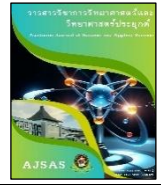




Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี

Journal homepage: <https://ajsas.ur.ac.th/>



การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง มหาวิทยาลัยราชภัฏ อุดรดิตถ์: กลยุทธ์การลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Assessment of greenhouse gas emissions of lighting at Uttaradit Rajabhat

University: Strategies for environmental impact reduction

รัตน์ทกัญ พลสิมมา¹ พุทธิ อุบลสุข^{1*} ฤชณะ คำฟอง¹ ชาทิพน พันธ์ดง¹ ปริญา ไกรวุฒินันท์¹
พงศ์เทพ จันทร์สันเทียะ² สิงหเดช แดงจวง³ วีระพล คงนุ่น⁴

Rattakarn Polsimma¹, Putthadee Ubolsook^{1*}, Krissana Khamfong¹, Chattanong Podong¹,
Parinya Kraivuttinun¹, Pongthep Jansanthea², Singhadej Tangjuank³, Weerapon Kongnun⁴

¹หลักสูตรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

¹Program in Environment, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, 53000, Thailand.

²หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

²Program in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, 53000, Thailand.

³สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

³Program in Physics, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Mueang, Uttaradit 53000, Thailand.

⁴หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

⁴Program in Electronic Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Mueang, Uttaradit 53000, Thailand.

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ

รับเมื่อ: 13 มีนาคม 2567

แก้ไขเมื่อ: 9 พฤษภาคม 2567

ตอบรับเมื่อ: 16 พฤษภาคม
2567

เผยแพร่ออนไลน์:

20 พฤษภาคม 2567

คำสำคัญ

ประสิทธิภาพแสงสว่าง

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินวัฏจักรชีวิต

การอนุรักษ์พลังงาน

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง ที่ใช้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ และเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยให้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) และแนวทางตามโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยสมัครใจของประเทศ ไทย (T-VER) ขอบเขตการประเมิน ประเภท ปริมาณ กำลังไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ให้ แสงสว่างภายในและภายนอกอาคารมหาวิทยาลัย การวิเคราะห์การคำนวณการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก และค่าไฟฟ้าที่มาจากการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในปัจจุบัน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการใช้ ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างรวมต่อปีอยู่ที่ 606,064.9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ส่งผลให้ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 343.5538 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี และค่าไฟฟ้า 3,030,324.6 บาท/ปี หลอดไฟแอลอีดีมีค่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหลอดต่ำสุด ทำให้สามารถใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์และอื่น ๆ ได้อย่าง เหมาะสม แนวทางการปรับปรุงเสนอให้เปลี่ยนหลอดไฟชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่เดิมร้อยละ 25-27 ต่อปี ด้วย

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ*อีเมล:**putthadee.ubo@uru.ac.th

(พุทธิดี อุบลสุก)

ARTICLE INFO**Article History***Received: 13 March 2024**Revised: 9 May 2024**Accepted: 16 May 2024**Available online:**20 May 2024***Keywords:**

Lighting Efficiency

Greenhouse Gas

Emissions

Life Cycle Assessment

Energy Conservation

Corresponding author*Email address:**putthadee.ubo@uru.ac.th

(P. Ubolsook)

หลอดไฟแอลอีดี (LED) และโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ภายใน 4 ปี ซึ่งสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 31.61 ลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า 191,555.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และลดค่าไฟฟ้าได้ 957,775.8 บาท/ปี เมื่อเทียบกับปีฐาน การเลือกใช้หลอดประหยัดพลังงาน ประสิทธิภาพสูง หรือการใช้พลังงานทดแทนกลายเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการลดการใช้พลังงาน ค่าไฟฟ้าและก๊าซเรือนกระจก นับเป็นก้าวสำคัญในการส่งเสริมการใช้ด้านพลังงานและลดการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืนต่อไป

ABSTRACT

This study aims to assess the environmental impact of lighting equipment used at Uttaradit Rajabhat University and propose strategies for reducing greenhouse gas emissions. The evaluation follows the framework of Life Cycle Assessment (LCA) and the guidelines of the Thailand Voluntary Emission Reduction Program (T-VER). The scope of the assessment includes the evaluation of lighting equipment types, quantities, power ratings, and usage duration within and outside university buildings. The analysis involves the calculation of energy consumption, greenhouse gas emissions, and electricity costs associated with the current lighting systems. The total annual electricity consumption from lighting equipment was 606,064.9 kWh, resulting in greenhouse gas emissions of 343.5538 tCO₂eq/year and an electricity cost of 3,030,324.6 Baht/year. Among the different types of lamps, LED lamps exhibited the lowest greenhouse gas emissions per lamp, making them a suitable replacement for fluorescent and other lamps. The proposed retrofit plan suggests replacing 25-27% of the existing lamps annually with LED lamps and solar-powered lighting systems over a period of four years. This approach could potentially reduce greenhouse gas emissions by 31.61%, electricity consumption by 191,555.2 kWh, and electricity costs by 957,775.8 Baht/year compared to the baseline. Switching to energy-efficient lighting solutions, taking into consideration payback periods, and promoting sustainable practices are crucial for mitigating environmental impacts and achieving sustainable development goals.

