

การปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสำนักงานภาครัฐโดยใช้ แบบจำลองพลังงาน: กรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง

Energy Improvement of Building Frames in Government Office Buildings Using Energy Modeling: Case Study of Bang Mae Nang Municipality Office

ทินกร เชื้อวงศ์¹ ศุภรัชชัย วรรัตน์^{1*} และประยูทธ์ ฤทธิเดช¹

Tinnakorn Chuaewong¹, Suparatchai Vorarat^{1*} and Prayuth Rittidatch¹

¹วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

¹College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University

*Corresponding author: vorarat@dpu.ac.th

Received: December 22, 2023

Revised: February 29, 2024

Accepted: March 7, 2024

บทคัดย่อ

การวางแผนการจัดการพลังงานเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากสำหรับอาคารสำนักงาน โดยสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานส่วนใหญ่เกิดจากการปรับอากาศ ดังนั้นกรอบอาคารมีส่วนสำคัญอย่างมากในการลดภาระระบบปรับอากาศ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทำการประเมินมาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสำนักงาน โดยใช้อาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง จังหวัดนนทบุรี เป็นอาคารกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคทางด้านการจำลองพลังงานโปรแกรม OpenStudio และEnergyPlus ทำการจำลองการปรับปรุงกรอบอาคาร 20 มาตรการ และวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาพบว่ามาตรการเปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm (M18) มีศักยภาพการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยมีค่าดัชนีการใช้พลังงาน 158.66 kWh/(m²Year) ตามด้วยมาตรการเปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm (M19) และมาตรการเปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm (M20) โดยมีค่าดัชนีการใช้พลังงาน 159.00 kWh/(m²Year) และ 159.35 kWh/(m²Year) ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า มาตรการที่เป็นไปได้ในการลงทุน และเมื่อสิ้นสุดโครงการมีค่า (NPV) สูงที่สุด คือมาตรการติดฉนวนที่ผนังอาคาร หนา 65 mm และติดฟิล์ม B4100 (M9) เท่ากับ 282,957.79 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 19.59 ปี และมาตรการเปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm (M18) ยังสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุดเท่ากับ 7,855.95 kgCO₂e/year และหากพิจารณาผลด้านพลังงานและผลตอบแทนการลงทุน พบว่ามาตรการติดฉนวนที่ผนังอาคาร หนา 65 mm และติดฟิล์ม B4100 (M9) ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทุกมาตรการ โดยผลการศึกษาและวิธีวิจัยในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารสำหรับอาคารสำนักงานอื่น ๆ ได้

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การจำลองพลังงานภายในอาคาร การปรับปรุงการใช้พลังงาน

Abstract

Energy management planning is significant for office buildings. Air conditioning accounts for most of the energy consumption in office buildings. Therefore, the building frame plays a critical role in reducing the load on the air conditioning system. This research aims to evaluate the energy improvement measures of the building frame in office buildings. They're using the Bang Mae Nang Municipality Office Building in Nonthaburi Province as a case study site. This study utilized energy simulation techniques in the Open Studio and Energy Plus programs. Simulated 20 building framework renovation measures and analyzed the investment returns and economic feasibility. The study found that efforts to change 6 mm thick clear glass to 6 mm thick Low-E glass with B4100 film and add Stay Cool 150 mm thick (M18) have the highest energy-saving potential. With an energy use index of 158.66 kWh/(m²Year), followed by measures to change 6 mm thick clear glass to 6 mm thick glazing glass with B4100 film and add Stay Cool 150 mm thick (M19) and steps to change 6 mm thick clear glass. It is a 6 mm thick Solar Tag glass with B4100 film and 150 mm thick Stay Cool added (M20) with an energy use index of 159.00 kWh/(m²Year) and 159.35 kWh/(m²Year) respectively. Economic analysis found that possible measures for investment at the end of the project had the highest NPV: the measure to install insulation on the building walls, 65 mm thick, and install B4100 (M9) film, equal to 282,957.79 baht with a payback period of 19.59 years, and the measure to change 6 mm thick clear glass to glass. Low-E, 6 mm thick, applied with B4100 film and added to Stay Cool, 150 mm thick (M18), can still reduce the amount of carbon dioxide up to 7,855.95 kgCO₂e/year if energy and investment returns are considered. Researchers found that installing insulation 65 mm thick on building walls and adding B4100 (M9) film were the most effective measures among all options. Applying the results and methods of this research can improve the energy efficiency of building frames for other office buildings.

Keywords: energy management, carbon dioxide emissions, building energy simulation, energy renovation



บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน และเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจ เทคโนโลยี และคุณภาพชีวิต พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ของประเทศไทยผลิตมาจากแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติต่าง ๆ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า จากกระบวนการเผาไหม้ได้สร้างมลพิษขึ้น โดยอยู่ในรูปของก๊าซ ฝุ่นควัน น้ำเสีย และกากของเสียต่าง ๆ ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก และภาวะโลกร้อน (Pisetthanakitkul & Rassameethes, 2021) ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและกำลังจะหมดในเวลาอีกไม่นาน รวมทั้งผลของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ในปริมาณมากไปปกคลุมชั้นบรรยากาศโลกทำให้การกักเก็บอุณหภูมิภายในโลกสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาวะอากาศของโลกเป็นอย่างมาก (Chomdee, 2015) การประชุม UN Climate Change Conference of the Parties--COP26 แสดงให้เห็นถึงจุดยืนที่มุ่งมั่นของประเทศสมาชิกโดยมีการทบทวนเป้าหมายและประกาศเจตจำนงในการบรรลุความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในครึ่งศตวรรษนี้ รวมถึงการบรรลุการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Greenhouse Gas Emissions) (Techasitthinan, 2021) รัฐบาลของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกตื่นตัวและให้ความสำคัญกับปัญหานี้ โดยมีนโยบายลดการใช้พลังงาน และส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มสูงขึ้น

