

แผนผังสายธารคุณค่าและการจำลองสถานการณ์เพื่อพิจารณาทางเลือก ในการลดคอขวดของสายการผลิต : กรณีศึกษาโรงงานผลิตยาฉีดปราศจากเชื้อ

ชาติกวี เจ๊ะสารี¹ ชูตระกูล ศิริไพบูลย์² ศรีสิทธิ์ เจียรบุตร์^{3*}

^{1,2,3*} แขนงเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : srisit.chi@stou.ac.th

รับต้นฉบับ : 18 กรกฎาคม 2567; รับบทความฉบับแก้ไข : 20 ธันวาคม 2567; ตอรับบทความ : 20 ธันวาคม 2567

เผยแพร่ออนไลน์ : 27 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

โรงงานผลิตยาในปัจจุบันนอกเหนือจากการพัฒนากระบวนการผลิตให้ได้มาตรฐานสากลแล้ว ยังต้องมีการควบคุมต้นทุนการผลิตเพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขัน จึงจำเป็นต้องกำจัดการกิจกรรมการผลิตที่ไม่สร้างคุณค่าในกระบวนการ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการในการผลิตของโรงงานผลิตยากลุ่มปราศจากเชื้อทั่วไปผ่านเทคนิคการจำลองสถานการณ์ โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลปริมาณการผลิต มูลค่าต้นทุนในการผลิต และมูลค่าของเสียที่เกิดจากการผลิต แล้วใช้แผนภูมิพาเรโต เพื่อหาผลิตภัณฑ์ยาที่มีลำดับความสำคัญเพื่อเลือกมาดำเนินการเสนอแนวทางการปรับปรุง จากนั้นจึงทำการสร้างแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะปัจจุบันซึ่งจะทำให้เห็นภาพรวมของกระบวนการทั้งหมด รวมทั้งมองเห็นจุดที่เป็นปัญหาคอขวดของกระบวนการ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองในโปรแกรมเทคนิคโหนด หลังจากนั้นจึงเสนอแนวทางการปรับปรุง 3 สถานการณ์ที่แตกต่างกัน เพื่อปรับสมดุลสายการผลิตในกระบวนการบรรจุด้วยซึ่งเป็นจุดคอขวด แล้ววิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมจำลองสถานการณ์ พบว่าเมื่อลดเวลาที่เป็นคอขวดในกระบวนการบรรจุด้วยของสายการผลิต ส่งผลให้ระยะเวลานำจากเดิมสถานการณ์ปัจจุบันใช้เวลา 2 วัน 5 ชั่วโมง 47 นาที 57 วินาที ในสถานการณ์ที่ 1 เพิ่มคน ใช้เวลา 2 วัน 1 ชั่วโมง 48 นาที 27 วินาที (ลดลง 7.42%) ในสถานการณ์ที่ 2 หมุนเวียนคน ใช้เวลา 2 วัน 4 ชั่วโมง 7 นาที 16 วินาที (ลดลง 3.12%) และในสถานการณ์ที่ 3 เพิ่มเครื่องจักร ใช้เวลา 1 วัน 20 ชั่วโมง 27 นาที 12 วินาที (ลดลง 17.37%) ในสถานการณ์ที่ 3 จะลดค่าใช้จ่ายลง 6.00 % แต่มีต้นทุนค่าเครื่องจักรใหม่ ที่มีเวลาต้นทุนในระยะยาว มีผลดีหากมีปริมาณความต้องการผลิตสูง เนื่องจากความสามารถในการผลิตเหลือ จึงมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทั้งด้านปริมาณและด้านคุณภาพ

คำสำคัญ : คอขวดในกระบวนการ การปรับสมดุลสายการผลิต การผลิตยา การจำลองสถานการณ์ สายธารคุณค่า

Value Stream Mapping and Simulation Techniques for Considering Bottleneck Reduction Alternatives: A Case Study in A Sterile Pharmaceutical Factory

Chartkawee Jehsaree¹ Chootrakul Siripailboon² Srisit Chianrabutra^{3*}

^{1,2,3*}*Division of Industrial Technology, Department of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: srisit.chi@stou.ac.th

Received: 18 July 2024; Revised: 20 December 2024; Accepted: 20 December 2024

Published online: 27 June 2025

Abstract

In today's competitive market, pharmaceutical companies strive to meet international standards for their production methods while keeping an eye on production costs. Therefore, it is important to eliminate non-value-added activities. This research proposes a method to improve the process of sterile pharmaceutical factory of generic drugs through simulation techniques. Data needs to be collected on production volume, production cost, and cost of defect. In this study, a Pareto chart was used to identify a high-priority product that needed to be improved. A value stream map of the current process was created, providing a comprehensive overview, including bottlenecks. Plant simulation software (Tecnomatix®) was used to test by developing three different scenarios. The efficiency of production line balancing was increased by reducing the bottleneck in the filling process. The study analyzed the current process, which takes 2 days 5 hours 47 minutes 57 seconds. Three scenarios were then tested using plant simulation software. Scenario 1 involved adding additional labor, reducing the processing time to 2 days 1 hour 48 minutes 27 seconds (a decrease of 7.42%). Scenario 2 focused on labor rotation, achieving a time reduction to 2 days 4 hours 7 minutes 16 seconds (a decrease of 3.12%). Finally, scenario 3 explored changing machinery, resulting in the most significant improvement, with a processing time of 1 day 20 hours 27 minutes 12 seconds (a decrease of 17.37%). In scenario 3 reducing employee expenses by 6.00%, there is a cost for new machinery with a long-term return on investment, which is beneficial in cases where future production demand increases. Because the machinery can sufficiently contribute to enhancing efficiency in both quantity and quality aspects.

Keywords: Bottleneck, Line balancing, Pharmaceutical manufacturing, Simulation, Value stream mapping

1) บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตยาในประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้จ่ายด้านสุขภาพที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี พบว่าในปี พ.ศ. 2563 มีมากกว่า 600 พันล้านบาท โดยเป็นมูลค่ายาในประเทศถึง 193 พันล้านบาท [1] เนื่องมาจากสภาวะสังคมไทยในปัจจุบันได้ก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ข้อมูล ณ วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2566 มีจำนวนประชากรผู้สูงอายุที่มีอายุมากกว่า 60 ปี ถึง 13,064,929 คน คิดเป็นร้อยละ 20.08 ของประชากรไทยทั้งหมด 65,061,190 คน ปี พ.ศ. 2565 และ ปี พ.ศ. 2564 เป็นร้อยละ 19.21 และร้อยละ 19.60 ตามลำดับ [2] เป็นผลจากเทคโนโลยีทางการแพทย์และยารักษาโรคที่พัฒนามาก และผู้สูงอายุมีโรคเรื้อรังที่ต้องได้รับยาในการรักษาเรื้อรัง ยาจึงถือเป็นสิ่งจำเป็น โดยประเทศไทยมีทั้งนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนใหญ่เป็นยาต้นแบบ (original drug) มีราคาสูง มักใช้ในภาคเอกชน และยาที่ผลิตในประเทศหรือยาสามัญ (generic drug) มีราคาถูกกว่า ที่ผลิตตามมาตรฐานของยาต้นแบบ เพื่อให้ประชาชนเข้าถึงยาได้ง่ายขึ้น อีกทั้งรัฐบาลได้ออกนโยบายเพื่อช่วยเหลือประชาชนในการเข้าถึงยา จึงเป็นโอกาสของโรงงานผลิตยาที่จะเพิ่มโอกาสในการขายได้มากขึ้น

การแข่งขันที่สูงส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมยาพัฒนายาให้มีคุณภาพ ลดต้นทุน เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตยากรณีศึกษา เกิดปัญหาจากความไม่สมดุลของกระบวนการผลิต ทำให้เกิดคอขวด ระยะเวลาที่รอนาน (waiting time) ส่งผลให้ไม่ทันต่อความต้องการของฝ่ายขายและลูกค้า ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง (inventory) ในปริมาณที่มาก ส่งผลต่อต้นทุนในระยะยาว แต่ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันที่มีการนำนวัตกรรมทั้งด้านเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตที่ช่วยในการเพิ่มกำลังการผลิต (capacity) และคุณภาพหรือความถูกต้อง และเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น โปรแกรมจำลองกระบวนการ (plant simulation) มีหลายอุตสาหกรรมได้นำมาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น ลดระยะเวลารอคอย สายการผลิตมีความสมดุล ลดสินค้าคงคลังเพิ่มกำลังการผลิต เป็นต้น ดังเช่น งานวิจัยสายการผลิต การประกอบโครงย่อยของเบาะรองนั่ง [3] และงานวิจัยที่ใช้โปรแกรมช่วยเพื่อทดสอบสถานการณ์ เพื่อหาทางเลือกที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จึงทำให้สามารถทดสอบกระบวนการที่หลากหลายก่อนที่จะนำไปปฏิบัติจริง จะช่วยลดโอกาสจากความผิดพลาดที่เกิดจากการลงทุน หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่คาดคิด ส่งผลในการลดต้นทุนในการผลิตในระยะยาว [4]–[6] หรือในการตรวจสอบคุณภาพใน

โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ ส่งผลให้มีระยะเวลารอคอยลดลง และการผลิตเกิดความสมดุลในกระบวนการ [7] หรือเพื่อดูโลจิสติกส์หรือผังโรงงานที่มีประสิทธิภาพที่สุด โดยดูข้อมูลของเวลาและระยะทางหรืออื่น ๆ [8], [9]

ในงานวิจัยมีการผสมผสานเครื่องมือต่าง ๆ เช่น โปรแกรมจำลองกระบวนการ แผนผังสายธารคุณค่า เทคนิคพาเรโต ดังเช่นงานวิจัยที่นำโปรแกรมจำลองสถานการณ์ไปประยุกต์กับแผนผังสายธารคุณค่าและได้ใช้เทคนิค ABC เพื่อเลือกสินค้าที่จะใช้เก็บข้อมูลจากจำนวนที่มีการผลิตมากที่สุด [10] และทฤษฎีข้อจำกัดหรือคอขวด ที่มีการวิจัยในการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ในการหาจุดคอขวดของกระบวนการ [11] มีการใช้ร่วมกับเทคนิค Ranked Positional Weight Method (RPWM) เพื่อสร้างเวลามาตรฐานในกระบวนการ ลดเวลาที่สูญเสียไปจากกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต และทดสอบความคุ้มค่าของการออกแบบผังการผลิตในโรงงานผลิตกระเป๋ [12] เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงจาก COVID-19 โดยใช้โปรแกรมกำหนดการเว้นระยะห่างทางสังคม (social distancing) เพื่อกำหนดพื้นที่การทำงาน [13]

การนำโปรแกรมจำลองสถานการณ์มาใช้ เพื่อหาทางเลือกที่มีประสิทธิภาพที่สุด สามารถประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม ได้แก่ จำลองการไหลของข้อมูลและการควบคุม, กระบวนการขนส่ง, การทำงานของหุ่นยนต์, คลังสินค้าและการจัดซื้อจัดจ้าง, การทำงานของคน, การไหลของของเหลวในกระบวนการ โดยแสดงได้ในรูปแบบ 2 หรือ 3 มิติ และสามารถทราบถึงต้นทุนและพลังงานในกระบวนการด้วย งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการจำลองของกระบวนการผลิต [14]

งานวิจัยนี้ ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่แตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ เป็นอุตสาหกรรมผลิตยาที่มีเครื่องจักรที่เฉพาะ มีการพักเก็บที่คลังสินค้าระหว่างการผลิต ไม่ได้ผลิตแบบต่อเนื่อง และมุ่งเน้นในการใช้เครื่องมือในโปรแกรมจำลองสถานการณ์ เพื่อปรับสมดุลสายการผลิต และเพิ่มเครื่องจักร รวมทั้งการประยุกต์เทคนิค ABC method ร่วมด้วย เพื่อเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อบริษัท (product champion) เนื่องจากมีสินค้าหลากหลาย และประยุกต์ใช้เทคนิคสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping) ทำให้เห็นภาพรวมของกระบวนการ ประเมินความต้องการลูกค้าเพื่อกำหนดระยะเวลาในการผลิตที่เหมาะสม

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตยา ที่เคยมีงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่มีการพัฒนาและแก้ปัญหาของกระบวนการโดยใช้เทคนิคสายธารคุณค่า (VSM) ร่วมกับ PDCA [15] หรือใช้ระบบการผลิตแบบลีน (lean manufacturing) [16], [17] โดยที่โรงงานกรณีศึกษาเกิดปัญหาจากความไม่สมดุลของกระบวนการผลิตเนื่องจากมีสินค้าคงคลังค้างระหว่างการผลิตจำนวนมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากคอขวดในขั้นตอนที่ความสามารถในการผลิต (capacity) ส่งผลให้ใช้ระยะเวลารอคอยก่อนเริ่มการผลิต ดังตารางที่ 1 จึงทำให้ผลิตไม่ทันต่อความต้องการของฝ่ายขายและลูกค้า

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงต้องการศึกษาการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ ที่จะช่วยจัดสมดุลสายการผลิตในด้านจำนวนผลผลิตที่ได้ ระยะเวลาในการผลิต การลดขั้นตอนคอขวดของกระบวนการ เพื่อที่จะหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดไปสู่การปฏิบัติจริง

ใช้โปรแกรมเทคนิค (Tecnomatix®) มีจุดเด่น ได้แก่ การเครื่องมือที่หลากหลายกว่าสำหรับการวางแผนและปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่น งานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันสายธารคุณค่า (VSM), วิเคราะห์ปัญหาคอขวด (bottlenecks analyzer) การสร้างโมเดลในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ความสามารถในการเชื่อมต่อกับระบบอื่น (data interfaces) เป็นต้น [18] การนำข้อมูลดิบที่ใส่ในโปรแกรมได้มาก เหมาะสำหรับการออกแบบระบบที่มีความซับซ้อนสูง ในระบบการผลิตอัตโนมัติขนาดใหญ่ ทำให้การจำลองมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง [19]

ตารางที่ 1 : ระยะเวลาการรอคอยการผลิตในแต่ละขั้นตอน

สินค้า	ระยะเวลาการรอคอยการผลิตในแต่ละขั้นตอน (วัน)			
	ผสม	บรรจุด้วยยา	ตรวจสอบอนุภาค	บรรจุ
P4	1.5	10.0	1.6	2.4
P5	1.0	10.0	4.0	4.0
P9	0.5	12.4	2.6	2.0
P10	1.0	5.0	1.0	1.0
P14	1.2	12.7	2.8	1.0
P20	0.0	13.0	3.0	2.0
P23	1.0	0.0	11.0	6.0
P26	1.0	11.0	3.0	2.0
เฉลี่ย	0.9	9.3	3.6	2.5

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมดุลสายการผลิตในด้านจำนวนผลผลิตที่ได้ ระยะเวลาในการผลิต การลดขั้นตอนคอขวด โดยใช้แผนผังสายธารคุณค่าในสภาวะปัจจุบันและอนาคต (current state and future state)
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมดุลสายการผลิตในด้านจำนวนผลผลิตที่ได้ ระยะเวลาในการผลิต การลดขั้นตอนคอขวด โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการผลิตในการสร้างแต่ละสถานการณ์ (scenario)
3. เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการนำเครื่องจักรใหม่แทนการใช้คนในกระบวนการบรรจุด้วยยา

3) วิธีดำเนินการวิจัย

ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เทคนิค (Tecnomatix®) เวอร์ชัน 15 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ HP รุ่น Pavilion ผ่านระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1) สภาวะปัจจุบันของกระบวนการ

โรงงานกรณีศึกษากลุ่มยาปราศจากเชื้อทั่วไป เป็นยา กลุ่มที่มีกำลังการผลิตและยอดขายสูงสุดของโรงงาน ซึ่งมีทั้งสิ้น 26 รายการ (P1-P26) ที่มีกระบวนการในการผลิต ดังนี้

3.1.1) ขั้นตอนล้างขวดแอมพูล (Ampule Washing) ผ่านเครื่องล้างด้วยน้ำที่มีแรงดัน และอบเพื่อให้ปราศจากเชื้อตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดที่ได้ตรวจสอบความเหมาะสม (validation)

3.1.2) ขั้นตอนผสม (Mixing) มีทั้งสารออกฤทธิ์ทางเภสัชกรรม (active pharmaceutical ingredients) และสารช่วยทางเภสัชกรรม (excipients) ต้องใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายและถูกส่งผ่านตัวกรองเพื่อให้ยาปราศจากเชื้อ

3.1.3) ขั้นตอนบรรจุด้วยยา (Filling) มีเข็มที่เป่าไนโตรเจนเข้าไปในหลอดเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แล้วเข็มบรรจุด้วยยาตามปริมาตร และเผาปลายหลอดแอมพูลเพื่อซีล เป็นขั้นตอนที่ต้องทำภายใต้เครื่องที่เป็นระบบปิดเพื่อให้ปราศจากเชื้อ

3.1.4) ขั้นตอนตรวจสอบอนุภาค (Inspection) กระบวนการผลิตอาจจะมีอนุภาคเข้าไปในหลอดยาได้ จึงต้องตรวจสอบอนุภาคในทุกหลอด เนื่องจากหากยาเข้าสู่กระแสเลือดจะส่งผลกระทบต่อร่างกายถึงชีวิตได้โดยทำในฉากหลังที่เป็นสีขาวและสีดำ

3.1.5) ขั้นตอนบรรจุ (Ampule Packing) บรรจุลงภาชนะพลาสติกก่อน แล้วจึงนำบรรจุใส่กล่องกระดาษพร้อมกับเอกสารกำกับยา และจะต้องพิมพ์รุ่นผลิต วันผลิต และวันหมดอายุ

3.2) ศึกษาปัญหาของกระบวนการ

เริ่มต้นจากเก็บข้อมูลที่เป็น จากนั้นจัดกลุ่มโดยเทคนิคพาเรโตตามปริมาณการผลิต มูลค่าสินค้าและประมาณของเสีย เพื่อให้ได้ยาที่จะนำมาศึกษา แล้วจึงเขียนแผนผังสายธารคุณค่าในสภาวะปัจจุบันด้วยโปรแกรม และสร้างสถานการณ์ทางเลือกอื่น ๆ เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขจุดคอขวดของกระบวนการ เพื่อให้การผลิตมีความสมดุล แล้วจึงทดสอบเดินเครื่องจักรผลิต 1 เดือน เพื่อประเมินผลที่ได้ เปรียบเทียบถึงข้อดีข้อเสีย เพื่อเป็นทางเลือกนำไปปรับใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ตามขั้นตอน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 : ขั้นตอนการศึกษาปัญหาและวิธีวิจัย

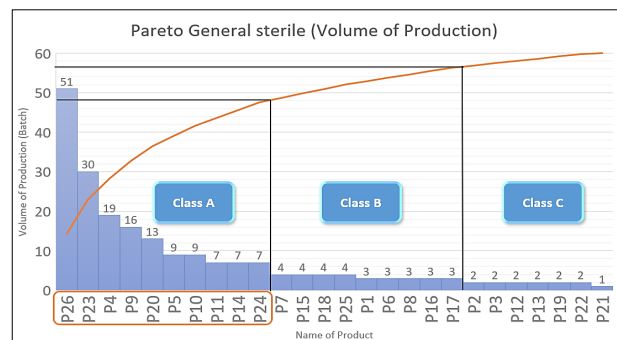
ข้อมูลที่ในงานวิจัยจากการเก็บข้อมูลการผลิตยาของโรงงานกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตยาสามัญ (local drug) โดยใช้ระยะเวลาเก็บข้อมูลการผลิต 1 ปี ของปี พ.ศ. 2563 และศึกษาในไลน์การผลิตยาชนิดยาฉีดทั่วไป เนื่องจากมีการผลิตมากที่สุด และมีความต้องการของลูกค้ามากที่สุด มีการผลิตอยู่ทั้งสิ้น 26 ตัวยา มีจำนวนผลิตได้รวม 212 ล็อต

เพื่อต้องการศึกษาภาพรวมทั้งหมด ต้องเลือกยาที่จะนำมาศึกษากระบวนการ และเป็นต้นแบบในการทำแผนผังสายธารคุณค่า โดยเลือกใช้เทคนิคพาเรโต ในการจัดลำดับยากรณีศึกษาทั้ง 26 ชนิด ใช้ชื่อ P1-P26 แบ่งเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

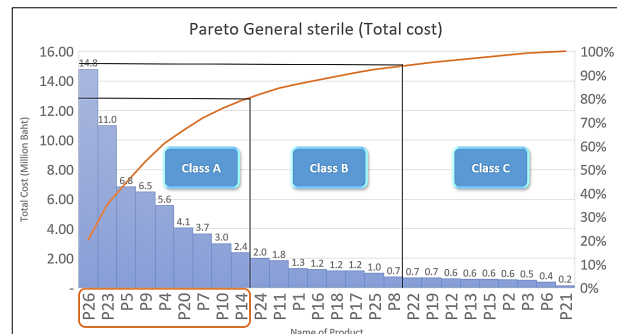
3.2.1) จัดกลุ่มตามปริมาณการผลิต นำข้อมูลของปริมาณการผลิตมียาในกลุ่มพาเรโต 80% (กลุ่ม A) ได้แก่ P26, P23, P4, P9, P20, P5, P10, P11, P14 และ P24 ดังรูปที่ 2

3.2.2) จัดกลุ่มตามมูลค่า นำข้อมูลของมูลค่าการผลิตมียาในกลุ่มพาเรโต 80% ได้แก่ P26, P23, P5, P9, P4, P20, P7, P10 และ P14 ดังรูปที่ 3

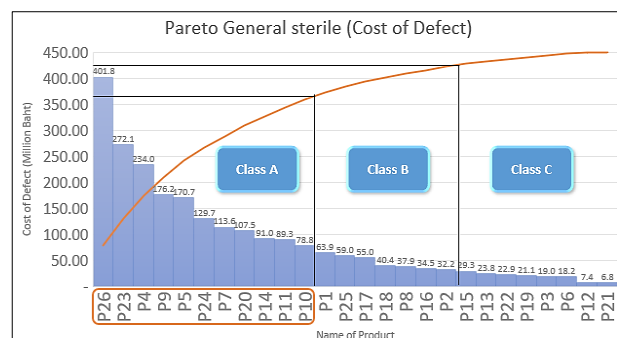
3.2.3) จัดกลุ่มตามปริมาณของเสีย นำข้อมูลของปริมาณของเสียมียาในกลุ่มพาเรโต 80% ได้แก่ P26, P23, P4, P9, P5, P24, P7, P20, P14, P11 และ P10 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 : การจัดกลุ่มยาตามปริมาณการผลิต



