

แนวทางการเป็นกลางทางคาร์บอนของสถานศึกษา: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

เนตชนก พริ้งสกุล และ พงศกร คชาพงศ์กุล*

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

วันที่รับบทความ: 13 มิถุนายน 2568; วันที่ทบทวนบทความ: 7 พฤศจิกายน 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 20 พฤศจิกายน 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 11 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และประเมินศักยภาพการดูดซับคาร์บอนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล และเสนอแนวทางการดำเนินงานสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนที่เป็นไปได้ โดยใช้แนวทางตามมาตรฐาน GHG Protocol และ ISO 14064-1:2006 ครอบคลุมการกำหนดขอบเขตการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (ประเภท 1 2 และ 3) การเก็บข้อมูลกิจกรรม และการคำนวณปริมาณและปัจจัยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปี พ.ศ.2567 พบว่ามหาวิทยาลัยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารวม 1,607.89 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี โดยแหล่งปล่อยหลักคือการใช้พลังงานไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 72.33 รองลงมาคือการจัดการของเสียด้วยวิธีฝังกลบ การปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการเดินทาง ขณะเดียวกัน พื้นที่สีเขียวภายในมหาวิทยาลัยสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าได้ถึง 930.52 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าสุทธิอยู่คงเหลือประมาณ 677.35 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี งานวิจัยนี้ยังเสนอแนวทางการลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน การใช้พลังงานหมุนเวียน และการพัฒนาการชดเชยคาร์บอน โดยการวางยุทธศาสตร์สู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในระดับสถาบันอุดมศึกษา

คำสำคัญ: ความเป็นกลางทางคาร์บอน; มหาวิทยาลัยยั่งยืน; คาร์บอนฟุตพริ้นท์

Guidelines for Being Carbon Neutral for Educational Institutions: A Case Study of Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus

Netchanok Pringsakul and Pongsakorn Kachapongkun*

Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology
Rattanakosin

* Corresponding author, E-mail: pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

Received: 13 June 2025; Revised: 7 November 2025; Accepted: 20 November 2025

Online Published: 11 December 2025

Abstract: This research aims to assess and analyze the amount of carbon dioxide equivalent emissions, explore and evaluate the potential for carbon sequestration, and propose a possible carbon neutrality operational approach at Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus. The study follows the guidelines of the GHG Protocol and ISO 14064-1:2006, covering the identification of emission scopes (Scope 1 2 and 3), activity data collection, and calculation of emission factors. The study found that in 2024, the campus emitted a total of 1,607.89 tCO₂eq/year. The main source of emissions was electricity consumption (Scope 2), accounting for 72.33 % of the total, followed by Waste management by landfill, Methane emissions from wastewater treatment systems and Fuel consumption for official travel. Meanwhile, green spaces within the campus were able to absorb up to 930.52 tCO₂eq /year, resulting in net emissions of approximately 677.35 tCO₂eq /year. The research also proposes mitigation strategies, including energy efficiency improvement, renewable energy adoption and carbon offset programs, to support strategic planning toward achieving carbon neutrality in higher education institutions.

Keywords: Carbon neutrality; Sustainable University; Carbon footprint



1. บทนำ

ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนับเป็นปัญหาสำคัญระดับโลกในศตวรรษที่ 21 ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่นำไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศ และคุณภาพชีวิตของมนุษยชาติ [1] การบรรเทาผลกระทบดังกล่าวจึงกลายเป็นวาระสำคัญที่ทุกภาคส่วนต้องร่วมมือกัน โดยเฉพาะการเปลี่ยนผ่านสู่แนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนและความเป็นกลางทางคาร์บอน [2, 3] ในปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) ประเทศสมาชิกกว่า 190 ประเทศได้ลงนามใน “ข้อตกลงปารีส” ซึ่งเป็นกรอบความร่วมมือในการจำกัดอุณหภูมิโลกไม่ให้สูงเกิน 2°C และมุ่งหมายให้ไม่เกิน 1.5°C เหนือระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม [4] ซึ่งการบรรลุเป้าหมายนี้จำเป็นต้องลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าสุทธิให้เป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ. 2025 [5] อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของเป้าหมายระดับโลกนี้ต้องพึ่งพาการดำเนินการในระดับท้องถิ่นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในภาคการศึกษา [6] สถาบันอุดมศึกษาในฐานะแหล่งบ่มเพาะองค์ความรู้และศูนย์กลางของการเปลี่ยนแปลงทางสังคม มีบทบาทสำคัญในการเป็นต้นแบบของการพัฒนาอย่างยั่งยืน [7, 8] หลายมหาวิทยาลัยทั่วโลกได้ริเริ่มนโยบายและแผนปฏิบัติการด้านความยั่งยืนและคาร์บอนเป็นศูนย์ [9, 10] ทั้งนี้แนวคิด “มหาวิทยาลัยยั่งยืน” หรือ “มหาวิทยาลัยคาร์บอนเป็นศูนย์” ไม่เพียงแต่สะท้อนผ่านการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมในเชิงกายภาพ แต่ยังรวมถึงการจัดการเชิงนโยบาย ระบบสนับสนุน และพฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในองค์กร [11, 12]