ประเทศไทยได้เสนอเป้าหมายของประเทศในการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายหลังปี ค.ศ. 2020 (Intended Nationally Determined Contribution--INDC) โดยลดก๊าซเรือนกระจกลง 20% ในปี พ.ศ. 2573 แสดงเจตจำนงในการมีส่วนร่วมดำเนินการความตกลงปารีส (Paris Agreement) ในการจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยจัดทำข้อเสนอการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดก๊าซเรือนกระจกและการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายหลังปี พ.ศ. 2563 ที่มีความสอดคล้องตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงและการพัฒนาที่ยั่งยืน และต่อยอดการดำเนินงานในกรอบมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับชาติ (Nationally Appropriate Mitigation Actions--NAMA) การบรรลุเป้าหมายของ Paris Agreement ในการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 1.5 °C ภายในปี ค.ศ. 2100 นั้น IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C (2018) กำหนดแนวทางเพื่อบรรลุเป้าหมาย 2 °C โดยทั่วโลกต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 40-70% ภายในปี ค.ศ. 2050 โดยหากมุ่งมั่นที่จะบรรลุเป้าหมาย 1.5 °C ทั่วโลกต้องลดปริมาณการปล่อยลงถึง 70-95% อันนำไปสู่ Global Net-Zero Emission (Mensin et al., 2022)

ในปี พ.ศ. 2535 ประเทศไทยได้มีการออกกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกำกับดูแลและส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย พระราชบัญญัติกำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 และกฎกระทรวงเกี่ยวกับอาคารควบคุม และได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Rittidatch, Phdungsilp & Vorarat, 2021) สำหรับอาคารสำนักงาน ได้ถูกกำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศไว้ โดยกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 ประกอบด้วย (1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารประเภทสำนักงานมีค่าไม่เกิน 50 W/m² และ (2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศมีค่าไม่เกิน 10 W/m² นอกจากนั้นแล้วยังมีการบังคับใช้เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร (Building Energy Code--BEC) สำหรับอาคารใหม่อีกด้วย (Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency, 2023)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการวางแผนพลังงานและการจัดการพลังงานในอาคารประเภทสำนักงานทั้งในด้านการจัดการพลังงานความร้อนของกรอบอาคาร (Roong-in Kunkar & Krukaset, 2019; Sreshthaputra, 2007; Sudprasert, 2019) การลดการใช้พลังงาน รวมถึงการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน โดยใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและแบบจำลองพลังงานเข้ามาช่วยในการตัดสินใจ เนื่องจากการจำลองการใช้พลังงานในอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้เวลาสั้นกว่า มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า และวิเคราะห์ทางเลือกในการออกแบบได้หลากหลายกว่าการทำแบบจำลองย่อส่วน (scale model) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีงานวิจัยที่ใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานอยู่หลายโปรแกรม เช่น BECv.1.0.6, ISA's OTTV52, eQUEST 3.65, DOE-2.1E, Visual DOE 4.1, Autodesk Revit เป็นต้น (Chaowanakamol, 2019; Silaket et al., 2021; Roong-in Kunkar & Krukaset, 2019; Sudprasert, 2019; Sreshthaputra, 2007; Yanwaisakul & Sreshthaputra, 2013; Mahawan, Buakla, Konthong & Ketkhao, 2022) และ การใช้แบบจำลองพลังงาน EnergyPlus ในการประเมินประสิทธิภาพพลังงาน (Pattaraphumeemit, 2019)

ด้วยเหตุนี้ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่อาคารประเภทสำนักงานของภาครัฐ โดยการเลือกใช้วัสดุผนังและวัสดุหลังคาของอาคารที่มีความหลากหลายและสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเลือกใช้วัสดุรวมถึงการวิเคราะห์การลงทุนในการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานของอาคารได้เลือกใช้แบบจำลองพลังงาน OpenStudio และ EnergyPlus ทำการจำลองการใช้พลังงาน ซึ่งการใช้แบบจำลองพลังงานในอาคารเข้ามาช่วยในการตัดสินใจนั้นพบว่า เป็นวิธีการวิจัยที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง อีกทั้งในปัจจุบัน OpenStudio และ EnergyPlus ถือว่าเป็นแบบจำลองพลังงานในอาคารที่นิยมใช้ในการประเมินอาคารและมีค่าความถูกต้องที่ยอมรับได้สูง (Yimprayoon, Mungkung, Takkanon & Intrachoto, 2020)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อจำลองการใช้พลังงานของอาคาร และเปรียบเทียบการใช้พลังงาน กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง จังหวัดนนทบุรี
2. เพื่อประเมินมาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารและวิเคราะห์การลงทุนกรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง จังหวัดนนทบุรี

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจำลองพลังงานในอาคาร OpenStudio และ EnergyPlus จะคำนวณการใช้พลังงานโดย EnergyPlus ในลักษณะของ Physical Model โดยใช้สมการทางด้านการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างอาคารกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวอาคาร ซึ่ง EnergyPlus นั้นเป็น Simulation Engine ที่ใช้การคำนวณบนพื้นฐานของสมดุลความร้อน สำหรับ OpenStudio นั้นเป็นโปรแกรมประเภท API--Application Programming Interface ที่ใช้ในการจัดการข้อมูลของแต่ละตัวแปร ข้อมูลทางด้านสภาวะอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และรังสีดวงอาทิตย์ได้ใช้ชุดข้อมูลของจังหวัดกรุงเทพฯ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้จากการเข้าสำรวจ การทำ Energy Audit และตรวจวัดจากอุปกรณ์ที่ใช้งานสำหรับแบบจำลองพลังงาน Energy Plus ใช้การคำนวณหลักการสมดุลความร้อน ซึ่งรวมถึงสมดุลความร้อนที่พื้นผิว สมดุลความร้อนในอากาศ และการจำลองระบบอาคาร โดยการคำนวณสมดุลความร้อนแสดงไว้ในสมการที่ (1-4) (Kampelis et al., 2020)

