

กระบวนการปรับปรุงอาคารโดยใช้เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) และเกณฑ์
มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (BEC) เพื่อลดการใช้พลังงานใน
อาคาร: กรณีศึกษาอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี
Building Renovation Process Using Building Information Modeling (BIM) and
Building Energy Code (BEC) to Reduce Energy Consumption in Buildings:
A Case Study of the Thai Public Broadcasting Services Television (Thai PBS)
Transmitter Building in Ubon Ratchathani Province

วรยุทธ นนสี¹, ธีรวัฒน์ สิ้นศิริ^{1*} และ อภัย ชาภิรมย์¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมระบบ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Warayut Nonsai¹, Teerawat Sinsiri^{1*} and Aphai Chapirom¹

¹School of Systems Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

Corresponding Author Email : M6602758@g.sut.ac.th

Received 05 October 2025

Revised 17 December 2025

Accepted 07 January 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบันของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี และวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารก่อนและหลังการปรับปรุง เปลือกอาคารโดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit ในการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) และใช้เกณฑ์ มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (BEC) เพื่อลดการใช้พลังงานของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี การวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสานระหว่างการศึกษาข้อมูล จริง (Empirical Data) จากการสำรวจอาคารโดยเลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit เป็นเครื่องมือในการสร้าง แบบจำลองอาคาร (Simulation Modeling) และการใช้โปรแกรม Building Energy Code Software version 2.6.0 (BEC V.2.6.0) สำหรับประเมินพลังงาน (BEC) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานของอาคาร

ผลจากการศึกษาพบว่าก่อนปรับปรุงอาคาร ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร เท่ากับ 54,227.76 kW.h/year ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด คือ สูงกว่า 35,779.27 kW.h/year และหลังการปรับปรุงอาคาร ค่าการใช้พลังงาน โดยรวมของอาคาร เท่ากับ 35,550.97 kW.h/year ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด คือ ต่ำกว่า 35,779.27 kW.h/year โดย พลังงานที่ใช้ในอาคารส่วนใหญ่มาจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ซึ่งมีการปรับปรุง 2 แนวทางเลือก สามารถลดการใช้พลังงานโดยภาพรวมของอาคาร ร้อยละ 34.44 ต่อปี การปรับปรุงด้วยการเปลี่ยน หลอดไฟฟ้าเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ LED T8 (3X18W) ค่า LPD เท่ากับ 7.72 W/m² สีวัสดุหลังคาเป็นกระเบื้อง หลังคาลอนคู่ ผิวสีอ่อน ทำการติดตั้งฉนวนใยแก้วที่ได้รับฉลากประสิทธิภาพสูง Stay Cool หนา 3 นิ้ว Premium บน

แผ่นยิปซัมชนิดธรรมดา หนา 9 มม. ค่า RTTV เท่ากับ 7.86 W/m² ค่าพลังงานรวมของอาคาร 35,550.97 kW.h/Year ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน เป็นแนวทางการปรับปรุงอาคารที่ดีที่สุด สามารถลดค่าการใช้พลังงานรายปี 78,629.28 บาท โดยใช้เงินลงทุนในการปรับปรุงประมาณ 168,830 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 1 เดือน 5 วัน

คำสำคัญ: การปรับปรุงอาคาร, แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM), เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (BEC), อาคารเครื่องส่งสัญญาณ, สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

Abstract

This research aimed to study the current condition of the transmitter building of Thai Public Broadcasting Services Television (Thai PBS), Ubon Ratchathani Province, and to analyze and evaluate the energy efficiency of the building before and after the renovation of the building envelope using Autodesk Revit Program in Building Information Modeling (BIM) and using the Building Energy Conservation (BEC) design standards to reduce energy consumption of the transmitter building of Thai PBS, Ubon Ratchathani Province. This research used a mixed research methodology, which involved studying real data (Empirical data) from building surveys using Autodesk Revit as a tool for Building Information Modelling (BIM) (Simulation modeling) and using Building Energy Code Software version 2.6.0 (BEC V.2.6.0) for energy assessment (BEC) to be used as a guideline for building energy conservation.

The results of the study found that before the building renovation, the total energy consumption of the building was 54,227.76 kW.h/year, not passing the specified criteria, which was higher than 35,779.27 kW.h/year. After the building renovation, the total energy consumption of the building was 35,550.97 kW.h/year, passing the specified criteria, which was lower than 35,779.27 kW.h/year. Most of the energy used in the building came from the lighting system, air conditioning system, and other electrical equipment, for which there were two alternatives for improvement, able to reduce the overall electricity usage of the building by 34.44 percent per year. Improvements were made by replacing the light bulbs with LED T8 fluorescent bulbs (3X18W). The LPD value was 7.72 W/m². The roof material color was double-wave roof tiles, light surface. Fiberglass insulation that received the high-efficiency label Stay Cool, 3 inches thick, Premium, was installed on ordinary gypsum board, 9 mm thick. The RTTV value was 7.86 W/m². The total energy value of the building was 35,550.97 kW.h/year, passing the standard criteria. This could be the best way to improve buildings. It could reduce the annual electricity consumption by 78,629.28 Baht, with an investment of approximately 168,830 baht, and a payback period of only 2 years, 1 month and 5 days.

Keywords: Building Renovation, Building Information Modelling (BIM), Building Energy Code (BEC), Transmitter Building, Thai PBS Ubonratchathani Province

1. บทนำ

ปัญหาการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานและที่พักอาศัยที่ต้องพึ่งพาระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างอย่างต่อเนื่อง ถือเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้หลายประเทศได้พัฒนานโยบายและเครื่องมือที่ทันสมัยเพื่อควบคุมการใช้พลังงาน เช่น กรอบกฎหมายด้านการออกแบบอาคารสีเขียว (Green Building Codes) การบังคับใช้มาตรฐานการปล่อยคาร์บอนในอาคาร และการนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาช่วย เช่น Digital Twin ที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ หรือ Smart Building ที่ใช้ระบบเซ็นเซอร์และ AI ในการจัดการพลังงานอย่างอัตโนมัติ ในประเทศไทยการใช้พลังงานในภาคอาคารยังคงสูงต่อเนื่อง ต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศมากกว่าครึ่งของการใช้ทั้งหมด ทำให้เกิดความเปราะบางต่อความมั่นคงทางพลังงาน แม้รัฐบาลได้กำหนดยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนพัฒนาพลังงานที่เน้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการบังคับใช้เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code: BEC) [1] แต่การปฏิบัติยังมีข้อจำกัด โดยเฉพาะในกรณีอาคารเก่า ที่สร้างมาก่อนเกณฑ์มาตรฐานจะมีผลบังคับอาคารเหล่านี้แม้ยังคงใช้งานได้ แต่กลับมีสมรรถนะด้านพลังงานต่ำ ไม่สามารถตอบโจทย์ด้านสิ่งแวดล้อมและข้อกำหนดพลังงานในปัจจุบันได้ ในขณะที่ต่างประเทศเริ่มพัฒนาและใช้ BIM ร่วมกับ Digital Twin และระบบอัจฉริยะเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงอาคารในเชิงรุก ประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงใช้แบบแปลน 2 มิติหรือระบบจำลองเพียงบางส่วน ขาดการเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานอย่างครบวงจร ความแตกต่างนี้แสดงให้เห็นถึงช่องว่างที่สำคัญ กล่าวคือ ประเทศไทยยังขาดกรณีศึกษาและองค์ความรู้เชิงปฏิบัติที่สามารถใช้ BIM ร่วมกับเกณฑ์ BEC ในการจำลองและประเมินการปรับปรุงอาคารได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งหากสามารถพัฒนาแนวทางนี้ได้ จะไม่เพียงช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและยืดอายุการใช้งานของอาคาร แต่ยังตอบสนองต่อ เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ในหลายข้อ ได้แก่ SDG 7 (พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้) SDG 11 (เมืองและชุมชนยั่งยืน) SDG 12 (การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน) และ SDG 13 (การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ)

ปัจจุบันการใช้พลังงานในประเทศไทยมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการของภาคประชาชนภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากทรัพยากรพลังงานภายในประเทศมีค่อนข้างจำกัด จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ แนวทางสำคัญที่จะช่วยลดอัตราการเพิ่มความต้องการการใช้พลังงานในประเทศคือการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพในทุกภาคส่วน [2] จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ออกกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 [1] หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code: BEC) โดยมีการบังคับอาคารตามกฎหมายที่มีการก่อสร้างอาคารหรือดัดแปลงที่มีพื้นที่รวมทั้งหมดตั้งแต่ 2,000 m² ขึ้นไปและอยู่ใน 9 ประเภท ได้แก่ โรงแรม โรงงาน สถานบริการ สถานพยาบาล สถานศึกษา ห้างสรรพสินค้า อาคารชุด และอาคารชุมนุม ต้องมีการออกแบบอาคารให้เป็นไปตามมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานซึ่งกฎกระทรวงฯ ได้มีการบังคับใช้เมื่อวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2564 ที่ผ่านมาโดยที่อาคารในภาครัฐที่มีการก่อสร้างและใช้งานในระยะเวลา 10-15 ปีที่ผ่านมาจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายกระทรวงฯ

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) เป็นแนวคิดที่ถูกพัฒนามาเพื่อใช้ในกระบวนการออกแบบก่อสร้างอาคาร โดยใช้การจำลองอาคารผสมผสานร่วมกับสารสนเทศ และแบบจำลอง [3] ปัจจุบันถือเป็นกระบวนการทำงาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาการดำเนินงานในภาคอุตสาหกรรม

ก่อสร้างที่ครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตอาคาร เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการประสานงาน จากทุกส่วนให้เชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ ลดปัญหาข้อมูลที่ขัดแย้งและลดข้อผิดพลาดจากการทำงานในลักษณะเดิม [4] ในปัจจุบันแบบจำลองอาคารสารสนเทศถูกใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถผนวกข้อมูลด้านต่าง ๆ ของอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ การจัดการข้อมูลและการประสานงานกับฝ่ายต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการได้ดีมากขึ้นส่งผลให้เกิดการแก้ไขข้อผิดพลาด ข้อขัดแย้งช่วงการออกแบบได้ก่อนทำการก่อสร้างจริง BIM [5], [6] การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) [3] เป็นกระบวนการทางเทคโนโลยีที่มีมานานและได้รับการใช้กันอย่างแพร่หลาย ในต่างประเทศ ซึ่งใช้ในกระบวนการออกแบบ การก่อสร้างอาคาร การบริหารทรัพยากรอาคาร และตลอดอายุการใช้งานของอาคาร (Building Life Cycle) การประยุกต์ใช้ BIM สามารถควบคุมระบบการทำงานในกระบวนการต่าง ๆ ให้มีความสอดคล้องกันมากขึ้น [7]

จากการศึกษาแบบจำลองอาคาร (BIM) สามารถสร้างแบบจำลองเสมือนของอาคารได้รวดเร็วกว่าวิธีการออกแบบในรูปแบบดั้งเดิมถึงร้อยละ 10 และมีความแม่นยำมากกว่าร้อยละ 80 ส่งผลทำให้การแก้ไขแบบหรือการเปลี่ยนแปลงแบบมีอัตราส่วนที่ลดลง [8] นอกจากนี้ยังนำ BIM มาประยุกต์ใช้ออกแบบ 3 มิติ เพื่อให้สร้างแบบจำลองของโครงสร้างอาคาร สามารถตรวจสอบและปรับปรุงแบบจำลองได้ก่อนที่จะนำไปใช้จริง ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดข้อผิดพลาดในการก่อสร้าง ประหยัดเวลาและประหยัดต้นทุนการก่อสร้าง [9] ผนวกกับผสมผสานกระบวนการและวิธีการประเมินค่าการอนุรักษ์พลังงานของอาคาร [10] พบว่า เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC (Building Energy Code) เป็นเครื่องมือคำนวณค่าการอนุรักษ์พลังงานตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามที่กฎกระทรวงฯ กำหนดและได้มีการนำไปเป็นเครื่องมือเพื่อศึกษาประสิทธิภาพด้านการอนุรักษ์พลังงานของอาคาร เพื่อการอนุรักษ์พลังงานกรณีศึกษาอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำ BIM มาประยุกต์ใช้ควบคู่กับเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน BEC มาศึกษาในกรณีศึกษาอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี ดังนั้น การศึกษาวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานและพัฒนาแนวทางการปรับปรุงอาคารครั้งนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองอาคารและโครงสร้างอาคารแต่ละประเภท (BIM) ควบคู่กับเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน BEC จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งในเชิงวิชาการ เชิงนโยบาย และเชิงปฏิบัติ เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่ช่วยปิดช่องว่างในเรื่อง แนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมและคุ้มค่าในการลงทุน โดยเฉพาะอาคารเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะ เช่น ระบบปรับอากาศและอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้พลังงานสูง พื้นที่ใช้งานที่ไม่เหมือนอาคารสำนักงานทั่วไป ซึ่งการบูรณาการเรื่อง BIM และ BEC ในอาคารประเภทนี้ยังไม่มีการศึกษาอย่างละเอียด ในการสร้างแบบจำลองอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานร่วมกับการจัดการข้อมูลอาคารในระยะยาวเกี่ยวกับการวิเคราะห์ ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ และมาตรการปรับปรุงอาคารด้านการสื่อสารที่มีข้อจำกัดทางด้านโครงสร้างและการใช้งาน ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถเป็นแนวทางนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่น ๆ ได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบันของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

2.2 เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารก่อนและหลังการปรับปรุงเปลือกอาคาร โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit ในการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) และเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (BEC) เพื่อลดการใช้พลังงานของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

3. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตการศึกษาเพื่อความชัดเจน ดังนี้

3.1 ด้านทฤษฎีและเอกสาร

ศึกษาทฤษฎี แนวคิด วรรณกรรม งานวิจัย กฎหมาย และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร รวมถึงเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (BEC) และหลักการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เพื่อนำมาเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

3.2 ด้านอาคารกรณีศึกษา

อาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษา คือ อาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

- (1) เป็นอาคารชั้นเดียว มีพื้นที่อาคารไม่เกิน 1,000 m²
- (2) มีการใช้งานมานานกว่า 15 ปี โดยเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน
- (3) การใช้งานหลักแบ่งเป็น พื้นที่สำนักงานและที่พักอาศัย
- (4) เป็นอาคารที่มีการใช้ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างในปริมาณมาก ทำให้มีการใช้พลังงานสูง
- (5) แบบอาคารมาตรฐานจัดทำโดยสำนักวิศวกรรม องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย

3.3 ด้านเครื่องมือและการวิเคราะห์

- (1) การใช้โปรแกรม Autodesk Revit ในการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร
- (2) การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน BEC Web-based
- (3) การปรับปรุงแบบจำลองจะมุ่งเน้นที่ การปรับปรุงเปลือกอาคาร เช่น การเลือกวัสดุที่เหมาะสม การเพิ่มฉนวนกันความร้อน และการลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value)

3.4 ด้านการทดลองและผลลัพธ์

ทำการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อหาประสิทธิภาพและแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสม พร้อมสรุปเป็นข้อเสนอแนะเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1 แนวคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM)

หมายถึง การใช้โปรแกรม Autodesk Revit ในการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยมีข้อมูลทางกายภาพและสารสนเทศของอาคาร รวมถึงผนัง หลังคา พื้น หน้าต่าง และระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องใช้เป็นเครื่องมือในการจำลอง วิเคราะห์ และปรับปรุงเปลือกอาคาร ซึ่งผู้วิจัยได้มีการนำมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นนี้ เป็นแนวทางในการจำลองข้อมูลอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี แนวคิดแบบจำลอง BIM เป็นเครื่องมือในการจัดเก็บข้อมูลอาคาร ทำให้ทราบถึงลักษณะการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร BIM เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์มาใช้งานอาคารจำลอง [3, 11]

4.2 เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (BEC)

หมายถึง โปรแกรมคำนวณและเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานของอาคาร โดยเฉพาะระบบเปลือกอาคาร ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และการใช้พลังงานรวมของอาคาร ใช้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการปรับปรุงเปลือกอาคาร (Building Envelope) หมายถึง ส่วนประกอบภายนอกที่กั้น

ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ได้แก่ ผนัง หลังคา ประตู และหน้าต่าง โดยพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (U-value, OTTV, RTTV) เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานมากขึ้น [3, 7]

ปัจจุบันเกณฑ์มาตรฐานอาคารด้านพลังงาน ปี พ.ศ. 2564 กำหนดเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบอาคารด้านพลังงานในรายระบบต่าง ๆ ของอาคาร ซึ่งประกอบด้วย 5 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบเปลือกอาคาร (Envelope System) 2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting System) 3) ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning System: AC) 4) อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน (Boiler and Heat Pump) และ 5) ระบบพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) [10]

4.3 การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินประสิทธิภาพอาคารทางด้านการประหยัดพลังงานและความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม มีการประเมินในการก่อสร้างอาคารพักอาศัย แบ่งออกเป็น 9 หมวด ได้แก่ หมวดที่ 1 สถานที่ตั้งอาคาร หมวดที่ 2 ผังบริเวณและงานภูมิสถาปัตยกรรม หมวดที่ 3 เปลือกอาคาร หมวดที่ 4 ระบบปรับอากาศ หมวดที่ 5 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง หมวดที่ 6 ระบบธรรมชาติและพลังงานทดแทน หมวดที่ 7 ระบบสุขาภิบาล หมวดที่ 8 วัสดุและการก่อสร้าง และ หมวดที่ 9 เทคนิคการออกแบบและกลยุทธ์ประหยัดพลังงาน/รักษาสภาพแวดล้อม

4.4 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน (BEC)

4.4.1 กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 [2]

4.4.2 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และการรับรองผลการตรวจประเมินในการออกแบบอาคาร เพื่อการอนุรักษ์พลังงานแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียน ในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2564

