

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
ในระบบปรับอากาศของอาคารภาครัฐ



นันทพล มหาวັນ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ตุลาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
ในระบบปรับอากาศของอาคารภาครัฐ



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ตุลาคม 2568
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

APPLICATION OF BUILDING INFORMATION MODELING FOR REDUCING ENERGY COST
IN AIR CONDITIONING SYSTEM OF GOVERNMENT BUILDINGS



A Thesis Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Master of Engineering Degree in Civil Engineering
October 2025
Copyright 2025 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
ในระบบปรับอากาศของอาคารภาครัฐ

ของ นันทพล มหาวັນ

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นที สุริยานนท์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ บัวกล้า)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธนกร ชมภูรัตน์)

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ญัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ)

เรื่อง:	การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ในระบบปรับอากาศของอาคารภาครัฐ
ผู้วิจัย:	นันทพล มหาวาน, วิทยานิพนธ์: วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2568
อาจารย์ที่ปรึกษา:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ บัวกล้า อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ธนกร ชมภู รัตน์
คำสำคัญ:	แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, การใช้พลังงาน, ค่าภาระการทำความเย็น, วัสดุกรอบอาคาร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) ในมิติที่ 6 (6D BIM) เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารราชการโดยเน้นการปรับปรุงอาคารเดิมให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานมากขึ้น โดยทำการศึกษการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) ในการวิเคราะห์พลังงานของระบบปรับอากาศซึ่งเริ่มกระบวนการด้วยการสร้างโมเดลอาคารจากโปรแกรม Autodesk Revit จากนั้นนำโมเดลดังกล่าวไปพัฒนาเป็น Energy Model เพื่อใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นของอาคาร (Peak Cooling load) ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบปรับอากาศในรูปแบบบาทต่อปีด้วย และวิเคราะห์ผลพลังงานเปรียบเทียบกับโปรแกรม BEC โดยเลือกอาคารต้นแบบ 2 ประเภท ได้แก่ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด และอาคารผู้ป่วยนอก 3 ชั้น ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยมากกว่า 2,000 ตารางเมตร โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนทิศทางอาคาร (0° – 360°) และการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร เช่น ผนัง หลังคา และผนังโปร่งแสง ด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน และฉนวน PU โฟม รวมถึงการใส่กระจก Low-E กระจกสะท้อนแสง และกระจกสี เพื่อประเมินผลด้านการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ ผลการศึกษาพบว่า BIM สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ โดยมีความคลาดเคลื่อนจากโปรแกรม BEC เพียง 6.46% การปรับทิศทางอาคารสามารถลดภาระความเย็นได้สูงสุดถึง 27% ขึ้นอยู่กับลักษณะอาคารและ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร สำหรับการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร พบว่า การปรับปรุงแบบครบระบบ (ผนัง + หลังคา + ผนังโปร่งแสง) ให้ผลประหยัดพลังงานสูงสุดถึง 34% ในสำนักงานสาธารณสุข และ 19% ในอาคารโรงพยาบาล การวิเคราะห์เปรียบเทียบกลยุทธ์การปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร พบว่า กลุ่มที่ปรับปรุงครบทุกระบบ (ผนัง หลังคา และผนังโปร่งแสง) ให้ผลประหยัดพลังงานสูงสุด ได้แก่ แนวทางที่ 1 ซึ่งเป็นการปรับปรุงผนังทึบและฝ้าหลังคาด้วยฉนวนใยแก้ว และปรับปรุงหน้าต่างด้วยกระจก Low_E โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้ 34% ในอาคารสำนักงาน และลดการใช้พลังงานได้ 19% ในอาคารโรงพยาบาล อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วัสดุควรพิจารณาจากต้นทุนร่วมด้วย ดังนั้นจึงได้สรุปแนวทางที่มีอัตราส่วนราคาของวัสดุต่อค่าพลังงานที่ลดลงต่ำที่สุด ได้แก่ แนวทางที่ 10 ซึ่งเป็นการปรับปรุงผนังทึบด้วยฉนวนใยแก้ว โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้ 17% ในอาคารสำนักงาน ด้วยต้นทุน 121,500 บาท และ 7% ในอาคารโรงพยาบาล ด้วยต้นทุน 63,034 บาท งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า BIM เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยสามารถสนับสนุนการตัดสินใจเชิงวิศวกรรมและนโยบายด้านพลังงานในระดับองค์กรและระดับประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Title: APPLICATION OF BUILDING INFORMATION MODELING FOR REDUCING ENERGY COST
IN AIR CONDITIONING SYSTEM OF GOVERNMENT BUILDINGS

Author: Nantaphon Mahawan, Thesis: M.Eng. (Civil Engineering), University of Phayao, 2025

Advisor: Assistant Professor Dr. Apichat Buakla Co-advisor Associate Professor Dr. Thanakorn
Chompoorat

Keywords: Building Information Modeling, energy consumption, cooling load, building envelope
material

ABSTRACT

This research aims to study the application of Building Information Modeling (BIM) in its sixth dimension (6D BIM) to reduce energy costs in air conditioning systems of government buildings, with a focus on improving the energy efficiency of existing structures. The study applies BIM technology to analyze air conditioning energy performance, beginning with the creation of building models using Autodesk Revit. These models are then developed into energy models to calculate the peak cooling load. The resulting data is used to estimate annual energy costs in Thai Baht and is compared with results from the BEC software. Two prototype buildings were selected: a Provincial Public Health Office and a three-story Outpatient Building, each with a usable area exceeding 2,000 square meters. The analysis includes the impact of building orientation (0° – 360°) and the improvement of building envelope materials such as walls, roofs, and transparent walls. Various insulation materials were considered, including glass wool, rock wool, and PU foam, as well as Low-E glass, reflective glass, and tinted glass, to evaluate the energy performance of air conditioning systems. The results show that BIM provides accurate energy analysis, with only a 6.46% deviation from BEC results. Adjusting building orientation can reduce cooling loads by up to 27%, depending on building type and location. Comprehensive envelope retrofitting (walls + roof + transparent walls) yields the highest energy savings—up to 34% for the Public Health Office and 19% for the hospital. The comparative analysis of retrofit strategies reveals that full-system upgrades (Strategy 1), which involve upgrading opaque walls and roof ceilings with glass wool insulation and windows with Low-E glass, offer the greatest energy savings. However, material selection should also consider cost. Strategy 10, which upgrades only opaque walls with glass wool insulation, provides the lowest cost-to-energy-saving ratio, achieving 17% savings in the office building (cost: 121,500 THB) and 7% in the hospital (cost: 63,034 THB). This study demonstrates that BIM is an effective tool for planning energy-efficient building retrofits. It supports informed engineering decisions and contributes to energy policy implementation at both organizational and national levels.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ บัวกล้า ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ และข้อเสนอแนะอันมีคุณค่าในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ รวมถึงการสนับสนุนด้านวิชาการตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นที สุริยานนท์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ธนกร ชมภูรัตน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหน่วยงานราชการและบุคลากรที่เกี่ยวข้อง ที่ให้ข้อมูลและความร่วมมือในการศึกษาวิจัย รวมถึงการให้ข้อมูลอาคารต้นแบบในการวิเคราะห์

ขอขอบคุณครอบครัว และผู้สนับสนุนทุกท่านที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกด้านตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นนทพล มหาวັນ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
แนวทางการดำเนินงานวิจัย	4
ประโยชน์ที่จะได้รับการจากการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	8
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
ศึกษาหาแนวทางวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศด้วยระบบแบบจำลอง สารสนเทศอาคาร	23
ศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐาน ภาครัฐ.....	25
ศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ	26

บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	34
ผลการศึกษาหาแนวทางวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศด้วยระบบ	
แบบจำลองสารสนเทศอาคาร	34
ผลการศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็นของอาคารตามแบบ	
มาตรฐานภาครัฐ.....	55
ผลการศึกษาแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ	61
บทที่ 5 บทสรุป	79
สรุปผลการวิจัย.....	79
อภิปรายผลการวิจัย.....	89
ข้อสังเกต	91
ข้อเสนอแนะ	94
บรรณานุกรม.....	95
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก แบบจำลองอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์	99
ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิเคราะห์พลังงาน	119
ภาคผนวก ค รายละเอียดการตั้งค่า Building Type ในแบบจำลองอาคาร โปรแกรม Autodesk	
Revit.....	135
ประวัติผู้วิจัย.....	137

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แผนการดำเนินงาน.....	6
ตาราง 2 อิทธิพลจากตัวแปรที่มีต่อภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย.....	21
ตาราง 3 วัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงกรอบอาคารในการศึกษานี้	27
ตาราง 4 กรอบอาคาร ส่วน ผนัง พื้น ฝ้า หลังคา ประตูและหน้าต่าง	36
ตาราง 5 สร้าง Space เพื่อกำหนดลักษณะการใช้งานพื้นที่นั้น ๆ.....	37
ตาราง 6 การตั้งค่าตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร	38
ตาราง 7 การกำหนดการวางแนวของอาคาร	39
ตาราง 8 กำหนดคุณสมบัติกรอบอาคาร ในส่วนผนัง และพื้น.....	40
ตาราง 9 กำหนดคุณสมบัติกรอบอาคาร ในส่วนฝ้า หลังคา และ ประตูหน้าต่าง.....	41
ตาราง 10 ข้อมูลการกำหนดที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ	48
ตาราง 11 ตารางสรุปการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารจากโปรแกรม Autodesk Revit	50
ตาราง 12 ปริมาณไฟฟ้า.....	55
ตาราง 13 ความแตกต่างผลการวิเคราะห์.....	55
ตาราง 14 ข้อมูลการกำหนดตำแหน่งวิเคราะห์ผล	56
ตาราง 15 ข้อมูลการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการพิจารณาค่าการใช้พลังงาน ของเครื่องปรับอากาศใน CCSE-Calculation Lock	62
ตาราง 16 ผลวิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด.....	64
ตาราง 17 พื้นที่ปรับปรุงวัสดุอาคารสำนักงาน.....	67
ตาราง 18 ราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุง.....	67
ตาราง 19 อัตราส่วนราคาวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงอาคารสำนักงาน	68
ตาราง 20 แนวทางการปรับปรุงที่ให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปีมากที่สุด 5 อันดับ.....	70

ตาราง 21 แนวทางการปรับปรุงที่ให้อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงาน ที่ลดลงน้อยที่สุด 5 อันดับแรก.....	70
ตาราง 22 ผลวิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคารโรงพยาบาล	72
ตาราง 23 พื้นที่ปรับปรุงวัสดุอาคารสำนักงาน.....	75
ตาราง 24 อัตราส่วนราคาวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงอาคารโรงพยาบาล.....	75
ตาราง 25 แนวทางการปรับปรุงที่ให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปีมากที่สุด 5 อันดับ.....	77
ตาราง 26 แนวทางการปรับปรุงที่ให้อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงาน ที่ลดลงน้อยที่สุด 5 อันดับแรก.....	78
ตาราง 27 สรุปผลแนวทางการปรับปรุงที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มการปรับปรุงอาคารสำนักงาน สาธารณสุขจังหวัด.....	86
ตาราง 28 สรุปผลแนวทางการปรับปรุงอาคารโรงพยาบาล แบบมาตรฐานเลขที่ 10946	88
ตาราง 29 ข้อมูลแบบมาตรฐานสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด	99
ตาราง 30 ข้อมูลแบบมาตรฐานอาคารโรงพยาบาล	106
ตาราง 31 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 0 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผลจังหวัดเชียงราย	119
ตาราง 32 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 240 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผลจังหวัดเชียงราย.....	120
ตาราง 33 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 0 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล กรุงเทพฯ.....	121
ตาราง 34 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 240 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล กรุงเทพฯ	122
ตาราง 35 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 0 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล ขอนแก่นฯ	123
ตาราง 36 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 240 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล ขอนแก่นฯ.....	124

ตาราง 37 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 0 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล สงขลา.....	125
ตาราง 38 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 250 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล สงขลา.....	126
ตาราง 39 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 280 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผลจังหวัดเชียงราย	127
ตาราง 40 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 150 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผลจังหวัดเชียงราย.....	128
ตาราง 41 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 280 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล กรุงเทพฯ.....	129
ตาราง 42 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 150 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล กรุงเทพฯ.....	130
ตาราง 43 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 280 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล ขอนแก่น.....	131
ตาราง 44 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 150 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล ขอนแก่น.....	132
ตาราง 45 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 280 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล สงขลา.....	133
ตาราง 46 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 110 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล สงขลา.....	134
ตาราง 47 ข้อมูล Parameter ที่ถูกเพิ่มให้กับ Space ในแบบจำลองอาคาร เมื่อเลือก Building Type เป็น Office	135
ตาราง 48 ข้อมูล Parameter ที่ถูกเพิ่มให้กับ Space ในแบบจำลองอาคาร เมื่อเลือก Building Type เป็น Hospital or Healthcare.....	136

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 ตัวอย่างสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารภาครัฐ.....	2
ภาพ 2 กราฟแสดงแนวทางการดำเนินงานวิจัย	5
ภาพ 3 อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	8
ภาพ 4 อาคารผู้ป่วยนอก 3 ชั้น	9
ภาพ 5 อาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือการดัดแปลง 9 ประเภทอาคารที่อยู่ในขอบเขตการบังคับใช้ กฎหมาย	10
ภาพ 6 เกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงาน 6 ระบบ.....	11
ภาพ 7 เกณฑ์การผ่านมาตรฐาน Building Energy Code (BEC).....	12
ภาพ 8 ค่าการกันความร้อนของผนังสภารบอร์ตและผนังก่ออิฐ.....	15
ภาพ 9 วิธีทำผนังให้กันร้อนได้ดียิ่งขึ้น โดยการติดตั้งสภารบอร์ตคู่กับฉนวนกันความร้อน หรือการทำผนังก่ออิฐสองชั้น	16
ภาพ 10 การติดตั้งฉนวนใยแก้วและใยหินบนฝ้าเพดาน.....	18
ภาพ 11 ขั้นตอนถัดมาศึกษาผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศ	24
ภาพ 12 ขั้นตอนวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางของอาคาร	25
ภาพ 13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร	26
ภาพ 14 แนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร	30
ภาพ 15 การกำหนดลักษณะการใช้งานอาคาร สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ในโปรแกรม Autodesk Revit.....	32
ภาพ 16 การกำหนดลักษณะการใช้งานอาคาร อาคารสถานพยาบาล อาคารผู้ป่วยนอก 3 ในโปรแกรม Autodesk Revit	33
ภาพ 17 แนวทางการวิเคราะห์พลังงานระบบปรับอากาศด้วย โปรแกรม Autodesk Revit.....	35
ภาพ 18 การสร้างแบบจำลอง EAM ด้วยโปรแกรม Autodesk Revit.....	42
ภาพ 19 การใช้งานคำสั่ง Heating and cooling load	43