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (1)$$

เมื่อ $q''_{\alpha sol}$ คือ รังสีแสงอาทิตย์ที่ดูดซับโดยตรงและกระจาย (ความยาวคลื่นสั้น) และฟลักซ์ความร้อน

q''_{LWR} คือ การแลกเปลี่ยนฟลักการแผ่รังสีความยาวคลื่นสุทธิ (ความร้อน) กับอากาศและสภาพแวดล้อม
 q''_{conv} คือ การแลกเปลี่ยนฟลักความร้อนเวียนกับอากาศภายนอก

q''_{ko} คือ ค่าการนำความร้อน (q/A) สู่ผนัง

โดยที่ $q''_{\alpha sol}$ ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต่าง ๆ เช่น ตำแหน่ง มุมมองพื้นผิวและความเอียง วัสดุผิวและสภาพอากาศ และ q''_{LWR} ถูกกำหนดโดยการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างพื้นผิวกับพื้นดิน

$$q''_{LWR} = \varepsilon \sigma F_{gnd} (T_{gnd}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon \sigma F_{sky} (T_{sky}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon \sigma F_{air} (T_{air}^4 - T_{surf}^4) \quad (2)$$

เมื่อ ε คือ การปล่อยคลื่นยาวของพื้นผิว

σ คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann

F_{gnd} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิพื้นผิวพื้นดิน

F_{sky} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิของท้องฟ้า

F_{air} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังต่ออุณหภูมิอากาศ

T_{surf} คือ อุณหภูมิพื้นผิวภายนอก

T_{gnd} คือ อุณหภูมิพื้นผิวดิน

T_{sky} คือ อุณหภูมิท้องฟ้า

T_{air} คือ อุณหภูมิของอากาศ

$$q''_{conv} = h_{c,ext} A (T_{surf} - T_{air}) \quad (3)$$

เมื่อ q''_{conv} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนภายนอก

$h_{c,ext}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอก

A คือ พื้นผิว

T_{surf} คือ อุณหภูมิพื้นผิว

T_{air} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (4)$$

เมื่อ $q''_{ko}(t)$ คือ ฟลักซ์ความร้อนนำไฟฟ้าสำหรับชั้นตอนเวลาปัจจุบัน

T คือ อุณหภูมิ

T_o คือ อุณหภูมิขององค์ประกอบภายในของอาคาร

T_i คือ อุณหภูมิขององค์ประกอบภายนอกของอาคาร

i คือ องค์ประกอบภายในของอาคาร

o คือ องค์ประกอบภายนอกของอาคาร

X, Y คือ ปัจจัยตอบสนอง

การจำลองการใช้พลังงานได้ใช้ตัวแปรด้านสมบัติของวัสดุและตัวแปรอื่น ๆ ของอาคารกรณีศึกษาข้อมูลมาทำการจำลองหาค่าพลังงานที่อาคารใช้ต่อปี ทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้จากการตรวจวัดจริงเพื่อวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของแบบจำลองพลังงาน มาตรการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังและหลังคาทั้งหมด 20 มาตรการ เปรียบเทียบหามาตรการที่ดีที่สุดด้านการลดภาระความร้อนเข้าสู่อาคาร ลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ HVAC--Heating Ventilation and Air-conditioning Systems และนำมามาตรการไปวิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาความเป็นไปได้ของมาตรการโดยใช้ผลตอบแทนการลงทุนมาช่วยในการวิเคราะห์โอกาสและความเป็นไปได้ของโครงการที่ดีที่สุดในระยะเวลา 40 ปี (Rittidatch, Phdungsilp & Vorarat, 2021)

ในการศึกษาความเป็นไปได้เพื่อลงทุนโครงการนั้น นอกจากการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลตอบแทนจากการลงทุน ซึ่งในการประเมินผลตอบแทนจากการลงทุนของโครงการ จะใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value--NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return--IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period--PBP) แสดงไว้ในสมการที่ (5-7) (Rittidatch, Vorarat & Phdungsilp, 2023)

โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่จะได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการมีการคำนวณอัตราส่วนลดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยประมาณการจากอัตราดอกเบี้ยของธนาคาร ดังสมการที่ (5)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(Bt-Ct)}{(1+r)^t} \quad (5)$$

เมื่อ

Bt คือ ผลตอบแทนในปี t (บาท)

Ct คือ ต้นทุนในปี t (บาท)

r คือ อัตราส่วนลด (เปอร์เซ็นต์)

n คือ จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ (ปี)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return--IRR) เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนในโครงการ การคำนวณค่า IRR นั้นจะแตกต่างกับ NPV ที่ค่าของตัวแปร r โดย IRR ค่า r จะถูกแทนด้วยอัตราคิดลดหรือต้นทุนของเงิน ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (6)

$$IRR = \frac{CF1}{(1+r)^1} + \frac{CF2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CFn}{(1+r)^n} \quad (6)$$

เมื่อ

CF คือ ค่ากระแสเงินสดสุทธิสำหรับแต่ละปี

R คือ อัตราคิดลด หรือ ต้นทุนของเงินทุน

N คือ จำนวนปีทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณค่า IRR การคำนวณนั้นคิดในแต่ละปีที่ถูกนำมาพิจารณา

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period--PBP) เป็นการพิจารณาโครงการลงทุนจากมูลค่าเงินทุนที่เสียไปกับระยะเวลาที่จะได้รับประโยชน์จากการลงทุนคืน โดยไม่คำนึงถึงเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง สามารถ

แสดงการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังสมการที่ (7)

$$PBP = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุนงวดก่อน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \quad (7)$$

การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมและนำไปวิเคราะห์หาแนวทางหรือมาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.5986 kgCO₂e/year ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยในปีพ.ศ. 2566 (Greenhouse Gas Management Organization, 2023) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (8)

$$CO_2 \text{ Emissions} = ER * 0.5986 \text{ (kgCO}_2\text{e/year)} \quad (8)$$

โดยที่ ER คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า (kWh)

