

การลดความสูญเสียและการประเมินสมรรถนะกระบวนการผสมยางด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า:
กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางแท่งในประเทศไทย

WASTE REDUCTION AND PROCESS CAPABILITY EVALUATION IN RUBBER MIXING
VIA LEAN SIX SIGMA: A CASE STUDY IN A THAI RUBBER FACTORY

นิภาส สีนะธรรม¹, สุวรรณ พงษ์ศักดิ์^{1*}

Nipas Leenatham¹, Suwanna Ponpakdee^{1*}

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: suwanna.pon@sru.ac.th

วันที่รับบทความ: 7 สิงหาคม 2568 ; วันที่ทบทวนบทความ: 15 สิงหาคม 2568 ; วันที่ตอบรับบทความ: 27 สิงหาคม 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 28 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต ภายใต้ข้อจำกัดที่เป็นไปได้และอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด จากการศึกษาสภาพของปัญหาในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต พบว่า ก่อนการปรับปรุงผลผลิตต่ำกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด โดยมีสาเหตุหลักมาจาก วิธีการทำงานไม่เหมาะสมและซับซ้อน โดยทั่วไปมีการใช้พาเลทในการรองยางแผ่นและเศษยางทำให้สิ้นเปลืองพาเลท ใช้แรงงานคนมากเกินไป การชั่งน้ำหนักยางในวิธีการเดิมมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงโดยเป็นกระบวนการแบบกึ่งอัตโนมัติ ใช้รถโฟล์คลิฟท์จำนวนมากในการทำงาน และเวลาการรอคอยและสินค้าคงคลังมีมากเกินไป และหลังการปรับปรุงด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่าและใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด จึงได้ทำการออกแบบเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้สำหรับชั่งน้ำหนักยางแบบต่อเนื่อง และปรับปรุงสายการผลิตใหม่โดยออกแบบให้กระบวนการผลิตเชื่อมต่อกันระหว่างกระบวนการล้างยางและกระบวนการผสมยาง เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง พบว่า ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ 1.35 แสดงว่ากระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดีมาก และจากการยืนยันผลไม่พบความสูญเสียเลย โดยช่วงความเชื่อมั่นของกระบวนการเท่ากับ $1.07 < C_{pk} < 1.62$ และจากการประเมินจุดคุ้มทุนของโครงการคิดเป็น 2.28 ปี

คำสำคัญ: แนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า, มาตรฐานยางแท่งไทย 20, การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ

Abstract: The objective of this research is to enhance the productivity of the rubber-mixing process in the production department, while adhering to feasible constraints and required standards. An analysis of the existing process revealed that productivity was below the standard range, primarily due to inefficient and complex work procedures, excessive pallet consumption for handling both rubber sheets and scraps, overuse of manual labor, high error rates in the semi-automatic weighing process, dependency on numerous forklifts, and excessive waiting times and inventory levels. After implementing improvements by integrating the Lean Six Sigma approach and using the seven quality control tools, a fully automatic weighing system was developed for continuous rubber weighing. The

production line was also re-engineered to create a continuous flow between the rubber washing and mixing processes. The results showed that the Process Capability Index (C_{pk}) was 1.35, indicating a highly capable process. The validation confirmed the elimination of waste in the mixing process. The confidence interval for the process was established as $1.07 < C_{pk} < 1.62$. The estimated break-even point for the project was 2.28 years.

Key words: Lean Six Sigma Approach, Standard Thai Rubber 20, Process Capability Analysis

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยางธรรมชาติเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทย เป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าการส่งออกสูง ในปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยได้ส่งออกไปยังประเทศต่างๆ เช่น ประเทศจีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย เกาหลีใต้ และในทวีปยุโรป มีปริมาณการส่งออก 1.42 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกรวม 2,280.3 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 83,000 ล้านบาท อุตสาหกรรมยางธรรมชาติเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปขั้นต้น ที่ได้มีการนำเอาน้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางพารามาแปรรูปให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม และสะดวกต่อการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราต่อไป โดยยางพาราที่ผลิตได้ในขั้นต้น จะประกอบด้วยยางแผ่นดิบ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครป เศษยาง และน้ำยางสด ซึ่งยางพาราเหล่านี้จะเป็นวัตถุดิบในการผลิต ผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ยานพาหนะ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย และยางรัดของ เป็นต้น เปรียบเสมือนการป้อนวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตยางแท่ง (Standard Thai Rubber : STR 20) ก็เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมยางที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย [1]

กระบวนการผลิตยางแท่งมีหลายขั้นตอน ได้แก่ รับซื้อวัตถุดิบ คัดแยกวัตถุดิบ ล้างทำความสะอาด ผสมและตัดฝอย อบยางแท่ง บรรจุสินค้า และคลังสินค้า ทุกส่วนล้วนมีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตยางแท่ง และเนื่องจากในปัจจุบันมีการแข่งขันในอุตสาหกรรมประเภทนี้สูงมาก ดังนั้นผู้ผลิตยางแท่งต้องการพัฒนาและปรับปรุงทั้งในส่วน บุคลากร เครื่องจักร วัตถุดิบ และ