ภาพ 20 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานจากโปรแกรม Autodesk Revit.....	43
ภาพ 21 Microsoft Excel (CCSE-Calculation Lock)	44
ภาพ 22 แบบจำลอง 3 มิติอาคาร	45
ภาพ 23 การแบ่งลักษณะการใช้งานห้องตามระบบปรับอากาศ ชั้น 1	45
ภาพ 24 การแบ่งลักษณะการใช้งานห้องตามระบบปรับอากาศ ชั้น 2	46
ภาพ 25 การแบ่งลักษณะการใช้งานห้องตามระบบปรับอากาศ ชั้น 3	46
ภาพ 26 การกำหนดทิศทางของอาคาร	47
ภาพ 27 การตั้งค่าตำแหน่งที่ตั้งอาคารโปรแกรม Autodesk Revit	48
ภาพ 28 การดึงข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีอากาศโปรแกรม Autodesk Revit	49
ภาพ 29 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมโปรแกรม Autodesk Revit	49
ภาพ 30 อัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio, EER).....	52
ภาพ 31 ค่า EER ตามฉลากประหยัดไฟในอุปกรณ์ทำความเย็น	52
ภาพ 32 ผลการคำนวณผลการใช้พลังงานไฟฟ้า CCSE-Calculation Lock.....	54
ภาพ 33 การกระจายตัวของตำแหน่งอาคารที่วิเคราะห์.....	56
ภาพ 34 ผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร.....	57
ภาพ 35 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร	57
ภาพ 36 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร	58
ภาพ 37 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร	58
ภาพ 38 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร	59
ภาพ 39 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร	59
ภาพ 40 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร	60
ภาพ 41 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร	60
ภาพ 42 กระบวนการที่ได้จากการประยุกต์ BIM ในการวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ อาคาร	61

ภาพ 43 ข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ในโปรแกรม Autodesk Revit.....	63
ภาพ 44 ข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารโรงพยาบาล ในโปรแกรม Autodesk Revit.....	71
ภาพ 45 การกำหนดข้อมูลด้านพลังงานให้กับวัสดุในโปรแกรม Autodesk Revit.....	80
ภาพ 46 ตัวอย่างข้อมูลด้านพลังงาน_หลังจากทำการกำหนดลักษณะการใช้งานอาคาร ในโปรแกรม Autodesk Revit	80
ภาพ 47 แบบจำลองอาคารสำนักงานสาธารณสุขที่แสดงแนวการวางอาคารที่ให้ค่าภาระการทำความ เย็นน้อยที่สุดหันด้านหน้าอาคารไปทาง ทิศตะวันตก (0 องศาจากทิศตะวันออก)	83
ภาพ 48 แบบจำลองอาคารสำนักงานสาธารณสุขที่แสดงแนวการวางอาคารที่ให้ค่าภาระการทำความ เย็นมากที่สุดหันด้านหน้าอาคารไปทาง ตะวันตกเฉียงทิศใต้ (240 องศา จากทิศตะวันออก)	83
ภาพ 49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผนังอาคารกรณีใช้ผนังก่ออิฐ ฉาบปูนคู่กับกระจกใส โดยที่ WWR มีค่า 10%, 50% และ 90% ตามลำดับ.....	84
ภาพ 50 แบบจำลองอาคารโรงพยาบาลที่แสดงแนวการวางอาคารที่ให้ค่าภาระการทำความ เย็นน้อยที่สุด หันด้านหน้าอาคารไปทางทิศตะวันตก (280 องศา จากทิศตะวันออก)	85
ภาพ 51 แบบจำลองอาคารโรงพยาบาลที่แสดงแนวการวางอาคารที่ให้ค่าภาระการทำความ เย็นมากที่สุด หันด้านหน้าอาคารไปทางตะวันตกเฉียงทิศใต้ (150 องศา จากทิศตะวันออก)	85
ภาพ 52 ผลภาระการทำความเย็นแยกตามองค์ประกอบอาคาร (อาคารสำนักงาน).....	91
ภาพ 53 ผลภาระการทำความเย็นแยกตามองค์ประกอบอาคาร (อาคารโรงพยาบาล).....	92
ภาพ 54 อาคารสาธารณสุขจังหวัด แปลนพื้นที่ชั้นที่ 1.....	100
ภาพ 55 อาคารสาธารณสุขจังหวัด แปลนพื้นที่ชั้นที่ 2.....	101
ภาพ 56 อาคารสาธารณสุขจังหวัด แปลนพื้นที่ชั้นที่ 3.....	102
ภาพ 57 อาคารสาธารณสุขจังหวัด แปลนพื้นที่หลังคา.....	103
ภาพ 58 อาคารสาธารณสุขจังหวัด รูปด้าน	104
ภาพ 59 อาคารสาธารณสุขจังหวัด รูปตัด	105
ภาพ 60 อาคารโรงพยาบาล แปลนพื้นที่ชั้นที่ 1.....	107
ภาพ 61 อาคารโรงพยาบาล แปลนพื้นที่ชั้นที่ 2.....	108

ภาพ 62 อาคารโรงพยาบาล แพลนพื้นที่ 3.....	109
ภาพ 63 อาคารโรงพยาบาล แพลนชั้นห้องเครื่องลิฟต์	110
ภาพ 64 อาคารโรงพยาบาล แพลนหลังคา.....	111
ภาพ 65 อาคารโรงพยาบาล รูปด้าน A, รูปด้าน C	112
ภาพ 66 อาคารโรงพยาบาล รูปด้าน B, รูปด้าน D.....	113
ภาพ 67 อาคารโรงพยาบาล รูปตัด	114
ภาพ 68 ภาพสามมิติอาคารโรงพยาบาล	115
ภาพ 69 ภาพสามมิติอาคารโรงพยาบาล ชั้น 1.....	115
ภาพ 70 ภาพสามมิติอาคารโรงพยาบาล ชั้น 2.....	116
ภาพ 71 ภาพสามมิติอาคารโรงพยาบาล ชั้น 3.....	116
ภาพ 72 ภาพสามมิติอาคารสำนักงาน.....	117
ภาพ 73 ภาพสามมิติอาคารสำนักงาน ชั้น 1	117
ภาพ 74 ภาพสามมิติอาคารสำนักงาน ชั้น 2	118
ภาพ 75 ภาพสามมิติอาคารสำนักงาน ชั้น 3.....	118



บทที่ 1

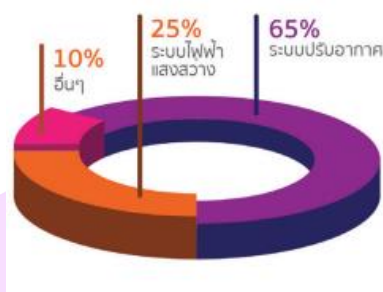
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระทรวงพลังงานได้กำหนดให้มีการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น เห็นได้จากการที่กระทรวงพลังงานได้ทำการจัดทำโครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ ซึ่งทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแบบอาคารประหยัดพลังงาน สำหรับใช้เป็นแบบตัวอย่างมาตรฐานในการก่อสร้างอาคารของภาครัฐในอนาคต รวมทั้งมีการกำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งได้กำหนดให้อาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงสำหรับใช้เป็นอาคารโรงแรม หอพัก โรงเรียน สถานบริการ สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงานหรือที่ทำการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุด อาคารชุมนุม ที่มีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตร.ม. ขึ้นไป ทั้งนี้ก็เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ตามเจตนารมณ์ของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ที่มีเป้าหมายในการลดความเข้มข้นการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ลงร้อยละ 25 ในปี พ.ศ. 2573 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2548 หรือเทียบเท่าการลดการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายลง ร้อยละ 20 ในปี พ.ศ. 2573 หรือประมาณ 30,000 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) ส่งผลให้แบบอาคารของภาครัฐที่ใช้เป็นแบบมาตรฐานในการก่อสร้างอาคารในอดีต ซึ่งถูกจัดทำขึ้นเพื่อช่วยลดระยะเวลาของการดำเนินการที่ซ้ำซ้อน ให้องค์กรสามารถนำเสนอโครงการตามกรอบเวลาในการของบประมาณได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ไม่สอดคล้องกับการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานเท่าที่ควร

