การลดต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี
Reducing Life Cycle Costs of Bucket Elevator in Fertilizer Production Plant

มีน อังศุโชติ[1] และ สมหญิง งามพรประเสริฐ[2*]

[1,2]หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม

วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

Meen Angsuchoti[1] and Somying Ngarmpornprasert[2*]

[1,2]Master of Engineering Program in Engineering Management

College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University

somying.ngt@dpu.ac.th

Received 25 February 2025

Revised 01 June 2025

Accepted 27 June 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี โดยการนำแผนภูมิพาเรโตและกระบวนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) มาใช้เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา จากนั้นทำงานวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยใช้หลักการ Why-Why Analysis พบว่าสาเหตุหลักที่แท้จริงของปัญหาคือ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงนั้นมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าปกติเนื่องจากการโดนกัดกร่อนจากวัสดุที่ใช้ขนถ่าย นำมาสู่การแก้ปัญหาโดยการ ออกแบบเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงและเปลี่ยนวัสดุทำสายพานของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงใหม่ พบว่าสามารถลดค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) จากเดิมที่อยู่ในเกณฑ์สูง จำนวน 3 อาการ, เกณฑ์ปานกลางจำนวน 4 อาการ และ เกณฑ์ต่ำจำนวน 9 อาการ ให้อยู่ในเกณฑ์ปานกลางจำนวน 6 อาการ และ เกณฑ์ต่ำจำนวน 7 อาการ หลังทำการปรับปรุง นอกจากนั้นผู้ทำการวิจัยยังได้เปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงก่อนและหลังทำการปรับปรุงพบว่า ต้นทุนวงจรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC) ของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงลดลงจาก 9,336,313 บาท เป็น 4,961,279 บาท หรือคิดเป็น 53.14% ของต้นทุนวงจรชีวิตเดิม และ เมื่อทำการคิดค่าความไว (Sensitivity Analysis) ของต้นทุนวงจรชีวิตที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายต่างๆ ยังพบว่ามีต้นทุนวงจรชีวิตที่ต่ำกว่าเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงก่อนทำการปรับปรุง

คำสำคัญ: กระพ้อลำเลียง, กระบวนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ, Why-Why Analysis, ต้นทุนวงจรชีวิต

Abstract

The objective of this research was to reduce the life cycle cost (LCC) of the bucket elevator in a chemical fertilizer plant. The study utilized a Pareto Chart and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to identify and prioritize problems. The root causes of the issues were determined through a Why-Why Analysis, which showed that the conveyor parts had a short service life due to corrosion from the conveyed materials. To solve this, a new bucket elevator was designed, and the materials of the conveyor parts were changed. After the improvements, the Risk Priority Number (RPN) decreased, with the number of issues in the high, medium, and low-risk categories being reduced from three, four, and nine issues to zero, six, and seven issues, respectively. Additionally, the life cycle cost of the system was reduced from 9,336,313 THB to 4,961,279 THB, representing a 53.14% decrease. Furthermore, when calculating the Sensitivity Analysis of the life cycle costs with varying expenses, it was found that the life cycle cost of the new design bucket elevator was lower than that of the old bucket elevator.

Keywords: Bucket Elevator, FMEA, Why-Why Analysis, Life Cycle Cost

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ธุรกิจการผลิตและนำเข้าปุ๋ยเคมีเผชิญกับการแข่งขันที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลที่ได้รับการจดทะเบียนกับกรมพัฒนาธุรกิจในเดือนมิถุนายน 2565 พบว่ามีผู้ผลิตปุ๋ยเคมีในประเทศถึง 1,016 ราย ซึ่งเพิ่มขึ้น 26% เมื่อเปรียบเทียบกับสิ้นปี 2564 การขยายตัวนี้สะท้อนถึงความต้องการปุ๋ยเคมีที่สูงขึ้นจากภาคเกษตรกรรม และ ความพยายามของผู้ผลิตในการตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ราคาของวัตถุดิบหลักในการผลิตปุ๋ยเคมี เช่น Diammonium phosphate (DAP), Muriate of potash (MOP) และ Urea กำลังสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามแนวโน้มราคาน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่ปรับตัวสูงขึ้น นอกจากนี้ ความขัดแย้งระหว่างประเทศรัสเซีย-ยูเครน ซึ่งรัสเซียเป็นผู้ส่งออกปุ๋ยและวัตถุดิบหลักอันดับหนึ่งของโลก [1] ส่งผลให้ต้นทุนการนำเข้าสูงขึ้นและสร้างแรงกดดันต่อผู้ผลิตในประเทศ

นอกจากนี้ปัญหาที่พบบ่อยภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี คือการชำรุดจากการผุกร่อนของโครงสร้างเครื่องจักร โดยเฉพาะเครื่องจักรที่ใช้ชิ้นส่วนที่ผลิตจากเหล็ก และ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมักมีความกัดกร่อนและความชื้นสูง เช่น Urea ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนและโครงสร้างเครื่องจักรในระยะเวลาอันสั้น โดยในสายการผลิตปุ๋ยเคมีนั้นมีการใช้เครื่องจักรประเภทกระพ้อลำเลียงจำนวนมาก ซึ่งทำหน้าที่ในการขนถ่ายวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์จากที่ต่ำขึ้นไปยังที่สูง เครื่องจักรกระพ้อลำเลียงนี้มีชิ้นส่วนหลักประกอบไปด้วยโซ่ลำเลียง (Conveyor chain) และ ลูกกระพ้อ (Bucket) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีราคาสูงที่สุดคิดเป็น 40% ของราคาเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง และผลิตมาจากเหล็กนั้นจะเกิดการผุกร่อนอย่างรวดเร็วโดยอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน Conveyor chain อยู่ที่ 11.11% ของความหนาเดิมต่อปี ผลที่ตามมาคือ ต้นทุนในการซ่อมแซมสูงขึ้นเนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร

บ่อยครั้งและเร็วขึ้นกว่าปกติเพื่อป้องกันการเกิดการขัดข้องระหว่างการผลิต ทำให้ต้นทุนด้านการผลิตและซ่อมบำรุงสูงขึ้นเนื่องจากเครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามที่ออกแบบไว้ ตัวอย่างเช่น การรั่วของ Bucket ซึ่งทำให้ไม่สามารถขนถ่ายวัสดุได้อย่างเต็มที่ เป็นต้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมลดลง การลดต้นทุนการผลิตจึงมีความสำคัญมากในสภาวะที่ต้นทุนต่างๆ สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพนั้นเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และสามารถรักษาผลกำไรได้ในขณะที่ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

ผู้วิจัยในฐานะผู้รับผิดชอบด้านการออกแบบและปรับปรุงเครื่องจักรที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิต มีความมุ่งมั่นที่จะวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องจักรเหล่านี้ และนำทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแก้ไขเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง เพื่อลดต้นทุนวงจรชีวิตให้น้อยลง ซึ่งจะส่งผลดีต่อการลดต้นทุนรวมในการผลิต ทำให้สามารถแข่งขันในตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง

2.2 เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง

3. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาพและรายละเอียดของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี จากบันทึกงานซ่อมแผนกวิศวกรรมเครื่องกลในช่วงระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม 2567

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

แผนภูมิพาเรโตเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้กราฟแท่งและกราฟเส้นร่วมกัน โดยกราฟแท่งจะใช้ในการแสดงปริมาณของข้อมูล โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ส่วนกราฟเส้นจะบ่งชี้เปอร์เซ็นต์สะสมของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งช่วยให้เรามองเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ปัญหาหรือข้อบกพร่องในเครื่องจักรใดที่ควรได้รับการแก้ไขเป็นลำดับแรก เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการปรับปรุงกระบวนการผลิต [2]

4.2 กระบวนการวิเคราะห์ Why – Why

กระบวนการวิเคราะห์ Why – Why เป็นเครื่องมือคุณภาพที่ใช้ในการหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา โดยการตั้งคำถามว่า 'ทำไม' ซ้ำๆ ไปเรื่อย ๆ จนสามารถระบุสาเหตุหลักของปัญหาได้อย่างชัดเจน กระบวนการนี้ช่วยให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง และทำให้เราเข้าใจขั้นตอนการเกิดปัญหานั้นๆ อย่างเป็นระบบ เพื่อการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน" [3]

4.3 ต้นทุนวงจรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC)

ต้นทุนวงจรชีวิตเป็นแนวทางที่ครอบคลุมซึ่งจะพิจารณาต้นทุนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับสินทรัพย์นั้น ๆ ตลอดอายุการใช้งาน โดยการสำรวจองค์ประกอบต่าง ๆ ของการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน และหาวิธีที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดและลดค่าใช้จ่ายให้เหลือน้อยที่สุด [4]