ตัวอย่างเช่น Leuphana University ประเทศเยอรมนี ได้พัฒนาระบบมหาวิทยาลัยที่ยั่งยืนในทุกมิติ ทั้งด้านพลังงาน อาคาร และพฤติกรรมของผู้ใช้ [3] ขณะที่ University of British Columbia ประเทศแคนาดา ได้นำแนวทางนโยบายสู่การปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมเพื่อเป้าหมายความยั่งยืนระยะยาว [9] และการศึกษาในเยอรมนีแสดงให้เห็นว่าการดำเนินการสู่มหาวิทยาลัยคาร์บอนเป็นศูนย์นั้นสามารถทำได้จริง หากมีการวางแผนและสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง [13] สำหรับประเทศไทย มหาวิทยาลัยต่างๆ เริ่มตระหนักถึงบทบาทของตนในการสนับสนุนเป้าหมายระดับประเทศและระดับโลก โดยมุ่งเน้นการลดการปล่อยคาร์บอน การใช้พลังงานหมุนเวียน การจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และการพัฒนาแนวทางเชิงระบบเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ซึ่งบทบาทนี้มีความสำคัญยิ่งในการขับเคลื่อนประเทศสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี พ.ศ. 2593 สถาบันการศึกษาที่มีการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เช่น คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้ ปี พ.ศ.2557-2561 มีการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ $2.105 \text{ tCO}_2\text{eq}$ และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคน เท่ากับ $0.3 \text{ tCO}_2\text{eq/คน}$ [14] มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ โดยใช้ปี พ.ศ.2554 มีการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ $3,469.14 \text{ tCO}_2\text{eq}$ และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคน เท่ากับ $0.57 \text{ tCO}_2\text{eq/คน}$ [15]



มหาวิทยาลัยพะเยาโดยใช้ปี พ.ศ.2565 มีการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าเท่ากับ 11,614.00 tCO₂eq และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคน เท่ากับ 0.5206 tCO₂eq/คน [16]

จากผลการนำเสนอแสดงให้เห็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของสถาบันศึกษาที่เป็นองค์กรหนึ่งที่มีการปล่อย และการตระหนักถึงบทบาทของตนในการสนับสนุนเป้าหมายระดับประเทศและระดับโลกในการหาแนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนในสถาบันศึกษา

2. วิธีการวิจัย

ประเมินวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และสำรวจประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งในที่นี้ใช้คำว่า การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เพื่อหาแนวทางนำไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวลนั้น ดำเนินการผ่านกระบวนการ 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การกำหนดขอบเขตและการคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การบรรเทาผลกระทบ และการตรวจสอบและกำหนดกลยุทธ์เพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอน ดังนี้

2.1 การกำหนดขอบเขตและการคำนวณการปล่อยมลพิษ

2.1.1 การกำหนดขอบเขตของ Carbon Footprint

ใช้แนวทางตามมาตรฐาน GHG Protocol และ ISO 14064-1:2006 [17] ในการกำหนดขอบเขตของการรายงาน โดยพิจารณากิจกรรมที่ปล่อยคาร์บอนทั้งทางตรง (ประเภท 1) เช่น การใช้เชื้อเพลิงในอาคาร/

ยานพาหนะ และทางอ้อม (ประเภท 2 และ 3) เช่น การใช้ไฟฟ้าและการใช้น้ำประปา [18]

2.1.2 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าถูกรวบรวมจากแหล่งต่าง ๆ เช่น การใช้พลังงาน การขนส่ง และการจัดการของเสีย เป็นต้น โดยอ้างอิงปัจจัยการปล่อย เช่น IPCC Guidelines [18] U.S. EPA WARM Model [19, 20] UKDEIS [21] หรือฐานข้อมูลด้านเกษตรกรรมจาก WFLDB [22] โดยรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2567 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2567 ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

2.1.3 การคำนวณการปล่อยมลพิษ

ใช้สมการพื้นฐาน:

$$\text{GHG Emissions} = \text{Activity Data} \times \text{EF} \quad (1)$$

โดย Activity Data คือ ข้อมูลเชิงปริมาณที่สะท้อนถึงการใช้ทรัพยากรหรือกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

Emission Factor (EF) คือ ค่าคงที่ที่ใช้แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [23] ที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยของกิจกรรมหรือทรัพยากรที่ใช้ โดยกิจกรรมต่าง ๆ จะถูกแปลงเป็นปริมาณการปล่อย (tCO₂eq) โดยอ้างอิงศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ตาม IPCC AR5 [24]

2.2 การบรรเทาผลกระทบ

2.2.1 การวิเคราะห์ผลลัพธ์

หลังการคำนวณ ควรแสดงผลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าแยกตามกิจกรรมเพื่อตรวจสอบว่าแหล่งใดเป็นสัดส่วนมากที่สุด

และระบุกิจกรรมภายในองค์กรที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปริมาณสูงกว่ากิจกรรมอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อออกแบบมาตรการลดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

2.2.2 การดำเนินการบรรเทาผลกระทบ

การระบุกิจกรรมที่กำลังพัฒนาหรือที่สามารถดำเนินการได้และมีผลกระทบต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าอย่างชัดเจน โดยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในกระบวนการปฏิบัติงาน โครงการที่อาจรวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร, การใช้พลังงานหมุนเวียน, การจัดการของเสียแบบหมุนเวียน หรือโครงการวิจัยเพื่อเปลี่ยนรูปแบบการใช้ทรัพยากร เป็นต้น [25]

