วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา
Engineering Journal of Research and Development
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage
ปีที่ 36 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2568
Volume 36 Issue 4 October-December 2025
Received 6 September 2025
Revised 15 October 2025
Accepted 30 December 2025

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและการนำเสนอวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า

ASSESSMENT OF ORGANIZATIONAL CARBON FOOTPRINT AND STRATEGIES FOR REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS: A CASE STUDY OF AN ELECTRICAL APPLIANCE FACTORY

อิทธิกร ปิยะมงคล[1*] เมธาวี นุกูลอุดมพานิชย์[2] สิทธิพร พิมพ์สกุล[3]
[1*]นักศึกษาปริญญาโท, [2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, [3]รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[*]Corresponding author, E-Mail: 67016112@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และหาปริมาณการใช้พลังงานจากกิจกรรมภายในองค์กร ในปี พ.ศ. 2567 และนำเสนอโครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอ้างอิงระเบียบวิธีการจากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานประเทศไทย (T-VER) กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 20,199.56 tonCO_2 eq/year หรือ 0.0079 tonCO_2 eq/unit และมีปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดเท่ากับ 26,502,490.69 MJ หรือ 10.41 MJ/unit โดยกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ 1) การใช้เคมีภัณฑ์เม็ดพลาสติก หมวดหมู่ที่ 1 ในขอบเขตที่ 3, 2) กระบวนการฉีดพลาสติก หมวดหมู่ที่ 10 ในขอบเขตที่ 3 และ 3) การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำเข้าจากภายนอก ในขอบเขตที่ 2 โดยมีปริมาณเท่ากับ 8,683.34, 5,036.64 และ 2,499.48 tonCO_2 eq/year ตามลำดับ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพจำนวน 4 โครงการ ได้แก่ 1) การคัดแยกและนำกลับคืนพลาสติกจากขยะ 2) การลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เป็นชิ้นส่วนพลาสติก 3) การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกองค์กร และ 4) การเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน ซึ่งทั้ง 4 โครงการสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้ 5,535,169.20 MJ หรือลดลงเหลือ 8.23 MJ/unit และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1,766.70 tonCO_2 eq/year หรือลดลงเหลือ 0.0072 tonCO_2 eq/unit

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร; ก๊าซเรือนกระจก; คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า; การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต

ABSTRACT

This research aims to quantify the greenhouse gas emissions in accordance with the guidelines of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) and to assess the energy consumption from organizational activities in 2024. Furthermore, the study proposes greenhouse gas mitigation projects based on the methodology of the Thailand Voluntary Emission Reduction Program (T-VER). The case study is conducted in an electrical appliance manufacturing factory. The result

Itthikorn Piyamongkol[1*], Methawee Nukunudompanich[2], Sittiporn Pimsakul[3]
[1*]Graduate Student, [2]Assistant Professor, [3]Associate Professor
Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

revealed that the total greenhouse gas emission was 20,199.56 tonCO_2 eq./year or 0.0079 tonCO_2 eq/unit, while the total energy consumption was 26,502,490.69 MJ, or 10.41 MJ/unit. The largest sources of greenhouse gas emissions are: 1) Using plastic resin in category 1 from scope 3, 2) Plastic injection molding process in category 10 from scope 3 and 3) Electricity consumptions from scope 2 were discovered at 8,683.34, 5 ,036.64 and 2,499.48 tonCO_2 eq/year, respectively. Therefore, the researcher proposes four potential projects to reduce greenhouse gas emissions, namely: 1) Recovery and recycling of plastic from plastic solid waste, 2) Weight reduction of plastic components in products, 3) Use of renewable energy from solar rooftop and 4) Energy efficiency improvement for lightings. All four projects can reduce energy consumption 5,535,169.20 MJ, corresponding to 8.23 MJ/unit, and decrease greenhouse gas emissions 1,766.70 tonCO_2 eq/year, corresponding to 0 . 0 0 7 2 tonCO_2 eq/unit.

KEYWORDS: Carbon footprint of organization; Greenhouse gas (GHG); CO_2 equivalent; Specific energy consumption (SEC)

1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ นับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น สาเหตุหลักคือก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่องทั้งภาคการใช้พลังงาน การพัฒนาและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม และภาคการขนส่ง [1] ผลกระทบดังกล่าวทำให้หลายประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญในการป้องกันและควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงเป็นที่มาของแนวคิดในการจัดทำ “คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร” ซึ่งเป็นวิธีการในการแสดงข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับองค์กรทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวัดออกมาในรูป “ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tonCO_2 eq)” [2] ประเทศไทยได้กำหนดนโยบาย 1) ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 40% ภายในปี พ.ศ. 2573 2) มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี พ.ศ. 2593 และ 3) ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2608 ในข้อตกลงระหว่างประเทศตามกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) ที่เกิดจากความพยายามของประชาคมโลกในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและมีผลบังคับใช้ในปี พ.ศ. 2537 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาความเข้มข้นของระดับก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศให้คงที่และไม่มีผลกระทบต่อการผลิตอาหารและการพัฒนาที่ยั่งยืน [3]

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นการดำเนินการมุ่งเน้นไปที่ภาคส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเป็นลำดับแรกคือภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลจำพวก ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติในการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อน การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลดังกล่าวทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ นอกจากนี้ยังมีของเสียหรือน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือก๊าซมีเทน (CH_4) ที่มีระดับศักยภาพที่ทำให้โลกร้อนขึ้นสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย โดยมีวิธีลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วย การใช้พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานที่ใช้ทดแทน การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการจัดการขยะ [4]

โรงงานอุตสาหกรรมได้มีการศึกษาวิจัยการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร การประเมินการใช้พลังงาน และการนำเสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น จิราวรรณ ฤกษ์ประกอบ (2563) [5] การประเมินการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน การประเมินตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เก็บข้อมูลในปี พ.ศ. 2562 ผลการศึกษาพบว่ามีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น

39,079 $tonCO_2$ eq/year โดยขอบเขตที่ 2 มีปริมาณมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 88 โดยแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพคือการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 7,136 $tonCO_2$ eq/year

นวพร เหลืองยวง (2565) [6] ศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องดื่ม ตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เก็บข้อมูลในปี พ.ศ. 2563 ผลการศึกษาพบว่ามีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 221,380 $tonCO_2$ eq/year โดยขอบเขตที่ 3 มีปริมาณมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 83 จากกิจกรรมการใช้บรรจุภัณฑ์ขวดแก้วมากที่สุด จึงนำเสนอวิธีการลดโดยหันมาใช้การรีไซเคิลขวดแก้วเก่า

