

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตคอมเพรสเซอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม Carbon footprint assessment of the compressor manufacturing process in industrial plants.

(Received: December 18,2023 ; Revised: December 29,2023 ; Accepted: January 2,2024)

อลงกต สุตคุณสันติการ¹, เสรีย์ ตู๊ประกาย^{2*}, ปิยะรัตน์ ปรีย์มานิช³, มงคล รัชชะ⁴, โกวิท สุวรรณหงษ์⁵
และ สิริวัลภ์ เรืองช่วย ตู๊ประกาย⁶

Alongod Suttakhunsantikan^{1*}, Seree Tuprakay^{2*}, Piyarat Premanoch³, Mongkol Ratcha⁴,
Kowit Suwannahong⁵ and Sirawan Ruangchuay Tuprakay⁶

บทคัดย่อ

การวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและใช้วิธีการประเมินตามวัฏจักรชีวิตแบบธุรกิจสู่ธุรกิจ (Business to Business: B2B) จากผลการศึกษาพบว่า การได้มาซึ่งวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์คอมเพรสเซอร์ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 139 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เครื่อง หรือคิดเป็น 88% โดยมีสาเหตุหลักมาจากค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก(Emission Factor)ของวัตถุดิบนั้นมีสัดส่วนการปลดปล่อยที่สูงเมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่นๆ โดยกระบวนการผลิตพบว่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 19 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เครื่อง หรือคิดเป็น 12% และเมื่อพิจารณาการผลิตคอมเพรสเซอร์ตลอดวัฏจักรแบบธุรกิจสู่ธุรกิจจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 158 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เครื่อง โดยมาตรการที่แนะนำเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้แก่การพิจารณาการใช้วัสดุทดแทนที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าและการอนุรักษ์พลังงานในการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, ก๊าซเรือนกระจก, คอมเพรสเซอร์

Abstract

This research was survey research data analyzed by quantitative research and used a Business-to-business (B2B) life cycle assessment method. From the results of the study, it was found that the activity of raw material acquisition for compressor products had the highest greenhouse gas emissions resulting in 139 kgCO₂e/unit, which was equivalent to 88% of the total activity. The primary cause of this was from the raw material that had a high green gas Emission Factor. While comparing to the production process found that the production activities had released greenhouse gas emissions equal to 19 kgCO₂e/unit, which was equivalent to 12 % of the total activity. Considering the total activities of compressor production throughout the business-to-business cycle, the greenhouse gas emission was equal to 158 kgCO₂e/unit. From the result, the recommended measure to decrease greenhouse gas emissions was to explore the use of alternative materials that have greater efficiency. and energy conservation in the inspection and maintenance of machinery and equipment activities.

Keywords: carbon footprint, greenhouse gases, Compressor

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

^{2*} วศ.ด.รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

³ พร.ด.รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

⁴ พร.ด. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง Corresponding author Email: Mongkol.r@ru.ac.th

⁵ วศ.ด. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

⁶ วท.ด. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางธรรมชาติ¹ โดยในปี ค.ศ. 1994 คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้มีการยืนยันว่าการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ได้ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศจริงหนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่สำคัญมาจากการที่มนุษย์ มีการปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ การขนส่ง และการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงการปล่อยก๊าซกลุ่มไนตรัสออกไซด์ และคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFC) พร้อมๆกับการที่มีการตัดและทำลาย ป่าไม้จำนวนมากเพื่อ นำมาสร้างสิ่งอำนวยความสะดวก ทำให้กลไกในการดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากบรรยากาศถูกลดทอนประสิทธิภาพลง จนกระทั่งในช่วงทศวรรษที่ 1980 เป็นช่วงเกิดภาวะวิกฤตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง ทำให้นานาประเทศตระหนักถึงผลกระทบของภาวะโลกร้อนจึงได้มีการจัดตั้งหน่วยงานสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme: UNEP) และในปี ค.ศ. 1997 ได้มีการลงนามในกลุ่มประเทศที่พัฒนาต้องมีการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ 6 ชนิด ในพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ซึ่งส่งผลให้มีการควบคุมการผลิต การใช้งานและการกำจัด รวมถึงการเกิดการกีดกันทางค้ากับผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถแสดงข้อมูลหรือการควบคุมคาร์บอนฟุตพริ้นท์²

