

การปรับปรุงกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมอาหารโดยการประยุกต์ใช้ ดีเอ็มเอไอซีและระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัล: กรณีศึกษาการผลิตปูอัด ในประเทศไทย

PROCESS IMPROVEMENT IN THE FOOD INDUSTRY THROUGH DMAIC AND DIGITAL AUTOMATION: A CASE STUDY OF SURIMI CRAB STICK PRODUCTION IN THAILAND

คมกริช วีรวัฒนา¹ ประยูทธ์ ฤทธิเดช^{2*} และ สุภรัชชัย วรรัตน์³

¹บัณฑิตศึกษา สาขาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต 110/1-4 ถนนประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210,
khomgrich.w@gmail.com

^{2,3}อาจารย์ประจำหลักสูตร, สาขาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต 110/1-4 ถนนประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210,
^{2*}prayuth.rit@dpu.ac.th, ³vorarat@dpu.ac.th

Khomgrich Weerawatthana¹, Prayuth Rittidatch^{2*} and Suparatchai Vorarat³

¹Graduate Program in Engineering Management, College of Engineering and Technology,
Dhurakij Pundit University, 110/1-4 Prachachuen Road, Lak Si District, Bangkok 10210,
Thailand, khomgrich.w@gmail.com

^{2,3}Faculty Member, Program in Engineering Management, College of Engineering and
Technology, Dhurakij Pundit University, 110/1-4 Prachachuen Road, Lak Si District,
Bangkok 10210, Thailand, ^{2*}prayuth.rit@dpu.ac.th, ³vorarat@dpu.ac.th

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร โดย
ประยุกต์ใช้แนวคิด Lean Six Sigma ร่วมกับระบบดิจิทัลและระบบอัตโนมัติภายใต้กรอบแนวคิด
DMAIC การวิจัยใช้รูปแบบ Single-Case Embedded Action Research ในโรงงานกรณีศึกษาทำ
การวิเคราะห์กระบวนการผลิตด้วย Value Stream Mapping 4.0 เพื่อระบุความสูญเสียใน
กระบวนการและกำหนดตัวชี้วัดสำคัญของกระบวนการ ผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุง

กระบวนการผลิตโดยการนำระบบอัตโนมัติมาช่วยเพิ่มผลิตภาพขึ้น 430.87% สามารถลดเวลารอคอยจาก 39.50 วินาทีเหลือ 10.80 วินาที เวลาการนำผลิตลดลง 56.25% และเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิต (Cpk) จาก 0.40 เป็น 1.55 ได้อย่างมีนัยสำคัญ การนำระบบอัตโนมัติและการเชื่อมโยงข้อมูลแบบดิจิทัลมาใช้ในการดำเนินงานยังช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของการไหลของกระบวนการผลิตและลดความสูญเสียในระบบ นอกจากนี้การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกในการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้ตัวชี้วัดทางการเงิน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) แสดงให้เห็นว่าการลงทุนในการปรับปรุงกระบวนการมีความเหมาะสมให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า NPV 22.20 ล้านบาท IRR 30.70% และคืนทุนภายใน 2.64 ปี งานวิจัยนี้เสนอแนวทางเชิงบูรณาการสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรมที่มีลักษณะกระบวนการคล้ายคลึงกัน

คำสำคัญ: ดีเอ็มเอไอซี, ลีน-ซิกส์ ซิกมา, ระบบอัตโนมัติดิจิทัล, ผลิตภาพ, อุตสาหกรรมอาหาร

ABSTRACT

This research aims to improve the efficiency of the production process in the food industry by applying Lean Six Sigma concepts along with digital systems and automation under the DMAIC framework. The research employed a single-case embedded action research design in the case study factory, analyzing the production process using Value Stream Mapping 4.0 to identify losses in the process and establish key performance indicators. The study found that improving the production process by incorporating automation increased productivity by 430.87%, reduced waiting time from 39.50 seconds to 10.80 seconds, decreased lead time by 56.25%, and significantly increased the production process capability (Cpk) from 0.40 to 1.55. The implementation of automation and digital data integration in operations also enhanced the continuity of the production process flow and reduced system losses. Additionally, an economic feasibility analysis of process improvement options using financial indicators such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR), and payback period showed that the investment in process improvement was justified, yielding a worthwhile return with an NPV of 22.20 million baht, an IRR of 30.70%, and a payback period of 2.64 years. This research presents an integrated approach for developing production process efficiency, which can be applied as a model for industries with similar processes.

KEYWORDS: DMAIC, Lean Six Sigma, Digital Automation, Productivity, Food Industry

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารเป็นหนึ่งในภาคอุตสาหกรรมหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจและความมั่นคงด้านอาหารของประเทศ ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกำลังเผชิญกับแรงกดดันจากต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น การแข่งขันที่รุนแรง และความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นทั้งในด้านคุณภาพ ความปลอดภัย และความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับ [1] ส่งผลให้องค์กรจำเป็นต้องนำแนวคิดการผลิตสมัยใหม่และเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน แนวคิดอุตสาหกรรม 4.0 ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นกลไกสำคัญในการยกระดับประสิทธิภาพกระบวนการผลิต โดยอาศัยการบูรณาการทางเทคโนโลยีสารสนเทศ ระบบอัตโนมัติและการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง [2,3] การนำเทคโนโลยีมาใช้โดยไม่มีกรอบการปรับปรุงกระบวนการที่เป็นระบบ อาจไม่ก่อให้เกิดผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพอย่างแท้จริง แนวคิด Lean Six Sigma จึงถูกนำมาใช้ควบคู่กันเพื่อมุ่งลดความสูญเปล่า ลดความแปรปรวน และเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการผลิต [4,5] โดยเฉพาะระเบียบวิธี DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการแก้ปัญหาที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลอย่างเป็นระบบ [6] การประยุกต์ใช้แผนที่สายธารคุณค่า ยังช่วยให้สามารถมองเห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตและระบุจุดคอขวดได้อย่างชัดเจน [7,8] ในอุตสาหกรรมอาหาร การผสมผสานแนวคิด Lean Six Sigma และอุตสาหกรรม 4.0 เข้าด้วยกัน ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถยกระดับทั้งประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพผลิตภัณฑ์และความยั่งยืนขององค์กร [9,10]

งานวิจัยในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่มีรายงานผลการปรับปรุงกระบวนการในลักษณะเชิงพรรณนา หรือมุ่งเน้นการใช้เครื่องมือ Lean Six Sigma แยกส่วนซึ่งยังขาดงานวิจัยที่บูรณาการกรอบ DMAIC ร่วมกับแผนที่สายธารคุณค่า 4.0 และการตัดสินใจลงทุนระบบอัตโนมัติโดยเชื่อมโยงผลลัพธ์ด้านสมรรถนะกระบวนการกับการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมอย่างเป็นระบบ [11]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตปูอัด โดยการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัล ซึ่งมุ่งหมายในการเพิ่มผลิตภาพและลดต้นทุนการผลิต
- 2) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และความคุ้มค่าของการลงทุนในกระบวนการผลิตอัตโนมัติที่นำมาใช้

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1) การบูรณาการ DMAIC ร่วมกับแผนที่สายธารคุณค่า 4.0 และระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลสามารถเพิ่มผลิตภาพได้หรือไม่

2) ผลลัพธ์ด้านสมรรถนะกระบวนการ ค่าดัชนี Cpk สามารถใช้เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจลงทุนด้านระบบอัตโนมัติในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมได้หรือไม่

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยด้านการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารได้ให้ความสำคัญกับการลดความสูญเสียและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดย Wang et al [12] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ และ Utama and Abirfatin [13] ได้พัฒนากรอบแนวคิด Sustainable Lean Six Sigma เพื่อสนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนขององค์กร การประยุกต์ใช้ระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-Physical Systems) ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น โดย Meudt et al [14] ได้นำเสนอแนวคิด Value Stream Mapping 4.0 เพื่อเพิ่มความโปร่งใสของข้อมูลและการวิเคราะห์กระบวนการผลิตในระบบอัจฉริยะ และ Sanders et al [15] ชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยี Industry 4.0 มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนระบบการผลิตแบบ Lean ในด้านการวิเคราะห์กระบวนการ ขณะที่ McDonald et al [16] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ Simulation ร่วมกับ Value Stream Mapping เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิต ส่งผลให้เกิดการพัฒนา Value Stream Mapping 4.0 ซึ่ง Kolberg and Zuhlke [17] นำเสนอแนวคิด Lean Automation เพื่อบูรณาการข้อมูลและการผลิตอัจฉริยะอย่างเป็นระบบ ด้าน Lean Six Sigma และ DMAIC งานวิจัยของ Antony et al [18] อธิบายพัฒนาการของ Lean Six Sigma และการประยุกต์ใช้ในยุคปัจจุบัน และ Yu et al [19] ได้พัฒนาแบบจำลอง DMAIC สำหรับการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแบบหลายคุณลักษณะ ขณะที่ Chiarini and Kumar [20] แสดงให้เห็นถึงการบูรณาการ Lean Six Sigma กับ Industry 4.0 เพื่อยกระดับ Operational Excellence

สำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิต Sahoo and Yadav [21] ได้ศึกษาแนวทาง Lean Production Practices ในภาคการผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงบทบาทของ Lean ในการลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ ขณะที่ Sreedharan et al [22] ได้ศึกษาความพร้อมในการประยุกต์ใช้ Lean Six Sigma โดยใช้แบบจำลองประเมินความพร้อม นอกจากนี้ เทคโนโลยีสนับสนุน เช่น Digital Twin [23] การออกแบบการทดลอง (DoE) [24] และ Machine Learning [25] ได้ถูกนำมาใช้เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตในระยะยาว

ตารางที่ 1 การสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

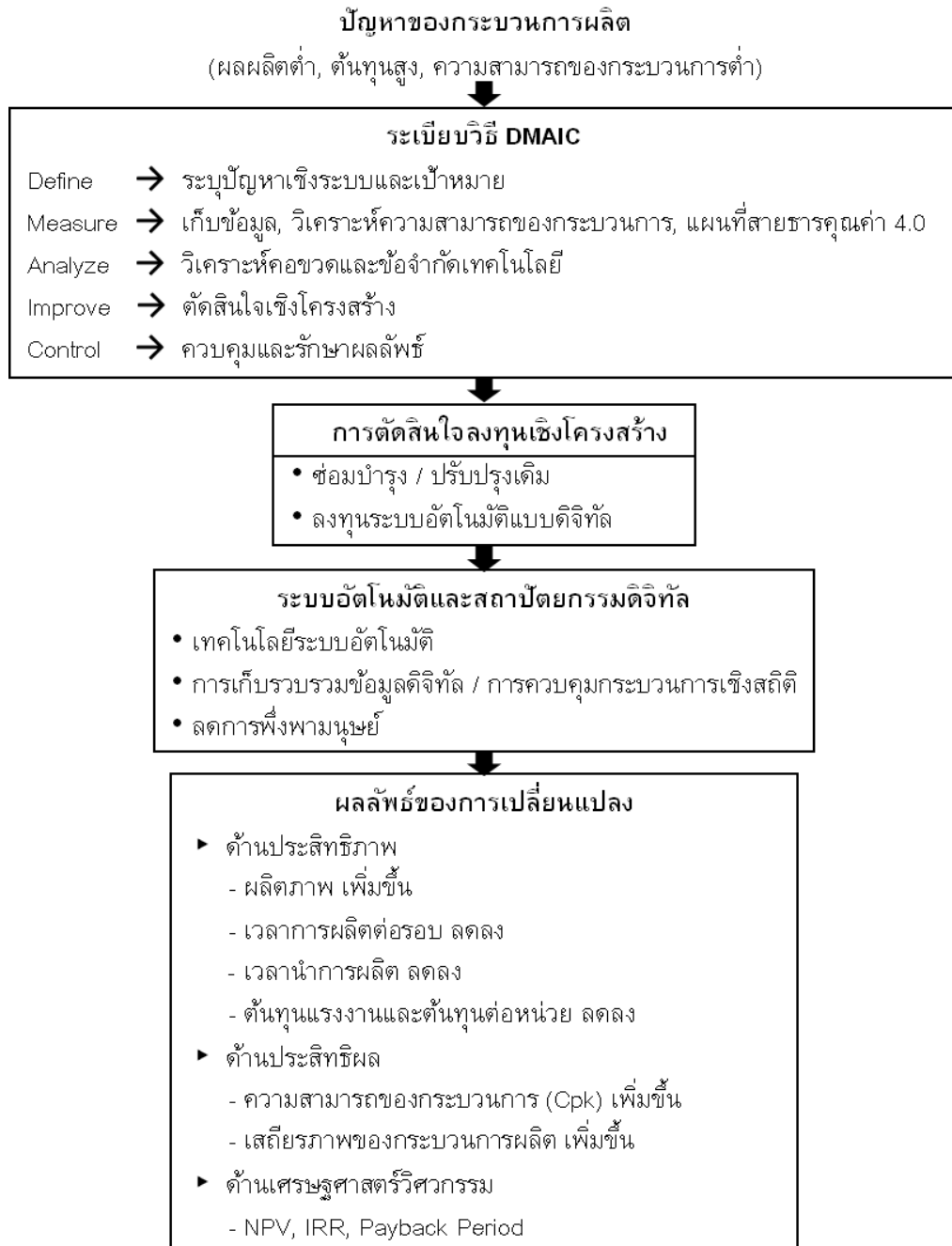
ผู้วิจัย	อุตสาหกรรม	แนวคิด/ เครื่องมือหลัก	ผลลัพธ์	ข้อจำกัดของ งานวิจัย
Wang et al [12]	การผลิต พลังงาน	IoT-enabled energy efficiency / Industry 4.0	การปรับปรุง ประสิทธิภาพพลังงาน และการลดการใช้ พลังงานใน กระบวนการผลิตแบบ real-time monitoring	ยังไม่เชื่อมโยงกับ Lean Six Sigma และไม่มี การวิเคราะห์ Cpk
Utama and Abirfatin [13]	การผลิต	Sustainable Lean Six Sigma Framework	พัฒนารอบแนวคิด เพื่อสนับสนุนการเพิ่ม ประสิทธิภาพและ ความยั่งยืนของ องค์กร	เป็นกรอบแนวคิด เชิงทฤษฎี ยังขาด การประยุกต์ใช้ จริงใน อุตสาหกรรม
Meudt et al [14]	การผลิตทั่วไป	Value Stream Mapping 4.0	แสดงให้เห็นว่าการใช้ VSM 4.0 ช่วยเพิ่ม ความโปร่งใสของ ข้อมูลและลดความ สูญเปล่าใน สายการผลิต	ไม่ได้บูรณาการ DMAIC และไม่มี การวิเคราะห์เชิง สถิติ
Sanders et al [15]	การผลิตทั่วไป	Industry 4.0	เพิ่มประสิทธิภาพของ กระบวนการผลิต	ขาดการวิเคราะห์ ความสามารถ กระบวนการเชิง สถิติ (เช่น Cpk)
Kolberg and Zuhlke [17]	การผลิตทั่วไป	แผนที่สายธาร คุณค่า 4.0	เสนอแนวคิดการบูร ณาการข้อมูลแบบ เรียลไทม์ในระบบการ ผลิตอัจฉริยะ	เป็นโมเดลเชิง แนวคิด ยังไม่มี การพิสูจน์ผลเชิง ปริมาณ

ตารางที่ 1 การสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	อุตสาหกรรม	แนวคิด/ เครื่องมือหลัก	ผลลัพธ์	ข้อจำกัดของ งานวิจัย
Antony et al [18]	การบริการ และ สาธารณสุข	Six Sigma / DMAIC	การประยุกต์ใช้ DMAIC ในการลดข้อบกพร่อง และปรับปรุงคุณภาพ	ไม่ได้เน้น อุตสาหกรรม อาหารและระบบ อัตโนมัติ
Yu et al [19]	การผลิตทั่วไป	DMAIC	ลดความแปรปรวนและ เพิ่มความสามารถของ กระบวนการ	ยังไม่บูรณาการ กับเทคโนโลยี ดิจิทัลและ Industry 4.0
Chiarini and Kumar M [20]	SMEs	DMAIC	เพิ่มประสิทธิภาพ กระบวนการและลดของ เสียในองค์กรขนาด กลางและเล็ก	ขาดการควบคุม กระบวนการเชิง สถิติระยะยาว
Sahoo and Yadav [21]	การผลิตทั่วไป	Lean Production Practices และ Lean Bundles	สนับสนุนการเพิ่ม ประสิทธิภาพการ ดำเนินงาน ลดความ สูญเสีย และปรับปรุง กระบวนการผลิต	เป็นการวิเคราะห์ เชิงเปรียบเทียบ จากข้อมูลสำรวจ ไม่มีการติดตาม ผลการปรับปรุง ในระยะยาว
Sreedharan et al [22]	อาหาร	Lean Six Sigma	การลด Lead Time และปรับปรุง กระบวนการใน กรณีศึกษา	ขาดการสนับสนุน ระบบดิจิทัลและ การเชื่อมต่อ ข้อมูลแบบ เรียลไทม์