2.3 การตรวจสอบและกลยุทธ์ความเป็นกลางทางคาร์บอน

2.3.1 การตรวจสอบ

การประเมินควรดำเนินการโดยบุคคลที่สามที่เป็นหน่วยงานอิสระและมีความสามารถ เพื่อให้มั่นใจว่าการวัดปริมาณและการรายงานเป็นไปตามมาตรฐาน การตรวจสอบภายนอกเบื้องต้น เป็นกระบวนการสำคัญที่มีบทบาทในการสร้างความเชื่อมั่นในความถูกต้องครบถ้วน และความน่าเชื่อถือของข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าขององค์กร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดจำแนกประเภทของแหล่งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (ประเภท 1 ประเภท 2 และ ประเภท 3) และการเลือกใช้ปัจจัยการปล่อยที่เหมาะสม มีความทันสมัย และมาจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ ก่อนที่จะมีการกำหนดเป้าหมายการลดการ

ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าอย่างเป็นทางการหรือเข้าสู่กระบวนการวางยุทธศาสตร์ความเป็นกลางทางคาร์บอนในระยะยาว โดยเฉพาะในบริบทของสถาบันอุดมศึกษา ซึ่งมีความหลากหลายของแหล่งปล่อย องค์กรสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการกำหนด “ปีฐาน” (Base Year) สำหรับการติดตามผลและเป็นข้อมูลตั้งต้นในการจัดทำเป้าหมายด้านความยั่งยืนหรือความเป็นกลางทางคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.2 กลยุทธ์การชดเชยและความเป็นกลางทางคาร์บอน

หลังจากประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์แล้ว สถาบันต้องจัดทำกลยุทธ์เพื่อลดและ/หรือชดเชยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน กลยุทธ์นี้ควรครอบคลุมทั้งการลดการปล่อย ณ แหล่งกำเนิด และการชดเชยการปล่อยที่เหลือด้วยโครงการคาร์บอนเครดิต เช่น การปลูกป่า พลังงานหมุนเวียน หรือ การซื้อ Carbon Credits เช่น VER หรือ CER จากโครงการที่ได้รับการรับรองตามหลักความโปร่งใสและไม่ซ้ำซ้อน (Non-double-counting) เพื่อชดเชยการปล่อยมลพิษที่เหลืออยู่

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 บริบทองค์กร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ประกอบด้วย 5 คณะ ได้แก่ อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี อุตสาหกรรมการโรงแรม การท่องเที่ยว บริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ และศิลปศาสตร์ ในปีการศึกษา 2567 มีนักศึกษา 3,297 คน



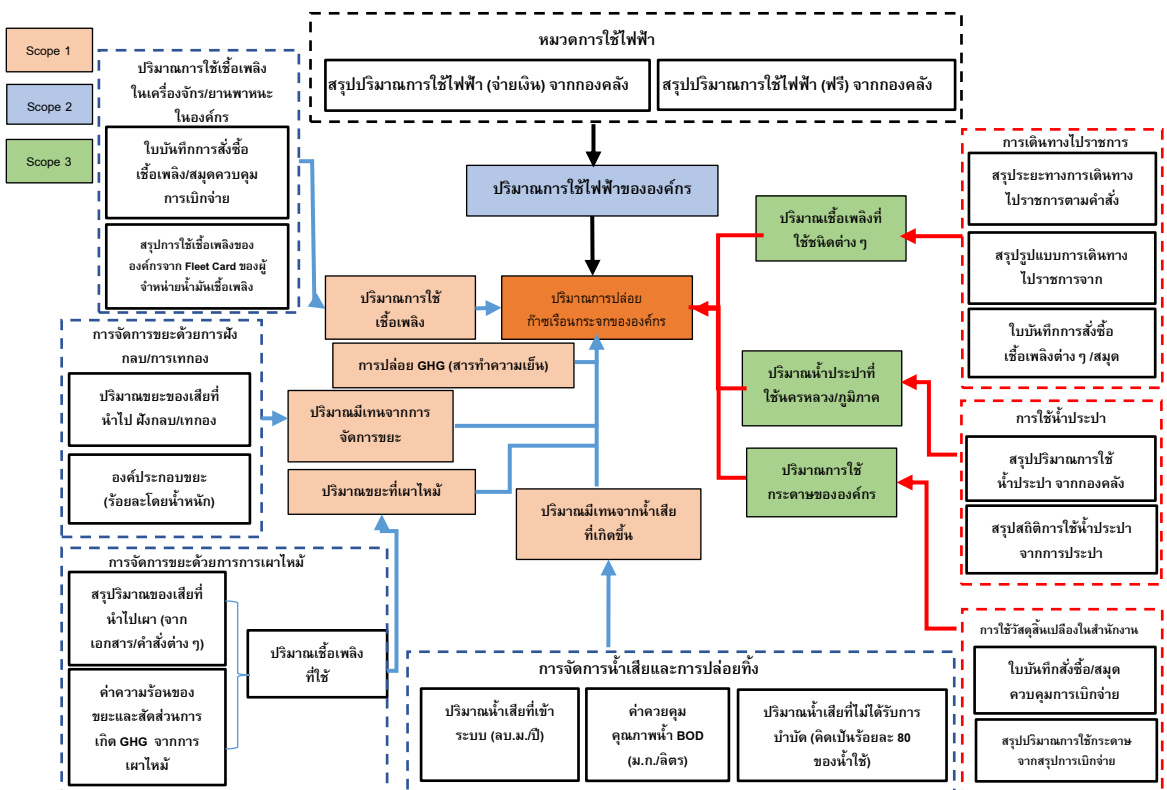
และพนักงาน 223 คน มีพื้นที่มหาวิทยาลัย 512,000 ตารางเมตร และพื้นที่อาคาร 153,000 ตารางเมตร