วิธีการต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสินค้าให้สูงขึ้นและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษากระบวนการที่แผนกผสมยาง เพราะมีความน่าสนใจในการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้น พบว่าในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิตในการผสมยางไม่ต่อเนื่องโดยผลิตได้เฉลี่ยเพียง 80 ตันต่อวัน ซึ่งมีผลผลิตต่ำกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด 120 ตันต่อวัน และวิธีการทำงานยังไม่เหมาะสมและซับซ้อน ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตในกระบวนการนี้สูงมาก จากปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผสมยางโดยใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีนซิกซ์ซิกม่า [2] คือ มุ่งเน้นการจัดการความสูญเสียทั้ง 7 ประการ และการแก้ปัญหาโดยใช้หลักซิกซ์ซิกม่า (DMAIC) [3] [4] โดยงานวิจัยที่นำแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่าไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ได้แก่ Sliva, T. and Ferreira, P. [8] ได้ทำการวิจัยเรื่องการลดเวลาการทำงานและลดต้นทุนในกระบวนการอัดขึ้นรูปยางรถยนต์โดยการประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนซิกซ์ซิกม่าเพื่อที่จะแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ ด้วยขั้นตอนทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน คือการกำหนดปัญหา (Define) การประเมินวิธีการวัดผล (Measure) การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze) การดำเนินการปรับปรุง (Improve) และการควบคุม (Control) โดยได้พัฒนาเครื่องจักรในการผสมยางเป็นนวัตกรรมแบบใหม่ ผลจากการทดลองพบว่า และสามารถลดเวลาในการทำงานได้ 17.89 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดต้นทุนได้ 165,000 ยูโรต่อปี ส่งผลให้ประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น

ดังนั้นการลดความสูญเสียและการประเมินสมรรถนะกระบวนการผสมยางด้วยแนวคิดลีนชิคซ์ชิกม่า: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางแท่งในประเทศไทยในครั้งนี้สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อลดความสูญเสียและเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผสมยาง

2.2 เพื่อปรับปรุงกระบวนการผสมยางให้มีประสิทธิภาพ

3. ขอบเขตการวิจัย

ในการทำวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาค้นคว้าได้ดังนี้

3.1 ศึกษากระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต

3.2 ใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีนชิคซ์ชิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการ

3.3 ใช้เครื่องชั่งอัตโนมัติ (Hopper scale) ในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยสำหรับการลดความสูญเสียในกระบวนการผสมยางด้วยแนวคิดลีนชิคซ์ชิกม่า มีดังนี้

4.1 การศึกษาสภาพการผลิตในปัจจุบัน โรงงานตัวอย่างเป็นหนึ่งในผู้ผลิตยางธรรมชาติชนิดยางแท่ง STR 20 โดยในส่วนของงานวิจัยที่ทำการศึกษานั้นจะอยู่ในกระบวนการผลิตยางแท่ง ดังนี้

4.1.1 รับซื้อวัตถุดิบ (RM/Purchase) รับซื้อจากเกษตรกรหรือร้านรับซื้อเศษยางและยางแผ่น

4.1.2 คัดแยกวัตถุดิบ (Receiving) ล้างทำความสะอาด คัดแยกสิ่งแปลกปลอมและตัดเศษยางให้เล็กลง

4.1.3 ล้างทำความสะอาด (Pre-cleaning) ล้างทำความสะอาด คัดแยกสิ่งแปลกปลอมตัดเศษยางให้เล็กลง

4.1.4 ผสมและตัดฝอย (Mixing) ผสมยางแผ่นและเศษยางเข้าด้วยกัน โดยตัดเศษยางให้เล็กลงให้เป็นฝอย

4.1.5 อบยาง (Dryer) อบยางแท่งให้ได้ตามข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ

4.1.6 บรรจุ (Packing) บรรจุยางแท่งลงบรรจุภัณฑ์โดยบรรจุใส่ซอง 3 แบบ คือ P0251 P0263 และ H0276

4.1.7 คลังสินค้า (Warehouse) บรรจุยางแท่งลงลังเหล็กเพื่อส่งขายให้กับลูกค้าต่อไป

4.1.8 ตรวจสอบคุณภาพ (Quality Assurance) การตรวจสอบคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานกำหนด

งานวิจัยนี้มีควบคุมตัวแปรของการศึกษาค้นคว้าโดยศึกษากระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต ใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีนชิคซ์ชิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการ และใช้เครื่องชั่งอัตโนมัติ (Hopper Scale) ในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต

4.2 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.2.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีการผลิตระบบลีน

4.2.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีแผนผังแสดงเหตุและผล

4.2.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีแผนภูมิควบคุม

4.2.4 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีการระดมสมอง

4.2.5 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีระบบชิคซ์ชิกม่า

4.2.6 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน

4.2.7 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีเครื่องมือ 7 ชนิดสำหรับควบคุมคุณภาพ

4.2.8 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีหลัก 4 M

4.2.9 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ

4.2.10 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.3 การนิยามปัญหาที่เกิดขึ้น (Define phase)

การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จะเริ่มต้นจากการระบุหัวข้อปัญหาที่จะทำการแก้ไข โดยจะพิจารณาถึง

ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรมากที่สุด โดยใช้หลัก 5W-1H ในการกำหนดปัญหา [5]

4.3.1 อะไร (What) : เกิดความสูญเสียในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต

4.3.2 ที่ไหน (Where) : แผนกผลิต (กระบวนการผสมยาง)

4.3.3 ใคร (Who) : คณะผู้วิจัย

4.3.4 เมื่อไหร่ (When) : ระยะเวลา 10 เดือน

4.3.5 ทำไม (Why) : วิธีการทำงานไม่เหมาะสม และซับซ้อน

4.3.6 อย่างไร (How) : ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษา มีความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิตในการผสมยางไม่ต่อเนื่องโดยผลิตได้เฉลี่ยเพียง 80 ตันต่อวัน (20,102 ตันต่อปี) ซึ่งมีผลผลิตต่ำกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด 120 ตันต่อวัน (36,000 ตันต่อปี) และวิธีการทำงานยังไม่เหมาะสมและซับซ้อน โดยคณะผู้วิจัยตั้งสมมติฐานว่ากระบวนการนี้ ยังมีความสูญเสียในกระบวนการ