จากตารางที่ 1 พบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาแม้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตได้ แต่
ยังขาดการบูรณาการระหว่าง DMAIC แผนที่สายธารคุณค่า 4.0 และการประเมินการลงทุนระบบ
อัตโนมัติด้วยเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแนวทางบูรณาการเพื่อเชื่อมโยง

ผลลัพธ์ด้านผลิตภาพ ความสามารถของกระบวนการ และความคุ้มค่าทางการเงินภายใต้กรอบการตัดสินใจเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการบูรณาการ DMAIC ร่วมกับแผนที่สายธารคุณค่า 4.0 และระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัล

จากรูปที่ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย แสดงการบูรณาการระเบียบวิธี DMAIC ร่วมกับแผนที่สายธารคุณค่า 4.0 และระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัล เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงโครงสร้างในการปรับปรุงกระบวนการผลิต และเชื่อมโยงไปสู่ผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในอุตสาหกรรมอาหาร

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้การวิจัยเชิงกรณีศึกษาแบบกรณีเดียวร่วมกับการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Single-Case Embedded Action Research Design) เพื่อศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตในโรงงานผลิตปุ๋ยอัดแห้งหนึ่ง โดยผู้วิจัยมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์และพัฒนากระบวนการผลิตจริงภายในองค์กร ภายใต้กรอบแนวคิดการปรับปรุงคุณภาพตามวัฏจักร DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) หน่วยวิเคราะห์หลักประกอบด้วยประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ผลผลิตภาพแรงงาน ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ต้นทุนการผลิต และเสถียรภาพของกระบวนการผลิต

3.2 ขอบเขตและระยะเวลาดำเนินการ

การวิจัยดำเนินการระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 รวมระยะเวลา 8 เดือน ครอบคลุมการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อประเมินผลลัพธ์เชิงปริมาณของการปรับปรุงกระบวนการ

3.3 การวิเคราะห์สถานการณ์การปรับปรุงกระบวนการ

เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิต งานวิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario Analysis) โดยเปรียบเทียบสองทางเลือก ได้แก่

- 1) การซ่อมบำรุงและปรับปรุงเครื่องจักรเดิม
- 2) การลงทุนในระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัล

ผลการวิเคราะห์พบว่าการลงทุนในระบบอัตโนมัติสามารถเพิ่มกำลังการผลิต ลดเวลานำของกระบวนการ และลดการพึ่งพาแรงงานได้อย่างมีนัยสำคัญมากกว่าการปรับปรุงเครื่องจักรเดิม การตัดสินใจลงทุนจึงได้รับการประเมินเพิ่มเติมด้วยเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

3.4 หน่วยมาตรฐานและตัวชี้วัดของกระบวนการ

เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความสอดคล้องกัน งานวิจัยกำหนดหน่วยมาตรฐานของตัวชี้วัดหลักดังนี้

- 1) อัตราการผลิตและผลิตภาพ: กก./นาที่
- 2) เวลาในกระบวนการผลิต: วินาที
- 3) น้ำหนักผลิตภัณฑ์: กก.
- 4) ผลิตภาพแรงงาน: กก./นาที่/คน

ตัวชี้วัดหลักของกระบวนการประกอบด้วย ผลิตภาพการผลิต เวลาการผลิตต่อรอบ เวลานำการผลิต งานระหว่างทำ (Work-in-Process: WIP) ความสามารถของกระบวนการ (Cpk) และต้นทุนต่อหน่วย

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

เพื่อให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ งานวิจัยได้ตรวจสอบระบบการวัดตามแนวทาง Measurement System Analysis: MSA เครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูลได้รับการตรวจสอบสภาพและการสอบเทียบก่อนการเก็บข้อมูล ข้อมูลการผลิตที่ใช้ในการวิเคราะห์ยังได้รับการตรวจสอบความสอดคล้องกับบันทึกข้อมูลจากระบบดิจิทัลของโรงงาน เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ

3.6 กรอบการดำเนินงานตามวัฏจักร DMAIC

การวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตดำเนินการตามขั้นตอนของ DMAIC ดังนี้

Define: ระบุปัญหาหลักของกระบวนการผลิต ได้แก่ ผลิตภาพต่ำ ความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพ และการสะสมของงานระหว่างกระบวนการ โดยกำหนดตัวชี้วัดหลักของกระบวนการ เช่น ผลิตภาพ เวลาการผลิตต่อรอบ เวลานำ และค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ

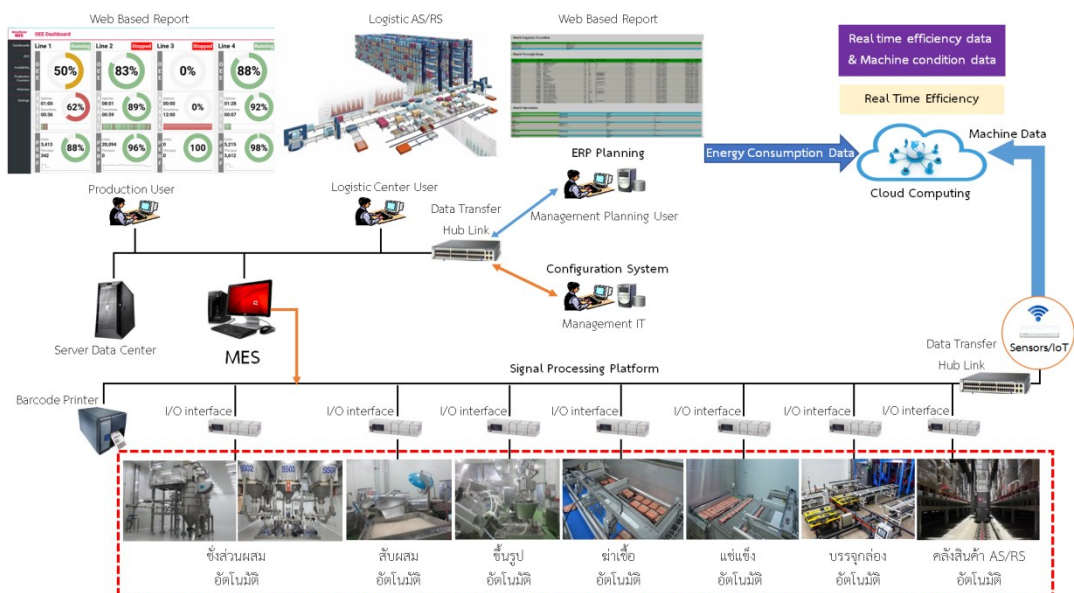
Measure: เก็บข้อมูลกระบวนการผลิตเดิมและวิเคราะห์ตัวชี้วัดของกระบวนการ เช่น อัตราการผลิต ผลิตภาพแรงงาน และความสามารถของกระบวนการ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบการผลิตเดิม

Analyze: วิเคราะห์สาเหตุของความสูญเสียในกระบวนการโดยใช้แผนที่สายธารคุณค่า 4.0 (Value Stream Mapping 4.0) เพื่อระบุจุดขาดของกระบวนการผลิต ทั้งในด้านเวลา เครื่องจักร และการใช้แรงงาน

Improve: ออกแบบกระบวนการผลิตใหม่โดยนำระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลมาใช้ พร้อมปรับปรุงรูปแบบการไหลของกระบวนการผลิตเป็นแบบ One-Piece Flow เพื่อลดเวลารอคอยและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการผลิต

Control: กำหนดมาตรการควบคุมเพื่อรักษาประสิทธิภาพของกระบวนการที่ปรับปรุงแล้ว โดยใช้ระบบติดตามผลผ่าน Manufacturing Execution System: MES การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) และการทบทวนประสิทธิภาพของกระบวนการอย่างสม่ำเสมอ