4.4.3 ประกาศกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง การรับรองผู้ทำหน้าที่ผู้ตรวจประเมินในการออกแบบก่อสร้าง หรือดัดแปลงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2564

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nasrun Mohd Nawawi et al. [12] ได้ศึกษาการใช้พลังงานของอาคารกระทรวงการคลังประเทศมาเลเซีย ซึ่งเป็นอาคารสูง 12 ชั้น มีพื้นที่ 129,132 m² และมีพื้นที่ปรับอากาศอยู่ที่ 96,012 m² ตัวอาคารทำด้วยคอนกรีต และร้อยละ 65 ของผนังอาคารเป็นกระจก พบว่า อาคารมีส่วนการใช้พลังงาน ได้แก่ ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ร้อยละ 51 ระบบแสงสว่าง ร้อยละ 34 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จ่ายกลับโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่อยู่ในอาคาร ได้แก่ เครื่องใช้สำนักงาน คอมพิวเตอร์เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัว ร้อยละ 8 และอุปกรณ์อื่น ๆ ร้อยละ 7

Shetty [13] ได้ศึกษาการใช้พลังงานในอาคารของประเทศอินเดีย พบว่า อาคารในประเทศอินเดียมีอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรที่มีมากขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะพื้นที่ในอาคารศูนย์การค้า และอาคารสำนักงาน พบว่า มีการก่อสร้างใหม่และมีการใช้ พลังงานมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากเหตุดังกล่าวรัฐบาลของประเทศอินเดียจึงได้เกิดความตระหนักในด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารขึ้น ประเทศอินเดียจึงได้มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานด้านพลังงาน ในอาคารที่สร้างขึ้นและมีการกำหนดให้ใช้โปรแกรม Energy Conservation Building Code (ECBC) ซึ่งเป็นการช่วยวิเคราะห์และออกแบบอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของอาคารอนุรักษ์พลังงาน

ปรีชญา ปัตถาวงศ์ และวิทยา ยงเจริญ [14] ได้ทำการศึกษากรอบอาคารชุดและแนวทางการประหยัดพลังงาน พบว่า การปรับปรุงกรอบอาคารตามแนวทางเลือกด้วยวิธีการใช้โปรแกรม Building Energy Code v.1.0.5 พบว่า แนวทางที่ปรับปรุงแล้วทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด มี 4 แนวทาง คือ การปรับปรุงโดยติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ระยะยื่น 80 เซนติเมตร บริเวณผนังโปร่งแสง ติดฉนวนโพลีเอทิลีน ความหนา 5 มิลลิเมตร บริเวณผนังทึบแสง และติดฉนวนโพลีเอทิลีน ความหนา 5 มิลลิเมตร บนฝ้าเพดาน (S80W5R5), การปรับปรุงโดยติดตั้ง

อุปกรณ์บังแดดแบบ ระแนงมุมเอียง 25 องศา บริเวณผนังโปรงแสงในด้านการประหยัดพลังงานแนวทาง STTW10R5 สามารถประหยัดพลังงานได้สูงที่สุด โดยมีผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคารเฉลี่ย เท่ากับ 77,563 kW.h/year

วงศ์ยา อนุศักดิ์กุล [15] ได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ผลการวิจัย พบว่า อาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนปรับปรุงมีการใช้พลังงานสูงกว่าที่ผลิตได้เอง โดยมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ซึ่งประเมินด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดผ่านเกณฑ์ทุกอาคาร แต่ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบางอาคารต่ำกว่าเกณฑ์ จึงแบ่งแนวทางลดการใช้พลังงานดังนี้ แนวทางที่ 1 ปรับปรุงกรอบอาคารเพียงอย่างเดียว ให้ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย คือ $OTTV \leq 50 \text{ W/m}^2$ และ $RTTV \leq 15 \text{ W/m}^2$ และแนวทางที่ 2 ปรับปรุงการจัดการระบบภายในอาคาร โดยเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟประสิทธิภาพสูงแอลอีดี (LED) เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

นันทพล มหาวิน และคณะ [6] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานด้วยการปรับปรุงกรอบอาคาร กรณีศึกษา: อาคารที่อยู่อาศัย พบว่า มีการปรับปรุง 4 แนวทางเลือก สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้มากกว่าร้อยละ 40 โดยใช้เงินลงทุนน้อยกว่า 100,000 บาท การปรับปรุง ด้วยการเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงและติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วในผนังทิศตะวันตก พร้อมทั้งติดตั้งฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว บนฝ้าเพดานชั้นบนสุดทั้งหมด เป็นแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารที่ดีที่สุดสำหรับกรณีศึกษานี้ สามารถลดการใช้พลังงานใช้ไฟฟ้ารายปีลดลงได้ ร้อยละ 44 โดยใช้เงินลงทุนปรับปรุงประมาณ 47,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.78 ปี

Ben Mahmoud et al. [16] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ BIM ในการผลิตไม้สำเร็จรูปสำหรับรัฐวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ในประเทศแคนาดา ผ่านการทบทวนวรรณกรรม การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง และแบบสำรวจออนไลน์ และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อ เป็นแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดสำหรับการปรับใช้ BIM และเสนอกรอบการทำงานสำหรับการนำ BIM ไปใช้ใน SMEs ที่ผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป พบว่า การพัฒนาซอฟต์แวร์และโปรแกรม BIM เพื่อแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง BIM ไปยังอุปกรณ์การผลิต การใช้กลยุทธ์ที่ดีที่สุด ต้องเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์รูปแบบธุรกิจปัจจุบันของ SMEs และแต่งตั้งคณะกรรมการ BIM ขนาดเล็ก ซึ่งมีหน้าที่หลักในการบริหารจัดการ การประสานงาน และการสร้างแบบจำลอง แนวปฏิบัติที่ดี คือ การสนับสนุนทีมงานติดตั้งและส่งเสริมการสื่อสารและการทำงานร่วมกัน

Siebelink et al. [17] ได้ทำการศึกษาข้อจำกัดในการนำ BIM มาใช้ในองค์กร: กรณีศึกษาหลายกรณีของบริษัทรับเหมาก่อสร้าง มุ่งเน้นไปที่ระดับภายในองค์กร ผ่านการสัมภาษณ์ และให้ผลลัพธ์เกี่ยวกับข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับจุดที่ต้องมุ่งเน้นของการวัดผลจากการนำ BIM มาใช้งานระดับองค์กรและความพร้อมของ BIM ขององค์กร ผลกระทบของอุปสรรคในระดับองค์กรต่างๆ เช่น ตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูงไปจนถึงทีมหัวหน้าโครงการ และการเชื่อมโยงอุปสรรคกับระดับความพร้อมของ BIM ที่แตกต่างกันที่เกี่ยวข้องกับแรงจูงใจ และขีดความสามารถด้านเวลาของบุคลากรในทุกๆ ระดับขององค์กร ปัญหาการขาดการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง การบรรลุการเติบโตของความพร้อมของ BIM สถานการณ์ที่มีความพร้อมของ BIM สูงจะมีแนวโน้มที่จะมีอุปสรรคจากภายนอกมากขึ้น

Zima et al. [18] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยภายนอกและภายในสำหรับการนำ BIM ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศโปแลนด์ การศึกษาปัจจัยจากการทบทวนวรรณกรรม ประสบการณ์ส่วนตัว และรายงานต่าง ๆ และทำเป็นตาราง SWOT Analysis เพื่อระบุจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาสและอุปสรรค พบว่าการนำ BIM มาใช้ในโปแลนด์ในปัจจุบันมีสถานะที่ดีในตลาดอันเป็นผลมาจากการที่จุดแข็งมีมากกว่าจุดอ่อน และโอกาสมีมากกว่าอุปสรรค อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของการนำ BIM มาใช้ในงานก่อสร้างในโปแลนด์นั้นยากที่จะ

คาดการณ์ได้ ทางออกเชิงกลยุทธ์ที่ดีที่สุด คือ การนำเทคโนโลยี BIM มาใช้เป็นกลยุทธ์การพัฒนาเชิงรุกที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการใช้จุดแข็งและโอกาสให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการนำ BIM มาใช้ในชีวิตประจำวัน

6. การดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit ในการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) โดยการนำเสนอ BIM จะประกอบด้วยแบบจำลองของอาคาร ได้แก่ รูปทรงอาคาร พื้นที่ใช้สอย ข้อมูลวัสดุของเปลือกอาคาร (ผนัง หลังคา หน้าต่าง) ฯลฯ รวมถึงลักษณะทางเรขาคณิต BIM เป็นแหล่งข้อมูลแบบสหวิทยาการที่ใช้ร่วมกับเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (BEC) เพื่อลดการใช้พลังงานของอาคาร การออกแบบจำลองสารสนเทศอาคารเสมือน BIM จึงเป็นกระบวนการที่เฉพาะเจาะจงกว่า 3 มิติธรรมดาที่เน้นทางด้านการจัดทำและสร้างโมเดลในรูปแบบ 3 มิติ (Object model) ซึ่ง BIM จะมีข้อมูลมากกว่า และมีรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะด้านประสิทธิภาพ ข้อมูลจำเพาะ และข้อมูลอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ทางกายภาพที่ฝังอยู่ในแบบจำลองดิจิทัล 3 มิติที่ใช้ร่วมกัน ดังนั้น การออกแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ที่สร้างขึ้นมา โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (BEC) เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร กรณีศึกษาอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี จะช่วยวิเคราะห์พลังงาน คุณสมบัติของวัสดุและเพิ่มฉนวนกันความร้อนในการจำลอง เพื่อทดสอบผลลัพธ์ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ค่า OTTV, RTTV และค่าใช้พลังงานรวมของอาคารทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงเปลือกอาคารได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