ประเทศไทยได้มีการเข้าร่วมเป็นภาคีอนุสัญญา UNFCCC เมื่อปี ค.ศ. 1994 และในปี ค.ศ. 2002 ได้ให้สัตยาบันเข้าร่วมรับรองพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ซึ่งเป็นข้อตกลงที่กำหนดพันธกรณีในการลดก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้ประเทศไทยได้มีมติจากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม ค.ศ. 2007 เห็นชอบให้จัดตั้งองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก เพื่อบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก และการประสานความร่วมมือ

ระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และองค์กรระหว่างประเทศ³ ทั้งนี้ถึงแม้ว่าประเทศไทยได้มีการออกนโยบายต่างๆเพื่อกำหนดแนวทางในการปฏิบัติ แต่กฎหมายที่ใช้ในการบังคับใช้ยังไม่ครอบคลุม ทำให้การควบคุมและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร⁴

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดแนวทางในการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิต คอมพิวเตอร์แบบลูกสูบ เพราะเนื่องจากในกระบวนการผลิตรวมถึงขั้นตอนการทดสอบยังคงมีการใช้สารน้ำยาในการทดสอบหารั่วของระบบซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการที่อาจก่อให้เกิดการรั่วไหลของระบบ และสามารถทำลายชั้นบรรยากาศซึ่งทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสูง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

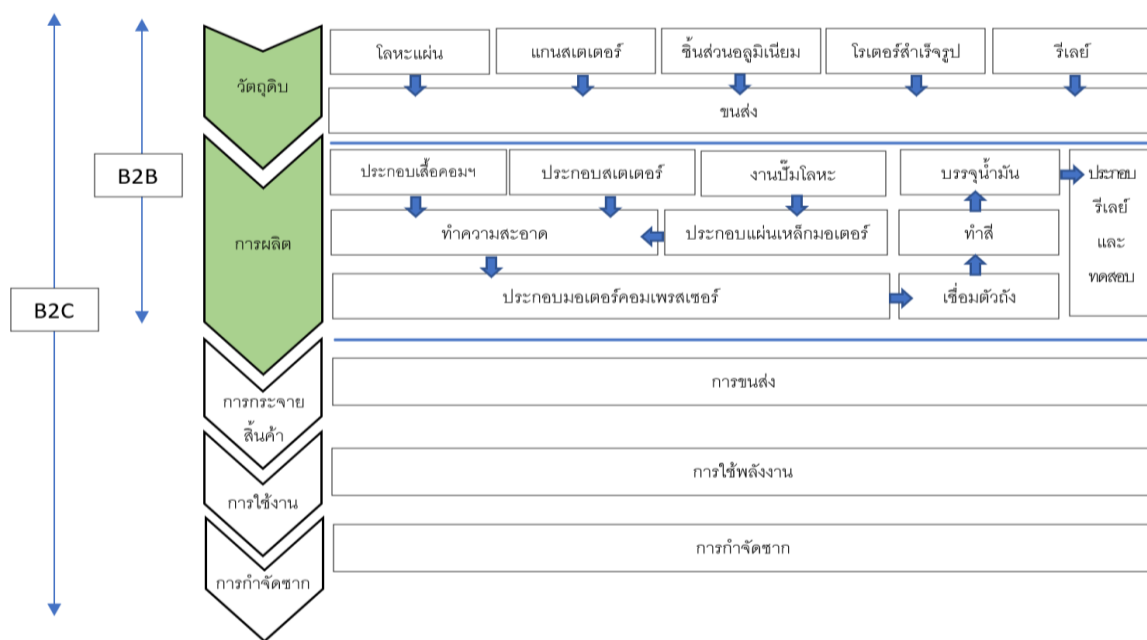
เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์แบบลูกสูบ อีกทั้งเป็นข้อมูลในการวางแผนและแนวทางในการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตโดยเป็นไปตามหลักวิศวกรรมความปลอดภัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้ศึกษาได้ดำเนินการวิจัย โดยใช้ระเบียบวิธีการวิจัยเชิงปริมาณ โดยการสำรวจกระบวนการผลิต วัตถุดิบ เครื่องจักรและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและหาค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการลดการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต และใช้พลังงานหรือทรัพยากรต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการช่วยลดต้นทุน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