1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change) ส่งผลให้อุณหภูมิบนโลกสูงขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas; GHG) [1] ทำให้การประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) สมัยที่ 28 (COP 28) [2] มีบทสรุปที่เน้นความสำคัญของการรักษาไม่ให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นเกิน 1.5 องศาเซลเซียส และต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเร่งด่วน โดยการทบทวนย้ำถึงเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 43 ภายในปี พ.ศ.2573 และร้อยละ 60 ภายในปี พ.ศ.2578 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อตกลงดังกล่าว ประเทศไทยจึงตั้งเป้าที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมุ่งสู่ความเป็นกลางของคาร์บอน (Carbon Neutrality) ในปี พ.ศ.2573 และจากที่ประชุมคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ได้มีมติเห็นชอบกรอบแผนพลังงานชาติ (National Energy Plan) โดยมีเป้าหมายสนับสนุนให้ประเทศไทยสามารถมุ่งสู่พลังงานสะอาดและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์) สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emission) ภายใน ค.ศ.2065-2070 (พ.ศ.2608-2613) หรืออีก 46 ปีข้างหน้า ปัจจุบัน

ประเทศไทยมีแผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ.2564-2573 (Nationally Determined Contribution Roadmap on Mitigation 2021-2030, NDC) ซึ่งตั้งเป้าไว้ที่ร้อยละ 20-25 ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ.2561-2580) มีเป้าหมายลดก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 20 และใช้พลังงานหมุนเวียนร้อยละ 40 และแผนพลังงานแห่งชาติ ที่มีเป้าหมายในการปรับโครงสร้างกิจการพลังงานด้วยการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคพลังงาน การเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เป็นหนึ่งในข้อสำคัญและเป็นแรงจูงใจที่ดีในการตระหนักถึงความเร่งด่วนในการปฏิบัติและปรับตัวรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต [3]

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ มีการเสนอกลยุทธ์หลายอย่างเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการลดการปล่อยมลพิษในระบบแสงสว่าง ตัวอย่างเช่น Kerem et al. [4] ได้พัฒนากลยุทธ์การประหยัดพลังงานที่ไม่ซ้ำกัน 7 รูปแบบ เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพเวลาในการทำงานของหลอดไฟ การพัฒนาระบบควบคุม การติดตั้งหลอดไฟเทคโนโลยีใหม่ที่ประหยัดพลังงานมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Felicity et al. [5] ใช้มาตรการเพิ่ม

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนหลอดไฟในโคมไฟถนน Nandan et al. [6] เน้นการใช้ระบบแสงสว่างที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างพื้นฐานที่ประหยัดพลังงาน Liu et al. [7] วิเคราะห์สถานการณ์การเปลี่ยนหลอดไฟและแนะนำนโยบาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและรักษาสีสิ่งแวดล้อม รวมถึงการใช้หลอดแอลอีดี นอกจากนี้ Sędziwy et al. [8] เสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนและนำไปสู่ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การศึกษาเหล่านี้เน้นถึงความสำคัญของการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้แสงสว่าง สามารถใช้กลยุทธ์หลายอย่างได้ วิธีหนึ่งคือการแทนที่ หลอดไฟที่ไม่มีประสิทธิภาพด้วยตัวเลือกที่ประหยัดพลังงานมากขึ้น เช่น หลอดไฟแอลอีดี [4, 9] กลยุทธ์อีกประการหนึ่งคือการเพิ่มประสิทธิภาพ เวลาการทำงานของหลอดไฟเพื่อให้แน่ใจว่าจะใช้เฉพาะเมื่อจำเป็น [10] นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการเพิ่มแสงสว่างจากธรรมชาติเพื่อลดการใช้ พลังงาน [8] การติดตั้งโคมไฟใหม่และเทคโนโลยีที่ทันสมัยสามารถช่วย ประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยมลพิษได้ [11] การนำมาตรการ เหล่านี้มาใช้เป็นแนวทางที่จะบรรลุการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างอย่างมาก ทั้งยังสามารถช่วยประหยัด ค่าใช้จ่ายและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้อย่างมั่นคง

