

การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต์
Carbon Footprint Assessment and Economic Costing of Quartz Crystal Unit

วรพันธ์ กันธิยะ¹ นัฐพร ไชยญาติ^{1*} จุฑาภรณ์ ชนะถาวร¹ สุรัตน์ เศษโพธิ์² และ วรชมล เลิศจตุรานนท์¹
Woraphan Kantiya¹, Nattaporn Chaiyat^{1*}, Juthaporn Chanataworn¹, Surat Sedpho² and
Wassamon Lertjaturanon¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

²วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

¹School of Renewable Energy Maejo University

²School of Energy and Environment University of Phayao

* Corresponding author: benz178tii@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต์ บริษัท เคียวเซรา คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด โดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบการเกิด (สารขาเข้า) ถึงประตู (สารขาออก) โดยใช้ข้อมูลของบริษัทปี พ.ศ. 2560 ในการประเมิน ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างของโรงงานมีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 32,975,705 kg CO₂-eq และผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตใช้พลังงานและวัตถุดิบหลัก คือ ไฟฟ้า 9,893 kWh/day และก๊าซไนโตรเจน 7,392 m³/day ที่ระยะเวลาการทำงาน 24 h/day พบว่า มีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 36,546,216 kg CO₂-eq และในส่วนการนำวัสดุกลับมาใช้เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน 30 ปีของโรงงาน สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 2,819,026 kg CO₂-eq ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าควอตซ์ คริสตัล ยูนิต์ 1 Piece มีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจก 0.58 kg CO₂-eq/Piece และมีผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของค่าต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.47 Baht/Piece

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ การประเมินวัฏจักรชีวิต ค่าต้นทุนต่อหน่วย ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต์

Abstract

This research studies the environmental impact based on carbon footprint and the economic costing of Quartz Crystal Unit product of Kyocera Crystal Device (Thailand) Company Limited by a life cycle assessment under cradle to gate. The 2017 operation data of company is used to consider the environmental effect. From the study results, it could be seen that the construction phase of factory released the greenhouse gases total 32,975,705 kg CO₂-eq. The environmental impacts from operation phase of the main energy and material values was electricity of 9,893 kWh/day and nitrogen gas of 7,392 m³/day at the full operating time (24 h/day), where the greenhouse gases emission was 36,546,216 kg CO₂-eq. The decommissioning phase for recycling the some materials at the end of the factory life time at 30 y was 2,819,026 kg CO₂-eq/Piece. It could be concluded that 1 Piece of Quartz Crystal Unit represented the greenhouse gases emission was 0.58 kg CO₂-eq/Piece. Economic costing of this product was 1.47 Baht/Piece.

Keyword: Carbon Footprint, Life Cycle Assessments, Levelized Cost, Quartz Crystal Unit

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาเรื่องขยะมูลฝอยถือเป็นวาระแห่งชาติ จากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษที่ผ่านมา แนวโน้มของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศเพิ่มขึ้นในทุกปี ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นในประเทศไทยอยู่ที่ 27.06 Million Ton ซึ่งคิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 1.14 kg/person·day สำหรับปริมาณขยะมูลฝอยในเขตอุตสาหกรรมทั่วประเทศ พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นเพื่อลดปัญหาภาวะก๊าซเรือนกระจก (Green House Effect) ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญเกี่ยวกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการจัดการก๊าซเรือนกระจกในเขตโรงงานอุตสาหกรรม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เลิศชัย (2553) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml พบว่าผลกระทบหลัก คือ ความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว 98.71% เนตรชนากานต์ และเศรษฐ์ (2560) ได้ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า จากขยะเทศบาลด้วยระบบกังหันไอน้ำขนาด 1 kWh พบว่า สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.93 kg CO₂-eq เจริญจิรา พัทธวรรณ และโชติมา (2557) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของไส้กรองปลากระฉี่ศึกษา พบว่า กระบวนการผลิตไส้กรองปลารวมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.57 kg CO₂-eq/250 g ของผลิตภัณฑ์ สุรัตน์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตอิเล็กทรอนิกส์ โดยการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนร่วมกับกังหันไอน้ำที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่า สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะนำไปฝังกลบลงได้ และลดการบริโภคทรัพยากรได้ถึง 79%