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้แบบจำลองพลังงานในอาคาร OpenStudio และ EnergyPlus ทำการศึกษาการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคาร โดยการรวบรวมข้อมูลทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา เช่น พื้นที่ใช้สอยอาคาร ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร เวลาเปิดใช้อาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร เป็นต้น โดยแต่ละตัวแปรถูกป้อนเข้ามาที่ OpenStudio แล้วถูกส่งไปคำนวณการใช้พลังงานโดย EnergyPlus ในลักษณะของ Physical Model โดยใช้สมการทางด้านถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างอาคารกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวอาคาร ดังภาพ 1 โดยแผนผังวิธีดำเนินงานวิจัยจะประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา เป็นอาคารสูง 4 ชั้น ดังภาพ 2 (ก) มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 1,920.00 m² ผนังอาคารทำด้วยวัสดุ Masonry Wall และ Glass Wall ส่วนของหลังคาใช้วัสดุ Metal Sheet หนา 4 mm และแบบแปลนของพื้นที่ภายในอาคาร ดังภาพ 2 (ข) โดยอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีอยู่ที่ 317,757.11 kWh (อ้างอิงจากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าปี พ.ศ. 2565) ลักษณะการใช้สอยพื้นที่เป็นอาคารประเภทสำนักงาน และข้อมูลต่าง ๆ ของอาคารกรณีศึกษาได้แสดงไว้ดังตาราง 1

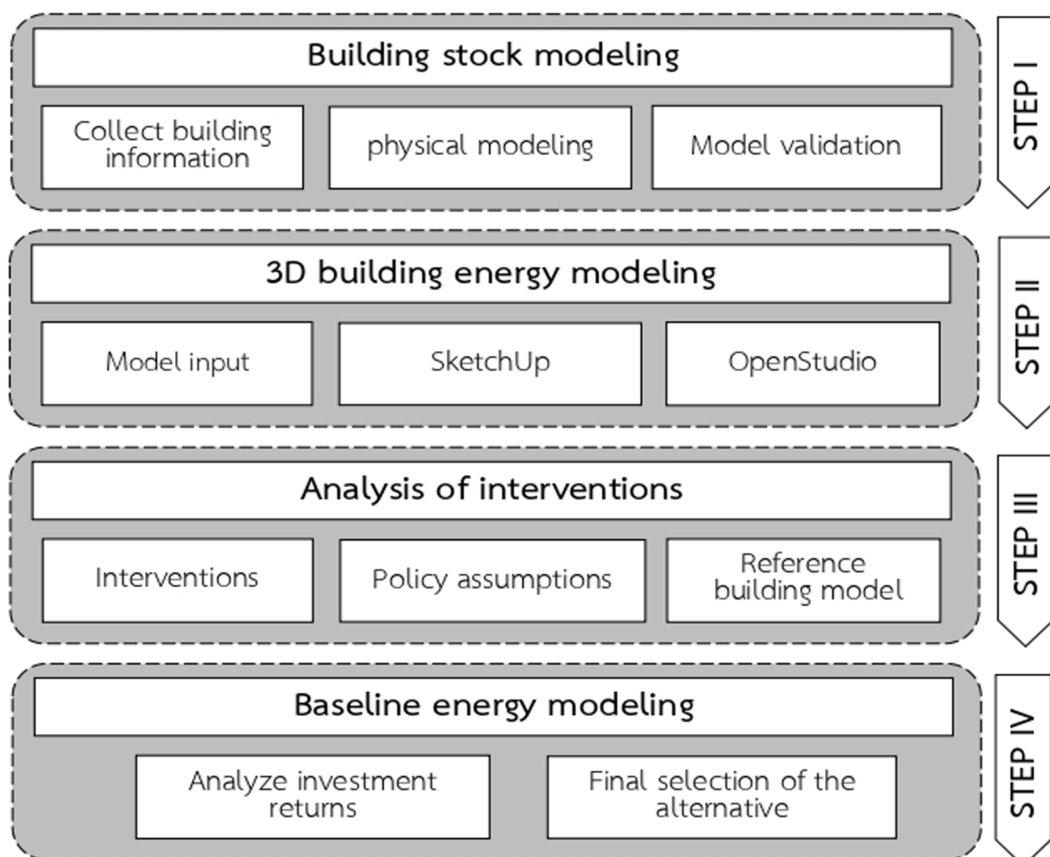
สมบัติทางความร้อนของกรอบอาคาร

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอมาตรการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังและหลังคาที่สามารถนำรูปแบบมาตรการมาประยุกต์ใช้ได้จริง โดยใช้เทคนิคการปรับสมบัติของวัสดุและนวัตกรรมของกรอบอาคารมาใช้ในการปรับปรุงผนังและหลังคาของอาคารที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน โดยทำการรวบรวมสมบัติตัวแปรทางความร้อนของกรอบอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานดังแสดงไว้ในตาราง 2 เมื่อได้สร้างอาคารขึ้นในรูปแบบ 3 มิติโดยใช้โปรแกรม SketchUp ดังภาพ 3 (ก) แล้วส่งข้อมูลทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของตัวแปรต่าง ๆ ผ่าน OpenStudio เพื่อนำไปให้ EnergyPlus ทำการคำนวณ ดังภาพ 3 (ข) การสร้างแบบจำลองได้ใช้ข้อมูลค่าอ้างอิงสมบัติที่เกี่ยวข้องของตัวแปรทางความร้อนของอาคาร ตามรายการวัสดุแต่ละประเภทที่นำมาใช้ในการปรับปรุง โดยตาราง 2 ได้แสดงค่า Thermal Conductivity Density Specific Heat Solar Heat Gain Coefficient--SHGC และ Transmittance ของวัสดุต่าง ๆ ที่นำมาใช้แทนค่าในแบบจำลอง โดยอัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างภายนอกเทียบกับพื้นที่ผนังของอาคาร (WWR) ได้แสดงไว้ในตาราง 1 พบว่าค่า WWR มากที่สุดจะอยู่ที่

