simulation for Enhancing Gear Production Line

with Flow Smoothing

กิริฎี คงเจริญ ประกายกานต์ สุขสมัย บุษบา พุทธาพันธ์รัตน์ *

หน่วยวิจัยทางการวิจัยดำเนินงานและสถิติอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

Keeradee Kongcharoen Prakaikan Suksamai Busaba Pruksaphanrat *

Industrial Statistics and Operational Research Unit (ISO-RU), Faculty of Engineering,

Thammasat School of Engineering, Thammasat University.

99 Moo 18, Phaholyothin Rd., Klong Nueng, Khlong Luang, Pathumthani 12121

*Corresponding author Email: lbusaba@engr.tu.ac.th

(Received: June 23, 2024; Revised: January 29, 2025 ; Accepted: April 3, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับเรียงสายการผลิตที่เป็นการผลิตเกียร์ 11 กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้แรงงานคนควบคู่กับเครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติและมีการจัดสายการผลิตแบบการไหลที่ละชิ้น (One piece flow) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Job shop) เนื่องจากปัจจุบันยังไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้ทันตามความต้องการของลูกค้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุง โดยการปรับปรุงสายการผลิตได้มีการใช้วิธีการปรับขนาดล็อต, วิธีการจัดลำดับงานที่มีเวลาดำเนินการน้อยสุดก่อนโดยพิจารณาจากสถานที่เป็นข้อจำกัด, การเพิ่มทรัพยากร และการใช้วิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นร่วมกัน จากการทดลองพบว่าวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงคือการปรับขนาดล็อตและการจัดลำดับงานที่มีเวลาดำเนินการน้อยสุดก่อนร่วมกัน ทำให้สายการผลิตสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตได้ 37.30% ค่าการใช้ทรัพยากรประโยชน์ของพนักงานเพิ่มขึ้น 15.42% ค่าการใช้ทรัพยากรประโยชน์ของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 15.41% ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้น 6.86%

คำสำคัญ: การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ การปรับเรียงการไหล ล็อตขนาดเล็ก ทฤษฎีข้อจำกัด

ABSTRACT

This research aims to find ways to smooth the flow of the production line, which produces 11 product groups of gears that involve both manual labor and semi-automatic machinery and have the production line with one-piece flow and job shop configurations. Currently, this production line cannot meet customer demand. Therefore, computer simulation was used to assist in the analysis of the improvement methods. The improvement of the gear production line involved adjusting batch sizes, prioritizing jobs with the Shortest Processing Time (SPT) considering the bottleneck stations, increasing resources, and employing various methods together. Experimental results showed that the most

effective methods were adjusting batch sizes and prioritizing jobs with SPT together, resulting in a 37.30% increase in gear production rate, a 15.42% and 15.41% increase in employee and machine utilizations, leading to an improvement in production line efficiency 6.86%.

Keyword: Computer simulation, flow smoothing, small lot, theory of constraint.

1. บทนำ

ในปัจจุบันภาคการเกษตรมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลทางการเกษตรจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกษตรกรสามารถทุนแรงและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ด้วยความต้องการเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่สูงขึ้น ทำให้ผู้ผลิตประสบปัญหาในการผลิตและมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความสามารถในการผลิตให้สูงขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตเครื่องจักรกลและเครื่องจักรอุตสาหกรรมทางการเกษตร ผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานกรณีศึกษามีหลากหลายประเภท เช่น รถแทรกเตอร์ รถไถ รถดำนา รถเกี่ยวรวงข้าว รถขุดขนาดเล็ก อุปกรณ์ต่อพ่วงแทรกเตอร์ อุปกรณ์ต่อพ่วงรถขุดขนาดเล็ก เครื่องยนต์ดีเซล และโดรนการเกษตร โดยสายการผลิตที่ทำการศึกษเป็นสายการผลิตเกี่ยวจำนวน 11 กลุ่มประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 20 รายการ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของรถแทรกเตอร์

ในสายการผลิตเกี่ยวปัจจุบันมีการใช้แรงงานคนควบคู่กับเครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติและมีสายการผลิต 2 ประเภท คือ การผลิตทีละชิ้น (One piece flow) [1] และการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job shop) โดยในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์จะผลิตในสายการผลิตเดียวกัน แต่เวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า สายการผลิตไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ ขาดความสมดุล พบปัญหาการรอคอยในการเปลี่ยนสถานีงาน พนักงานและเครื่องจักรมีการทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงสายการผลิตใน

ปัจจุบัน เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การจัดสมดุลสายการผลิตได้ถูกนำมาวิเคราะห์การปรับปรุงสายการผลิตในงานวิจัยต่าง ๆ [2]-[3] นอกจากนั้นยังมีการใช้เทคนิคการปรับปรุงงาน ECRS หรือแนวคิดลีน [4]-[5] ก็ได้ถูกนำมาใช้ในการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปแล้วการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์จะถูกนำมาใช้ในการแสดงผลและวิเคราะห์ผลเพื่อให้เห็นภาพอย่างชัดเจนของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น [6] โดยเป้าหมายหลักส่วนใหญ่คือการสร้างสมดุล เพิ่มผลผลิต และประสิทธิภาพในการผลิตนั่นเอง