4.4 การวัดสภาพของปัญหา (Measure phase)

การเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนทำการวิจัยที่กระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต ในปัจจุบันพบว่ากระบวนการดังกล่าวมีผลผลิตที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด โดยมาตรฐานที่โรงงานกำหนดคือ 120 ตันต่อวัน จึงต้องการปรับปรุงกระบวนการนี้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต โดยใช้เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ 7 QC Tools เช่น กราฟ แผนภูมิควบคุม ผังพาเรโต เป็นต้น โดยจะวัดจำนวนผลผลิตในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตก่อนทำการปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุงเพื่อใช้เปรียบเทียบกระบวนการผลิตด้วย [6]

4.5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis phase)

การใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์สำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา

ซึ่งแผนภาพนี้มีส่วนช่วยให้การวิเคราะห์ปัญหามีความง่ายและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยการระดมสมองของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องร่วมกันแสดงความคิดเห็นเพื่อค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งในความคิดเห็นนี้จะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของความคิด เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา โดยสาเหตุของงานวิจัยนี้ คือ ความสูญเสียในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตแล้วจึงทำการระดมสมองเพื่อหาปัญหาที่แท้จริงโดยใช้หลัก 4M [7]

4.6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve phase)

การหาทางปรับปรุงแก้ไขโดยการปรับปรุงจะต้องเป็นแบบถาวร เพื่อลดโอกาสของความผิดพลาดในอนาคต โดยการปรับปรุงในงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนากระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตให้มีประสิทธิภาพ และเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผสมยาง [8]

4.7 การควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

การเขียนมาตรฐานในการทำงาน (Work instructions: WI) ที่ได้จากผลการทดลองที่เหมาะสมที่สุดจากการปรับปรุงมาแล้วนั้น เพื่อเก็บไว้เป็นมาตรฐานในการทำงานและฝึกอบรม (Training) ให้คนรุ่นหลังต่อไป [9]

4.8 การเปรียบเทียบมูลค่าสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบมูลค่าด้านการเงินจากการปรับปรุง และจุดคุ้มทุนของกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต

4.9 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

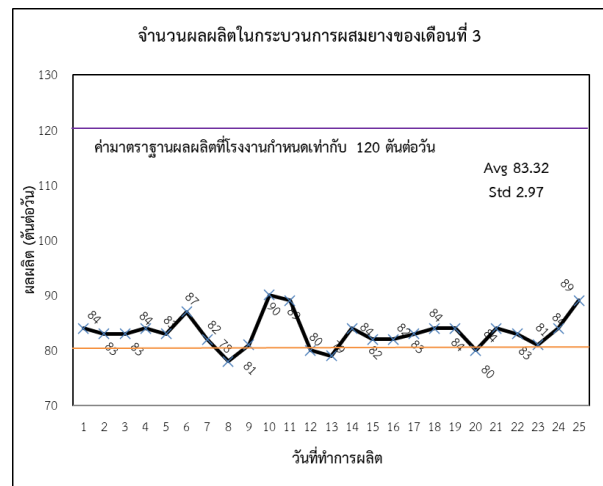
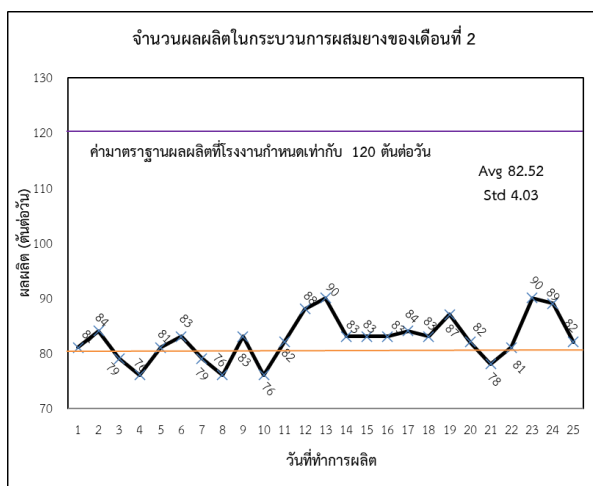
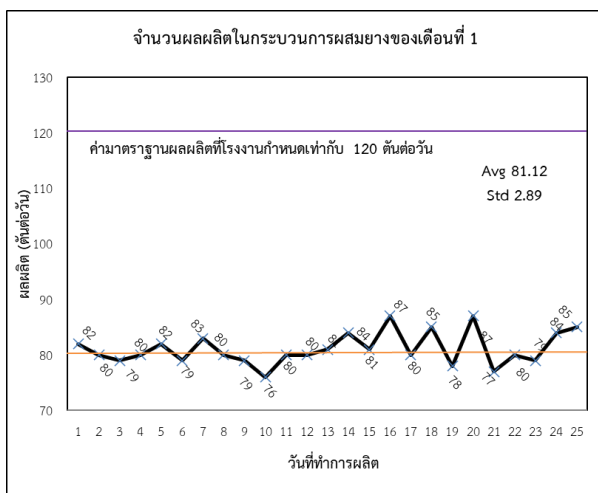
สรุปผลจากงานวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ มีข้อดี และข้อด้อยตรงจุดไหนบ้าง และเสนอแนะงานวิจัยที่คาดว่าจะทำต่อไปในอนาคต

5. ผลการวิจัย

ผลการลดความสูญเสียในกระบวนการผสมยางด้วยแนวคิดสินซิกซิกม่า มีรายการวิจัย ดังนี้

5.1 การวัดกระบวนการก่อนการปรับปรุง (Before measurement)