4.4 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการทำงานและการออกแบบ เพื่อระบุข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นและผลกระทบที่ตามมา และจัดลำดับความสำคัญในการป้องกันความเสี่ยงเหล่านั้นอย่างมีประสิทธิภาพ [5]

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุพัฒน์ วงศ์จิรัฐิติกาล และ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน [5] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของโรงงานผลิตเพลารถยนต์ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) และใช้แผนผังก้างปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาพบว่าค่า MTBF ของเครื่องจักร สูงขึ้นจากเดิม 83±45 ชั่วโมงต่อครั้งเป็น 87±22 ชั่วโมงต่อครั้ง และมีค่า MTTR ลดลงจาก 84.70±32.57 ชั่วโมงต่อครั้ง เป็น 70.38±33 ชั่วโมงต่อครั้ง

รัฐวุฒิ วงษ์วิทย์ [6] ได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) ของเครื่องจักรภายในโรงงานผลิตภัณฑ์คอนกรีต และสร้างเกณฑ์การให้คะแนนของผลกระทบต่างๆเพื่อนำมาคำนวณค่าความเสี่ยง (RPN) ของเครื่องจักรจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยการใช้เครื่องมือ Why-Why Analysis เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของรูปแบบปัญหาที่มีความเสี่ยงสูงและแก้ไขปัญหา ส่งผลให้จำนวนครั้งในการหยุดใช้งานเครื่องจักรที่ต้องใช้เวลาซ่อมมากกว่า 1 วัน ลดลง 85% ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (MTBF) เพิ่มขึ้น 27% เวลาเฉลี่ยของการซ่อมเครื่องจักรลดลง 45%

มนตรี เจนชัย [7] ได้ทำการศึกษาเพื่อหาสาเหตุของการเกิด Breakdown ในระบบอัดอากาศของโรงงานผลิตน้ำดื่ม โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ Why – Why เพื่อหาสาเหตุของปัญหา และ แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา และทำการแก้ไขจากสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ทำให้สามารถลดอัตราการเกิด Breakdown พบว่า เครื่องอัดอากาศจากเดิม 5.3 ครั้งต่อเดือน หลังการปรับปรุงมีอัตราการชำรุดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.0 ครั้งต่อเดือน ลดลง 81.13%

บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์ และ พิพัฒน์ เลิศโกวิทย์ [8] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อทำการลดต้นทุนโดยนำเครื่องมือ 7 QC Tools, ECES และ Why-Why Analysis มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาสภาพของปัญหาและสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาคือขั้นตอนการผลิตที่เกินความจำเป็นทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 42.03 บาทต่อชิ้น และ ใช้เวลาในการผลิตลดลงจาก 7 ขั้นตอน เหลือเพียง 4 ขั้นตอน

วราภรณ์ กลิ่นบุญ, รัฐธรรมนูญ ยอดแสง, นที สุไชยสงฆ์ และ จิระพล กลิ่นบุญ [9] ได้ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องพ่นทรายเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตหม้อพักไอเสียรถจักรยานยนต์โดยการใช้ Why-Why Analysis วิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา และใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงการและออกแบบเครื่องจักรใหม่ทำงานพบว่าสามารถลดเวลาในการทำงานลงได้ 70 วินาที และลดจำนวนพนักงานที่ใช้ในการผลิตได้จำนวน 2 คน

ประภาพร พลแสง, อภิศักดิ์ หาญพิชาญชัย, ปรเมศวร์ เบ้าวรรณ, ปัญหา วินทะไชย และ ปรวิทย์ เจียนดอน [10] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงและป้องกันของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนซีลขอบกระจกรถยนต์โดยการใช้เครื่องมือ 7 QC Tools ร่วมกับเครื่องมือ Why-Why Analysis พบว่าสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาคือ แม่พิมพ์เกิดการอุดตันจึงดำเนินการแก้ไขโดยการจัดทำคู่มือการใช้งานเครื่องจักรและการล้างแม่พิมพ์พบว่าสามารถลดของเสียได้ถึง 56.06%

ภาสิทธิ์ เติมนุวงศ์ [11] ได้ทำการออกแบบโมเดลต้นทุนวงจรชีวิต และทำการเปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตของรถจักรยานยนต์ 3 ประเภท ได้แก่ ไฟฟ้า, ไฮบริด และ แก๊สโซลีนขนาดความจุไม่เกิน 150 ซีซี ในช่วงอายุ 5 ปี พบว่า

ต้นทุนวงจรชีวิตของรถจักรยานยนต์ Honda Wave ICEs มีต้นทุนตลอดอายุการใช้งานต่ำสุดที่ 4.65 บาทต่อกิโลเมตร และมีค่าใช้จ่ายรวม 111,566.23 บาทตลอดอายุการใช้งาน

ปรีดา จันทวงษ์ [12] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างหลังคาทั่วไป (SRC) กับปล่องหลังคาโซล่าร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (RSCC) และวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตพบว่าบ้านที่ติดตั้ง RSCC มีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้ง SRC ประมาณ 0.2 – 6°C และมีระยะเวลาการคืนทุน 32.7 ปี พร้อมอัตราผลตอบแทนการลงทุน 37% ต่อปีจากการคิดอัตราดอกเบี้ยที่ 6% ทำให้ RSCC เป็นทางเลือกที่คุ้มค่าสำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอนุรักษ์พลังงาน

สาวิตรี ยุพเยาว์ [13] ได้ทำการศึกษาแนวทางการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตน้ำมะนาวบรรจุขวดพลาสติกใส ซึ่งนำเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด คือ Why-Why Analysis และ 5W1H มาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสาเหตุของปัญหา พบว่า สาเหตุหลักมาจาก 4 ปัจจัย คือ คน, เครื่องจักร, วัตถุดิบ และ กระบวนการ หลังจากพบสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขปัญหา พบว่า ปริมาณของเสียลดลง 5 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการตรวจรับวัตถุดิบเข้าคลังลดลง 43.77% และยังสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้ถึง 43.50% ต่อปี

ธีร์ เชาวนนทปัญญา [14] การทำการศึกษาการกัดกร่อนในบรรยากาศของเหล็กกล้าโดยทำการนำเสนอภาพรวมของการกัดกร่อนบนผิวของเหล็กกล้า และประยุกต์ใช้ Linear Bilogarithmic Laws เพื่อทำนายอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าซึ่งทำให้เข้าใจกระบวนการเกิดสนิมของเหล็กกล้าในบรรยากาศ

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การศึกษากระบวนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) รวมถึงการประยุกต์ใช้ 7 QC Tools และ Why-Why Analysis นั้นเป็นการวิเคราะห์เพื่อลดอัตราการชำรุด และลดเวลาในการซ่อมเท่านั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำแนวคิดดังกล่าวมาปรับใช้ในการปรับปรุงเครื่องจักรใหม่เพื่อลดต้นทุนในการซ่อมบำรุงที่เกิดขึ้นของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีให้ได้มากที่สุดตั้งแต่การการเริ่มใช้งานเครื่องจนถึงการยกเลิกการใช้งาน โดยใช้ทฤษฎีต้นทุนวงจรชีวิตในการเปรียบเทียบต้นทุนทั้งหมดของเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุง และ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทนเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานในอุตสาหกรรม รวมถึงวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของต้นทุนวงจรชีวิตในกรณีที่ต้นทุนต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง

6. การดำเนินการวิจัย

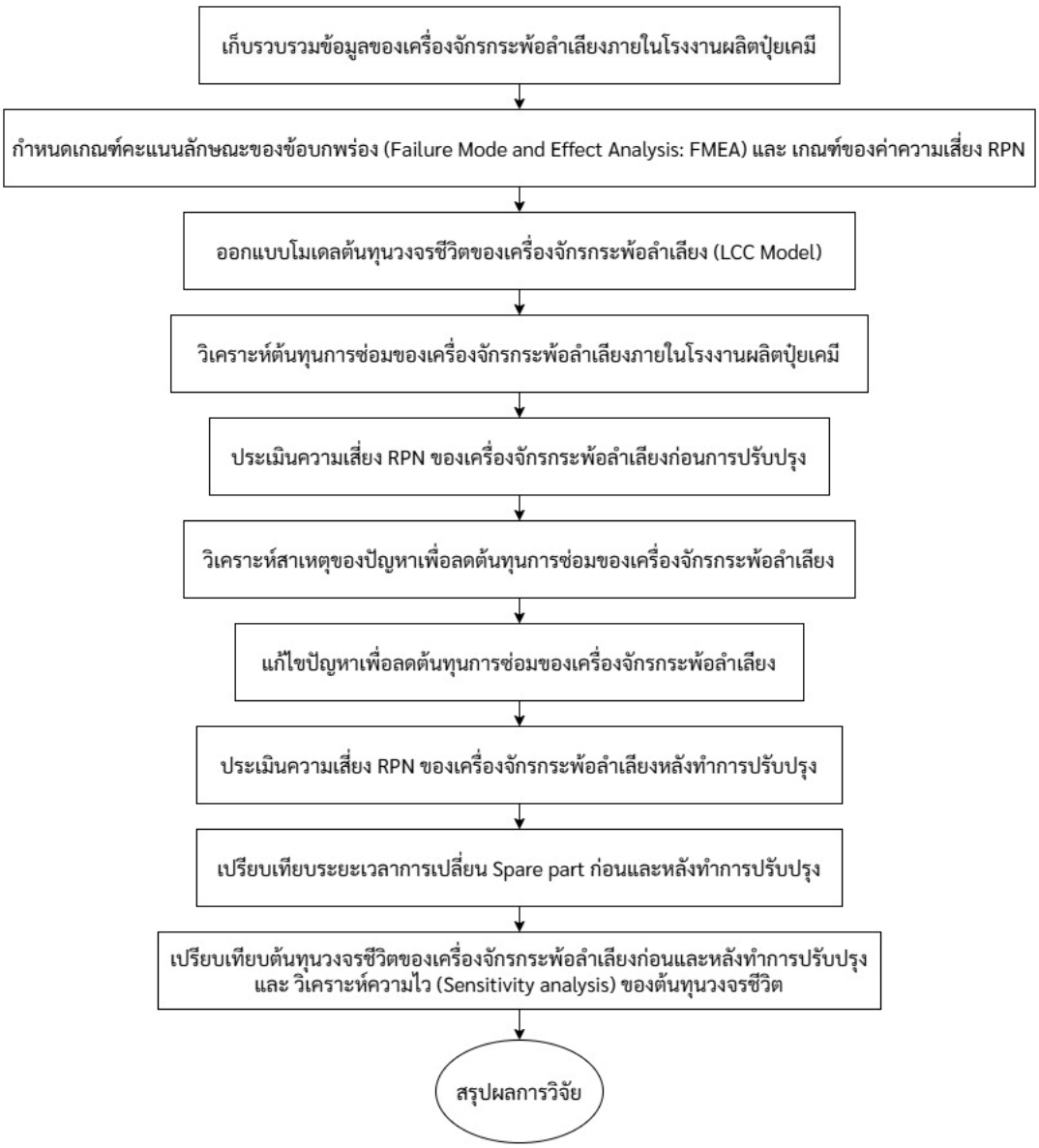
การดำเนินงานนี้วิธีมีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 1

6.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโดยการนำข้อมูลของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

6.1.1 รายละเอียดของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงชนิดโซ่ลำเลียง

เครื่องจักร BE เป็นเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงชนิด Continuous bucket elevator ที่ใช้ Conveyor chain ในการลำเลียงวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดของเครื่องจักรดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

รูปที่ 2 เครื่องจักร BE

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องจักร BE

ลำดับ	รายการ	รายละเอียด
1	Machine	Chain bucket elevator
2	Type	Continuous bucket elevator
3	Material to be fed	Fertilizer
		Bulk density = 1 ton/m^3
		Moisture = 1.0~1.5%
		Angle of repose = 35°~40°
		Temperature: AVG 60°C
		Grain size = 5~50 mesh
4	Capacity	Normal 60 ton/h
		Maximum 70 ton/h
5	Bucket	144 pcs
6	Center distance	Vertical = 27.3 m
		Horizontal = 3.7 m
7	Chain speed	22 m/min
8	Drive unit	Geared motor: 15 kW 6P 50Hz
		33RPM
9	Roller chain	RS 140-2 NT55: Drive shaft
		RS 140-2 NT17: Motor
10	Conveyor chain & Sprocket	DK3090FS-2PG4
		DK3090FS NT11
11	Plummer block	SN536
12	Bearing	Top: 22236 K + H 3136
		Bottom: UCT 315
13	Chain guide	FB 75x9t
14	Casing	Plate SS41: 4.5 mm

6.1.2 อายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆภายในเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงชนิดโซ่ลำเลียง

เครื่องจักร BE นั้นมีอายุการใช้งานโดยกำหนดรอบการเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องจักรจากการเก็บข้อมูลภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีดังตารางที่ 2 และ ราคาของชิ้นส่วนของเครื่องจักรดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 อายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆภายในเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง

ลำดับ	ชิ้นส่วน	อายุการใช้งาน (ปี)
1	Casing	12 ปี
2	Conveyor Chain	3 ปี
3	Roller Chain	6 ปี
4	Sprocket (Roller Chain)	6 ปี
5	Sprocket (Conveyor Chain)	12 ปี
6	Chain Guide	3 ปี
7	Buckets	3 ปี
8	Bearing	4 ปี
9	Drive Unit	12 ปี

ตารางที่ 3 ราคาของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร BE

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคา (บาท)
1	Conveyor chain	560 links	2621.5	1,468,040
2	Conveyor sprocket	2 sets	108,150	216,310
3	Roller chain	1 set	48,510	48,510
4	Sprocket (Roller chain)	1 set	4,494	4,494
5	Sprocket (Conveyor chain)	1 set	23,055	23,055
6	Chain guide	1 set	124,500	124,500
7	Bucket	144 pcs	1,500	216,000
8	Plumber block + Bearing (Top part)	2 sets	18,108	36,216
9	Bearing (Bottom part)	2 sets	5,431	10,862

6.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีได้ทำการกำหนดเกณฑ์การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงจาก 3 ปัจจัยดังนี้

- ระดับความรุนแรงปัญหา (Severity: S) คือ ระยะเวลาในการหยุดการผลิตจากอาการชำรุด
- โอกาสในการเกิดสาเหตุ (Occurrence: O) คือ ความถี่ในการเกิดอาการชำรุด
- ความสามารถในการตรวจจับ (Detection: D) คือ ความสามารถในการตรวจพบอาการชำรุด

ซึ่งเกณฑ์คะแนนของ ระดับความรุนแรงปัญหา โอกาสในการเกิดสาเหตุ ความสามารถในการตรวจจับ และเกณฑ์ของค่าความเสี่ยงภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีนั้น ได้มาจากการระดมความคิดของผู้เชี่ยวชาญของแผนกต่างๆ ภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีโดยอ้างอิงประวัติการซ่อมของเครื่องจักรภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี และกำหนดเป็น

ระเบียบปฏิบัติ (Procedure) ซึ่งระดับของคะแนนของแต่ละปัจจัยแสดงไว้ดังตารางที่ 4 และได้กำหนดเกณฑ์ของค่าความเสี่ยงของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1 ไว้ดังตารางที่ 5

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

โดยที่ *RPN* = ค่าความเสี่ยง
S = ระดับความรุนแรงปัญหา
O = โอกาสในการเกิดสาเหตุ
D = ความสามารถในการตรวจจับ

ตารางที่ 4 เกณฑ์การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

ระดับคะแนน	ระดับความรุนแรงของปัญหา (Severity: S)	โอกาสในการเกิดสาเหตุ (Occurrence: O)	ความสามารถในการตรวจจับ (Detection: D)
10	หยุดการผลิตมากกว่า 7 วัน	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/วัน	สามารถตรวจพบหลังจากการชำรุดเกิดขึ้นด้วยการใช้เครื่องมือ
9	หยุดการผลิต 5-6 วัน	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/3วัน	สามารถตรวจพบหลังจากการชำรุดเกิดขึ้นด้วยการใช้สายตา
8	หยุดการผลิต 3-4 วัน	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/7วัน	สามารถตรวจพบหลังจากการชำรุดเกิดเกิดขึ้นระหว่างการหยุดผลิตด้วยการใช้เครื่องมือ
7	หยุดการผลิต 1-2 วัน	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/15วัน	สามารถตรวจพบหลังจากการชำรุดเกิดขึ้นระหว่างการหยุดผลิตด้วยการใช้สายตา
6	หยุดการผลิตมากกว่า 12 ชม.	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/เดือน	สามารถตรวจพบก่อนการชำรุดของเครื่องจักรได้ระหว่างการหยุดผลิตด้วยการใช้เครื่องมือ
5	หยุดการผลิตมากกว่า 6 ชั่วโมง	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/3เดือน	สามารถตรวจพบก่อนการชำรุดของเครื่องจักรได้ระหว่างการหยุดผลิตด้วยการใช้สายตา
4	หยุดการผลิตมากกว่า 1 ชั่วโมง	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/6เดือน	สามารถตรวจพบก่อนการชำรุดของเครื่องจักรได้ระหว่างการผลิตด้วยการใช้เครื่องมือ
3	หยุดการผลิตมากกว่า 30 นาที	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/ปี	สามารถตรวจพบก่อนการชำรุดของเครื่องจักรได้ระหว่างการผลิตด้วยการใช้สายตา
2	มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตแต่ยังดำเนินการผลิตได้	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/3ปี	มีระบบอัตโนมัติในการตรวจจับและหยุดการชำรุดระหว่างดำเนินการผลิต
1	ไม่มีผลกระทบต่อการผลิต	แทบจะไม่เคยเกิดขึ้น	มีระบบอัตโนมัติในการแจ้งเตือนก่อนการชำรุด

