



มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ
กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ENERGY CONSERVATION STRATEGIES IN AIR CONDITIONING
SYSTEMS: A CASE STUDY OF THE MULTIPURPOSE ACADEMIC
BUILDING, FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY,
PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY

สุทธิเกียรติ แข็งแรง¹, วรเมธ หินอ่อน¹, สรวิศ สอนสารี^{1*}, เอื้อบุญ ที่พึ่ง¹,

สาธิต การุณบุญญานันท์¹, สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์²

Sutthikiat Kangrang¹, Vorameth Hinoon¹, Sorawit Sonsaree^{1*}, Ueaboon Teephung¹,

Satit Karoonboonyanan¹, Somchai Jiajitsawat²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

²Faculty of Science, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: sorawitsonsaree@psru.ac.th

วันที่รับระบบ 10 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 31 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 31 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ส่งผลให้สภาพอากาศโดยทั่วไปมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์มากตลอดทั้งปีส่งผลต่อความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อน ดังนั้นจึงนิยมติดตั้งระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารจากระบบปรับอากาศมีสัดส่วนที่สูง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางการบริหารจัดการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา อาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศจำนวน 32 ตัว ผลการศึกษาพบว่า มาตรการที่เหมาะสมที่สามารถนำมาเป็นแนวทางการบริหารจัดการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศแบ่งออกเป็น 2 มาตรการ คือ (1) ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศที่ใช้อยู่มีการใช้งานมากกว่า 10 ปี โดยจะต้องตั้งงบประมาณในการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ 1,652,800.00 บาท และเมื่อเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทั้งหมดจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 78,566.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 377,117.00 บาท/ปี โดยคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย 4.38 ปี (2) ซ่อมบำรุงด้วยการล้าง

เครื่องปรับอากาศ 2 ครั้ง/ปี เพื่อช่วยรักษาสรรณะการทำงานที่ดีของของเครื่องปรับอากาศ โดยจะต้องตั้งงบประมาณในการซ่อมบำรุงเท่ากับ 41,600.00 บาท/ปี คิดเป็นเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 12,888.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 55,789.00 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 0.37 ปี อย่างไรก็ตามในการดำเนินงานจริงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาตามความเหมาะสมของงบประมาณที่มีอีกครั้ง

คำสำคัญ: การอนุรักษ์พลังงาน, มหาวิทยาลัย, ระบบปรับอากาศ

Abstract

Thailand is located in a tropical climate zone, resulting in generally high temperatures and humidity throughout the year. This leads to thermal discomfort for building occupants. Therefore, air conditioning systems are commonly installed to control temperature and humidity within a comfortable range. However, this practice contributes to a high proportion of energy consumption in buildings, particularly from air conditioning systems. This study investigated energy conservation management strategies for air conditioning systems, using the multipurpose academic building at the Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University as a case study. The building houses 32 air conditioning units, prompting an assessment of feasible measures to reduce energy consumption. Two key strategies were identified: (1) Replacing outdated air conditioners (in use for over ten years) at a proposed budget of 1,652,800.00 Bath. This measure is projected to save 78,566 kWh/year (377,117.00 Baht/year) with a simple payback period of 4.38 years. (2) Implementing periodic maintenance through twice-yearly cleaning, requiring an annual budget of 41,600 Bath and offering savings of 12,888 kWh/year (55,789 Baht/year) with a very short payback period of 0.37 years. These findings highlight practical and cost-effective approaches to managing energy usage in air conditioning systems. However, budget considerations are crucial for ensuring the suitability of the selected measures prior to implementation.