วารุณี คือเระ (2566) [7] ทำการวิจัยเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานผลิตเครื่องดื่ม การประเมินตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เก็บข้อมูลในปี พ.ศ. 2563 ผลการศึกษาพบว่ามีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 61,300 $tonCO_2$ eq/year โดยขอบเขตที่ 3 มีปริมาณมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 72 มาจากกิจกรรมการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกมากที่สุด ซึ่งแนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดคือ การลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ และการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกรีไซเคิล

ปภาวรินท์ ทรงพัฒนาศิลป์ (2567) [8] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรและการลดก๊าซเรือนกระจกภายใต้โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางคอมพาวด์ การประเมินตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เก็บข้อมูลในปี พ.ศ. 2566 ผลการศึกษาพบว่ามีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 41,675 $tonCO_2$ eq/year โดยขอบเขตที่ 3 มีปริมาณมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 78 ซึ่งการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิลและการติดตั้งระบบพลังงานหมุนเวียนจากแสงอาทิตย์บนหลังคา สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 769 และ 419 $tonCO_2$ eq/year ตามลำดับ

Dormer et al. (2013) [9] ศึกษาการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตพลาสติก ผลการศึกษาพบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การบรรจุ การขนส่ง ตลอดจนการกำจัดซากของถาดโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต 1 กก. ที่มีวัสดุรีไซเคิล 85% คือ 1.538 $tonCO_2$ eq ซึ่งแต่ละขั้นตอนเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 45%, 38%, 5%, 3% และ 9% ตามลำดับ โดยการผลิตพลาสติกจากพลาสติกรีไซเคิล 100% จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 24% และการลดน้ำหนักของถาดที่ 20% ช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ 18%

Meyers et al. (2016) [10] ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมาตรการปรับปรุงโรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่มสำหรับหกประเทศในสหภาพยุโรปพบว่า มาตรการที่เหมาะสมที่สุดคือการประหยัดพลังงานโดยใช้พลังงานทดแทนเนื่องจากระยะเวลาคืนทุนต่ำและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูง เช่น พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ช่วยประหยัดพลังงานได้ 45% และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 30% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทและขนาดของบริษัท และรูปแบบที่เลือกใช้

ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ามามีบทบาทต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์เป็นอย่างมากในการอำนวยความสะดวกต่างๆ และในประเทศไทย อุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้ามีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทยตลอดหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากช่วยสร้างรายได้จากการส่งออกและการจ้างงานเป็นจำนวนมากทั้งจากผู้ผลิตในประเทศและการเป็นฐานการผลิตของบริษัทต่างชาติ และจากแนวโน้มรักษ์โลก ผู้บริโภคในปัจจุบันให้ความสำคัญและใส่ใจกับปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้นส่งผลให้ภาคธุรกิจจำเป็นต้องมีการปรับตัวและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น [11] บริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้ากรณีศึกษาได้ตระหนักถึงปัญหาภาวะโลกร้อนและมุ่งมั่นพัฒนาระบบการจัดการด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตลอดจนลดผลกระทบกับชุมชนรอบข้างจึงทำการประเมินและหามาตรการในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร ซึ่งหากองค์กรไม่ดำเนินการจะมีแนวโน้มถูกกีดกันทางการค้าและเสียผลประโยชน์ทางการแข่งกัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานจากกิจกรรมภายในองค์กร ในปี พ.ศ. 2567 และนำเสนอโครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยจะช่วยให้สามารถทราบแหล่งกำเนิดและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมภายในองค์กร จากข้อมูลข้างต้นสามารถเสนอแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป อีกทั้งความสัมพันธ์ของการลดก๊าซเรือนกระจกกับองค์กรมีผลทำให้การบริหารจัดการเรื่องการเงินดีขึ้น เนื่องจากสามารถสร้างภาพลักษณ์ที่ดีและสามารถสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันให้กับองค์กร [12]

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและการนำเสนอโครงการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. [13] มาใช้ในการดำเนินการวิจัย โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การกำหนดขอบเขต

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการรวบรวมแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉพาะในส่วนความรับผิดชอบและการดำเนินธุรกิจของบริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้ากรณีศึกษาเท่านั้น โดยมีรายละเอียดขอบเขตขององค์กรดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขอบเขตขององค์กรในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล	วันที่ 1 มกราคม 2567 ถึง 31 ธันวาคม 2567 เป็นปีแรก (ปีฐาน)
พื้นที่ครอบคลุม	อาคารโรงงานและสำนักงาน อาคารโรงงานย่อย อาคารเก็บวัสดุและชิ้นส่วน อาคารสาธารณูปโภค โรงเก็บเศษวัสดุ โรงอาหาร โรงผลิตน้ำประปา โรงขยะ ที่จอดรถ บ่อเก็บน้ำดิบ และถนนรอบโรงงาน
จำนวนพื้นที่	53 ไร่
กำลังเครื่องจักรในโรงงาน	4,303.32 แรงม้า
จำนวนพนักงาน	553 คน
ผลผลิต	2,545,987 เครื่อง
จำนวนวันทำงาน	6 วันต่อสัปดาห์ รวมทำงาน 298 วัน
ชั่วโมงการทำงาน	8 ชั่วโมงต่อวัน แบ่งเป็น 2 กะ กะเช้า 08.00 - 17.00 น. และ กะดึก 20.00 - 05.00 น.