3.7 สถาปัตยกรรมดิจิทัล

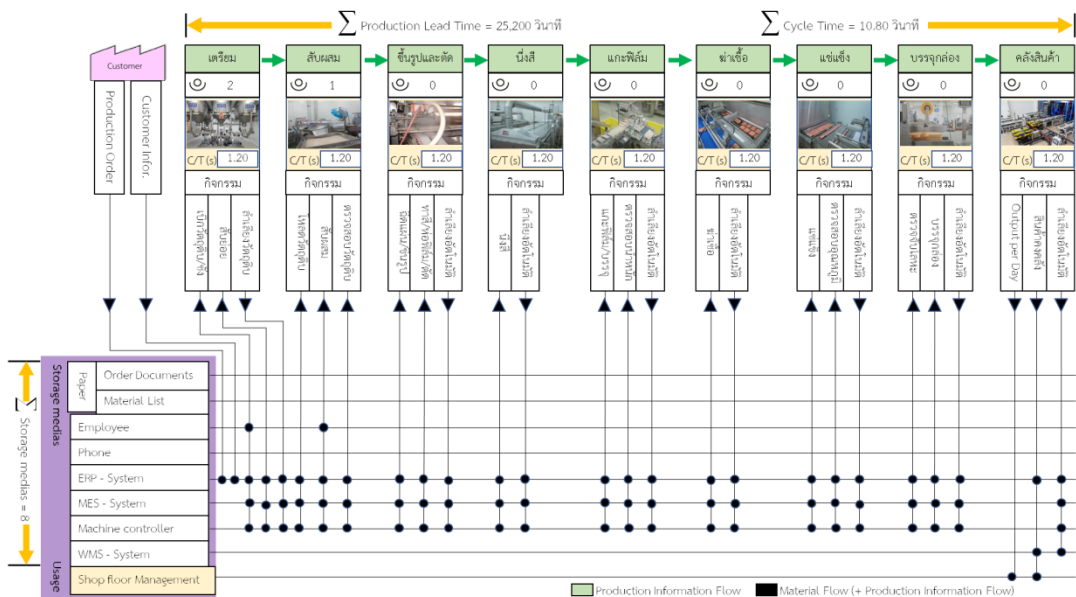


รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมการเชื่อมโยงเครื่องจักรของกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 2 ซึ่งพัฒนาขึ้นจากข้อมูลการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา แสดงสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อเครื่องจักรของกระบวนการผลิต โดยเป็นการบูรณาการระบบอัตโนมัติในระดับปฏิบัติการ (Operation System) โดยเครื่องจักรแต่ละสถานีเชื่อมต่อผ่าน I/O Interface เข้าสู่ Signal Processing Platform และส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบ Manufacturing Execution System: MES ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมต่อระหว่างระบบ Enterprise Resource Planning: ERP กับพื้นที่การผลิตจริง การไหลของข้อมูลเริ่มจากระบบ ERP ที่ทำหน้าที่วางแผนทรัพยากร รับคำสั่งซื้อ และจัดทำแผนการผลิต จากนั้นคำสั่งผลิตจะถูกส่งต่อไปยังระบบ MES เพื่อแปลงเป็นคำสั่งควบคุมการทำงานของเครื่องจักร พร้อมเชื่อมต่อกับระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ Automated Storage and Retrieval

System: AS/RS ระหว่างการผลิต ข้อมูลผลการผลิตจริง เช่น ปริมาณผลผลิตและสถานะเครื่องจักร จะถูกส่งกลับเข้าสู่ MES และอัปเดตสถานะใน ERP แบบเรียลไทม์ โดยมีการจัดเก็บและบริหารข้อมูลผ่าน Cloud Computing พร้อมหน้าจอแสดงผลตัวชี้วัดหลัก (KPIs) แบบเรียลไทม์

การเปลี่ยนแปลงเชิงเทคโนโลยีและกายภาพที่ดำเนินการในขั้นตอนการปรับปรุง ได้ถูกนำมา ออกแบบเป็นแผนที่สายธารคุณค่า 4.0 ในสภาพอนาคต (Future State) ซึ่งทำหน้าที่เป็นต้นแบบ ของกระบวนการผลิตใหม่ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มผลผลิตภาพของระบบการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนที่สายธารคุณค่า 4.0 ของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 3 ซึ่งพัฒนาขึ้นจากข้อมูลการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา แสดงแผนที่สายธารคุณค่า 4.0 ในสภาพอนาคต (Future State) พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบกระบวนการใหม่โดยการนำเทคโนโลยีอัตโนมัติเข้ามาใช้ เพื่อแก้ไขปัญหาคอขวด ส่งผลให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพดังนี้

1) การกำจัดคอขวดและสร้างสมดุลของสายการผลิต ปัญหาคอขวดที่กระบวนการเตรียมมีเวลาการผลิตต่อรอบอยู่ที่ 11.70 วินาที ได้รับการแก้ไขอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เวลาการผลิตต่อรอบของทุกกระบวนการผลิตมีความสมดุลอยู่ที่ 1.20 วินาที การเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการผลิตของกระบวนการโดยรวม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมจาก 6.22 กก./นาที เป็น 33.02 กก./นาที ศักยภาพการผลิตเชิงทฤษฎี (Theoretical Capacity) คำนวณจาก $60 / 1.20 = 50$ กก./นาที

จากการวัดผลการเดินระบบจริงภายหลังการปรับปรุง พบว่าอัตราการผลิตเฉลี่ย เท่ากับ 33.02 กก./นาฬิกา โดยค่า 50 กก./นาฬิกา เป็นศักยภาพเชิงทฤษฎีจากรอบเวลาเครื่องจักร ขณะที่ค่า 33.02 กก./นาฬิกา เป็นผลการผลิตจริงภายใต้เงื่อนไขการเดินระบบ

2) การลดเวลานำการผลิตและการสร้างการไหลแบบต่อเนื่อง การสร้างสมดุลของกระบวนการ ทำให้กระบวนการผลิตสามารถทำงานในลักษณะการไหลแบบต่อเนื่อง ส่งผลให้สินค้าคงคลังระหว่างผลิตสะสมอยู่ที่ 1,028.80 กก. ถูกกำจัดออกไปจนหมดเท่ากับศูนย์ การกำจัดเวลารอคอยนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เวลานำการผลิตลดลงจาก 57,600 วินาที เหลือเพียง 25,200 วินาที หรือคิดเป็น 56.25% ทำให้ผลรวมของเวลาในการผลิตต่อรอบรวมลดลงเหลือเพียง 10.80 วินาที

3) การยกระดับผลิตภาพด้านแรงงาน การนำระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลมาใช้ในการบวนการผลิต ส่งผลให้การพึ่งพาแรงงานคนลดลง โดยจำนวนพนักงานในกระบวนการผลิตลดลงจาก 40 คน เหลือ 3 คน คิดเป็นการลดลง 92.50% การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลด้านผลผลิต (Output) และปัจจัยนำเข้า (Input) ทำให้ผลิตภาพแรงงานโดยรวมเพิ่มสูงขึ้น โดยสามารถคำนวณเปรียบเทียบได้ดังนี้

3.1) ผลิตภาพแรงงานก่อนการปรับปรุง: คำนวณจากอัตราการผลิตที่ถูกจำกัดด้วยคอขวด 5.13 กก./นาฬิกา หารด้วยจำนวนพนักงานทั้งหมด 40 คน คิดเป็น 0.13 กก./นาฬิกา/คน

3.2) ผลิตภาพแรงงานหลังการปรับปรุง: คำนวณจากค่าเฉลี่ยผลิตภาพการผลิตที่วัดได้จริง 33.02 กก./นาฬิกา หารด้วยจำนวนพนักงาน 3 คน คิดเป็น 11.01 กก./นาฬิกา/คน

ดังนั้นผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้นจาก 0.13 เป็น 11.01 กก./นาฬิกา/คน คิดเป็นการเพิ่มขึ้นประมาณ 8,369% เมื่อเทียบกับสภาวะก่อนการปรับปรุง การเพิ่มขึ้นอย่างมากของผลิตภาพแรงงานเกิดจากการลดจำนวนแรงงานลงจาก 40 คน เหลือ 3 คน ควบคู่กับการเพิ่มกำลังการผลิตของระบบอัตโนมัติ

ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติไม่เพียงแต่เพิ่มกำลังการผลิต แต่ยังยกระดับประสิทธิภาพการใช้แรงงานอย่างก้าวกระโดด และส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิต