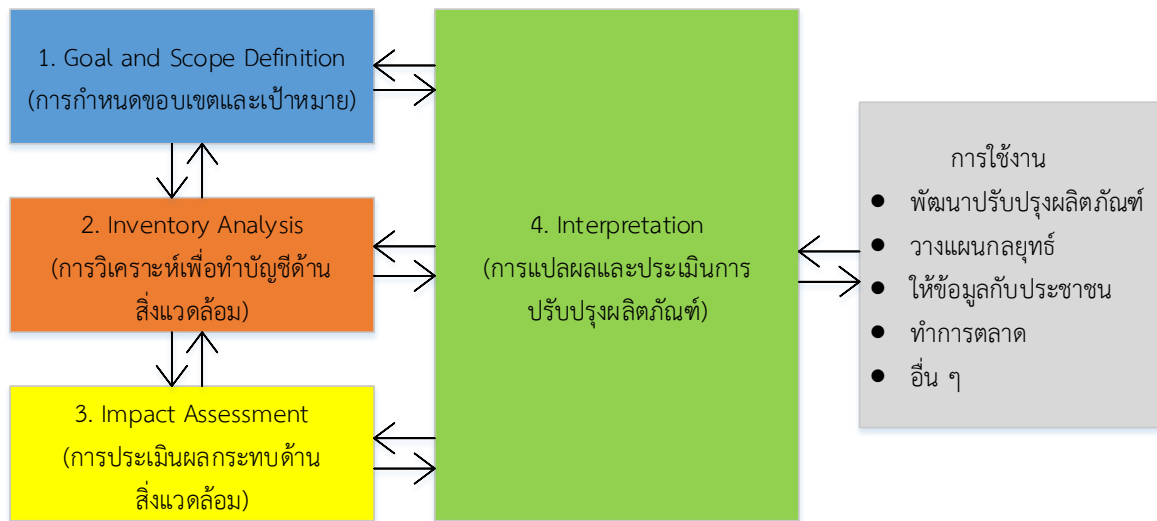
จากงานวิจัยที่กล่าวมาเบื้องต้น พบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) โดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คิวบิต คริสตัล ยูนิท พร้อมทั้งการหาค่าต้นทุนต่อหน่วย (Levelized Cost) ในโรงงานอุตสาหกรรม

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์คิวบิต คริสตัล ยูนิท และค่าต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์มีดังนี้

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งการใช้งานผลิตภัณฑ์การนำมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ทิ้งหลังจากการใช้งาน ซึ่งเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย โดยศึกษาปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ ของเสียจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสุขภาพของชุมชนและระบบสิ่งแวดล้อมโลก เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ISO 14040-14043 ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน 14040

การหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) หรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มี 4 ขั้นตอน ตามหลัก ISO 14040 คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการแปลผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามหน่วยการทำงาน (Functional Unit, FU) ที่ได้กำหนด การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการกำจัดซากหลังการใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าดังแสดงในสมการดังต่อไปนี้