การประหยัดพลังงานในอาคารส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การลดใช้พลังงานในการดำเนินกิจกรรมในอาคาร (Operation) และการออกแบบระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการใช้พลังงานอาคารทั้งหมดมีส่วนการใช้พลังงานเป็นของระบบปรับอากาศมากถึง 65% แต่อย่างไรก็ตามหากตัวอาคารเองไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนแล้วนั้น การประหยัดพลังงานก็ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้อย่างยั่งยืน ในทางกลับกันถ้าตัวอาคารเองมีการออกแบบโดยคำนึงถึงการสำนึกเรื่องพลังงาน (Energy Conscious Design) แต่ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีประสิทธิภาพต่ำ และไม่สอดคล้องกับการดำเนินกิจกรรมในอาคารตามที่ออกแบบไว้แล้วนั้น อาคารก็ไม่สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558) จากที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อให้การประหยัดพลังงานสามารถบรรลุเป้าหมายได้อย่างยั่งยืน จำเป็นต้องเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์

ที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในด้านประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ ด้านประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของอาคาร รวมถึงด้านเงินทุนที่ใช้ในการปรับปรุง



ภาพ 1 ตัวอย่างสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารภาครัฐ

ที่มา: โครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างอาคารต้นแบบอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ

โครงการก่อสร้างปัจจุบันมีการใช้ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Model: BIM) ในการสร้างแบบจำลองอาคาร (Building Model) พร้อมกับข้อมูลหรือสารสนเทศ (Information) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันของผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้าง และแก้ไขปัญหาในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการทำงานเนื่องจากระบบการเก็บข้อมูลในปัจจุบันมีการส่งข้อมูลที่ซับซ้อนทำให้มีโอกาสที่จะเกิดปัญหากับข้อมูลได้ อีกทั้งยังถูกใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโครงการก่อสร้างในหลาย ๆ ด้านทำให้ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สามารถจำแนกตามการใช้งานและข้อมูลเป็น 7 มิติ ได้ดังนี้ 1) 3 มิติ คือ แบบจำลองอาคารที่แสดงมิติทางกายภาพของอาคาร ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองสถาปัตยกรรม แบบจำลองโครงสร้าง และแบบจำลองงานระบบ 2) 4 มิติ คือ แบบจำลองอาคารเพื่อใช้ในการวางแผนก่อสร้างอาคาร 3) 5 มิติ คือ แบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณราคา 4) 6 มิติ คือ แบบจำลองอาคารด้านความยั่งยืน 5) 7 มิติ คือ แบบจำลองที่ใช้เพื่อเชื่อมกับข้อมูลการบริหารสิ่งอำนวยความสะดวก

จากข้อมูลที่กล่าวไปข้างต้นเห็นได้ว่า ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคารมีความสามารถที่จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืนได้ โดยใช้แบบจำลองมิติที่ 6 ซึ่งเป็นแบบจำลองมีข้อมูลด้านพลังงานในการวิเคราะห์ผลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ และเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของอาคาร งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ในการสร้างแนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในช่วงการใช้งานอาคาร จากการวางทิศทางที่ไม่เหมาะสม และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านองค์ประกอบเปลือกอาคารกับค่าการใช้พลังงานรายปีของแบบมาตรฐานอาคารภาครัฐที่ต้องทำการออกแบบอาคาร

เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายกระทรวง และเสนอแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร โดยเปรียบเทียบต้นทุนในการปรับปรุงกับการลดลงของการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี เพื่อเสนอแนวทางการวิเคราะห์ด้านพลังงานร่วมกับระบบแบบจำลองอาคารสารสนเทศและเสนอแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารที่มีต้นทุนในการปรับปรุงต่ำและเหมาะสมที่สุดทั้งในด้านประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้านประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของอาคาร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อพัฒนาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคารภาครัฐลง โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ผล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ทิศทางที่เหมาะสมของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ
2. การปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารให้เกิดการลดการใช้พลังงานและมีความเหมาะสมด้านการลงทุน

ขอบเขตของการวิจัย

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารภาครัฐ มีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

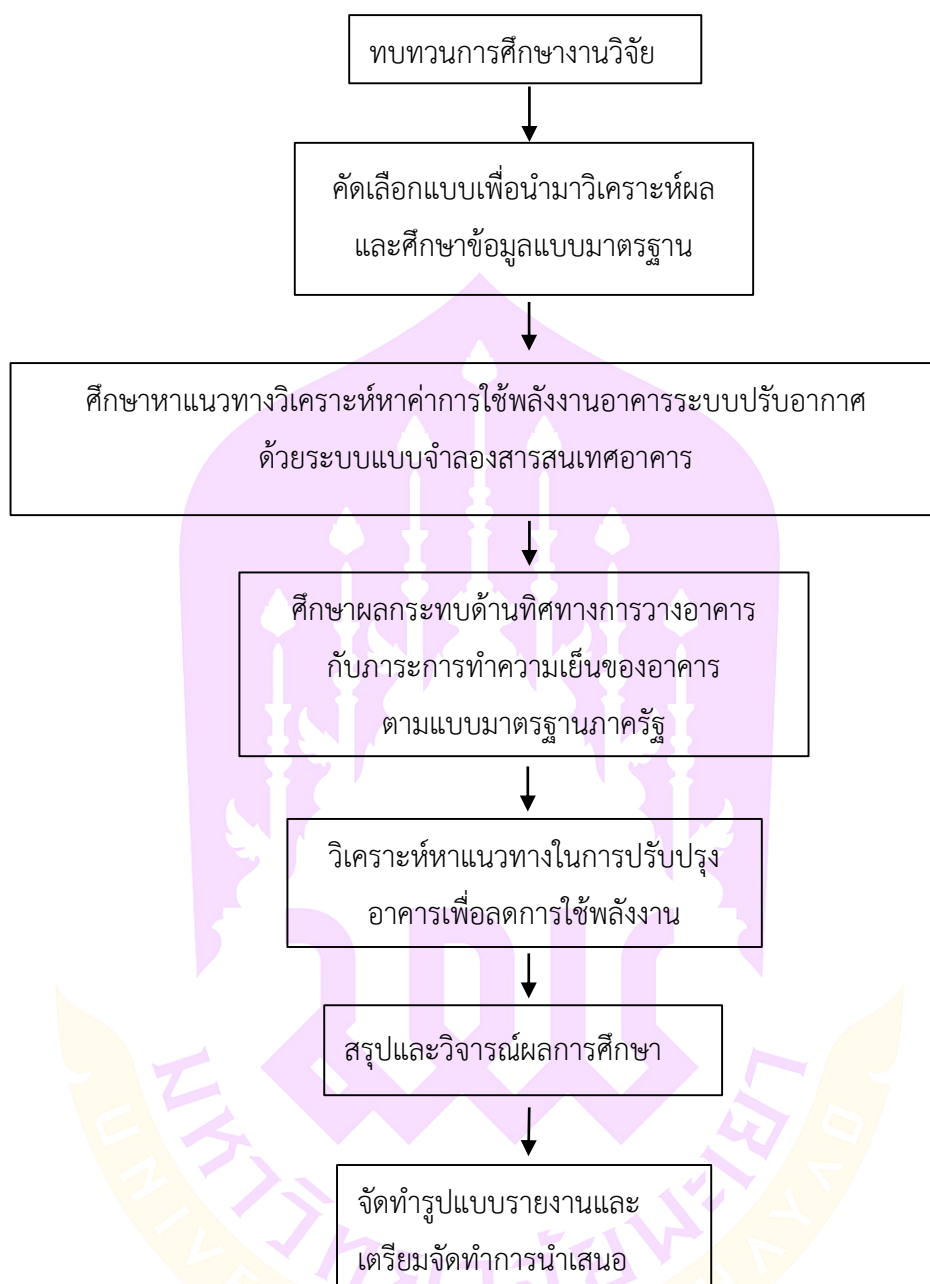
1. ศึกษาการวิเคราะห์การลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศของอาคาร ด้วยโปรแกรม Autodesk Revit
2. ศึกษาการปรับแก้แบบมาตรฐานอาคาร จำนวน 2 แบบ ได้แก่
 - 2.1 อาคารสาธารณสุข
 - 2.2 อาคารผู้ป่วยนอก 3 ชั้น แบบเลขที่ 10946 กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข
3. ศึกษาการปรับแก้แบบมาตรฐานอาคาร โดยศึกษาปัจจัยด้านการเลือกทางทิศทางการอาคารและการเลือกวัสดุป้องกันความร้อนกรอบอาคาร เพื่อให้เกิดการลดการใช้พลังงาน
4. เลือกแนวทางปรับปรุงที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) จำนวนเงินลงทุน (บาท) และระยะคืนทุน (ปี)
5. ศึกษาหาแนวทางประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศอาคารเพื่อวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน โดยเลือกศึกษาการวิเคราะห์ผลพลังงานไฟฟ้าในส่วนระบบปรับอากาศของอาคาร