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการจัดการ เรียนการสอน บริการวิชาการ และการวิจัยโดยหนึ่งในการใช้พลังงาน ไฟฟ้ามาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง เช่น หลอดอินแคนเดสเซนต์ (หลอดไส้) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (หลอดนีออน) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ หลอดโซเดียม หลอดแสงจันทร์ และหลอดแอลอีดี สำหรับภายในและ ภายนอกอาคาร ซึ่งเป็นการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างทั้งในเวลากลางวันและ กลางคืน ทำให้มหาวิทยาลัยมีการใช้อุปกรณ์แสงสว่างที่จำเป็นเหล่านี้ จำนวนมาก ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่สูงตาม มาด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ประเภท ชนิด จำนวน และขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง ระยะเวลาของการใช้งาน สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรื่อ นกระจกและค่าไฟฟ้าที่มาจากการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง พร้อมทั้งเสนอแนว ทางการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่ง อาจส่งผลให้ประหยัดต้นทุนทางพลังงานได้ โดยประโยชน์ที่ได้รับคือ แนวทางในการใช้หรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ประหยัด มี ประสิทธิภาพสูงและการเลือกใช้พลังงานทดแทนให้กับมหาวิทยาลัย องค์การ หรือหน่วยงานที่สนใจสามารถนำไปใช้หรือนำไปเป็นแนวทางเพื่อ ช่วยในการประหยัดพลังงานและลดการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ อย่างยั่งยืนต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า แสงสว่าง ดำเนินการตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) [12] 4 ขั้นตอน ตามขององค์การมาตรฐานสากล (International Standard Organization: ISO) และระเบียบวิธีการลด ก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสง สว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER-METH-EE-01 Version 05) [13] ดังนี้ ขั้นตอนต่อไปนี้

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก การใช้พลังงานอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง บริเวณภายในและภายนอกอาคาร ทั้งหมดของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ 2 พื้นที่การศึกษา คือ พื้นที่ท่า- อีสู่และพื้นที่ทุ่งกะโล่ สํารวจจำนวนหลอดไฟฟ้าจากแบบก่อสร้างอาคาร แบบก่อสร้างสนามกีฬา นับจำนวนโคมไฟทางเดินและรอบอาคารที่อยู่ นอกเหนือจากแบบก่อสร้าง ขอบเขตการประเมินแบบ Gate-to-Gate (เฉพาะขั้นตอนการใช้งาน) กำหนดหน่วยของการประเมินโดยแบ่งชนิด ประเภทและจำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง (หลอด) กำลังไฟฟ้า (วัตต์ , W) เพื่อประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และรายงานในหน่วย ต้น คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี (tCO₂eq/year)

2) การจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI) จำนวน ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างของมหาวิทยาลัย ภายในอาคาร 4 ประเภท (หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดคอมแพคฟลูออ- เรสเซนต์ และหลอดแอลอีดี) ภายนอกอาคาร 3 ประเภท (หลอดเมทัล- ฮาไลด์ (สำหรับโคมหลังเต่า) โคมไฟแอลอีดี และหลอดโซเดียม) รวมถึง ขนาดกำลังไฟฟ้าของหลอดแต่ละประเภท ระยะเวลาของการใช้ไฟฟ้า พลังงานในการใช้ไฟฟ้า

3) การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) ด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการใช้พลังงานไฟฟ้า ตาม ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม ตามสมการที่ 1 [13]

$$BE_{EL, y} = \left(\sum (N_{PJ, y} \times P_{PJ, y} \times H_{PJ, y}) \times 10^{-6} \right) \times EF_{Elec} \quad (1)$$

โดยที่ BE_{EL, y} คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ในปี (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี) N_{PJ, y} คือ จำนวนอุปกรณ์ ไฟฟ้าแสงสว่าง (หลอด) P_{PJ, y} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (วัตต์) H_{PJ, y} คือ จำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง (ชั่วโมง/ วัน) และ EF_{Elec} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบ สายส่ง (0.5664 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เมกะวัตต์-ชั่วโมง) [13]

4) การแปรผลลัฟ (Life Cycle Interpretation) เป็นขั้นตอนการนำผลประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไปเป็นแนวทางการวางแผนสร้างกระบวนการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างได้

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1. กรณีฐาน

การประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า จากข้อมูลการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างจำนวนรวมทั้งหมด 9,346 หลอด (ตารางที่ 1) ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ทำการประเมินการใช้พลังงานจาก 2 ช่วงเวลา คือ

1) การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างตอนกลางวัน: สำหรับวันที่มีการเรียนการสอนและทำงาน มีค่าเฉลี่ยการใช้งานวันละ 8 ชั่วโมง จำนวน 240 วัน (วันทำงาน) ต่อ 1 ปี จากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18,20 และ 36 วัตต์ หลอดอินแคนเดสเซนต์ 36 วัตต์ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ 20 วัตต์ และ หลอดแอลอีดี 22, 28 และ 50 วัตต์

2) การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างตอนกลางคืน: มีค่าเฉลี่ยการใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง จำนวน 365 วัน ต่อ 1 ปี จากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในและภายนอกอาคาร (เส้นทางสัญจร) ได้แก่ โคมไฟแอลอีดี 36 วัตต์ หลอดโซเดียม 250 วัตต์

3) สำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ 400 วัตต์ (สนามกีฬา) มีค่าเฉลี่ยการใช้งานวันละ 3 ชั่วโมง จำนวน 365 วัน (บริการสาธารณะสำหรับผู้ออกกำลังกาย)

