

การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ กรณีศึกษา: สถานประกอบการซ่อมแซมทองรูปพรรณและเครื่องประดับแห่งหนึ่ง

ฟาติมะห์ เยี่ยมนิคม^{1,2*}

¹วิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร

²คณะสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร

* Corresponding author: fatimah.ynk@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ของสถานประกอบการซ่อมแซมทองรูปพรรณและเครื่องประดับแห่งหนึ่ง โดยศึกษากระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) และควบคุมปริมาณสารเคมีในกระบวนการ ได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3), สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) และกรดไนตริก (HNO_3) พร้อมทั้งประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ มุ่งลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและเพิ่มความยั่งยืนในอุตสาหกรรม ครอบคลุมการพัฒนาการจัดการของเสียอย่างเหมาะสม การลดสารเคมีแต่ยังคงคุณภาพสีของชิ้นงานตามมาตรฐานของสถานประกอบการ ผลการศึกษาในช่วง 3 เดือนภายหลังการปรับปรุงพบว่า การลดปริมาณสารเคมีลง 20% จากกระบวนการเดิมนั้นยังคงรักษาคุณภาพสีของชิ้นงานให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสถานประกอบการ ส่งผลให้แนวโน้มการใช้สารเคมีลดลงเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีก่อนหน้า และพบแนวโน้มการลดลงของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดในการวิจัยจึงไม่สามารถระบุปริมาณที่ลดลงได้อย่างแน่ชัด การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศครอบคลุมองค์ประกอบหลัก ได้แก่ การบริหารทรัพยากรบุคคล การปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงาน และการเลือกนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ สามารถลดการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ถึง 18.942% ส่งผลให้กระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณมีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าที่สูงขึ้น แม้ว่าค่า Eco-efficiency จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจาก 1.773 ไปยัง 1.783 $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ แต่แสดงถึงแนวโน้มที่ดีต่อการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการอุตสาหกรรมสีเขียว งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางปฏิบัติสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน และสนับสนุนข้อมูลสำหรับการกำหนดนโยบายการดำเนินธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เสริมสร้างศักยภาพการแข่งขันสอดคล้องกับมาตรฐานสิ่งแวดล้อมทั้งในประเทศและระดับสากล

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ / ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม / กระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ / การจัดการของเสีย / การลดสารเคมี

Eco-Efficiency Assessment: A Case Study of a Gold Jewelry and Ornament Repair Establishment

Fatimah Yaimnikom^{1,2*}

¹*College of Creative Industry, Srinakharinwirot University, Thailand.*

²*Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Thailand.*

* Corresponding author: fatimah.ynk@g.swu.ac.th

Abstract

This article presents an evaluation of the eco-efficiency of a gold and jewelry refurbishment facility by analyzing the refurbishment process and controlling the use of key chemicals, including potassium nitrate (KNO_3), alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) and nitric acid (HNO_3). The research assesses both environmental and economic impacts, focusing on reducing environmental effects and promoting sustainability in the industry. It also emphasizes proper waste management and chemical reduction while ensuring that the color quality of refurbished products meets the establishment's standards. The results from a three-month period after implementing improvements showed that reducing chemical quantities by 20% from the original process maintained the color quality of workpieces within the establishment's standard criteria. This resulted in a downward trend in chemical usage compared to the previous year's average and a decreasing trend in waste generation. However, due to research limitations, the exact reduction amount could not be precisely determined. Key elements of the eco-efficiency assessment included human resource management, process modification, and the use of suitable innovations or technology. These adjustments decreased Carbon Footprint by 18.942%, resulting in a greater value-added coefficient that indicates increased economic worth of the gold jewelry repair process. Although the eco-efficiency value changed only slightly from 1.773 to 1.783 $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$, it indicates a positive trend toward efficient resource management, aligning with green industry principles. This research presents practical guidelines for environmental management in industries with similar production processes and provides information to support environmentally friendly business policy formulation. It enhances competitive potential in line with both domestic and international environmental standards.

Keywords: Eco-Efficiency / Environmental Management System / Gold Jewelry Refurbishment / Waste Management / Chemical Reduction

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับในประเทศไทยส่วนใหญ่ล้วนเป็นธุรกิจขนาดย่อม (SMEs) ดำเนินการธุรกิจตั้งแต่ในกิจการกลุ่มเครื่องประดับจากการใช้วัสดุที่มีค่า เช่น ทองคำ เงิน แพลตินัม เป็นต้น ไปจนถึงกลุ่มเครื่องประดับจากการใช้วัสดุที่ไม่ได้มาจากธรรมชาติ [1] แม้ว่าภาคอุตสาหกรรมนี้จะมีการพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีการผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่ยังพบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เช่น การศึกษาในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) มีการใช้สารเคมีหลายประเภทและอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนโดยรอบ การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์กระบวนการภายในสถานประกอบการที่ดำเนินธุรกิจค้าปลีกทองรูปพรรณ เพื่อตรวจสอบและประเมินระดับมลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ โดยใช้แนวคิดด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมทองคำและเครื่องประดับในกลุ่มธุรกิจขนาดย่อม (SMEs) ในปัจจุบันยังขาดแนวทางที่ชัดเจนในการจัดการมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าว ส่งผลให้เกิดความท้าทายในการควบคุมและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปัญหาจากการร้องเรียนจากชุมชนบริเวณใกล้เคียง