4) การปรับปรุงการไหลของข้อมูล

แผนภาพแสดงการบูรณาการระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการการผลิตและคลังสินค้า โดยมี การนำระบบ Enterprise Management System: EMS และ Warehouse Management System: WMS มาใช้ในส่วนของ Storage Medias เพื่อสนับสนุนการจัดการข้อมูลแบบดิจิทัลและการเชื่อมโยงข้อมูลแบบเรียลไทม์

5) ความสามารถของกระบวนการค่าดัชนี (Cpk) หลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้นเป็น 1.55 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 1.33 สะท้อนถึงประสิทธิภาพและความสามารถของกระบวนการใหม่ในการผลิตสินค้าที่เป็นไปตามข้อกำหนดได้อย่างสม่ำเสมอ

หลังจากการปรับปรุงและพิสูจน์การเปลี่ยนผ่านสู่ระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลสามารถเพิ่มผลิตภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงกำหนดแนวทางการควบคุมที่สำคัญ 4 ด้าน ดังนี้

1) การกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงาน จัดทำขั้นตอนการทำงานและแสดงผลบนจอภาพ ณ หน่วยงาน เพื่อลดความผิดพลาดจากการใช้ความจำ และให้พนักงานปฏิบัติตามมาตรฐานเดียวกัน

2) การติดตามและประเมินผลการดำเนินงาน ใช้ระบบ MES และแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อติดตามประสิทธิภาพของกระบวนการ พร้อมการประชุมทบทวนผลการดำเนินงานเป็นประจำในระดับรายวันและรายสัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

3) การควบคุมคุณภาพและป้องกันปัญหา ใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control: SPC) โดยนำแผนภูมิควบคุมมาเฝ้าระวังตัวแปรสำคัญของกระบวนการ และจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักรอัตโนมัติ

4) การส่งเสริมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง สนับสนุนระบบข้อเสนอแนะจากพนักงานปฏิบัติงาน และจัดให้มีการทบทวนกระบวนการเป็นประจำทุกปี เพื่อค้นหาข้อผิดพลาดใหม่และโอกาสการพัฒนาในอนาคต

4. ผลการวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการบูรณาการระเบียบวิธี DMAIC ร่วมกับระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัล ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของระบบการผลิตในหลายขั้นตอน โดยเฉพาะขั้นตอนแกะฟิล์มและบรรจุซึ่งเดิมเป็นคอขวดของสายการผลิต หลังการปรับปรุงพบว่าระบบอัตโนมัติช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของการไหลของกระบวนการ ลดงานระหว่างทำ และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการผลิตโดยรวม ผลการเปรียบเทียบตัวชี้วัดหลักของกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าการนำระบบอัตโนมัติมาช่วยเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการจาก 6.22 กก./นาที่ เป็น 33.02 กก./นาที่ คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 430.87% ขณะเดียวกันเวลาการผลิตต่อรอบลดลงจาก 39.50 วินาที เหลือ 10.80 วินาที และเวลานำการผลิตลดลง 56.25% การปรับปรุงดังกล่าวยังช่วยลดงานระหว่างกระบวนการเหลือศูนย์ และลดจำนวนพนักงานจาก 40 คน เหลือ 3 คน ส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยลดลง 15.87% และความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เพิ่มขึ้นจาก 0.40 เป็น 1.55 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานสากลที่ 1.33 ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการบูรณาการระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลร่วมกับแนวคิด DMAIC สามารถยกระดับประสิทธิภาพของระบบการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านกำลังการผลิต คุณภาพ และต้นทุน

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบตัวชี้วัดหลัก ก่อนและหลังปรับปรุง

ดัชนีชี้วัด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	การเปลี่ยนแปลง
ผลิตภาพ (กก./นาที่)	6.22	33.02	+430.87%
เวลาการผลิตต่อรอบ (วินาที)	39.50	10.80	-72.66%
เวลานำการผลิต (วินาที)	57,600	25,200	-56.25%
จำนวนพนักงาน (คน)	40	3	-92.50%
งานระหว่างทำ (กก.)	1,028.80	0	-100%
ความสามารถกระบวนการ (Cpk)	0.40	1.55	+287.50%
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/กก.)	84.16	70.80	-15.87%

หมายเหตุ: ค่าผลิตภาพก่อนการปรับปรุง (6.22 กก./นาที่) คำนวณจากอัตราการผลิตเฉลี่ยที่วัดได้จริงของกระบวนการผลิตทั้งหมดภายใต้การดำเนินงานปกติ จากผลกระทบความไม่สมดุลของกระบวนการผลิตและการประสานงานระหว่างกระบวนการ

4.1 การทดสอบสมมติฐาน

เพื่อยืนยันผลลัพธ์ของการปรับปรุงกระบวนการ ได้ทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้สถิติ Two-Sample t-Test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลิตภาพก่อนและหลังการปรับปรุง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบผลิตภาพการผลิตด้วยสถิติ Two-Sample t-test

การทดสอบ	N	Mean	S.D.	SE Mean
ผลิตภาพ หลังปรับปรุง	30	33.02	0.865	0.160
ผลิตภาพ ก่อนปรับปรุง	30	6.22	0.185	0.034

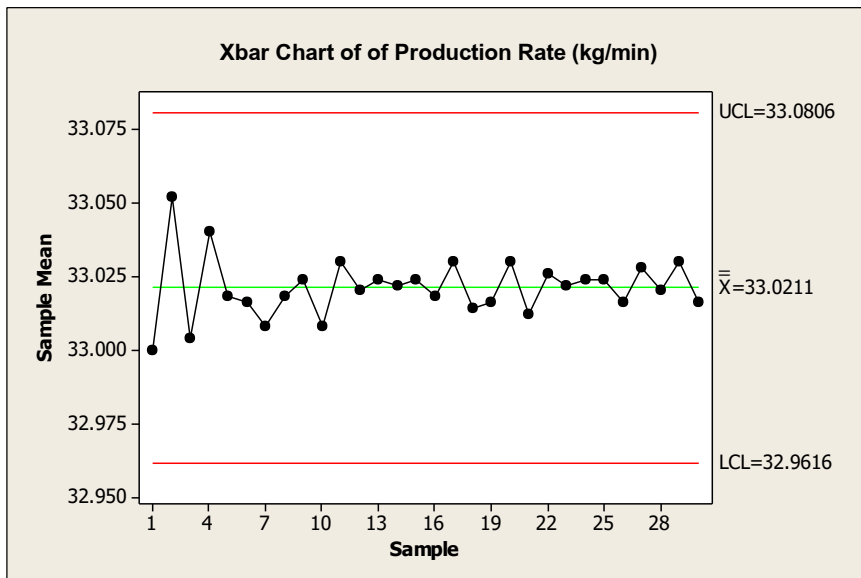
หมายเหตุ: หน่วยเป็น กก./นาที่

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยผลิตภาพหลังการปรับปรุงสูงกว่าก่อนการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = 166.54$, $p < 0.001$) โดยมีค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.80 กก./นาที่ ดังนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานว่าง (H_0) และสรุปได้ว่าการนำระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลมาใช้ร่วมกับแนวคิด DMAIC สามารถเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ

4.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของกระบวนการ

เพื่อยืนยันความสม่ำเสมอของกระบวนการผลิตภายหลังการปรับปรุง ได้ดำเนินการวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control: SPC) โดยใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ Chart) จากข้อมูล 30 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มละ 5 ค่า

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มตัวอย่างอยู่ภายในขีดจำกัดการควบคุมบน (UCL) และขีดจำกัดการควบคุมล่าง (LCL) ที่ระดับ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (3σ) และไม่ปรากฏรูปแบบความผิดปกติของข้อมูล เช่น แนวโน้มต่อเนื่องหรือการกระจุกตัวใกล้ขีดจำกัดการควบคุม ผลดังกล่าวสะท้อนว่ากระบวนการผลิตภายหลังการติดตั้งระบบอัตโนมัติอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมเชิงสถิติ (Statistical Control) และมีเสถียรภาพเพียงพอในการสนับสนุนค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ ($Cpk = 1.55$) ที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ Chart) ของอัตราการผลิตภายหลังการปรับปรุงกระบวนการ