โดยใช้รูปแบบการประเมินตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) แบบ Cradle to Gate หรือ B2B ที่เกิดจากการผลิตคอมพิวเตอร์ของระบบทำความเย็น รุ่น AW55 ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มา

ซึ่งวัตถุดิบจนจบกระบวนการผลิตเพื่อส่งออกไปยัง
บริษัทผู้ผลิตเครื่องทำความเย็นดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์คอมเพรสเซอร์

การศึกษาโดยการรวบรวมปริมาณการใช้
วัตถุดิบ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการดำเนินกิจกรรม
ในการผลิต ในช่วงมกราคม – ธันวาคม พ.ศ. 2565

การจัดทำบัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการ คือ การเก็บรวบรวม
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและจำเป็นที่ใช้ในการประเมินผล
กระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงาน
ไฟฟ้าและไอน้ำ ปริมาณวัตถุดิบ วัสดุ และทรัพยากร
ปริมาณการใช้สารเคมี ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ต้องเก็บจะเริ่มตั้งแต่กระบวนการได้มา
ซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และรวมถึงกิจกรรมที่
เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต โดยข้อมูลที่จัดเก็บจะมี
2 ส่วน คือ

- ข้อมูลทั่วไป เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบริษัท
และผลิตภัณฑ์ที่ทำการประเมิน
- ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ คือ ข้อมูลด้าน
กิจกรรม (Activity data) และค่าสัมประสิทธิ์การ
ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ข้อมูลจะอยู่ในรูปของปริมาณวัตถุดิบ สารเคมี
และสารอนุภาค ที่ใช้ใน กระบวนการผลิตวัตถุดิบ
โดยจะทำการเก็บข้อมูลเป็นหน่วยต่อการใช้งาน ข้อมูล
ที่กล่าวมาอาจจะเป็นข้อมูลที่ได้รับจากผู้จัดหาวัตถุดิบ
โดยตรงในกรณีที่ผู้จัดหาวัตถุดิบมีข้อมูลการวิเคราะห์
คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ หรือได้จากการ
คำนวณโดยใช้ข้อมูลการผลิตของผู้จัดหาวัตถุดิบ ใน
กรณีที่ไม่สามารถ เข้าถึงข้อมูลได้ สามารถใช้เป็น
ข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากแหล่งอ้างอิงที่มีอยู่ได้ เช่น
คู่มือการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือเอกสาร
งานวิจัยที่สามารถยอมรับได้ เป็นต้น

การคำนวณหาค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ
เรือนกระจกของคอมเพรสเซอร์ โดยการนำข้อมูลด้าน
ปฏิกิริยาและข้อด้านมูลทุติยภูมิมาคำนวณและแปลง
ออกมาให้อยู่ในรูปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือน
กระจก โดยการคูณเข้ากับค่าสัมประสิทธิ์การ
ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเภทวัตถุดิบ วัสดุ
การใช้พลังงาน หรือของเสียกระบวนการนั้น ๆ และ
บันทึกในรูปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อ
หน่วยผลิตภัณฑ์ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$CFP = \sum (A_i \times EF_i)$$

โดย CFP คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์มีหน่วยเป็น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์

A_i = ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรม i มีหน่วยเป็น (หน่วยกิจกรรมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์)

EF_i = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัตถุดิบหรือกิจกรรมของ i โดยมีหน่วยเป็น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย

การคำนวณการขนส่งวัตถุดิบ ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์โดยวิธีการใดก็ตาม ทั้งเครื่องบิน รถยนต์ รถบรรทุกหรือรถไฟ โดยพิจารณาตั้งแต่แหล่งกำเนิดของวัตถุดิบมายังโรงงานผลิต คอมเพรสเซอร์ ทั้งต่างประเทศและในประเทศ ซึ่งจะคิดทั้งการขนส่งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ข้อมูลที่จัดเก็บจะประกอบไปด้วย