ทิศเหนือ (N) เท่ากับ 1.006 โดยที่ทิศใต้ (S) มีอัตราส่วนพื้นที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.194 ทิศตะวันออกและตะวันตกมีอัตราส่วนพื้นที่เท่ากันมีค่าเท่ากับ 0.276 เนื่องจากอาคารมีรูปแบบเท่ากัน และเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกิน 5%

มาตรการปรับปรุงพลังงานกรอบอาคารกรณีศึกษา

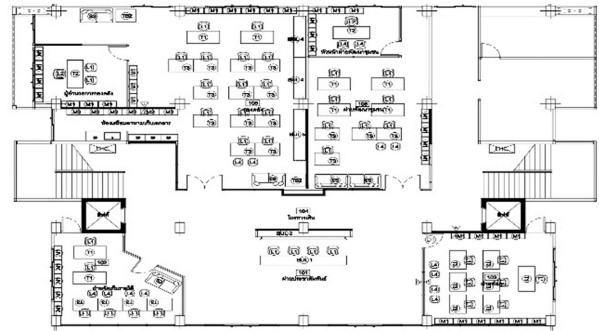
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการนำเสนอรูปแบบมาตรการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานจำนวน 20 มาตรการ โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปร สมบัติด้านความร้อนของกรอบอาคารกรณีศึกษา และความเป็นไปได้ในการจำลองการใช้พลังงานและการปฏิบัติจริงแสดงไว้ในตาราง 3 จากนั้นจึงนำมามาตรการที่เลือกไปทำการจำลองการใช้พลังงานโดยใช้ตัวแปรของแต่ละมาตรการ รวมถึงแสดงจำนวนพื้นที่ของผนัง พื้นที่หลังคา ราคาดัชนีและค่าแรง ซึ่งราคาดัชนีนั้นทำการสืบราคาจากสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า และจากบริษัทที่ผลิตและจัดจำหน่ายแสดงไว้ในตาราง 4



ภาพ 1 แผนผังงานวิจัยกรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง

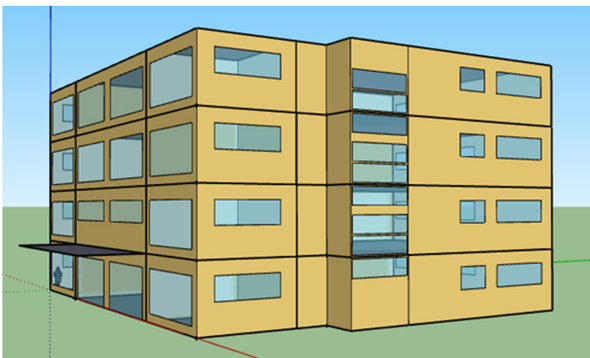


ก) ภาพอาคารกรณีศึกษา

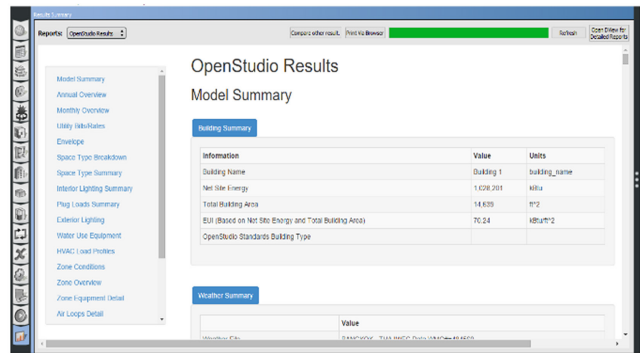


ข) แบบแปลนพื้นที่ภายในอาคาร

ภาพ 2 ภาพและแบบแปลนอาคารตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง



ก) แบบจำลองอาคาร



ข) การจำลองพลังงานผ่าน OpenStudio และ EnergyPlus

ภาพ 3 แบบจำลองอาคารและการจำลองพลังงานผ่าน OpenStudio และ EnergyPlus

ตาราง 1

ข้อมูลอาคารตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง

ข้อมูลอาคาร	อาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง			
ปีที่เปิดใช้อาคาร	พ.ศ. 2558			
พื้นที่ใช้สอย (m ²)	1,920			
พื้นที่ปรับอากาศ (m ²)	1,104			
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (m ²)	816			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/Year)	317,757.11			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ kWh/(m ² Year)	165.50			
เวลาเปิดใช้อาคาร (hr/day)	9			
Window-to-Wall Ratio (WWR)	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
	(N)	(S)	(E)	(W)
	1.006	0.194	0.276	0.276

ตาราง 2

ข้อมูลอ้างอิงสมบัติที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรทางความร้อนอาคารกรณีศึกษา

รายการวัสดุ	ค่า Thermal Conductivity (W/m ² K)	ค่า Density (kg/m ³)	ค่า Specific Heat (kJ/kg°C)	ค่า SHGC	ค่า Transmittance
1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 75 mm	1.10	1,700	0.79	-	-
2. กระจกใส หนา 6 mm	-	-	-	0.72	0.846
3. ฉนวนกันความร้อน หนา 65 mm	0.035	24	0.96	-	-
4. ผนังไม้ (Wooden wall) หนา 75 mm	0.13	500	1.61	-	-
5. กระจก Low-E หนา 6 mm	-	-	-	0.55	0.696
6. กระจก Double Glazing หนา 6 mm	-	-	-	1.11	0.078
7. กระจก Solar Tag หนา 6 mm	-	-	-	0.41	0.324
8. ฟิล์ม B4100	-	-	-	0.29	0.128
9. ฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 75 mm	0.036	12	0.96	-	-
10. ฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 150 mm	0.042	12	0.96	-	-