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างและกำลังไฟฟ้า

ประเภท	จำนวน (หลอด)								รวม
	18 วัตต์	20 วัตต์	22 วัตต์	28 วัตต์	36 วัตต์	50 วัตต์	250 วัตต์	400 วัตต์	(หลอด)
ภายในอาคาร									
หลอดฟลูออเรสเซนต์	1,555	264	-	-	1,941	-	-	-	3,760
หลอดอินแคนเดสเซนต์	-	-	-	-	1,156	-	-	-	1,156
หลอดแอลอีดี	36	-	80	2,952	902	32	-	-	4,002
หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	-	10	-	-	-	-	-	-	10
ภายนอกอาคาร									
หลอดเมทัลฮาไลด์	-	-	-	-	-	-	-	108	108
โคมไฟแอลอีดี	-	-	-	-	307	-	-	-	307
หลอดโซเดียม	-	-	-	-	-	-	3	-	3
รวม									9,346

ผลการประเมิน (ตารางที่ 2) ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้ารวมทั้งปีเท่ากับ 606,064.9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 343.5538 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี และค่าไฟฟ้า 3,030,324.6 บาท/ปี ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าไฟฟ้าจากการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างรวมสูงสุดมาจากการใช้หลอดแอลอีดี เนื่องจากเป็นหลอดที่มีจำนวนการใช้งานมากที่สุด ถัดมาคือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดอินแคนเดสเซนต์ และน้อยที่สุดคือ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ เมื่อวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหลอด หลอดโซเดียม มีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.6202 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี/หลอด และ หลอดแอลอีดี มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.0196 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี/หลอด

แนวทางหนึ่ง คือ การปรับเปลี่ยนหลอดโซเดียมให้ใช้ส่วนผสมของน้ำมันพืชเส้นตรง (Straight Vegetable Oil—SVO) ต่อน้ำมันก๊าดที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถนำไปสู่การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์

และฝุ่นละออง (PM) [14] การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหลอดไฟโดยใช้ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (DC/DC) จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ [15] นอกจากนี้ การออกแบบหลอดโซเดียมความดันสูงที่มีคุณสมบัติเฉพาะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้ประมาณร้อยละ 10 โดยไม่กระทบต่อการส่องสว่าง สำหรับหลอดแอลอีดี นับเป็นทางเลือกหนึ่งสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด [7] เนื่องจากมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหลอดต่ำที่สุดจึงเหมาะที่จะเป็นทางเลือกในการใช้งานสำหรับภายในและภายนอกอาคาร [9, 10] และการเปลี่ยนเป็นโคมไฟโซลาร์เซลล์สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อีกทางหนึ่งด้วย [6, 16]

ตารางที่ 2 ผลการประเมินค่าก๊าซเรือนกระจก กำลังไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า จากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง

ประเภทหลอดไฟ	ผลการประเมิน*	กำลังไฟ (วัตต์)								Total	%
		18	20	22	28	36	50	250	400		
ฟลูออเรสเซนต์	GHG	30.4388	5.7419	-	-	75.9893	-	-	-	112.1700	32.68
	GHG/Lamp	0.0196	0.0217	-	-	0.0391	-	-	-		
	Elec. Unit	53,740.8	10,137.6	-	-	134,161.9	-	-	-	198,040.3	
	Cost Unit									990,201.6	
อินแคนเดสเซนต์	GHG	-	-	-	-	45.2569	-	-	-	45.2569	13.18
	GHG/Lamp	-	-	-	-	0.0391	-	-	-		
	Elec. Unit	-	-	-	-	79,902.7	-	-	-	79,902.7	
	Cost Unit									399,513.6	
แอลอีดี	GHG	0.7046	-	1.9140	89.8874	35.3129	1.7400	-	-	129.5590	37.74
	GHG/Lamp	0.0196	-	0.0239	0.0304	0.0391	0.0544	-	-		
	Elec. Unit	1,244.2	-	3,379.2	158,699.5	62,346.2	3,072.0	-	-	228,741.1	
	Cost Unit									1,143,705.6	
คอมแพค	GHG	-	0.2175	-	-	-	-	-	-	0.2175	0.06
ฟลูออเรสเซนต์	GHG/Lamp	-	0.0217	-	-	-	-	-	-		
	Elec. Unit	-	384.0	-	-	-	-	-	-	384.0	
	Cost Unit									1,1920.0	
เมทัลฮาไลด์	GHG	-	-	-	-	-	-	-	26.7930	26.7930	7.81
	GHG/Lamp	-	-	-	-	-	-	-	0.2481		
	Elec. Unit	-	-	-	-	-	-	-	47,304.0	47,304.0	
	Cost Unit									236,520.0	
โคมไฟแอลอีดี	GHG	-	-	-	-	27.4182	-	-	-	27.4182	7.99
	GHG/Lamp	-	-	-	-	0.0893	-	-	-		
	Elec. Unit	-	-	-	-	48,407.8	-	-	-	48,407.8	
	Cost Unit									242,038.8	
โซเดียม	GHG	-	-	-	-	-	-	1.8606	-	1.8606	0.54
	GHG/Lamp	-	-	-	-	-	-	0.6202	-		
	Elec. Unit	-	-	-	-	-	-	3,285.0	-	3,285.0	
	Cost Unit									16,425	
รวม	GHG									343.5538	100
	Elec. Unit									606,064.9	
	Cost Unit									3,030,324.6	