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มตัวอย่างทั้ง 30 กลุ่มอยู่ภายในขีดจำกัดการควบคุมที่ระดับ 3σ และไม่พบรูปแบบความผิดปกติของข้อมูล แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตภายหลังการปรับปรุงมีเสถียรภาพเชิงสถิติ

4.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การประเมินความคุ้มค่าทางการเงินของการลงทุน โดยมีรายละเอียดดังนี้ งบประมาณการลงทุน 44.49 ล้านบาท อายุโครงการ 5 ปี อัตราคิดลด 10% มูลค่าซาก 10% ของงบลงทุน คิดเป็น 4.44 ล้านบาท จากการคำนวณต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้รับในแต่ละปี ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การประมาณกระแสเงินสดสุทธิประจำปีของการปรับปรุงกระบวนการผลิต

รายการ	การคำนวณ	ผลลัพธ์ (บาท/ปี)
1) ต้นทุนคงที่		
- ค่าเสื่อมราคา	$(44,490,000 - 4,449,000) / 5$	8,008,200
- ค่าเสียโอกาส ดอกเบี้ย	$[(44,490,000 + 4,449,000)/2] \times 10\%$	2,446,950
รวมต้นทุนคงที่ (A)		10,455,150
2) ต้นทุนผันแปร		
- ค่าซ่อมบำรุง	ประเมินรายปี	336,960
- ค่าไฟฟ้า	ประเมินรายปี	1,401,972
รวมต้นทุนผันแปร (B)		1,738,932
3) ต้นทุนรวมต่อปี (A+B)		12,194,082
4) ต้นทุนต่อหน่วย	$12,194,082 / (4,368 \text{ ชม./ปี} \times 1,000 \text{ กก./ชม.})$	2.79 บาท/กก.
5) ผลประหยัดจากการลดแรงงาน	$11.42 \text{ บาท/กก.} \times 373 \text{ กก./ชม.} \times 4,368 \text{ ชม./ปี}$	18,606,195
6) กระแสเงินสดสุทธิประจำปี	(5) - (ต้นทุนผันแปร B)	16,867,263

หมายเหตุ: ในการคำนวณกระแสเงินสดเพื่อหา Payback Period, NPV และ IRR จะไม่นำค่าเสื่อมราคา และค่าเสียโอกาสซึ่งเป็นต้นทุนทางบัญชีมาคิด แต่จะใช้ผลประหยัดที่ได้รับหักลบด้วยต้นทุนที่เป็นเงินสด

จากตารางที่ 4 การประมาณต้นทุนและกระแสเงินสดสุทธิประจำปีจากการลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยมีต้นทุนรวมต่อปี 12.19 ล้านบาท และต้นทุนต่อหน่วย 2.79 บาท/กก. จากการลดต้นทุนแรงงานและเพิ่มกำลังการผลิต ส่งผลให้เกิดกระแสเงินสดสุทธิ 16.87 ล้านบาท/ปี ซึ่งเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่า ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางการเงิน การปรับปรุงกระบวนการผลิต

ตัวชี้วัดความคุ้มค่า	การคำนวณ	ผลลัพธ์ที่ได้	การวิเคราะห์และนัยสำคัญ
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	44,490,000/16,867,263	2.64 ปี	คืนทุนภายใน 2.64 ปี ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับโครงการเครื่องจักรอุตสาหกรรม
จุดคุ้มทุน (Break-Even Point)	10,455,150 / (8.63 บาท/กก.)	1,211,489 กก./ปี	เริ่มทำกำไรเมื่อผลิตเกิน 1.21 ล้านกก./ปี ความเสี่ยงด้านปริมาณการผลิตต่ำ
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	คำนวณจากกระแสเงินสด 5 ปี ที่อัตราคิดลด 10%	22.20 ล้านบาท	โครงการสร้างมูลค่าเพิ่มสุทธิ 22.20 ล้านบาท สูงกว่าเงินทุนที่ต้องการผลตอบแทน 10%
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	คำนวณจากกระแสเงินสดสุทธิ	30.70%	สูงกว่าอัตราคิดลด 10% แสดงถึงความน่าสนใจในการลงทุน
ผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI)	(กระแสเงินสดสุทธิสะสม - เงินลงทุน) / เงินลงทุน	49.90%	การลงทุนให้ผลตอบแทนสุทธิประมาณ 49.90% ภายในอายุโครงการ

จากตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยงบลงทุน 44.49 ล้านบาท พบว่าโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 22.20 ล้านบาท ที่อัตราคิดลด 10% มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 30.70% ซึ่งสูงกว่าอัตราคิดลด ระยะเวลาคืนทุน 2.64 ปี และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1.21 ล้าน กก./ปี สะท้อนว่าโครงการมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและมีความเสี่ยงทางการเงินในระดับต่ำ

4.4 การวิเคราะห์ความไวของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความไวของแบบจำลองถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลกระทบของความไม่แน่นอนของตัวแปรสำคัญต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ โดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นตัวชี้วัดหลัก การวิเคราะห์ดำเนินการโดยปรับค่าตัวแปรที่ละตัวในช่วง $\pm 10\%$ และ $\pm 20\%$ จากค่าฐาน ขณะที่ตัวแปรอื่นคงที่ โดยโครงการในกรณีฐานมีค่า NPV เท่ากับ 22.20 ล้านบาท

ตัวแปรสำคัญที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ปริมาณการผลิต ราคาขาย ต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าไฟฟ้า และเงินลงทุนเริ่มต้น ผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความไวของแบบจำลอง

หน่วย: NPV (ล้านบาท)

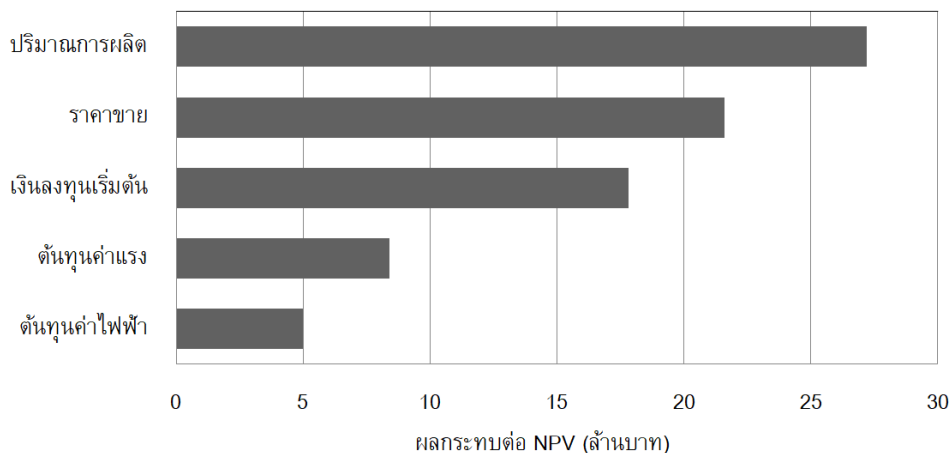
ตัวแปร	-20%	-10%	ค่าฐาน	+10%	+20%
ปริมาณการผลิต	8.60	15.40	22.20	29.00	35.80
ราคาขาย	11.40	16.80	22.20	27.60	33.00
ต้นทุนค่าแรง	26.40	24.30	22.20	20.10	18.00
ต้นทุนค่าไฟฟ้า	24.70	23.45	22.20	20.95	19.70
เงินลงทุนเริ่มต้น	31.10	26.65	22.20	17.75	13.30

หมายเหตุ: การปรับค่าตัวแปรดำเนินการแบบแยกอิสระ (one-at-a-time) โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ ทั้งนี้ ตัวแปรด้านรายได้ ได้แก่ ปริมาณการผลิตและราคาขาย เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า NPV เพิ่มขึ้น ขณะที่ตัวแปรด้านต้นทุน ได้แก่ ต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าไฟฟ้า และเงินลงทุนเริ่มต้น เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า NPV ลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการลงทุน

จากตารางที่ 7 และรูปที่ 5 พบว่าปริมาณการผลิตเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่า NPV มากที่สุด โดยค่า NPV เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 8.60 - 35.80 ล้านบาท รองลงมาคือราคาขาย ซึ่งมีค่า NPV อยู่ในช่วง 11.40 - 33.00 ล้านบาท ขณะที่เงินลงทุนเริ่มต้นส่งผลต่อค่า NPV ในช่วง 13.30 - 31.10 ล้านบาท ส่วนต้นทุนค่าแรงและต้นทุนค่าไฟฟ้ามีผลกระทบต่อค่า NPV ในระดับที่ต่ำกว่า โดยมีช่วงการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 18.00 - 26.40 ล้านบาท และ 19.70 - 24.70 ล้านบาท ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ลำดับผลกระทบของตัวแปรต่อค่า NPV