3.2 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ก๊าซเรือนกระจก

3.2.1 แนวทางการรวบรวมข้อมูล

Flow data สำหรับการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประกอบด้วยการกำหนดขอบเขตว่าข้อมูลจะครอบคลุมกิจกรรมใดบ้างที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ส่วน

การรวบรวมข้อมูลต้องรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ที่กำหนดไว้ เช่น การใช้พลังงาน การขนส่ง การใช้ทรัพยากร และการใช้ผลิตภัณฑ์ เพื่อนำข้อมูลที่ถูกต้องสมบูรณ์มาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมาเพื่อระบุแหล่งที่มาและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งประโยชน์ของการทำ flow data เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อช่วยให้เข้าใจในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์กร



รูปที่ 1. Flow Data สำหรับการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล



3.2.3 ภาพรวมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทั้งปี

มหาวิทยาลัยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทั้งหมด 1,607.89 tCO₂eq /ปี แบ่งตามประเภทการปล่อยได้เป็น 3 กลุ่ม ตามตารางที่ 1

3.2.3 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารายละเอียดแต่ละประเภท

1. ประเภท 1 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทางตรง

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile Combustion) จากเครื่องจักรและยานพาหนะภายในองค์กร รวม 51.41 tCO₂eq /ปี คิดเป็นร้อยละ 3.45 โดยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่มีการคำนวณจากปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหล (Fugitive Emissions) ปุ๋ยเคมี 0.04 tCO₂eq /ปี สารทำความเย็น (R410a) 4.64 tCO₂eq /ปี สารทำความเย็น (R22) 42.77 tCO₂eq /ปี การปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic tank 176.20 tCO₂eq และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการรั่วไหลรวม คิดเป็น 223.64 tCO₂eq /ปี โดยการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank มาจากการคำนวณหาค่า Total CH₄ Emissions From Domestic Wastewater [26]

2.ประเภท 2 การปล่อยทางอ้อมจากการใช้ไฟฟ้า มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารวมทั้งสิ้น 1,163.00 tCO₂eq /ปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 72.33 ของการปล่อยทั้งหมดของมหาวิทยาลัย เป็นแหล่งปล่อยที่สำคัญที่สุด

ตารางที่ 1 ภาพรวมปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 3 ประเภท

ขอบเขต ดำเนินงาน	GHG (tCO ₂ eq)	%
ประเภทที่ 1	279.06	17.36%
ประเภทที่ 2	1,163.00	72.33%
ประเภทที่ 3	165.83	10.31%
รวม	1,607.89	100.00%

3. ประเภท 3 การปล่อยทางอ้อมอื่น ๆ เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่ไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุมโดยตรงขององค์กร แต่เกิดขึ้นในห่วงโซ่อุปทานและกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น การใช้วัสดุสิ้นเปลือง การใช้น้ำประปา และขยะของเสีย (ฝังกลบ) สำหรับมหาวิทยาลัย การปล่อยประเภทนี้ได้ครอบคลุมแหล่งการปล่อยหลักที่สามารถควบคุมข้อมูลได้ง่าย ซึ่งพบว่าการปล่อยแหล่งที่สำคัญ ได้แก่ การใช้น้ำประปา มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าประมาณ 35.61 tCO₂eq /ปี การใช้วัสดุสำนักงานและวัสดุสิ้นเปลือง เช่น กระดาษ A4 สีขาว มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รวมประมาณ 9.08 tCO₂eq /ปี และขยะของเสีย (ฝังกลบ) มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าถึง 121.14 tCO₂eq /ปี ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่มีปริมาณรองจากการใช้ไฟฟ้า โดยเป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายนอกการควบคุมโดยตรงแต่เกี่ยวข้องกับภาระกิจขององค์กร

รูปที่ 2 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าแต่ละกิจกรรม โดยกิจกรรมที่มีการปล่อยมากที่สุดคือการใช้ไฟฟ้า คิดเป็นสัดส่วน ร้อยละ 72.33 ของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทั้งหมด

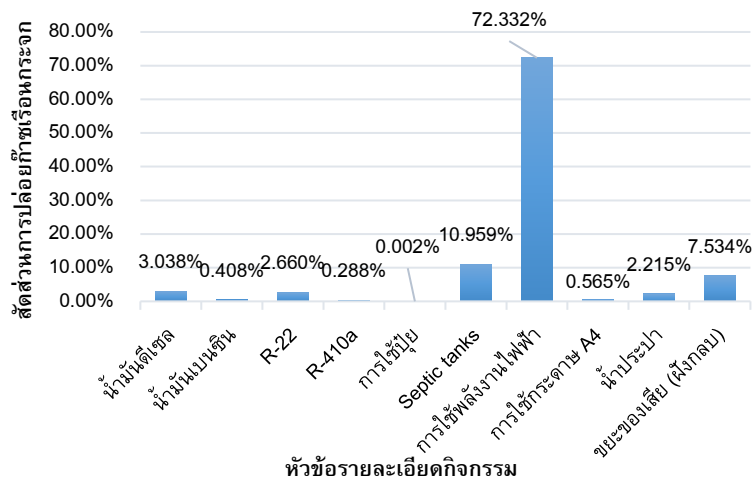


เมื่อพิจารณาค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าต่อจำนวนบุคลากร คิดเป็น 0.46 tCO₂eq / คน ซึ่งถือว่ามีความต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ มหาวิทยาลัยพะเยา 0.52 tCO₂eq /คน [16] และ