รูปที่ 3 : การจัดกลุ่มยาตามมูลค่า



รูปที่ 4 : การจัดกลุ่มยาตามมูลค่าของเสีย

ตารางที่ 2 : ขั้นตอนการได้มาซึ่งกลุ่ม A

จัดกลุ่มตาม			สินค้า	สินค้าอยู่ กลุ่ม A ทั้ง 3 กลุ่ม
มูลค่าของ เสีย (พันบาท)	ปริมาณการผลิต (ล็อต)	มูลค่า (ล้าน บาท)		
401.8	51	14.8	P26	ไม่ใช่
272.1	30	11	P23	ใช่
234	19	5.6	P4	ใช่
176.2	16	6.5	P9	ใช่
170.7	9	6.8	P5	ใช่
129.7	7	2	P24	ไม่ใช่
113.6	4	3.7	P7	ไม่ใช่
107.5	13	4.1	P20	ใช่
91	7	2.4	P14	ใช่
89.3	7	1.8	P11	ไม่ใช่
78.8	9	3	P10	ใช่
63.9	3	1.3	P1	ไม่ใช่
59	4	1	P25	ไม่ใช่
55	3	1.2	P17	ไม่ใช่
40.4	4	1.2	P18	ไม่ใช่
37.9	3	0.7	P8	ไม่ใช่
34.5	3	1.2	P16	ไม่ใช่
32.2	2	0.6	P2	ไม่ใช่
29.3	4	0.6	P15	ไม่ใช่
23.8	2	0.6	P13	ไม่ใช่
22.9	2	0.7	P22	ไม่ใช่
21.1	2	0.7	P19	ไม่ใช่
19	2	0.5	P3	ไม่ใช่
18.2	3	0.4	P6	ไม่ใช่
7.4	2	0.6	P12	ไม่ใช่
6.8	1	0.2	P21	ไม่ใช่

ยาที่อยู่ในกลุ่ม A รวมกันของข้อมูลทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ ยา P4 ยา P5 ยา P9 ยา P10 ยา P14 ยา P20 ยา P23 และ P26 ดังตารางที่ 2 นำไปเก็บข้อมูลเชิงลึก ใช้ในการวิเคราะห์และใช้เป็นต้นแบบสำหรับการทำแผนผังสายธารคุณค่า

3.3) กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

นำข้อมูลดิบจากการลงข้อมูลการทำงานประจำวันผ่านโปรแกรมที่พัฒนาจาก Microsoft Excel มาจัดทำกลุ่มข้อมูล

3.3.1) ข้อมูลชุดที่ 1 ได้แก่ รอบเวลาการผลิต, เวลาที่ใช้เปลี่ยนรุ่นผลิต, ขนาดรุ่นผลิต, ปริมาณเฉลี่ยที่ผลิต, จำนวนพนักงาน, สินค้าคงคลัง, เวลาในการผลิตรวม กรองข้อมูลโดยการเลือกข้อมูลที่เป็นยาเดียวกันที่อยู่ในกระบวนการเดียวกัน เพื่อที่จะได้นำข้อมูลของชั่วโมงแรงงานมาหาค่าเฉลี่ยโดยชั่วโมงแรงงานคำนวณจากเวลาที่ใช้คูณด้วยจำนวนพนักงานที่ใช้แล้วจึงนำจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้เพื่อนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ ก็จะได้ภาพรวมของชั่วโมงแรงงานและสัดส่วนผลผลิต ดังรูปที่ 5

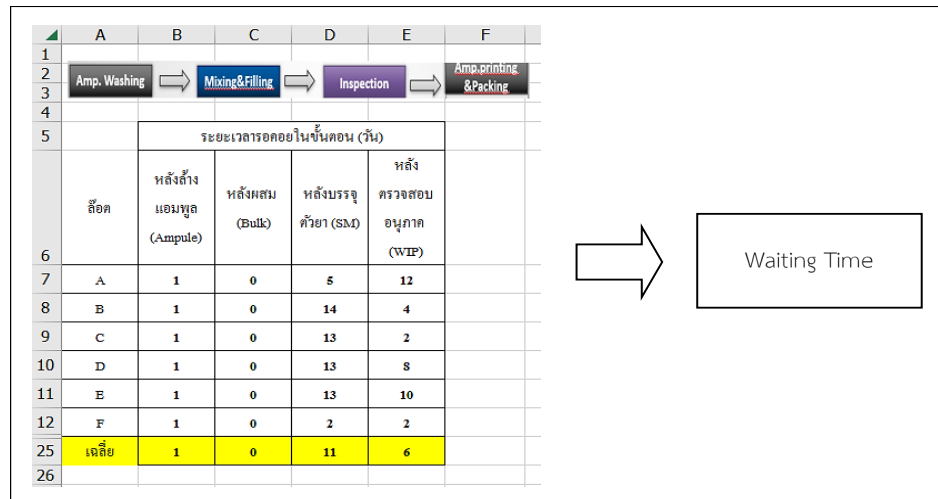
3.3.2) การจัดทำข้อมูลชุดที่ 2 สำหรับข้อมูลลงในสายธารคุณค่า ได้แก่ เวลาในการรอ (waiting time) ต้องกรองข้อมูล โดยการเลือกข้อมูลที่เป็นหมายเลขล็อตเดียวกัน เพื่อที่จะได้นำข้อมูลของระยะเวลาที่รอกอยของแต่ละกระบวนการโดยดูจากวันที่ที่ต่างกัน หลังจากที่ได้ข้อมูลระยะเวลาการรอกอยของแต่ละกระบวนการแล้ว จึงนำระยะเวลารอคอยของยานั้น ๆ ทุกล็อตมาหาค่าเฉลี่ยของกระบวนการทั้งหมด ดังรูปที่ 6

3.3.3) รวบรวมข้อมูลชุด 1 และ 2 ที่จะใช้เป็นข้อมูลในแบบจำลองของกระบวนการผลิตของยาแต่ละตัว ดังตารางที่ 3 และข้อมูลระยะเวลาการรอกอยเฉลี่ยของทุกกระบวนการ ดังตารางที่ 4 ร่วมกับข้อมูลประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ดังตารางที่ 5

	A	B	D	F	H	I	K
1							
2							
3		ขั้นตอน	ชั่วโมงแรงงาน	ผลผลิต (%)	พนักงาน (คน)	MH/P	รอบระยะเวลา การผลิต (ชั่วโมง)
4		ล้างขวดแอมพูล	82.11	101.66	8	10.3	8.8
9		ผสม	19.00	100.00	2	9.5	8.5
14		บรรจุขวดยา	88.20	93.46	6	14.7	13.7
19		ตรวจสอบคุณภาพ	196.17	95.29	24	8.2	7.7
26		บรรจุ	207.79	95.03	10	20.8	19.8

- Cycle Time
- Change Over Time
- Batch Size
- Yield
- Manpower
- Processing Time

รูปที่ 5 : ข้อมูลดิบจากการเก็บข้อมูล ชุดที่ 1



รูปที่ 6 : ข้อมูลดิบจากการเก็บข้อมูล ชุดที่ 2

ตารางที่ 3 : ข้อมูลของกระบวนการผลิตของยาแต่ละตัว

ยา	กระบวนการ	ชั่วโมงแรงงาน	ผลผลิต (%)	พนักงาน (คน)	เวลาเปลี่ยนรุ่นผลิต (ชั่วโมง)	รอบเวลาการผลิต (ชั่วโมง)
P4	ล้างขวดแอมพูล	60.56	103.41	8	1.5	6.07
	ผสม	10.40	100.00	2	1	4.20
	บรรจุขวดยา	88.40	90.11	6	1	13.73
	ตรวจสอบอุณหภูมิ	168.00	93.17	24	0.5	6.50
	บรรจุ	136.39	91.38	10	1	12.64
P5	ล้างขวดแอมพูล	142.00	99.76	8	1.5	16.3
	ผสม	33.45	100.00	2	1	15.7
	บรรจุขวดยา	164.65	94.58	6	1	26.4
	ตรวจสอบอุณหภูมิ	395.68	93.12	24	0.5	16.0
	บรรจุ	426.32	93.29	10	1	41.6
P9	ล้างขวดแอมพูล	71.14	102.54	8	1.5	7.4
	ผสม	15.43	100.00	2	1	6.7
	บรรจุขวดยา	85.57	97.47	6	1	13.3
	ตรวจสอบอุณหภูมิ	209.11	94.37	24	0.5	8.2
	บรรจุ	137.71	94.18	10	1	12.8
P10	ล้างขวดแอมพูล	81.29	100.98	8	1.5	8.7
	ผสม	19.50	100.00	2	1	8.8
	บรรจุขวดยา	86.64	92.03	6	1	13.4
	ตรวจสอบอุณหภูมิ	216.79	94.52	24	0.5	8.5
	บรรจุ	146.58	94.36	10	1	13.7
P14	ล้างขวดแอมพูล	70.60	102.59	8	1.5	7.33
	ผสม	16.08	100.00	2	1	7.04
	บรรจุขวดยา	85.40	98.15	6	1	13.23
	ตรวจสอบอุณหภูมิ	211.08	92.18	24	0.5	8.30
	บรรจุ	122.58	92.02	10	1	11.26

ตารางที่ 3 : ข้อมูลของกระบวนการผลิตของยาแต่ละตัว (ต่อ)

ยา	กระบวนการ	ชั่วโมงแรงงาน	ผลผลิต (%)	พนักงาน (คน)	เวลาเปลี่ยนรูปผลิต (ชั่วโมง)	รอบเวลาการผลิต (ชั่วโมง)
P20	ล้างขวดแอมพูล	68.56	102.21	8	1.5	7.1
	ผสม	15.00	100.00	2	1	6.5
	บรรจุตัวยา	83.44	92.84	6	1	12.9
	ตรวจสอบอนุภาค	183.94	94.27	24	0,5	7.2
	บรรจุ	182.00	93.72	10	1	17.2
P23	ล้างขวดแอมพูล	82.11	101.66	8	1.5	8.8
	ผสม	19.00	100.00	2	1	8.5
	บรรจุตัวยา	88.20	93.46	6	1	13.7
	ตรวจสอบอนุภาค	196.17	95.29	24	0.5	7.7
	บรรจุ	207.79	95.03	10	1	19.8
P26	ล้างขวดแอมพูล	73.84	102.54	8	1.5	7.7
	ผสม	18.74	100.00	2	1	8.4
	บรรจุตัวยา	86.28	96.24	6	1	13.4
	ตรวจสอบอนุภาค	190.78	96.22	24	0.5	7.4
	บรรจุ	181.27	95.91	10	1	17.1

ตารางที่ 4 : ข้อมูลของระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยของทุกกระบวนการ

ระยะเวลาการรอคอยในขั้นตอน (วัน)				
ยา	หลังล้าง แอมพูล (Ampule)	หลังผสม (Bulk)	หลังบรรจุ ตัวยา (SM)	หลังตรวจสอบ อนุภาค (WIP)
P4	2	0	10	2
P5	1	0	10	8
P9	1	0	12	6
P10	1	0	5	6
P14	1	0	13	6
P20	1	0	13	5
P23	1	0	11	6
P26	1	0	11	5