ด้วยกิจการในกลุ่มอุตสาหกรรมค้าปลีกทองรูปพรรณและเครื่องประดับ มีแนวทางการให้บริการหลังการขาย เช่น การทำความสะอาดและซ่อมแซมสินค้าโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย ตลอดจนการจ้างงาน ซึ่งถือเป็นกลยุทธ์ทางการตลาดที่ช่วยสร้างความแตกต่างและเสริมสร้างความได้เปรียบเชิงการแข่งขัน เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าในอุตสาหกรรมค้าปลีกทองรูปพรรณที่มีการแข่งขันสูง โดยลักษณะการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) มีกระบวนการตัดแต่งและทำความสะอาดให้สวยงามตามมาตรฐาน [2] เป็นผลทำให้มีการใช้ทรัพยากร สารเคมี และวัสดุอุปกรณ์สิ้นเปลือง ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่ การจัดการน้ำทิ้งและน้ำเสียจากกระบวนการ การจัดการคุณภาพอากาศ การจัดการสารเคมี และการจัดการของเสียทั้งที่เป็นอันตรายและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม หรือแม้แต่การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) กระบวนการผลิตสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก การประเมินมลพิษสิ่งแวดล้อมจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการจัดหาแนวทางการลดและป้องกันมลพิษอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการพัฒนากระบวนการทำงาน การสร้างนวัตกรรมด้านการจัดการ และการกำหนดรูปแบบการดำเนินงานที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เหลือน้อยที่สุด [3] โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้จัดทำคู่มือระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System : EMS) เพื่อเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการแข่งขันด้านการค้าในระดับประเทศ การนำระบบการปฏิบัติงานเหล่านี้ไปปรับใช้ในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม สถานประกอบการ หรือแม้แต่องค์กรเล็กๆ ทั่วป็นั้นก็เพื่อสร้างความได้เปรียบในเรื่องการบริหารจัดการในการผลิต ส่งออก อันเป็นการสร้างโอกาสในด้านดุลการค้า

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการดำเนินงานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและได้รับการรับรองตามมาตรฐานสากล (ISO 14001) ส่วนใหญ่เป็นโรงงานที่มีขนาดใหญ่ ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมจำนวนมากที่ยังไม่มีการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบเนื่องด้วยข้อจำกัดทั้งในเรื่องของความรู้เกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อม บุคลากร และปัจจัยด้านเงินทุน [4] การสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมของประเทศเพื่อมุ่งสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาที่เป็นรูปธรรมให้เห็นผลที่ชัดเจนและจับต้องได้ แนวคิดหลักที่สำคัญในหลายโครงการที่จัดขึ้นในประเทศ คือ การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) และการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นแรงขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมที่เกิดความสนใจในการมีเจตนาดำเนินธุรกิจให้เป็นมิตรต่อชุมชน สังคม สิ่งแวดล้อม รวมถึงการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน นำไปสู่การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมไปจนถึงการเกิดของเสียและมลพิษ แนวทางพัฒนาเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบ

สิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิต และในด้านการจัดการของเสียและมลพิษที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรม เพื่อหาตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการเพิ่มความสามารถลดใช้สารเคมีและทรัพยากรอื่นๆ [5, 6] สร้างสมดุลความก้าวหน้าในด้านเศรษฐกิจและลดการใช้ทรัพยากรซึ่งมีความสำคัญในการเพิ่มมูลค่าโดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง [7] อย่างไรก็ตามยังพบว่ากระบวนการซ่อมแซมของรูปพรรณ (Refurbished) ยังขาดการศึกษาที่ชัดเจนด้านการจัดการสารเคมี การจัดการของเสียที่ปนเปื้อนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในระดับสถานประกอบการขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ข้อมูลจากการวิจัยนี้ก็เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการสร้างสมดุลระหว่างความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและปกป้องรักษาระบบนิเวศไปพร้อมๆ กัน เพิ่มภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กร ได้รับการยอมรับจากลูกค้า สามารถลดความขัดแย้งต่อผู้บริโภคและชุมชนรอบโรงงาน ประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาวเนื่องจากสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตและใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า มีผลต่อการประหยัดต้นทุนการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมบริเวณโรงงานและรอบโรงงาน [8]