มหาวิทยาลัยชัยภูมิ 0.57 tCO₂eq /คน [15] แต่ยังสูงกว่าคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 0.30 tCO₂eq /คน [14]

ตารางที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารายละเอียดแต่ละประเภท

ขอบเขต	ประเภทการปล่อย	Activity Data	หน่วย	Emission Factor	ปริมาณ tCO ₂ eq	ข้อมูลอ้างอิง
ประเภท 1	การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่					
	น้ำมันดีเซล (ยานพาหนะ)	17,820.53	ลิตร	2.7406	48.84	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
	น้ำมันเบนซิน (เครื่องตัดหญ้า)	2,833.38	ลิตร	2.3171	6.57	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
	-การรั่วไหลและอื่น ๆ					
	สารทำความเย็นR22	24.30	กิโลกรัม	1760.0000	42.77	IPCC 2013, AR5
ประเภท 1	สารทำความเย็นR410a	2.40	กิโลกรัม	1932.5000	4.64	IPCC 2013, AR5
	การรั่วไหลจากการปั๊ม	50.00	กิโลกรัม	0.7024	0.04	IPCC 2019 [27]
	การปล่อยก๊าซมีเทนระบบSeptic tanks	6,292.80	kgCH ₄	28.0000	176.20	IPCC 2014, AR5
ประเภท 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	2,326,463.81	kWh	0.4999	1,163.00	Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5
	การใช้กระดาษ A4	4,319.75	กิโลกรัม	2.1020	9.08	Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA
ประเภท 3	น้ำประปา	65,816.00	ลูกบาศก์เมตร	0.5410	35.61	Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)
	ขยะของเสีย(ฝังกลบ)	4,326.30	kgCH ₄	28.0000	121.14	IPCC 2014, AR5
รวม					1,607.89	



รูปที่ 2 สัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของแต่ละกิจกรรม

3.2.4 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการใช้ไฟฟ้ากับจำนวนประชากรในมหาวิทยาลัย

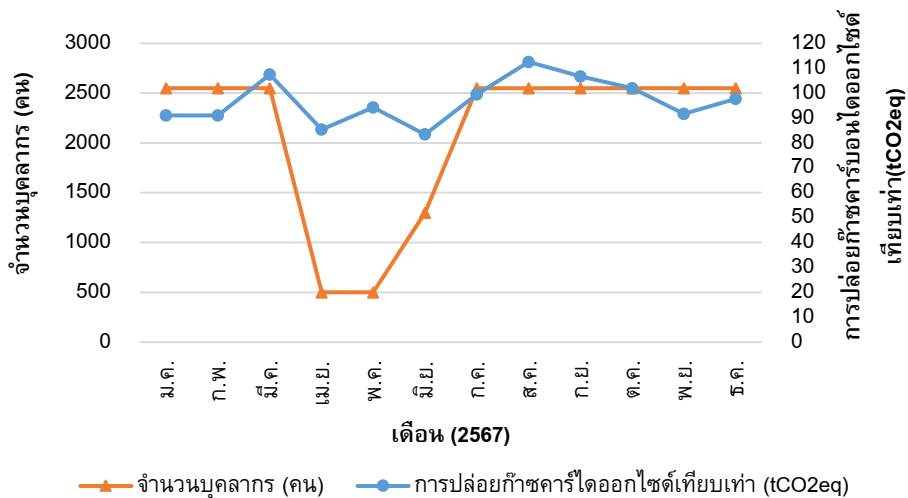
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการใช้ไฟฟ้า ส่วนใหญ่เกิดจากการเรียนการสอนในแต่ละเดือน แสดงดังรูปที่ 3

เนื่องจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ามากที่สุด ดังนั้น จากรูปที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า จากการใช้พลังงานไฟฟ้า กับจำนวนประชากรที่ปฏิบัติงานภายในมหาวิทยาลัย ในแต่ละเดือนในปี พ.ศ. 2567 พบว่าในช่วงเดือนเมษายน ถึงมิถุนายน จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง เนื่องจากเป็นช่วงปิดภาคการศึกษาและวันหยุดราชการ ยาวเมื่อเทียบกับ 3 เดือนแรกที่ผ่านมาทำให้มีการใช้ไฟฟ้าลดลง เมื่อถึงช่วงเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงเปิดภาคการศึกษา ทำให้การใช้ไฟฟ้าในอาคาร