2.2 การเก็บข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลของกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สัมพันธ์กับการดำเนินงานขององค์กร ตามขอบเขตที่กำหนดโดยแบ่งเป็น 3 ขอบเขต ดังนี้

ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง ได้แก่ การเผาไหม้อยู่กับที่ การเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ จากกระบวนการผลิต จากการรั่วไหล และจากชีวมวล (ดินและป่าไม้)

ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำเข้าจากภายนอกมาใช้งานภายในองค์กร และพลังงานนำเข้าอื่นๆ จากภายนอกมาใช้งานภายในองค์กร เช่น ไอน้ำ ความร้อน ความเย็น และอากาศอัด

ขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ มี 15 หมวดหมู่ นอกเหนือจากที่ระบุในขอบเขตที่ 1 และ 2

2.3 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas, GHG) ที่เกิดขึ้นในองค์กรแสดงผลในรูป “ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($tonCO_2$ eq)” คำนวณได้จากผลคูณระหว่างกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Activity data) ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission Factor, EF)] และค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ดังสมการที่ 1

$$GHG = Activity\ data \times EF \times GWP \quad (1)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF) ถูกนำมาจากฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติของ อบก. ประจำปี 2566 [14,15] และค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) นำมาจากรายงานการประเมินฉบับที่ 5 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC AR5) [16]

2.4 ตารางรายการการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รายการแสดงรายละเอียดข้อมูลกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในองค์กร ในปี 2567 และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งเปรียบเทียบสัดส่วนของปริมาณ แบ่งเป็นขอบเขตที่ 1, 2 และ 3 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 บัญชีรายการปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในแต่ละกิจกรรม

กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($tonCO_2$ eq/Year)	สัดส่วนเปรียบเทียบภายในขอบเขต	สัดส่วนเปรียบเทียบขอบเขต 1, 2, 3
<u>ขอบเขตที่ 1</u> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร			
1.1) การเผาไหม้ที่อยู่กับที่			
- การใช้น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดับเพลิง	1.49	0.30	0.01
- การใช้น้ำมันเบนซินในเครื่องตัดหญ้าสำหรับคนตัด	0.15	0.001	0.001
- การใช้ก๊าซ LPG สำหรับเตาอบและเครื่องเชื่อมท่อทองแดง	270.25	54.01	1.34
1.2) การเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่			
- การใช้น้ำมันเบนซินในรถยนต์บริษัท	5.31	1.06	0.03
- การใช้ก๊าซ LPG ในรถโฟร์คลิฟท์	27.45	5.49	0.14
1.3) การรั่วไหล			
- การรั่วไหลของสารทำความเย็น			
เครื่องปรับอากาศและเครื่องชิลเลอร์ (R22)	128.48	25.68	0.64
เครื่องปรับอากาศ (R32)	3.47	0.69	0.02
ตู้เย็นและตู้น้ำเย็น (R134a)	0.01	0.002	0.00004
- กระบวนการบำบัดน้ำเสีย			
ถังบำบัดน้ำเสีย (Septic tank)	63.67	12.73	0.32
1.4) ชีวมวล (ดินและป่าไม้) องค์กรไม่มีกิจกรรมนี้			
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขอบเขตที่ 1	**500.36**	**100.00**	**2.48**

ตารางที่ 2 บัญชีรายการปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในแต่ละกิจกรรม (ต่อ)

กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($tonCO_2$ eq/Year)	สัดส่วนเปรียบเทียบภายในขอบเขต	สัดส่วนเปรียบเทียบทั้งขอบเขต 1, 2, 3
ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน			
- การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำเข้าจากภายนอก	2,499.48	100.00	12.37
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขอบเขตที่ 2	**2,499.48**	**100.00**	**12.37**
ขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ			
หมวดหมู่ที่ 1 การซื้อวัตถุดิบ และบริการ			
- การใช้น้ำประปา			
การประปาส่วนภูมิภาค	1.12	0.01	0.01
โรงงานผลิตใช้เองภายใน	16.12	0.09	0.08
- การใช้วัสดุสำนักงาน			
กระดาษขาวขนาด A3-A6 และกระดาษทิชชู่	6.28	0.04	0.03
หมึกพิมพ์	0.17	0.001	0.001
- การใช้เคมีภัณฑ์			
เม็ดพลาสติก Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	1,676.09	9.74	8.30
เม็ดพลาสติก Polypropylene (PP)	4,468.38	25.98	22.12
เม็ดพลาสติก Styrene Acrylonitrile (SAN)	2,208.62	12.84	10.93
เม็ดพลาสติก Polycarbonate (PC)	330.25	1.92	1.63
ซิลิโคน	5.03	0.03	0.02
แอลกอฮอล์	0.32	0.002	0.002
กรดซัลฟิวริก	0.25	0.001	0.001
คลอรีน	0.55	0.003	0.003
ยูเรีย	1.48	0.01	0.01
- การใช้สารทำความเย็นสำหรับผลิตตู้น้ำเย็น (R134a)	95.58	0.56	0.47
- การใช้วัสดุในการซ่อมบำรุง น้ำมันหล่อลื่น	0.79	0.05	0.04
- เยื่อและกระดาษ กระดาษคราฟท์	1,513.88	8.80	7.49
- การใช้โลหะเหล็ก			
ท่อเหล็กแบนดำ	2.22	0.01	0.01
เหล็กฉาก	0.30	0.002	0.001
ท่อเหล็กเคลือบสังกะสี	0.48	0.003	0.002
เหล็กเส้นกลม	0.30	0.002	0.001
เหล็กแผ่นดำ	0.09	0.001	0.0004
เหล็กแบนตัด	2.98	0.02	0.01
- อื่น ๆ เพิ่มเติม			
ถุงมือผ้าฝ้าย	1.72	0.01	0.01

ตารางที่ 2 บัญชีรายการปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในแต่ละกิจกรรม (ต่อ)

กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($tonCO_2eq/Year$)	สัดส่วนเปรียบเทียบภายในขอบเขต	สัดส่วนเปรียบเทียบทั้งขอบเขต 1, 2, 3
ทินเนอร์	2.72	0.02	0.01
สติกเกอร์ปิดกล่อง	6.36	0.04	0.003
แผ่นวงจรพิมพ์	139.22	0.81	0.69
<u>หมวดหมู่ที่ 2</u> สินค้าประเภททุน องค์กรไม่มีการซื้อเครื่องจักรและสินค้าทุนในปีการประเมิน			
<u>หมวดหมู่ที่ 3</u> กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงและพลังงาน			
- การสูญเสียจากระบบสายส่ง และการจ่ายกำลังไฟ	493.50	2.87	2.44
- ก๊าซหุงต้ม การได้มาของก๊าซ LPG	112.91	0.66	0.56
- กลุ่มพลังงานเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง			
การใช้น้ำมันดีเซล	0.19	0.001	0.001
การใช้น้ำมันเบนซิน	0.99	0.01	0.005
<u>หมวดหมู่ที่ 4</u> การขนส่ง และกระจายสินค้าต้นน้ำ			
- รถตู้บรรทุก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 0% Loading	3.51	0.02	0.02
- รถตู้บรรทุก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 100% Loading	6.19	0.04	0.03
- รถตู้บรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่ วิ่งปกติ 0% Loading	2.74	0.02	0.01
- รถตู้บรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่ วิ่งปกติ 100% Loading	0.88	0.01	0.004
- รถตู้บรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 0% Loading	20.26	0.12	0.10
- รถตู้บรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading	18.97	0.11	0.09
- รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 0% Loading	13.45	0.08	0.07
- รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading	19.44	0.11	0.10
- รถตู้บรรทุกพ่วง 18 ล้อ วิ่งปกติ 0% Loading	8.89	0.05	0.04
- รถตู้บรรทุกพ่วง 18 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading	8.22	0.05	0.04
<u>หมวดหมู่ที่ 5</u> การกำจัดของเสียที่เกิดจากการดำเนินกิจกรรมขององค์กร			
- ฝังกลบขยะมูลฝอย	508.43	2.96	2.52
- ฝังกลบและเผาทำลายในเตาเผาเฉพาะของเสียอันตราย	5.35	0.03	0.03
- การจัดการของเสีย			
รถบรรทุกขยะ 6 ล้อ วิ่งปกติ 0% Loading	2.20	0.01	0.01
รถบรรทุกขยะ 6 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading	0.55	0.003	0.003
รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 0% Loading	0.13	0.001	0.001
รถกระบะบรรทุก10 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading	0.08	0.001	0.001
<u>หมวดหมู่ที่ 6</u> การเดินทางเพื่อธุรกิจ ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลในการประเมิน			
<u>หมวดหมู่ที่ 7</u> การเดินทางของพนักงาน			
- การใช้น้ำมันเบนซินในรถส่วนตัว	388.50	2.26	1.92
- การใช้น้ำมันดีเซลในรถบัสรับส่งและรถส่วนตัว	66.60	0.39	0.33

ตารางที่ 2 บัญชีรายการปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในแต่ละกิจกรรม (ต่อ)

กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($tonCO_2$ eq/Year)	สัดส่วนเปรียบเทียบภายในขอบเขต	สัดส่วนเปรียบเทียบทั้งขอบเขต 1, 2, 3
<u>หมวดหมู่ที่ 8</u> การใช้สินทรัพย์ที่เช่า			
- เครื่องถ่ายเอกสาร รายงานรวมอยู่ในขอบเขต 1 และ 2 เนื่องจากเป็นสัญญาเช่าดำเนินการ			
<u>หมวดหมู่ที่ 9</u> การขนส่ง และกระจายสินค้า			
- องค์กรขนส่งสินค้าสำเร็จรูปไปยังคลังสินค้าผู้ขาย โดยใช้การลำเลียงผ่านระบบ Conveyor โดยใช้พลังงานไฟฟ้า			
<u>หมวดหมู่ที่ 10</u> การแปรรูปสินค้าที่องค์กรจำหน่าย			
- กระบวนการฉีดพลาสติก	5,036.64	29.28	24.93
<u>หมวดหมู่ที่ 11</u> การใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่องค์กรจำหน่าย ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลในการประเมิน			
<u>หมวดหมู่ที่ 12</u> การกำจัดซากผลิตภัณฑ์ที่องค์กรจำหน่าย องค์กรไม่มีนโยบายในการรับกำจัดซากของผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย			
<u>หมวดหมู่ที่ 13</u> การปล่อยเช่าสินทรัพย์ขององค์กร			
- ตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ รายงานรวมอยู่ในขอบเขต 1 และ 2 โดยองค์กรเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า			
<u>หมวดหมู่ที่ 14</u> แฟรนไชส์ องค์กรไม่มีกิจกรรมนี้			
<u>หมวดหมู่ที่ 15</u> การลงทุน องค์กรไม่มีการถือหุ้นบริษัทอื่น			
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขอบเขตที่ 3	**17,199.72**	**100.00**	**85.15**
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	**20,199.56**	**100.00**	
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลผลิต (ปี 2567 มีผลผลิตทั้งหมดจำนวน 2,546,323 หน่วย)	**0.0079 $tonCO_2$ eq/unit**		

2.5 การประเมินการใช้พลังงาน

พลังงานมีความจำเป็นและมีความสำคัญในการผลิตของทุกโรงงานอุตสาหกรรม การประเมินการใช้พลังงานจะทำให้องค์กรได้ทราบถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การพัฒนาในการลดต้นทุนและควบคุมปริมาณการใช้พลังงาน ค่าการใช้พลังงานจึงมีประโยชน์อย่างมากที่จะทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต โดยคำนวณจากปริมาณการใช้พลังงานเทียบกับปริมาณผลผลิตในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 1 เดือน หรือ 1 ปี ดังแสดงในสมการที่ 2

SEC (MJ/unit) = Energy input (MJ or kWh) / Product output (unit) (2)

โดยที่ Specific Energy Consumption (SEC) การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต คือ ผลรวมของพลังงานที่ใช้โดยคิดจากพลังงานสุทธิ และ Product Output คือ ผลรวมของปริมาณผลผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน หากต้องการหาค่า SEC รวม ต้องแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปเมะจูล (MJ) คูณด้วย 3.6 [17] การใช้พลังงานไฟฟ้ามาจากการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้า ส่วนการใช้พลังงานความร้อนมาจากการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการทำงานของเตาอบ สามารถนำมาคำนวณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้พลังงาน ปี พ.ศ. 2567

เดือน	ปริมาณผลผลิต (unit)	ปริมาณพลังงานที่ใช้			การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (SEC) (MJ/unit)
		พลังงานไฟฟ้า (kWh)	พลังงานความร้อน (MJ)	พลังงานรวม (MJ)	
มกราคม	195,062	463,180	331,718.92	1,999,166.92	10.25
กุมภาพันธ์	203,799	512,288	342,920.21	2,187,157.01	10.73
มีนาคม	227,256	548,994	326,344.31	2,302,722.71	10.13
เมษายน	214,201	521,848	334,431.34	2,213,084.14	10.33
พฤษภาคม	229,242	555,509	657,058.63	2,656,891.03	11.59
มิถุนายน	228,934	546,569	351,258.39	2,318,906.79	10.13
กรกฎาคม	226,125	546,954	349,550.57	2,318,584.97	10.25
สิงหาคม	213,630	508,838	352,614.60	2,184,431.40	10.23
กันยายน	203,256	489,560	323,481.20	2,085,897.20	10.26
ตุลาคม	201,028	486,960	356,080.47	2,109,136.47	10.49
พฤศจิกายน	203,116	474,880	349,048.27	2,058,616.27	10.14
ธันวาคม	200,674	495,080	285,607.78	2,067,895.78	10.30
รวม	**2,546,323**	**6,150,660**	**4,360,114.69**	**26,502,490.69**	
ค่าเฉลี่ย	**212,193**	**512,555**	**363,342.89**	**2,208,540.89**	**10.41**