6.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้กำหนดประชากรเป้าหมาย เป็นอาคารประเภทสำนักงานและที่พักอาศัยในหน่วยงานภาครัฐที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10–15 ปี ซึ่งยังคงใช้งานอยู่แต่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานต่ำและไม่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานด้านการอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน โดยประชากรดังกล่าวมีจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วประเทศ

การเลือกอาคารนี้เป็นกลุ่มตัวอย่างช่วยให้การวิจัยสามารถเก็บข้อมูลจริงจากการใช้งานอาคาร และนำมาสร้างแบบจำลอง BIM เพื่อวิเคราะห์เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ถือเป็นวิธีที่เหมาะสม เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีคุณลักษณะเฉพาะที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัยและสามารถสะท้อนแนวทางไปสู่อาคารประเภทอื่น ๆ ได้ในอนาคต

6.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือทั้งเชิงดิจิทัลและเชิงกายภาพ เพื่อสนับสนุนการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษา โดยประกอบด้วย

6.2.1 โปรแกรม Autodesk Revit ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) เพื่อแสดงรายละเอียดของอาคารกรณีศึกษา ได้แก่ รูปทรงอาคาร พื้นที่ใช้สอย ข้อมูลวัสดุของเปลือกอาคาร (ผนัง หลังคา หน้าต่าง) รวมทั้งระบบประกอบอาคาร โปรแกรมนี้ช่วยให้สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุและเพิ่มฉนวนกันความร้อนในการจำลอง เพื่อทดสอบผลลัพธ์ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

6.2.2 โปรแกรม BEC Web-based (Building Energy Code) ใช้สำหรับการคำนวณและวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานของอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน โดยโปรแกรมสามารถวิเคราะห์ค่า OTTV (Overall Thermal Transfer Value), RTTV (Roof Thermal Transfer Value) และค่าใช้พลังงานรวม (kWh) ของอาคาร ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงเปลือกอาคาร

6.2.3 แบบฟอร์มสำรวจอาคารและบันทึกข้อมูลการใช้งานจริง จัดทำขึ้นเพื่อใช้บันทึกข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคาร เช่น ความหนาและชนิดของวัสดุผนัง หลังคา และช่องเปิด ตลอดจนการใช้งานระบบไฟฟ้า ระบบ

ปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร BIM และการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์พลังงาน

6.2.4 เอกสารและข้อมูลทุติยภูมิ ประกอบด้วยแผนผังอาคารมาตรฐานที่จัดทำโดยสำนักวิศวกรรม องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย รายงานการใช้พลังงานย้อนหลังของอาคาร รวมถึงงานวิจัยและเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

6.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลของการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและสามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานอาคารได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ ดังนี้

6.3.1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) การสำรวจอาคารกรณีศึกษา คือ อาคารเครื่องส่งสัญญาณสถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี โดยเก็บข้อมูลเชิงกายภาพ ได้แก่ ขนาดพื้นที่ใช้สอย ลักษณะการจัดแบ่งพื้นที่ ความหนาและชนิดวัสดุของผนัง หลังคา หน้าต่าง และช่องเปิด การบันทึกข้อมูลการใช้งานจริง เช่น จำนวนชั่วโมงการใช้งานอาคาร (เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน) การใช้ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบประกอบอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน การถ่ายภาพและวัดค่าพื้นฐานของอาคาร เช่น การวัดขนาดจริงของช่องเปิด การตรวจสอบวัสดุที่ใช้เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่จะนำไปสร้างแบบจำลอง BIM

6.3.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) แบบแปลนและเอกสารมาตรฐานอาคารที่จัดทำโดยสำนักวิศวกรรม องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย ซึ่งใช้เป็นข้อมูลหลักในการสร้างแบบจำลอง BIM ด้วยโปรแกรม Autodesk Revit ข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของอาคาร เช่น ค่าไฟฟ้าประจำเดือนที่ได้รับจากหน่วยงาน เพื่อใช้เป็นฐานในการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ของเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC งานวิจัย เอกสารวิชาการ มาตรฐาน และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานและการปรับปรุงอาคาร ซึ่งนำมาใช้เพื่อกำหนดเกณฑ์การวิเคราะห์และการตีความผลการศึกษา

6.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลักที่มีความต่อเนื่องและสัมพันธ์กัน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลทฤษฎี มาตรฐานกฎหมาย และงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) และเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน (BEC) เพื่อใช้เป็นฐานความรู้และกรอบในการดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 2 การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษา ดำเนินการสำรวจอาคารเครื่องส่งสัญญาณสถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี โดยเก็บข้อมูลด้านกายภาพ ข้อมูลวัสดุ ขนาดพื้นที่ใช้งาน การใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงแบบแปลนและเอกสารประกอบที่มีอยู่ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ใช้โปรแกรม Autodesk Revit สร้างแบบจำลองอาคารกรณีศึกษาที่สะท้อนสภาพจริง ทั้งผนัง หลังคา หน้าต่าง พื้น และระบบประกอบอาคาร โดยใส่ข้อมูลวัสดุและคุณสมบัติทางกายภาพที่ตรงตามสภาพอาคารปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์การใช้พลังงานอาคารเดิม โดยใช้ Auto desk Insight วิเคราะห์ค่าพลังงานรวม (EUI) ของอาคาร และ Solar Analysis วิเคราะห์ค่ารังสีอาทิตย์ เปลือกอาคารแต่ละด้าน เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับ โปรแกรม BEC

สร้างวัสดุเปลือกอาคารในโปรแกรม BEC Web-based เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของอาคารในสภาพเดิม โดยคำนวณค่า OTTV, RTTV,LPD และปริมาณการใช้พลังงานรวม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบ เพื่อระบุแนวทางปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 5 การปรับปรุงแบบจำลองเปลือกอาคาร ดำเนินการปรับปรุงแบบจำลอง BIM โดยเปลี่ยนหรือเสริมวัสดุเปลือกอาคาร เช่น การเพิ่มฉนวนกันความร้อน การเลือกวัสดุที่มีค่า U-value ต่ำ หรือการปรับปรุงช่องเปิดและระบบบังแดด เพื่อจำลองสภาพอาคารหลังการปรับปรุงตามแนวทางที่วิเคราะห์ได้แนวทางที่ 1 หรือ 2

ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานอาคารหลังการปรับปรุง วิเคราะห์ค่า EUI วิเคราะห์พลังงานรวมในอาคาร โดย BIM ปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารใหม่โดยโปรแกรม BEC เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานกับสภาพอาคารเดิม โดยพิจารณาความแตกต่างด้านปริมาณพลังงานที่ใช้ ค่า OTTV,RTTV, LPD และค่าพลังงานรวมที่ลดลงให้ได้ตามค่ามาตรฐานของ BEC

ขั้นตอนที่ 7 การสังเคราะห์ข้อเสนอแนะและการนำผลไปใช้ สรุปผลการวิจัยและจัดทำข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงอาคารเก่าอื่น ๆ ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น รวมถึงการประยุกต์ใช้เป็นแนวทางสนับสนุนเชิงนโยบายและการปฏิบัติในอนาคต

6.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ใช้แนวทางเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) และการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ (Comparative Analysis) โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

6.5.1 การวิเคราะห์สภาพอาคารเดิม นำข้อมูลจากการสำรวจอาคารและการสร้างแบบจำลอง BIM ของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC Web-based เพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารในสภาพปัจจุบัน โดยเฉพาะค่า OTTV (Overall Thermal Transfer Value), ค่า RTTV (Roof Thermal Transfer Value) และค่าใช้พลังงานรวม (kW.h/year) ผลลัพธ์ที่ได้จะถือเป็นฐานข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการเปรียบเทียบ

6.5.2 การวิเคราะห์อาคารหลังการปรับปรุง ดำเนินการปรับปรุงแบบจำลอง BIM โดยปรับเปลี่ยนวัสดุและองค์ประกอบของเปลือกอาคาร เช่น การเพิ่มฉนวนกันความร้อน การใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ (U-value) และการปรับปรุงช่องเปิดหรือกระจกบังแดด จากนั้นนำเข้าสู่โปรแกรม BEC เพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับสภาพอาคารเดิมในตัวชี้วัดเดียวกัน (OTTV, RTTV, kW.h/year)