จากการเข้าไปศึกษาสภาพปัญหากระบวนการผลผลิตที่แผนกผลิต พบว่าเป็นกระบวนการที่น่าสนใจ และมีปัญหาที่สำคัญโดยคณะผู้วิจัยตั้งสมมติฐานว่ากระบวนการนี้ ยังมีความสูญเสียที่กระบวนการผลผลิตในแผนกผลิต ดังนั้นก่อนทำการปรับปรุงกระบวนการ คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลผลผลิตในกระบวนการผลผลิต เพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการผลิตมีปัญหาจริงและต้องการแก้ไขปรับปรุง โดยเก็บข้อมูลรวมทั้งหมด 3 เดือน เดือนละ 25 วัน วันละ 3 กะ ใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 75 วัน แสดงดังภาพที่ 1 และนำข้อมูลมาคำนวณค่าสถิติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

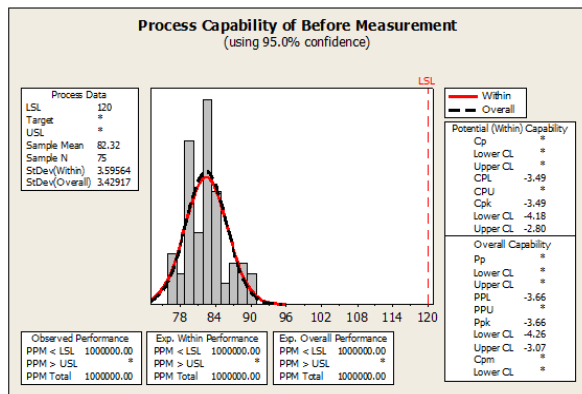


ภาพที่ 1 จำนวนผลผลิตในกระบวนการผลผลิตในเดือนที่ 1 ถึง เดือนที่ 3

จากภาพที่ 1 พบว่า จำนวนผลผลิตในเดือนที่ 1 เฉลี่ยเป็น 81.12 ตันต่อวัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.89 ตันต่อวัน ในเดือนที่ 2 คิดเฉลี่ยเป็น 82.52 ตันต่อวัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.03 ตันต่อวัน และในเดือนที่ 3 คิดเฉลี่ยเป็น 83.32 ตันต่อวัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.97 ตันต่อวัน ทำให้จำนวนผลผลิตต่ำกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด 120 ตันต่อวัน จึงต้องทำการปรับปรุงโดยทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุในกระบวนการถัดไป

ตารางที่ 1 ค่าสถิติต่างๆ จากผลการทดลองก่อนการปรับปรุงผลผลิตในกระบวนการผลผลิตในช่วงระหว่างเดือนที่ 1 ถึง เดือนที่ 3

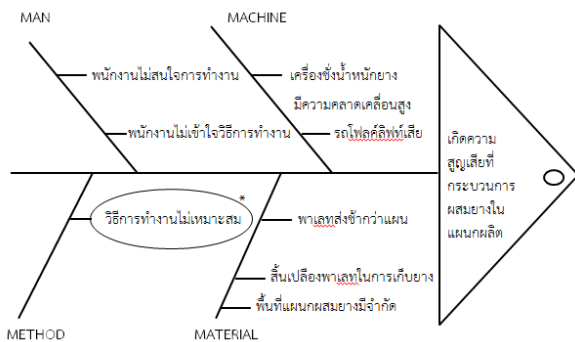
ค่าทางสถิติ	ก่อนปรับปรุง
ผลผลิตเฉลี่ย (ตันต่อวัน)	82.32
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ตันต่อวัน)	3.42
ขอบเขตล่างผลผลิตเฉลี่ยในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตันต่อวัน)	81.66



ภาพที่ 2 สมรรถภาพกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง

จากภาพที่ 2 แสดงว่าสมรรถภาพกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีค่า $C_{pk} = -3.49$ ซึ่งค่า $C_{pk} < 1.33$ โดยช่วงความเชื่อมั่นของกระบวนการเท่ากับ $-4.18 \leq C_{pk} \leq -2.80$ ดังนั้นเป้าหมายคือ ทำการเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผสมยางโดยใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีนซิกซ์ซิกม่า เพื่อปรับปรุงกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตให้มีประสิทธิภาพ

5.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze)



ภาพที่ 3 แผนผังเหตุและผล

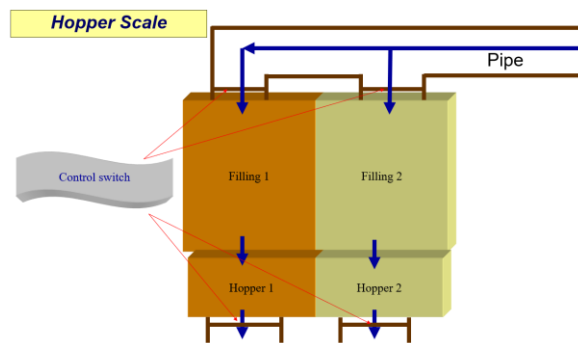
* หมายเหตุ : แผนผังเหตุและผลที่ได้จากการระดมสมอง

จากการวิเคราะห์แผนผังเหตุและผล ดังภาพที่ 3 พบว่า มีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาความสูญเสียในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตได้มีการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง โดยผลิตได้เฉลี่ยเพียง 80 ตันต่อวัน ซึ่งมีผลผลิตต่ำกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด 120 ตันต่อวัน และวิธีการทำงานยังไม่เหมาะสม ทางทีมผู้เชี่ยวชาญจึงได้