Keywords: Energy conversation, University, Air conditioning

1. บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ส่งผลให้สภาพอากาศโดยทั่วไปมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์มากตลอดทั้งปี ซึ่งส่งผลต่อความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อน (Thermal discomfort) ของผู้ใช้อาคาร ดังนั้น อาคารบ้านเรือนและอาคารสำนักงานในประเทศไทยจึงนิยมติดตั้งระบบปรับอากาศ (Air conditioning) เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยและการทำงาน อย่างไรก็ตามการใช้ระบบปรับอากาศในอาคารมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึงประมาณร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร (กัญญาณัฐ, 2564) ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงานในส่วนนี้ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในภาพรวมได้ การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศสามารถดำเนินการได้หลายแนวทาง เช่น การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio: EER) สูง การตั้งอุณหภูมิภายในห้องที่ 27°C ร่วมกับการใช้พัดลม และการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ เช่น การล้างเครื่องปรับอากาศปีละ 2 ครั้ง ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ถึงร้อยละ 10 (ปรีชพงศ์ และ นลินี, 2563) อย่างไรก็ตาม อาคารภาครัฐมักเผชิญกับข้อจำกัดในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน เช่น งบประมาณบำรุงรักษาที่ไม่เพียงพอ การใช้งานเครื่องปรับอากาศที่มีอายุเกิน 10 ปี และข้อจำกัดด้านการจัดซื้อครุภัณฑ์ ซึ่งส่งผลให้การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศทำได้ยาก การบริหารจัดการที่เหมาะสม เช่น การสำรวจสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ การคำนวณเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนเครื่องใหม่กับการซ่อมบำรุง และการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม จึงเป็นแนวทางที่สามารถช่วยให้หน่วยงานภาครัฐดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่ผ่านมาได้เสนอแนวทางที่หลากหลายในการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เช่น การปรับปรุงวัสดุอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน (วุฒิกานต์ และ พันธุ์ระวี, 2561; พิศาล และคณะ, 2565) การติดตั้งสเปรย์น้ำที่แผงคอยล์ร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็น (กันตภณ และคณะ, 2564) การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นแบบปรับความเร็วรอบได้ หรือ Inverter (เอื้อการณ, 2566) และการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแอร์ผัน (Variable refrigerant flow: VRF) ที่มีความคุ้มค่าในระยะยาว (สุทัศน์ และคณะ, 2564) จากการศึกษาของ สกลสุภา และยิ่งสวัสดิ์ (2567) พบว่าในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ระบบปรับอากาศเป็นแหล่งใช้พลังงานหลักคิดเป็นร้อยละ 76.52 โดยเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพต่ำ ($\text{EER} < 11.0$) และมีอายุการใช้งานสูง ส่งผลให้ใช้พลังงานมากเกินจำเป็น งานวิจัยดังกล่าวเสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงาน 3 แนวทาง ได้แก่ การปิดแอร์และไฟช่วงพักกลางวัน การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นรุ่นใหม่ และการใช้พลังงานทดแทนโดยติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ในด้านการบริหารจัดการและการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ธนีสร และปิยนุช (2564) ได้ศึกษาการใช้พลังงานในอาคารเรียน พบว่าห้องที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงมีการใช้พลังงานสูงกว่าห้องทั่วไปถึงร้อยละ 37 และเสนอแนวทางลดการใช้

พลังงาน เช่น การเลือกใช้ห้องที่ได้รับรังสีอาทิตย์น้อย การลดการใช้ห้องขนาดใหญ่ และการใช้สีผนังที่เหมาะสม สอดคล้องกับ ศรัณย์ และธนิต (2562) วิเคราะห์การปรับปรุงอาคารราชการที่มี OTTV สูง โดยเสนอ 3 มาตรการ ได้แก่ การปรับปรุงวัสดุอาคาร ระบบปรับอากาศ และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 54.37 และบรรลุเป้าหมาย NZEB (Net zero energy building) ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมาตรการที่สอดคล้องกับมาตรฐานต่างๆ พิศพัฒน และคณะ (2568) ประเมินแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (EEP2011) พบว่าแม้จะลดการใช้พลังงานได้ต่อเนื่อง แต่ยังไม่สามารถลดการปล่อยคาร์บอนให้เป็นไปตามเป้าหมายของ SBTi (Science based target institute) ได้ จึงเสนอให้มีการชดเชยด้วยพลังงานหมุนเวียน เช่น การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เช่นเดียวกับ ศุภชัย และโจเซฟ (2567) ศึกษาการปรับปรุงอาคารสำนักงานเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ TREES-NC ระดับ Platinum โดยเน้นการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร การติดตั้งฉนวน การเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็น VRV (Variable refrigerant volume) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ และการเปลี่ยนระบบแสงสว่างเป็น LED สิริสวัสดิ์ (2568) เสนอการนำพลังงานความเย็นที่เหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ถังกักเก็บน้ำเย็นระหว่างเครื่องทำระเหยและเครื่องอัดไอ ซึ่งช่วยเพิ่ม COP ของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ศุภกฤต และธนารักษ์ (2563) ศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินของการพัฒนาอาคารสำนักงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้เป็น NZEB พบว่าแม้จะมีศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน แต่ยังคงขาดความน่าสนใจเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากต้นทุนของอุปกรณ์ประหยัดพลังงานและพลังงานทดแทนยังคงค่อนข้างสูง Yang *et al.*, (2018) ได้พัฒนาเครื่องมือ FMEA (Failure mode and effects analysis) สำหรับระบบปรับอากาศ (HVAC) โดยใช้ข้อมูลใบแจ้งซ่อมในอาคาร ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจจับและพยากรณ์ความเสียหายของอุปกรณ์ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น พัดลม วาล์ว และปั๊มน้ำ ได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้ผู้ดูแลอาคารสามารถวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ Sanzana *et al.*, (2022) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Deep learning เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานของระบบ HVAC โดยเฉพาะในด้านการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานเกินจำเป็น และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากเซนเซอร์และพฤติกรรมผู้ใช้อาคารได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้ระบบ HVAC ทำงานอย่างชาญฉลาดและประหยัดพลังงานมากขึ้น ในระดับครัวเรือน Nezhad *et al.* (2021) ได้นำเสนอโมเดลการจัดการพลังงานภายในบ้านที่สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารร่วมกับโครงสร้างราคาไฟฟ้าแบบ Time-of-Use (TOU) เพื่อปรับระดับการทำงานของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่มียาพลังงานต่ำ ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานในช่วงพีคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่ามีมาตรการมากมายที่สามารถนำมาลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ ทั้งในด้านการออกแบบอาคาร การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การ



บำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการใช้พลังงานหมุนเวียน อย่างไรก็ตาม การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยเฉพาะในอาคารของภาครัฐ ยังมีข้อจำกัดหลายประการที่ต้องพิจารณา เช่น ความสามารถในการนำมาตรการไปประยุกต์ใช้จริง งบประมาณที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี และข้อจำกัดด้านการจัดซื้อครุภัณฑ์ นอกจากนี้ การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่ยังจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญ เช่น อายุการใช้งาน สมรรถนะการทำความเย็นในปัจจุบัน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่อง เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกแนวทางที่เหมาะสมในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการพลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารภาครัฐ โดยเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคของเครื่องปรับอากาศ เพื่อเสนอแนวทางที่สามารถนำไปใช้ได้จริงภายใต้ข้อจำกัดของหน่วยงาน

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อหาแนวทางการจัดการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

2.2 เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (ยูทอปงซ์ และคณะ, 2562) สมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) โดยทั่วไปนิยมใช้กัน 3 แบบ คือ

(1) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of performance, COP) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (Watt) และกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น (Watt) โดยค่า COP มีหน่วยเป็น W/W สามารถหาได้ดังนี้

$$COP = \frac{Q}{W} \quad \text{หรือ} \quad COP = \frac{\dot{m}(\Delta h_{out})}{\dot{m}(\Delta h_{in})} \quad (1)$$

เมื่อ	Q	คือ	ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ (W)
	W	คือ	พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)
	$\dot{m}$	คือ	อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kJ/kg)
	Δh_{out}	คือ	ผลต่างของเอนทาลปีด้านทำความเย็น $h_1 - h_4$ (kJ/kg)
	Δh_{in}	คือ	ผลต่างของเอนทาลปีด้านเครื่องอัดไอ $h_2 - h_1$ (kJ/kg)

(2) ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio, EER) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการทำความเย็น (BTU/hr) รวมสุทธิ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น (Watt) โดยค่า EER มีหน่วยเป็น BTU/hr/Watt สามารถหาได้ดังนี้

$$EER = \frac{Q}{W} \quad (2)$$

โดยที่ Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิของระบบปรับอากาศ (BTU/hr) และ W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)

และสำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญไปที่ “ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP)” และ “ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (EER)” ที่ถือว่าเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องใดมีประสิทธิภาพ และ/หรือ ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศใหม่

(3) ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (CHP) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น (kW) และความสามารถในการทำความเย็น (TR หรือตันความเย็น) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$CHP = \frac{kW}{TON} \quad (3)$$

โดยที่ CHP คือ ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/TR), kW คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ภาระเต็มพิกัด (kW) และ TON คือ ขีดความสามารถการทำความเย็นรวมที่ภาระเต็มพิกัด (TR) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$TON(TR) = 5.707 \times 10^{-3} \times CMM \times (H_r - H_s) \quad (4)$$