จากปัญหาของของกระบวนการผลิตเกี่ยวของโรงงานกรณีศึกษาที่มีการผลิตเป็นแบบเซลล์ มีการผลิตใน 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นการผลิตทีละชิ้นและส่วนที่เป็นการผลิตที่ไม่ต่อเนื่อง ปัจจุบันประสบปัญหาการกองงานในส่วนของการผลิตที่ไม่ต่อเนื่องเนื่องจากมีการไหลของงานมาอย่างต่อเนื่องในส่วนของการผลิตทีละชิ้น แต่ในส่วนของการผลิตที่ไม่ต่อเนื่องมีการผลิตที่จะต้องรอรวมเป็นรุ่นก่อนส่งไปยังเครื่องจักรต่อไป ซึ่งส่งผลให้เกิดการรอคอยในกระบวนการผลิตและผลิตออกมาไม่ได้ตามจำนวนที่ต้องการ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้การพิจารณาปรับเรียบการไหล (Smoothing flow) เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการและการจัดสรรทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยการวิเคราะห์ความสมดุลสายการผลิตและประยุกต์ใช้แนวคิดการปรับขนาดล็อตเล็ก (Small lot) [7] เพื่อลดเวลาการรอคอยงานรวมรุ่น, ทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of constraint) เพื่อวิเคราะห์

หาคอขวด [8] และจัดการการไหลบริเวณคอขวดให้ต่อเนื่อง, การจัดลำดับงานที่เวลาดำเนินงานต่ำสุดก่อน (Shortest Processing Time) เพื่อให้เวลาในระบบต่ำสุด [9] และการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ [10] เพื่อให้ได้แนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงงานกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

องค์ประกอบของการผลิตแบบลีน ประกอบไปด้วย ทรัพยากรที่ปรับเปลี่ยนได้ง่าย การจัดผังโรงงานแบบเซลล์ ระบบการผลิตแบบดึง การควบคุมด้วยคัมบัง การผลิตที่ขนาดล็อตเล็ก ๆ การติดตั้งที่รวดเร็ว คุณภาพ ณ จุดกำเนิด การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา และโครงข่ายผู้ส่งมอบ [5-7,9] โดยในงานวิจัยนี้จะสร้างสมดุลการไหลโดยการปรับขนาดล็อตเล็กเพื่อลดเวลารอคอยในการผลิต ขนาดล็อตสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ขนาดล็อต} = \frac{\text{เวลาในการผลิตต่อหนึ่งล็อต}}{\text{รอบเวลาการทำงาน} + \text{เวลาในการติดตั้ง}} \quad (1)$$

ทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of constraint) คือการระบุคอขวด (Bottleneck) ของสายการผลิต [8-9] เนื่องจากเป็นจุดที่กำหนดอัตราการออกของงานจึงจำเป็นต้องมีการจัดการไหลเข้าของงานอย่างต่อเนื่อง ในงานวิจัยนี้ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาจุดที่ควรทำการปรับปรุงเพื่อให้ระบบดีขึ้น

การจัดลำดับงานด้วยวิธีเวลาดำเนินงานน้อยสุด (Shortest Processing Time, SPT) [9] ในการเลือกงานเข้าสู่เครื่องจักรที่เป็นคอขวด เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยเวลางานที่อยู่ในระบบต่ำสุดและลดปริมาณงานค้างที่อยู่ในระบบต่ำสุด วิธี SPT คือวิธีที่เหมาะสมในการจัดลำดับงานสำหรับกรณี 1 เครื่องจักรและเครื่องจักรวางแบบขนาน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

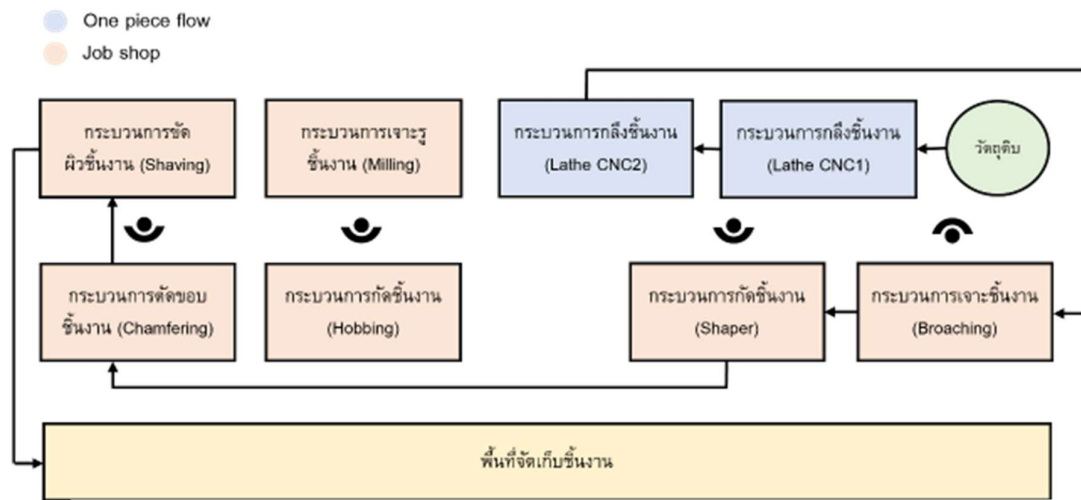
โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตเครื่องจักรกลและเครื่องจักรอุตสาหกรรมการเกษตร โดยผลิตภัณฑ์ที่