นัดประชุมเพื่อระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อหาสาเหตุสำคัญ พบว่ามีสาเหตุหลัก คือ วิธีการทำงานไม่เหมาะสม โดยส่งผลให้กระบวนการผลิตขาดประสิทธิภาพ จึงได้นำสาเหตุหลักดังกล่าวมาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

5.3 การปรับปรุงกระบวนการ (Improve)

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากทีมผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มีสาเหตุหลักคือ วิธีการทำงานไม่เหมาะสมและซับซ้อน โดยวิธีการเดิมมีการใช้พาเลทในการรองยางแผ่นและเศษยางทำให้สิ้นเปลืองพาเลท ใช้แรงงานคนมากเกินไป การชั่งน้ำหนักยางในวิธีการเดิมมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงโดยเป็นกระบวนการแบบกึ่งอัตโนมัติ ใช้รถโฟล์คลิฟท์จำนวนมากในการทำงาน และเวลาการรอคอยและสินค้าคงคลังมีมากเกินไป ซึ่งเป็นการสูญเสียในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตอย่างมาก ดังนั้นทีมผู้เชี่ยวชาญและคณะผู้วิจัยจึงได้คิดระดมสมองเพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหานี้ โดยคิดวิธีการทำงานใหม่เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการ จึงได้ทำการออกแบบเครื่องชั่งยางแบบอัตโนมัติ (Hopper scale) ดังภาพที่ 4 เพื่อใช้สำหรับชั่งน้ำหนักยางแบบต่อเนื่อง โดยความสามารถในการชั่งน้ำหนักยางผสมระหว่างเศษยางและยางแผ่น 5,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และปรับปรุงสายการผลิตใหม่โดยออกแบบให้กระบวนการผลิตเชื่อมต่อกันระหว่างกระบวนการล้างยาง (Pre-Cleaning process) และกระบวนการผสมยาง (Mixing process) เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง (Line connecting) และคณะผู้วิจัยตั้งสมมติฐานว่ากระบวนการผลิตแบบใหม่นี้ จะสามารถช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตและเพิ่มผลผลิตได้ [10]

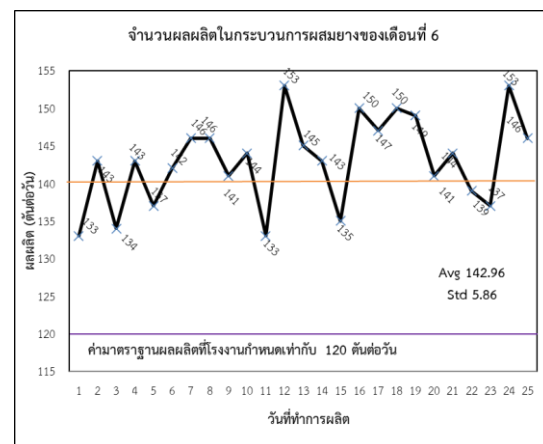
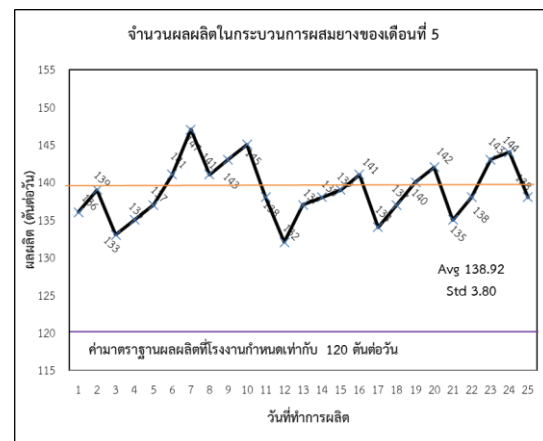
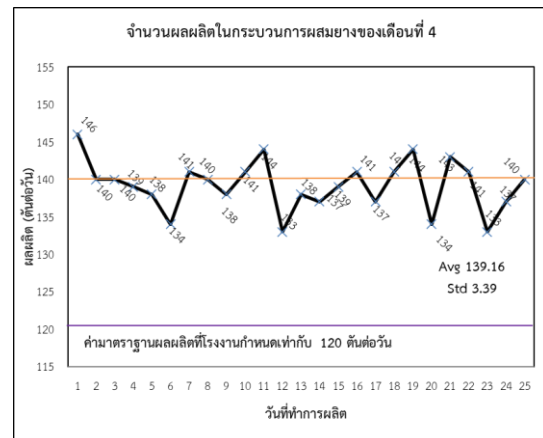


ภาพที่ 4 แบบภาพของเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ
(Hopper scale)

5.4 การวัดกระบวนการหลังการปรับปรุง (After measurement)

จากการปรับปรุงวิธีการใหม่ในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลผลผลิตในกระบวนการผสมยาง โดยเก็บข้อมูลรวมทั้งหมด 3 เดือน เดือนละ 25 วัน วันละ 3 กะ ใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 75 วัน แสดงดังภาพที่ 5 และนำข้อมูลมาคำนวณค่าสถิติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