ตัวแปร	ช่วง NPV	ผลกระทบ
ปริมาณการผลิต	8.60 - 35.80	27.20
ราคาขาย	11.40 - 33.00	21.60
เงินลงทุนเริ่มต้น	13.30 - 31.10	17.80
ต้นทุนค่าแรง	18.00 - 26.40	8.40
ต้นทุนค่าไฟฟ้า	19.70 - 24.70	5.00



รูปที่ 5 แผนภูมิทอร์นาโดการวิเคราะห์ความไวของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการผลิตเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่า NPV มากที่สุด รองลงมาคือราคาขายและเงินลงทุนเริ่มต้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าโครงการมีความไวต่อบัจจัยด้านรายได้ในระดับสูง โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิตและราคาขายส่งผลต่อความคุ้มค่าของโครงการอย่างมีนัยสำคัญ ในทางตรงกันข้าม ต้นทุนค่าแรงและต้นทุนค่าไฟฟ้ามีผลกระทบต่อค่า NPV ในระดับที่ต่ำกว่า แม้ว่าการเพิ่มขึ้นของต้นทุนดังกล่าวจะส่งผลให้ค่า NPV ลดลง แต่ขนาดของผลกระทบยังอยู่ในระดับจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรด้านรายได้ ดังนั้นเพื่อรักษาความคุ้มค่าของโครงการ ผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการด้านปริมาณการผลิตและราคาขายเป็นลำดับแรก ขณะที่ความผันผวนของต้นทุนการดำเนินงานมีผลต่อโครงการในระดับรองลงมา

5. การอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการบูรณาการระเบียบวิธี DMAIC ร่วมกับแผนที่สายธารคุณค่า 4.0 และระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัล สามารถยกระดับสมรรถนะของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ที่สำคัญของการปรับปรุงกระบวนการสามารถสรุปได้เป็นสามประเด็นหลัก ได้แก่ การเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการ การเพิ่มเสถียรภาพของระบบการผลิต และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน

ประการแรก การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการกำจัดคอขวดของสายการผลิตและการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ ส่งผลให้ผลิตภาพของกระบวนการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น

จาก 6.22 กก./นาฬิกา เป็น 33.02 กก./นาฬิกา ขณะที่เวลาการผลิตต่อรอบลดลงจาก 39.50 วินาที เหลือ 10.80 วินาที และเวลานำการผลิตลดลงมากกว่า 50% การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการปรับสมดุลของสายการผลิต การลดงานระหว่างกระบวนการ และการสร้างการไหลของกระบวนการแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)

ประการที่สอง การนำระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลมาช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการผลิต และลดความแปรปรวนของระบบการผลิต โดยค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เพิ่มขึ้นจาก 0.40 เป็น 1.55 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานสากลที่ 1.33 ผลการวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติยังแสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมเชิงสถิติ และสามารถรักษาระดับประสิทธิภาพของกระบวนการได้อย่างต่อเนื่อง

ประการที่สาม ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมแสดงให้เห็นว่าการลงทุนในระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วย และสร้างผลตอบแทนทางการเงินที่น่าพอใจเมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดทางการเงิน เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน

โดยภาพรวม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการผสมผสานแนวคิด Lean Six Sigma กับเทคโนโลยีดิจิทัลและระบบอัตโนมัติ สามารถเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการยกระดับระบบการผลิตของอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งในด้านประสิทธิภาพการดำเนินงาน ความเสถียรของกระบวนการ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน

5.2 ข้อเสนอแนะเชิงการจัดการ

ผลการวิจัยมีนัยสำคัญเชิงการจัดการสำหรับผู้บริหารในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการยกระดับประสิทธิภาพของระบบการผลิตภายใต้ข้อจำกัดด้านแรงงานและต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มสูงขึ้น ประการแรก งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธี DMAIC ร่วมกับแผนที่สายธารคุณค่า 4.0 สามารถใช้เป็นเครื่องมือเชิงระบบในการระบุข้อบกพร่องของกระบวนการผลิตและกำหนดแนวทางการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพได้ ผู้บริหารสามารถใช้กรอบแนวคิดดังกล่าวในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตอย่างเป็นขั้นตอน ตั้งแต่การกำหนดปัญหา การวิเคราะห์ข้อมูล ไปจนถึงการออกแบบแนวทางปรับปรุงและการควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการ

ประการที่สอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการนำระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลมาใช้สามารถลดการพึ่งพาแรงงานในกระบวนการผลิตที่ใช้แรงงานเข้มข้นได้อย่างมีนัยสำคัญ พร้อมทั้งช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการผลิตและลดความแปรปรวนของคุณภาพสินค้า ดังนั้นสำหรับองค์กรที่ประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานหรือมีต้นทุนแรงงานสูง การลงทุนในเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติควบคู่กับการปรับโครงสร้างกระบวนการผลิตอาจเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กร

ประการที่สาม การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมที่ดำเนินการในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการตัดสินใจลงทุนในระบบอัตโนมัติควรพิจารณาควบคู่กับการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในระยะยาว โดยการใช้เครื่องมือทางการเงิน เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน สามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจลงทุนของผู้บริหารได้อย่างเป็นระบบ

แนวทางการบูรณาการ Lean Six Sigma กับเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตที่มีลักษณะเป็นสายการผลิตต่อเนื่องและต้องการการควบคุมคุณภาพที่มีความแม่นยำสูง

โดยสรุป ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาระบบการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารควรดำเนินการผ่านการผสมผสานระหว่างเครื่องมือการปรับปรุงกระบวนการเชิงระบบและเทคโนโลยีดิจิทัลสมัยใหม่ ซึ่งสามารถช่วยให้องค์กรเพิ่มผลิตภาพของระบบการผลิต ลดต้นทุนการดำเนินงาน และสร้างความยั่งยืนของผลลัพธ์ในระยะยาว

ผลลัพธ์ของการปรับปรุงกระบวนการผลิตยังสะท้อนถึงมิติของความยั่งยืนในระบบการผลิตอุตสาหกรรมอาหาร การลดงานระหว่างกระบวนการ การลดเวลานำการผลิต และการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรแรงงาน ส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ขณะเดียวกัน การนำระบบอัตโนมัติและการเชื่อมโยงข้อมูลแบบดิจิทัลมาช่วยยังช่วยลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตและเพิ่มความโปร่งใสในการติดตามข้อมูลการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการผลิตอย่างยั่งยืน (Sustainable Manufacturing) ที่มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการผลิตควบคู่กับการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

5.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย

ถึงว่างานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของการบูรณาการระเบียบวิธี DMAIC ร่วมกับระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณาในการตีความผลการวิจัยและการนำผลลัพธ์ไปประยุกต์ใช้ในบริบทอื่น

ประการแรก งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงกรณีศึกษาในโรงงานผลิตเพียงแห่งเดียว ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของกระบวนการผลิต เทคโนโลยีที่ใช้ และโครงสร้างองค์กร ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่สามารถนำไปอ้างอิงทั่วไปกับอุตสาหกรรมอาหารทุกประเภทได้โดยตรง โดยเฉพาะโรงงานที่มีขนาดการผลิต โครงสร้างผลิตภัณฑ์หรือระดับการลงทุนด้านเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

ประการที่สอง การประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตในงานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงภายในช่วงเวลาที่ยกมา แม้ว่าจะมีการใช้เครื่องมือทางสถิติ เช่น การทดสอบ

สมมติฐานและการวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) เพื่อยืนยันผลลัพธ์ของการปรับปรุง แต่การติดตามผลในระยะยาวยังมีความจำเป็นเพื่อประเมินความยั่งยืนของประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตและความเสถียรของระบบอัตโนมัติในสภาวะการผลิตที่หลากหลาย