จากประเด็นข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบจากกระบวนการซ่อมแซมของรูปพรรณ โดยให้ความสำคัญกับการลดใช้สารเคมีเพื่อลดปริมาณของเสีย และลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นไอระเหย ฟุ้ง จากกระบวนการใช้สารเคมี น้ำเสียจากกระบวนการที่ไม่ได้รับการบำบัดก่อนปล่อยสู่สาธารณะ และผลกระทบที่ได้รับการร้องเรียนจากชุมชนบริเวณใกล้เคียง เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะถูกนำมาประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของสถานประกอบการทองคำและเครื่องประดับ เพื่อพัฒนาแนวทางการดำเนินธุรกิจที่สมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการซ่อมแซมของรูปพรรณ (Refurbished) ในสถานประกอบการ และควบคุมปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรท หรือดินประสิว (Potassium nitrate: KNO_3) สารส้ม (Aluminum Ammonium Sulfate: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) และกรดไนตริก (HNO_3)
2. ประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ของสถานประกอบการซ่อมแซมของรูปพรรณและเครื่องประดับ

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ผลจากกระบวนการทำงานของแผนกซ่อมแซมของรูปพรรณในสถานประกอบการแห่งหนึ่งที่ประกอบธุรกิจค้าปลีกของรูปพรรณ โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. การศึกษาปริมาณและชนิดของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการซ่อมแซมของรูปพรรณ ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการใช้สารเคมีในปริมาณมากที่สุดภายในสถานประกอบการ และมีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ดำเนินการ โดยขอบเขตการศึกษาจะไม่รวมสารเคมีในกระบวนการอื่นๆ เนื่องจากเป็นความลับทางการค้าของสถานประกอบการ สารเคมีที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่

- โพแทสเซียมไนเตรท หรือดินประสิว (Potassium nitrate: KNO_3)
- สารส้ม (Aluminum Ammonium Sulfate: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$)
- กรดไนตริก (HNO_3)

2. การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ได้แก่ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้สารเคมีในกระบวนการ

4. วิธีการศึกษา

การศึกษาในงานวิจัยนี้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลทั่วไป และข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการอุตสาหกรรมซ่อมแซมทองรูปพรรณและเครื่องประดับแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยนำแนวคิดอุตสาหกรรมสีเขียว (Green Industry: GI) มาปรับใช้ให้เกิดการพัฒนากระบวนการที่เหมาะสม มีเป้าหมายเพื่อลดอัตราการใช้สารเคมี และของเสียลดลงในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2567 จนถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ข้อมูลดังกล่าวจะถูกประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency Analysis) รายละเอียดและขั้นตอนการวิจัยดำเนินการรอบการวิจัย ดังรูปที่ 1

4.1 การออกแบบการวิจัยและการรวบรวมข้อมูล

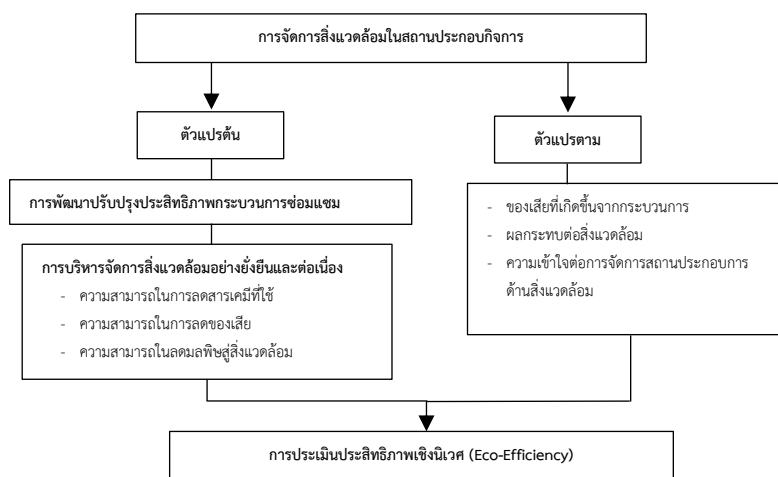
ขั้นตอนที่ 1 ดำเนินการศึกษาระบบการผลิตในแต่ละขั้นตอน โดยเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสังเกตและสอบถามข้อมูลจากการทำงานของพนักงานในพื้นที่และรวบรวมเอกสารการจัดการสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปฏิบัติงาน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในส่วนของ การต้ม ล้าง ทำสี สีน้าประเภทองรูปพรรณเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ปัญหาสิ่งแวดล้อม ตามแนวคิดในหลักวิชาการค้นคว้าข้อกำหนด กฎหมาย รวมถึงมาตรฐานที่บังคับใช้กับกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ทบทวนความรู้ความเข้าใจทั้งในด้านการวิเคราะห์ ด้านการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเอกสารทางวิชาการ บทความ คู่มือ รวมทั้งตัวอย่างหรือกรณีศึกษาการจัดการสิ่งแวดล้อมที่สอดคล้องเพื่อให้สถานประกอบการ และพนักงาน ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทดลองโดยคำนวณการใช้สารเคมีในอัตราที่ลดลงร้อยละ 10 ร้อยละ 15 ร้อยละ 20 ร้อยละ 25 ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 จากปริมาณสารเคมีเดิมที่ใช้ โดยเริ่มการทดลองเบื้องต้น (Preliminary Experiment) การทดลองเชิงปฏิบัติ (Implementation Experiment) และการปรับปรุงกระบวนการ (Process Optimization) ตามลำดับ ซึ่งอ้างอิงข้อมูลในแต่ละการทดลองจากการตรวจวัดคุณภาพของทองรูปพรรณตามมาตรฐานของบริษัท