ตาราง 3

มาตรการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

มาตรการ (Measures)	
M1	ติดตั้งผนังอาคาร หนา 65 mm
M2	เปลี่ยนผนังก่ออิฐฉาบปูนทั้งหมดให้เป็นผนังไม้ (Wooden wall) หนา 75 mm
M3	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm
M4	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm
M5	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm
M6	ติดฟิล์ม B4100 ที่กระจกทั้งอาคาร
M7	ติดตั้งฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 75 mm
M8	ติดตั้งฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 150 mm
M9	ติดตั้งผนังอาคาร หนา 65 mm และติดฟิล์ม B4100
M10	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm และติดฟิล์ม B4100
M11	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm และติดฟิล์ม B4100
M12	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm และติดฟิล์ม B4100
M13	ติดตั้งผนังอาคาร หนา 65 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 75 mm
M14	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 75 mm
M15	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 75 mm

ตาราง 3 (ต่อ)

มาตรการ (Measures)	
M16	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 75 mm
M17	ติดฉนวนที่ผนังอาคารหนา 65 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm
M18	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm
M19	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm
M20	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm

ตาราง 4

ราคาวัสดุบวกค่าแรงสำหรับมาตรการปรับปรุงกรอบอาคาร

รายการวัสดุ	จำนวนพื้นที่ (m ²)	ราคาค่าวัสดุและค่าแรง (Baht/m ²)
1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 75 mm	1,058.92	530.00
2. กระจกใส หนา 6 mm	400.28	251.87
3. ฉนวนกันความร้อน หนา 65 mm	1,058.92	352.08
4. ผนังไม้ (Wooden wall) หนา 75 mm	1,058.92	2,219.10
5. กระจก Low-E หนา 6 mm	400.28	3,358.34
6. กระจก Double Glazing หนา 6 mm	400.28	3,498.27
7. กระจก Solar Tag หนา 6 mm	400.28	2,168.93
8. ฟิล์ม B4100	400.28	861.11
9. ฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 75 mm	480.00	210.41
10. ฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 150 mm	480.00	268.74

ผลการวิจัย

เมื่อได้แบบจำลองต้นแบบของอาคารกรณีศึกษา แล้วทำการเพิ่มความสามารถในการป้องกันความร้อน ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศลงได้ ผลจากการจำลองพลังงานโดยใช้ OpenStudio และEnergyPlus ทำการจำลองการปรับปรุงกรอบอาคาร 20 มาตรการ พบว่าค่าการใช้พลังงาน (energy use) ของอาคารกรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม่นาง จังหวัดนนทบุรี ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 165.50 kWh/(m²Year) และมีค่า

ความคลาดเคลื่อน 0.77% เมื่อเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารกรณีศึกษา จากการจำลองการใช้พลังงานทั้ง 20 มาตรการ ได้ผลการศึกษาซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่า Energy Use ก่อนและหลังการปรับปรุงดังแสดงไว้ในตาราง 5

ผลจากการจำลอง (ดังตาราง 5) พบว่ามาตรการที่ช่วยลดการใช้พลังงานมากที่สุด คือ มาตรการ M18 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 158.66 kWh/(m²Year) รองลงมาคือ มาตรการ M19 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 159.00 kWh/(m²Year) และ

M20 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 159.35 kWh/(m²Year) ตามลำดับ ในส่วนมาตรการที่ลดการใช้พลังงานได้น้อยที่สุดคือมาตรการ M1 (164.98 kWh/(m²Year)) และ M7 (164.98 kWh/(m²Year)) รองลงมาคือ M8 (164.77 kWh/(m²Year)) และ M6 (163.81 kWh/(m²Year)) ตามลำดับ

การวิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาความเป็นไปได้ในการลงทุนแต่ละมาตรการโดยใช้ผลตอบแทนการลงทุนมาช่วยวิเคราะห์โอกาสและความเป็นไปได้ของโครงการที่ดีที่สุด ในระยะเวลา 40 ปี (ตารางกำหนดอายุใช้งานและอัตราค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวร) โดยคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 7 บาท (คิดจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าที่จ่ายจริง) และใช้อัตราคิดลดที่ 5% จากข้อมูลการลงทุนปรับเปลี่ยนวัสดุผนังและหลังคา และความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารพบว่า มีเพียง 6 มาตรการเท่านั้น (ดังตาราง 6) ที่คืนทุนภายในระยะเวลา 40 ปี

จากข้อมูลในตาราง 6 พบว่า ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการลงทุนมาตรการทั้ง 6 มาตรการ ผลตอบแทนการลงทุนของมาตรการที่ M9 M13 M20 M6 M8 และ M7 เมื่อสิ้นสุดโครงการมีค่า (NPV) เท่ากับ 282,957.79 บาท 230,361.96 บาท 75,740.03 บาท 45,480.31 บาท 39,663.52 บาท และ 19,584.05 บาท ตามลำดับ ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน (PBP) ที่ 19.59 ปี 22.70 ปี 34.27 ปี 29.08 ปี 21.89 ปี และ 25.99 ปี ตามลำดับ

ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารนั้นปัญหาทางการเงินและการพิจารณาการลงทุนเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นการปรับปรุงกรอบอาคารเท่านั้น ในการปรับปรุงอาจพิจารณาปรับปรุงได้เพียงบางมาตรการเท่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดกระทบกับกรอบอาคารเดิม เช่น การเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนัง การเปลี่ยนกระจก การติดฟิล์ม เป็นต้น หากทำการเปลี่ยนผนังอาคารใหม่ทั้งหมดอาจต้องใช้งบประมาณจำนวนมากและต้องทำการยื่นแบบเพื่อขออนุญาตปรับปรุง ซึ่งเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก

การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมและนำไปวิเคราะห์หาแนวทางหรือมาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลจากการจำลองพบว่าการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือมาตรการ M18 มีค่า 7,855.95 kgCO₂e/year รองลงมาคือมาตรการ M19 มีค่า 7,465.25 kgCO₂e/year และ M20 มีค่า 7,064.77 kgCO₂e/year ตามลำดับ ในส่วนมาตรการที่ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดคือมาตรการ M1 มีค่า 592.31 kgCO₂e/year รองลงมาคือมาตรการ M7 มีค่า 600.93 kgCO₂e/year และ M8 มีค่า 840.53 kgCO₂e/year ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตาราง 7