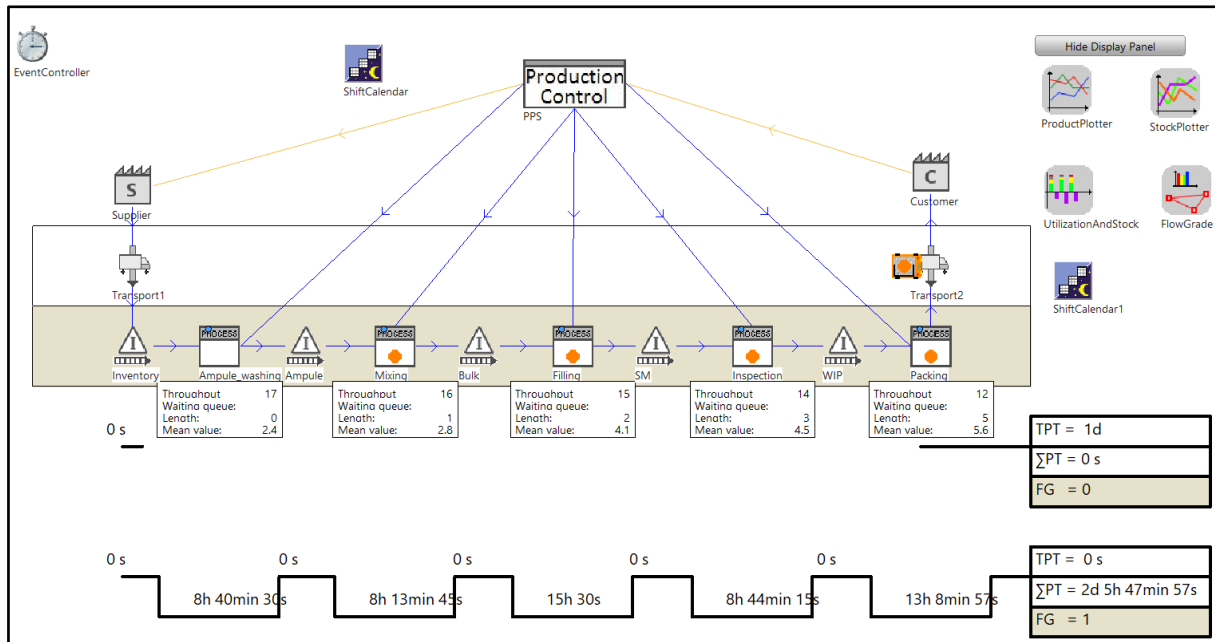
ตารางที่ 5 : ข้อมูลประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE)

กระบวนการ	อัตราการใช้ เครื่อง (%) (Availability)	ประสิทธิภาพของ เครื่องจักร (%) (Performance)	อัตรา คุณภาพ (%) (Quality)	OEE
ล้างขวด แอมพูล	83.33	69.20	99.96	30
ผสม	89.58	78.47	100.00	15
บรรจุตัวยา	87.50	42.00	94.36	30
ตรวจสอบ อนุภาค	94.44	77.89	94.14	10
บรรจุ	90.28	49.50	93.73	10

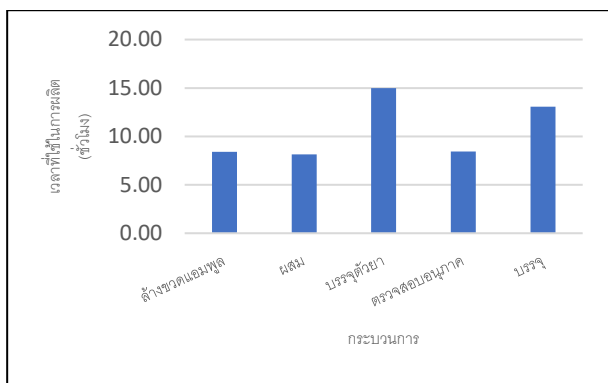
3.3.4) การนำค่ามาใช้ในแบบจำลองสถานการณ์ ลงข้อมูลกระบวนการผลิตขั้นตอนล้างขวดแอมพูล ขั้นตอนผสม ขั้นตอนบรรจุตัวยา ขั้นตอนตรวจสอบอนุภาค ขั้นตอนบรรจุ จากนั้นใส่ข้อมูลชุดที่ 1 ลงในกล่อง ได้แก่ ชั่วโมงแรงงานเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ผลผลิต และใส่ข้อมูลระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ย จากข้อมูลชุดที่ 2 รวมทั้งข้อมูลจากฝ่ายวิศวกรรม ได้แก่ อัตราการเดินเครื่องและเวลาเฉลี่ยในการซ่อมเครื่องจักร และข้อมูลของสินค้าคงคลัง จะได้เวลาที่ใช้ในการผลิตรวม และเวลานำ เพื่อจัดทำแผนผังสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบันของยาในกลุ่ม A กำหนดเวลา 30 วัน ดังรูปที่ 7 และกราฟแสดงเวลาในการผลิตของแต่ละกระบวนการดังรูปที่ 8

วิเคราะห์รายตัวโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ระดับการไหล (analyzer tool flow grade) ในโปรแกรมเทคนิคมาติก โดยเริ่มขั้นตอนแรก (supplier) ถึงขั้นตอนสุดท้าย (customer) ของยาทุกตัวในกลุ่ม A ดังตารางที่ 6 ได้แก่ ค่าของเวลานำ (lead time) คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตยาแต่ละตัวตั้งแต่รับคำสั่งผลิตจนกระทั่งส่งมอบถึงลูกค้า และ ค่าดัชนีมูลค่าเพิ่ม (value added index) คือ ตัวชี้วัดที่แสดงถึงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

พบปัญหาว่าขั้นตอนบรรจุตัวยาใช้เวลาสูงกว่าขั้นตอนอื่น ส่งผลให้กระบวนการผลิตไม่มีความสมดุล เกิดเวลารอคอย จึงเป็นขั้นตอนที่จะนำไปใช้ในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข



รูปที่ 7 : แผนผังสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบันของยา กลุ่ม A



รูปที่ 8 : กราฟแท่งแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละกระบวนการ

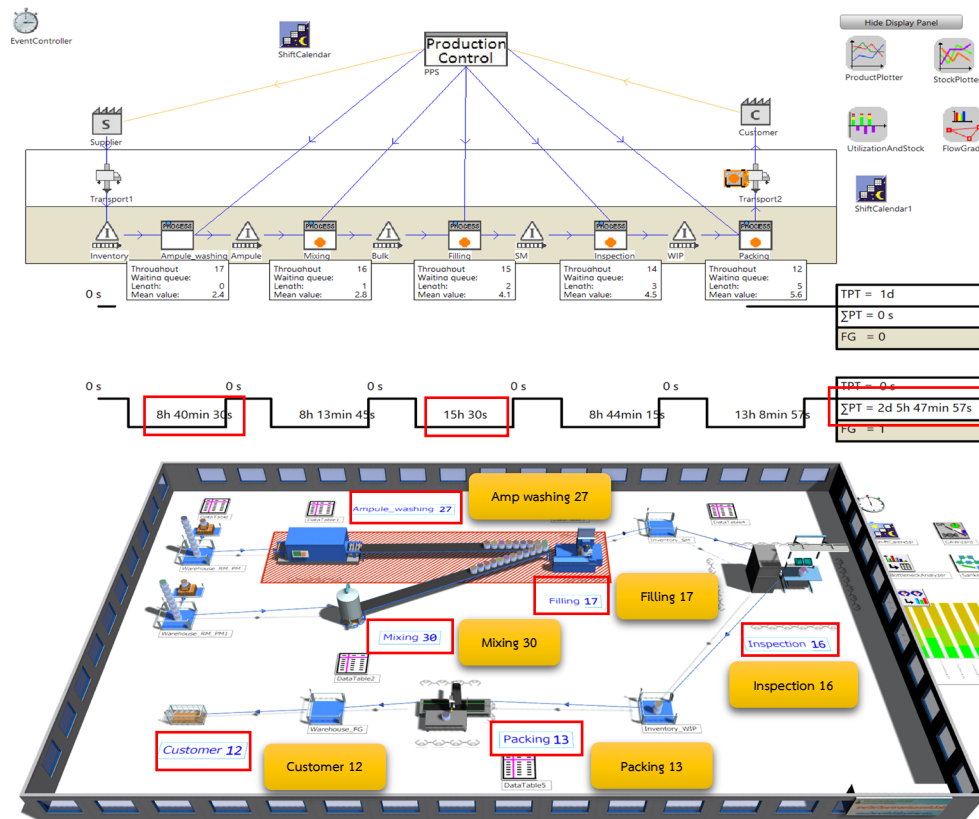
ตารางที่ 6 : ค่าของเวลานำและดัชนีมูลค่าเพิ่ม

ยา	เวลานำ	ดัชนีมูลค่าเพิ่ม
P4	2:19:08	64.25
P5	4:03:05	75.78
P9	3:00:24	60.05
P10	3:05:06	68.87
P14	2:23:10	66.28
P20	3:02:54	67.96
P23	3:10:30	70.91
P26	3:06:06	69.27

3.4) ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการโดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการ เพื่อเทียบกับสถานการณ์ปัจจุบัน ดังรูปที่ 9

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ใช้การตรวจสอบความสอดคล้องผ่านการเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง (comparison with real-world data) [20] ข้อมูลจากการจำลองในโปรแกรมเทียบกับข้อมูลจริง หากผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน แสดงว่าแบบจำลองมีความสอดคล้อง เปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างข้อมูลจริงกับแบบจำลองควรมีค่าไม่เกินสิบเปอร์เซ็นต์ [3] และการทำงานในโปรแกรมต้องมีพฤติกรรมและกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการปฏิบัติจริง เพื่อยืนยันว่าแบบจำลองเป็นตัวแทนสามารถนำไปใช้ในการออกแบบการจำลองทางเลือกอื่น ๆ ได้ การตรวจสอบความถูกต้อง เทียบ 2 ส่วน ส่วนแรกใช้ข้อมูลเวลารวมในการผลิตของสินค้าแต่ละตัวของข้อมูลจริงเทียบกับจากโปรแกรม และส่วนที่สองใช้เวลาเฉลี่ยกระบวนการจริงเทียบกับโปรแกรม เทียบความแตกต่าง ดังตารางที่ 7 และแต่ละสถานการณ์มีความแตกต่างกัน ดังสรุปในตารางที่ 8



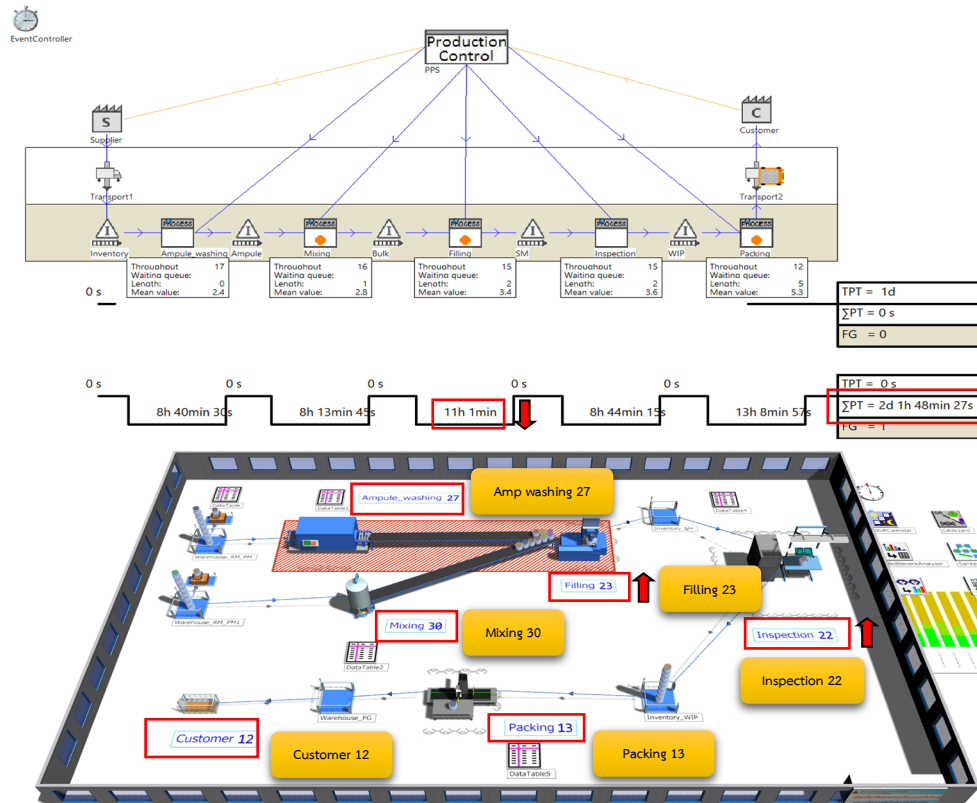
รูปที่ 9 : แบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน

ตารางที่ 7 : การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์

กระบวนการ	สินค้า								เวลาเฉลี่ยจากกระบวนการ (ชั่วโมง)	เวลาเฉลี่ยจากโปรแกรมจำลอง (ชั่วโมง)	ส่วนต่าง (%)
	P4	P5	P9	P10	P14	P20	P23	P26			
ล้างขวดแอมพูล	6.1	16.3	7.4	8.7	7.3	7.1	8.8	7.7	8.68	8.67	0.06
ผสม	4.2	15.7	6.7	8.8	7.0	6.5	8.5	8.4	8.23	8.22	0.12
บรรจุตัวยาล	13.7	26.4	13.3	13.4	13.2	12.9	13.7	13.4	15.01	15.00	0.05
ตรวจสอบอนุภาค	6.5	16.0	8.2	8.5	8.3	7.2	7.7	7.5	8.74	8.73	0.09
บรรจุ	12.6	8.6	12.8	13.7	11.3	17.2	19.8	17.1	14.14	13.13	7.13
เวลารวม (ชั่วโมง)	43.14	83.00	48.40	53.10	47.20	50.90	58.50	54.10			
เวลารวมจากโปรแกรมจำลอง (ชั่วโมง)	42.96	75.12	48.00	53.04	47.08	49.92	58.08	54.00			
ส่วนต่าง (%)	0.42	9.49	0.83	0.11	0.25	1.93	0.72	0.18			

ตารางที่ 8 : การเปรียบเทียบสถานการณ์ทั้ง 3 รูปแบบ

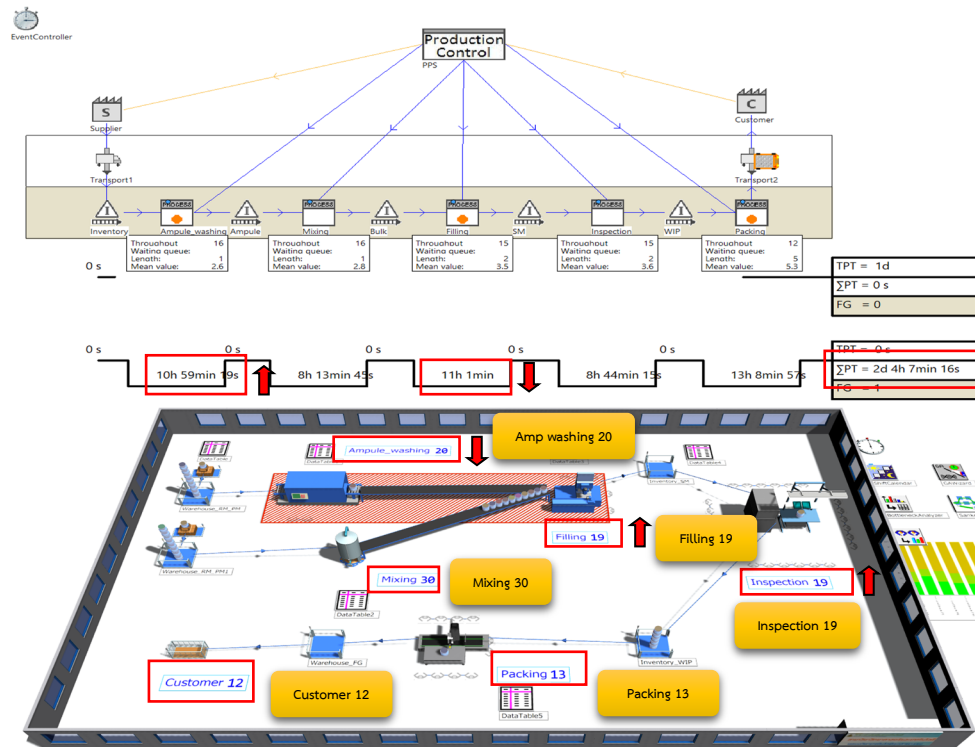
สถานการณ์	ปรับปรุงกระบวนการ	ระยะเวลาในขั้นตอนบรรจุด้วยยา
ปัจจุบัน	ขั้นตอนบรรจุด้วยยา 6 คน	15 ชั่วโมง 30 วินาที
1	เพิ่มจำนวนพนักงาน 2 คนในขั้นตอนบรรจุด้วยยา (อัตราการทำงานเท่าเดิม)	11 ชั่วโมง 1 นาที
2	โยกย้ายคนจากแผนกล้างขวดแอมพูล 2 คนมาช่วยในแผนกบรรจุด้วยยา	11 ชั่วโมง 1 นาที (แต่ขั้นตอนล้างขวดแอมพูลเพิ่มจาก 8 ชั่วโมง 40 นาที เป็น 10 ชั่วโมง 59 นาที)
3	ใช้เครื่องจักร (อัตราการทำงาน 27,000 หลอดต่อชั่วโมง) ทดแทนเครื่องจักรเก่าในขั้นตอนบรรจุด้วยยา (อัตราการทำงาน 14,280 หลอดต่อชั่วโมง)	5 ชั่วโมง 39 นาที 45 วินาที



รูปที่ 10 : แบบจำลองสถานการณ์ที่ 1

3.4.1) สถานการณ์ที่ 1 เพิ่มพนักงานในขั้นตอนบรรจุด้วยยา ใช้เวลาลดลงจาก 15 ชั่วโมง 30 วินาที เหลือ 11 ชั่วโมง 1 นาที ดังรูปที่ 10 การเพิ่มพนักงาน 2 คน แก้ไขได้ง่าย ไม่มีผลกระทบต่อส่วนอื่น ช่วยเพิ่มกำลังการผลิต จากแนวคิดการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (cost-benefit analysis) [21] โดยเพิ่มปัจจัยการผลิต คือ บุคลากร แต่ต้องประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้ ระบุดัชนีทุนและผลประโยชน์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ต้นทุน-ผลตอบแทนต่อหน่วย (benefit-cost ratio) หากสูงกว่า 1 หมายความว่าโครงการนั้นมีผลตอบแทนสูงกว่าต้นทุนและนำลงทุน ควรพิจารณาผลตอบแทนทั้งทางตรง

และทางอ้อม เช่น ลดจุดคอขวดของกระบวนการ สามารถส่งสินค้าได้ตามความต้องการของลูกค้า ปัจจุบันมีเครื่องบรรจุอยู่ 2 เครื่อง มีผู้ดูแลเครื่องละ 3 คน จึงเพิ่มพนักงาน 1 คนต่อ 1 เครื่อง และการเพิ่มจำนวนคนที่มากเกินไป เช่น 4 หรือ 6 คน อาจจะไม่ได้ทำให้กำลังการผลิตมากขึ้นแบบเท่าตัว เนื่องจากเครื่องจักรมีกำลังการผลิตจำกัด ทางเลือกนี้จึงเหมาะสมในกรณีที่ฝ่ายทรัพยากรบุคคลสามารถหาพนักงานมาให้ได้ และลูกค้ามีความต้องการมากกว่าในปัจจุบัน โดยสามารถลดเวลารวมที่ใช้ลงได้ 3 ชั่วโมง 59 นาที 30 วินาที (7.42%)



รูปที่ 11 : แบบจำลองสถานการณ์ที่ 2

3.4.2) สถานการณ์ที่ 2 ย้ายพนักงานจากแผนกล้างขวด แอมพูล 2 คนมาช่วยแผนกบรรจุด้วยยา ทำให้ขั้นตอนล้างขวด แอมพูลเวลาเพิ่มขึ้นจาก 8 ชั่วโมง 40 นาที 30 วินาที เป็น 10 ชั่วโมง 59 นาที 19 วินาที และใช้เวลาในกระบวนการคอคขวด ลดลงจาก 15 ชั่วโมง 30 วินาที เหลือ 11 ชั่วโมง 1 นาที ดังรูปที่ 11

สถานการณ์นี้ ไม่มีการเพิ่มต้นทุน แต่ย้ายได้เมื่อแผนกอื่น มีงานลดลงหรือสินค้าคงคลังเพียงพอ จากทฤษฎีการพัฒนา บุคลากร (human resource development) การสลับหน้าที่ งานว่าเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ เป็นวิธี พัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความสามารถหลากหลาย ช่วยเพิ่ม แรงจูงใจ (motivation) ลดความเหนื่อยล้าจากการทำงานซ้ำ ๆ ช่วยลดปัญหาความล่าช้าหรือการหยุดชะงักของกระบวนการ ผลิตหากมีพนักงานบางส่วนขาดงาน ช่วยให้พนักงานมองเห็น ภาพรวมของกระบวนการทำงาน และสร้างความรู้สึกร่วมร่วม ในการผลิตโดยรวม ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น [22] สถานการณ์นี้เหมาะในกรณีที่ไม่สามารถหาพนักงานเพิ่มได้ หรือ ต้องจำกัดต้นทุน หรือไม่มีงบประมาณ เมื่อดูผลจากการจำลองใน โปรแกรม มีสมดุลการผลิตดีขึ้น จากขั้นตอนล้างขวดแอมพูลมี กำลังการผลิตเพียงพอต่อการส่งผลิตในขั้นต่อไป ส่งผลให้สินค้า

คงคลังหรือรอระหว่างขั้นตอนลดลง เวลารวมลดลงจาก สถานการณ์ปัจจุบันได้ 1 ชั่วโมง 40 นาที 41 วินาที (3.12%)

3.4.3) สถานการณ์ที่ 3

ใช้เครื่องจักรทดแทนพนักงานทั้งหมดในขั้นตอนคอคขวด จึง ทำให้ขั้นตอนนี้ใช้เวลาในกระบวนการลดลงจาก 15 ชั่วโมง 30 วินาที เหลือ 5 ชั่วโมง 39 นาที 45 วินาที ดังรูปที่ 12

เพิ่มกำลังการผลิต แต่ต้นทุน 12,500,000 บาท และต้นทุน ค่าซ่อมบำรุง ค่าปรับปรุงสถานที่จัดวาง จากทฤษฎีการจัดการ ผลิต (production management) โดยใช้ทรัพยากรอย่างมี ประสิทธิภาพ เป็นหนึ่งในขั้นตอนของการวางแผนการผลิต (production planning) การเพิ่มเครื่องจักรหรือปรับเปลี่ยน กระบวนการผลิต ต้องวางแผนการผลิตที่เหมาะสม และประเมิน ความคุ้มค่าของเครื่องจักรใหม่ (benefit-cost analysis) [21], [23] ช่วยรองรับปริมาณงานที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ทำให้กระบวนการ อื่นล่าช้าหรือขัดข้อง การใช้เครื่องจักรเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ กระบวนการ (process optimization) ผลิตสินค้าได้ในปริมาณ ที่มากขึ้นในเวลาที่น้อยลง ใช้กำลังการผลิตที่มีอยู่เกิดประสิทธิผล สูงสุด [23]