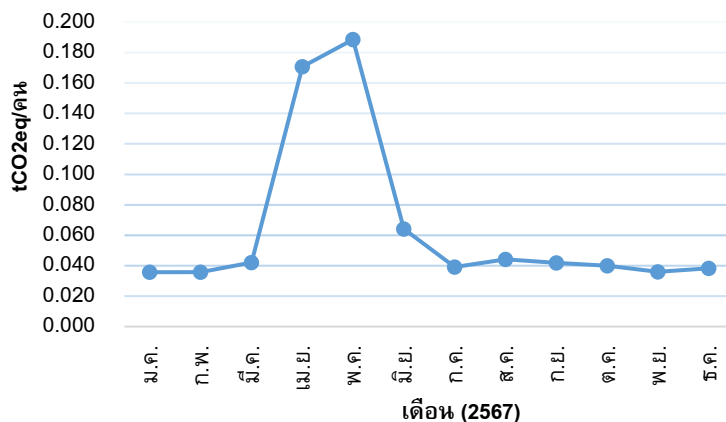
กลับมาเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายนพบการใช้พลังงานลดลงเนื่องจากมาจากปัจจัยทางด้านสภาพอากาศที่เย็นขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงผลของพฤติกรรมการใช้พลังงานของบุคลากรและนักศึกษาซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน

จากรูปที่ 4 แสดงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนประชากรในมหาวิทยาลัยในแต่ละเดือน

แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่ไม่มีการเรียนการสอน การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนประชากร มีปริมาณที่สูงถึง 0.19 tCO₂eq ต่อคน ในเดือนพฤษภาคม แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ายังสูงอยู่จากการทำงานของเจ้าหน้าที่ โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศ เนื่องจากในช่วงเดือนดังกล่าวเป็นฤดูร้อน



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการใช้ไฟฟ้ากับจำนวนประชากรในแต่ละเดือน



รูปที่ 4 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนประชากร

3.2.5 การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากชีวมวลในพื้นที่สีเขียว

มหาวิทยาลัยมีพื้นที่สีเขียวที่ช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าได้รวม

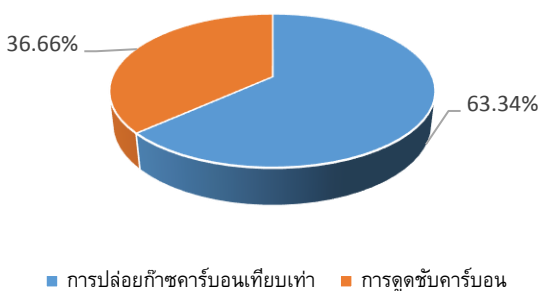
930.52 tCO₂eq /ปี โดยพรรณไม้ทั่วไปมีบทบาทสำคัญสูงสุดในกระบวนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของพื้นที่สีเขียว

กลุ่มชนิดไม้	ปริมาณการดูดซับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO ₂ eq/ปี)
พรรณไม้ทั่วไป	901.89
พรรณปาล์ม	28.57
ไผ่	0.46
รวม	930.52

3.2.6 การวิเคราะห์ผลลัพธ์โดยรวม

แม้ว่ามหาวิทยาลัยฯ จะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารวม 1,607.89 tCO₂eq/ปี แต่ด้วยการดูดซับจากพื้นที่สีเขียวอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ปริมาณการปล่อยสุทธิหลังหักลบอยู่ที่ประมาณ 677.35 tCO₂eq/ปี



รูปที่ 5 ปริมาณการปล่อยและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
วิทยาเขตวังไกลกังวล

3.3 แนวทางการบรรเทาผลกระทบ

จากการวิเคราะห์ข้อมูล ปี พ.ศ.2567 พบว่ามหาวิทยาลัยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปีที่ศึกษารวม 1,607.89 tCO₂eq/ปี โดยแหล่งปล่อยหลักได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้า ร้อยละ 72.33 การจัดการของเสีย (ฝังกลบ) ร้อยละ 7.53 การปล่อยก๊าซมีเทนในระบบ Septic Tanks ร้อยละ 10.96 การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ ร้อยละ 3.04 และการรั่วไหลจากระบบทำความเย็น R-22 ร้อยละ 2.78

เพื่อบรรเทาผลกระทบจากการปล่อยดังกล่าว มหาวิทยาลัยได้มีแนวทางดำเนินการมาตรการลดการปล่อย ทั้งในเชิงโครงสร้างพื้นฐาน และในเชิงนโยบายการจัดการพื้นที่ ดังนี้

1. การจัดการพื้นที่สีเขียวภายในมหาวิทยาลัย การปลูกและดูแลพรรณไม้ต่าง ๆ โดยการดูดซับจากพื้นที่สีเขียวนี้ถือเป็นกลไกสำคัญในการชดเชยการปล่อย และบรรเทาผลกระทบโดยตรงจากกิจกรรมภายในมหาวิทยาลัย

2. การรณรงค์ลดการใช้พลังงานที่เกินความจำเป็น หรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า และการใช้พลังงานหมุนเวียน เป็นต้น

3. การควบคุมการใช้สารทำความเย็น การควบคุมและบันทึกการรั่วไหลของสารทำความเย็นอย่างเป็นระบบ เพื่อเป็นฐานในการวางแผนเปลี่ยนไปใช้สารทำความเย็นชนิดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

4. การติดตามการเดินทางของบุคลากร การเก็บข้อมูลการเดินทางไปราชการของบุคลากรเพื่อติดตามผลกระทบจากกิจกรรมเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานใน



การวางแผนลดกิจกรรมที่มีการปล่อยสูง หรือส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะหรือรถร่วมเดินทาง

5. การรณรงค์การคัดแยกขยะที่ต้นทางเพื่อเพิ่มสัดส่วนขยะรีไซเคิลและขยะอินทรีย์ เพื่อลดการฝังกลบ