ผลลัพธ์จะพิจารณาทั้งในเชิงวิชาการ เพื่อสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้ BIM และเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC ในการปรับปรุงอาคาร และในเชิงปฏิบัติ เพื่อเป็นแนวทางให้องค์กรที่ต้องการอนุรักษ์พลังงานสามารถนำไปปรับใช้กับอาคารจริงได้

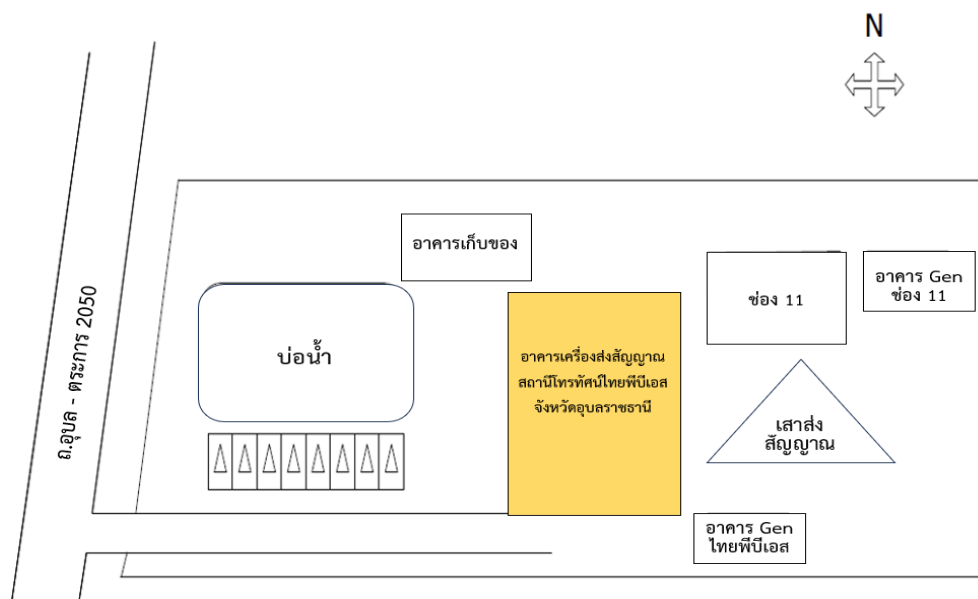
7. ผลการวิจัย

7.1 ผลการศึกษาสภาพปัจจุบันของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี ที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคาร

7.1.1 สภาพทั่วไปของอาคารเดิม

1) ลักษณะทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา พบว่า อาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี เป็นอาคารมีลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียว พื้นที่ใช้สอยประมาณ 287.78 m² มีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี ลักษณะการใช้งานประกอบด้วยพื้นที่สำนักงานและพื้นที่พักอาศัยรวมกัน ใช้งานเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน อาคารมีระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างเป็นองค์ประกอบหลักที่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานสูง มีตำแหน่งอาคาร

ตั้งอยู่ที่ N15.3818092, E101.9234022 มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า อาคารวางตัวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ หน้าอาคารหันทางทิศตะวันตก มีอาคารข้างเคียงและพืชพรรณบริเวณที่ตั้ง ดังรูปที่ 1

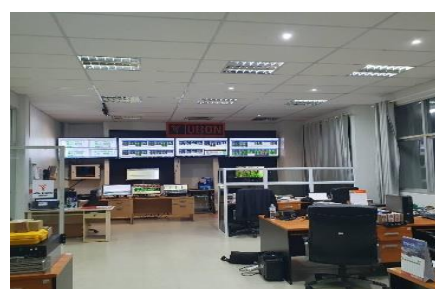


รูปที่ 1 แผนผังอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

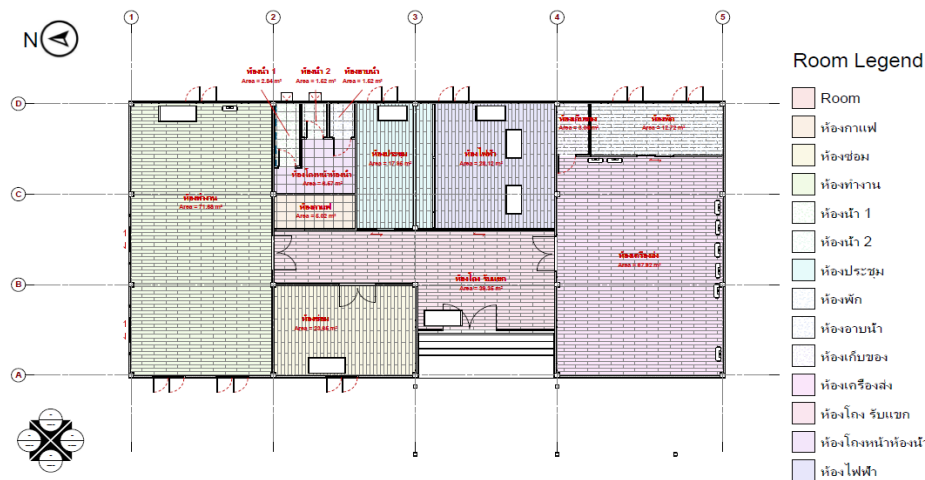
2) โครงสร้างหลักของอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 1 ชั้น ความสูงจาก พื้นชั้น 1 ถึงคานหลังคา สูง 4 เมตร ดังรูปที่ 2 ลักษณะการใช้งานส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สำนักงาน ดังรูปที่ 3 และพื้นที่ใช้สอย ประกอบด้วย โถงต้อนรับ แยก ห้องน้ำ ห้องเก็บของ ห้องพัก ห้องประชุม ห้องซ่อม ห้องไฟฟ้า ห้องเครื่องส่ง พื้นที่โดยแบ่งเป็นพื้นที่ระบายสีเป็นพื้นที่ ปรับอากาศ 265.12 m^2 คิดเป็นร้อยละ 92.05 ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ที่เป็นพื้นสีขาวพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 22.66 m^2 คิดเป็นร้อยละ 7.95 ของพื้นที่ทั้งหมด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 โครงสร้างอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 3 พื้นที่สำนักงานภายในอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 4 แผนผังแสดงพื้นที่ใช้สอยของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

3) วัสดุเปลือกอาคาร จากการศึกษารูปแบบก่อสร้างอาคารกรณีศึกษา มีรายละเอียดส่วนประกอบเปลือกอาคารผนังที่วัสดุเป็นอิฐบล็อกกลวงฉาบปูนสองด้านทาสีเทาอ่อนโครงสร้างเสาขนาด 0.2×0.2 เมตร โครงสร้างคานหน้าตักขนาด 0.7×0.3 เมตร ผนังโปรงแสงเป็นกระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร ส่วนหลังคามุงด้วยกระเบื้องหลังคาลอนคู่สีน้ำตาลเข้ม ฝ้าเพดานเป็นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร แฉกกันแดดด้านหน้าอาคารเป็นวัสดุเมทัลชีท

4) การใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่ 4.1) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จากการสำรวจการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ และบัลลาสต์ชนิดหลอด (3X36W) จำนวนรวม 23 โคม หลอดฟลูออเรสเซนต์ LED T8 (3X18W) จำนวน 15 โคม หลอดฟลูออเรสเซนต์ LED T8 (1x18W) จำนวน 5 หลอด หลอดดาวน์ไลท์ LED กลม 12W จำนวน 4 หลอด และ 4.2) ระบบปรับอากาศ จากการสำรวจการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) จำนวนรวม 16 เครื่อง รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การใช้ระบบปรับอากาศในอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

ประเภท	กำลังไฟฟ้า (W)	SEER (COP)	จำนวน (เครื่อง)
เครื่องปรับอากาศ Split Type 18,000 BTU	1,501	13.07 (3.55)	1
เครื่องปรับอากาศ Split Type 18,000 BTU	1,632	13.07 (3.43)	2
เครื่องปรับอากาศ Split Type 18,000 BTU	1,440	12.24 (3.54)	1
เครื่องปรับอากาศ Split Type 36,000 BTU	3,438	10.73 (3.15)	1
เครื่องปรับอากาศ Split Type 38,000 BTU	3,600	9.5 (2.87)	1
เครื่องปรับอากาศ Split Type 40,300 BTU	4,913	9.5 (2.87)	2
เครื่องปรับอากาศ Split Type 40,900 BTU	4,080	10.03 (2.94)	1
เครื่องปรับอากาศ Split Type 48,000 BTU	4,610	10.7 (2.97)	2
เครื่องปรับอากาศ Split Type 48,200 BTU	4,913	10.5 (2.87)	1
เครื่องปรับอากาศ Split Type 55,000 BTU	5,730	9.5 (2.5)	1
เครื่องปรับอากาศ Split Type 60,000 BTU	5,636	9.5 (2.5)	3