โดยที่ CMM คือ ปริมาณลมเย็นหมุนเวียนผ่านเครื่องปรับอากาศ (m^3/min), H_r คือ เอนทาลปีของอากาศด้านลมกลับ ($kJ/kg_{dry\ air}$) และ H_s คือ เอนทาลปีของอากาศด้านลมจ่าย ($kJ/kg_{dry\ air}$)

จะเห็นว่าค่านิยามของ $EER, kW/TR$ และ COP เป็นส่วนกลับซึ่งกันและกัน โดย EER และ COP ยิ่งมีค่าสูงเท่าไรก็หมายความว่าเครื่องปรับอากาศมีสมรรถนะการทำงานที่ดีในขณะที่ค่า kW/TR ยิ่งมีค่าต่ำเท่าไร เครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นก็ยิ่งมีค่าสมรรถนะการทำงานที่ดีเท่านั้นด้วย ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{kW}{TON} = \frac{12}{EER}, COP = \frac{EER}{3.412} \quad (5)$$

โดยที่ ค่าคงที่ 3.412 คือ ค่าคงที่สำหรับแปลงค่า BTU/hr ไปเป็น Watt

การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period) (สุรพงษ์ สำลีพันธุ์ และ ชัยยศ ดำรงกิจโกศล, 2567)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด (บาท)}}{\text{ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)}} \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) ระยะเวลาคืนทุน (ปี) มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน คือ เป็นการคำนวณที่ไม่ได้คำนึงถึงมูลค่าของเงินตามเวลา และไม่นำกระแสเงินสดมาพิจารณาหลังได้รับระยะเวลาคืนทุน

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการหามาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ อาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก โดยในการศึกษาจะเป็นการสำรวจและวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน โดยกระบวนการวิจัยสามารถแสดงได้ดังนี้



ภาพที่ 1 ลักษณะอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

4.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปของอาคารเรียนรวม

อาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก มีตำแหน่งที่ตั้ง ละติจูด 16.84° และ ลองจิจูด 100.21° เป็นอาคารสำนักงานการศึกษาจำนวน 3 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวม $3,645 \text{ m}^2$ แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ $3,159 \text{ m}^2$ และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 486 m^2 แสดงลักษณะของอาคารดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ปัจจุบันมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) จำนวน 32 เครื่อง



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจำนวน 32 เครื่อง (แสดงดังตารางที่ 1) โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลโดยทั่วไปของเครื่องปรับอากาศของอาคารเรียนรวม

ชั้นที่ 1 (จำนวน 10 เครื่อง)					
ที่	ห้อง	Cap. (BTU/hr)	Power (kW)	จำนวน (เครื่อง)	อายุการใช้งาน (Year)
1	ห้องพักอาจารย์ (1)	48,000	4.82	3	16
2	ห้องพักอาจารย์ (2)	36,000	3.40	1	12
3	ห้องเรียน 4104	60,000	4.50	2	17
4	ห้องเรียน 4105	36,000	3.40	2	11
5	ห้องเรียน 4109	48,000	4.82	2	16
ชั้นที่ 2 (จำนวน 13 เครื่อง)					
6	ห้องพักอาจารย์ (1)	25,000	2.33	1	16
7	ห้องบัณฑิตศึกษา	36,000	3.40	2	11
8	ห้องประชุมบัณฑิต	48,000	4.50	2	16
9	ห้องพักอาจารย์ (2)	48,000	4.50	2	16
10	ห้องเรียน 4206	48,000	4.80	2	17
11	ห้องเรียน 4207	36,000	3.40	2	11
12	ห้องเรียน 4211	48,000	4.80	2	17
ชั้นที่ 3 (จำนวน 9 เครื่อง)					
13	ห้องพักอาจารย์ (1)	36,000	3.40	2	11
14	ห้องปฏิบัติการ	48,000	4.50	1	16
15	ห้องศูนย์ทดสอบ	48,000	4.50	2	16
16	ห้องเรียน 4305	60,000	5.80	2	17
17	ห้องเรียน 4310	48,000	4.50	2	17

4.2.1 ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลครุภัณฑ์ ประกอบไปด้วย หมายเลขครุภัณฑ์เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, สถานที่ใช้งาน, อายุการใช้งาน และ สภาพการใช้งาน

4.2.2 ข้อมูลต่างๆ ของผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศ (เป็นข้อมูลที่ได้จาก Name plate) ประกอบไปด้วย ความสามารถในการทำความเย็น (BTU/hr), ขนาดกำลังไฟฟ้า (kW), สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR), ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) และ ยี่ห้อ/รุ่น