*หน่วยผลการประเมิน GHG (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี), GHG/Lamp (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี/หลอด) Elec. Unit (กิโลวัตต์-ชั่วโมง), Cost Unit (บาท/ปี) โดยค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 5 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

3.2. แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง

ผลการศึกษาข้อมูลข้างต้นและตามข้อเสนอแนะของ Lopez et al. [10] เสนอให้ใช้หลอดไฟแอลอีดี เพื่อแทนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดไส้ สำหรับภายในอาคารเนื่องจากประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษาของ Chang et al. [9] กล่าวถึงความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนการใช้ไฟฟ้าจากรูปแบบเดิมเป็นไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และพลังงานลม สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับถนนของประเทศจีนได้ และ Sedziwy et al. [8] ได้วิเคราะห์และกล่าวถึงผลกระทบของการติดตั้งไฟถนนโดยเสนอให้ใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากข้อมูลนี้สามารถ

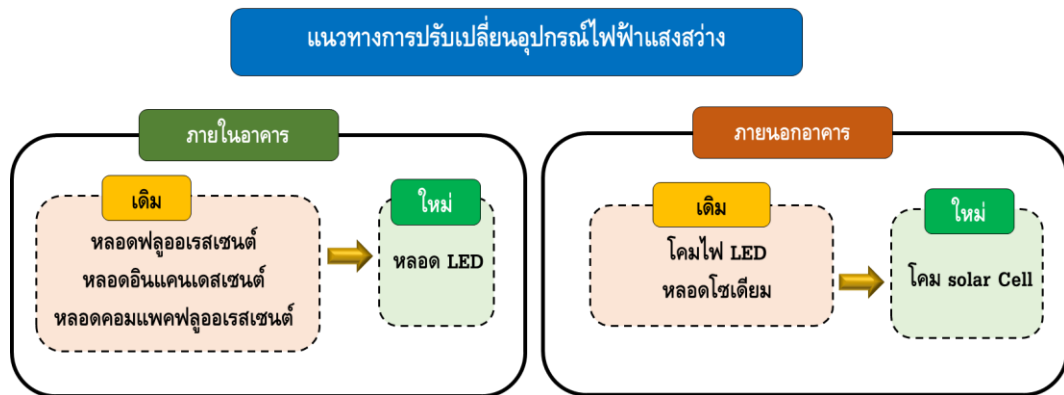
นำมาใช้เป็นแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง สำหรับภายในอาคารจะทำการเปลี่ยนหลอดฟลูออ-เรสเซนต์ หลอดอินแคนเดสเซนต์ และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดแอลอีดี และภายนอกอาคาร หลอดโซเดียม (ไฟสำหรับถนนติดตั้งร่วมกับโคมหลังเต่า) เป็นโคมโซลาร์เซลล์ ดังภาพที่ 1 สำหรับหลอดเมทัล-ฮาไลด์ (ไฟสำหรับสนามกีฬา) ซึ่งยังไม่มีหลอดที่มีประสิทธิภาพในการทดแทนการให้แสงสว่าง จึงยังไม่เสนอแนวทางในการปรับเปลี่ยน

สำหรับแผนการเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง พิจารณาตามปัจจัยและเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) มหาวิทยาลัยไม่สามารถเปลี่ยนหลอดไฟได้ทั้งหมดในครั้งเดียว เนื่องจากยังมีเงื่อนไขการรับประกันของหลอดไฟจากผู้รับจ้างบางส่วนที่สามารถใช้งานได้

2) หลอดไฟเติมบางรุ่นเพิ่งเปลี่ยนใหม่และยังไม่หมดอายุการใช้งาน
ผู้วิจัยจึงเสนอแผนการดำเนินงานดังนี้ หลอดไฟแอลอีดี จำนวน 4,002 หลอด

และหลอดแม่ทัลลาล์ด จำนวน 108 หลอด ยังใช้ฐานคงเดิม ดำเนินการเปลี่ยนหลอดประเภทอื่น ๆ ร้อยละ 25-27 ต่อปี (ประมาณ 1,300-1,400 หลอด/ปี จากจำนวนรวม 5,236 หลอด) เป็นเวลา 4 ปี และเลือกเปลี่ยนหลอดไฟประเภทที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดก่อน ดัง**ตารางที่ 3**