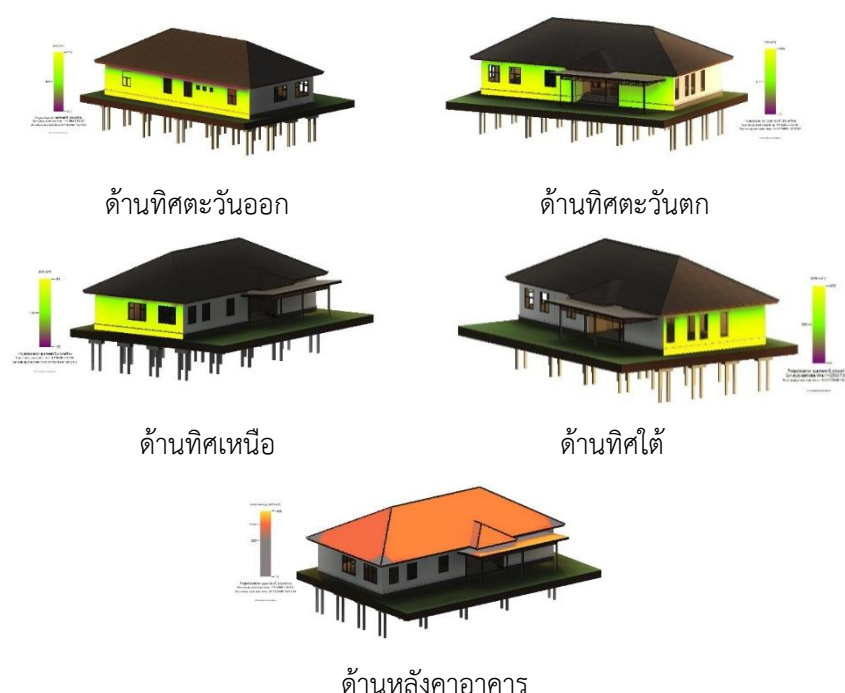
4.3) อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ จากการสำรวจการใช้พลังงานในอาคาร ประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าสำนักงานหลายชนิด ได้แก่ คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ 100 W จำนวน 2 เครื่อง คอมพิวเตอร์พกพา 40 W จำนวน 3 เครื่อง คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ 60 W จำนวน 2 เครื่อง เครื่องปริ้นเตอร์ 60 W จำนวน 1 เครื่อง ตู้เย็น 82 W จำนวน 1 เครื่อง ทีวี 55 W จำนวน 5 เครื่อง ทีวี 32 W จำนวน 3 เครื่อง พัดลมระบายอากาศ 23 W จำนวน 3 เครื่อง เครื่องปั๊มน้ำ 500 W จำนวน 1 เครื่อง เครื่องทำน้ำอุ่น 4,500 W จำนวน 1 เครื่อง และพัดลม 49 W จำนวน 3 เครื่อง

7.2 ผลการศึกษาวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารก่อนและหลังการปรับปรุงเปลือกอาคารเดิมของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

7.2.1 การวิเคราะห์อาคารในสภาพเดิม

1) แบบจำลอง BIM ที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม Autodesk Revit แสดงรายละเอียดของอาคารในสภาพปัจจุบัน โดยข้อมูลที่ได้ถูกนำไปประเมินด้วยเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC พบว่า ค่า OTTV และ RTTV มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานอาคารด้านพลังงาน ส่งผลให้ค่าใช้พลังงานรวม (kW.h/year) ของอาคารสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

2) โปรแกรม Autodesk Revit ที่ใช้พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สามารถวิเคราะห์ค่าปริมาณการฉายรังสี ดวงอาทิตย์บนพื้นผิวที่กำหนดในช่วงเวลาหนึ่ง (Solar Analysis) และค่าพลังงานรวมของอาคารเครื่องส่ง สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี ก่อนปรับปรุง เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารตามแบบมาตรฐาน พบว่า ด้านทิศตะวันตก ซึ่งเป็นหน้าของอาคาร 277 kWh/m² ด้านทิศตะวันออก 506 kWh/m² ด้านทิศเหนือ 240 kWh/m² ด้านทิศใต้ 336 kWh/m² ด้านหลังคา 1,150 kWh/m² ด้านที่มีค่ารังสี ดวงอาทิตย์สูงสุด ได้แก่ ด้านหลังคา ด้านทิศตะวันออก ด้านทิศใต้ ด้านทิศตะวันตกและด้านทิศเหนือ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การวิเคราะห์ค่าปริมาณการฉายรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวที่กำหนดในช่วงเวลาหนึ่ง (Solar Analysis) และค่าพลังงานรวมของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี ก่อนปรับปรุงด้วยโปรแกรม Autodesk Revit และโปรแกรม Insight

3) โปรแกรม BEC (Building Energy Code) V.2.6.0 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณด้านการใช้พลังงานของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code : BEC) เกณฑ์การผ่านการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มีอยู่ 6 ส่วน ดังนี้ 1) ระบบเปลือกอาคาร 2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 3) ระบบปรับอากาศ 4) ระบบอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน 5) ระบบพลังงานหมุนเวียน และ 6) การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร หลักเกณฑ์การผ่านการตรวจประเมินแบบอาคารให้พิจารณาจากเกณฑ์การออกแบบแบ่งการผ่านเกณฑ์เป็น 2 ทางเลือก โดยพิจารณาจากทางเลือกที่ 1 คือ การผ่านเกณฑ์ทุกระบบ หากผลการตรวจประเมินผ่านทุกระบบ ทางเลือกที่ 2 คือ การผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อปี โดยนำค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ออกแบบมาเปรียบเทียบกับค่า การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงตามกฎหมายกระทรวง ถ้ามีค่าต่ำกว่าจึงถือว่าเป็นการผ่านเกณฑ์การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานเช่นกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานโดยรวมก่อนปรับปรุง ที่ได้จากเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC V.2.6.0 ประมวลผลออกมา

รายละเอียด	เกณฑ์มาตรฐาน	อาคารตามทีออกแบบ	ผลประเมิน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV, W/m ²)	≤ 50.00	45.73	ผ่าน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV, W/m ²)	≤ 10.00	52.95	ไม่ผ่าน
ค่ากำลังไฟส่องสว่างสูงสุด (LPD, W/m ²)	≤ 10.00	20.67	ไม่ผ่าน
ค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (SEER, BTU/W.h)	≥ 12.40	9.50	ไม่ผ่าน
การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (kW.h/year)	≤ 35,779.27	54,227.76	ไม่ผ่าน

7.2.2 การปรับปรุงเปลือกอาคารและการสร้างแบบจำลองใหม่

จากการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร กรณีศึกษาอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี เมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณการฉายรังสี ดวงอาทิตย์ และค่าพลังงานรวม จากการใช้โปรแกรม Solar Analysis Autodesk Insight และ เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคาร พบว่า 1) ทิศของอาคารที่ทำให้เกิดค่าปริมาณการฉายรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุดและน้อยที่สุดของแต่ละด้านของอาคารที่ทำการวิเคราะห์ และ 2) เปรียบเทียบค่าปริมาณการฉายรังสี ดวงอาทิตย์ ที่ส่งผลกับเปลือกอาคารทิศที่สูงที่สุด ไปทิศของอาคารที่น้อยที่สุดในแต่ละด้าน เมื่อได้ทิศที่ทำให้เกิดค่าปริมาณการสะสมรังสี ดวงอาทิตย์สูงสุดแล้วจึงนำทิศของอาคารนั้นมาวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน จากรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทำกับด้านต่างๆของอาคาร ในทิศทางที่ทำให้เกิดค่าปริมาณการฉายรังสี ดวงอาทิตย์สูงสุดเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง และทำการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารพร้อมทั้งทำการประมาณ ราคาการปรับปรุงวัสดุเปรียบเทียบกับค่าพลังงาน OTTV, RTTV, LPD ค่าพลังงานรวมที่ได้จากการคำนวณจากเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC V.2.6.0 ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง ดังตารางที่ 3

แนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารที่เหมาะสมเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและได้ทางเลือกที่ตรงตามผลการวิเคราะห์ เสนอการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารเพียง 1 ด้านที่มีการสะสมรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุดคือด้านหลังคาที่มีค่าสะสมพลังงานสูง 1,150 kWh/m² ค่า RTTV สูงเกินมาตรฐาน 52.95 W/m²ปรับปรุง หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ที่ใช้บัลลาสต์แบบขดลวด 23 โคม ที่มีค่า LPD สูงเกินมาตรฐาน 20.67 W/m²ที่จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานรวมจาก 54,227.76 kW.h/year คือ แนวทางที่ 1 ปรับปรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่าง และปรับปรุงวัสดุหลังคาทึบแสง ทำการปรับปรุงแก้ไข โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ และบัลลาสต์ขดลวด (3x36W) เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ LED T8 (3x18W) สามารถลดค่า LPD จากเดิม 20.67 W/m²เหลือ 7.72 W/m² และสวิตช์หลังคา จากเดิมกระเบื้องหลังคาลอนคู่ ฝิวสีเข้ม เป็นกระเบื้องหลังคาลอนคู่

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าปริมาณการฉายรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่ออาคาร