4.2.3 ข้อมูลของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการบันทึกข้อมูลปฏิบัติงานปี 2567

4.2.4 ข้อมูลของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการตรวจวัด ประกอบไปด้วย

- ความเร็วลมด้านลมจ่าย/กลับ (m/s) ด้วยเครื่องวัดความเร็วลม Digital Anemometer ยี่ห้อ HABOTEST รุ่น HT625 ความละเอียด $\pm(2\%+0.5\text{m/s})$ (แสดงดังภาพที่ 3 (ก))

- อุณหภูมิด้านลมจ่าย/กลับ ($^{\circ}\text{C}$) และ ความชื้นสัมพัทธ์ด้านลมจ่าย/กลับ (%RH) ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นแบบพกพา/เทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM1361 ความแม่นยำ $\pm 3\%(30-95\%); \pm 5\%(10-30\%)$ และความละเอียด 0.1%RH (แสดงดังภาพที่ 3 (ข))



(ก) เครื่องวัดความเร็วลม
ยี่ห้อ HABOTEST รุ่น HT625



(ข) เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์
ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM1361



(ค) เครื่องวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้า
ยี่ห้อ Fluke รุ่น 377FC



(ง) ตลับเมตร

ภาพที่ 3 อุปกรณ์/เครื่องมือ ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลของเครื่องปรับอากาศ



- กำลังไฟฟ้า (kW) ด้วยเครื่องวัดแคลมป์ AC/DC แรงดันไฟฟ้าแบบไม่สัมผัส ยี่ห้อ Fluke รุ่น 377FC (แสดงดังภาพที่ 3 (ค))

- พื้นที่หน้าตัดช่องลมจ่าย/กลับ (m^2) ด้วยตลับเมตร (แสดงดังภาพที่ 3 (ง))

4.4 วิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการคำนวณ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาหรือมาตรการที่ถูกลำเสนอในงานวิจัยนี้จะสอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา ประกอบกับมาตรการที่จะถูกนำเสนอจะสอดคล้องกับบริบทของอาคารภาครัฐที่จะต้องคำนึงถึงงบประมาณที่สามารถนำมาใช้ได้และการเปลี่ยน/การจำหน่ายรายการครุภัณฑ์ ผลการศึกษสามารถแสดงได้ดังนี้

5.1 มาตรการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่

การศึกษาได้ให้ความสำคัญไปที่การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี เนื่องจากเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี จะมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำและมีการใช้พลังงานที่สูงกว่าเครื่องปรับอากาศใหม่ถึงแม้จะมีการดูแลบำรุงรักษาดีก็ตาม ผลการวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแสดงดังตารางที่ 2 (เครื่องปรับอากาศใหม่ คือเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) แบบ Inverter)

จากข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1 เครื่องปรับอากาศที่ติดตั้ง ณ อาคารเรียนรวมทั้งหมดมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี โดยมีขนาดการทำความเย็นอยู่ระหว่าง 25,000 – 60,000 BTU/hr และมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ระหว่าง 6.18 – 9.87 BTU/hr/W และผลการวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแสดงดังตารางที่ 2 พบว่า จะต้องตั้งงบประมาณในการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 1,652,800.00 บาท และเมื่อเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทั้งหมดจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 78,566.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 377,117.00 บาท/ปี ซึ่งคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายได้เท่ากับ 4.38 ปี

5.2 มาตรการซ่อมบำรุงด้วยการล้างเครื่องปรับอากาศ

การซ่อมบำรุงด้วยการล้างคอยล์เย็น (Evaporating coil) และคอยล์ร้อน (Condensing coil) และเช็คระดับความดันของสารทำความเย็น (Refrigerant) ในระบบปรับอากาศจะช่วยให้เครื่องปรับอากาศมีสมรรถนะการทำงานหรือค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานสูงขึ้นประมาณร้อยละ 10 (ปรีชพงศ์ นันถิ์ตรง และ นลินี หมุ่มหมื่นศรี, 2563) ดังนั้นผลการศึกษาในส่วนนี้จะแสดงผลการวิเคราะห์การล้างเครื่องปรับอากาศของอาคารเรียนรวม โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศอาคารเรียนรวม

ที่	ห้อง	Cap. (BTU/hr)	จำนวน (เครื่อง)	EER		Energy saves (kwh/ปี)	Saves (บาท/ปี)	Inv. (บาท)	PB (ปี)
				เก่า	ใหม่				
ชั้นที่ 1									
1	ห้องพักอาจารย์ (1)	48,000	3	6.18	10.11	6,801	32,645	178,500	5.47
2	ห้องพักอาจารย์ (2)	36,000	1	8.05	12.22	2,291	10,997	45,500	4.14
3	ห้องเรียน 4104	60,000	2	8.98	12.4	5,484	26,323	107,000	4.06
4	ห้องเรียน 4105	36,000	2	8.58	12.22	3,436	16,493	91,000	5.52
5	ห้องเรียน 4109	48,000	2	5.55	10.11	3,400	16,320	107,000	6.56
ชั้นที่ 2									
6	ห้องพักอาจารย์ (1)	25,000	1	7.33	12.22	1,370	6,576	36,300	5.52
7	ห้องบัณฑิตศึกษา	36,000	2	8.05	12.22	4,582	21,994	91,000	4.14
8	ห้องประชุมบัณฑิต	48,000	2	8.73	12.4	6,160	29,568	107,000	3.62
9	ห้องพักอาจารย์ (2)	48,000	2	7.38	12.4	6,160	29,568	107,000	3.62
10	ห้องเรียน 4206	48,000	2	7.1	12.4	4,620	22,176	107,000	4.83
11	ห้องเรียน 4207	36,000	2	8.75	12.22	3,436	16,493	91,000	5.52
12	ห้องเรียน 4211	48,000	2	9.87	12.4	4,620	22,176	107,000	4.83
ชั้นที่ 3									
12	ห้องพักอาจารย์ (1)	36,000	2	8.05	12.22	4,582	21,994	91,000	4.14
14	ห้องปฏิบัติการ	48,000	1	8.34	12.4	2,310	11,088	53,500	4.83
15	ห้องศูนย์ทดสอบ	48,000	2	7.19	12.4	4,620	22,176	107,000	4.83
16	ห้องเรียน 4305	60,000	2	8.25	12.4	8,534	40,963	119,000	2.91
17	ห้องเรียน 4310	48,000	2	8.34	12.4	6,160	29,568	107,000	3.62
						78,566	377,117	1,652,800	4.38

หมายเหตุ

(1) พลังงานไฟฟ้า คำนวณจาก $[\text{Cooling Cap. (BTU/hr)} / \text{EER}] \times [\text{ชม.การทำงานใน 1 ปี} \times \text{Load factor (0.70)}] / 1000$
(Load factor = 0.7 คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา ซึ่งสามารถใช้คาดการณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และปรับปรุงการบริหารจัดการพลังงาน)

(2) พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ คือ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศ “เก่า” ใช้งาน เทียบกับเครื่องปรับอากาศ “ใหม่”

(3) ระยะเวลาคืนทุน คือ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (บาท/year)หารด้วย เงินลงทุน (บาท)

(4) (เก่า) คือ เครื่องปรับอากาศเครื่องเก่า และ (ใหม่) คือ เครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่

(5) กำหนดให้ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน เท่ากับ 4.80 บาท/kWh

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์การซ่อมบำรุงด้วยการล้างเครื่องปรับอากาศอาคารเรียนรวม

ที่	ห้อง	Cap.	จำนวน	Energy (kWh/ปี)		Energy saves	Saves	Inv.	PB
		(BTU/hr)	(เครื่อง)	(ก่อน)	(หลัง)	(kWh/ปี)	(บาท/ปี)	(บาท)	(ปี)
ชั้นที่ 1									
1	ห้องพักอาจารย์ (1)	48,000	3	4,674	4,249	1,275	6,120	1,950	0.32
2	ห้องพักอาจารย์ (2)	36,000	1	3,529	3,207	322	1,540	650	0.42
3	ห้องเรียน 4104	60,000	2	5,674	5,158	1,032	2,476	1,300	0.53
4	ห้องเรียน 4105	36,000	2	3,529	3,207	644	1,540	1,300	0.84
5	ห้องเรียน 4109	48,000	2	4,674	4,249	850	2,040	1,300	0.64
ชั้นที่ 2									
6	ห้องพักอาจารย์ (1)	25,000	1	2,332	2,119.85	212	1,018	650	0.64
7	ห้องบัณฑิตศึกษา	36,000	2	3,529	3,207.95	642	3,082	1,300	0.42
8	ห้องประชุมบัณฑิต	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
9	ห้องพักอาจารย์ (2)	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
10	ห้องเรียน 4206	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
11	ห้องเรียน 4207	36,000	2	3,529	3,207.95	642	3,082	1,300	0.42
12	ห้องเรียน 4211	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
ชั้นที่ 3									
12	ห้องพักอาจารย์ (1)	36,000	2	3,529	3,207.95	642	3,082	1,300	0.42
14	ห้องปฏิบัติการ	48,000	1	4,674	4,249.23	425	2,039	650	0.32
15	ห้องศูนย์ทดสอบ	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
16	ห้องเรียน 4305	60,000	2	6,076	5,523.59	1,105	5,303	1,300	0.25
17	ห้องเรียน 4310	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
				73,793	67,082	12,888	55,789	20,800	0.37