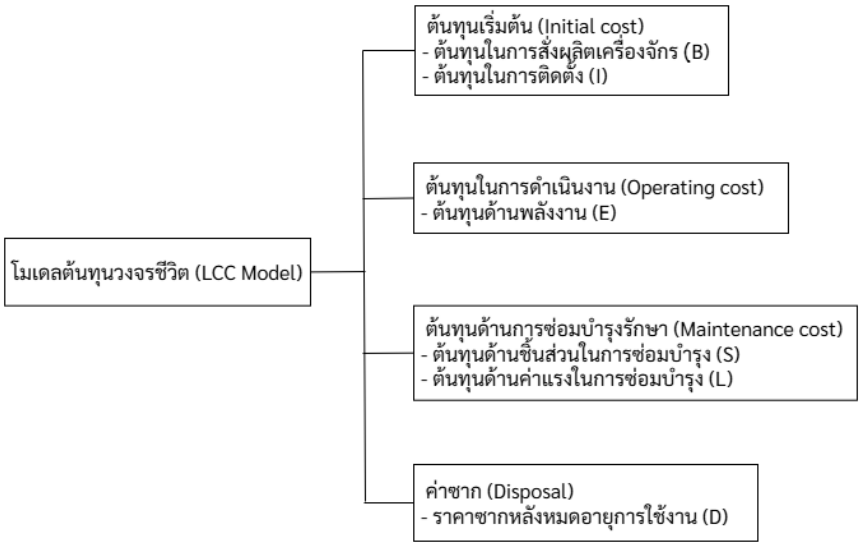
ตารางที่ 5 เกณฑ์ของค่าความเสี่ยงของเครื่องจักรภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี

คะแนน	ระดับความเสี่ยง
1 - 20	ต่ำ
21 - 80	ปานกลาง
> 81	สูง

6.3 การกำหนดโมเดลต้นทุนวงจรชีวิต (Life cycle cost: LCC)

การกำหนดโมเดลต้นทุนชีวิตของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงตามรูปที่ 3 มีสมมติฐานในการกำหนดต้นทุนวงจรชีวิตที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ต้นทุนเริ่มต้น (Initial Cost) ประกอบไปด้วย ต้นทุนในการสั่งผลิตและต้นทุนในการติดตั้งโดยนำข้อมูลมาจากใบเสนอราคาของผู้รับจ้าง
- ต้นทุนในการดำเนินการ (Operating Cost) ประกอบไปด้วย ต้นทุนด้านพลังงานจากการคำนวณการใช้พลังงานจาก Drive Unit ของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง
- ต้นทุนด้านการบำรุงรักษา (Maintenance Cost) ประกอบไปด้วย ต้นทุนด้านชิ้นส่วนในการซ่อมบำรุง และ ต้นทุนด้านค่าแรงในการซ่อมบำรุง ซึ่งประมาณการจากประวัติการซ่อมของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง และเครื่องจักรที่มีชิ้นส่วนใกล้เคียงกันภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี
- ค่าซาก (Disposal) คือ ต้นทุนในการขายซากชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรเมื่อหมดอายุการใช้งานโดยอ้างอิงจากประวัติการขายชิ้นส่วนของเครื่องจักร
- กำหนดให้เครื่องจักรมีอายุการใช้งาน 12 ปี ตามประวัติการใช้งานของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง
- กำหนดให้มีอัตราส่วนลด (Discount Rate) เท่ากับ 10% จาก อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ขั้นต่ำ (Minimum Overdraft Rate: MOR) ของธนาคารแห่งประเทศไทย 7.32% (ค่าเฉลี่ยของ MOR ณ มกราคม 2568 และผลตอบแทนที่บริษัทต้องการเพิ่มเติม 2.68%
- ต้นทุนวงจรชีวิตสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2



รูปที่ 3 โมเดลต้นทุนวงจรชีวิต

$$LCC = (B + I) + E + (S + L) - D \quad (2)$$

โดยที่ LCC = ต้นทุนวงจรชีวิต (บาท)
B = ต้นทุนในการสั่งผลิตเครื่องจักร (บาท)
I = ต้นทุนในการติดตั้ง (บาท)
E = ต้นทุนด้านพลังงาน (บาท)
S = ต้นทุนด้านชิ้นส่วนในการซ่อมบำรุง(บาท)
L = ต้นทุนด้านค่าแรงในการซ่อมบำรุง (บาท)
D = ค่าซาก (บาท)

6.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทน (Maintenance Cost as A Percent of Replacement Asset Value: MC/RAV)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทนนั้นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 ซึ่งค่ามาตรฐานสากล (International Benchmarks) สำหรับอุตสาหกรรมทั่วไปจะมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทนน้อยกว่า 3% ตามมาตรฐาน SMRP Best Practices [15] และอุตสาหกรรมเคมีนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทนเฉลี่ยอยู่ที่ 4% จากข้อมูลของสมาคมวิชาชีพของผู้เชี่ยวชาญด้านการบริหารจัดการทรัพย์สิน (Association of Asset Management Professionals: AMP) [16] เนื่องจากเครื่องจักรต้องบำรุงรักษาสูงกว่าเนื่องจากการกัดกร่อนของสารเคมีภายในสายการผลิต

$$MC/RAV = (MC/RAV) \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ MC/RAV = ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทน
MC = ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อปี (บาท)
RAV = มูลค่าทรัพย์สินทดแทน (บาท)

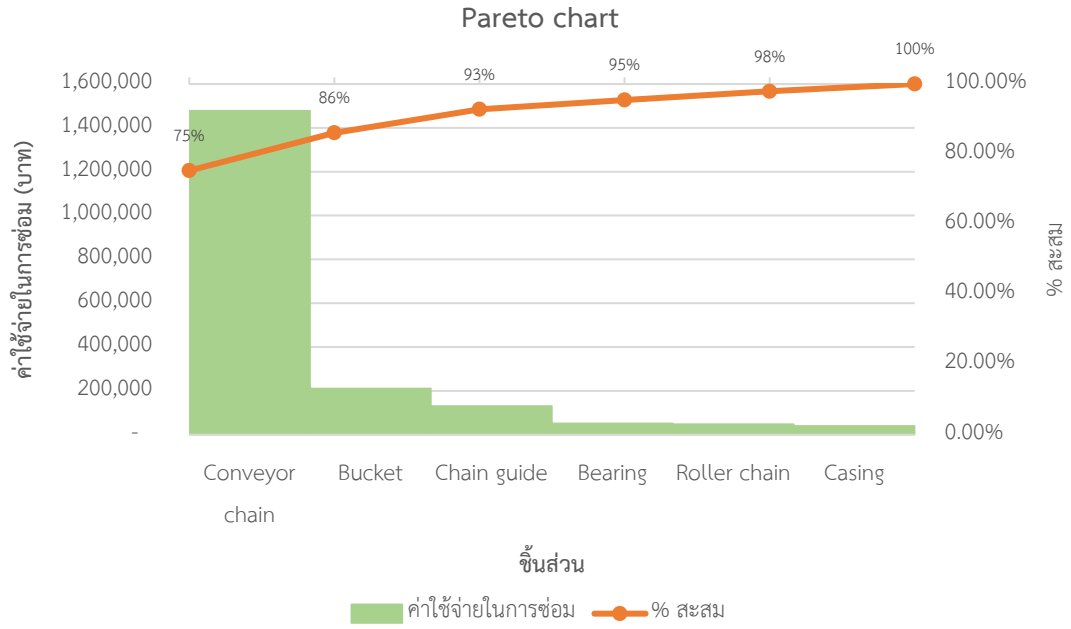
7. ผลการวิจัย

7.1 ต้นทุนในการซ่อมเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง

ทำการวิเคราะห์ต้นทุนในการซ่อมของเครื่องจักร BE โดยแสดงตัวอย่างของต้นทุนการซ่อมชิ้นส่วนตามตารางที่ 6 จากนั้นจึงใช้แผนภูมิพาเรโตเพื่อจัดลำดับต้นทุนในการซ่อมชิ้นส่วนต่างๆ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าชิ้นส่วนที่มีค่าใช้จ่ายสูงตามหลัก 80:20 ได้แก่ Conveyor Chain และ Bucket