เครื่องมือที่ใช้	ค่าเลือกอาคารแต่ละด้าน (kWh/m ²)/OTTV(W/m ²)				ค่าเลือกหลังคา (kWh/m ²)/RT TV(W/m ²)	ค่า LPD (W/m ²)	ค่าพลังงานรวม (kWh/m ²)
	N	S	E	W			
Solar Analysis	240	336	506	277	1,150	-	-
Autodesk Insight			-		-	-	101.35
BEC V2.6.0		45.73			52.95 *	20.67 *	54,227.76 *

หมายเหตุ: * หมายถึง ผลการประเมินที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2564

ผิวสีอ่อน โดยใช้วิธีการหาสีหลังคา ซึ่งเป็นการลดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา จาก 0.9 เหลือ 0.5 ผลการปรับปรุง พบว่า สามารถลดค่า RTTV จากเดิม 52.95 W/m² เหลือ 31.71 W/m² ถึงแม้แนวทางนี้จะสามารถลดค่า RTTV ลงได้ จากค่าพลังงานรวม 54,227.76 kW.h/year เป็น 39,551.88 kW.h/year แต่ยังคงไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน คิดเป็นค่าพลังงานรวมลดลง ร้อยละ 27.06 และแนวทางที่ 2 ปรับปรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่าง และปรับปรุงวัสดุหลังคาทึบแสง ทำการปรับปรุงแก้ไข โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ และบัลลาสต์ชนิดหลอด (3x36W) เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ LED T8 (3x18W) สามารถลดค่า LPD จากเดิม 20.67 W/m² เหลือ 7.72 W/m² วัสดุหลังคา จากเดิมกระเบื้องหลังคาลอนคู่ ผิวสีเข้ม (สีน้ำตาล) เป็นกระเบื้องหลังคาลอนคู่ ผิวสีอ่อน ทำการติดตั้งฉนวนใยแก้วที่ได้รับฉลากประสิทธิภาพสูง Stay Cool หนา 3 นิ้ว Premium บนแผ่นยิปซัมชนิดธรรมดา หนา 9 มม. ผลการปรับปรุง พบว่า สามารถลดค่า RTTV ได้จากเดิม 52.95 W/m² เหลือ 7.86 W/m² เป็นผลทำให้ค่าพลังงานรวมของอาคารจาก 54,227.76 kW.h/year เป็น 35,550.97 kW.h/year ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน คิดเป็นค่าพลังงานรวมลดลง ร้อยละ 34.44 สรุปดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อาคารศึกษาการปรับปรุงหนึ่งด้านที่มีการสะสมรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด

อาคารศึกษาการปรับปรุงหนึ่งด้านที่มีการสะสมรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด	แนวทางการปรับปรุงที่	แนวทางการปรับปรุง		
		ปรับปรุงสีหลังคาจากสีเข้มเป็นสีอ่อน	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด+ ใส่นวนใยแก้ว Stay cool 3 นิ้ว	หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบบัลลาสต์ชนิดหลอด 3x36 W เปลี่ยนเป็น (LED T8 3x18 W)
	1	✓	x	✓
	2	✓	✓	✓

7.2.3 การวิเคราะห์พลังงานของอาคารหลังการปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC หลังการปรับปรุงอาคาร พบว่า การใช้พลังงานรวมของอาคาร (kW.h/year) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับอาคารเดิม โดยเฉพาะในส่วนจากระบบปรับอากาศซึ่งเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูงที่สุดของอาคาร ดังตารางที่ 5-6

ตารางที่ 5 สรุปรายงานผลวิเคราะห์ Passed

รายละเอียด	เกณฑ์มาตรฐาน	อาคารตามที่ ออกแบบ	ผลประเมิน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV, W/m ²)	≤ 50.00	45.73	ผ่าน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV, W/m ²)	≤ 10.00	7.86	ผ่าน
ค่ากำลังไฟส่องสว่างสูงสุด (LPD, W/m ²)	≤ 10.00	7.72	ผ่าน
ค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (SEER BTU/W·h)	≥ 12.40	9.50	ไม่ผ่าน
การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (kW.h/year)	≤ 35,779.27	35,550.97	ผ่าน

ตารางที่ 6 แนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานที่ลดลง

แนวทางการปรับปรุง	ค่าพลังงานรวมต่อปี	ค่าพลังงานที่ ลดลง	ค่าการใช้พลังงานที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
Base case	54,227.76	-	-
1	39,551.88	14,675.88*	27.06
2	35,550.97	18,676.79*	34.44

หมายเหตุ: * หมายถึง ค่าหน่วยพลังงานรวมต่อปี(Base case)ลบด้วยค่าพลังงานรวมต่อปีที่ลดลงตามแนวทางการปรับปรุง 1,2

7.2.4 การวิเคราะห์การลดค่าใช้จ่ายของการใช้พลังงานของอาคาร

จากวิเคราะห์การลดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานของอาคาร พบว่า อัตราการลดลงของการใช้พลังงานในภาพรวมของอาคารลดลง ร้อยละ 34.44 ต่อปี ค่า OTTV และ RTTV ลดลงจนใกล้เคียงหรือเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานBEC เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง 168,830 บาท โดยทำให้ประหยัดเงินค่าพลังงานลงได้ 78,629.28 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 1 เดือน 5 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนวัสดุกับผลประโยชน์ค่าพลังงานระยะยาวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการลดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานรายปีและระยะเวลาคืนทุน

แนวทางการปรับปรุง	ค่าพลังงานรวม kW.h/m ² /year	เงินลงทุนที่ใช้ปรับปรุงอาคารทุกด้าน(บาท)	ค่าพลังงานที่ลดลงคูณค่าไฟฟ้า(บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
Base case	54,227.76	-	-	-
1	39,551.88	60,000	61,785.45*	0.97
2	35,550.97	168,830	78,629.28*	2.15

หมายเหตุ: * หมายถึง ค่าหน่วยพลังงานที่ลดลงคูณอัตราค่าไฟฟ้า 4.21 บาทต่อหน่วย

8. การอภิปรายผล

8.1 การใช้พลังงานของอาคารในสภาพเดิมของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ค่า OTTV และ RTTV ของอาคารสูงกว่ามาตรฐานอาคารด้านพลังงาน ส่งผลให้การใช้พลังงานรวม

ของอาคารสูง การค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิดทฤษฎีที่ว่าเปลือกอาคารเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อภาระพลังงานของระบบปรับอากาศ อาคารที่ไม่ได้ออกแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์การประหยัดพลังงานจึงมีแนวโน้มที่จะสิ้นเปลืองพลังงานสูง

8.2 การปรับปรุงเปลือกอาคารและผลการวิเคราะห์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนวัสดุผนังและหลังคา รวมทั้งเพิ่มฉนวนกันความร้อน ผลการวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC พบว่า ค่า OTTV และ RTTV ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้การใช้พลังงานรวมของอาคารลดลง โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศที่เป็นปัจจัยหลักของการใช้พลังงาน ทำให้ลดการใช้พลังงานรวมจาก 54,227.76 kW.h/year ลดลงเป็นพลังงานรวม 35,550.97 kW.h/year คิดเป็นร้อยละ 34.44 ต่อปี ค่า OTTV และ RTTV ลดลงจนใกล้เคียงหรือเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน BEC เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง 168,830 บาท โดยทำให้ประหยัดเงินค่าพลังงานลงได้ 78,629.28 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 1 เดือน 5 วัน ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่าการใช้ BIM และเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทดสอบแนวทางการปรับปรุงอาคารก่อนการดำเนินการจริง อย่างไรก็ตาม สามารถเติมเต็มช่องว่างงานวิจัย (Research Gap) ได้จากองค์ความรู้ใหม่ ๆ ที่ยังไม่มีการศึกษาในกรณีศึกษาอาคารเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ในการปรับปรุงในอาคารสื่อสารที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างและการทำงาน เช่น ระบบปรับอากาศและอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้พลังงานสูง พื้นที่ใช้งานที่ไม่เหมือนอาคารสำนักงานทั่วไป อีกทั้งเป็นการบูรณาการร่วมกันระหว่างแนวคิด BIM และเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC ทำให้ โดยเฉพาะการจำลองพลังงานรวมกับการจัดการข้อมูลอาคารในระยะยาว สามารถวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารเครื่องส่งสัญญาณ สถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี

9. สรุป

9.1 ผลการวิจัยรูปแบบและคุณสมบัติของเปลือกอาคารเดิม งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอาคารเครื่องส่งสัญญาณสถานีโทรทัศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานีพบว่าอาคารชั้นเดียวโดยมีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 287.78 m² มีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี

9.2 ผลการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า อาคารในสภาพเดิมมีค่า OTTV และ RTTV สูงกว่ามาตรฐานอาคารด้านพลังงาน ส่งผลให้การใช้พลังงานรวมของอาคารสูงสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พบว่า การปรับปรุงเปลือกอาคารด้วยการเลือกวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ U-value และการเพิ่มฉนวนกัน ความร้อน สามารถลดค่า OTTV และ RTTV ได้อย่างชัดเจน ทำให้การใช้พลังงานรวมของอาคารลดลง โดยใช้เทคโนโลยี BIM ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สามารถแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดการใช้พลังงานได้อย่างชัดเจน ผลการวิเคราะห์ยืนยันว่าแนวทางดังกล่าวไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดพลังงาน แต่ยังสนับสนุนการออกแบบและปรับปรุงอาคารให้สอดคล้องกับมาตรฐานพลังงานและเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