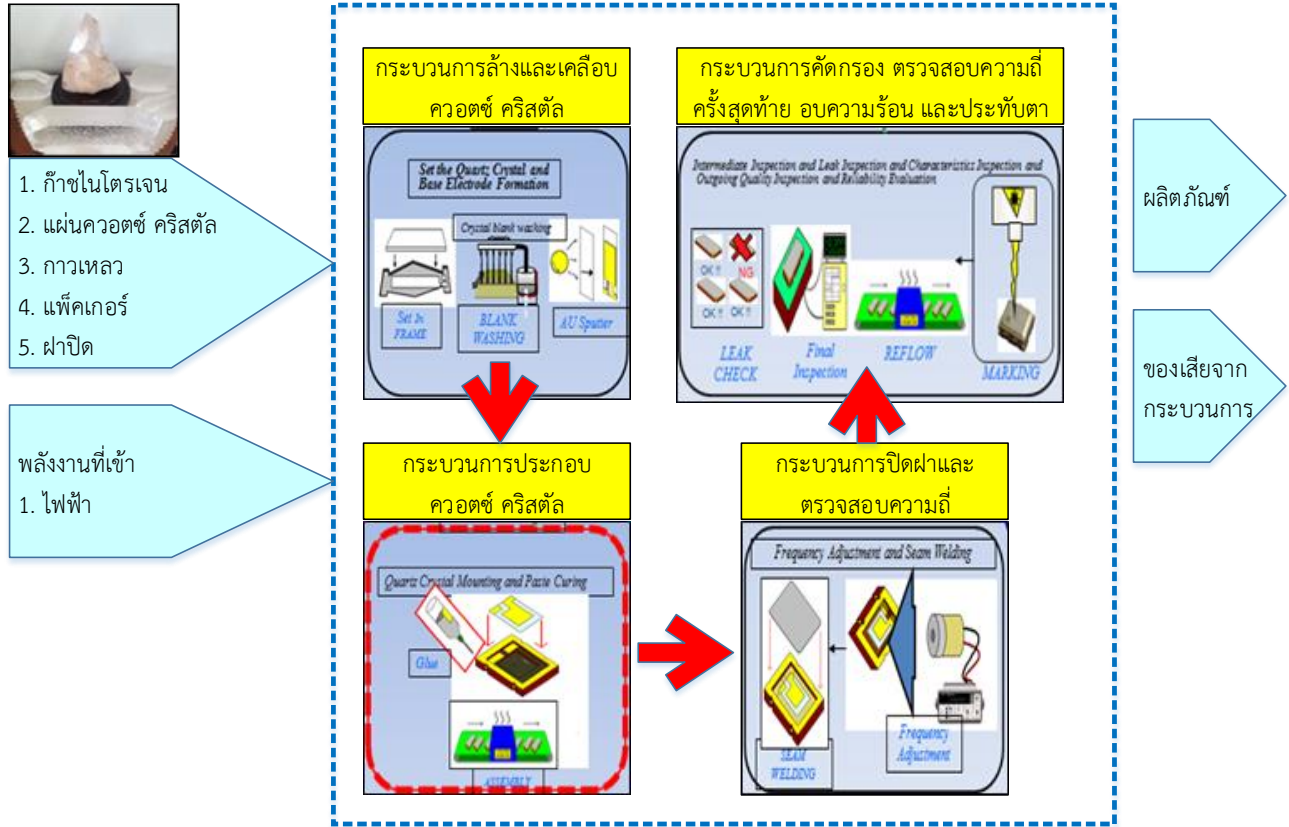
$$CFP = \sum_i (x) A_i(x) EF_i \quad (1)$$

วิธีการดำเนินงานวิจัย

กำหนดเป้าหมายและขอบเขตข้อมูลของผลิตภัณฑ์ เพื่อศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดทั้งผลิตภัณฑ์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขอบเขตของการศึกษา คือ ทำการศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิด (สารขาเข้า) จนถึงประตู (สารขาออก) โดยพิจารณาตั้งแต่การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ จนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซากทั้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก ซึ่งการศึกษานี้ได้กำหนดหน่วยการทำงาน คือ ผลิตภัณฑ์ เอสเอ็มที ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece ซึ่งมีรายละเอียดขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต แสดงดังรูปที่ 2

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล และวิเคราะห์บัญชีรายการโดยทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.0 หาค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยคำนวณออกมาในรูป kg CO₂-eq



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

การแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$LC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^n \frac{PC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n M_{SMD}} \quad (2)$$