ขั้นตอนที่ 5 รวบรวมและสรุปผลการวิจัยเพื่อประเมินความสามารถของการพัฒนากระบวนการในการลดอัตราการใช้สารเคมี ลดการเกิดของเสีย รวมถึงลดมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม โดยประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency)



รูปที่ 1 กรอบแนวทางการศึกษาวิจัย

4.2 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าจากการลดใช้สารเคมี

การวิเคราะห์ต้นทุนค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าจากการลดสารเคมี (V_c) ใช้ในการวิเคราะห์มูลค่าเพิ่มที่เกิดขึ้นจากการลดต้นทุนเพิ่มผลประโยชน์ทางธุรกิจ [9] เพื่อเพิ่มประโยชน์และความยั่งยืนในการดำเนินกิจการ โดยวิเคราะห์ค่าก่อนและหลังการปรับลดสารเคมีในกระบวนการ ตลอดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ดังสมการที่ 1, 2 นิยามสมการดังนี้

$$(1) \quad \text{ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าก่อนการลดสารเคมี (V_a)} = \frac{\text{มูลค่าของรูปพรรณ (บาท)} - \text{ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการเดิม (บาท)}}{\text{ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการเดิม (บาท)}}$$

$$(2) \quad \text{ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าหลังการลดสารเคมี (V_b)} = \frac{\text{มูลค่าของรูปพรรณ (บาท)} - \text{ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการใหม่ (บาท)}}{\text{ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการใหม่ (บาท)}}$$

(V_a) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าก่อนปรับปรุงกระบวนการ

(V_b) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าหลังปรับปรุงกระบวนการ

มูลค่าของรูปพรรณ คือ ราคาขายออกของรูปพรรณถ้วยเฉลี่ย 3 เดือนต่อปริมาณของทั้งหมดในกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลจากสมาคมค้าทองคำ [10]

ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการเดิม คือ ราคาต้นทุนของสารเคมีที่ใช้เปรียบเทียบจากปริมาณการใช้ในกระบวนการเดิม

ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการใหม่ คือ ราคาต้นทุนของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการใหม่

4.3 การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency)

การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของสถานประกอบการ สำหรับงานวิจัยนี้ อ้างอิงจากวิธีการประเมินจากการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของ The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2000) [11] การเลือกตัวชี้วัดในการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของภาคธุรกิจนั้นๆ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในกระบวนการซ่อมแซมของรูปพรรณ (Refurbished) ใช้ตัวชี้วัดในแง่ของต้นทุนจากปริมาณการใช้สารเคมีที่ลดลง สอดคล้องกับปริมาณการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งจะช่วยให้เห็นถึงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม แสดงตามสมการดังนี้

$$\text{Eco-efficiency (ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ)} = \frac{\text{Product or service value (รายได้หรือมูลค่าเพิ่ม)}}{\text{Environmental impact (ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม)}}$$

ในการศึกษาครั้งนี้ประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจตามช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล โดยเปรียบเทียบการใช้สารเคมีกับการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ ในปริมาณของรูปพรรณที่เท่ากัน มีการปรับใช้สมการจาก [7] ในการคำนวณ โดยค่า EE ที่สูงขึ้นแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากการปรับปรุงกระบวนการ แสดงตามสมการที่ 3 ดังนี้

$$(3) \quad EE = \frac{C_{(total)}}{\sum EI}$$

EE คือ ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากการลดสารเคมีในกระบวนการ ($\text{kgCO}_2\text{e/กิโลกรัม}$)

$C_{(total)}$ คือ ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการที่ทำการศึกษาทั้งหมด (กิโลกรัม)

$\sum EI$ คือ ผลรวมของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้สารเคมีในกระบวนการ ($\text{kgCO}_2\text{e/กิโลกรัม}$)

และนำมาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงจากปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สู่สิ่งแวดล้อมที่ลดลงจากการลดสารเคมีในกระบวนการทำให้ประสิทธิภาพด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมดีขึ้นทำให้ค่า %CO₂ Reduction สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกระบวนการเดิม แสดงตามสมการที่ 4

$$(4) \quad \%CO_2 \text{ Reduction} = \frac{\Sigma EI_a - \Sigma EI_b}{\Sigma EI_a} \times 100$$

%CO₂ Reduction คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงการปลดปล่อย CO₂ จากการปรับปรุงกระบวนการ