ภาพที่ 1 แนวทางการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง

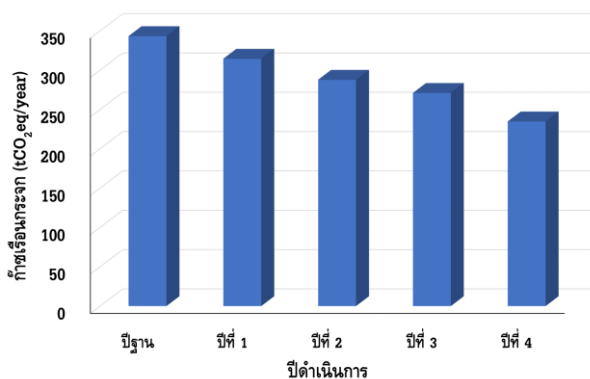
ตารางที่ 3 แนวทางการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง

ปีที่ผ่านมา	ประเภทหลอด	จำนวน (หลอด)	หลอดไฟที่วางแผนเปลี่ยน		
			หลอดแอลอีดี		คอมโซลาร์เซลล์
			9 วัตต์	18 วัตต์	36 วัตต์
1	หลอดโซเดียม (250 วัตต์)	3	-	-	✓
	ฟลูออเรสเซนต์ (36 วัตต์)	1,375	-	✓	-
	รวมปีที่ 1	1,378 (26.32%)			
2	ฟลูออเรสเซนต์ (36 วัตต์)	566	-	✓	-
	อินแคนเดสเซนต์ (36 วัตต์)	800	-	✓	-
	รวมปีที่ 2	1,366 (26.09%)			
3	อินแคนเดสเซนต์ (36 วัตต์)	356	-	✓	-
	ฟลูออเรสเซนต์ (18 วัตต์)	1,000	✓	-	-
	รวมปีที่ 3	1,356 (25.90%)			
4	ฟลูออเรสเซนต์ (18 วัตต์)	555	✓	-	-
	ฟลูออเรสเซนต์ (20 วัตต์)	264	✓	-	-
	โคมไฟแอลอีดี (36 วัตต์)	307	-	-	✓
	คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (20 วัตต์)	10	-	-	✓
	รวมปีที่ 4	1,136 (21.69%)			

ผลการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเสนอแนวทาง
การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างของมหาวิทยาลัยแสดงดังภาพที่ 2

การลดลงของก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง ได้แก่ หลอดโซเดียม หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดอินแคนเดสเซนต์ โคมไฟแอลอีดี หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดแอลอีดี และโคมโซลาร์-

เซลล์ สามารถลดก๊าซเรือนกระจกเมื่อเทียบกับปีฐานพบว่า ปีที่ 1-4 ก๊าซเรือนกระจกลดลง 28.7760 (8.38%), 55.5151 (16.17%), 72.2711 (21.05%) และ 108.4968 (31.61%) ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี ตามลำดับ แนวทางการเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างหรือการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงาน มีประสิทธิภาพสูง ด้วยการเปลี่ยนมาใช้หลอดแอลอีดีและโคมโซลาร์เซลล์สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดการใช้พลังงานและค่าไฟฟ้าได้มากถึงร้อยละ 31 ซึ่งเป็นไปทิศทางเดียวกับ Lopez et al. [10] ที่ใช้หลอดไฟแอลอีดี เพื่อแทนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดไส้ภายในอาคารของประเทศอินเดีย ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 19.3 (18.9%) ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี Radojević et al. [17] พบว่าการเปลี่ยนมาใช้หลอดแอลอีดี ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ช่วยประหยัดพลังงาน อายุการใช้งานยาวนาน ลดการลงทุนและค่าบำรุงรักษา Garcia et al. [18] วิเคราะห์ผลกระทบของไฟถนนแอลอีดีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเสนอการเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบของเทศบาลเพื่อส่งเสริมการนำมาใช้ส่งผลให้ประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 64 Shah et al. [4] และ Nandan et al. [6] เสนออีกทางเลือกหนึ่งคือ การใช้อุปกรณ์แสงสว่างจากพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากถึงร้อยละ 82



ภาพที่ 2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเมื่อเทียบกับปีฐาน ปีที่ 1-4 ลดลง 50,805.0, 98,014.0, 127,597.3 และ 191,555.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับ Liu et al. [7], Phannil et al. [19] และ Radojević et al. [17] ศึกษาการเปลี่ยนหลอดไฟให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การใช้หลอดแอลอีดี จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

ค่าไฟฟ้าลดลงเมื่อเทียบกับปีฐาน ลดลง 254,025.0, 490,069.8, 637,986.6 และ 957,775.8 บาท/ปี ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในการเปลี่ยนหลอดแอลอีดี (165 บาท/หลอด) จะมีระยะเวลาคืนทุน 11-12 เดือน ซึ่งตรงกันกับ George Allwyn et al. [16] ศึกษาการเปลี่ยนหลอด