ผลการศึกษา

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล

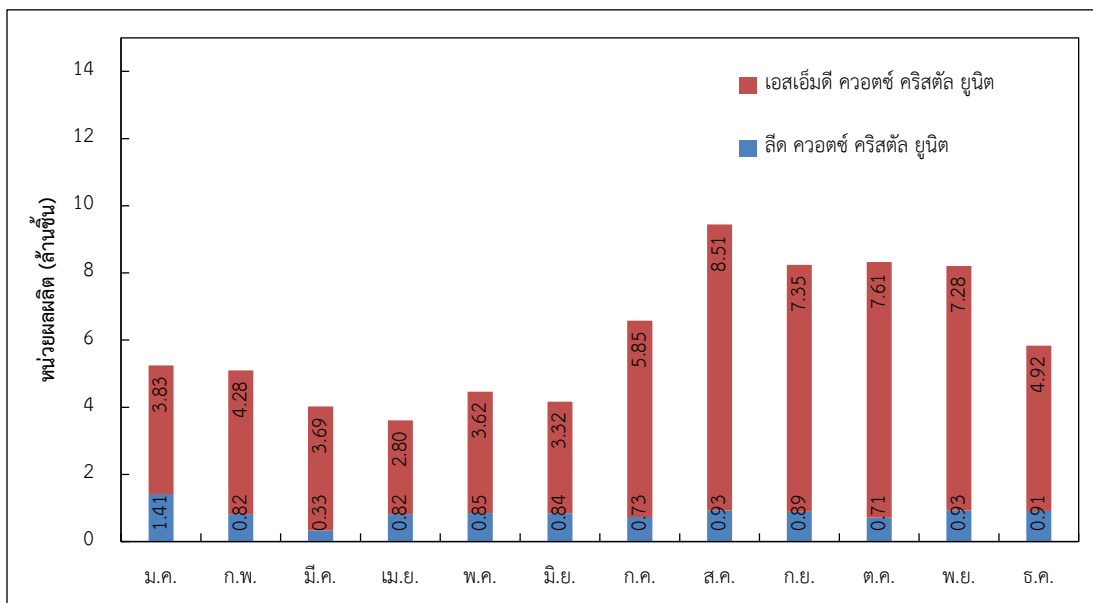
จากผลการสำรวจข้อมูลด้านวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโรงงาน ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 5 เฟส โดยเฟสที่ 1 2 และ 3 เป็นอาคารสำนักงาน กระบวนการผลิตรวมอยู่ในอาคารโรงงานเดียวกันมีขนาด 13,971 m² ส่วนเฟสที่ 4 เป็นโรงอาหาร สถานที่พักผ่อน และ เฟสที่ 5 เป็นกระบวนการผลิตมีทางเดินเชื่อมต่อกันระหว่างเฟสมีขนาด 9,407 m² เป็นอาคารปูน โครงสร้างเหล็ก และหลังคาเป็นแบบเมทัลชีท ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อาคารโรงงานเฟสที่ 1-5 บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูลผลิตภัณฑ์

จากผลการสำรวจข้อมูลบริษัทได้ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์หลักอยู่ 2 ผลิตภัณฑ์ได้แก่ อันดับที่ 1 SMD Quartz Crystal Unit คิดเป็น 86% และอันดับที่ 2 Lead Quartz Crystal Unit คิดเป็น 14% ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ผู้ดำเนินงานวิจัยเลือกที่จะทำการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิท ของงานวิจัยในครั้งนี้มีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 4