ตารางที่ 6 ตัวอย่างต้นทุนการซ่อมชิ้นส่วนของเครื่องจักร BE

รายการ	จำนวน	เวลาที่ใช้ (Man-hours)	ราคา Spare part (บาท)	จำนวน	ค่าใช้จ่าย Spare part (บาท)	ค่าแรง/ชั่วโมง (บาท)	รวมค่าแรง (บาท)	รวม (บาท)
เปลี่ยน Top bearing	2	30	18,108	2	36,216	86	2,580	38,796
เปลี่ยน Conveyor chain	1	160	1,468,040	1	1,468,040	86	13,760	1,481,800



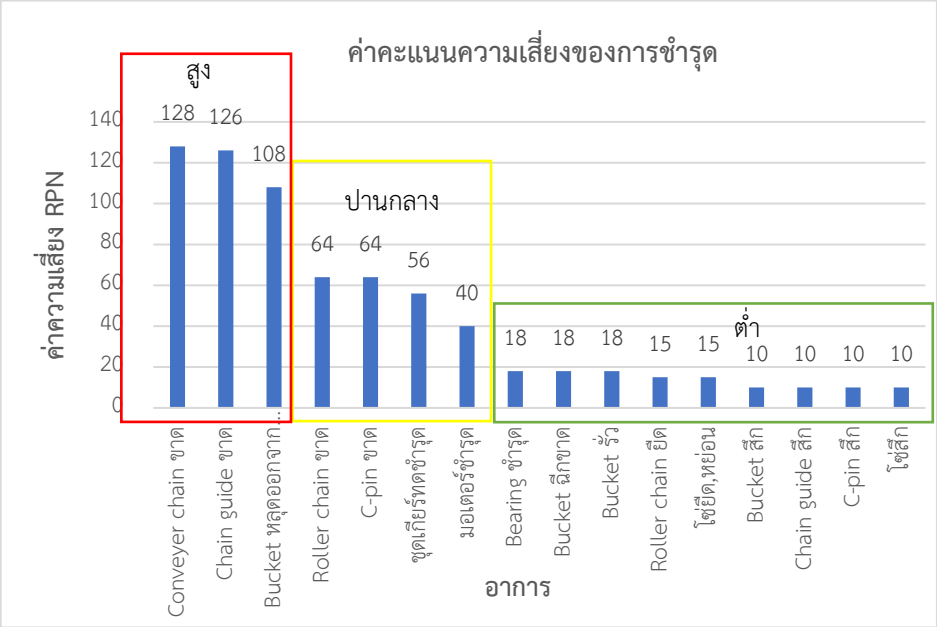
รูปที่ 4 แผนภูมิ Pareto แสดงต้นทุนการซ่อมแต่ละชิ้นส่วนของเครื่อง BE

7.2 ค่าความเสี่ยง (RPN : Risk Priority Number)

ค่าความเสี่ยง (RPN: Risk Priority Number) ของเครื่องจักร BE ก่อนทำการปรับปรุงจากการประเมินค่าความเสี่ยงดังแสดงในตารางที่ 7 ใช้เกณฑ์อ้างอิงตามตารางที่ 5 โดยสามารถแบ่งกลุ่มของอาการตามเกณฑ์ของค่าความเสี่ยงของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี พบว่า ชิ้นส่วนอยู่ในกลุ่มความเสี่ยงสูงได้แก่ Conveyor chain, Chain guide และ Bucket ตามรูปที่ 5 โดยจะเห็นได้ว่าชิ้นส่วน Conveyor chain, Chain guide และ Bucket นั้นมีความถี่ในการชำรุดมากกว่า 3 ปี แต่ถ้าหากเกิดการขาดระหว่างการดำเนินการผลิตจะมีระยะเวลาในการซ่อมที่ยาวนาน และ มีการตรวจจับที่ยากก่อนการชำรุดส่งผลให้อาการชำรุดของชิ้นส่วน Conveyor chain, Chain guide และ Bucket อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง

ตารางที่ 7 คะแนนความเสี่ยง RPN ของเครื่องจักร BE ก่อนทำการปรับปรุง

ลำดับ	ชิ้นส่วน	อาการ	คะแนนความเสี่ยง			
			S	O	D	RPN
1	Conveyor chain	C-pin ขาด	4	2	9	64
		C-pin สึก	1	2	6	12
		โซ่ขาด	8	2	9	144
		โซ่ยืด,หย่อน	1	3	7	21
		โซ่สึก	1	2	7	14
2	Bucket	Bucket สึก	1	2	7	14
		Bucket รั่ว	2	3	3	18
		Bucket ฉีกขาด	2	3	3	18
		Bucket หลุดออกจากโซ่ลำเลียง	6	2	9	108
3	Chain guide	Chain guide สึก	1	2	5	10
		Chain guide ขาด	7	2	9	126
4	Roller chain	Roller chain ยืด	1	3	3	9
		Roller chain ขาด	3	2	9	54
5	Bearing	Bearing ชำรุด	2	2	4	16
6	Drive unit	มอเตอร์ชำรุด	5	2	4	40
		ชุดเกียร์ทดชำรุด	7	2	4	56



รูปที่ 5 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความเสี่ยง RPN ของการชำรุดของเครื่องจักร BE ก่อนทำการปรับปรุง

7.3 การวิเคราะห์สาเหตุเพื่อลดต้นทุนการซ่อม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการซ่อมบำรุงพบว่าต้นทุนด้านการซ่อมบำรุงในส่วนของ Conveyor Chain, Chain Guide และ Bucket นั้นมีมูลค่าสูงเนื่องจากและจำเป็นต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนบ่อยเพื่อป้องกันการเกิด Break Down และ จากการประเมินความเสี่ยง FMEA ข้างต้น ซึ่งชิ้นส่วน Conveyor Chain, Chain Guide และ Bucket นั้นก็อยู่ในเกณฑ์ที่มีระดับความเสี่ยงสูงเช่นเดียวกัน ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงนำเครื่องมือ Why-Why Analysis มาวิเคราะห์พบว่าสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาคือวัสดุที่ใช้ในการขนถ่ายมีความสามารถในการกัดกร่อนสูง สภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง และ การทำสีไม่ได้คุณภาพ ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาคือการปรับปรุงกระบวนการออกแบบใหม่โดยใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนมาใช้แทนแทนวัสดุเดิมตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์หาปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหาของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี

ปัญหา	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	แนวทางการแก้ปัญหา
ต้นทุนด้านการซ่อมบำรุงของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงมีมูลค่าสูง	เปลี่ยนชิ้นส่วนเครื่องจักรตามรอบ pm บ่อยเพื่อป้องกันการเกิด Break Down	Conveyor Chain มีอายุการใช้งานสั้นกว่าปกติ (เมื่อเทียบกับสายการผลิตอื่น)	Conveyor Chain ถูกกัดกร่อนและขึ้นสนิม	วัสดุที่ใช้ในการขนถ่ายมีความสามารถในการกัดกร่อนสูง สภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง	เปลี่ยนมาใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนและมีราคาไม่สูง เปลี่ยนมาใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนและมีราคาไม่สูง
		Bucket มีอายุการใช้งานสั้นปกติ (เมื่อเทียบกับสายการผลิตอื่น)	Bucket ถูกกัดกร่อนและขึ้นสนิม	วัสดุที่ใช้ในการขนถ่ายมีความสามารถในการกัดกร่อนสูง สภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง	เปลี่ยนมาใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนและมีราคาไม่สูง เปลี่ยนมาใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนและมีราคาไม่สูง
	ใช้เวลาในการซ่อมสูง	Conveyor Chain และ Bucket รื้อถอนและติดตั้งยาก	Spare Part ของเครื่องจักรมีน้ำหนักสูง	วัสดุที่ใช้เป็นเหล็ก	ปรับเปลี่ยนมาใช้ชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักน้อยและทนทาน
			Bolt & Nut ที่จุดยึดต่างๆ โดนกัดกร่อนไม่สามารถขันออกได้	สภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง	ปรับปรุงกระบวนการออกแบบใหม่เพื่อง่ายต่อการซ่อม

7.4 การปรับปรุงเครื่องจักร BE หลังจากการวิเคราะห์ปัญหา

หลังจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธี Why-Why Analysis ของเครื่องจักร BE นำมาสู่การปรับปรุงเครื่องจักรโดยเปลี่ยนลักษณะการขนถ่ายวัสดุจาก Continuous Bucket Elevator มาเป็น Centrifugal Bucket Elevator ซึ่งมีความเร็วรอบของการขนถ่ายวัสดุที่มากกว่าเดิม ดังรูปที่ 6 เพื่อลดขนาดของ Casing และ Bucket ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยทำการเปลี่ยนวัสดุจาก Conveyor Chain มาเป็น Conveyor Belt ซึ่งทนต่อ