โซเดียมความดันสูงเป็นหลอดแอลอีดี จะมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 11-14 เดือน เมื่อเทียบกับการใช้หลอดแบบเดิมที่มีระยะเวลาคืนทุน 5.56 ปี Sarasook et al. [20] ศึกษาการใช้หลอดแอลอีดีทดแทนโมเดลอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า 459 หน่วย/ปี และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 3-4 ปี และ Stielkowski et al. [21] ที่ศึกษาประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจและความมั่นคงด้านพลังงานของเมืองอัจฉริยะด้วยการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้การเพิ่มประสิทธิภาพเวลาการทำงานของหลอดไฟ การติดตั้งระบบควบคุม ตรวจสอบ หรือการใช้เทคโนโลยีใหม่ในการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์แสงสว่างก็สามารถลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ [8] แสดงให้เห็นว่า แนวทางการใช้อุปกรณ์แสงสว่างที่ประหยัดพลังงาน ประสิทธิภาพสูง ทันสมัย ร่วมกับการสร้างมาตรการการดูแล บำรุงรักษา การวางแผนการใช้งานและการพัฒนาระบบแสงสว่าง พร้อมทั้งส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพจากการใช้พลังงาน ประกอบกับการพิจารณาปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เช่น อายุการใช้งานของอุปกรณ์งบประมาณและความเหมาะสมในการใช้งาน ก็จะสามารถเป็นแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อก้าวไปสู่เป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืนได้

4. สรุปผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ และเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการวิเคราะห์ที่ปริมาณการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และค่าไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับระบบแสงสว่างในปัจจุบัน พบว่ามหาวิทยาลัยมีโคมไฟ 9,346 หลอด ซึ่งประกอบด้วยหลอดไฟประเภทต่าง ๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดอินแคนเดสเซนต์ และหลอดแอลอีดี มีการใช้ไฟฟ้ารวมปีละ 606,064.9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 343.5538 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และค่าไฟฟ้า 3,030,324.6 บาท การศึกษาระบุว่าหลอดไฟแอลอีดีเป็นตัวเลือกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยแสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหลอดต่ำสุดที่ 0.0196-0.0544 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี/หลอด พร้อมทั้งเสนอแผนการปรับปรุงเพิ่มเติมเป็นเวลา 4 ปี โดยเสนอแนะให้เปลี่ยนหลอดไฟที่มีอยู่ร้อยละ 25-27 เป็นประจำทุกปีด้วยหลอดไฟแอลอีดีและโคมโซลาร์เซลล์ การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแนวทางนี้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 31.61 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 191,555.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี และประหยัดค่าไฟฟ้า 957,775.8 บาท/ปี ประหยัดต้นทุนได้อย่างมาก โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 11-12 เดือน สำหรับการลงทุนในหลอดไฟแอลอีดี ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบจากการวิจัยก่อนหน้านี้ ข้อค้นพบและข้อเสนอแนะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถาบันการศึกษา องค์กร และแม้แต่ที่อยู่อาศัย

อื่น ๆ ได้ ด้วยการให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการนำอุปกรณ์แสงสว่างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงผลสำเร็จในการบรรลุวัตถุประสงค์โดยการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างอย่างครอบคลุมรวมกับการเสนอแผนการปรับปรุงที่ใช้งานได้จริงเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงาน และต้นทุนที่เกี่ยวข้อง ซึ่งตอกย้ำถึงศักยภาพในการประหยัดต้นทุนและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้อย่างมาก เป็นก้าวสำคัญในลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสามารถช่วยให้บรรลุเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืนได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ฝ่ายงานโยธาและสถาปัตยกรรม กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ในการสนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์แบบก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับระบบสาธารณูปโภคสำหรับการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า และหลักสูตรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ในการสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Evseeva, O., Evseeva, S., & Dudarenko, T. M. (2021). The impact of human activity on the global warming. *E3S Web of Conferences, TPACEE-2021*. 284(2):11017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128411017>
- [2] Sirilurt., P. (29 กุมภาพันธ์ 2567). *ปิดฉากการประชุม COP28 ขวนสำรวจพบสรุป ข้อตกลงลดการใช้ 'เชื้อเพลิงฟอสซิล' ที่ต้องจับตามอง. ศูนย์วิจัยและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Centre for SDG Research and Support: SDG Move) SDG MOVE: Moving towards sustainable future*, <https://www.sdgmove.com/2023/12/20/cop28-climate-change-conference-2023/>
- [3] Shah, W. I. H., Hao, G., Yan, H., Zhu, N., Yasmeeen, R., & Dincă, G. (2023). Role of renewable, non-renewable energy consumption and carbon emission in energy efficiency and productivity change: Evidence from G20 economies. *Geoscience frontiers*, 101631. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101631>
- [4] Kerem, A. (2022). Assessing the electricity energy efficiency of university campus exterior lighting system and proposing energy-saving strategies for carbon emission reduction. *Microsystem Technologies*, 28(12), 2623-2640. <https://doi.org/10.1007/s00542-022-05268-x>
- [5] Felicity, F., Rohendi, D., & Setiawan, B. (2021). Analysis of greenhouse gas mitigation in energy sector/electricity sub-sector on street lighting (Case study: Palembang city). *Sriwijaya Journal of Environment*, 6(1), 49-66. <https://doi.org/10.22135/sje.2021.6.1.49-66>
- [6] Nandan, S., Trivedi, R., Aggarwal, G., & Dubey, K., K. (2021, February 18). Energy-economic study of smart lighting infrastructure for low-carbon economy. In: Phanden, R., K., Mathiyazhagan, K., Kumar, R., Paulo Davim, J. (eds) *Advances in Industrial and Production Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4320-7_20
- [7] Liu, L., Keoleian, G. A., & Saitou, K. (2017). Replacement policy of residential lighting optimized for cost, energy, and greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters*, 12(11), 114034. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9447>
- [8] Sędziwy, A., Basiura, A., & Wojnicki, I. (2018). Roadway lighting retrofit: Environmental and economic impact of greenhouse gases footprint reduction. *Sustainability*, 10(11), 3925. <https://doi.org/10.3390/su10113925>
- [9] Chang, Y., Wei, Y., Zhang, J., Xu, X., Zhang, L., & Zhao, Y. (2021). Mitigating the greenhouse gas emissions from urban roadway lighting in China via energy-efficient luminaire adoption and renewable energy utilization. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105197. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105197>
- [10] Lopez, L. F., Saji, S., Usmonova, S., Velasquez, S., & Solorzano, L. R. (2018, Aug 30). Illumination Improvement in a Commercial Building in Coimbatore. *India: Proceedings of 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, Split, Croatia. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8448346/>
- [11] Leva, S., Satta, F., & Dolara, A. (2017). Sustainable campus: Renovation of lighting fixtures for the reduction of CO₂ emissions. In *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe*