ΣEI_a คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยจากการใช้สารเคมีในกระบวนการเดิม (kgCO₂e/กิโลกรัม) ข้อมูลในตารางที่ 4

ΣEI_b คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยจากการใช้สารเคมีในกระบวนการใหม่ (kgCO₂e/กิโลกรัม) ข้อมูลในตารางที่ 4

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

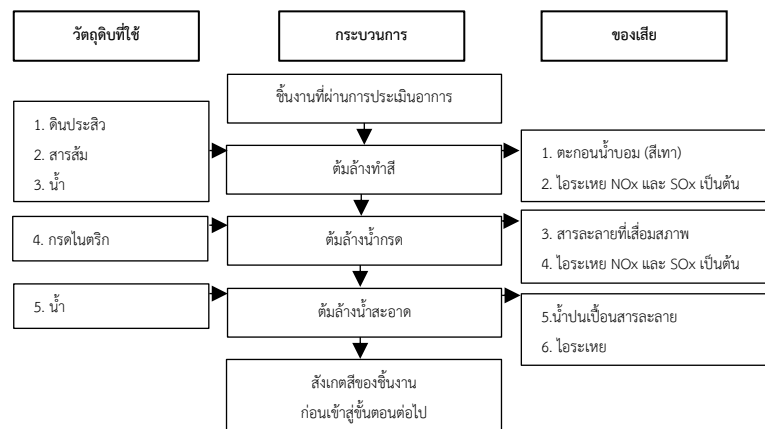
จากการศึกษากระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ผู้วิจัยได้ศึกษาเฉพาะกระบวนการ 3 ขั้นตอน (รูปที่ 2) จากทั้งหมด 14 ขั้นตอนจากในกระบวนการซ่อมแซมทั้งหมด เพื่อมุ่งเน้นการฟื้นฟูสภาพชิ้นงานให้กลับคืนสู่คุณภาพที่เหมาะสมตามมาตรฐานของสถานประกอบการ ในการควบคุมปริมาณสารเคมีและของเสียที่เกิดขึ้นเพื่อศึกษาการพัฒนาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการ โดยการปรับลดสารเคมีที่ร้อยละ 20 จากสัดส่วนเดิม เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดในการพัฒนาครั้งนี้

จากการวิเคราะห์ขั้นตอนในกระบวนการ สามารถลำดับแนวทางการปรับปรุงได้ ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมคน คือ การสร้างความเข้าใจในสิ่งที่พนักงานกำลังปฏิบัติงานด้วยเทคนิคการสร้างพฤติกรรมใหม่ เพื่อให้พนักงานรับรู้ สร้างความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการทำงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผ่านการอบรมในหัวข้อที่เกี่ยวข้อง เช่น การจัดการสารเคมี ความปลอดภัยในการทำงาน และการรับมือเหตุฉุกเฉิน โดยสร้างพฤติกรรมเชิงบวก ลดพฤติกรรมเสี่ยง พร้อมทั้งส่งเสริมกิจกรรมร่วม เช่น กิจกรรม 5ส และ Big Cleaning Day ให้เป็นรากฐานในการพัฒนาอย่างยั่งยืน

2. การปรับปรุงกระบวนการทำงาน ให้ความสำคัญกับการควบคุมและการลดใช้สารเคมี โดยกำหนดมาตรฐานในการชั่งตวง และวัดปริมาณสารเคมีอย่างแม่นยำ เพื่อลดของเสียและมลพิษจากกระบวนการ พัฒนาแนวทางการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยปรับลดการใช้ทรัพยากรให้เหมาะสมกับลักษณะงาน พร้อมควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ

3. การนำเครื่องมือและนวัตกรรมมาใช้ให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลังจากปรับปรุงใน 2 ระดับแล้ว จะเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการทำงานควบคู่ไปกับการพัฒนาพนักงานมากขึ้น การนำเทคโนโลยีเป็นลำดับสุดท้ายในการพัฒนาเพื่อไม่เพิ่มต้นทุนในการผลิตให้กับองค์กร และสามารถจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสมกับรูปแบบการทำงานของสถานประกอบการ



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ที่ทำการศึกษารววิจัย

5.1 ผลการจำแนกประเภทและปริมาณการใช้สารเคมีที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าสารเคมีทั้งหมด 3 ชนิดในกระบวนการที่ทำการศึกษานั้น มีปริมาณการใช้ที่ไม่แน่นอนเนื่องจากก่อนการปรับปรุงกระบวนการไม่มีการเก็บข้อมูลปริมาณในการใช้จึงศึกษาจากยอดปริมาณการสั่งซื้อในเดือนนั้นๆ คือระหว่างเดือนกันยายน ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 สำหรับข้อมูลการใช้สารเคมีหลังจากการปรับปรุงกระบวนการทั้ง 3 เดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ตามปริมาณของรูปพรรณทั้งหมดที่เข้าสู่กระบวนการอยู่ที่ 786 กิโลกรัม หรือ 51.7 บาททองคำ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการสารเคมีที่ศึกษาและปริมาณที่ใช้ในช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (หน่วยเป็นกิโลกรัม)