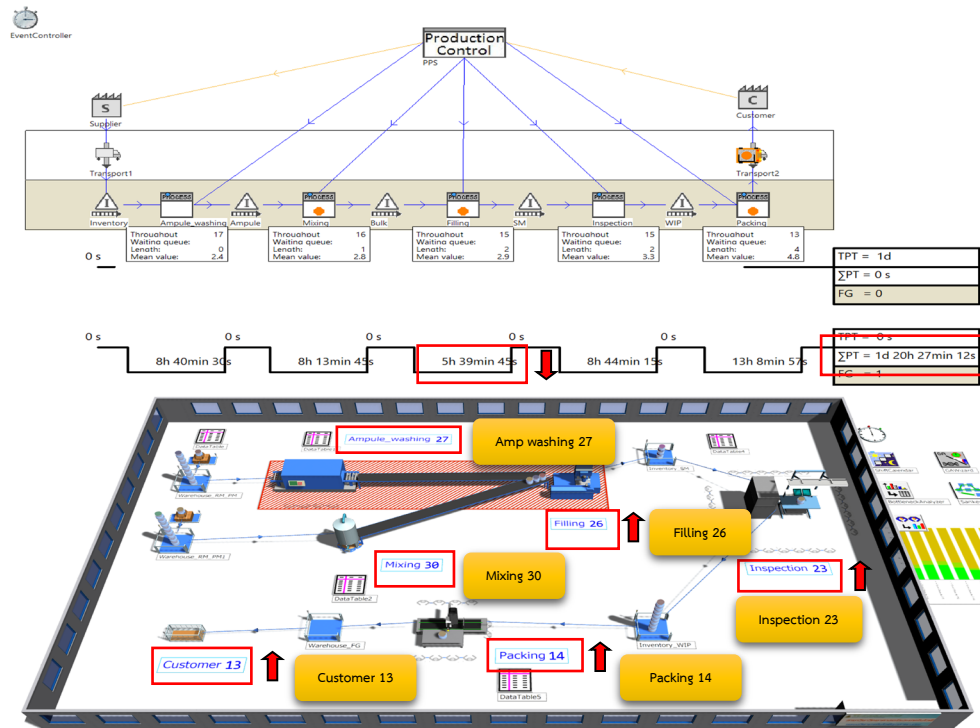
จากข้อมูลของทั้ง 3 สถานการณ์ สรุปเป็นตารางเปรียบเทียบ เวลาของขั้นตอนการผลิตของสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคตทั้ง 3 รูปแบบ ดังตารางที่ 9

รอบเวลาของการผลิต 15 ชั่วโมง จากเวลาที่มากที่สุดของทุก กระบวนการผลิต และเวลาผลิตเฉลี่ยตามความต้องการ (Takt time) เป็น 13.65 ชั่วโมง คำนวณจากความต้องการของลูกค้า ของยาในกลุ่ม A รวมกัน คือ 20 ล็อตต่อเดือน และเวลาการ

ทำงาน 10 ชั่วโมงครึ่งต่อวัน 273 ชั่วโมงต่อเดือน (วันทำงาน 26 วันต่อเดือน $26 \times 10.5 = 273$) ดังนั้นคอขวดของสถานการณ์ ปัจจุบันเกิดที่ขั้นตอนบรรจุด้วยยา ดังรูปที่ 13

$$\text{Takt time} = \frac{\text{ระยะเวลาทำงานสุทธิต่อเดือน}}{\text{จำนวนสินค้าที่ต้องการ}}$$

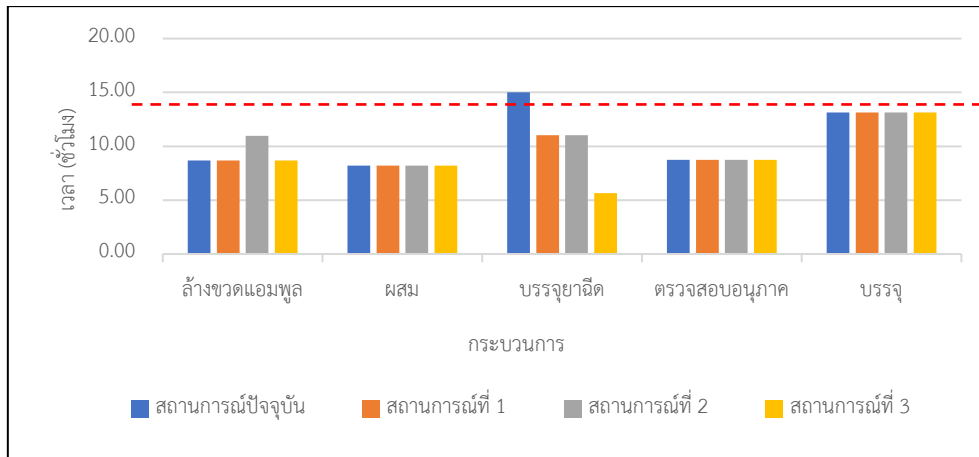
$$= \frac{273}{20} = 13.65 \text{ ชั่วโมงต่อล็อต}$$



รูปที่ 12 : แบบจำลองสถานการณ์ที่ 3

ตารางที่ 9 : การเปรียบเทียบเวลาของขั้นตอนการผลิตของสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคตทั้ง 3 รูปแบบ

ขั้นตอน	เวลา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)			
	สถานการณ์ปัจจุบัน	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3
ล้างขวดแอมพูล	8:40:30	8:40:30	10:59:19	8:40:30
ผสม	8:13:45	8:13:45	8:13:45	8:13:45
บรรจุด้วยยา	15:00:30	11:01:00	11:01:00	5:39:45
ตรวจสอบอนุภาค	8:44:15	8:44:15	8:44:15	8:44:15
บรรจุ	13:08:57	13:08:57	13:08:57	13:08:57
เวลารวม	53:47:57	49:48:27	52:07:16	44:27:12
เวลาต่างจากสถานการณ์ปัจจุบัน		3:59:30	1:40:41	9:20:45
เวลาที่ลดลงจากสถานการณ์ปัจจุบัน (%)		7.42	3.12	17.37



รูปที่ 13 : รอบเวลาการผลิตเทียบกับเวลาผลิตเฉลี่ยตามความต้องการ

ตารางที่ 10 : ค่าเวลานำของสถานการณ์ในอนาคตเทียบกับสถานการณ์ปัจจุบัน

ยา	เวลานำ (วัน:ชั่วโมง:นาที)				
	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ปัจจุบัน	เวลาที่ต่างกัน
P4	2:15:29	2:09:33	2:10:27	2:19:08	0:09:35 F#2
P5	3:20:16	4:02:08	3:05:58	4:03:05	0:57:07 F#3
P9	3:05:00	3:07:58	2:16:23	3:08:36	0:52:13 F#3
P10	3:01:32	3:04:53	2:22:37	3:05:06	0:42:29 F#3
P14	2:19:37	2:22:33	2:15:13	2:23:10	0:07:57 F#3
P20	2:23:26	3:02:16	2:19:17	3:02:54	0:43:37 F#3
P23	3:14:32	3:17:54	3:11:25	3:10:30	(0:00:55) F#3
P26	3:02:29	3:05:36	2:21:59	3:06:06	0:44:07 F#3

หมายเหตุ : F#2 คือ สถานการณ์ มีค่าดีที่สุด และ F#3 คือ สถานการณ์ 3 มีค่าดีที่สุด

4) ผลการวิจัย

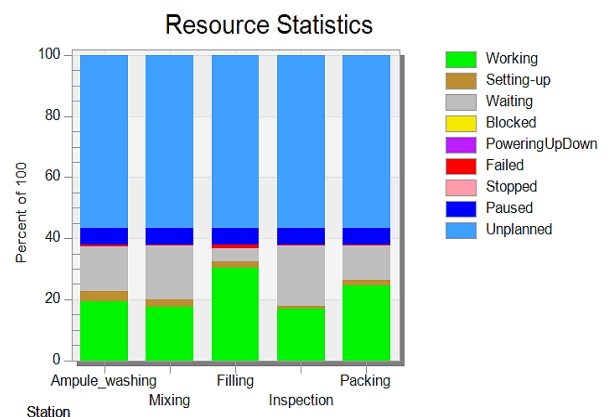
กำหนดเวลาการผลิตแต่ละสถานการณ์ 30 วัน เวลานำเมื่อพิจารณาแยกแต่ละตัว พบว่าสถานการณ์ 3 มีค่าดีที่สุด (แสดงในตาราง F#3) ยกเว้นยา P4 ในสถานการณ์ 2 มีค่าดีที่สุด (แสดงในตารางเป็น F#2) แต่จากการทดสอบปรากฏว่ายา P23 ในสถานการณ์ปัจจุบันมีค่าดีที่สุด แต่ห่างจากสถานการณ์ที่ 3 เพียง 55 นาที ดังตารางที่ 10

เมื่อให้โปรแกรมคำนวณค่าตัวแปรที่ได้ในแต่ละสถานการณ์ ผลลัพธ์ที่ได้ของสถานการณ์ปัจจุบันของยาในกลุ่ม A ดังรูปที่ 14 โดยพบว่าสัดส่วนของการทำงาน ในขั้นตอนบรรจุตัวยาส่งกว่าขั้นตอนอื่น ๆ

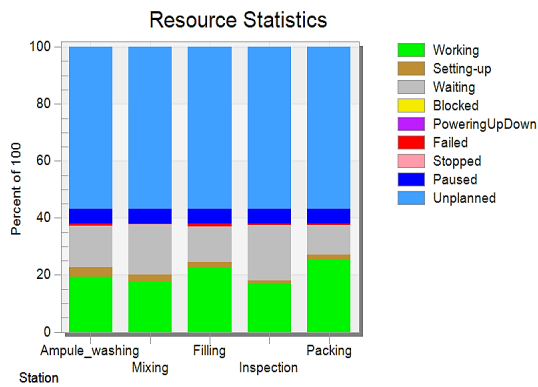
4.1) สถานการณ์ที่ 1

สัดส่วนของการทำงานทุกขั้นตอนสมดุลกัน แต่พบว่าเวลาในการรอคอย ทุกขั้นตอนมีสัดส่วนที่สูง เนื่องจากการทดสอบแบบ

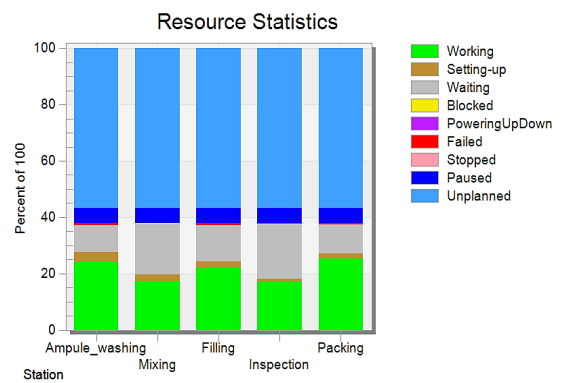
จำลองเริ่มต้นจากการเริ่มผลิตใหม่ ทำให้ต้องรอคอยยาของขั้นตอนก่อนหน้าในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 : ค่าพารามิเตอร์ของสถานการณ์ปัจจุบันของยาในกลุ่ม A