การกัดกร่อนและมีราคาต่ำกว่า Conveyor Chain และยังสามารถยกเลิกการใช้ Chain Guide เนื่องจากกระพ้อลำเลียงที่ใช้ Conveyor Belt นั้น ไม่จำเป็นต้องติดตั้ง Chain Guide นอกจากนี้การเปลี่ยนวัสดุของ Bucket จากเหล็กมาใช้ไนลอนซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไปและมีราคาถูก ส่วนการเปลี่ยนใช้ Fluid Coupling นั้นเพื่อลดแรงกระชากในการออกตัวของเครื่องจักร โดยรายละเอียดเครื่องจักร BE แสดงดังตารางที่ 9 และอายุการใช้งานของชิ้นส่วนใหม่ดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งอายุการใช้งานของ Conveyor Belt นั้นมีอายุการใช้งานที่น้อยกว่า Conveyor Chain อยู่ 1 ปี แต่มีราคาที่ต่ำกว่ามาก ตามตารางที่ 11

ตารางที่ 9 รายละเอียดของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุง

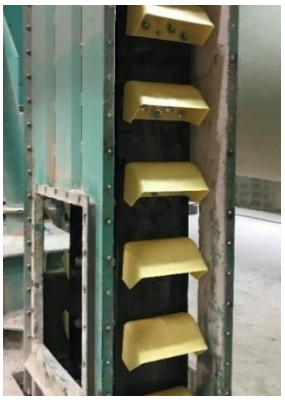
ลำดับ	รายการ	รายละเอียด
1	Machine	Belt Bucket Elevator
2	Type	Centrifugal Bucket Elevator
3	Material to be Fed	Fertilizer
		Bulk Density = 1 ton/m^3
		Moisture = 1.0~1.5%
		Angle of Repose = 35°~40°
		Temperature: AVG 60°C
		Grain Size = 5~50 mesh
4	Capacity	Normal 60 ton/h, Maximum 75 ton/h
5	Bucket	150 pcs
6	Center Distance	Vertical = 29.35 m, Horizontal = 0 m
7	Belt Speed	84.84 m/min
8	Drive Unit	Geared Motor: 15 kW 6P 50Hz
		45 RPM
9	Fluid Coupling	13 KRG
10	Pulley	Diameter 600 mm
11	Conveyor Belt	EP200 x 5PLY W500
12	Plummer Block	SN524
13	Bearing	Top: 22224 EAKE4 + H3124
		Bottom: UCT 324
14	Chain Guide	-
15	Casing	Plate SS41: 4.5 mm

ตารางที่ 10 อายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุง

ลำดับ	ชิ้นส่วน	อายุการใช้งาน
1	Casing	12 ปี
2	Pulley	6 ปี
3	Conveyor Belt	2 ปี
4	Fluid Coupling	6 ปี
5	Buckets	2 ปี
6	Bearing	6 ปี
7	Drive Unit	12 ปี

ตารางที่ 11 ราคาของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุง

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคา (บาท)
1	Conveyor Belt	61 m	1,148	100,000
2	Pulley	2 pcs	60,000	120,000
3	Fluid Coupling	1 set	55,000	55,000
4	Shaft Coupling	1 set	43,000	43,000
5	Bucket	150 pcs	200	30,000
6	Plumber Block + Bearing (Top Part)	2 sets	20,000	40,000
7	Bearing (Bottom Part)	2 sets	14,000	28,000



รูปที่ 6 เครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุง

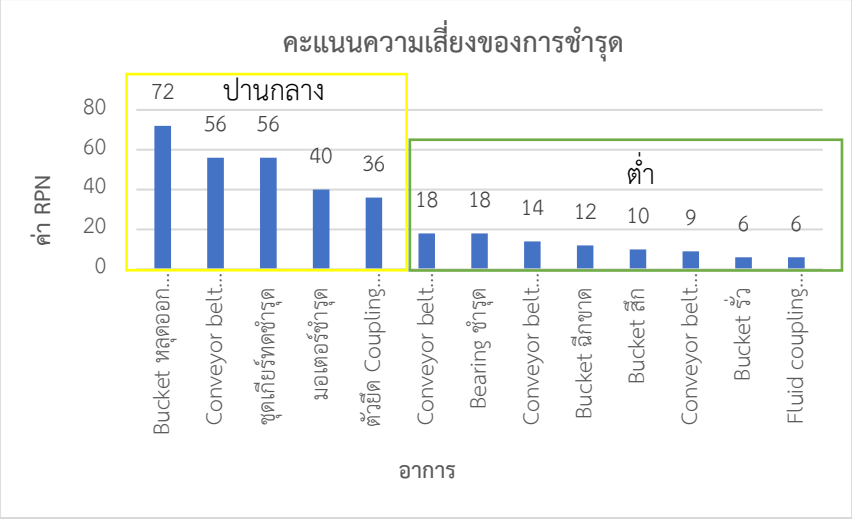
7.5 ค่าความเสี่ยง (RPN: Risk Priority Number) ของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุง

ค่าความเสี่ยงของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุงจากการประเมินค่าความเสี่ยงดังแสดงในตารางที่ 12

สามารถแบ่งกลุ่มของอาการตามเกณฑ์ของค่าความเสี่ยงของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีไม่พบอาการที่มีความเสี่ยงสูงเนื่องจากชิ้นส่วน Conveyor Belt นั้นหากเกิดการขาดระหว่างการผลิตนั้นจะใช้เวลาในการซ่อมที่น้อยกว่า Conveyor Chain และ Bucket ไนลอนนั้นหากเกิดการหลุดออกจากสายพานก็มีระยะเวลาในการซ่อมที่น้อยเช่นกัน

ตารางที่ 12 คะแนนความเสี่ยง RPN ของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุง

ลำดับ	ชิ้นส่วน	อาการ	คะแนนความเสี่ยง			
			S	O	D	RPN
1	Conveyor Belt	Conveyor Belt สึก	1	2	7	14
		Conveyor Belt หย่อน	1	3	3	9
		Conveyor Belt สไลด์	2	3	3	18
		สายพานขาด	7	1	9	56
2	Bucket	Bucket สึก	1	2	7	10
		Bucket รั่ว	2	1	3	6
		Bucket ฉีกขาด	2	2	3	12
		Bucket หลุดออกจากสายพาน	4	2	9	72
4	Coupling	Fluid Coupling น้ำมันรั่ว	2	1	3	6
		ตัวยึด Coupling ขาด	4	1	9	36
5	Bearing	Bearing ชำรุด	2	2	3	18
6	Drive Unit	มอเตอร์ชำรุด	5	2	4	40
		ชุดเกียร์ทดชำรุด	7	2	4	56



รูปที่ 7 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความเสี่ยง RPN ของการชำรุดของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุง

7.6 การเปรียบเทียบระยะเวลาต่อหน่วยในการเปลี่ยน Spare part ของเครื่องจักร BE

การเปรียบเทียบระยะเวลาต่อหน่วยในการเปลี่ยน Spare part ของเครื่องจักร BE ก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าระยะเวลาในการเปลี่ยน Conveyor part ลดลงจาก 160 Man-hours เหลือเพียง 80 Man-hours และระยะเวลาในการเปลี่ยน Bucket ลดลงจาก 0.5 Man-hours เหลือเพียง 0.167 Man-hours ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ระยะเวลาต่อหน่วยในการเปลี่ยน Spare part ของเครื่องจักร BE ก่อนและหลังการปรับปรุง

เครื่องจักร BE	**ระยะเวลาต่อหน่วย**			
	Conveyor chain/belt		**Bucket**	
	M x H	**Man-hours**	**M x H**	**Man-hours**
ก่อนปรับปรุง	5x32	160	2x0.25	0.5
หลังปรับปรุง	5x16	80	2x0.083	0.167

7.7 การเปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE

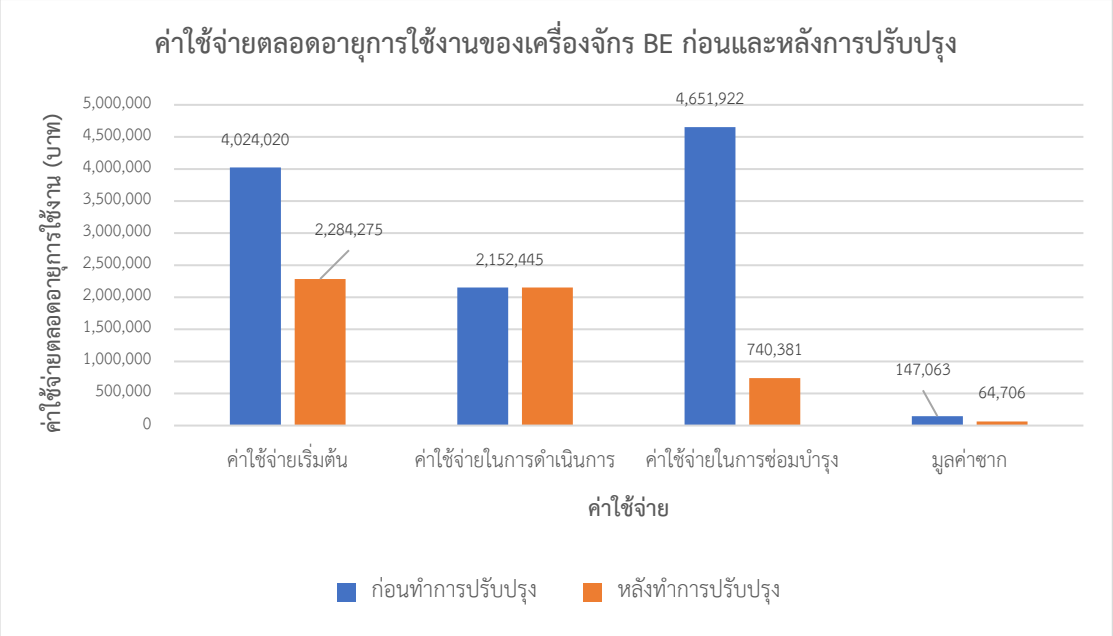
การเปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE ก่อนและหลังทำการปรับปรุงพบว่า

- ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นลดลงจาก 4,024,020 บาท เหลือเพียง 2,284,275 บาท เนื่องจากชิ้นส่วนภายในเครื่องจักร BE หลังการปรับปรุงนั้นมีราคาต่ำกว่าก่อนปรับปรุงมาก
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมีค่าเท่าเดิมคือ 2,152,445 บาทเนื่องจากมีการการใช้ Drive unit ที่มีกำลังเท่าเดิมและขนถ่ายวัสดุด้วย Capacity เท่าเดิม
- ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลดลงจาก 4,651,922 บาท เหลือเพียง 740,381 เนื่องจากชิ้นส่วนที่ทำการเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงนั้นมีราคาน้อยลง และ ใช้เวลาในการซ่อมน้อยลง
- มูลค่าซากของเครื่องจักร BE นั้นมีค่าน้อยลง เพราะ Conveyor chain และ Bucket ก่อนการปรับปรุงนั้นสามารถขายในราคาของเหล็กได้

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานลดลงจาก 9,336,313 บาท เหลือเพียง 4,961,279 บาท ดังแสดงในตารางที่ 14 และรูปที่ 8

ตารางที่ 14 ต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE ก่อนและหลังการปรับปรุง (มูลค่าปัจจุบัน)

เครื่องจักร BE	**ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (บาท)**	**ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (บาท)**	**ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (บาท)**	**มูลค่าซาก (บาท)**	**ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (บาท)**
ก่อนทำการปรับปรุง	4,024,020	2,152,445	4,651,922	147,063	9,336,313
หลังทำการปรับปรุง	2,284,275	2,152,445	740,381	64,706	4,961,279



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักร BE ก่อนและหลังทำการปรับปรุง

7.8 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทน (MC/RAV)

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทนของเครื่องจักร BE ก่อนและหลังการปรับปรุงนั้นมีค่าที่ลดลงเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทน (MC/RAV) ของเครื่องจักร BE

เครื่องจักร BE	ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)	MC/RAV (%)
ก่อนทำการปรับปรุง	4,024,020	4,651,922	387,660	9.63
หลังทำการปรับปรุง	2,284,275	740,381	61,698	2.70

7.9 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE

การวิเคราะห์ความไวต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุงโดยตั้งสมมติฐานให้ ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น ค่าชิ้นส่วนของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียง ค่าแรง มูลค่าซาก แนะ อัตราเงินลด มีการเปลี่ยนแปลง จำนวน 6 สถานการณ์ และได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE หลังปรับปรุงในสถานการณ์ต่างๆ กับต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE หลังปรับปรุง ได้ค่าผลต่างดังแสดงในตารางที่ 16 จะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าต้นทุนต่างๆ ของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุงจะเพิ่มขึ้นต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุงก็ยังมีต้นทุนวงจรที่ชีวิตที่ต่ำกว่าต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงก่อนทำการปรับปรุง

ตารางที่ 16 สถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนวงจรชีวิต

สถานการณ์	ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น	ค่าชิ้นส่วน	ค่าแรง	มูลค่าซาก	อัตราเงินลด	ต้นทุนวงจรชีวิต (บาท)	ผลต่าง (บาท)
1	+30%	-	-	-	-	5,646,561	685,282
2	-	+30%	-	-	-	5,123,824	162,545
3	-	-	+30%	-	-	4,968,811	7,532
4	-	-	-	-50%	-	4,972,902	11,623
5	-	-	-	-	-30%	5,400,233	438,954
6	+30%	+30%	+30%	-50%	-30%	6,297,472	1,336,193

8. สรุปผลการวิจัยและอภิปราย

จากการศึกษาข้อมูลและประวัติการซ่อมของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงภายในโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม 2567 และได้นำเครื่องมือคุณภาพ คือ แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เพื่อหาปริมาณของต้นทุนการซ่อมของกระพ้อลำเลียงในแต่ละชิ้นส่วนพบว่าชิ้นส่วนที่มีต้นทุนการซ่อมสูงตามหลัก 80:20 ได้แก่ Conveyor Chain จำนวน 75%, Bucket จำนวน 11% จากนั้นได้วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) พบว่า ชิ้นส่วนที่มีค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) อยู่ในเกณฑ์ที่สูงคือ Conveyor Chain, Bucket และ Chain Guide จำนวน 3 อาการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะออกแบบและปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนในการซ่อมของชิ้นส่วน Conveyor Chain, Bucket และ Chain Guide ก่อนเป็นอันดับแรก

ในการแก้ปัญหานั้นผู้วิจัยได้ใช้หลักการ Why-Why Analysis มาใช้เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าสาเหตุหลักของปัญหาคือ วัสดุที่ใช้ในการขนถ่ายมีความสามารถในการกัดกร่อนสูง และ สภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานของชิ้นส่วนดังกล่าวมีอายุการใช้งานสั้นกว่าปกติ และ ใช้เวลาในการเปลี่ยนชิ้นส่วนสูง โดยการแก้ไขปัญหาคือ การออกแบบปรับปรุงเครื่องจักรโดยการนำวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาใช้แทนชิ้นส่วนเดิม และจัดทำมาตรฐานการทำสีใหม่สำหรับชิ้นส่วนที่ไม่สามารถเปลี่ยนมาใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ จากการออกแบบปรับปรุงเครื่องจักร BE โดยเปลี่ยนจากการใช้ Conveyor Belt ในการลำเลียงวัสดุแทนการใช้ Conveyor Chain และ เปลี่ยนวัสดุของ Bucket โดยการใช้ Bucket ไนลอน แทน Bucket เหล็ก พบว่าสามารถลดค่าความเสี่ยงจากเดิมที่อยู่ในเกณฑ์สูง จำนวน 3 อาการ เกณฑ์ปานกลางจำนวน 4 อาการ และ เกณฑ์ต่ำจำนวน 9 อาการ มาเป็นอยู่ในเกณฑ์ปานกลางจำนวน 6 อาการ และ เกณฑ์ต่ำจำนวน 7 อาการ หลังทำการปรับปรุง และยังสามารถลดเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยน Spare Part ในชิ้นส่วน Conveyor Chain/belt ใช้เวลาลดลง 50% และ Bucket ใช้เวลาลดลง 66.67%

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบเครื่องจักร BE ก่อนและหลังปรับปรุง

เครื่องจักร BE	จำนวนอาการตามเกณฑ์ค่าความเสี่ยง (RPN)			ระยะเวลาในการเปลี่ยนชิ้นส่วน (Man-hours)		ต้นทุนการซ่อมตลอดอายุการใช้งาน (บาท)	ต้นทุนวงจรชีวิต (บาท)	MC/RAV
	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	Conveyor chain/belt	Bucket			
ก่อนปรับปรุง	3	4	9	160	0.5	4,651,922	9,336,313	9.63
หลังปรับปรุง	-	6	7	80	0.167	740,381	4,961,279	2.70

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE ก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่าค่าใช้จ่ายเริ่มต้นลดลงจาก 4,024,020 บาท เป็น 2,284,275 บาท คิดเป็น 43.24% ของค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่สามารถลดได้ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตลอดอายุการใช้งานมีจำนวนเท่ากันคือ 2,152,445 บาท เนื่องจากมีการใช้ Drive Unit เท่ากันและมี Capacity เท่าเดิม ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งานลงจาก 4,651,922 บาท เหลือเพียง 740,381 บาท คิดเป็น 84.08% ของต้นทุนการซ่อมที่สามารถลดได้ แต่มูลค่าซากนั้นมีจำนวนลดลงจาก 147,063 บาท เหลือเพียง 64,706 บาท คิดเป็น 44% ของมูลค่าซากก่อนทำการปรับปรุง และ ต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE ลดลงจาก 9,336,313 บาท เฉลี่ย 778,026 บาทต่อปี เป็น 4,961,279 บาท เฉลี่ย 413,440 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 53.14% ของต้นทุนวงจรชีวิตเดิม และยังมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทนลดลงจาก 9.63% เหลือเพียง 2.7% ซึ่งอยู่ในค่ามาตรฐานสากลของเครื่องจักรภายในอุตสาหกรรมเคมี นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE พบว่า ถึงแม้ต้นทุนต่างๆ ของเครื่องจักร BE หลังทำการปรับปรุงจะปรับสูงขึ้นก็ยังมีจำนวนที่น้อยกว่าต้นทุนวงจรชีวิตของเครื่องจักร BE ก่อนทำการปรับปรุง