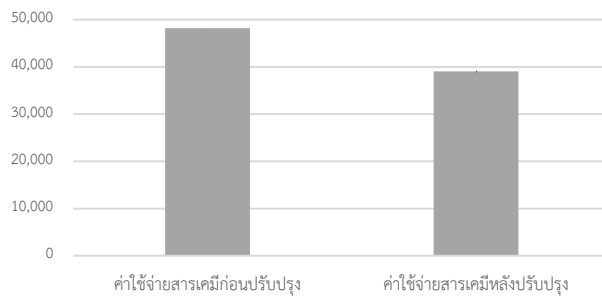
ชื่อสามัญ	ดินประสิว	สารส้ม	กรดไนตริก	
ชื่อวิทยาศาสตร์	Potassium nitrate	Aluminium Sulfate	Nitric Acid 68%	
สูตรทางเคมี	KNO ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃ (NH ₄) ₂ SO ₄ 24H ₂ O	HNO ₃	
Cas No.	7758-09-0	7697-37-2	10043-01-3	
ปริมาณการใช้	กันยายน 2567	150	30	15
	ตุลาคม 2567	135	30	15
	พฤศจิกายน 2567	225	30	15
	ธันวาคม 2567	95	22	14
	มกราคม 2568	117	28	14
	กุมภาพันธ์ 2568	104	24	14

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณสารเคมีที่ใช้ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการตามปริมาณของรูปพรรณที่เท่ากัน (หน่วยเป็นกิโลกรัม)

ชื่อสามัญ	ดินประสิว	สารส้ม	กรดไนตริก	รวมปริมาณสารเคมี
ชื่อวิทยาศาสตร์	Potassium nitrate	Aluminium Sulfate	Nitric Acid 68%	ที่ใช้ต่อปริมาณ
สูตรทางเคมี	KNO_3	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	HNO_3	ของรูปพรรณ
Cas No.	7758-09-0	7697-37-2	10043-01-3	786 กิโลกรัม
ปริมาณสารเคมีที่ใช้ก่อน*	393	92	45	530
ปริมาณสารเคมีที่ใช้หลัง	316	74	42	432

หมายเหตุ: *แสดงปริมาณการใช้สารเคมีในกระบวนการเดิมตามปริมาณของรูปพรรณที่เท่ากันกับปริมาณการใช้สารเคมีหลังปรับปรุงกระบวนการ

จากตารางที่ 2 เมื่อเทียบปริมาณสารเคมีที่ใช้ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการตามปริมาณของรูปพรรณที่เท่ากันคือ 786 กิโลกรัม หรือ 51.7 บาททองคำ แสดงให้เห็นปริมาณการใช้สารเคมีที่ลดลงทั้ง 3 ชนิดที่ทำการศึกษา ค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีที่ทำการศึกษาลดปรับปรุงกระบวนการทั้งหมด 39,023 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีก่อนปรับปรุงกระบวนการตามปริมาณของรูปพรรณที่เท่ากันอยู่ที่ 48,207 บาท ซึ่งลดลงประมาณ 19.1% สะท้อนให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการดำเนินงาน โดยสามารถลดการใช้สารเคมีพร้อมควบคุมต้นทุนการใช้วัตถุดิบไปพร้อมกัน ดังรูปที่ 3



ค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีก่อนและหลังในกระบวนการ	
ก่อน (บาท)	48,207
หลัง (บาท)	39,023
ต้นทุนการลดใช้สารเคมี (บาท)	9,184

หมายเหตุ: คำนวณค่าใช้จ่ายจากปริมาณการใช้สารเคมีตามตารางที่ 2

รูปที่ 3 ค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีก่อนและหลังของทั้งหมดในกระบวนการที่ศึกษา

5.2 ผลการจำแนกชนิดและปริมาณของเสีย

การจัดแยกประเภทของเสียทั้งหมดภายใต้กระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ทั้ง 3 ขั้นตอน ตามหลักการคัดแยกประเภทของเสียตามวิธีบำบัด/กำจัด อ้างอิงมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและตามหลักมาตรฐานสากล [12] พบของเสียที่ต้องกำจัดทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ ตะกอนน้ำบอม และ น้ำกรดที่ใช้แล้ว ดังตารางที่ 3

ปริมาณของเสียก่อนปรับปรุงกระบวนการ (เดือนกันยายน พ.ศ. 2567 - เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567) เฉพาะตะกอนน้ำบอมที่สามารถรวบรวมได้ในการศึกษาครั้งนี้ ทั้งหมดประมาณ 120 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับปริมาณของเสียหลังการปรับปรุงกระบวนการมีปริมาณของเสียลดลงอยู่ประมาณ 25% เนื่องจากข้อจำกัดทางการวิจัยปริมาณน้ำกรดที่ใช้แล้วก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ มีการใช้ซ้ำโดยมีปริมาณรวมกันอยู่ที่ประมาณ 120 ลิตร