ทำการศึกษาคือ เกียร์ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของรถแทรกเตอร์ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 เก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเกียร์

1. ในการศึกษาสายการผลิตเกียร์ ได้ทำการแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกันเข้าไว้ด้วยกันได้เป็น 11 กลุ่มผลิตภัณฑ์จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 20 ชนิด ในสายการผลิตของทั้ง 11 กลุ่มผลิตภัณฑ์มีการใช้เครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติควบคู่กับแรงงานคน โดยมีแรงงานคนทั้งหมด 4 คน และสามารถแบ่งการผลิตได้เป็น 2 ประเภทคือการผลิตแบบการผลิตที่ละชิ้น (One piece flow) และการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job shop) โดยทั้ง 2 ส่วนทำการผลิตต่อเนื่องกัน การผลิตแบบการผลิตที่ละชิ้นจะมี 2 กระบวนการคือ กระบวนการกลึงชิ้นงาน 1 (Lathe CNC 1) และกระบวนการกลึงชิ้นงาน 2 (Lathe CNC 2) การผลิตแบบไม่ต่อเนื่องมี 6 กระบวนการ คือ กระบวนการเจาะชิ้นงาน (Broaching) กระบวนการกัดชิ้นงาน (Hobbing) กระบวนการกัดชิ้นงาน (Shaper) กระบวนการตัดขอบชิ้นงาน (Chamfering) กระบวนการเจาะรูชิ้นงาน (Milling) และกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน (Shaving) และกลุ่มผลิตภัณฑ์ทั้ง 11 กลุ่มผลิตภัณฑ์มีสายการผลิตที่ไม่เหมือนกัน โดยยกตัวอย่างสายการผลิตของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 1

จากสายการผลิตของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1 มีการดำเนินงานทั้งหมด 6 กระบวนการ โดยเริ่มจากกระบวนการผลิตที่ละชิ้นคือ กระบวนการกลึงชิ้นงาน 1 (Lathe CNC 1) และกระบวนการกลึงชิ้นงาน 2 (Lathe CNC 2) และผ่านกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องกัน ไปยังกระบวนการเจาะชิ้นงาน (Broaching) กระบวนการกัดชิ้นงาน (Shaper) กระบวนการตัดขอบชิ้นงาน (Chamfering) และกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน (Shaving) โดยกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1 จะไม่ผ่านกระบวนการกัดชิ้นงาน (Hobbing) และกระบวนการเจาะรูชิ้นงาน (Milling) โดยกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 3 จะผ่านกระบวนการกัดชิ้นงาน (Hobbing) และกระบวนการเจาะรูชิ้นงาน (Milling)



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตเกียร์ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1

2. ทำการศึกษาเวลาการปฏิบัติงานในแต่ละกระบวนการสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ทั้งหมด โดยจับเวลาการปฏิบัติงานแต่ละสถานีย่อย วิเคราะห์ข้อมูลเวลาให้มีความน่าเชื่อถือ และคำนวณเวลามาตรฐานตามหลักการศึกษางาน (work study) แต่ละกระบวนการผลิต [4]

3.2 วิเคราะห์ปัญหาของสายการผลิตและหาแนวทางในการปรับปรุงการผลิตเบื้องต้น

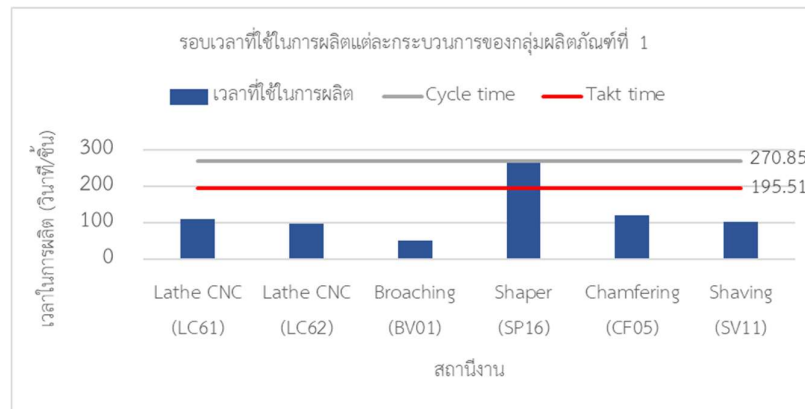
ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาใช้ชั่วโมงการทำงานคือ 10.5 ชั่วโมง/กะ (1 วันมี 2 กะ ทำงาน 21 ชั่วโมง/วัน) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีรอบเวลาการทำงาน (cycle time) และจังหวะความต้องการของลูกค้า (Takt time) แสดงในตารางที่ 1 และตัวอย่างกราฟสมดุลสายการผลิตของแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1 แสดงดังรูปที่ 2 กระบวนการคอขวดของผลิตภัณฑ์ต่างๆ แตกต่างกันไปโดยผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 2 คือกระบวนการกัดชิ้นงาน (Shaper), กระบวนการคอขวดของผลิตภัณฑ์ที่ 3-9 คือกระบวนการกัดชิ้นงาน (Hobbing), กระบวนการคอขวดของผลิตภัณฑ์ที่ 10 คือกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน (Shaving) และกระบวนการคอขวดของผลิตภัณฑ์ที่ 11 คือกระบวนการเจาะรูชิ้นงาน (Milling)