จากการวิจัยดังกล่าว ได้มีการนำข้อมูลของเครื่องจักรมาวิเคราะห์โดยใช้ 7 QC Tools, Why-Why Analysis และ วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาอย่างครอบคลุม และ ดำเนินการแก้ไขปัญหาตั้งแต่กระบวนการออกแบบเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและการซ่อมบำรุง และประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความไวเพื่อประเมินผลอย่างครอบคลุม ต่างจากงานวิจัยก่อนๆ ที่เป็นการแก้ปัญหาเฉพาะจุด โดยผลของการปรับปรุงเครื่องจักร BE นั้น อยู่ในระดับที่น่าพอใจเนื่องจากต้นทุนวงจรชีวิตและค่าความเสี่ยงของเครื่อง BE หลังปรับปรุงลดลงแล้ว และ เครื่องจักร BE ยังสามารถใช้งานในสายการผลิตได้ด้วยเงื่อนไขการผลิตเดิม ไม่ส่งผลกระทบต่อการผลิตและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทนลดลงจาก 9.63% เหลือเพียง 2.7% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของมาตรฐานสากลของเครื่องจักรภายในอุตสาหกรรมเคมี

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษา

- เครื่องจักรกระพ้อลำเลียงที่ใช้ Conveyor Belt นั้นไม่เหมาะกับวัสดุขนถ่ายที่มีความชื้นสูงเนื่องจากจะทำให้เกิดการ Slip ของ Conveyor Belt ทำให้เครื่องจักรกระพ้อลำเลียงทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพการใช้วัสดุซึ่งสามารถแก้ไขโดยการลดความชื้นของวัสดุขนถ่ายก่อนการขนถ่ายโดยเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงที่ใช้ Conveyor Belt

- การวางแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรตามรอบเวลาเพื่อป้องกันการเกิดการชำรุดนั้นควรกำหนดให้มีความเหมาะสมซึ่งถ้าหากเปลี่ยนชิ้นส่วนถี่เกินไปอาจจะทำให้ต้นทุนการซ่อมโดยรวมสูงขึ้นได้ซึ่งการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเช่นโปรแกรม CMMS เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผล ทำให้สามารถกำหนดอายุการใช้งานชิ้นส่วนของเครื่องจักรให้มีความแม่นยำมากขึ้น

9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับทำการวิจัยครั้งต่อไป

- การศึกษาเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงนั้นมีส่วนในการลดต้นทุนวงจรชีวิตเช่นเดียวกันเนื่องจากต้นทุนด้านพลังงานของเครื่องจักรกระพ้อลำเลียงนั้นคิดเป็น 43% ของต้นทุนชีวิตหลังจากการปรับปรุง

- เครื่องจักรกระพ้อลำเลียงหลังปรับปรุงยังมีส่วน Casing ที่ยังใช้วัสดุเหล็กควรศึกษาต่อยอดเพื่อหาวัสดุทนแทนเพื่อลดต้นทุนการซ่อมในชิ้นส่วนนี้ เช่นการใช้วัสดุ SUS304 แทนการใช้วัสดุเหล็ก แต่ต้องคำนึงถึงต้นทุนโดยรวมด้วยเพราะวัสดุ SUS304 นั้นมีราคาสูงกว่าเหล็กมาก

- การศึกษาเทคโนโลยีการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ด้วย AI (AI Predictive Maintenance) เพื่อกำหนดช่วงเวลาในการบำรุงรักษาได้อย่างแม่นยำ เพื่อให้สามารถลดต้นทุนจากการบำรุงรักษาด้วยความถี่ของการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมได้

10. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดีต้องขอบคุณฝ่ายวิศวกรรมเครื่องกล และ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ข้อมูลและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

11. เอกสารอ้างอิง

[1] นรินทร์ ตันไพบูลย์, "*แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2566-2568 อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี*," [ออนไลน์]. Available: https: / / www. krungsri. com/ th/ research/ industry/ industry- outlook/ chemicals/ chemical-fertilizers/io/io-chemical-fertilizers-2023-2025. (เข้าถึงเมื่อ: 13 ตุลาคม 2567).

[2] เรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร, จุฑาวรรณ อ้นสุวรรณ และ ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์, "*เครื่องมือควบคุม คุณภาพ 7 ชนิด 7 Quality Control Tools*," [ออนไลน์]. Available: https: / / postgrads. mfu. ac. th/ wp-content/uploads/2022/12/6251209260.pdf. (เข้าถึงเมื่อ: 24 พฤศจิกายน 2567).

[3] โอกุระ ฮิโตชิ, *Why-Why Analysis เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่นเพื่อปรับปรุงสถานประกอบการ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

[4] ปิยวัจน์ บุญเยี่ยม, "*การวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตของรถยนต์ประหยัดพลังงานมาตรฐานสากลในประเทศไทย*," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, กรุงเทพมหานคร, 2562.

[5] สุพัฒน์ วงศ์จิรัฐติกาล และ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, "การปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของโรงงานผลิตเพลารถยนต์ด้วยเทคนิค การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 3, หน้า 643-653, กันยายน-ธันวาคม, 2556.

[6] R. Vongvit, "Development of maintenance systems by Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) techniques: a case study of concrete products industry," *Journal of Engineering and Innovation*, vol. 16, no. 3, pp. 59-69, July-September. 2023. [Online].

https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eng_ubu/article/view/246815/169271 (Accessed: October 12, 2024).

[7] มนตรี เจนชัย, *"การลดอัตราการชำรุดของเครื่องอัดอากาศ กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่มในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา,"* สารนิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, กรุงเทพมหานคร, 2565.

[8] บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์ และ พิพัฒน์ เลิศโกวิทย์, "การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อทำการลดต้นทุน," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, หน้า 44-59, มกราคม-มิถุนายน, 2564.

[9] W. Klinbun, R. Yadseang, N. Suchaisong and J. Klinbun, " Design of Sandblasting Machine to Reduce Waste in the Production of Motorcycle Exhaust Muffler," *The Journal of Manufacturing & Management Technology*, vol. 3, no. 2, July-December. 2024. [Online]. Available: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jMMT/article/view/258961/174043 (Accessed: January 24, 2025).

[10] P. Phonsaeng, A. Harnpicharnchai, P. Baowan, P. Wintachai and P. Jiandon, "The Improving and Defect Prevention in Production Process of Car Window Trim Seal Parts Case study: Company for Plastic Components," *The Journal of Manufacturing & Management Technology,* vol. 3, no. 2, July-December. 2024. [Online]. Available: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jMMT/article/view/260044/174042 (Accessed: January 28, 2025).

[11] ภาสิทธิ์ เติมนุวงศ์, *"การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ไฮบริดไฟฟ้า และ แก๊สโซลีน ในประเทศไทย,"* สารนิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, กรุงเทพมหานคร, 2565.

[12] ปรีดา จันทวงษ์, "การศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างหลังคาทั่วไปกับปล่องหลังคาโซล่าร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 1, หน้า 104-114, มกราคม-เมษายน, 2556.

[13] สาวิตรี ยุพเยาว์, "*การศึกษาแนวทางการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตน้ำมะนาวบรรจุขวดพลาสติกใส กรณีศึกษา บริษัท บ้านมะนาว จำกัด,*" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, 2564.

[14] ธีร์ เชาวนนทปัญญา, "การกัดกร่อนในบรรยากาศของเหล็กกล้า: ทบทวนวรรณกรรมและกรณีศึกษา," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, ปีที่ 19, ฉบับที่ 2, หน้า 178-186, พฤษภาคม-สิงหาคม, 2560.

[15] Society for Maintenance and Reliability Professionals, *SMRP Best Practices Metric for Maintenance and Reliability*, 6th ed. Georgia: SMRP Press, 2020, 49-50.

[16] Ron Moore, "*Maintenance Costs as a Percent of Asset Replacement Value: A Useful Measure*?." [Online]. Available:https://assetmanagementprofessionals.org/blogs/santiago-tamayo/2024/06/21/maintenance-costs-as-a-percent-of-asset-replacemen. (Accessed: January 10, 2025).