ตารางที่ 3 ประเภทของเสียในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ

รหัส	ประเภทของเสีย	ความหมาย	รูปตัวอย่าง
S01	ตะกอนน้ำบอม	ตะกอนสีเทา-ขาว ลักษณะขุ่น ขึ้นและสามารถละลายเมื่อมีอุณหภูมิสูง มีส่วนผสมของดินประสิว (Potassium nitrate: KNO_3) และสารส้ม (Aluminium Ammonium Sulfate: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$)	
L01	น้ำกรดที่ใช้แล้ว	น้ำกรดที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีส่วนผสมของน้ำ ในการเจือจางสารเคมีที่ใช้ มีลักษณะสีเขียวขุ่น มีกลิ่นแรง และมีความเป็นกรด	

5.3 ผลการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency)

จากการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์พบว่าค่าการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยจากการใช้สารเคมีในกระบวนการเดิมอยู่ที่ $298.948 \text{ kgCO}_2\text{e/กิโลกรัม}$ และหลังการปรับปรุงหรือกระบวนการใหม่อยู่ที่ $242.322 \text{ kgCO}_2\text{e/กิโลกรัม}$ ซึ่งผลต่างจากการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการนี้คือ $56.626 \text{ kgCO}_2\text{e/กิโลกรัม}$ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า factor ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อปริมาณทองรูปพรรณทั้งหมด

ชื่อสามัญ	ค่า factor (kgCO ₂ e/หน่วย)	ค่า factor ปริมาณสารเคมี ที่ใช้ต่อ 1 กิโลกรัม	ค่า factor ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อ ปริมาณทั้งหมด (kgCO ₂ e/กิโลกรัม)		แหล่งข้อมูลอ้างอิง
	[13, 14]	(kgCO ₂ e/กิโลกรัม)	CO ₂ eq (before)	CO ₂ eq (after)	
ดินประสิว	0.1010	0.101	39.693	31.916	คู่มือการจัดการก๊าซเรือนกระจก ขององค์กรตาม ISO14064-1 DIW หน้า 37
สารส้ม	2.6600	2.660	244.720	196.840	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 (Ammonium sulphate)
กรดไนตริก	0.3230	0.323	14.535	13.566	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
ผลรวมการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมด			298.948	242.322	(kgCO ₂ e/กิโลกรัม)
ผลต่างจากการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์			56.626		

เมื่อคำนวณการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากการลดการใช้สารเคมีในกระบวนการ สามารถคำนวณตามสมการที่ 1-5 ดังนี้

(1)

ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าจากการลดสารเคมี (V_{ก่อน})

=

$$\frac{(51.7 \times 44,760) - 48,207}{48,207}$$

→

47.003

(2)

ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าจากการลดสารเคมี (V_{หลัง})

=

$$\frac{(51.7 \times 44,760) - 39,023}{39,023}$$

→

58.301

(3)

EE (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)

=

$$\frac{530 \text{ (กิโลกรัม)}}{298.948 \text{ (kgCO}_2\text{e/กิโลกรัม)}}$$

=

1.773 kgCO₂e/กิโลกรัม

(4)

EE (หลังปรับปรุงกระบวนการ)

=

$$\frac{432 \text{ (กิโลกรัม)}}{242.322 \text{ (kgCO}_2\text{e/กิโลกรัม)}}$$

=

1.783 kgCO₂e/กิโลกรัม

(5)

%CO₂ Reduction

=

$$\frac{298.948 - 242.322}{298.948} \times 100$$

=

18.942%

การปรับปรุงกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณโดยการลดการใช้สารเคมีลง 20% ส่งผลให้เกิดการลดต้นทุนและสัดส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปจากปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปล่อยลดลงเมื่อเทียบกับก่อนและหลังที่มีการปรับปรุงกระบวนการถึง 18.942% ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการใหม่ และช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของกระบวนการผลิต โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนต่างก่อนและหลังในการปรับปรุงอยู่ที่ 11.297 ทั้งนี้แม้ว่าค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากการลดสารเคมีในกระบวนการ (EE) มีความต่างกันเล็กน้อยจาก 1.773 ไปยัง 1.783 kgCO₂e/kg แต่ยังคงแสดงถึงแนวโน้มที่ดีต่อการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของสถานประกอบการในการ

ปรับตัวให้สอดคล้องกับแนวทางการผลิตที่ยั่งยืน โดยยึดหลักการลดการใช้ทรัพยากรและลดผลกระทบจากสารเคมีซึ่งเป็นไปตามหลักแนวทางของ Green Industry ที่แสดงความรับผิดชอบต่อชุมชน สังคม และสิ่งแวดล้อม