1) ข้อมูลเชื้อเพลิงที่ใช้จริง โดยเก็บจากใบเสร็จค่าน้ำมันหรืออื่นๆ โดยครอบคลุมทุกรายการวัตถุดิบที่ขนส่งมาจากภายนอกโรงงาน และครอบคลุมทั้งเที่ยวที่ขนส่งวัตถุดิบเข้าโรงงานและเที่ยวที่วิ่งออกจากโรงงาน คำนวณได้จาก

ET = ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ (liter) $\times$ EF ตามประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง

โดย ET คือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ($kgCO_2e$) และ EF คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2) หากไม่มีการจัดเก็บเชื้อเพลิงที่ใช้จริง หรือมีแต่ไม่ครอบคลุมทุกรายการวัตถุดิบหรือไม่ครอบคลุมเที่ยวที่ขนส่ง จะคำนวณปริมาณการใช้เชื้อเพลิง โดยอาศัยข้อมูลของประเภทยานพาหนะ รวมกับข้อมูลระยะการขนส่งและอัตราบรรทุก คำนวณได้จาก

ET = (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) $\times$ EF ตามประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง

โดย ET คือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ($kgCO_2e$) และ EF คือ

ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e/ton-km$)

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง คือ อัตราที่แสดงถึงอัตราการใช้เชื้อเพลิงแต่ละยานพาหนะเป็นจำนวนเท่าไร่ ($km/liter$)

การปันส่วน ในกรณีที่ไม่สามารถแบ่งแยกกระบวนการผลิตที่ทับซ้อนออกจากการกันได้ สามารถใช้วิธีการปันส่วนทางกายภาพ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การปันส่วนตามลักษณะทางกายภาพ

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ (กิโลกรัม)	% การปันส่วน
ผลิตภัณฑ์หลัก	A	$[A/(A+B)] \times 100$
ผลิตภัณฑ์ร่วม	B	$[B/(A+B)] \times 100$

ที่มา : วิธีชีวิตตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในศตวรรษที่ 21, 2021

หรือความสัมพันธ์ด้านอื่นมาเพื่อใช้พิจารณาการปันส่วน เช่น การปันส่วนตามมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การปันส่วนตามมูลค่าทางเศรษฐกิจ

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิต	มูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย	% การปันส่วน
1	A	C	$[AC/(AC+BD)] \times 100$
2	B	D	$[BD/(AC+BD)] \times 100$

ที่มาดัดแปลงจาก : วิธีชีวิตตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในศตวรรษที่ 21, 2021

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. การกำหนดขอบเขตของการประเมิน

ตารางที่ 3 ขอบเขตของการประเมิน

ขอบเขตการประเมิน	รายละเอียด
ผลิตภัณฑ์ที่ทำการประเมิน	คอมเพรสเซอร์สำหรับระบบทำความเย็น รุ่น AW55
ขอบเขตการประเมิน	B2B หรือ Cradle to Gate
หน่วยที่ใช้ประเมิน	1 เครื่อง
วัตถุดิบหลักที่ใช้	ซิลิกอนและเหล็ก
ช่วงเวลาในการรวบรวมข้อมูล	มกราคม – ธันวาคม พ.ศ. 2565
รูปภาพของผลิตภัณฑ์	

การรวบรวมข้อมูลเพื่อประกอบการประเมิน สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ 2 แหล่ง คือ ข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แหล่งของข้อมูล

รายการ	ข้อมูลปฐมภูมิ	ข้อมูลทุติยภูมิ
ข้อมูลการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ข้อมูลการผลิต	ข้อมูลกระบวนการผลิต ย้อนหลัง 12 เดือน ตั้งแต่ ม.ค. - ธ.ค. 65	