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

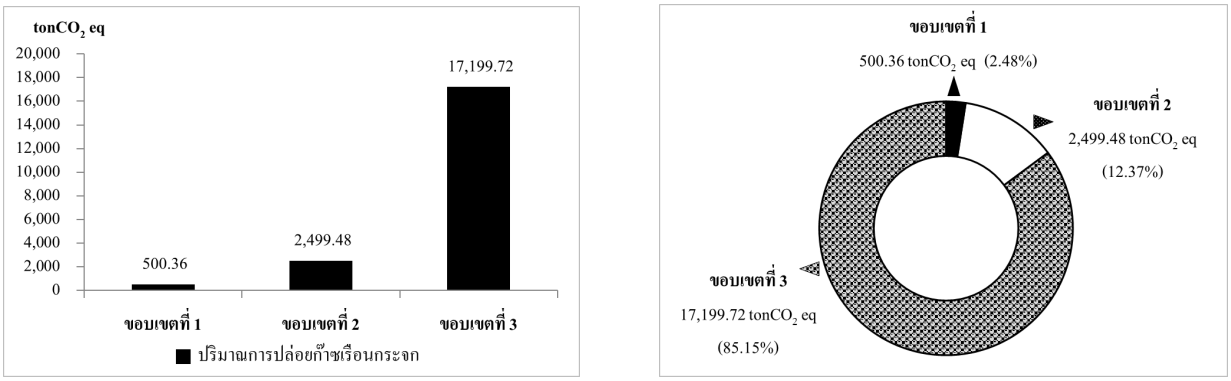
1) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยคำนวณเป็นค่าร้อยละและค่าเฉลี่ย

2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยอธิบายและจัดหมวดหมู่ของข้อมูล

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายขอบเขต

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่าองค์กรมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 20,199.56 $tonCO_2$ eq/year ขอบเขตที่ 1 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 500.36 $tonCO_2$ eq/year คิดเป็นร้อยละ 2.48 มีกิจกรรมการใช้ก๊าซ LPG สำหรับเตาอบและเครื่องเชื่อมท่อทองแดง ในกลุ่มการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 270 $tonCO_2$ eq/year ขอบเขตที่ 2 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2,499.48 $tonCO_2$ eq/year คิดเป็นร้อยละ 12.37 จากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำเข้าจากภายนอกองค์กร และขอบเขตที่ 3 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 17,199.72 $tonCO_2$ eq/year คิดเป็นร้อยละ 85.15 มีกิจกรรมการใช้เม็ดพลาสติกในกลุ่มเคมีภัณฑ์ ของหมวดหมู่ที่ 1 การซื้อวัตถุดิบ และบริการ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 8,683.34 $tonCO_2$ eq/year โดยการเปรียบเทียบการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังรูปที่ 1



(ก) การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ข) การเปรียบเทียบสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

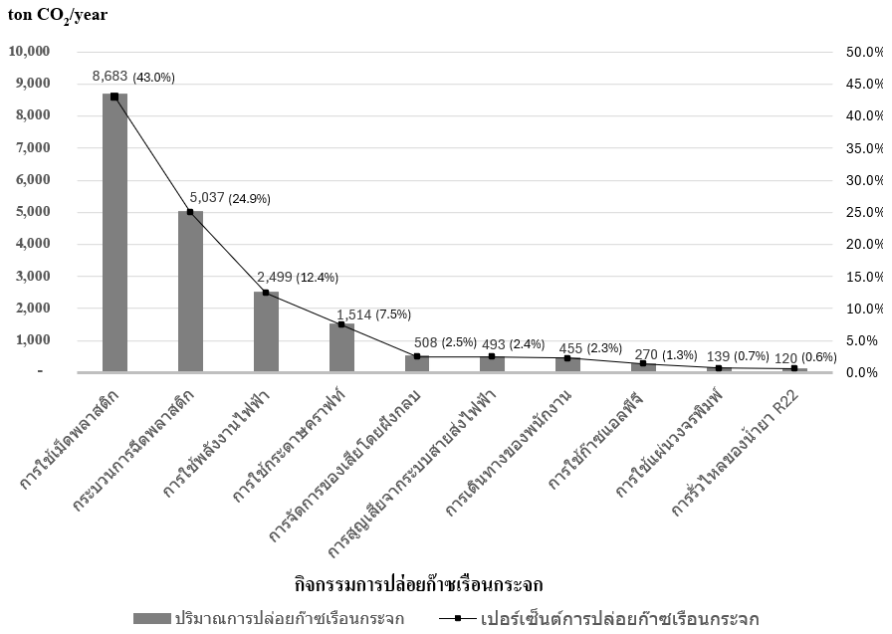
รูปที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขอบเขตที่ 1, 2 และ 3

3.2 การคำนวณหาค่าการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 3 ทำให้ทราบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตมีค่าเท่ากับ 10.41 เมกะจูล/หน่วย จากปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 212,193 หน่วย/เดือน ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย 512,555 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/เดือน และปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้เฉลี่ย 363,342 เมกะจูล/เดือน สำหรับเป็นข้อมูลใช้ในปีฐานและทำให้องค์กรได้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การลดต้นทุนและควบคุมปริมาณการใช้พลังงาน

3.3 มาตรการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรพบว่า กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดจากการจัดอันดับความสำคัญของปัญหามากไปหาน้อยที่ได้จากแผนภูมิพาเรโต ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมจากมากไปหาน้อย

ดังนั้นการคัดเลือกโครงการในการนำเสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นการเลือกมาจากกิจกรรมที่มีการปล่อยมากที่สุด 3 อันดับแรก ผู้วิจัยจึงเลือกมาตรการจำนวน 4 โครงการ โดยอ้างอิงระเบียบวิธีการจากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) ที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกพัฒนาขึ้น และมีพื้นฐานมาจากระเบียบของกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) ซึ่งเป็นกลไกการลดก๊าซเรือนกระจกภายใต้พิธีสารเกียวโตที่เป็นระเบียบวิธีการคำนวณที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในระดับสากล [18] และจากการทบทวนวรรณกรรม โดยมีรายละเอียดมาตรการทั้ง 4 โครงการเรียงตามลำดับกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ดังนี้