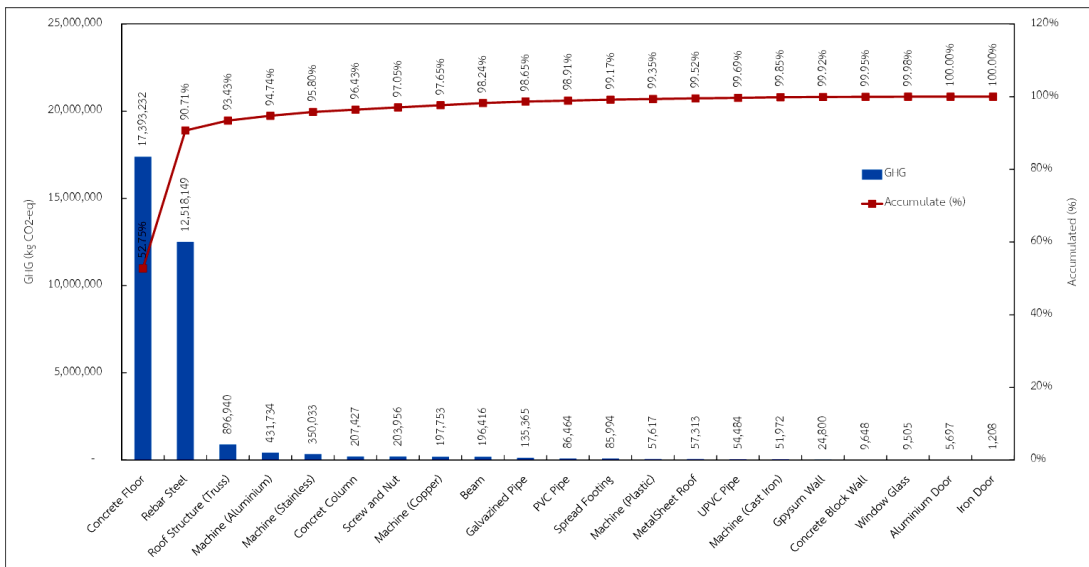


รูปที่ 4 ข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิท ปี พ.ศ. 2560

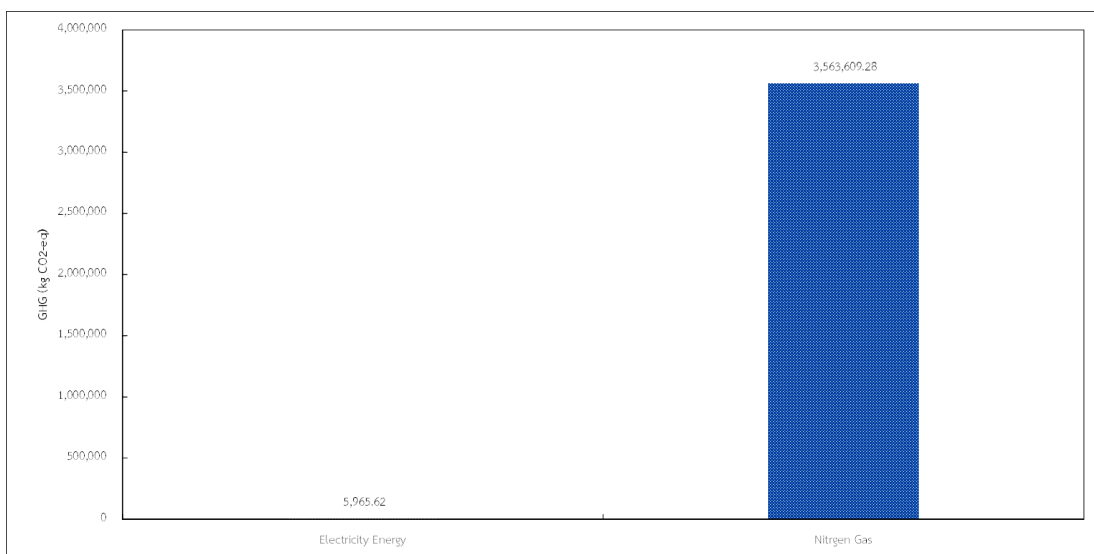
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

จากผลการสำรวจข้อมูลและวิเคราะห์บัญชีรายการสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลปริมาณวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโรงงาน กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิท และการรื้อถอนวัสดุ

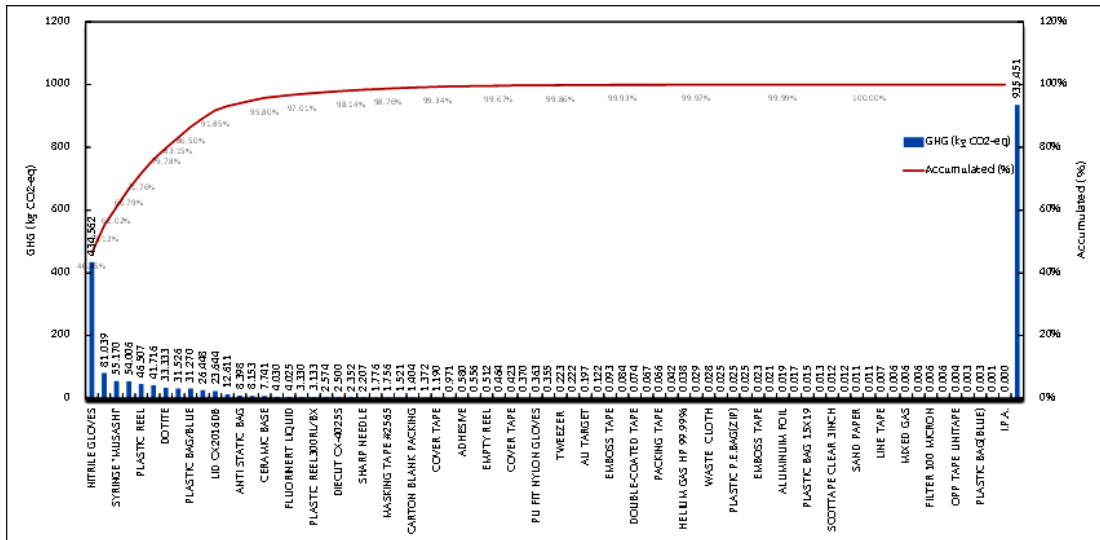
โครงสร้างอาคารโรงงาน พบว่า การเกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอาคารโรงงาน ปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด คือ 32,975,705.73 kg CO₂-eq ในส่วนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รองลงมา พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับกระบวนการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 5,965 kg CO₂-eq ก๊าซไนโตรเจนที่ป้อนให้กับกระบวนการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 3,563,609 kg CO₂-eq ผลรวมในส่วนกระบวนการผลิต คือ 3,679,987.23 kg CO₂-eq ตลอดอายุการใช้งาน 30 y และเมื่อหมดอายุการใช้งานสามารถนำเอาวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างอาคารโรงงานบางชนิดกลับมาใช้งานใหม่ สามารถลดการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้เท่ากับ 2,819,026.22 kg CO₂-eq โดยผลรวมของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด คือ 36,546,216 kg CO₂-eq และผลิตภัณฑ์ที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อชิ้นในอัตรา 0.58 kg CO₂-eq/Piece ดังแสดงในรูปที่ 5-8