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาได้ทำการศึกษาระบบการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 โดยการพัฒนา 3 ขั้นตอนหลักจาก 14 ขั้นตอน เพื่อลดการใช้สารเคมีที่มีการใช้มากที่สุด และควบคุมการเกิดของเสีย และเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ผลการศึกษาพบว่าการลดการใช้สารเคมีลง 20% จากกระบวนการเดิม ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลดลงจาก 298.948 kgCO₂e/kg เป็น 242.322 kgCO₂e/kg (เปลี่ยนแปลง 18.942%) ควบคู่กับการลดต้นทุนด้านวัตถุดิบซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมซ่อมแซมทองรูปพรรณ ไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยตรงผ่านการลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์แต่ยังช่วยลดปริมาณของเสียอันตรายที่ต้องผ่านกระบวนการบำบัด ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการกำจัดของเสียลดลง สำหรับแนวทางการปรับปรุงกระบวนการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อสร้างความยั่งยืนให้แก่สถานประกอบการนั้น ผู้วิจัยใช้ปัจจัยที่สำคัญสำหรับดำเนินการวิจัยนี้ทั้งหมด 3 ด้าน (1) การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมพนักงานผ่านการอบรมเพื่อเพิ่มความรู้เกี่ยวกับการจัดการสารเคมีและความปลอดภัย (2) การปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพ ด้วยการควบคุมการใช้สารเคมีอย่างแม่นยำ และ (3) การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการโดยไม่เพิ่มต้นทุนการผลิต แนวทางเหล่านี้สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมประเภทนี้ จากข้อจำกัดของการศึกษารั้งนี้ ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บข้อมูล ความพร้อมของข้อมูล และขอบเขตของการประเมินการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่อาจจะยังไม่ครอบคลุมทุกมิติของกระบวนการซ่อมแซม ดังนั้นการศึกษานี้ในอนาคตควรมีการขยายระยะเวลาการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นฐานในกระบวนการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำโปรแกรมหรือนวัตกรรมมาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินและลดความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะช่วยให้สถานประกอบการสามารถกำหนดกลยุทธ์การพัฒนาอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เสริมสร้างและผลักดันองค์กรสู่อนาคตของการผลิตที่มีความรับผิดชอบต่อและยั่งยืนในทุกมิติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] จักรกฤษณ์ ดวงพิสดรา. (2563). การเพิ่มการมีส่วนร่วมของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในโซ่คุณค่าอัญมณีและเครื่องประดับของโลก. วารสารวิทยาการจัดการ ปีที่ 37 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2563.
- [2] จักรธิป จูรณ์กรณ, สุตา สุวรรณภิรมย์ และพรชัย ดีไพศาลกุล. (2565). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจเครื่องประดับและอัญมณีของผู้ประกอบการในเขตกรุงเทพมหานคร. ปีที่ 7 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2565.
- [3] อรุบล โชติพงศ์. (2558). โครงการพัฒนาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. (2560). https://greenindustry.diw.go.th/webgi/wp-content/uploads/2022/11/EMS_Implementation_Guide.pdf
- [5] Cheerawit Rattanapana, Thunwadee Tachapattaworakul Suksarojb and Weerawat Ounsanehab. (2012). Development of Eco-efficiency Indicators for Rubber Glove Product by Material Flow Analysis. Procedia - Social and Behavioral Sciences 40 (99–106).

- [6] Jenifer Vásquez ab, Giulia Bruno, Luca Settineri and Santiago Aguirre. (2018). Conceptual Framework for Evaluating the Environmental Awareness and Eco-efficiency of SMEs. *Procedia CIRP* 78 (347–352).
- [7] Korkiat Kertpakpraek. (2007). Eco-efficiency evaluation of petroleum and petrochemical group in the Map Ta Phut industrial estate, Rayong province, Thailand.
- [8] จิรโมท รัตนวัน. (2562). ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเข้าร่วมโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว Green Industry ของโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ภาคใต้. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- [9] จตุภูมิ เขตจัตุรัส. (2552). การวัดมูลค่าเพิ่ม: วิธีการทางเลือกในการวัดคุณภาพการศึกษา. วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 32 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2552.
- [10] สมาคมค้าทองคำ. ราคาทองคำถัวเฉลี่ยประจำเดือนธันวาคม 2567 - กุมภาพันธ์ 2568. <https://www.goldtraders.or.th/AvgPriceList.aspx>
- [11] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Efficiency Learning Module <https://docs.wbcsd.org/2006/08/EfficiencyLearningModule.pdf>
- [12] คู่มือการจัดการของเสียสารเคมีและของเสียอันตราย. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. ศูนย์การจัดการพลังงาน สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และอาชีวอนามัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [13] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์. คู่มือการวัดปริมาณและการรายงานผลการ ปลดปล่อย และลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับองค์กร ตามแนวทางมาตรฐาน ISO 14064-1.
- [14] แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ 2554 พิมพ์ครั้งที่ 3.