หลังจากทำการวิเคราะห์สายการผลิตเกียร์ของทั้ง 11 กลุ่มผลิตภัณฑ์พบว่าสายการผลิตไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามความต้องการของลูกค้า การไหลของกระบวนการ

ไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากมีการปรับสายการผลิตเป็นการผลิตที่ละชิ้นในส่วนแรกและมีการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องในส่วนหลังโดยส่งต่อเป็นรุ่น ทำให้เกิดการรอคอยงานให้ครบรุ่นก่อนส่งไปยังกระบวนการถัดไปจึงพิจารณาแนวทางในการปรับเรียงการไหล

ตารางที่ 1 Takt time และ Cycle time ของทั้ง 11 กลุ่มผลิตภัณฑ์

กลุ่มผลิตภัณฑ์	เป้าหมายเฉลี่ย (ชิ้น/เดือน)	เป้าหมายเฉลี่ย (ชิ้น/วัน)	Cycle time (วินาที/ชิ้น)	Takt time (วินาที/ชิ้น)
1	2,284	96	270.85	195.51
2	1,200	50	252.95	182.59
3	792	33	213.52	154.13
4	408	17	212.35	153.28
5	67	3	97.80	70.60
6	67	3	334.97	241.80
7	4,294	179	169.73	122.52
8	3,468	145	92.86	67.03
9	1,240	52	165.23	119.28
10	150	7	98.09	70.81
11	59	3	333.79	240.95



รูปที่ 2 กราฟสมดุลสายการผลิตของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1

หลักการที่นำมาใช้ในการปรับเรียบคือการปรับขนาดล็อตการผลิตขนาดเล็ก ทฤษฎีข้อจำกัด การจัดลำดับงานแบบ SPT และการเพิ่มจำนวนทรัพยากรที่กระบวนการคอขวด โดยในการทดลองจะใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้

3.3 สร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ก่อนการปรับปรุงและตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล

ในการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ของสายการผลิตก่อนการปรับปรุง โดยใช้โปรแกรม Pro Model ต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาในแต่ละกระบวนการตามหลักการศึกษาและนำข้อมูลไปทดสอบทางด้านสถิติเพื่อหาการแจกแจงที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Stat::Fit [10] ตัวอย่างข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2 โดยเวลาของเครื่องจักรเป็นค่าคงที่เนื่องจากเป็นเครื่องจักรอัตโนมัติมีอัตราการทำงานเท่ากันทุกชิ้นงานในแต่ละผลิตภัณฑ์

ทำการจำลองระบบก่อนปรับปรุง (แบบจำลองที่ 1) แบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 3 และตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) โดยตรวจสอบจากภาพเคลื่อนไหว ตรวจสอบข้อผิดพลาดจากการเขียนโปรแกรม (Trace and debug) และจากจำนวนที่ผลิตได้จากการคำนวณด้วยค่าเฉลี่ยเทียบกับผลการจำลอง ทำการรันโปรแกรมจำนวน 30 รอบแบบกำหนดการหยุด

(Terminating Simulation) และมีการอุ่นเครื่อง (warm up) การจำลองก่อนการจำลองจริง 1 เดือนโดยข้อมูลนำเข้าเป็นปริมาณความต้องการของลูกค้าในทุกผลิตภัณฑ์ใน 1 เดือน พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.14% ดังแสดงในตารางที่ 3 และทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation) โดยเปรียบเทียบค่าจริงที่ผลิตได้กับที่ได้จากการจำลองระบบพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วย t-test และทดสอบความแปรปรวนด้วย Chi Square test [11] พบว่าความแปรปรวนของระบบจริงไม่แตกต่างจากระบบที่จำลองขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4

หลังจากนั้นจำลองระบบที่ทำการปรับปรุงด้วยวิธีการจัดการแบบใหม่แบ่งได้เป็น 7 รูปแบบคือ

แบบจำลองที่ 2 : ใช้วิธีการปรับขนาดล็อตการผลิตทั้ง 11 กลุ่มผลิตภัณฑ์ เพื่อลดเวลาในการผลิตแต่ละล็อตและลดเวลารอคอยงานรวมรุ่น