ตาราง 5

แสดงการเปรียบเทียบค่า Energy Use ก่อนและหลังการปรับปรุง

มาตรการ	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/Year	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/(m ² Year)	การประหยัดพลังงาน (%)
M1	316,767.62	164.98	0.31
M2	313,934.16	163.51	1.20
M3	312,418.30	162.72	1.68
M4	313,072.64	163.06	1.47
M5	313,368.50	163.21	1.38
M6	314,508.80	163.81	1.02
M7	316,753.22	164.98	0.32
M8	316,352.95	164.77	0.44

ตาราง 5 (ต่อ)

มาตรการ	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/Year	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/(m ² Year)	การประหยัดพลังงาน (%)
M9	309,427.76	161.16	2.62
M10	308,084.99	160.46	3.04
M11	308,508.35	160.68	2.91
M12	308,761.92	160.81	2.83
M13	309,024.80	160.95	2.75
M14	306,871.64	159.83	3.43
M15	307,756.68	160.29	3.15
M16	307,219.45	160.01	3.32
M17	311,110.97	162.04	2.09
M18	304,633.23	158.66	4.13
M19	305,285.93	159.00	3.92
M20	305,954.96	159.35	3.71

ตาราง 6

ค่าตอบแทนการลงทุน 20 มาตรการ

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ค่า NPV (บาท)	ค่า IRR (%)	ค่า PBP (ปี)
M1	372,824.55	- 253,973.34	- 6.07	เกิน 40 ปี
M2	2,349,849.37	- 1,890,661.07	- 8.00	เกิน 40 ปี
M3	1,344,275.05	- 703,011.34	- 4.26	เกิน 40 ปี
M4	1,400,286.51	- 837,617.94	- 5.06	เกิน 40 ปี
M5	868,177.64	- 341,045.87	- 3.03	เกิน 40 ปี
M6	344,865.91	45,480.31	0.90	29.08
M7	100,996.80	19,584.05	1.30	25.99
M8	128,995.20	39,663.52	2.03	21.89
M9	717,510.46	282,957.79	2.58	19.59
M10	1,688,960.97	- 527,207.77	- 2.35	เกิน 40 ปี
M11	1,744,972.43	- 634,070.53	- 2.78	เกิน 40 ปี
M12	1,212,863.55	- 132,418.86	- 0.78	เกิน 40 ปี
M13	818,507.26	230,361.96	1.87	22.70
M14	1,789,957.77	- 482,464.73	- 2.00	เกิน 40 ปี
M15	1,845,969.23	- 644,781.53	- 2.66	เกิน 40 ปี
M16	1,313,860.35	- 48,144.03	- 0.26	เกิน 40 ปี

ตาราง 6 (ต่อ)

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ค่า NPV (บาท)	ค่า IRR (%)	ค่า PBP (ปี)
M17	846,505.66	- 48,213.83	- 0.40	เกิน 40 ปี
M18	1,817,956.17	- 241,599.63	- 0.95	เกิน 40 ปี
M19	1,873,967.63	- 376,009.24	- 1.46	เกิน 40 ปี
M20	1,341,858.75	75,740.03	0.39	34.27

ตาราง 7

การใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคาร

มาตรการ	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/(Year)	ปริมาณการปล่อย CO ₂ (kgCO ₂ e/year)	การประหยัดพลังงาน (energy use) kWh/(Year)	การลดปริมาณการปล่อย CO ₂ (kgCO ₂ e/year)
M1	316,767.62	189,617.10	989.49	592.31
M2	313,934.16	187,920.99	3,822.95	2,288.42
M3	312,418.30	187,013.59	5,338.81	3,195.81
M4	313,072.64	187,405.28	4,684.47	2,804.12
M5	313,368.50	187,582.38	4,388.61	2,627.02
M6	314,508.80	188,264.97	3,248.31	1,944.44
M7	316,753.22	189,608.48	1,003.89	600.93
M8	316,352.95	189,368.88	1,404.16	840.53
M9	309,427.76	185,223.46	8,329.35	4,985.95
M10	308,084.99	184,419.68	9,672.12	5,789.73
M11	308,508.35	184,673.10	9,248.76	5,536.31
M12	308,761.92	184,824.89	8,995.19	5,384.52
M13	309,024.80	184,982.25	8,732.31	5,227.16
M14	306,871.64	183,693.36	10,885.47	6,516.04
M15	307,756.68	184,223.15	10,000.43	5,986.26
M16	307,219.45	183,901.56	10,537.66	6,307.84
M17	311,110.97	186,231.03	6,646.14	3,978.38
M18	304,633.23	182,353.45	13,123.88	7,855.95
M19	305,285.93	182,744.16	12,471.18	7,465.25
M20	305,954.96	183,144.64	11,802.15	7,064.77

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลการปรับปรุงสมรรถนะพลังงานโดยมุ่งเน้นที่กรอบอาคารเป็นหลัก เนื่องจากสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารส่งผลให้ลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้ ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานของอาคารลดลง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองพลังงาน OpenStudio และ EnergyPlus ทำการจำลองและคำนวณหาศักยภาพในการประหยัดพลังงานที่เกิดจากมาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นจำนวน 20 มาตรการ นอกจากนี้แล้วยังทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของแต่ละมาตรการ ผลการศึกษาพบว่า มาตรการที่ช่วยลดการใช้พลังงานมากที่สุด คือ มาตรการ M18 (เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm) มีค่า Energy Use อยู่ที่ 158.66 kWh/(m²Year) สำหรับมาตรการที่เหลือมีศักยภาพในการช่วยลดการใช้พลังงานโดยมีค่า Energy Use อยู่ระหว่าง 159.00-164.98 kWh/(m²Year) ในส่วนของการวิเคราะห์การลงทุนนั้นพบว่า มีเพียง 6 มาตรการเท่านั้นที่มีผลตอบแทนและความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคาร คือ มาตรการ M9 M13 M20 M6 M8 และ M7 เมื่อสิ้นสุดโครงการมีมูลค่าเท่ากับ 282,957.79 บาท 230,361.96 บาท 75,740.03 บาท 45,480.31 บาท 39,663.52 บาท และ 19,584.05 บาท ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์การลงทุนนั้น พบว่า เหมาะสมต่อการลงทุนและผลการศึกษา ยังพบว่า สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Rittidatch,