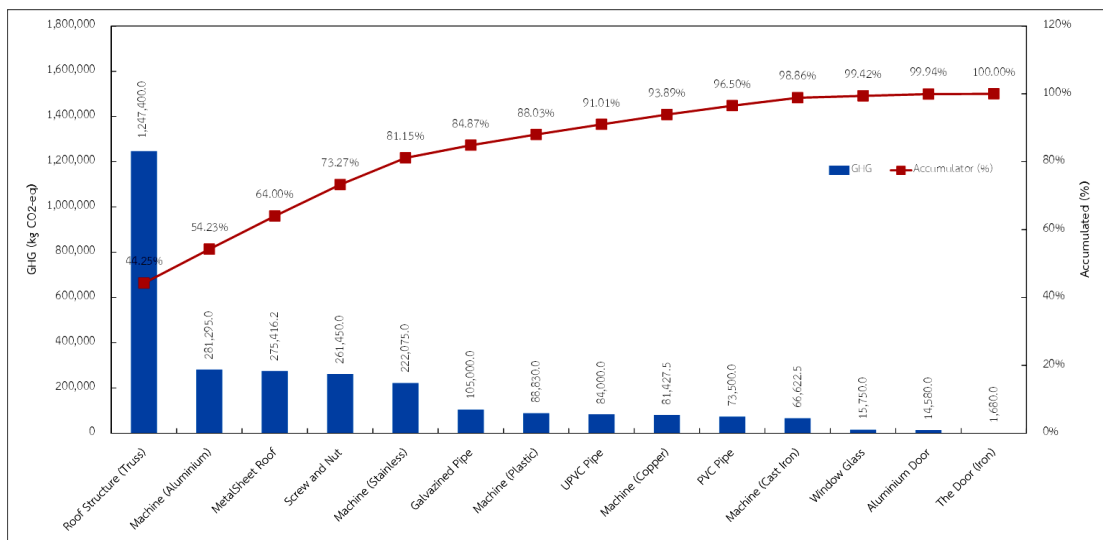
รูปที่ 5 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน



รูปที่ 6 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของพลังงานไฟฟ้า และก๊าซไนโตรเจน



รูปที่ 7 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนการปฏิบัติงาน



รูปที่ 8 การลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนการรื้อถอน

การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลผลสำรวจและรวบรวมข้อมูลการลงทุน และค่าใช้จ่ายต่างๆ เพื่อทำการประเมินค่าความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ผลการศึกษา พบว่า บริษัทมีมูลค่าการลงทุนรวม 100,000,000 Baht ซึ่งจากข้อมูลการผลิตในปี พ.ศ.2560 มีมวลผลิตภัณฑ์รวม 63,062,000 Piece/y ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 Piece จะมีต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตเท่ากับ 1.47 Baht/Piece ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

| รายละเอียด | ปริมาณ |
|---|---------------|
| มูลค่าของกระบวนการผลิต ($Inv_{Production}$, Baht) | 550,000,000 |
| มูลค่าสาธารณูปโภค ($Inv_{Utility}$, Baht) | 100,000,000 |
| มูลค่าอาคารโรงงาน ($Inv_{Buidding}$, Baht) | 350,000,000 |
| มูลค่าการลงทุน (Inv , Baht) | 1,000,000,000 |
| ราคาค่าไฟฟ้าต่อปี ($PC_{Electricity}$, Baht/y) | 5,673,317 |
| ราคาค่าน้ำดิบต่อปี (PC_{Water} , Baht/y) | 165,000 |
| ราคาค่าก๊าซไนโตรเจน ($PC_{Nitrogen}$, Baht/y) | 823,000 |
| ค่าจ้างพนักงานต่อปี (PC_{OP} , Baht/y) | 136,500,000 |
| ค่าใช้จ่ายรวมต่อปี (PC , Baht/y) | 143,161,317 |
| มวลผลิตภัณฑ์ขึ้นต่อปี (M_{SMD} , Piece/y) | 63,062,000 |
| ระยะเวลาในการทำงาน (t_{OP} , h/y) | 8,640 |
| อายุการใช้งาน (N , y) | 30 |
| ค่าต้นทุนต่อหน่วย (LC , Baht/Piece) | 1.47 |