รูปที่ 15 : ค่าพารามิเตอร์ของสถานการณ์ที่ 1



รูปที่ 16 : ค่าพารามิเตอร์ของสถานการณ์ที่ 2

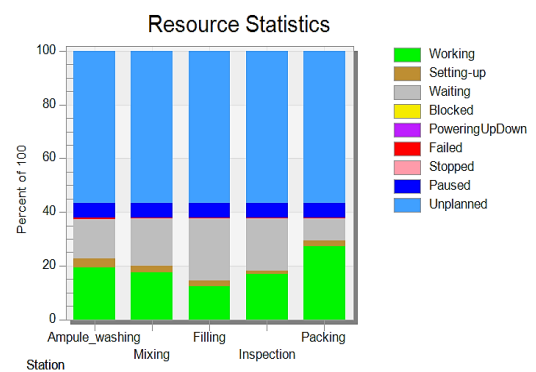
4.2) สถานการณ์ที่ 2

สัดส่วนการทำงานของขั้นตอนล้างขวดแอมพูลสูงขึ้นเนื่องจากจำนวนพนักงานน้อยลงจากการไปช่วยขั้นตอนบรรจุตัวยา แต่ก็ไม่ได้กระทบกับสมดุลของสายการผลิต ดังรูปที่ 16

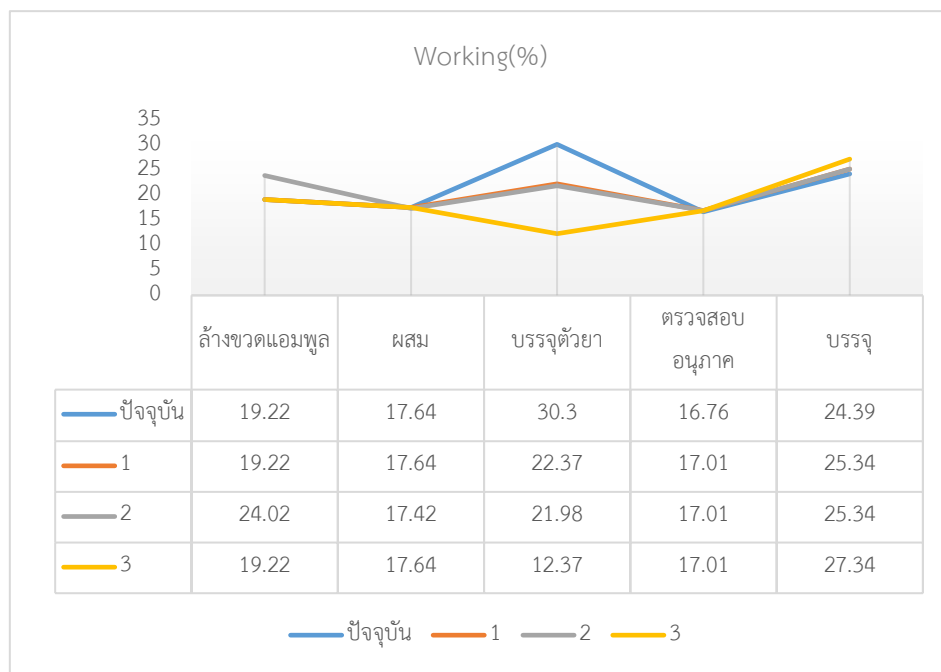
4.3) สถานการณ์ที่ 3

ขั้นตอนบรรจุตัวยาลดลงมาก และต่ำกว่าขั้นตอนอื่น ๆ ของกระบวนการ แต่ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนที่ตามหลัง ทำให้สัดส่วนการทำงานที่สูงขึ้น ดังรูปที่ 17

เมื่อนำค่าสัดส่วนของการทำงาน (working) ของทั้ง 3 สถานการณ์มาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 18



รูปที่ 17 : ค่าพารามิเตอร์ของสถานการณ์ที่ 3



รูปที่ 18 : ค่าสัดส่วนของการทำงาน (working) ของทั้ง 3 สถานการณ์

4.4) เปรียบเทียบ 3 สถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ต่อเนื่อง 3 เดือน เพื่อให้มีสินค้าคงคลังใน จะมีผลผลิตที่ได้ในแต่ละเดือน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 : ผลผลิตที่ได้ในแต่ละขั้นตอนในแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	ขั้นตอน	ผลผลิตที่ได้ (ล็อต)		
		เดือนที่		
		1	2	3
ปัจจุบัน	ล้างขวดแอมพูล	27	27	24
	ผสม	30	30	20
	บรรจุด้วยยา	17	17	16
	ตรวจสอบอนุภาค	16	17	16
	บรรจุ	13	14	15
1	ล้างขวดแอมพูล	27	27	26
	ผสม	30	30	29
	บรรจุด้วยยา	23	22	21
	ตรวจสอบอนุภาค	22	19	15
	บรรจุ	13	14	15
2	ล้างขวดแอมพูล	20	21	19
	ผสม	30	30	29
	บรรจุด้วยยา	19	21	19
	ตรวจสอบอนุภาค	19	20	17
	บรรจุ	13	14	15
3	ล้างขวดแอมพูล	27	27	26
	ผสม	30	30	29
	บรรจุด้วยยา	26	27	17
	ตรวจสอบอนุภาค	25	16	15
	บรรจุ	14	13	15

ตารางที่ 12 : เปรียบเทียบเวลาการผลิต ต้นทุนค่าเพิ่ม และต้นทุนของแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	เวลาในการผลิต (วัน:ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ค่าดัชนี มูลค่าเพิ่ม (เดือน)	เงินลงทุน (บาท/เดือน)
ปัจจุบัน	2:5:47:57	67.92	-
1	2:1:48:27 (ลดลง 7.42%)	65.47	27,000
2	2:4:7:16 (ลดลง 3.12%)	66.23	-
3	1:20:27:12 (ลดลง 17.37%)	63.87	ลดลง 40,500 และเครื่องจักร 12,500,000 บาท

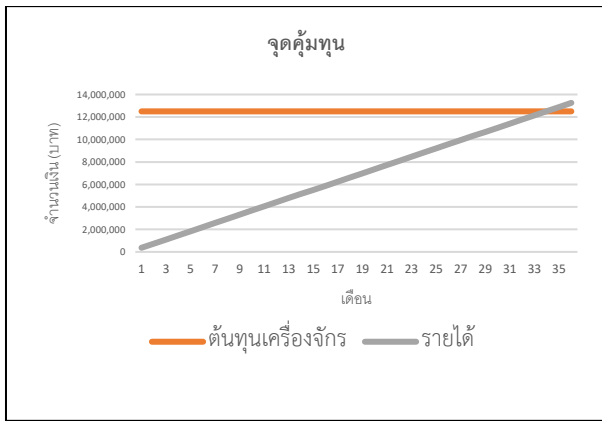
ผลลัพธ์ของทางเลือกทั้ง 3 ที่มีผลต่อการเลือกที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ เวลาในการผลิต ต้นทุนค่าแรงงานและเวลาในการส่งมอบ และค่าดัชนีมูลค่าเพิ่ม คือ ตัวชี้วัดที่แสดงถึงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และเงินลงทุนเพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการลงทุน ดังตารางที่ 12

สถานการณ์ปัจจุบันและ 2 มีต้นทุนพนักงาน 675,000 บาทต่อเดือน สถานการณ์ที่ 1 มีต้นทุนพนักงาน 702,000 บาทต่อเดือน และสถานการณ์ที่ 3 มีต้นทุนพนักงาน 634,500 บาทต่อเดือน, เครื่องจักร 12,500,000 บาท

สถานการณ์ที่ 3 ลดต้นทุนพนักงาน 50 คน เป็น 47 คน มีส่วนต่าง 40,500 บาทต่อเดือน และจำนวนที่ผลิตได้ต่อเดือนในขั้นตอนบรรจุ 17 ล็อต สถานการณ์ปัจจุบันได้ 16 ล็อต แต่ในสถานการณ์ที่ 3 มีค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า และค่าซ่อมแซม 12,500 บาทต่อเดือน ความคุ้มค่าของสถานการณ์ที่ 3 กับสถานการณ์ปัจจุบัน จะมีความคุ้มค่า 2 ปี 9 เดือน 28 วัน ดังตารางที่ 13 และกราฟแสดงจุดคุ้มทุน ดังรูปที่ 19

ตารางที่ 13 : เปรียบเทียบความคุ้มค่าแต่ละสถานการณ์ในแง่ของต้นทุนและกำลังการผลิต

รายละเอียด	สถานการณ์			
	ปัจจุบัน	1	2	3
ต้นทุนพนักงานต่อเดือน	675,000 บาท	702,000 บาท	675,000 บาท	634,500 บาท
ส่วนต่างของต้นทุนพนักงานเทียบกับสถานการณ์ปัจจุบัน	-	27,000 บาท	0	-40,500 บาท
ต้นทุนเครื่องจักร	-	-	-	12,500,000 บาท
ค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า และ ค่าซ่อมแซมต่อเดือน	-	-	-	12,500 บาท
จำนวนที่ผลิตได้ต่อเดือนจากโปรแกรม Tecnomatix (ขั้นตอนบรรจุด้วยยา)	16 ล็อต	21 ล็อต	19 ล็อต	17 ล็อต
รายได้จากยาต่อล็อต	340,241.82 บาท			
รายได้รวมต่อเดือน	5.44 ล้านบาท	7.14 ล้านบาท	6.46 ล้านบาท	5.78 ล้านบาท
รายได้ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับสถานการณ์ปัจจุบัน	-	1.70 ล้านบาท	1.02 ล้านบาท	0.34 ล้านบาท



รูปที่ 19 : จุดคุ้มทุนของสถานการณ์ที่ 3

5) สรุปและอภิปรายผล

5.1) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตก่อนและหลังการใช้เทคนิคสายธารแห่งคุณค่า (Current State and Future State)

การปรับปรุงกระบวนการผลิตในสภาวะอนาคต (future state) มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากสภาวะปัจจุบัน (current state) พบปัญหาว่าขั้นตอนบรรจุตัวยาใช้ระยะเวลาในการผลิตสูงกว่าขั้นตอนอื่น ส่งผลให้กระบวนการผลิตไม่มีความสมดุล เกิดเวลาในการรอคอยในขั้นตอนถัดไป

ระยะเวลาในการผลิตยาลดลงจากจากสถานการณ์ปัจจุบันใช้เวลา 2 วัน 5 ชั่วโมง 47 นาที 57 วินาที สถานการณ์ที่ 1 ใช้เวลา 2 วัน 1 ชั่วโมง 48 นาที 27 วินาที (ลดลง 7.42%) สถานการณ์ที่ 2 ใช้เวลา 2 วัน 4 ชั่วโมง 7 นาที 16 วินาที (ลดลง 3.12%) และสถานการณ์ที่ 3 ใช้เวลา 1 วัน 20 ชั่วโมง 27 นาที 12 วินาที (ลดลง 17.37%)

5.2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตในแต่ละสถานการณ์ (Scenario) โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการผลิต

ลดเวลานำลงได้ โดยในสถานการณ์ที่ 3 เทียบกับสถานการณ์ปัจจุบัน ยา P5 ลดได้ 57 นาที 7 วินาที ยา P9 ลดได้ 52 นาที 13 วินาที ยา P10 ลดได้ 42 นาที 29 วินาที ยา P14 ลดได้ 7 นาที 57 วินาที ยา P20 ลดได้ 43 นาที 29 วินาที ยา P26 ลดได้ 44 นาที 7 วินาที และของยา P4 พบว่าในสถานการณ์ 2 มีค่าดีที่สุด โดยสามารถลดเวลานำเมื่อเทียบกับสถานการณ์ปัจจุบันได้ 9 นาที 35 วินาที แต่ปรากฏว่ายาน P23 ในสถานการณ์ปัจจุบันมีค่าดีที่สุด แต่ห่างจากสถานการณ์ที่ 3 เพียง 55 วินาที