แบบจำลองที่ 3 : จัดลำดับการผลิตใหม่โดยใช้หลักการ SPT โดยดูเวลาจากกระบวนการคอขวดเพื่อให้งานออกจากกระบวนการคอขวดเร็วที่สุด ลดเวลางานที่อยู่ในระบบและเวลารอคอย

แบบจำลองที่ 4 : เพิ่มจำนวนทรัพยากรที่เป็นคอขวดเพื่อลดเวลารอคอยและเพิ่มความสามารถในการผลิต

หลังจากนั้นนำแนวทางในการปรับปรุงแต่ละวิธีมาใช้งานร่วมกันเพื่อให้สายการผลิตเกิดประสิทธิภาพสูงสุดดังนี้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1

สถานีหลัก	ขั้นตอนการทำงานหลัก	ลำดับงานย่อย	เวลามาตรฐาน (วินาที/ชิ้น)	ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล	ทดสอบความสม่ำเสมอของข้อมูล	ทดสอบการแจกแจงที่เหมาะสม	พารามิเตอร์
1	กระบวนการกลึงชิ้นงาน (Lathe CNC 1)	โหลดงานเข้าเครื่อง	10.18	ผ่าน	ผ่าน	Inverse Weibull	Inverse Weibull (9, 2.16, 1.25)
		Lathe CNC1 ทำงาน	92.20	-	-	-	92.20
		โหลดงานออกจากเครื่อง	8.27	ผ่าน	ผ่าน	Johnson SB	Johnson SB (6, 3.89, - 0.505, 0.536)
2	กระบวนการกลึงชิ้นงาน (Lathe CNC 2)	โหลดงานเข้าเครื่อง	12.43	ผ่าน	ผ่าน	Inverse Weibull	Inverse Weibull (11, 3.96, 0.892)
		Lathe CNC 2 ทำงาน	57.53	-	-	-	57.53
		โหลดงานออกจากเครื่อง	27.63	ผ่าน	ผ่าน	Loglogistic	Loglogistic (24, 4.2, 3.36)
3	กระบวนการเจาะชิ้นงาน (Broaching)	โหลดงานเข้าเครื่อง	9.09	ผ่าน	ผ่าน	Weibull	Weibull (7, 2.28, 2.41)
		Broaching machine ทำงาน	26.37	-	-	-	26.37
		โหลดงานออกจากเครื่อง	15.25	ผ่าน	ผ่าน	Johnson SB	Johnson SB (11, 6.88, - 0.551, 0.894)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1 (ต่อ)

สถานีหลัก	ขั้นตอนการทำงานหลัก	ลำดับงานย่อย	เวลามาตรฐาน (วินาที/ชิ้น)	ทดสอบ ความเป็น อิสระของ ข้อมูล	ทดสอบ ความ สม่ำเสมอ ของข้อมูล	ทดสอบการ แจกแจงที่ เหมาะสม	พารามิเตอร์
4	กระบวนการ กัดชิ้นงาน (Shaper1)	โหลดงาน เข้าเครื่อง	18.02	ผ่าน	ผ่าน	Loglogistic	Loglogistic (11, 2.77, 2.08)
		Shaper machine ทำงาน	231.83	-	-	-	231.83
		โหลดงาน ออกจาก เครื่อง	21.00	ผ่าน	ผ่าน	Triangular	Triangular (17, 25.2, 21.4)
5	กระบวนการ ตัดขอบ ชิ้นงาน (Chamfering)	โหลดงาน เข้าเครื่อง	7.45	ผ่าน	ผ่าน	Triangular	Triangular (5, 9.98, 7.16)
		Chamfering machine ทำงาน	97.00	-	-	-	97.00
		โหลดงาน ออกจาก เครื่อง	15.70	ผ่าน	ผ่าน	Weibull	Weibull (11, 3.74, 5.18)
6	กระบวนการ ขัดผิวชิ้นงาน (Shaving1)	โหลดงาน เข้าเครื่อง	17.53	ผ่าน	ผ่าน	Weibull	Weibull (15, 3.59, 2.82)
		Shaving machine ทำงาน	120.73	-	-	-	120.73
		โหลดงาน ออกจาก เครื่อง	25.52	ผ่าน	ผ่าน	Beta	Beta (22, 28.9, 1.52, 1.58)



รูปที่ 3 แผนผังการจำลองสถานการณ์

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของ
โปรแกรมของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1

เวลาผลิต (ชั่วโมง)	จำนวนชิ้นงานของ กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1		ผลต่าง	
	จำนวน	โปร โมเดล	ชิ้น	เปอร์เซ็นต์
504	1,660.75	1,660	0.75	0.05
1,008	3,323.91	3,320	3.91	0.12
1,512	4,987.06	4,980	7.06	0.14

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของ
แบบจำลองของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1

การทดสอบ	T-test	Chi Square test
สมมติฐาน	$H_0: \mu = 504$ $H_1: \mu \neq 504$ ชั่วโมง/เดือน	$H_0: \sigma^2 = 0.035$ $H_1: \sigma^2 \neq 0.035$ ชั่วโมง/เดือน
ช่วงความ เชื่อมั่นของ การทดสอบ สมมติฐาน	-2.045 < - 1.370 < 2.045	16.05 < 21.21 < 45.72
ผลลัพธ์	ผ่าน	ผ่าน