3.4 การชดเชยและความเป็นกลางทางคาร์บอน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พบว่ามหาวิทยาลัยยังมีปริมาณการปล่อยสุทธิที่ต้องชดเชยเพิ่มเติมอยู่ที่ 677.35 tCO₂eq /ปี คิดเป็น ร้อยละ 42.13 ของปริมาณการปล่อยทั้งหมด ซึ่งเป็นช่องว่างที่ต้องวางกลยุทธ์การชดเชยเพิ่มเติม เพื่อบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน ดังนั้น กลยุทธ์ที่สามารถดำเนินการเพิ่มเติมเพื่อชดเชยคาร์บอนที่เหลือ ได้แก่

1. การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและชนิดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพในการดูดซับคาร์บอนสูง เช่น การปลูกไม้โตเร็วหรือไม่ยืนต้นที่มีค่าการกักเก็บสูงในพื้นที่ที่ยังสามารถพัฒนาได้ เพื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนชีวมวลในระยะยาว

2. การจัดทำโครงการชดเชยคาร์บอน โดยพิจารณาการเข้าร่วมโครงการปลูกป่าร่วมกับชุมชน หรือการจัดซื้อคาร์บอนเครดิตจากโครงการภายนอกที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานสากล เช่น CER (Certified Emission Reductions) หรือ VER (Verified Emission Reductions) ซึ่งสามารถชดเชยคาร์บอนได้โดยไม่เกิดการนับซ้ำ (non-double-counting)

3. การลดการปล่อยที่ต้นทาง ด้วยมาตรการที่มีศักยภาพลดการใช้พลังงานหรือเปลี่ยนแหล่งพลังงาน เช่น การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร การส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งที่ปล่อยมลพิษต่ำ และการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ปรับอากาศ

แนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยพัฒนาระบบการจัดการพลังงานของมหาวิทยาลัย ซึ่งจะเป็นกรอบในการดำเนินโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ของกระทรวงพลังงานที่ผลักดันให้เกิดการนำมาตรฐานระบบการจัดการพลังงานไปสู่การเป็นมาตรฐานสากล [28]

ขั้นตอนการพัฒนาการจัดการพลังงานมี 8 ขั้นตอน

1. กำหนดโครงสร้างการจัดการพลังงาน
2. การประเมินสถานะเบื้องต้น
3. การกำหนดนโยบายและการประชาสัมพันธ์
4. การประเมินศักยภาพด้านเทคนิค
5. การกำหนดมาตรการ เป้าหมายและการคำนวณผลตอบแทนด้านการเงิน
6. การจัดทำแผนปฏิบัติการ
7. การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน
8. การทบทวนผลการดำเนินการ

จากการดำเนินการในขั้นตอนนี้ มหาวิทยาลัยได้ดำเนินการจัดทำแผนปฏิบัติการ โดยมีแนวทางคือ มาตรการศักยภาพด้านการอนุรักษ์พลังงาน ตาราง 4 เป็นการจัดทำแผนการอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และการเปลี่ยนรูปการใช้พลังงานเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นการดำเนินงานต้องทำตามระบบการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน แล้วจึงดำเนินการตามแผน และตรวจวัดวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจากการประมาณการมหาวิทยาลัยสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 299,592.00 kWh/ปี เป็นเงิน 1,192,376.16 บาท/ปี หรือคิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 149.77 tCO₂eq /ปี ทั้งนี้เป็นการวางแผนเบื้องต้นในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กร ซึ่งสามารถจัดทำมาตรการได้มากกว่านี้



ตารางที่ 4 แผนปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์พลังงาน

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน	เป้าหมายการประหยัดพลังงานต่อปี			ลดการปล่อย GHG tCO ₂ eq/ปี
	kW	kWh/ปี	บาท/ปี	
พลังงานหมุนเวียน แสงอาทิตย์แบบ เชื่อมต่อสายส่ง	170.00	248,200.00	987,836.00	124.08
การเปลี่ยนมาใช้ หลอดไฟพลังงาน	17.60	51,392.00	204,540.16	25.69
รวม	187.60	299,592.00	1,192,376.16	149.77

โดยเฉพาะมาตรการระยะยาวที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง คือ การเปลี่ยนเครื่องจักรอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