ค่าพารามิเตอร์ส่วนการทำงาน สถานการณ์ปัจจุบัน ขั้นตอนบรรจุตัวยาสูงกว่าขั้นตอนอื่น เป็นขั้นตอนคอขวด เมื่อเพิ่มพนักงาน 2 คนในขั้นตอนบรรจุตัวยาในสถานการณ์ที่ 1 พบว่าทุกขั้นตอนมีความสมดุลขึ้น และเมื่อโยกย้ายคนจากแผนกล้างขวดแอมพูล 2 คนมาช่วยในแผนกบรรจุตัวยาในสถานการณ์ที่ 2 พบว่าสัดส่วนการทำงานของขั้นตอนล้างขวดแอมพูลสูงขึ้น แต่ก็ไม่ได้กระทบกับสมดุลของสายการผลิต และเมื่อใช้เครื่องจักรทดแทนพนักงาน ในสถานการณ์ที่ 3 พบว่าสัดส่วนของขั้นตอนบรรจุตัวยาลดลง และต่ำกว่าขั้นตอนอื่น แต่จะส่งผลกระทบต่อขั้นตอนที่ตามหลัง ทำให้มีสัดส่วนการทำงานที่สูงขึ้น ที่เห็นชัดในขั้นตอนบรรจุ เนื่องจากมียาที่ส่งมาเร็วยิ่งขึ้น

พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ เมื่อกำหนดระยะเวลาในการผลิต 30 วัน ผลิตได้เพิ่มขึ้นในขั้นตอนบรรจุ จากสถานการณ์ปัจจุบัน 17 ลีต สถานการณ์ที่ 1, 2 และ 3 ได้ 21 ลีต, 19 ลีต และ 17 ลีต ตามลำดับ

5.3) เปรียบเทียบความคุ้มค่าของการนำเครื่องจักรใหม่แทนการใช้คนในกระบวนการบรรจุตัวยา

ประสิทธิภาพของสมดุลสายการผลิต ได้แก่ ลดขั้นตอนคอขวดของกระบวนการบรรจุตัวยาและลดค่าใช้จ่ายพนักงานลง 6.00% สถานการณ์ที่ 3 เทียบกับปัจจุบัน มีค่าใช้จ่ายในเครื่องจักร ความคุ้มทุน 2 ปี 9 เดือน 28 วัน แม้ใช้เวลาต้นทุนระยะยาว แต่ส่งผลดีในกรณีที่ในอนาคตมีปริมาณความต้องการผลิตเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเครื่องจักรมีความสามารถในการผลิตเหลือเฟือพอจึงมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทั้งในด้านปริมาณและด้านคุณภาพ

หากเปรียบเทียบแต่ละทางเลือก เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจเลือกสถานการณ์ที่ดีที่สุดไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง มีข้อจำกัดและปัจจัยที่ต้องระวังและจุดเด่น ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 : ตารางเปรียบเทียบ 3 สถานการณ์

ทางเลือก	จุดเด่น	ข้อจำกัดและปัจจัยที่ต้องระวัง
สถานการณ์ที่ 1	- แก่ได้ง่ายไม่ต้องปรับส่วนอื่น	- เพิ่มต้นทุนในการจ้างแรงงาน 4% ต่อเดือน - ต้องดูแลการผลิตของเครื่องจักรร่วมด้วย - การหาพนักงานอาจทำได้ยากในบางช่วง

ตารางที่ 14 : ตารางเปรียบเทียบ 3 สถานการณ์ (ต่อ)

ทางเลือก	จุดเด่น	ข้อจำกัดและปัจจัยที่ต้องระวัง
สถานการณ์ที่ 2	- ไม่ได้เพิ่มต้นทุน - ไม่ต้องหาพนักงานเพิ่ม	จะสามารถโยกย้ายได้ต่อเมื่อแผนกนั้นไม่มีงานหรือมีสินค้าคงคลังเพียงพอแล้ว
สถานการณ์ที่ 3	- เพิ่มกำลังการผลิต - ลดค่าใช้จ่ายด้านพนักงานลง 6.00 เปอร์เซนต์	- มีต้นทุนเริ่มต้นที่สูง 12,500,000 บาท - ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น ค่าซ่อมบำรุง ค่าปรับปรุงสถานที่จัดวาง เป็นต้น

การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เป็นจุดสำคัญ ทำให้ประเมินผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยลดค่าใช้จ่ายจากการลงมือปฏิบัติจริง ที่เป็นค่าเสียโอกาส (opportunity cost) โดยข้อมูลสถานการณ์ปัจจุบันเป็นข้อมูลสำคัญ ต้องใช้ในโปรแกรม และผลลัพธ์ที่เป็นจุดเด่น ด้านระยะเวลาในการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อขีดความสามารถไปประยุกต์กับงานวิจัยหรืออุตสาหกรรมอื่น เพื่อดูผลลัพธ์ที่ได้ เช่น ผลผลิต, ระยะทางหรือเวลาการเคลื่อนที่

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในอุตสาหกรรมการผลิตยา สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ โดยมีแนวทางในการประยุกต์ใช้ ข้อจำกัดและปัจจัยที่ต้องระวัง ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 : ตารางเปรียบเทียบ 3 สถานการณ์

อุตสาหกรรมที่ประยุกต์ใช้	แนวทางการประยุกต์	ข้อจำกัดและปัจจัยที่ต้องระวัง
อุตสาหกรรมที่ใช้คนในการผลิต	เพื่อหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ	คนจะไม่มีแรงจูงใจในการผลิตเหมือนเครื่องจักร
อุตสาหกรรมผลิตของเหลว	ใช้หาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดได้เช่นกัน	จะต้องออกแบบขั้นตอนการผลิตในโปรแกรมเป็นการผลิตของเหลว
อุตสาหกรรมโลจิสติกส์	สามารถดูผลลัพธ์ของจำนวนสินค้าได้เช่นกัน	ต้องระวังในการใส่ข้อมูลระยะทางเนื่องจากมีผลกระทบต่อผลลัพธ์มาก
อุตสาหกรรมที่มีสินค้าที่ผลิตหลากหลาย	ใช้การจัดกลุ่มพาเรโต	ต้องมียอดขายของสินค้าไม่แปรปรวนมากเกินไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ คุณไกรวุฒิ ดีบัว และบริษัท อิตาซี ซันเวย์ อินฟอร์เมชัน ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด ในการให้คำปรึกษาและแนะนำในส่วนของการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation

REFERENCES

- [1] N. Tunpaiboon. "Industry Outlook 2023-2025 : Pharmaceuticals." KRUNGSRI.com. <https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/chemicals/pharmaceuticals/io/io-pharmaceuticals-2023-2025> (accessed Feb. 1, 2023).
- [2] Department of Older Persons, "Elderly People Statistics," 2023. [Online]. Available: https://www.dop.go.th/th/statistics_page?cat=1&id=2
- [3] W. Atthirawong, N. Prakotwong, C. Wongsichua, P. Inchan, and R. Singseang, "Improvement of production line of frame sub-assembly seat support: A case study of Thai Summit Gold Press Co., Ltd.," (in Thai), *Thai J. Oper. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–9, 2016.
- [4] M. Kikolski, "Study of production scenarios with the use of simulation models," *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 321–328, 2017.
- [5] J. Siderska, "Application of Tecnomatix plant simulation for modeling production and logistics processes," *Bus. Manag. Educ.*, vol. 14, no. 1, pp. 64–73, 2016.
- [6] P. A. Russkikh and D. V. Kapulin, "Simulation modeling for optimal production planning using Tecnomatix software," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1661, 2020, Art. no. 012188.
- [7] R. Chiangthong, T. Tresirichod, and K. Chienwattanasook, "Application of tecnomatix plant simulation to improve the quality inspection process," *J. Liberal Arts Service Ind.*, vol. 5, no. 1, pp. 383–395, Feb. 2022.
- [8] Y. Feng and G. Gao, "Design and simulation study on logistics planning in automatic plant factory based on Tecnomatix plant simulation," in *Proc. 2nd World Conf. Mech. Eng. and Intell. Manuf. (WCMEIM)*, Shanghai, China, Nov. 2019, pp. 667–671.
- [9] P. Trebuna, M. Pekarcikova, and M. Petrik, "Application of Tecnomatix process simulate for optimisation of logistics flows," *Acta Montanistica Slovaca*, vol. 23, no. 4, pp. 378–389, 2018.

- [10] P. Trebuna, M. Pekarcikova, and M. Edl, "Digital value stream mapping using the Tecnomatix plant simulation software," *Int. J. Simul. Modelling*, vol. 18, no. 1, pp. 19–32, 2019.
- [11] M. Kikolski, "Identification of production bottlenecks with the use of plant simulation software," *Eng. Manag. Prod. Services.*, vol. 8, no. 4, pp. 103–112, 2016.
- [12] S. Islam, S. Sarker, and M. Parvez, "Production efficiency improvement by using Tecnomatix simulation software and RPWM line balancing technique: A case study," *Amer. J. Indus. Bus. Manag.*, vol. 9, no. 8, pp. 809–820, Apr. 2019.
- [13] A. Kengpol and K. Elfvengren, "Avoiding Covid-19 using a 3d digital mock up and augmented reality with Cobot in digital factory," *Appl. Sci. Eng. Prog.*, vol. 15, no. 3, Art. no. 5624, 2022.
- [14] S. Bangsow, *Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples*, 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2020
- [15] O. Qassim, J. A. Garza-Reyes, M. K. Lim, and V. Kumar, "Integrating value stream mapping and PDCA to improve the operations of a pharmaceutical organisation in Pakistan," in *Proc. 23rd Int. Conf. Prod. Res.*, Manila, Philippines, Aug. 2015.
- [16] M. E. Nenni, L. Giustiniano, and L. Pirolo, "Improvement of manufacturing operations through a lean management approach: A case study in the pharmaceutical industry," *Int. J. Eng. Bus. Manag.*, vol. 6, no. 24, 2014, doi: 10.5772/59027.
- [17] Pramadona and A. Adhiumata, "The application of lean manufacturing for operation improvement: A case study of black cough medicine production in Indonesia," *Asian J. Technol. Manag.*, vol. 6, no. 1, pp. 56–64, 2013.
- [18] K. Kovbasiuk, K. Zidek, M. Balog, and L. Dobrovolska, "Analysis of the selected simulation software packages: A study," *Acta Technologia*, vol. 7, no. 4, pp. 111–120, 2021.
- [19] M. Rostkowska, "Simulation of production lines in the education of engineers: How to choose the right software?," *Manag. Prod. Eng. Rev.*, vol. 5, no. 4, pp. 53–65, 2014.
- [20] A. M. Law, *Simulation Modeling and Analysis*, 5th ed. Boston, MA, USA: McGraw-Hill, 2014.
- [21] W. J. Stevenson, *Operations Management*, 13th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2018.
- [22] J. Heizer and B. Render, *Operations Management*, 10th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2011.
- [23] F. W. Taylor, *The Principles of Scientific Management*. New York, NY, USA: Harper & Brothers, 1911.