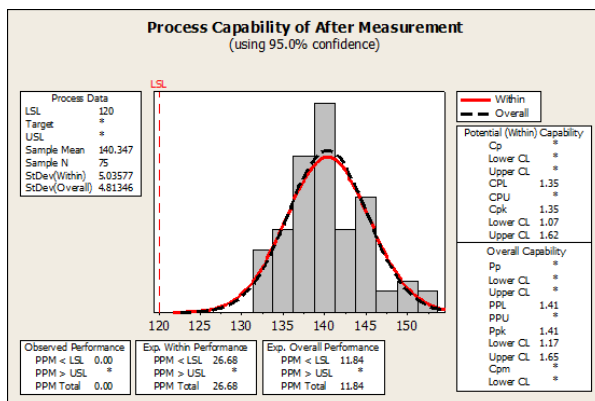
จากภาพที่ 5 พบว่า จำนวนผลผลิตในกระบวนการผสมยางในเดือนที่ 4 คิดเฉลี่ยเป็น 139.16 ตันต่อวัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.39 ตันต่อวัน ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมคิดเป็น 40.85 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนที่ 5 คิดเฉลี่ยเป็น 138.92 ตันต่อวัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.80 ตันต่อวัน ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมคิดเป็น 40.74 เปอร์เซ็นต์ และในเดือนที่ 6 คิดเฉลี่ยเป็น 142.96 ตันต่อวัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.86 ตันต่อวัน ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมคิดเป็น 42.42 เปอร์เซ็นต์ จากเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3 หลังจากมีการปรับปรุงวิธีการใหม่ในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต โดยใช้เครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบต่อเนื่อง ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การปรับปรุงในกระบวนการนี้สามารถลดปัญหาได้จริง และตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้



ภาพที่ 5 จำนวนผลผลิตในกระบวนการผสมยาง
ในเดือนที่ 4 ถึง เดือนที่ 6

ตารางที่ 2 ค่าสถิติต่างๆ จากผลการทดลองหลังการปรับปรุงเวลาสูญเสียในกระบวนการเตรียมยางแท่งในช่วงระหว่างเดือนที่ 4 ถึง เดือนที่ 6

ค่าทางสถิติ	หลังปรับปรุง
ผลผลิตเฉลี่ย (ตันต่อวัน)	140.35
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ตันต่อวัน)	4.80
ขอบเขตล่างผลผลิตเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตันต่อวัน)	139.42



ภาพที่ 6 สมรรถภาพกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

จากภาพที่ 6 พบว่า ผลการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการที่ได้จากข้อมูลกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง มีข้อกำหนดด้านล่าง (LSL) เพียงด้านเดียว คือ ผลผลิตในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตโดยมาตรฐานที่โรงงานกำหนดคือ 120 ตันต่อวัน เนื่องจากการผลิตได้มากเกินไปหมายถึงไม่ถือเป็นปัญหาของกระบวนการผสมยางนี้ แต่อาจถูกจำกัดโดยกระบวนการถัดไป และมีค่า C_{pk} เท่ากับ 1.35 แสดงว่ากระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดี และจากข้อมูลกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงไม่พบความสูญเสียเลย โดยช่วงความเชื่อมั่นของกระบวนการเท่ากับ $1.07 \leq C_{pk} \leq 1.62$

5.5 การยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การยืนยันผลโดยการนำวิธีการใหม่มาทำการทดลองในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต โดยใช้เครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบต่อเนื่อง ไปทำการทดลองกับกระบวนการผลิตจริง

โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลผลผลิตในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต ทั้งหมด 2 เดือน เดือนละ 10 วัน โดยแบ่งเป็นครั้งที่ 1 (10 วันในเดือนแรก) และครั้งที่ 2 (10 วันในเดือนสอง) ใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 20 วัน แสดงดังตารางที่ 3 [11]

ตารางที่ 3 ค่าสถิติต่างๆ จากผลการทดลองยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูลของวิธีการใหม่ในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิต

ค่าทางสถิติ	ยืนยันผล
ผลผลิตเฉลี่ย (ตันต่อวัน)	143.30
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ตันต่อวัน)	5.93
ขอบเขตล่างผลผลิตเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตันต่อวัน)	141.01

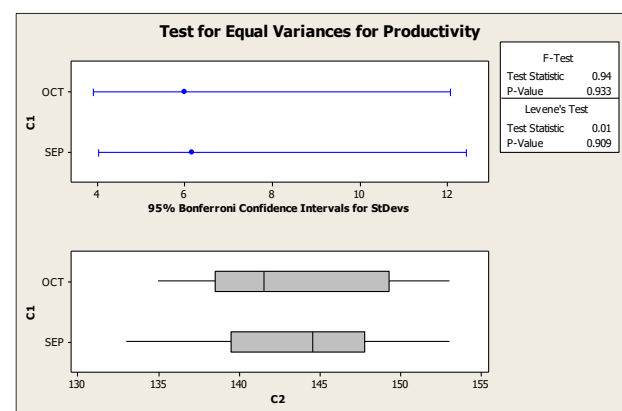
5.5.1 การทดสอบสมมติฐานกรณีเก็บตัวอย่างสองชุดที่เป็นอิสระต่อกัน

1) การทดสอบความแปรปรวน ในการทดลองเพื่อตรวจสอบผลผลิตในกระบวนการผสมยางจากการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง ว่าค่าความแปรปรวนของทั้งสองครั้งนี้มีค่าเท่ากันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีสมมติฐาน ดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

จะได้ผลการทดสอบความแปรปรวน ดังนี้



ภาพที่ 7 การทดสอบความแปรปรวนของการยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากภาพที่ 7 สามารถสรุปได้ว่าค่า P-Value = 0.9333 > ค่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้น จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าไม่มีหลักฐานแน่ชัดที่จะบ่งชี้ว่าค่าความแปรปรวนของผลผลิตในกระบวนการผสมยางทั้งสองครั้งนี้ไม่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบค่าเฉลี่ย ในการทดลองเพื่อตรวจสอบผลผลิตในกระบวนการผสมยางจากการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง ว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองครั้งนี้มีค่าเท่ากันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

จะได้ผลการทดสอบค่าเฉลี่ย ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของการยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