แบบจำลองที่ 5 : ใช้วิธีการปรับขนาดล็อตการผลิต
และวิธีการจัดลำดับการผลิตใหม่โดยใช้หลักการ SPT

แบบจำลองที่ 6 : ใช้วิธีการปรับขนาดล็อตการผลิต
และวิธีการเพิ่มจำนวนทรัพยากรที่คอขวด

แบบจำลองที่ 7 : ใช้วิธีการจัดลำดับการผลิตใหม่โดย
ใช้หลักการ SPT และเพิ่มจำนวนทรัพยากรที่คอขวด
แบบจำลองที่ 8 : ใช้วิธีการปรับขนาดล็อตการผลิต,
วิธีการจัดลำดับการผลิตใหม่โดยใช้หลักการ SPT และ
วิธีการเพิ่มจำนวนทรัพยากรที่คอขวด

4. ผลการวิจัย

ผลการจำลองสถานการณ์สายการผลิตเกี่ยวของทั้ง
11 กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการจำลองสถานการณ์
ทั้งสิ้น 1 เดือนได้ผลดังตารางที่ 5 และสามารถ
เปรียบเทียบตัวชี้วัดของแต่ละแนวทางหลังการปรับปรุง
ได้ผลดังตารางที่ 5 จากการนำผลการปรับปรุงของ
แบบจำลองทั้ง 8 แบบ โดยแบ่งเป็นแบบจำลองก่อนการ
ปรับปรุงและแบบจำลองหลังการปรับปรุง โดยมีแนวทาง
ในการปรับปรุงทั้งหมด 7 แนวทาง มาทำการวิเคราะห์โดย
ใช้วิธีการออกแบบอย่างสุ่มสมบูรณ์เพื่อหาแนวทางการ
ปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุด โดยการนำเวลาที่ใช้ในการผลิต
ทั้ง 8 แนวทางจากการจำลองสถานการณ์มาหาค่าเฉลี่ย
และทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ ค่าความแปรปรวนของ
กลุ่มตัวอย่างด้วย F-test ได้ผลการวิเคราะห์ความ
แปรปรวนดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์ของแบบจำลองสถานการณ์

การวัดผล	ผลิตภัณฑ์	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง							
			แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7	แบบที่ 8	
จำนวนชิ้นงานที่ได้ (ชิ้น)	1	1,660	2,280	2,800	2,280	2,280	2,280	2,280	2,280	
	2	870	480	533	593	1,080	1,099	534	1,080	
	3	570	800	800	800	800	800	800	800	
	4	290	420	420	420	420	420	420	420	
	5	50	70	70	70	70	70	70	70	
	6	50	58	70	0	70	56	70	70	
	7	3,100	4,300	4,079	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	
	8	2,500	3,480	3,480	3,480	3,480	3,480	3,480	3,480	
	9	900	1,240	1,240	1,240	1,240	1,240	1,240	1,240	
	10	120	150	150	150	150	150	150	150	
	11	50	60	60	60	60	60	60	60	
	รวม	10,160	13,338	13,702	13,393	13,950	13,955	13,404	13,950	

ตารางที่ 6 การวัดผลแนวทางหลังการปรับปรุง

การวัดผล	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง						
		แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7	แบบที่ 8
อัตราผลผลิต (ชิ้น/ชม./คน)	5.04	6.61 (+31.15)	6.79 (+34.72)	6.64 (+31.75)	6.92 (+37.30)	6.92 (+37.30)	6.64 (+31.75)	6.92 (+37.30)
อรรถประโยชน์เครื่องจักร (%)	40.31	45.56 (+13.03)	44.95 (+11.51)	50.82 (+26.08)	46.52 (+15.41)	57.87 (+43.57)	51.82 (+28.56)	59.96 (+48.75)
อรรถประโยชน์พนักงาน (%)	21.50	24.30 (+13.01)	24.03 (+11.77)	30.50 (+41.86)	24.82 (+15.42)	34.72 (+61.48)	31.11 (+44.66)	35.98 (+67.32)
ประสิทธิภาพ (%)	63.12	66.38 (+5.16)	65.02 (+3.01)	68.58 (+8.65)	67.45 (+6.86)	70.61 (+11.87)	69.39 (+9.93)	71.83 (+13.80)
การจ้างงานล่วงเวลา (วัน)	5	2 (-60.00)	3 (-40.00)	3 (-40.00)	1 (-80.00)	1 (-80.00)	3 (-40.00)	1 (-80.00)

ตัวเลขในวงเล็บหมายถึง (+คือ % ที่เพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุง, - คือ% ที่ลดลงจากก่อนปรับปรุง)

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Solution	7	176483	25211.8	902619.58	0.000
Error	232	6	0.026		
Total	239	176489			

One-way ANOVA: response versus level					
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence					
level	N	Mean	Grouping		
1	30	596.984	A		
7	30	550.112	B		
4	30	550.078	B		
3	30	549.732		C	
2	30	543.595		D	
5	30	514.552			E
8	30	514.527			E
6	30	507.836			F
Means that do not share a letter are significantly different.					

รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนโดยวิธี Tukey

ผลจากตาราง ANOVA พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการผลิตเกิดจากทุกแนวทางเกิดความแตกต่างกัน หรือกล่าวได้ว่า แนวทางการปรับปรุงมีผลต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการ

การผลิตจากการเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละแนวทางโดยใช้วิธี Tukey ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อทดสอบความแตกต่างของแต่ละคู่ของทุกแนวทางการปรับปรุงพบว่าแนวทางการปรับปรุงที่ไม่เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ แนวทางการปรับปรุงที่ 7 กับ 4 และแนวทางการปรับปรุงที่ 5 กับ 8 ซึ่งแสดงว่าแนวทางทั้งคู่ให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน ทำให้สามารถเลือกแนวทางใดแนวทางหนึ่งได้ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละแนวทาง แสดงให้เห็นว่าแนวทางการปรับปรุงที่ดีที่สุดคือ แนวทางการปรับปรุงที่ 6 แนวทางการปรับปรุงที่ต่ำรองลงมาคือ แนวทางการปรับปรุงที่ 5 และแนวทางการปรับปรุงที่ 8 ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกัน

จากผลการจำลองสถานการณ์แนวทางการปรับปรุงที่ 5, 6 และ 8 ทำให้สายการผลิตเกิดมีอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น 37.30% จากสายการผลิตก่อนการปรับปรุง แนวทางการปรับปรุงที่ 5 ให้ค่าอรรถประโยชน์เครื่องจักร 46.52 %

ให้ค่าอรรถประโยชน์พนักงาน 24.82% และให้ค่าประสิทธิภาพ 67.45% แนวทางการปรับปรุงที่ 6 ให้ค่าอรรถประโยชน์เครื่องจักร 57.87% ให้ค่าอรรถประโยชน์พนักงาน 34.72% และให้ค่าประสิทธิภาพ 70.61% และแนวทางการปรับปรุงที่ 8 ให้ค่าอรรถประโยชน์เครื่องจักร 59.96% ให้ค่าอรรถประโยชน์พนักงาน 35.98% และให้ค่าประสิทธิภาพ 63.29% อย่างไรก็ตามทุกแนวทางต้องมีการทำงานล่วงเวลา (OT) โดยแบบจำลองที่ให้มีการจ้างงานล่วงเวลาน้อยที่สุดคือ แบบจำลองที่ 5, แบบจำลองที่ 6 และแบบจำลองที่ 8 คือ 1 วันจากเดิม 5 วันใน 1 เดือน จากผลการจำลองสถานการณ์ทั้งหมดจึงสรุปได้ว่า ทางบริษัทกรณีศึกษาควรเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ 5 คือ ปรับขนาดล้อการผลิตและวิธีการจัดลำดับการผลิตใหม่โดยใช้หลักการ SPT เนื่องจากมีอัตราผลผลิตและการจ้างงานล่วงเวลาเท่ากับแนวทางการปรับปรุงที่ 6 และแนวทางการปรับปรุงที่ 8 โดยแนวทางการปรับปรุงที่ 5 สามารถเพิ่มอัตราผลผลิตได้ 37.30% เพิ่มค่าอรรถประโยชน์เครื่องจักรและพนักงานได้ 15.41% และ 15.42% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ 6.86% และ

ด้วยเงื่อนไขของทางโรงงานกรณีศึกษาที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตทำให้แนวทางการปรับปรุงที่มีการเพิ่มจำนวนเครื่องจักร ยังมีความเหมาะสมไม่มากพอกับสายการผลิต ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงที่ 5 คือ การปรับขนาดล้อตการผลิตและวิธีการจัดลำดับการผลิตใหม่โดยใช้หลักการ SPT จึงมีความเหมาะสมในการปรับปรุงสายผลิตเกียร์ เพื่อให้สายการผลิตเกียร์สามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นให้ได้มากที่สุดและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตได้มากที่สุด

ในงานวิจัยนี้การล่าช้าเกิดจากการส่งต่อของงานที่จะต้องมีการรวมเป็นรุ่นทำให้เกิดการรอคอย ส่วนรอบเวลาในการผลิตเมื่อมีการเพิ่มการทำงานล่วงเวลาสามารถทำให้รอบเวลาอยู่ภายใต้ Takt time ได้ ดังนั้นการลดขนาดล้อตจึงส่งผลให้เวลาในการรอคอยจนครบจำนวนลดลงในส่วนของการส่งต่อระหว่างสถานี ส่วนการหาจุดคอขวดตามหลักการทฤษฎีข้อจำกัดคือการทำให้มีการไหลของงานที่คอขวดอย่างต่อเนื่องเพื่อไม่ให้คอขวดหยุดชะงักในการทำงาน ซึ่งทำให้การไหลของงานออกได้รวดเร็วขึ้น นอกจากนี้การนำหลักการ SPT มาประยุกต์ใช้ร่วมเพื่อให้มีการออกของงานที่เร็วขึ้นโดยหลักการ SPT โดยพื้นฐานจะทำให้เวลาการไหลของงานในระบบมีค่าที่ต่ำ ลดการล่าช้า และลดงานระหว่างกระบวนการได้