สรุป

จากการศึกษาและวิเคราะห์ผลงานวิจัย สามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังนี้

1. พลังงานหลักที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ คือ พลังงานไฟฟ้าในอัตรา 9,893 kWh/day ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตรา 5,965 kg CO₂-eq
2. วัตถุดิบหลักที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ คือ ก๊าซไนโตรเจนในอัตรา 7,392 m³/day ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตรา 3,563,609 kg CO₂-eq
3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโรงงานปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตรา 32,975,705 kg CO₂-eq ในส่วนพื้นคอนกรีตปลดปล่อยมากที่สุดในอัตรา 17,393,232 kg CO₂-eq กลุ่มที่ 2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัลยูนิตปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตรา 935.451 kg CO₂-eq ในส่วนถลุงมีอย่างไนโตรสปลดปล่อยมากที่สุดในอัตรา 434.56 kg CO₂-eq กลุ่มที่ 3 การรื้อถอนโครงสร้างอาคารโรงงานสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในอัตรา 2,819,026 kg CO₂-eq ดังนั้นผลรวมของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด คือ 36,546,216 kg CO₂-eq ตลอดอายุการใช้งาน 30 y และผลิตภัณฑ์มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อชิ้นในอัตรา 0.58 kg CO₂-eq/Piece
4. การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของ ควอตซ์ คริสตัลยูนิต จำนวน 1 Piece มีค่าต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 1.47 Baht/Piece

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และบริษัท เคียว เซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษางานวิจัย ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เจนจิรา เปี่ยมดี, พัชวรธรรม สุขสร้อย และโชติมา โคตรพัฒน์. 2557. การประเมินวัฏจักรของไส้กรอกปลา กรณีศึกษา (Life Cycle Assessment of Fish Sausage, A Case Study), การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, 12-14 พฤศจิกายน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, ประเทศไทย.
- เนตรชนากานต์ สุันดา และเศรษฐ์ สัมภิตตะกุล. 2560. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Greenhouse Gases Evaluation of Power Generation Technology from Municipal Waste by Organic Rankine Cycle System), วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1 กรกฎาคม-ธันวาคม, เลขหน้า 1-14, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- เลิศชัย ศรเฉลิม. 2553. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขวดแก้ว โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Environmental Impact Evaluation of Glass Bottle Using Life Cycle Assessment), สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559, กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department), ออนไลน์: www.deqp.go.th, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.
- อ้างอิงผลสำรวจข้อมูลจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศ โดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคและสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมและสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด, ออนไลน์: www.mnre.go.th, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), Emission Factor. ออนไลน์: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf, เข้าถึงเมื่อ: 20 กุมภาพันธ์ 2561
- IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2, Energy. Online://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html, Accessed: 9 December 2017.
- Surat S, Sate S, Nattaporn C and Shabbir H G. 2016. Conventional and Exergetic Life Assessment of Organic Rankine Cycle Implementation to Municipal Waste Management: The Case Study of Nae Hong Son (Thailand). Int J Life Cycle Assess 22: 1773-1784

รายการสัญลักษณ์

| คำย่อ | ความหมาย |
|-------|---|
| A | กิจกรรมต่างๆ (Unit) |
| CFP | ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO ₂ -eq) |
| EF | ค่าแฟกเตอร์ของการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO ₂ -eq/unit) |
| Inv | มูลค่าการลงทุน (Baht) |
| LC | ค่าต้นทุนต่อหน่วย (Baht/Piece) |

| | |
|----|--------------------------|
| M | มวล (Piece/y) |
| n | อายุของบริษัท (y) |
| PC | ค่าใช้จ่ายรายปี (Baht/y) |
| r | ค่าอัตราส่วนลด (%) |
| t | เวลา (h/y) |

| | |
|----------------|-------------------------|
| ตัวห้อย | ความหมาย |
| i | Item |
| OP | Operating |
| SMD | Surface Mounting Device |