แหล่งที่มา	T-Value	d.f.	P-Value
ผลผลิต			
ในกระบวนการ	0.29	18.00	0.772
ผสมยาง			

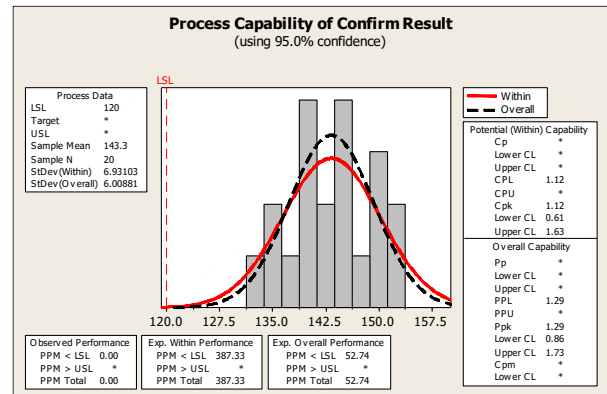
จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่าค่า P-Value = 0.772 > ค่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้น จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของผลผลิตในกระบวนการผสมยางทั้งสองครั้งนี้ไม่ต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.5.2 การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ

จากข้อมูลการยืนยันผลรวมทั้งหมด 20 วัน ในตารางผนวก จ นำมาวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ และคำนวณค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการต่างๆ ได้ผลดังภาพที่ 8

จากภาพที่ 8 พบว่า ผลการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการที่ได้จากข้อมูลการยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล มีข้อกำหนดด้านล่าง (LSL) เพียงด้านเดียว คือผลผลิตในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตโดยมาตรฐานที่โรงงานกำหนดคือ 120 ตันต่อวัน มีค่า C_{pk} เท่ากับ 1.12 แสดงว่ากระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดี และจากการยืนยันผล

ไม่พบความสูญเสียเลย โดยช่วงความเชื่อมั่นของกระบวนการเท่ากับ $0.61 \leq C_{pk} \leq 1.63$



ภาพที่ 8 การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการของการยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

5.6 การศึกษาต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการคิดจุดคุ้มทุนการลงทุนในการปรับปรุงวิธีการใหม่ในการสร้างเครื่องซึ่งยางแบบอัตโนมัติ และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบต่อเนื่อง โดยมีต้นทุนที่ลงทุนอยู่ที่ 1,030,000 บาท และมีระยะเวลาในการใช้งานได้ 10 ปี พบว่า ใน 1 ปีสามารถลดต้นทุนความสูญเสียได้ถึง 450,000 บาท และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 2.28 ปี จึงจะคุ้มค่าในการลงทุน

6. การสรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยที่มุ่งเน้นในการเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผสมยาง ภายใต้ข้อจำกัดที่เป็นไปได้ และอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด โดยสาเหตุของปัญหาต่างๆ ที่ได้นำมาศึกษา ได้มาจากการระดมสมองระหว่างคณะผู้วิจัยกับทีมผู้เชี่ยวชาญในแผนกผลิตและการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เริ่มต้นจากที่คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลผลผลิตในกระบวนการผสมยางก่อนการปรับปรุง เพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการผลิตมีปัญหาจริงและต้องการแก้ไขปรับปรุง หลังจากนั้นคณะผู้วิจัยกับทีมผู้เชี่ยวชาญได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่าง ๆ พบว่า มีสาเหตุหลักคือวิธีการทำงานไม่

เหมาะสมและซับซ้อน โดยวิธีการเดิมมีการใช้พาเลทในการรองยางแผ่นและเศษยางทำให้สิ้นเปลืองพาเลท ใช้แรงงานคนมากเกินไป การชั่งน้ำหนักยางในวิธีการเดิมมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงโดยเป็นกระบวนการแบบกึ่งอัตโนมัติ ใช้รถโฟล์คลิฟท์จำนวนมากในการทำงาน และเวลาการรอกอยและสินค้าคงคลังมีมากเกินไป และผลิตได้เฉลี่ยเพียง 80 ตันต่อวัน ซึ่งมีผลผลิตต่ำกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด 120 ตันต่อวัน ดังนั้นทีมผู้เชี่ยวชาญและคณะผู้วิจัยจึงได้คิดเพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหานี้ โดยคิดวิธีการทำงานใหม่เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการ จึงได้ทำการออกแบบเครื่องชั่งยางแบบอัตโนมัติเพื่อใช้สำหรับชั่งน้ำหนักยางแบบต่อเนื่อง และปรับปรุงสายการผลิตใหม่โดยออกแบบให้กระบวนการผลิตเชื่อมต่อกันระหว่างกระบวนการล้างยาง และกระบวนการผสมยาง จากผลการวิจัยพบว่า ก่อนปรับปรุงผลผลิตเฉลี่ย 82.32 ตันต่อวัน หลังปรับปรุงผลผลิตเฉลี่ย 140.35 ตันต่อวัน ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมคิดเป็น 41.35 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการใหม่นี้คณะผู้วิจัยสามารถเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผสมยางได้

6.2 อภิปรายผลการวิจัย

คณะผู้วิจัยทำการยืนยันผลโดยนำวิธีการทำงานใหม่โดยใช้เครื่องชั่งยางแบบอัตโนมัติ (Hopper Scale) และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบต่อเนื่อง (Line Connecting) ไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลผลผลิตในกระบวนการผสมยางที่แผนกผลิตทั้งหมด 2 เดือน พบว่าขอบเขตล่างผลผลิตเฉลี่ยในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของการยืนยันผลการทดลองมีค่าไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานคือ 120 ตันต่อวัน และจากการยืนยันผลไม่พบความสูญเสียเลย อีกทั้งยังเพิ่มค่า C_{pk} ให้กับกระบวนการ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของผลผลิตในกระบวนการผสมยางก่อนการปรับปรุงและการยืนยันผลการทดลอง พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผสมยางเฉลี่ยได้คิดเป็น 42.55 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ว่าการใช้เครื่องชั่งยางแบบ