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับเรียบสายการผลิตที่เป็นการผลิตเกียร์ 11 กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้แรงงานคนควบคู่กับเครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติและมีการจัดสายการผลิตแบบการไหลที่ละชิ้นและแบบไม่ต่อเนื่อง ที่ประสบปัญหาไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามความต้องการของลูกค้า โดยนำหลักการในการปรับเรียบสายการผลิตอันได้แก่ การปรับขนาดล้อต, วิธีการจัดลำดับงานที่มีเวลาดำเนินการน้อยสุดก่อนโดยพิจารณาจากสถานีที่เป็นข้อจำกัด, การและเพิ่มทรัพยากร มาทดสอบผ่านการจำลองสถานการณ์ โดยทำการจำลองสถานการณ์ 8 แบบจำลอง จากแบบจำลองแสดงให้เห็น

ว่าแนวทางการปรับปรุงทั้ง 7 แบบจำลอง สามารถเพิ่มอัตราผลผลิตให้สายการผลิตได้ โดยแบบจำลองที่สามารถเพิ่มอัตราผลผลิตได้มากที่สุดคือ แบบจำลองที่ 5, 6 และ 8 สามารถเพิ่มอัตราผลผลิตได้ 37.30% แบบจำลองที่สามารถเพิ่มอัตราประโยชน์เครื่องจักรและพนักงานมากที่สุดคือ แบบจำลองที่ 8 โดยค่าการใช้ประโยชน์ของพนักงานเพิ่มขึ้น 67.32% และค่าการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 48.75% แบบจำลองที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตมากที่สุดคือ แบบจำลองที่ 8 ซึ่งมีประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้น 13.80% และสายการผลิตก่อนการปรับปรุงและแนวทางการปรับปรุงทั้ง 7 แนวทางยังไม่ได้สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามทันตามความต้องการจึงต้องพิจารณาการจ้างงานล่วงเวลา ซึ่งแบบจำลองที่ทำให้มีการจ้างงานล่วงเวลาน้อยที่สุดคือแบบจำลองที่ 5, 6 และ 8 คือ 1 วันลดลงได้ 4 วันในหนึ่งเดือนจากเดิม จากผลการจำลองสถานการณ์ทั้งหมดจึงสรุปได้ว่า ทางบริษัทกรณีศึกษาควรเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ 5 คือ ปรับขนาดล้อตการผลิตและวิธีการจัดลำดับการผลิตใหม่โดยใช้หลักการ SPT ตามข้อจำกัดของทางโรงงานที่ไม่ต้องการให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

งานวิจัยในอนาคตสามารถประยุกต์ใช้การวิเคราะห์นี้กับสายการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในโรงงานได้ นอกจากนั้นการพิจารณาเทคนิคในการลดเวลาของกระบวนการก็จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนกลุ่มวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. D. Ioana, E. D. Maria and V. C. Cristina, "Case study regarding the implementation of one-piece flow line in automotive company," *Procedia Manufacturing*, vol. 46, pp. 244-248, 2020.

- [2] A. Alessandro and A. Claudio, "Concurrent operations assignment and sequencing for particular assembly problems in flow lines," *Annals of Operations Research*, vol. 69, pp. 1-31, 1997.
- [3] M. Manaye, "Line balancing techniques for productivity improvement," *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 89-104, 2019.
- [4] A. F. O. Pertivi and R. D. Astuti, "Increased line efficiency by improved work methods with the ECRS concept in a washing machine production: a case study," *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, vol. 4, no. 1, pp. 13-29, 2020.
- [5] J. K. Orbegozo, J. M. Palomino, F. S. Raffo and E. R. Palomino, "Applying lean manufacturing principle to reduce waste and improve process in a manufacturer: A research study in Peru," in *2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 689, 012020, 2019.
- [6] B. Phruksaphanrat and S. Duangburong, "Lean techniques and simulation-based optimization for improving wood plastic composite manufacturing," *Songkanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 559-566, 2019.
- [7] S. Panigrahi, K. K. Al Ghafri, W. R. Al Alyani, M. W. Ali Khan, T. Al Madhagy and A. Khan, "Lean manufacturing practices for operational and business performance: A PLS-SEM modeling analysis," *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 15, 2023.
- [8] R. J. Neisyafitri, P. Ongkunaruk, and W. Ongkunaruk, "Productivity improvement based on the theory of constraint and eliminate, combine, rearrange, simplify for chilled beef production in Indonesia," *Management and Production Engineering Review*, vol. 14, no. 2, pp. 111-123, 2023.
- [9] B. Phruksaphanrat, *Production Planning and Control*. Bangkok, Thailand: Top Publishing, 2009.
- [10] C. Harrell, B. K. Ghosh and R. O. Bowden, *Simulation Using ProModel*, 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill, 2012.
- [11] J. L. Devore, *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*, 6th ed. Toronto, Canada: Thomson Learning, Inc., 2004.