3.3.1 โครงการที่ 1 การนำของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกมาบดเพื่อใช้เป็นเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (กิจกรรมการใช้เม็ดพลาสติก)

การคัดแยกและนำกลับคืนพลาสติกจากขยะตามระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ T-VER-S-METH-09-06 การจัดการและกำจัดของเสีย มีวัตถุประสงค์ลดการใช้พลังงานในการผลิตเม็ดพลาสติกจากวัตถุดิบตั้งต้น โดยนำกลับคืนพลาสติกที่เป็นของเสียระหว่างปรับตั้งค่าเครื่องจักร (Set up) และของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องของชิ้นงาน (Deflect) มีปริมาณทั้งสิ้น 114,787 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 3.23 ในปี 2567 มาบดเพื่อรีไซเคิลทดแทนการผลิตพลาสติกใหม่

1) การดำเนินโครงการจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 217.35 - 57.03 เท่ากับ 160.32 $tonCO_2$ eq/year และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น อาทิ Dormer et al. (2013) [9] พบว่าปริมาณการรีไซเคิลของวัตถุดิบมีผลอย่างมีนัยสาคัญต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีผลทำให้ลดลง 24% หากผลิตถาดจากวัสดุรีไซเคิล 100% เมื่อเทียบกับปัจจุบันที่ใช้ 85%

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (3)$$

ตารางที่ 4 ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการที่ 1

พารามิเตอร์	ความหมาย	ปริมาณ	หน่วย
BE_y	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y	217.3	$tonCO_2$ eq/year
PE_y	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการ ในปี y	57.0	$tonCO_2$ eq/year
LE_y	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ ในปี y	-	$tonCO_2$ eq/year
ER_y	**การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในปี y**	**160.3**	**$tonCO_2$ eq/year**

2) ค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการดำเนินโครงการจากการนำพลาสติกของเสียจากกระบวนการผลิตมาบดใช้เป็นเม็ดพลาสติกรีไซเคิลทดแทนการผลิตพลาสติกใหม่ ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง 4,120,332 - 860,900 เท่ากับ 3,259,432 บาทต่อปี

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการดำเนินงานของโครงการที่ 1

รายการเม็ดพลาสติกที่องค์กรใช้ในกระบวนการผลิต	**ปริมาณ** (kg/year)	**ราค** (Baht/kg)	**ค่าใช้จ่ายลดลง** (Baht/year)
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	10,486	58	608,210
Polypropylene (PP)	56,158	40	2,246,303
Styrene Acrylonitrile (SAN)	17,411	54	940,220
Polycarbonate (PC)	2,035	160	325,598
ปรับลดค่าขายพลาสติกบด	86,090	10	-860,900
ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการดำเนินโครงการ ในปี y			**3,259,432**
หมายเหตุ ราคาเม็ดพลาสติกในตลาดภายในประเทศ อ้างอิงที่มา https://www.varietyinterplast.com			

3.3.2 โครงการที่ 2 การลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เป็นชิ้นส่วนพลาสติก (กิจกรรมกระบวนการฉีดพลาสติก)

จากการศึกษาการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตพลาสติกของ Dorme et al. (2013) [9] พบว่าการลดน้ำหนักของพลาสติกลงร้อยละ 20 นั้นจะทำให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงร้อยละ18 และ วารุณี คือเระ (2566) [7] พบว่า หากสามารถลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ได้ร้อยละ 5 ต่อปี จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2,292 tonCO_2 eq/year ดังนั้นควรลดน้ำหนักของพลาสติกลงเท่าที่จะเป็นไปได้โดยไม่กระทบต่อความสมบูรณ์ทางโครงสร้างผลิตภัณฑ์ ซึ่งการลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เป็นชิ้นส่วนพลาสติกลงนั้นส่งผลให้ใช้ทรัพยากรน้อยลง และส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นกัน หากในโครงการสามารถลดน้ำหนักของชิ้นส่วนพลาสติกลงได้ร้อยละ 5 จะลดการใช้เม็ดพลาสติกและลดกระบวนการฉีดพลาสติกลงได้ 177,822 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้สามาถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 686.00 tonCO_2 eq/year (เทียบจากใน ปี พ.ศ.2567 มีการใช้เม็ดพลาสติกปริมาณ 3,556,446 กิโลกรัม)

3.3.3 โครงการที่ 3 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกองค์กร (กิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า)

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนตามระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ T-VER-S-METH-01-01 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคาร มีวัตถุประสงค์ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยติดตั้งแผงโซล่าร์เซลล์แบบ Monocrystalline ขนาด 640 วัตต์/แผง จำนวน 1,562 แผง ปริมาณการติดตั้งรวม 999.68 กิโลวัตต์ และประมาณการการผลิตไฟฟ้าจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม PVsyst เฉลี่ย 25 ปี เท่ากับ 1,252,098 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี ใช้เงินลงทุน 18,250,000 บาท

1) การดำเนินโครงการจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 749.5 - 0 เท่ากับ 749.5 tonCO_2 eq/year หรือคิดเป็น 0.75 tonCO_2eq/kw เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในแนวทางเดียวกัน อาทิเช่น ธนาพลตันติสัตยกุล และคณะ (2560) [19] การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงานจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารเรียนมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต กำลังการติดตั้งขนาด 2,140 กิโลวัตต์ สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 1,570 tonCO_2 eq/year หรือคิดเป็น 0.73 tonCO_2 eq/kw และงานวิจัยที่อ้างอิงระเบียบวิธีการจากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER) จิราวรรณ ฤกษ์ประกอบ (2563) [5] กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำขนาด 8,000 กิโลวัตต์ สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 6,375.04 tonCO_2 eq/year หรือคิดเป็น 0.80 tonCO_2 eq/kw ซึ่งอัตราลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกันตามแต่ละรูปแบบและสถานที่ติดตั้ง

ตารางที่ 6 ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการที่ 2

พารามิเตอร์	ความหมาย	ปริมาณ	หน่วย
BE_y	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y	749.5	$tonCO_2$ eq/year
PE_y	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการ ในปี y	-	$tonCO_2$ eq/year
LE_y	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ ในปี y	-	$tonCO_2$ eq/year
ER_y	**การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี y**	**749.5**	**$tonCO_2$ eq/year**
	การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลวัตต์การติดตั้ง (กำลังการติดตั้งรวม 999.68 กิโลวัตต์)	**0.75**	**tonCO2 eq/kw**

2) ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการดำเนินโครงการจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกองค์กรมาใช้ลดลงเท่ากับ 4,207,049 บาทต่อปี โดยคิดปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตเพื่อใช้เองจากการดำเนินโครงการ 1,252,098 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คูณกับอัตราค่าไฟฟ้า 4.3 บาทต่อหน่วย (ค่าเฉลี่ย 12 เดือน)

ตารางที่ 7 ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการดำเนินโครงการของโครงการที่ 2

พารามิเตอร์	ความหมาย/รายการ	ปริมาณ	หน่วย
$EG_{Consumer,PJ,y}$	ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตเพื่อใช้เองจากการดำเนินโครงการพลังงานหมุนเวียน ในปี y	1,252,098	kWh/year
	อัตราค่าไฟฟ้า	4.3	Baht/unit
	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการดำเนินโครงการ ในปี y	**5,384,021**	**Baht/year**

1) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ในการดำเนินโครงการ เงินลงทุน 18,250,000 บาท มีระยะเวลาในการคืนทุน 3.4 ปี

3.3.4 โครงการที่ 4 การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (กิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า)

การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างตามระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ T-VER-S-METH-06-01 การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเดิมเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเปลี่ยนจากการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 36w จำนวน 2,350 หลอด เป็นหลอดไฟ LED 18w และเปลี่ยนหลอด Hi-bay 350w เป็น LED Hi-bay 150w จำนวน 150 หลอด ใช้เงินลงทุน 3,570,000 บาท โดยหลังการทดลองติดตั้งและวัดแสงสว่างในพื้นที่ทำงานแล้วได้ตามมาตรฐานมอาชีวอนามัยของสภาพแวดล้อมในสถานประกอบการ

1) การดำเนินโครงการจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 284.3 - 113.4 เท่ากับ 170.9 $tonCO_2$ eq/year หรือคิดเป็น 0.59 $tonCO_2$ eq/MWh เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในแนวทางเดียวกัน อาทิเช่น ธัญชนก หลำริ้ว และคณะ (2563) [20] ศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า พลังงานที่ประหยัดได้จากการเปลี่ยนหลอดไฟมีค่า 15,585 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งคิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 8.82 $tonCO_2$ eq/year หรือ 0.56 tonCO2 eq/MWh

ตารางที่ 8 ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการที่ 4

พารามิเตอร์	ความหมาย	ปริมาณ	หน่วย
BE_y	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y	284.3	$tonCO_2$ eq/year
PE_y	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการ ในปี y	113.4	$tonCO_2$ eq/year
LE_y	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ ในปี y	-	$tonCO_2$ eq/year
ER_y	**การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี y**	**170.9**	**$tonCO_2$ eq/year**

2) ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการดำเนินโครงการจากการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกองค์กรมาใช้ลดลงเท่ากับ 1,227,430 บาทต่อปีโดยคิดจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงในการดำเนินโครงการ 285,449 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คูณกับอัตราค่าไฟฟ้า 4.3 บาทต่อหน่วย (ค่าเฉลี่ย 12 เดือน)

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการดำเนินโครงการในปี y ที่ลดลง = $EC_{i,BL,y} - EC_{PJ,y}$ (4)

ตารางที่ 9 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงในการดำเนินโครงการของโครงการที่ 4

พารามิเตอร์	ความหมาย/รายการ	ปริมาณ	หน่วย
$EC_{i,BL,y}$	ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ i ของกรณีฐานในปี y	474,941	kWh/year
$EC_{PJ,y}$	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการดำเนินโครงการ ในปี y	189,442	kWh/year
	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงในการดำเนินโครงการ	285,449	kWh/year

ตารางที่ 10 ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการดำเนินโครงการของโครงการที่ 4

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงในการดำเนินโครงการ ในปี y	285,449	kWh/year
อัตราค่าไฟฟ้า	4.3	Baht/unit
ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการดำเนินโครงการ ในปี y	**1,227,430**	**Baht/year**

3) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ในการดำเนินโครงการ เงินลงทุน 1,350,000 บาท มีระยะเวลาในการคืนทุน 1.1 ปี

3.4 ปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลังจากดำเนินโครงการ

การดำเนินโครงการทั้ง 4 โครงการจากข้อมูลข้างต้น สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้เท่ากับ 1,537,547 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือลดการใช้พลังงานลงได้ 5,535,169.20 เมกะจูลต่อปี ทำให้ใช้พลังงานลดลงเหลือเท่ากับ 20,967,321.49 เมกะจูลต่อปี หรือคิดเป็น 8.23 เมกะจูลต่อหน่วยผลผลิต และสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,534.2 $tonCO_2$eq/year หรือคิดเป็นร้อยละ 7.60 ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงเหลือเท่ากับ 19,351.36 หรือคิดเป็น 0.0076 $tonCO_2$ eq/unit

4 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของการศึกษาในการหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงานภายในองค์กร ในปี พ.ศ. 2567 และนำเสนอโครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการแยกเป็นประเด็นดังนี้

4.1 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า จากกิจกรรมภายในองค์กรในปี 2567 เป็นปีแรก (ปีฐาน) พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 20,199.56 tonCO_2 eq/year โดยขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ มีปริมาณมากที่สุด 17,199.72 tonCO_2 eq/year หรือคิดเป็นร้อยละ 85.15 มาจากการใช้เม็ดพลาสติกในกลุ่มเคมีภัณฑ์มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 43.98 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตพบว่า ผลการศึกษาไปในทางเดียวกันคือ ขอบเขตที่ 3 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด และมีอัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 70 ยกเว้น จิราวรรณ ฤกษ์ประกอบ (2563) [5] ที่ประเมินขอบเขตที่ 3 เฉพาะกิจกรรมที่มาจากการใช้น้ำประปา ดังแสดงในตารางที่ 11 ซึ่งค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกันไปตามแต่ละอุตสาหกรรมการผลิต

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นในกรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมการผลิต

รายการ	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
	ปริมาณรวม (tonCO_2 eq/year)	อัตราส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก			ปริมาณต่อหน่วยผลิต
		ขอบเขตที่ 1	ขอบเขตที่ 2	ขอบเขตที่ 3	
นวพร เหลืองยวง (2565) [6] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม (เบียร์ โซดา น้ำดื่ม)	221,380 (ในปี พ.ศ. 2563)	7.17	9.31	83.5	0.00055 (tonCO_2 eq/liter/year)
วารุณี คือเระ (2566) [7] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานผลิตเครื่องดื่ม (เครื่องดื่มน้ำอัดลม เครื่องดื่มไม่อัดลม)	61,300 (ในปี พ.ศ. 2563)	15.62	11.47	72.91	0.00020 (tonCO_2 eq/liter/year)
ปภาวรินท์ ทรงพัฒนาศิลป์ (2567) [8] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรและการลดก๊าซเรือนกระจกภายใต้โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางคอมพาวด์	38,043 (ในปี พ.ศ. 2565)	1.80	18.40	79.81	0.8413 (tonCO_2 eq/ton/year)
จิราวรรณ ฤกษ์ประกอบ (2563) [5] การประเมินการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน	39,079 (ในปี พ.ศ. 2565)	11.33	87.98	0.69 ประเมินเฉพาะการใช้น้ำประปา	0.8413 (tonCO_2 eq/ton/year)
งานวิจัยนี้ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและการนำเสนอวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า	20,199 (ในปี พ.ศ. 2562)	2.48	12.37	85.15	0.0079 (tonCO_2 eq/unit/year)

4.2 ผลการประเมินการใช้พลังงาน

การประเมินค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า จากข้อมูลการใช้พลังงานในปี 2567 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.41 เมกะจูลต่อหน่วย โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 6,150,660 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และการใช้พลังงานความร้อน 4,360,114 เมกะจูลต่อปี

4.3 ผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

มาตรการทั้ง 4 โครงการ สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,766.70 tonCO_2 eq/year หรือคิดเป็นร้อยละ 8.74 และสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานเท่ากับ 5,535,169.20 เมกะจูลต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 20.88 ทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้ 9,870,883 บาทต่อปี โดยโครงการที่ 3 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอก

องค์กรสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดปริมาณการใช้พลังงานได้มากที่สุดเท่ากับ 749.50 tonCO_2 eq/year และ 4,507,552.80 เมกะจูลต่อปี

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาโท ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่คอยให้คำปรึกษา ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ชี้แนะแนวทางแก้ปัญหา รวมถึงคำแนะนำทั้งความรู้ด้านวิชาการและแนวทางทำการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] Green Network, *Climate Change and Global Warming: Definition, Causes, and Impacts*, December 1, 2021Available from: https://www.greennetworkthailand.com/climate-change-%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0-global-warming-%E0%B8%84% E0%B8%B7% E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/ [Accessed 3 January 2025].

[2] Thailand greenhouse gas management organization (TGO). *Carbon footprint organization* Available from: https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgybHo [Accessed 10 January 2025].

[3] Office of natural resources and environmental policy. *United nations framework convention on climate change and Paris agreement*, 1 July 2024, Available from: https://www.onep.go.th/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0% B8%AD%E0%B%99%E0%B8%B8%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%AB%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%95/ [Accessed 20 January 2025].

[4] Thailand greenhouse gas management organization (TGO). *Mitigation for greenhouse gas emissions in the industrial sector*, Bangkok, September 2019.

[5] Rerkprakob, J. *Assessment of energy usage and greenhouse gas emission from energy consumption of a home appliance factory*. Master of science in energy technology and management, Thesis. Chulalongkorn University, 2020.

[6] Luengyuang, N., and Wattana, S. Corporate carbon footprint assessment: a case study of beverage manufacturing factory. *The 23rd National Graduate Research Conference (NGRC)*, Graduate School Khon Kaen University, 25 March 2022, pp. 201-212.

[7] Duereh, W. *Carbon footprint of organization and approaches to reducing greenhouse gas emissions for beverage factory*. Master of science in environmental management, Thesis. Prince of Songkla University, 2023.

[8] Songpattanasilp, P. *Assessment of carbon footprint for organization and greenhouse gas reduction under the low emission support scheme: A case study of compound rubber factory*. Master of science in science for industry, Thesis. Chulalongkorn University, 2024.

[9] Dormer, Arron S., Finn, D., Ward, P., and Cullen, J. (2013). Carbon footprint analysis in plastics manufacturing. Journal of Cleaner Production, 51. 133-141.

[10] Meyers, S., Schmitt, B., Chester, J. M., and Sturm B. Energy efficiency, carbon emissions, and measures towards their improvement in the food and beverage sector for six European countries. *Energy*, 2016, 104, pp. 266-283. Available from: https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.117 [Accessed 7 February 2025].

[11] SCB EIC Industry insight. *Electrical appliances and electronics*. October 2024, Available from: https://www.scbeic.com/th/detail/file/product/9634/h1 ctuj8u6l/Industry-insight-EE-20241031.pdf [Accessed 15 February 2025].

[12] Fortune, G., and Khazamula, S.M. The impact of carbon emissions on corporate financial performance: Evidence from the South African firms. *Sustainability*, 2018, 10, pp. 2398.

[13] Thailand greenhouse gas management organization (TGO). *Guidelines for calculating the carbon footprint of organization*, 6th ed. Bangkok, July 2022.

[14] Thailand greenhouse gas management organization (TGO). *Carbon footprint for organization: Emission factor (CFO)*, April 2022 Available Available from: https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ [Accessed 26 February 2025].

[15] Thailand greenhouse gas management organization (TGO). *Carbon footprint for products: Emission factor (CFP)*, January 2023, Available from: https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/%20index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9 [Accessed 6 March 2025].

[16] Arunrat, N., Pumijumnong, N. and Sereenonchai, S. Scenario-based greenhouse gas and energy management in higher education: A case study of Mahidol University. *Sustainability*, 2021, 13, pp. 164.

[17] Pootongkam, M. *The energy cost reduction of a sample beverage factory*. Master of engineering, Thesis. Silpakorn University, 2021.

[18] Greenhouse gas mitigation mechanism. *Thailand voluntary emission reduction Project (T-VER Methodology)*, 1 March 2023, Available from: https://ghgreduction.tgo.or.th/en/download/66-t-ver-download-form/919-meth-template.html [Accessed 9 June 2025].

[19] Tantisattayakul, T., Rassameethammachote, P., and Auisakul, M. Energy, environmental and economic assessment of solar rooftop systems on buildings of Thammasat University, Rangsit centre. 2017, 25 (6), pp. 1083-1099. Available from: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/86502/68612 [Accessed 7 July 2025].

[20] Lamrio, T., Klinpet, H., and Tantisattayakul, T. An energy efficiency improvement opportunities of lighting system in lecture rooms: A case study of faculty of science and technology, Thammasat University. 2020, 28 (7), pp. 1309-1320. Available from: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/175869/164338 [Accessed 23 July 2025].