อัตโนมัติ (Hopper Scale) และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบต่อเนื่อง (Line Connecting) สามารถลดเวลารอคอยจากการเตรียมยางในพื้นที่จัดเก็บโดยสามารถผสมเศษยางและยางแผ่นได้อย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต ลดความผิดพลาดจากการทำงานของคนเนื่องจากการชั่งน้ำหนักยางใช้เครื่องชั่งยางแบบอัตโนมัติ (Hopper Scale) ซึ่งมีความแม่นยำสูงส่งผลให้ได้น้ำหนักสัดส่วนระหว่างเศษยางและยางแผ่นที่ถูกต้อง ลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นโดยยกเลิกการใช้รถโฟล์คลิฟท์เพื่อการขนส่งในกระบวนการผลิต และลดใช้แรงงานคนในกระบวนการผลิตได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Leenatham, N., et al. [1] ได้ทำการพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20 โดยลดจุดขาดจากยางแท่งไม่สมบูรณ์ด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า และใช้แผนภาพสาเหตุและผลในการหาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง สามารถปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ Leenatham, N., et al. [12] ได้ทำการการลดเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า โดยได้ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์แบบใหม่เป็นฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนเป็นแบบหลอดอินฟราเรด สามารถลดเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบให้อยู่ในมาตรฐานที่โรงงานกำหนดได้ และข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ได้ศึกษาในโรงงานกรณีศึกษาเพียงแห่งเดียว ซึ่งผลลัพธ์อาจแตกต่างกันในบริบทอื่นได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยต่อสถานประกอบการในการลดความสูญเสียและเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมยางแท่ง นอกจากนั้นยังเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางสำหรับการลดความสูญเสียและการประเมินสมรรถนะกระบวนการผสมยาง

ด้วยแนวคิดลีนชิกซ์ชิกมา อย่างไรก็ตามเพื่อให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นควรต้องต่อยอดการปรับปรุง โดยในปัจจุบันใช้พนักงานฝ่ายผลิตนำวัตถุดิบเศษยางและยางแผ่นทั้งหมดขึ้นบนสายพานโดยให้จัดเรียงตามข้อเสนอแนะในข้อกำหนดผลิตภัณฑ์เพื่อขนส่งไปสู่เครื่องชั่งยางแบบอัตโนมัติ (Hopper scale) ซึ่งผู้วิจัยเสนอแนะว่าควรศึกษาการติดตั้งเครื่องแขนกลอุตสาหกรรม (Robot arm) ในกระบวนการผลิตเพื่อการขนส่งวัตถุดิบเศษยางและยางแผ่นไปในกระบวนการผลิตต่อไป เพื่อลดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตและลดจำนวนพนักงานฝ่ายผลิตได้ แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาในด้านความคุ้มค่าด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาผลิตยางแท่งที่ได้ให้ข้อมูลวิจัยและช่วยเหลืออนุเคราะห์ในการทำวิจัยฉบับนี้ และเอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อการวิจัยด้วยดีตลอดมา

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Leenatham, N. and et al. 2021. “The Efficiency Improvement of STR 20 Block Rubber Production Process by Using Design of Experiments,” *Naresuan University Engineering Journal*, 16(1): pp. 119–139.
- [2] Sudasna-na-Ayudhya, P. and Luangpaiboon, P. 2008. *Design and Analysis of Experiments*, 1st ed. Bangkok, Thailand: Top Publishing. (in Thai)
- [3] Montgomery, D. C. 2019. “Factorial and Fractional Factorial Experiments for Process Design and Improvement,” in *Introduction to Statistical Quality Control*, 8th ed. New York, USA: John Wiley & Sons, ch. 13, pp. 523–550.
- [4] Montgomery, D. C. 2019. “Response Surface Methods and Designs,” in *Design and Analysis of Experiments*, 10th ed. New York, USA: John Wiley & Sons, ch. 11, pp. 430–436.
- [5] Leenatham, A. and Khemavuk, P. 2019. “Process Improvement of PTCA Guide Wire by Using Design of Experiment,” *SWU Engineering Journal*, 14(2): pp. 12–24. (in Thai)
- [6] Semsri, A. 2022. “Determination of Optimum Temperature of Barrel Heater for Reducing Waste in Plastic Injection Molding Process of Tractor Turn Signal Cover Parts using DMAIC Techniques,” *Engineering and Technology Horizons*, 39(3): pp. 111–130. (in Thai)
- [7] Leenatham, N. and Ponpakdee, S. 2024. “The Quality Improvement of Tube Ice Production Process by using Central Composite Design,” *Engineering and Technology Horizons*, 41(3): pp. 1–19. (in Thai)
- [8] Sliva, T. and Ferreira, P. 2017. “Improve the extrusion process in tire production using six sigma methodology,” *Procedia Manufacturing*, 13: pp. 1104–1111.
- [9] Pyzdek, T. and Keller, P. 2019. *The Six Sigma Handbook*, 5th ed. New York: McGraw Hill.
- [10] Ramasamy, S. 2009. *Total Quality Management*. New Delhi: Tata McGraw Hill.
- [11] Breyfogle, F. W. III. 2003. *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.

[12] Leenatham, N. and et al. 2019.

“Reducing of the wasting time in the dirt
testing process of rubber by lean six
sigma approach: a case study in a rubber
factory,” *Wichcha Journal*, 38(2): pp.
104–119. (in Thai)