4. บทสรุป

จากการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าและการดูดซับคาร์บอนในพื้นที่ เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล โดยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทั้งหมด 1,607.89 tCO₂eq /ปี พบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าเกิดจากการใช้ไฟฟ้ามีปริมาณ 1,163.00 tCO₂eq /ปี คิดเป็นร้อยละ 72.33 เนื่องจากสถานศึกษามีความจำเป็นต้องใช้ในการเรียนการสอน และส่วนหนึ่งมาจากการดำเนินงานของบุคลากรในหน่วยงานต่าง ๆ ขององค์กร ส่วนปริมาณการดูดซับคาร์บอนในพื้นที่ของมหาวิทยาลัย 930.52 tCO₂eq /ปี ทำให้มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เทียบเท่าที่ยังเหลืออยู่ 677.35 tCO₂eq /ปี ดังนั้นการจัดทำมาตรการการลดการใช้พลังงานหรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะการใช้พลังงานหมุนเวียนเช่นการติดตั้ง Solar Rooftop เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าได้ เนื่องจากสถานศึกษามีการเรียนการสอนในช่วงเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียังมีแสงอาทิตย์มากที่สุด อีกทั้งการเพิ่มพื้นที่สีเขียวและการจัดทำโครงการชดเชยคาร์บอนก็เป็นส่วนหนึ่งในกลยุทธ์ในการชดเชยเพิ่มเติมอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีมาจากความกรุณาและความร่วมมือของบุคลากรในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์เกี่ยวกับการศึกษาการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และแนวทางการเป็นกลางทางคาร์บอนของมหาวิทยาลัยต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C.E. Button and J.Walton, Towards carbon neutrality and environmental sustainability at CCSU, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2009, 10, 279–286.
- [2] S. Jain, A. Agarwal, V. Jani, S. Singhal, P. Sharma and R. Jalan, Assessment of carbon neutrality and sustainability in educational campuses (CaNSEC): A general framework, *Ecological Indicators*, 2017, 76, 131–143.
- [3] O. Opel, N. Strodel, K.F. Werner, J. Geffken, A. Tribel and W.K.L. Ruck, Climate-neutral and sustainable campus Leuphana University of Lueneburg, *Energy*, 2017, 141, 2628-2639.
- [4] H.L. Soest, M.G.J. Elzen and D.P. van Vuuren, Net-zero emission targets for major emitting countries consistent with the Paris Agreement, *Nature Communications*, 2021, 12, 2140.
- [5] A. Millot and N. Maizi, From open-loop energy revolutions to closed-loop transition: What drives carbon neutrality, *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, 172, 121003.
- [6] M. Salvia, D. Reckien, F. Pietrapertosa, P. Eckersley, N.A. Spyridaki, A. Krook-Riekkola, et al., Will climate mitigation ambitions lead to carbon neutrality, An analysis of the local-level plans of 327 cities in the EU, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 135, 110253.
- [7] L. Sharp, Higher education: The quest for the sustainable campus, *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 2017, 5, 1–8.
- [8] L.P. Amaral, N. Martins and J.B. Gouveia, Quest for a sustainable university: A review, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2015, 16(2), 155–172.
- [9] N.A. Gudzs, Implementing the sustainable development policy at the University of British Columbia, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2004, 5, 156–168.
- [10] H.A. Baer and A. Gallois, How committed are Australian Universities to environmental sustainability? A perspective on and from the University of Melbourne, *Critical Social*, 2018, 44(2), 357–373.
- [11] T. Mitchell, The nine elements of a sustainable campus, *Sustainability: The Journal of Record*, 2014, 7, 174-175.

- [12] P. Fonseca, P. Moura, H. Jorge and A. de Almeida, Sustainability in university campus: Options for achieving nearly zero energy goals, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2018, 19, 790–816.
- [13] E. Udas, M. Wolk and M. Wilmking, The “carbon-neutral university” A study from Germany, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2018, 19, 130–145.
- [14] P. Pathaimas, J. Rittirong, T. Puek and K. Theppamorn, Carbon footprint of organization: Case study faculty of public health, Khon Kean University, *KKU Journal for Public Health Research*, 2020, 13, 34-43. (in Thai)
- [15] S. Surawut and H. Dussadeeporn, Carbon footprint of an organization case study of Chaiyaphum Rajabhat University, *Engineering Journal Chiang Mai University*, 2019, 26(1), 227-233. (in Thai)
- [16] <https://www.up.ac.th/NewsReadBlog2.aspx,itemID=29323>. (Accessed on 1 May 2025)
- [17] ISO 14064-1:2006, Greenhouse Gases—Part 1: Specification with Guidance at the Organization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emissions and Removals, 2006.
- [18] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Hayama, Japan, 2008.
- [19] U.S. Environmental Protection Agency, Greenhouse gas emissions estimation methodologies for biogenic emissions from selected source categories: Solid waste disposal, Wastewater Treatment and Ethanol Fermentation, DC, USA, 2010.
- [20] U.S. Environmental Protection Agency, Documentation for greenhouse gas emission and energy factors used in the waste reduction model (WARM), ICF, DC, USA, 2015.
- [21] UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy (BEIS), 2019 Government GHG conversion factors for company reporting: Methodology paper for emission factors final report, OGL, UK, 2019.
- [22] T. Nemecek, X. Bengoa, J. Lansche, A. Roesch, M. Faist-Emmenegger, V. Rossi, and S. Humbert, Methodological guidelines for the life cycle inventory of agricultural products, 3rd Ed., World Food LCA Database, Zurich, Switzerland, 2019.
- [23] <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/>. (Accessed on 1 May 2025).

- [24] G. Myhre, D. Shindell, F.M. Bréon, W. Collins, J.Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.F.Lamarque, D.Lee, B. Mendoza, et al., Anthropogenic and natural radiative forcing, In: Climate change 2013: The physical science basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013, 659–740.
- [25] C. Allen, M. Reid, J. Thwaites, R. Glover and T. Kestin, Assessing national progress and priorities for the Sustainable development goals (SDGs): Experience from Australia, Sustainability Science, 2019, 15, 521–538.
- [26] D. Michiel, T. Sirintornthep, V. Sonia, I. William, P. Craig, P. Riitta and W. Can, Wastewater treatment and discharge, In: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006.
- [27] H. Kristell, A. Hiroko, B. Martial, C. Ngonidzashe, K. Asa, M. James, P. Agustin, O. Stephen, R. Kristina, et al., N₂O emissions from managed soils and CO₂ emissions from lime and urea application, In: 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Newzealand, 2019.
- [28] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, The energy conservation promotion act, B.E. 2535, 1992. (in Thai)