ข้อมูลการขนส่ง ระยะทาง น้ำหนักบรรทุก	ข้อมูลการขนส่งย้อนหลัง 12 เดือน ตั้งแต่ ม.ค. - ธ.ค. 65	<a href="https://google.co.th/maps/องค์การบริหาร
ก๊าซเรือนกระจก">https://google.co.th/maps/องค์การบริหาร ก๊าซเรือนกระจก
--	--	---

โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการผลิตคอมเพรสเซอร์ ดังตารางที่ 5 และ ผลประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของคอมเพรสเซอร์ จากกิจกรรมในการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตและการขนส่งของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ดังตารางที่ 6, ตารางที่ 7 และ ภาพที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 รายละเอียดขั้นตอนการผลิตคอมเพรสเซอร์

ขั้นตอน	กิจกรรม
1. ปั้นขึ้นส่วนขึ้นรูปฝาบนและฝาล่าง (Housing)	ปั้นขึ้นรูป, ตัดขอบ, ริดขอบ, กัดรอบปุ่ม, เจาะรู
2. ประกอบชุด Housing	ล้างคราบน้ำมัน, เชื่อมท่อขาเข้าและขาออก, Spot ขึ้นส่วนอุปกรณ์
3. ประกอบชุดปั๊ม	- เลือกขนาดความเหมาะสมของเพลาคอเหวี่ยงและก้านสูบและประกอบเข้าด้วยกัน - ประกอบเพลาคอเหวี่ยงเข้ากับก้านสูบและเสื้อสูบ, ประกอบชุดวาล์ว - เช็ค Air Gap, ปรับ Balance Motor Pump และ Stamp Code
4. ประกอบชุด STATOR	- จัดขนาด Stack และ stamp รูน - พันขดลวดและ Sleeve Insulation Insert - เป่าลมร้อน และ นำ Stator เข้าเครื่องDip - Test ค่าไฟ, เก็บสายไฟ และประกอบOVERLOAD เข้ากับ STATOR
5. ประกอบรวมชุดคอมเพรสเซอร์	- ประกอบ STATOR เข้ากับ PUMP KIT - ประกอบMOTOR PUMP เข้ากับLOWER HOUSING - เชื่อมSHOVK LOOP เข้ากับท่อDISCHARGE TUBE - CHECK CLEARNCE และทดสอบรั่ว - ทำสี, อบคอมเพรสเซอร์ไล่ความชื้น, ฉีดสเปรย์ซิลิโคน, เติมน้ำมัน - บรรจุน้ำมัน, ทดสอบระบบ Flash, Magger และแรงดันลื่นวาล์ว

ตารางที่ 6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

	รายการ	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์ (kgCO ₂ eq/Kg)	สัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซ เรือนกระจก (%)
1)	ซิลิกอน	93.21	67.68
2)	เหล็กแผ่น	22.55	16.37
3)	เสื้อสูบ	7.31	5.31
4)	เพลาคอเหวี่ยง	6.97	5.06
5)	ทองแดง	3.21	2.33
6)	อลูมิเนียม	1.62	1.18
7)	ฝาสูบ	1.56	1.13
8)	OB	0.62	0.45
9)	ก้านสูบ	0.49	0.36
10)	วาล์ว	0.08	0.06
11)	ลูกสูบ	0.05	0.04
12)	สลักลูกสูบ	0.04	0.03
13)	เงิน	0.00	0.00
	ผลรวม	137.72	100.00

จากตารางที่ 6 แสดงการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ พบว่า มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งกระบวนการ การได้มาซึ่งวัตถุดิบตามขอบเขตการศึกษา เท่ากับ 137.72 kgCO₂e โดยการได้มาของวัตถุดิบซิลิกอน มีการ