9.3 ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารที่เหมาะสมเป็นทางเลือกที่ตรงตามผลการวิเคราะห์ เสนอการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารเพียง 1 ด้านที่มีการสะสมรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด คือ ด้านหลังคาที่มีค่าสะสมพลังงานสูง 1,150 kWh/m² ค่า RTTV สูง เกินมาตรฐาน 52.95 W/m²ปรับปรุง หลอดไฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แบบขดลวด 23 โคม ที่มีค่า LPD สูงเกินมาตรฐาน 20.67 W/m²ที่จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานรวมจาก 54,227.76 kW.h/year ลงเป็นพลังงานรวม 35,550.97 kW.h/year คิดเป็นร้อยละ 34.44 ต่อปี ค่า OTTV และ RTTV ลดลงจนใกล้เคียงหรือเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน BEC เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง 168,830 บาท โดยทำให้ประหยัดเงินค่าพลังงานลงได้ 78,629.28 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 1 เดือน 5 วัน

10. ข้อเสนอแนะ

10.1 ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอาคารประเภทอื่น เช่น อาคารเรียน อาคารสำนักงานขนาดใหญ่ หรืออาคารพักอาศัยหลายชั้น เพื่อขยายผลการวิจัยให้ครอบคลุม
2. ควรพัฒนาโมเดล BIM ร่วมกับเทคโนโลยีการจำลองขั้นสูง เช่น Digital Twin เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการคาดการณ์ผลลัพธ์การใช้พลังงาน

10.2 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

1. หน่วยงานที่มีอาคารเก่าควรนำแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารด้วย BIM และ เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC ไปปรับใช้จริง เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและยืดอายุการใช้งานอาคาร
2. การใช้ BIM ควรถูกรับรู้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการออกแบบและปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจของสถาปนิก วิศวกร และผู้บริหารโครงการ

10.3 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. ภาครัฐควรส่งเสริมให้มีการใช้ BIM และเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน BEC ในการออกแบบและปรับปรุงอาคารทุกประเภท โดยบรรจุเป็นข้อกำหนดในมาตรฐานอาคารด้านพลังงาน
2. ควรมีการสนับสนุนงบประมาณและสิทธิประโยชน์ทางภาษีแก่หน่วยงานหรือองค์กรที่ปรับปรุงอาคารให้สอดคล้องกับมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงาน
3. ควรเชื่อมโยงการปรับปรุงอาคารกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และยุทธศาสตร์ชาติ เพื่อสร้างแรงขับเคลื่อนเชิงนโยบายในระดับประเทศ

11. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อธิวัฒน์ สิ้นศิริ และอาจารย์ ดร.อภัย ชาภิรมย์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำวิจัยจนสำเร็จเสมอมา ขอขอบพระคุณคณาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมระบบ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ และบุคลากรของสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ท้ายสุดขอขอบคุณหัวหน้าส่วนงานวิศวกรรมและเพื่อนร่วมงานของสถานีโอททศน์ไทยพีบีเอส จังหวัดอุบลราชธานี ทุกท่านที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

12. เอกสารอ้างอิง

- [1] “กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563,” *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่ม 137, ตอนที่ 94 ก., หน้า 7-11. เข้าถึงเมื่อ: 30 ก.ย. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/17150955.pdf>
- [2] Ministry of Energy, “Thailand 20-year energy efficiency development plan (2011-2030),” Ministry of Energy, 2011. Accessed: 30 Sep. 2025. [Online]. Available: https://www.eppo.go.th/images/POLICY/ENG/EEDP_Eng.pdf
- [3] สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, “คู่มือปฏิบัติวิชาชีพ แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับประเทศไทย (Thailand BIM Guideline) ฉบับปี พ.ศ. 2558,” สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558. เข้าถึงเมื่อ: 30 ก.ย. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://download.asa.or.th/03media/isa/bim/20150427-tbgv01.pdf>

- [4] มยุรฉัตร ฉัตรสุวรรณ, “การใช้และการจัดการข้อมูลในแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรกายภาพอาคารชุด,” วิทยานิพนธ์ สด.ม., สถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2562. เข้าถึงเมื่อ: 30 ก.ย. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/9762/>
- [5] ทูพลัส ซอฟท์. “Twoplus 7D BIM,” เข้าถึงเมื่อ: 30 ก.ย. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: https://www.twoplussoft.com/twoplus_7dbim
- [6] นันทพล มหาวัน, อภิชาติ บัวกล้า, ฤทธิ์หยุด ก้อนทอง, และนพรัตน์ เกตุขาว, “การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานด้วยการปรับปรุงกรอบอาคารกรณีศึกษา: อาคารที่อยู่อาศัย.” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 (NCCE 27)*, จังหวัดเชียงราย, 24–26 ส.ค. 2565, หน้า 1–10. เข้าถึงเมื่อ: 30 ก.ย. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://conference.thaince.org/index.php/ncce27/article/view/1924>
- [7] ภนศา จันทรอุดม, “แนวทางการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) จัดการข้อมูลอาคารและแบบก่อสร้างจริงเพื่อการดำเนินงานและบำรุงรักษาอาคารสำนักงาน,” วิทยานิพนธ์ สด.ม., สถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2560. เข้าถึงเมื่อ: 30 ก.ย. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: https://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2017/TU_2017_5916030025_7680_9302.pdf
- [8] I. Czmoach and A. Pekala, "Traditional design versus BIM-based design," *Procedia Engineering*, vol. 91, pp. 210–215, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.048.
- [9] McGraw-Hill Construction, *The business value of BIM getting building information modeling to the bottom line*. NY, USA: McGraw-Hill Construction, 2009. Accessed: Sep. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/markets/Architect/building-information-modeling/SMR BIM 09 FINAL rev.pdf>
- [10] ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, “คู่มือแนวทางปฏิบัติตามกฎหมายเกณฑ์มาตรฐานอาคารด้านพลังงาน,” กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2564. เข้าถึงเมื่อ: 30 ก.ย. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://2e-building.dede.go.th/sites/default/files/2023-01/guidelines-for-compliance-with-building-energy-code-bec-laws.pdf>
- [11] รอฮานา แวดอเลาะ และชนวัฒน์ เลขาพันธ์, “การใช้เทคโนโลยีแบบจำลองข้อมูลอาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มทร.ศรีวิชัย: รายงานการวิจัย,” คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2561. เข้าถึงเมื่อ: 30 ก.ย. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://riss.rmutsv.ac.th/upload/doc /202010/5NTPmKW8eEQl08e1AZq9/5NTPmKW8eEQl08e1AZq9.pdf>
- [12] M. Nasrun Mohd Nawi, F. Baharum, M. Farizal Rajemi, J. Azhan Ibrahim and M. Zamhari Tahir, “Energy management: A case study on the Malaysian government office building,” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 9 no.23, pp. 7865–7871, 2014, doi: 10.37622/000000.
- [13] S. Shetty, “Energy Conservation Building Code (ECBC) based optimum wall composition with respect to thermal transmittance and thickness city in temperate climatic zone of India, Manipal School of Architecture and Planning (MSAP),” In *1st International Conference on Optimization-Driven Architectural Design (OPTARCH 2019)*, *Procedia Manufacturing*, vol. 44, pp. 229–236, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.226.

- [14] ปรัชญา ปัตถาวงศ์ และวิทยา ยงเจริญ, “การศึกษารอบอาคารชุดและแนวทางการประหยัดพลังงาน,” *วารสารวิจัยพลังงาน*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 25–37, ม.ค.-มิ.ย., 2557. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้:
<https://www.eri.chula.ac.th/eri-main/wp-content/uploads/2014/07/25-37edit.pdf>
- [15] วงศิยา อนุศักดิ์ากุล, “แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์,” วิทยานิพนธ์ สด.ม., สถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2559. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้:
<http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/handle/123456789/898>
- [16] B. Ben Mahmoud, N. Lehoux, P. Blanchet, and C. Cloutier, “Barriers, strategies, and best practices for BIM adoption in quebec prefabrication Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs),” *Buildings*, vol.12, no.4, 2022, Art. no. 390, doi:10.3390/buildings12040390.
- [17] S. Siebelink, H. Voordijk, M. Endedijk, and A. Adriaanse, “Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity,” *Frontiers of Engineering Management*, vol. 8, no. 2, pp. 236–257, 2020, doi:10.1007/s42524-019-0088-2.
- [18] K. Zima, E. Plebankiewicz, and D. Wieczorek, “A SWOT analysis of the use of BIM technology in the polish construction industry,” *Buildings*, vol. 10, no. 1, 2020, Art. no. 16, doi: 10.3390/buildings 10010016.