ประการสุดท้าย การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในงานวิจัยนี้อาศัยสมมติฐานบางประการ เช่น อัตราคิดลด ต้นทุนพลังงาน และปริมาณการผลิตที่คงที่ ในสภาพแวดล้อมการดำเนินธุรกิจจริง ปัจจัยเหล่านี้อาจมีความผันผวนตามสภาวะเศรษฐกิจและตลาด ดังนั้นการวิเคราะห์เพิ่มเติมภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกันอาจช่วยเพิ่มความแม่นยำในการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนในระบบอัตโนมัติ

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

แม้ว่างานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของการบูรณาการระเบียบวิธี DMAIC ร่วมกับระบบอัตโนมัติแบบดิจิทัลในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร แต่ยังมีประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อขยายขอบเขตขององค์ความรู้และเพิ่มความสามารถในการประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในระดับอุตสาหกรรม

ประการแรก งานวิจัยในอนาคตควรขยายการศึกษาไปยังโรงงานอาหารหลายแห่งหรือหลายประเภทผลิตภัณฑ์ เพื่อประเมินความสามารถในการประยุกต์ใช้แนวทางดังกล่าวในบริบทการผลิตที่แตกต่างกัน เช่น โรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก หรือกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนสูง

ประการที่สอง การศึกษาต่อไปอาจพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ที่ครอบคลุมการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรสำคัญ (Sensitivity Analysis) เช่น ต้นทุนแรงงาน ราคาพลังงาน และปริมาณการผลิต เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนในระบบอัตโนมัติ

ประการสุดท้าย งานวิจัยในอนาคตอาจศึกษาการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลขั้นสูง เช่น Internet of Things: IoT ระบบวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ หรือปัญญาประดิษฐ์ เพื่อสนับสนุนการควบคุมกระบวนการผลิตแบบอัจฉริยะ และพัฒนาระบบการผลิตให้สอดคล้องกับแนวคิดอุตสาหกรรม 4.0 อย่างยั่งยืน

References

- [1] Frank AG, Dalenogare LS, Ayala NF. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics* 2019;210:15–26. doi: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.

- [2] Nunez-Merino M, Maqueira-Marin JM, Moyano-Fuentes J, Castano-Moraga CA. Industry 4.0 and Supply Chain: A Systematic Science Mapping Analysis. *Technological Forecasting and Social Change* 2022;181:121788. doi: 10.1016/j.techfore.2022.121788.
- [3] Kamble SS, Gunasekaran A, Gawankar SA. Sustainable Industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection* 2018;117:408-25. doi: 10.1016/j.psep.2018.05.009.
- [4] Monostori L, Kadar B, Bauernhansl T, Kondoh S, Kumara S, Reinhart G, et al. Cyber-Physical Systems in Manufacturing. *CIRP Annals* 2016;65(2): 621–641. doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.005.
- [5] Alexander P, Antony J, Rodgers B. Lean Six Sigma for Small and Medium Sized Manufacturing Enterprises: A Systematic Review. *International Journal of Quality & Reliability Management* 2019;36(3):378–397. doi: 10.1108/IJQRM-03-2018-0074.
- [6] Arey D, Le C, Gao J. Lean Industry 4.0: A Digital Value Stream Approach to Process Improvement. *Procedia Manufacturing* 2021;54:19–24. doi: 10.1016/j.promfg.2021.07.004.
- [7] Sony M, Naik S. Key Ingredients for Evaluating Industry 4.0 Readiness for Organizations: a Literature Review. *Benchmarking: An International Journal* 2020;27(7):2213–2232. doi: 10.1108/BIJ-09-2018-0284.
- [8] Maheshwari P, Kamble S, Belhadi A, Venkatesh M, Abedin MZ. Digital Twin-Driven Real-Time Planning, Monitoring, and Controlling in Food Supply Chains. *Technological Forecasting and Social Change* 2023;195:122799. doi: 10.1016/j.techfore.2023.122799.
- [9] Wang FK, Rahardjo B, Rovira PR. Lean Six Sigma with Value Stream Mapping in Industry 4.0 for Human-Centered Workstation Design. *Sustainability* 2022;14(17): 11020. doi: 10.3390/su141711020.
- [10] Skalli D, Charkaoui A, Cherrafi A, Garza-Reyes JA, Antony J, Shokri A. Industry 4.0 and Lean Six Sigma integration in manufacturing: a literature review, an integrated framework and proposed research perspectives. *Quality Management Journal* 2023;30(1):16–40. doi: 10.1080/10686967.2022.2144784.
- [11] Ivanov D, Dolgui A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of industry 4.0. *Production Planning & Control* 2021;32(9):775-88. doi: 10.1080/09537287.2020.1768450.
- [12] Wang W, Yang H, Zhang Y, Xu J. IoT-Enabled Real-Time Energy Efficiency Optimisation Method for Energy-Intensive Manufacturing Enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 2018;31(4–5):362–379. doi: 10.1080/0951192X.2017.1337929.

- [13] Utama DM, Abirfatin M. Sustainable Lean Six-Sigma: A New Framework for Improve Sustainable Manufacturing Performance. *Cleaner Engineering and Technology* 2023;17:100700. doi:10.1016/j.clet.2023.100700.
- [14] Meudt T, Metternich J, Abele E. Value Stream Mapping 4.0: Holistic Examination of Value Stream and Information Logistics in Production. *CIRP Annals* 2017;66(1):413–416. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.005.
- [15] Sanders A, Elangeswaran C, Wulfsberg J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management* 2016;9(3):811-33. doi: 10.3926/jiem.1940.
- [16] McDonald T, Van Aken EM, Rentes AF. Utilising simulation to enhance value stream mapping: a manufacturing case application. *International Journal of Logistics Research and Applications* 2002;5(2):213-32. doi: 10.1080/13675560210148696.
- [17] Kolberg D, Zuhlke D. Lean Automation Enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine* 2015;48(3):1870–1875. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359.
- [18] Antony J, Snee R, Hoerl RW. Lean Six Sigma: Yesterday, Today and Tomorrow. *International Journal of Quality & Reliability Management* 2017;34(7):1073–1093. doi: 10.1108/IJQRM-03-2016-0035.
- [19] Yu CM, Huang TH, Chen KS, Huang TY. Construct Six Sigma DMAIC Improvement Model for Manufacturing Process Quality of Multi-Characteristic Products. *Mathematics* 2022;10(5):814. doi:10.3390/math10050814.
- [20] Chiarini A, Kumar M. Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for operational excellence: evidence from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control* 2021;32(13):1084-101. doi: 10.1080/09537287.2020.1784485.
- [21] Sahoo S, Yadav S. Lean production practices and bundles: a comparative analysis. *International Journal of Lean Six Sigma* 2018;9(3):374-98. doi: 10.1108/IJLSS-01-2017-0002.
- [22] Sreedharan VR, Raju R, Sunder MV, Antony J. Assessment of Lean Six Sigma Readiness (LESIRE) for Manufacturing Industries Using Fuzzy Logic. *International Journal of Quality & Reliability Management* 2019;36(2):137–161. doi: 10.1108/IJQRM-09-2017-0181.
- [23] Jones D, Snider C, Nassehi A, Yon J, Hicks B. Characterising the Digital Twin: A Systematic Literature Review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2020;29(Pt A):36–52. doi: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.

- [24] Bevilacqua A, Speranza B, Campaniello D, Sinigaglia M, Corbo MR, Lamacchia C. A Preliminary Report on the Use of the Design of Experiments for the Production of a Synbiotic Yogurt Supplemented with Gluten Friendly™ Flour and Bifidobacterium infantis. *Frontiers in Microbiology* 2019;10:226. doi: 10.3389/fmicb.2019.00226.
- [25] Wuest T, Weimer D, Irgens C, Thoben KD. Machine Learning in Manufacturing: Advantages, Challenges and Applications. *Production & Manufacturing Research* 2016;4(1):23–45. doi: 10.1080/21693277.2016.1192517.

ประวัติผู้เขียนบทความ



คมกริช วีรวัฒนา บัณฑิตศึกษา สาขาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต โทรศัพท์ (02)-954-7300 Email: khomgrich.w@gmail.com



ดร. ประยุทธ์ ฤทธิเดช อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต โทรศัพท์ (02)-954-7300 Email: prayuth.rit@dpu.ac.th



ผศ.ดร. สุภรัชชัย วรรัตน์ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต โทรศัพท์ (02)-954-7300 Email: vorarat@dpu.ac.th

Article History:

Received: December 24, 2025

Revised: July 15, 2026

Accepted: July 16, 2026