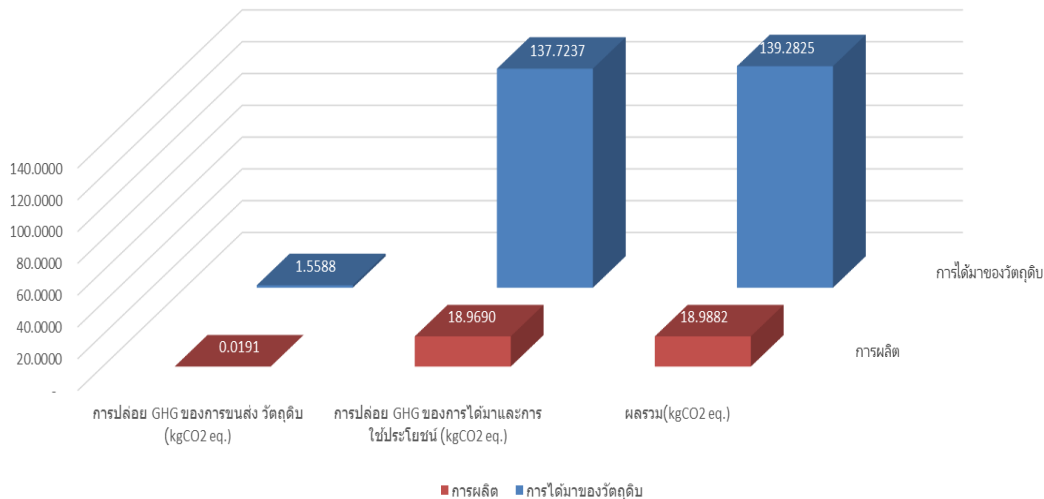
ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 67.68 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบทั้งหมด รองลงมาเป็นเหล็กแผ่น คิดเป็นร้อยละ 16.37 และเลื้อยสูบ ร้อยละ 5.31 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต

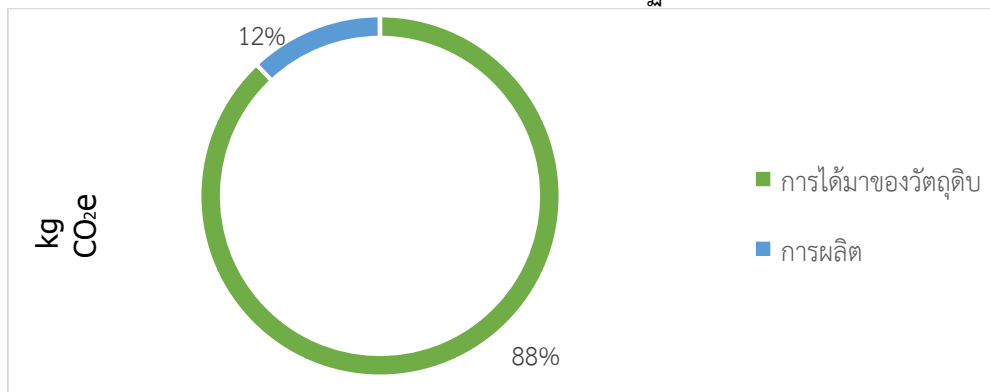
	รายการ	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์ kgCO ₂ eq/Kg	สัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือน กระจก (%)
1)	พลังงานไฟฟ้าในการผลิต	12.60	66.35
2)	ก๊าซธรรมชาติ	2.37	12.47
3)	ไอน้ำ	1.70	8.97
4)	NITROGEN	1.00	5.26
5)	ลวดเชื่อม	0.88	4.63
6)	Lubricant	0.22	1.16
7)	THINNER	0.06	0.30
8)	Stamping oil	0.04	0.21
9)	Varnish	0.03	0.15
10)	Flux	0.02	0.09
11)	Cleaner A	0.04	0.07
12)	สีฟัน	0.01	0.06
13)	Coolant	0.01	0.03
14)	Oil FN	0.01	0.03
15)	Cleaner B	0.01	0.02
16)	Cleaner C	0.00	0.00
17)	น้ำจากกระบวนการผลิต/ล้างวัตถุดิบ	0.00	0.00
18)	บำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต	0.00	0.00
	ผลรวม	18.97	100.00

จากตารางที่ 7 แสดงการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากขั้นตอนการผลิต พบว่า มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งกระบวนการผลิตตามขอบเขตการศึกษา เท่ากับ 18.99 kgCO₂e โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต มีการปล่อยก๊าซเรือน

กระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 66.35 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตทั้งหมด รองลงมาเป็นก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 12.47 และไอน้ำ ร้อยละ 8.97 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละวัฏจักรของผลิตภัณฑ์คอมเพรสเซอร์



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละวัฏจักรของผลิตภัณฑ์คอมเพรสเซอร์

จากภาพที่ 2 และภาพที่ 3 แสดงผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามวัฏจักรชีวิต พบว่าช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 137.72 kgCO₂e และการขนส่งในช่วงของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1.56 kgCO₂e ดังนั้นในช่วงของการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 139.28 kgCO₂e หรือคิดเป็น 88% ของวัฏชีวิตของผลิตภัณฑ์คอมเพรสเซอร์ในการประเมินแบบ B2B และในช่วงวัฏจักรชีวิตของการผลิตคอมเพรสเซอร์ มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 18.97 kgCO₂e และการขนส่งในช่วงของการผลิต มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 0.02 kgCO₂e ดังนั้นในช่วงของการผลิตมีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 18.99

kgCO₂e หรือคิดเป็น 12% ของวัฏชีวิตของผลิตภัณฑ์คอมเพรสเซอร์ในการประเมินแบบ B2B และเมื่อรวมปริมาณการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของทั้ง 2 ช่วงวัฏจักรชีวิต จะมีปริมาณการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 158 KgCO₂e

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยพบว่าการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์คอมเพรสเซอร์ มีแหล่งการปล่อยมาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบเป็นหลักซึ่งจากการประเมินพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก(Emission Factor) ที่ติดมากับวัตถุดิบนั้นมีสัดส่วนการปลดปล่อยที่สูงเมื่อเทียบกับการใช้พลังงาน การขนส่งและระบบบำบัดน้ำเสีย การใช้พลังงานในการผลิตเป็นปัจจัย

ที่รองลงมา ซึ่งปัจจัยทางด้านการขนส่งมีผลกระทบที่น้อยมากหรือเป็นเพียง 1% ของการปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแหล่งวัตถุดิบส่วนใหญ่อยู่ใน

พื้นที่ใกล้เคียงกับโรงงานผลิตคอมเพรสเซอร์ จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการขนส่งมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้ผลการวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงความสอดคล้องของงานวิจัย

ผู้วิจัย	เรื่อง	วัตถุประสงค์การวิจัย	ผลลัพธ์	ประเด็นความสอดคล้อง
พรหมทิพย์ แดงอ่อน (2557) ⁵	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน: กรณีศึกษาโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา	เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมให้ได้มากที่สุด	การได้มาซึ่งวัตถุดิบเป็นส่วนสำคัญในการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกถึง 87%	การได้มาซึ่งวัตถุดิบเป็นส่วนสำคัญในการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจก
สุพรรณิ มีสุข และ ดร.สุพรรณนิภา วัฒนะ(2565) ⁶	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เบียร์	เพื่อนำเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเบียร์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเบียร์	กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เป็นผลมาจาก การใช้วัตถุดิบในการบรรจุภัณฑ์ที่หลากหลาย และเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง	การได้มาซึ่งวัตถุดิบเป็นส่วนสำคัญในการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกและค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก(Emission Factor)ของวัตถุดิบนั้นมีสัดส่วนการปลดปล่อยที่สูง
กุลภรณ์ บุญชู และคณะ(2565) ⁷	การปรับปรุงเส้นทางการเดินรถ เพื่อสนับสนุนแนวคิด Green Logistics: กรณีศึกษา บริษัท ABC จำกัด	เพื่อปรับปรุงการจัดเส้นทางการขนส่งที่สามารถลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์	การทำให้กิจกรรมการขนส่งมีระยะทางที่สั้นที่สุดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ทำให้มีการใช้น้ำมันดีเซลลดลงตามระยะทางที่ลดลงไปด้วย	ระยะทางที่สั้นส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการศึกษา

จากการผลการศึกษาพบว่ากระบวนการที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเป็นกระบวนการ การได้มาซึ่งวัตถุดิบดังนั้นจึงเสนอแนะให้มีการพิจารณาตั้งแต่การออกแบบ การเลือกใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าหรือค่าการนำความร้อนที่ดีกว่า เช่น Gallium nitride (GaN) หรือกราฟีน(Graphene) ฯลฯ มาเป็นวัสดุทดแทนเพื่อลดปริมาณการใช้ซิลิกอนในการผลิต เช่น แนวทางเลือกในงานวิจัยของคุณแมนมนัส ศรีแก้ว และสายันต์ แสงสุวรรณ (2563)⁸ วัสดุหัตถ์จรรยแกรฟีน : กลยุทธ์การสังเคราะห์ สมบัติ การพัฒนาการพิสูจน์เอกลักษณ์ และการประยุกต์ใช้ ได้กล่าวถึงวิธีการสังเคราะห์ในรูปแบบต่างๆจนถึงการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งจากคุณสมบัติของแกรฟีนที่กล่าวไว้ในเอกสารจะสามารถใช้แทนซิลิกอน และมีข้อดีที่เหนือกว่าทั้งในด้านความเร็ว การเกิดความร้อนต่ำ การระบายความร้อนที่ดีกว่าและยังกินไฟน้อยกว่า

นอกจากนั้นแล้วการลดการใช้พลังงานยังคงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยลดการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ โดยการใช้มาตรการในการตรวจสอบและบำรุงรักษา เป็นอีกแนวทางเลือกที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุนในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน แต่สามารถลดอัตราส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต และค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดลงได้⁹

2. ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งถัดไป

เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ครอบคลุมไปถึงการขนส่งผลิตภัณฑ์คอมเพรสเซอร์ไปยังโรงงานผู้ผลิตเครื่องทำความเย็น การใช้งาน และวิธีการกำจัดซากที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถต่อยอดการวิจัยเพื่อให้เป็นข้อมูลจนครบวงจรชีวิต (LCA) และการเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกกับโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณ เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์แก่ผู้ที่สนใจ

เอกสารอ้างอิง

1. กลุ่มงานวิเคราะห์และพัฒนาเทคโนโลยี สำนักงานประสานการจัดการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.(2558).บทสรุปรายงาน IPCC ฉบับที่ 5 สำหรับผู้กำหนดนโยบาย. บริษัท ไทภูมิ พับลิชชิง จำกัด: นนทบุรี.
2. อนุธิดา ประเสริฐศักดิ์. (2556). ภาษีคาร์บอน : ความรับผิดชอบต่อธุรกิจต่อการลดภาวะโลกร้อน.วารสาร มหาวิทยาลัยคริสเตียน. 19(1): 16-29
3. อรุณลักษณ์ จิรธนภิญโญ. (2562). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับบทบาทการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคผลิตไฟฟ้าของไทย. วารสาร สิ่งแวดล้อม, ปีที่ 23 (1).
4. สุปวีณ์ กรดเสื่อ. (2562). มาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน.วารสารนิติ รัฐกิจ และสังคมศาสตร์. 3(1): 1-16
5. พรหมทิพย์ แดงอ่อน. (2557). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน : กรณีศึกษาโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
6. สุพรรณิ มีสุขและดร.สุพรรณนิภา วัฒนะ. (2565). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เบียร์. ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 23 25 มีนาคม 2565. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 213-225.
7. กุลภรณ์ บุญชู, ชนกกานต์ พิงชาติ, ฐปนก วงศ์ศิริและณัฐฐา นาคศิริ. (2565).การปรับปรุงเส้นทางการเดินรถเพื่อสนับสนุนแนวคิด Green Logistics: กรณีศึกษา บริษัท ABC จำกัด.วารสารวิชาการวิทยาการจัดการ Journal of Management Sciences มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 1(1): 22-40
8. แมนมนัส ศรีแก้ว และสายันต์ แสงสุวรรณ. (2563). วัสดุหัตถ์จรรยแกรฟีน : กลยุทธ์การสังเคราะห์ สมบัติการพัฒนา.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 22(2): 39-49
9. สุธน พัทธกิจ. (2550). การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา บริษัท อีพีอี แพคเกจจิง (ประเทศไทย) จำกัด. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.