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ในแต่ละปีงบประมาณควรตั้งงบประมาณเพื่อซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศด้วยการล้างทำความสะอาดคอยล์เย็น คอยล์ร้อนและตรวจเช็คสารทำความเย็น เท่ากับ 41,600.00 บาท/(2 ครั้ง)/ปี โดยสามารถคิดเป็นเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ 12,888.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 55,789.00 บาท/ปี ซึ่งคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายได้เท่ากับ 0.37 ปี

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าการตั้งงบประมาณเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการซ่อมบำรุงโดยการล้างเครื่องปรับอากาศนั้นมีความจำเป็นเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยจะช่วยให้สมรรถนะการ

ทำงานของเครื่องปรับอากาศมีค่าที่ต่ำอยู่เสมอซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงาน แต่อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี ที่มีความจำเป็นที่จะต้องหางบลงทุนเพื่อปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่ เนื่องด้วยเครื่องปรับอากาศใหม่จะมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานที่สูง ซึ่งวิธีการนี้ถึงแม้จะใช้งบประมาณลงทุนที่สูง แต่สามารถที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากต้นทุนพลังงานในระยะยาวได้

6. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางการบริหารจัดการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก ผลการศึกษาพบว่า มาตรการที่เหมาะสมกับหน่วยงานประกอบไปด้วย 2 มาตรการหลัก ดังนี้

(1) การซ่อมบำรุงด้วยการล้างคอยล์เย็น คอยล์ร้อนและตรวจเช็คแรงดันของสารทำความเย็น มาตรการนี้จะใช้งบประมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ โดยหน่วยงานของรัฐจำเป็นต้องตั้งงบประมาณในการซ่อมบำรุง 2 ครั้ง/ปี เพื่อช่วยให้เครื่องปรับอากาศสามารถรักษาสสมรรถนะการทำงานให้ต่ำอยู่เสมอ (ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ปรัชพงศ์ นัถถิตตรง & หม่อมหมื่นศรี, 2563) โดยในแต่ละปีงบประมาณควรตั้งงบประมาณเพื่อซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 41,600.00 บาท/(2 ครั้ง)/ปี และจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 12,888.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 55,789.00 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 0.37 ปี

(2) การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี เป็นเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter มาตรการนี้จะต้องตั้งงบประมาณในการลงทุนสูง แต่หากสามารถทำได้จะช่วยให้การลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ผลดีที่สุด (ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ อ้อการณ บุตโรทธิ์ศรี, 2566) โดยจะต้องตั้งงบประมาณในการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 1,652,800.00 บาท ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 78,566.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 377,117.00 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 4.38 ปี

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้แนวทางการบริหารจัดการที่ดีที่สุดควรวิเคราะห์ถึงงบประมาณที่ทางหน่วยงานมีหรือสามารถตั้งงบประมาณได้ แต่ทั้งนี้การซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศก็ควรทำอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง และควรมีการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเมื่อมีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี นอกจากนี้หากต้องการได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสมบูรณ์มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลชั่วโมงการใช้ห้องเรียน และ/หรือ ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สำหรับสถานที่ทำงานวิจัย ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยพลังงานสะอาด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือต่างๆ ที่ช่วยทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