Phdungsilp & Vorarat, 2021) และการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ มาตรการ M18 มีค่า 7,855.95 kgCO₂e/year สำหรับมาตรการที่เหลือมีศักยภาพในการช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 592.31-7,465.25 kgCO₂e/year หากพิจารณาผลการจำลองพลังงานในด้านการประหยัดพลังงาน การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนพบว่า มาตรการติดตั้งฉนวนที่ผนังอาคารหนา 65 mm และติดฟิล์ม B4100 (M9) คือ มาตรการที่ดีที่สุดจากมาตรการทั้งหมด 20 มาตรการ และผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารของอาคารสำนักงานในหน่วยงานภาครัฐอื่น ๆ ได้

ข้อเสนอแนะ

การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์อาคารต้นแบบควรที่จะศึกษาและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในอาคารของภาครัฐของหน่วยงานอื่น ๆ เพิ่มเติมซึ่งจะมีการรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของอาคาร ลักษณะอาคาร ความลาดเอียง และข้อมูลพื้นที่ของแต่ละชั้นโดยละเอียด ควรมีการศึกษาและสร้างแบบจำลองต้นแบบของอาคารอื่น ๆ เช่น อาคารที่พักอาศัยประเภทต่าง ๆ อาคารสาธารณะ โดยแบ่งตามขนาด พื้นที่ จำนวนชั้น และจำนวนห้อง ให้มีความครอบคลุมมากขึ้น เพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพและใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด และเพื่อให้เกิดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ควรมุ่งเน้นการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าควบคู่ไปด้วย



References

- Chaowanakamol, Y. (2019). *Retrofitting office Building for energy efficiency: A case study of administration building GPO* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)
- Chomdee, S. (2015). *Investment analysis of photovoltaic rooftop systems for residences in Northern Thailand* (Master's thesis). Chiang Mai University. Chiang Mai (in Thai)
- Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency. (2023). *Guidelines for inspecting building design and construction for energy conservation* (2nd ed.). Phitsanulok: P Digital Printing. (in Thai)

- Greenhouse Gas Management Organization (Public organization). (2023). *Emission factor*. Retrieved from <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th> (in Thai)
- Kampelis, N., Papayiannis, G. I., Kolokotsa, D., Galanis, G. N., Isidori, D., & Cristalli, C., & Yannacopoulos, N. (2020). An integrated energy simulation model for buildings. *Energies*, 13(5), 1170. <https://doi.org/10.3390/en13051170>
- Mahawan, N., Buakla, A., Konthong, R., & Ketkhao, N. (2022). Application of building information modeling for reducing energy consumption by building envelope improvement case study: Residential buildings. *The 27th National Convention on Civil Engineering* (pp. BIM05-1–BIM05-10). Chiang Rai: NCCE. (in Thai)
- Mensin, Y., Ketjoy, N., Chamsa-ard, W., Suriwong, T., Mensin, P., Kaewpanha, M., Yaowarattana, P., & Thanarak, P. (2022). Smart grid technology: The energy transition to carbon neutrality. *Journal of Learning Innovation and Technology (JLIT)*, 2(2), 10-26. (in Thai)
- Pattaraphumeemit, Y. (2019). *Post occupancy evaluation on energy efficiency of green building under LEED 2009* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)
- Pisetthanakitkul, W., & Rassameethes, B. (2021). Factors affecting intention to use residential solar photovoltaic technology in Bangkok. *Journal of Multidisciplinary in Humanities and Social Sciences*, 4(3), 955-969. (in Thai)
- Rittidatch, P., Phdungsilp, A., & Vorarat, S. (2021). Evaluation of energy renovation measures of the building envelope in educational building using building energy modeling: A case study in Dhurakij Pundit University. *Pathumwan Academic Journal*, 11(31), 128-142. (in Thai)
- Rittidatch, P., Vorarat, S., & Phdungsilp, A. (2023). Modeling of an electrical energy generation system from solar cells towards carbon neutrality in Dhurakij Pundit University. *Valaya Alongkorn Research and Development Journal under Royal Patronage*, 18(3), 43-56. (in Thai)
- Roong-in Kunkar, J., & Krukaset, P. (2019). Using computer-aided design and simulation software to support energy management in school buildings. *Journal of Environmental Design*, 6(2), 145-163. (in Thai)
- Silaket, S., Ngamrungrroj, D., Kuesakul, k., Kalayathong, K., Hirunlabh, J., Sathitbunanan, S., Chantawong, P. (2021). Investigation of break-even point for variable refrigerant flow air conditioning system in office building. *Journal of Energy and Environment Technology*, 8(2), 79-90. (in Thai)
- Sreshthaputra, A. (2007) Development of minimum requirements of thermal property of building envelopes for townhouses. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies Faculty of Architecture and Planning Thammasat University*, 5(1), 31-52. (in Thai)
- Sudprasert, S. (2019). Evaluation of energy savings by retrofitting of the building envelope of air-conditioned row house. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 16(1), 83-92. (in Thai)

- Techasitthinan, T. (2021). *An additional carbon credit benefit-cost analysis for solar rooftop investment in commercial sector* (Master's thesis). Naresuan University. Phitsanulok. (in Thai)
- Yanwaisakul, P., & Sreshthaputra, A. (2013). Guidelines for increasing energy efficiency of large government office buildings by improving building envelope materials. *Built Environment Research Associates Associates Conference* (pp. 62-69). Bangkok: Environment Research Associates Associates (in Thai)
- Yimprayoon, C., Mungkung, R., Takkanon, P., & Intrachoto, S. (2020). Energy-saving and environmentally-friendly residential drawings certification and labelling rating systems using energy simulation and life cycle assessment. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 19(1), 179-200. (in Thai)