- (EEEIC/I&CPS Europe), Milan, Italy.
<http://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977537>
- [12] Curran, M. A. (2017). Overview of goal and scope definition in life cycle assessment, in: Curran, M. (Eds), Goal and Scope Definition in Life Cycle Assessment. LCA Compendium – *The Complete World of Life Cycle Assessment*. Springer, Dordrecht.
<http://doi.org/10.1007/978-94-024-0855-3>
- [13] ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ. (20 มกราคม 2566). *Thailand Voluntary Emission Reduction Program, T-VER*. องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน (อบก.).
<https://www.tgo.or.th/>.
- [14] Ogari, A. N., Ndiritu, H. M., & Gathitu, B. B. (2014, November). Mitigation of in-door air pollution and green house gases by use of retrofitted pressure lamp utilizing straight vegetable oil. In *Scientific Conference Proceedings*. Nairobi, Kenya.
<http://journals.jkuat.ac.ke/index.php/jscp/index>
- [15] Yoon, S., Kim, J. H., Shin, M., Kim, D., Bang, J. W., Jeong, H. J., & Ahn, T. I. (2023). Thermal behavior and leaf temperature in a high pressure sodium lamp supplemented greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control*, 32(1), 48-56.
<https://doi.org/10.12791/ksbec.2023.32.1.048>
- [16] George Allwyn, R., Al Abri, R., Malik, A., & Al-Hinai, A. (2021). Economic analysis of replacing HPS lamp with LED lamp and cost estimation to set up PV/battery system for street lighting in Oman. *Energies*, 14(22), 7697.
<https://doi.org/10.3390/en14227697>
- [17] Radojević, A., Janjušević, M., Nikolić, D., Bogdanović, G., Ivanović, L., Skerlić, J., & Palkova, Z. (2022). Possibilities for reduction of energy consumption by replacing public lighting with LED lighting: case study of Priboj municipality. *Engineering Today*, 1(2), 19-28.
<https://doi.org/10.5937/engtoday2202019r>
- [18] Barraza Garcia, R., Velazquez Angulo, G., Romero Gonzalez, J., Flores Tavizon, E., & Huertas Cardozo, J. I. (2014). LED street lighting as a strategy for climate change mitigation at local government level. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)*.
<https://doi.org/10.1109/ghtc.2014.6970303>
- [19] Phannil, N., Jettanasen, C., & Ngaopitakkul, A. (2018). Harmonics and reduction of energy consumption in lighting systems by using LED lamps. *Energies*, 11(11), 3169. <https://doi.org/10.3390/en11113169>
- [20] Sarasook, J., Seesansui, S., & Phurahong, T. (2020, October 14-16). LED lamp completely replacing model for electrical energy conservation case study in educational organization. In *2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, Chiangmai, Thailand.
<https://doi.org/10.1109/icpei49860.2020.9431551>
- [21] Strielkowski, W., Veinbender, T., Tvaronavičienė, M., & Lace, N. (2020). Economic efficiency and energy security of smart cities. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 33(1), 788-803.
<https://doi.org/10.1080/1331677x.2020.1734854>