8. เอกสารอ้างอิง

- กัญญาณัฐ คงพรปรารธนา. (2021). การประเมินผลประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน. **สารศาสตร์**, 4(2), 303-313.
- กันตภณ มะหาหมัด, ปิ่นพงษ์ ยอดสะคุณ, และวนิดา เพ็ชรลมูล. (2564). ระบบการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยการฉีดสเปรย์น้ำที่แผงคอยล์ร้อน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ**, 1(1), 10-18.
- ปรัชพงศ์ นัถิอตรง, และนลินี หมูหมื่นศรี. (2563). การศึกษาการใช้พลังงานและแนวทางการประหยัดพลังงานในวิทยาลัยธาตุพนม มหาวิทยาลัยนครพนม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี**, 8(1), 89-104.
- พิสิทธิ์ ถ้าวาปี, และชูพงษ์ ทองคำสมุทร. (2018). แนวทางการออกแบบอาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามนโยบายมหาวิทยาลัยสีเขียว. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)**, 15(2), 107-120.
- พิศาล ศิริวงค์, ปุณทริก สกฤมศักดิ์, และพีรเดช นิยะสม. (2565). การเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีตบล็อกกระบายอากาศในการต้านทานการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา**, 6(1), 9-15.
- พีรพัฒน์ หริเลิศรัฐ, อรรถน ศรีษฐบุตร, และสริน พินิจ. (2568). การประเมินประสิทธิผลของเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารของประเทศไทยภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ. **Sarasatr: Journal of Architecture and Design**, 8(1), 205-217.
- ยุทธพงษ์ ศรีวิชัยมูล, สุรเกียรติ์ คล้ายศรี, ชัชพงศ์ หอมจันทร์, และบุญยัง ปลั่งกลาง. (2562). การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เพื่อพัฒนาประสิทธิผลนวัตกรรมเครื่องปรับอากาศด้วยลมเย็นประหยัดพลังงาน. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- ศรัณย์ ตันรัตนวงศ์, และธนิต จินดาวณิ. (2562). การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์กรณีศึกษาแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ. **Sarasatr: Journal of Architecture and Design**, 2(4), 523-535.

- ศุภกฤต เฉลิมเกียรติ, และธนารักษ์ เหล่าสุทธิ. (2563). การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินโครงการพัฒนาอาคารสำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์. **Journal of Buddhist Education and Research (JBER)**, 6(2), 174-189.
- ศุภชัย ปัญญาวิทย์, และโจเซฟ เคदार. (2567). การปรับปรุงอาคารสำนักงาน บริษัท เอ็ม.อี.ซี. วิศวกรรม จำกัด ในหมวดพลังงานและบรรยากาศตามเกณฑ์ TREES-NC. **Journal of Research Creative Architecture and Design**, 1(1).
- สุทัศน์ ศิลาเกษ, ดุสิต งามรุ่งโรจน์, กิตติ เกื้อสกุล, โกวิทย์ กัลยาทอง, จงจิตร หิรัญลาภ, สุเมธ สติตบุญอนันต์, โจเซฟ เคदार, นภาพ แยมไตรพัฒน์, โยธิน อึ้งกุล, สิทธิพร ไชยธนายศ, และปรีดา จันทวงษ์. (2564). การศึกษาจุดคุ้มทุนระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันของอาคารสำนักงาน. **Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College**, 8(2), 79-90.
- สุรพงษ์ สำลิพันธุ์, และชัยยศ ดำรงกิจโกศล. (2567). การศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในฟาร์มเป็ด. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 18(2), 62-72.
- สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิชร. (2568). การศึกษาเชิงเทคนิคการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมากเก็บในรูปแบบน้ำเย็น. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข.**, 53(2), 233-244.
- สกลสุภา เต็มสวัสดิ์, และยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2567). สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารมหาวิทยาลัย กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. **วารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบและการก่อสร้าง**, 6(1), 52-65.
- เอื้อการณ์ บุตรโพธิ์ศรี. (2566). การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ในการอนุรักษ์พลังงาน โรงพยาบาลหนองสูงศรี จังหวัดกาฬสินธุ์. **วารสารสิ่งแวดล้อมศึกษาการแพทย์และสุขภาพ**, 8(2), 237-244.
- Nezhad, A. E., Rahimnejad, A., & Gadsden, S. A. (2021). Home energy management system for smart buildings with inverter-based air conditioning system. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 133, 107230.
- Sanzana, M. R., Maul, T., Wong, J. Y., Abdulrazic, M. O. M., & Yip, C.-C. (2022). Application of deep learning in facility management and maintenance for heating, ventilation, and air conditioning. **Automation in Construction**, 141, 104445.
- Yang, C., Shen, W., Chen, Q., & Gunay, B. (2018). A practical solution for HVAC prognostics: Failure mode and effects analysis in building maintenance. **Journal of Building Engineering**, 15, 26-32.