6. เลือกใช้แบบมาตรฐานอาคารของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ตามแบบมาตรฐานเลขที่แบบ 8491 และข้อมูลอาคารจากงานวิจัยเรื่อง แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานจังหวัด เพื่อประหยัดพลังงานของ โสพิศ ชัยชนะ (2558) ในการตรวจสอบผลค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศต่อปี ที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Revit กับผลจากโปรแกรม BEC v.1.0.6

แนวทางการดำเนินงานวิจัย

แนวทางการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังแสดงในหัวข้อด้านล่าง ดังต่อไปนี้

1. ทบทวนการศึกษางานวิจัย บทความ ที่เกี่ยวข้อง ทำการศึกษาค้นคว้า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผลด้านการลดการใช้พลังงานอาคาร และการใช้ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร มาใช้กับการวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน
2. ศึกษาแบบมาตรฐานอาคารภาครัฐและเลือกแบบที่เหมาะสมต่อการศึกษาค้นคว้าวิเคราะห์ผลการลดการใช้พลังงานอาคาร
3. ศึกษาหาแนวทางวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร
4. ศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ
5. วิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุงวัสดุรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศ
6. สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา
7. จัดทำรูปแบบรายงานและเตรียมจัดทำนำเสนอ



ภาพ 2 กราฟแสดงแนวทางการดำเนินงานวิจัย

ตาราง 1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ ที่	รายละเอียดการดำเนินงาน	เดือน											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ทบทวนการศึกษางานวิจัย บทความ ที่เกี่ยวข้อง												
2	คัดเลือกแบบเพื่อนำมาวิเคราะห์ผล และศึกษาข้อมูลแบบมาตรฐาน												
3	ศึกษาหาแนวทางวิเคราะห์หาค่าการ ใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศ ด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศ อาคาร												
4	ศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวาง อาคารกับภาระการทำความเย็นของ อาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ												
5	วิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุง อาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน												
6	สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา												
7	จัดทำรูปแบบรายงานและเตรียมจัดทำ การนำเสนอ												

ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อพัฒนาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคารภาครัฐ คาดว่าจะได้รับประโยชน์ ดังต่อไปนี้

1. ได้แนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศกับการหาวิธีการในการปรับปรุง กรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน
2. ได้แนวทางการปรับปรุงแก้ไขวัสดุกรอบอาคาร ที่ใช้แบบมาตรฐานอาคารที่ออกมาโดย หน่วยงานภาครัฐในการก่อสร้าง
3. ได้แนวทางการเลือกทิศทางการวางตัวของอาคารที่สร้างโดยใช้แบบมาตรฐานอาคาร ที่ออกมาโดยหน่วยงานภาครัฐ

4. ได้แนวทางการเขียนแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบด้านพลังงานด้วยโปรแกรม Autodesk Revit



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารแบบมาตรฐานอาคารภาครัฐ เพื่อลดการใช้พลังงานอาคาร และศึกษาผลการจำลองการใช้พลังงานที่ได้จากระบบแบบจำลองอาคารสารสนเทศ จึงทำการศึกษา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

1. แบบมาตรฐานภาครัฐ

1.1 ประเภทอาคารสำนักงาน เลือกใช้อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐานเลขที่แบบ 8491 ออกแบบโดยกองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 3 ชั้น มีเนื้อที่ประมาณ 2,293.51 ตร.ม. ตั้งอยู่ในอย่างน้อย 21 จังหวัด โดยเป็นที่ทำการของเจ้าหน้าที่รัฐในการกำกับดูแลด้านสาธารณสุขของจังหวัด



ภาพ 3 อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

ที่มา: โสพิศ ชัยชนะ, 2558

1.2 ประเภทอาคารสถานพยาบาล เลือกใช้อาคารผู้ป่วยนอก 3 ชั้นแบบเลขที่ 10946 กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข เนื่องจากได้ทำการสำรวจยอดการเข้าชม อ้างอิงจากเว็บไซต์ กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข

แบบมาตรฐานอาคารที่มีขนาดพื้นที่ใช้สอยเกินกว่า 2,000 ตร.ม. และมียอดการเข้าชมมากที่สุด ได้แก่ อาคารผู้ป่วยนอก 3 ชั้น แบบเลขที่ 10946



ภาพ 4 อาคารผู้ป่วยนอก 3 ชั้น

ที่มา <http://www.utp.go.th/index.php/about>

2. การออกแบบอาคารประหยัดพลังงานตามเกณฑ์มาตรฐานของกฎกระทรวง

กฎกระทรวงดังกล่าวประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 และกำหนดให้ใช้บังคับเมื่อ พ้น 120 วัน นับตั้งแต่วันประกาศเป็นต้นไป กับอาคาร 9 ประเภทที่มีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกัน ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ทั้งนี้จะทยอยบังคับใช้กับอาคารขนาด 10,000 ตารางเมตรขึ้นไปก่อนในปีแรก จากนั้นจะเริ่มบังคับใช้กับ อาคารพื้นที่ 5,000 ตารางเมตรขึ้นไป ในปีที่สองและบังคับใช้กับอาคารพื้นที่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไปในปีที่ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้ระยะเวลาที่จะเริ่มบังคับใช้ ขึ้นอยู่กับการเห็นชอบของคณะกรรมการควบคุมอาคาร

สาระสำคัญของกฎหมาย ได้แก่ กำหนดเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบของแต่ละระบบ การกำหนดให้มีผู้ตรวจประเมินในการออกแบบก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่ผ่านการอบรมตามเกณฑ์ที่กำหนดและได้รับการรับรองจาก พ.พ. การกำหนดวิธีการและขั้นตอนการรับรองผลการตรวจประเมิน และการกำหนดรูปแบบเอกสารที่ใช้ยื่นขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร

กฎหมายดังกล่าวใช้บังคับกับอาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือการดัดแปลง 9 ประเภท อาคาร ได้แก่ 1) โรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร 2) โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วย

โรงแรม 3) สถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ 4) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล 5) สถานศึกษาตามกฎหมายว่าด้วยการศึกษาแห่งชาติ 6) สำนักงานหรือที่ทำการ 7) ห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า 8) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด 9) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร



ภาพ 5 อาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือการดัดแปลง 9 ประเภทอาคารที่อยู่ในขอบเขตการบังคับใช้กฎหมาย

ที่มา: โครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างอาคารต้นแบบอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ

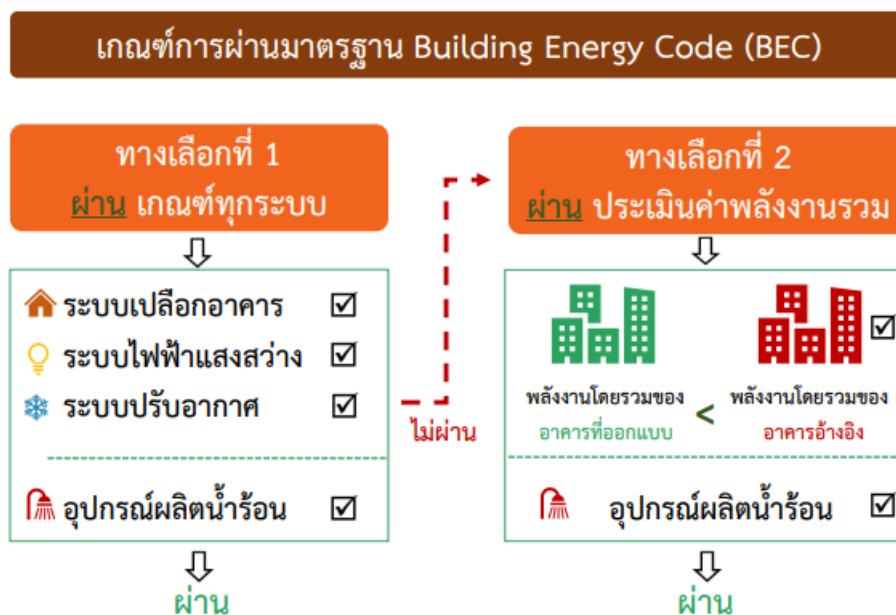
เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code :BEC) มีเกณฑ์การประเมิน 6 ระบบดังนี้ 1) ระบบเปลือกอาคาร (OTTV, RTTV) 2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) 3) ระบบปรับอากาศ 4) อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน 5) การใช้พลังงานหมุนเวียน 6) การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร



ภาพ 6 เกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงาน 6 ระบบ

ที่มา: จากโครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างอาคารต้นแบบอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ

มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายกระทรวงฯ ผู้ออกแบบต้องออกแบบอาคาร เพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนด ดังนี้ 1) ทุกระบบหรืออุปกรณ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ การออกแบบอาคาร ให้ประสิทธิภาพพลังงานของทุกระบบหรือทุกอุปกรณ์ ได้แก่ ระบบเปลือกอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานที่กำหนดไว้ 2) การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ การออกแบบอาคารในกรณีที่ประสิทธิภาพ ของระบบใดระบบหนึ่งหรืออุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่งหรือมากกว่า ได้แก่ ระบบเปลือกอาคาร ระบบไฟฟ้า แสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ไม่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของระบบหรืออุปกรณ์ที่กำหนดไว้ สามารถพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารได้ โดยอาคารที่พิจารณา จะผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ ก็ต่อเมื่อมีการใช้พลังงานโดยรวมต่ำกว่าอาคารอ้างอิง (อาคารอ้างอิง หมายความว่า แบบแปลนของอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงซึ่งมีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของเปลือกอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่ออกแบบ และได้มีการคำนวณมีค่าของระบบเปลือกอาคาร ระบบไฟฟ้า แสงสว่าง และระบบปรับอากาศ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบแล้ว)



ภาพ 7 เกณฑ์การผ่านมาตรฐาน Building Energy Code (BEC)

ที่มา: จากโครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างอาคารต้นแบบอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การประยุกต์ใช้ระบบแบบจำลองสารสนเทศ

ระบบแบบจำลองอาคารสารสนเทศ BIM มีความสำคัญมากขึ้น ในโครงการขนาดใหญ่ และงานภาครัฐมีเงื่อนไขเกี่ยวกับการส่งงานด้วย BIM ผลกระทบที่เกิดขึ้นทำให้ผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมาจำเป็นต้องจัดหาเครื่องมือหรือผู้ปฏิบัติงานเพื่อนำผลิตผลนำเสนอประกอบเนื้องานนั้น จากความต้องการของผู้ว่าจ้างที่มีความคาดหวังการนำ BIM Model ไปใช้งานเพื่อบริหารอาคารต่อไป ถึงแม้ว่าความพร้อมด้านต่าง ๆ ยังไม่มีความสมบูรณ์ การขับเคลื่อนยังคงดำเนินต่อเนื่องจนทำให้เสมือนการทำงานปกติ คำถามเรื่อง BIM คืออะไร? เปลี่ยนไปเป็น BIM ใช้อย่างไร? การแสวงหาความชัดเจนมีมากขึ้นเป็นลำดับ ถึงแม้ว่าภาวะเศรษฐกิจและโรคระบาดยังไม่อำนวยให้การขับเคลื่อนนี้เป็นไปได้อย่างราบรื่น แต่ความต้องการใช้ BIM เป็นสิ่งควบคู่กับการทำงานปัจจุบัน (ทรงพล ยมนาถ, 2565)

การประยุกต์ใช้ระบบแบบจำลองสารสนเทศกับการวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องมือหรือซอฟต์แวร์มาใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลด้านพลังงานซึ่งต้องการข้อมูลพื้นฐานของอาคาร ข้อมูลลักษณะการใช้งาน และสภาพภูมิอากาศ ทำให้การประยุกต์ใช้ระบบแบบจำลองสารสนเทศ แบบจำลองอาคารมิติที่ 6 ที่มีข้อมูลด้านความยั่งยืน จึงเหมาะแก่

การประยุกต์ใช้ในการเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน ตัวอย่าง ซอฟต์แวร์ Autodesk Revit เมื่อมีการสร้างแบบจำลองจะสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ ข้อมูลวัสดุกรอบอาคาร ตำแหน่ง และทิศทางซึ่งจะเชื่อมโยงกับข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากสถานีเก็บที่ข้อมูล ฐานข้อมูลภายนอกของ สถานีตรวจอากาศขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) มากกว่า 4,400 แห่งที่ได้มาจากคู่มือพื้นฐาน ASHRAE ปี 2005 สถานีตรวจอากาศ WMO ที่ใกล้ที่สุดจะถูกเลือกพร้อมกับข้อมูลสภาพอากาศ และซอฟต์แวร์ Autodesk Revit ยังสามารถวิเคราะห์ผล ภาระการทำความเย็น ตามข้อกำหนดของคู่มือพื้นฐาน ASHRAE ด้วยการใช้คำสั่ง Heating and Cooling ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ RTS (Radiant Time Series) วิธีนี้คำนึงถึงผลกระทบการหน่วงเวลา เนื่องจาก ความร้อนถูกถ่ายโอนจากภายนอก ผ่านกรอบอาคารเข้าไปในช่องว่าง (Autodesk, 2565)

2. ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร มาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

2.1 ความร้อนที่เกิดจากภายในอาคาร (Internal Heat Gain) ความร้อนภายในอาคาร เป็นความร้อนที่สามารถเกิดได้จากตัวคนหรือผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น หลอดไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ ตู้เย็น โทรทัศน์ เป็นต้น

2.2 ความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคาร (External Heat Gain) ความร้อนภายนอกอาคารเป็นความร้อนที่เกิดจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ด้วยกระบวนการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 การนำความร้อน (Conduction) จากภายนอกเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางผนัง ภายนอก ทั้งผนังทึบ ผนังโปร่งแสง ฝ้า เพดาน และหลังคา

2.2.2 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) โดยตรงผ่านพื้นที่ผนังโปร่งแสง เช่น หน้าต่างกระจก หลังคาโปร่งแสง หรือ Skylight ซึ่งประเทศไทยได้รับผลกระทบอย่างมาก เนื่องจากที่ตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรของโลก

2.2.3 การพาความร้อน (Convection) เป็นความร้อนที่มากับอากาศภายนอกที่นำเข้ามา เพื่อการระบายอากาศภายใน (Ventilation) รวมถึงอากาศภายนอกที่แทรกซึมเข้ามาภายในอาคารตามช่องเปิดต่าง ๆ เช่น ประตู หน้าต่าง สำหรับความร้อนในลักษณะนี้ ทิศทาง และความเร็วของกระแสลมถือว่ามีความสำคัญอย่างมาก

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแบ่งออกเป็น ปัจจัยภายนอก และปัจจัยภายในที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

3.1 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

3.1.1 ทิศทางแสงแดด ควรออกแบบให้ด้านแคบของอาคารหันไปทางทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก เพื่อให้ด้านที่มีพื้นที่ผิวน้อย รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ โดยเฉพาะในช่วงบ่ายที่มีแสงแดดร้อนจัดส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่อาคารลดลง และลดการสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

3.1.2 พืชพันธุ์ธรรมชาติ การปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีทรงแผ่กว้างและพุ่มใบโปร่ง บริเวณรอบ ๆ อาคารเพื่อให้ร่มเงาช่วยลดความร้อนที่เกิดจากรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ หรือการปลูกไม้พุ่มและการสร้างบ่อน้ำเพื่อสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อมหรือการปลูกหญ้าและพืชคลุมดินเพื่อป้องกันความร้อนให้กับพื้นดิน

3.1.3 สภาพภูมิประเทศ การออกแบบอาคารให้สามารถประหยัดพลังงานได้เต็มที่ที่มีปัจจัยที่จำเป็นอย่างยิ่งต้องนำมาพิจารณา คือ สภาพภูมิประเทศที่อาคารจะสร้างขึ้นเหนือพื้นที่นั้น การปรับสภาพภูมิประเทศให้เหมาะกับการก่อสร้างอาคารสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การปรับพื้นดินให้ลาดเอียงไปทางทิศเหนือเพื่อรับแสงแดดน้อยลงหรือการสร้างบ่อน้ำขนาดใหญ่เพื่อให้ลมพัดผ่านสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อม เป็นต้น

3.1.4 สภาพภูมิอากาศ การสร้างอาคารควรคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้น ๆ เนื่องจากการสร้างอาคารที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศไม่ว่าจะเป็นเขตร้อนหรือเขตหนาว จะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ เช่น การใช้ประโยชน์จากลมประจำถิ่น ด้วยการวางตัวอาคารและช่องเปิดให้ขวางทิศทางลมสำหรับประเทศไทยมีลมประจำถิ่น ได้แก่ ลมฤดูร้อนพัดจากทางทิศใต้หรือตะวันตกเฉียงใต้ และลมฤดูหนาวพัดจากทางทิศเหนือหรือตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

3.2 ปัจจัยภายใน ต่อการออกแบบอาคาร

3.2.1 ตัวอาคารหรือรูปทรงอาคาร รูปทรงอาคารที่เหมาะสมควรมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำสุด หรือการออกแบบให้กรอบอาคารมีเส้นรอบรูปน้อย ควรมีการรั่วซึมของอากาศต่ำ แต่ยอมให้มีการไหลเวียนอากาศผ่านผิวอาคารในกรณีที่อาคารมีรูปทรงเรียวยาว ควรวางอาคารในแนวทิศตะวันออก ตะวันตก ข้อมูลด้านล่างต่อไปนี้ เป็นข้อมูลในการพิจารณารูปทรงอาคารที่เหมาะสม

3.2.2 ผนังอาคาร ผนังถือเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการช่วยให้อาคารบ้านอยู่อาศัย มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในอาคารที่อยู่อาศัย โดยส่วนใหญ่ใช้เพื่อควบคุมอุณหภูมิในอาคารให้เหมาะสมกับการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของผู้อยู่อาศัย หรือผู้ที่กำลังปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ในอาคารดังกล่าว โดยเฉพาะเมืองไทยเป็นเมืองร้อน

การเลือกใช้นั่งอาคารที่เหมาะสม จึงเป็นส่วนสำคัญเพื่อลดภาระการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นให้ภายในตัวอาคาร

3.2.3 หลังคาอาคาร หลังคาเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งเสริมให้อาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การเพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับหลังคา (ค่า R สูง) โดยการติดตั้งหรือฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาหรือระหว่างชั้นฝ้าเพดานกับหลังคา โดยอาจมีช่องระบายอากาศเพื่อระบายอากาศร้อนจากใต้หลังคาออกสู่ภายนอกอาคาร

3.2.4 ฉนวนกันความร้อน ฉนวนอุปกรณ์เสริมที่สำคัญสำหรับอาคาร การเลือกชนิดฉนวนที่เหมาะสม ทั้งที่ติดตั้งบริเวณผนังหรือหลังคาเพื่อให้ตัวอาคารมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานได้สูงสุด เช่น โยแกวหรือโฟเบอร์กลาส หรือโพนชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนัง

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังเป็นการเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนังทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร โดยทั่วไปจะติดตั้งพร้อมกับโครงเคร่าและปิดทับด้วยแผ่นสมาร์ทบอร์ด ดังแสดงในภาพเมื่อเปรียบเทียบการกันความร้อน หากใช้สมาร์ทบอร์ดหนา 8 มิลลิเมตร ติดตั้งกับโครงเคร่าสำเร็จ จะมีค่าการกันความร้อนประมาณ $R = 0.5 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนสองด้าน มีค่าการกันความร้อนประมาณ $R = 0.3 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$ ดังนั้น ความร้อนจะสามารถผ่านเข้ามาภายในบ้านที่ใช้ผนังก่ออิฐได้มากกว่า ภายในบ้านจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าบ้านที่ใช้ระบบผนังเบา



ภาพ 8 ค่าการกันความร้อนของผนังสมาร์ทบอร์ดและผนังก่ออิฐ

ที่มา Ceiling & Wall System Selection, thaihomemaster.com, scgbuildingmaterials.com

อิฐมวลเบา เป็นวัสดุที่สะสมความร้อนในตัวเอง การใช้ผนังก่ออิฐจะทำให้บ้านร้อนในช่วงกลางวันจนถึงหัวค่ำ หากต้องการให้บ้านไม่ร้อนมากนัก ทำได้โดยเลือกก่อผนังอิฐสองชั้น แล้วเว้นช่องอากาศไว้ตรงกลาง ความร้อนจะมาสะสมอยู่ที่ช่องนี้ก่อน ไม่ส่งผ่านความร้อนโดยตรงสู่ภายในบ้าน แต่จะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น พื้นที่ใช้สอยภายในบ้านลดลง และเพิ่มน้ำหนักให้กับโครงสร้างอีกด้วย ส่วนผนังสมาร์ทบอร์ดสามารถใช้ควบคู่กับฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในบ้าน การทำผนังทั้งสองรูปแบบนี้ ถึงแม้จะมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเพิ่มขึ้น แต่ก็ช่วยประหยัดแอร์ และยังช่วยประหยัดเงินในระยะยาวอีกด้วย



ภาพ 9 วิธีทำผนังให้กันร้อนได้ดียิ่งขึ้น โดยการติดตั้งสมาร์ทบอร์ดคู่กับฉนวนกันความร้อน หรือการทำผนังก่ออิฐสองชั้น

ที่มา Ceiling & Wall System Selection, thaihomemaster.com, scgbuildingmaterials.com

ฉนวนกันความร้อน ทำหน้าที่ป้องกันความร้อน การลดการนำความร้อน: ฉนวนกันความร้อนมีช่องว่างของอากาศอยู่ภายใน ช่องว่างของอากาศ เป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี ทำให้ความร้อนจากภายนอกไม่สามารถไหลผ่านฉนวนกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ การสะท้อนความร้อน: ฉนวนกันความร้อนบางชนิด มีผิวหน้าที่สามารถสะท้อนความร้อนได้ ช่วยลดปริมาณความร้อนที่ดูดซับเข้าสู่ผนัง ฉนวนกันความร้อนบางชนิด มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อน ช่วยลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนัง

ประเภทของฉนวนกันความร้อนที่ใช้ทั่วไป

ฉนวนใยแก้ว: ลักษณะเป็นแผ่นหนา ภายในประกอบด้วยใยแก้วเส้นเล็กที่ประสานกันจนเกิดเป็นโพรงอากาศ ซึ่งทำหน้าที่กักความร้อนเอาไว้ด้านในเป็นวัสดุนำความร้อนต่ำ ไม่ลุกติดไฟ อีกทั้งยังช่วยดูดซับเสียงด้วย เป็นฉนวนยอดนิยมที่ติดตั้งง่าย หาซื้อง่าย มีให้เลือกหลากหลายยี่ห้อ หลายรุ่น มีความหนาตั้งแต่ 2-6 นิ้ว มีทั้งแบบเปลือยและแบบปิดผิวด้วยอะลูมิเนียมที่ช่วยสะท้อนความร้อนได้ในตัว (ปิดผิว 1 หรือ 2 ด้าน หรือหุ้มรอบด้าน) มีทั้งแบบม้วนและแบบแผ่น สำหรับติดตั้งเหนือฝ้าเพดาน ใต้หลังคา หรือบริเวณผนัง

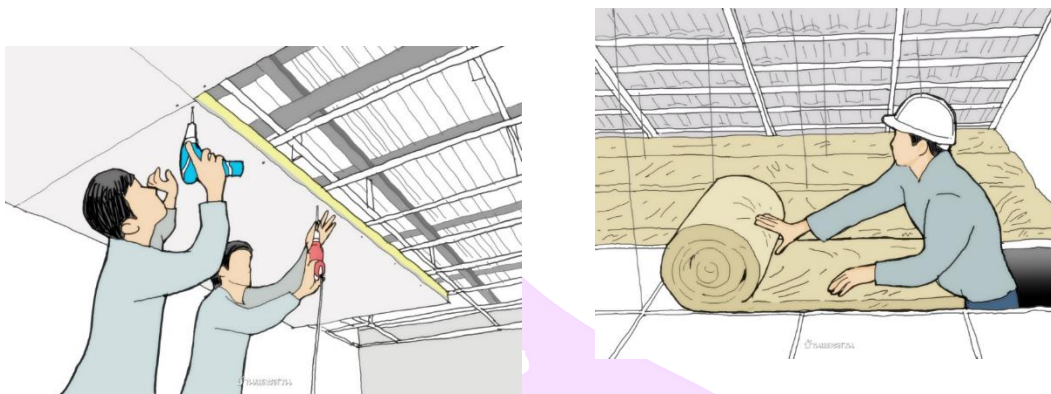
ฉนวนใยหิน: ทนทานต่อความร้อน ทนทานต่อสภาพอากาศ ผลิตจากการนำหินภูเขาไฟมาหลอมด้วยอุณหภูมิสูงและปั่นเป็นเส้นใย ทำให้มีคุณสมบัติป้องกันความร้อนสูง ดูดซับเสียงได้ดี เป็นวัสดุกันไฟ และมีอายุการใช้งานยาวนาน ส่วนใหญ่ที่วางจำหน่ายมีความหนา 5 เซนติเมตร นิยมใช้ติดตั้งสำหรับผนังกันเสียง แต่สามารถติดตั้งเป็นฉนวนบนฝ้าเพดานได้เช่นกัน

ฉนวนโพลียูรีเทน: เรียกสั้น ๆ ว่า โฟมพียู (PU) หรือ โฟมเหลือง เกิดจากเทคโนโลยีการฉีดโฟมเพื่อป้องกันความร้อน เป็นวัสดุนำความร้อนต่ำ มีคุณสมบัติป้องกันน้ำและความชื้น ทั้งยังช่วยกันเสียงได้ด้วย โฟมพียูมีทั้งแบบฉีดพ่นใต้หลังคาและแบบแผ่น รวมถึงมีแบบที่มาพร้อมกับแผ่นฝ้าในตัว

ฉนวนโพลีเอทิลีน: หรือ โฟมพีอี (PE) เป็นฉนวนอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในบ้าน ราคาย่อมเยากว่าฉนวนใยแก้ว รวมทั้งน้ำหนักเบาและเหนียว ประกอบด้วย ชั้นโฟมหนานุ่มที่ช่วยหน่วงความร้อน หุ้มด้วยอะลูมิเนียมพอยล์ที่ช่วยสะท้อนความร้อนในตัว โฟมพีอีมีรูปแบบให้เลือกหลายรุ่น หลายยี่ห้อ มีความหนาตั้งแต่ 3-25 มิลลิเมตร ติดตั้งได้ทั้งเหนือฝ้าเพดานและใต้แผ่นหลังคา มีทั้งแบบม้วนและแบบแผ่นที่มีขนาดพอดีฝ้าทีบาร์

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้า

ติดตั้งเหนือฝ้าเพดาน-ฉนวนที่ติดตั้งเหนือฝ้าจะช่วยหน่วงความร้อนเอาไว้ไม่ให้ลงมายังห้องด้านล่าง โดยพื้นที่ใต้หลังคาควรมีช่องระบายอากาศด้วย เพื่อถ่ายเทความร้อนออกสู่ด้านนอกไม่ให้สะสมใต้หลังคามากเกินไป ฉนวนที่ติดตั้งเหนือฝ้ามีหลายรูปแบบ มีทั้งแบบแผ่นและแบบม้วนเพื่อให้ง่ายต่อการวางเหนือฝ้า และบางชนิดก็ติดมาพร้อมกับแผ่นฝ้าในตัว (บ้านและสวน, 2565)



ภาพ 10 การติดตั้งฉนวนใยแก้วและใยหินบนฝ้าเพดาน

ที่มา: <https://www.baanlaesuan.com/261571/maintenance/9insulators>

3.2.5 ระบบแสงสว่าง การออกแบบแสงสว่างเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า เช่น การออกแบบให้มีหน้าต่างโดยรอบอาคารและเลือกใช้กระจกใสจะช่วยให้ภายในอาคารสว่างกว่า การเลือกใช้กระจกสีชา ส่งผลให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างลงได้ เป็นต้น

3.2.6 ระบบปรับอากาศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตโซนร้อน อาคารที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่จึงต้องใช้ระบบปรับอากาศหรือเครื่องปรับอากาศเพื่อเป็นการควบคุมอุณหภูมิในอาคารให้เหมาะสมต่อการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของบุคลากรในอาคาร การใช้เครื่องปรับอากาศ หรือระบบปรับอากาศจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ควรใช้เครื่องปรับอากาศแยกส่วนและรุ่นประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 และให้มีเบรกเกอร์ เปิด-ปิด แยกสำหรับแต่ละเครื่อง เป็นต้น

3.2.7 กระจก กระจกเป็นส่วนประกอบของอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากเป็นส่วนที่รับความร้อนและส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้าสู่ในอาคารได้ ดังนั้นเลือกชนิดกระจกและเทคนิคการติดตั้งจึงเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้ (ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2565)

การเปลี่ยนจากกระจกธรรมดาเป็นกระจกที่เพิ่มคุณสมบัติป้องกันความร้อน เป็นวิธีการที่ไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางสถาปัตยกรรมและโครงสร้างเดิมมากนัก ตัวอย่างกระจกที่เพิ่มคุณสมบัติป้องกันความร้อนเช่น สะท้อนความร้อน มีผิวหน้าเคลือบสารพิเศษ ช่วยสะท้อนความร้อนจากแสงแดดได้ดีเหมาะสำหรับบ้านที่ต้องการป้องกันความร้อนจากแสงแดดโดยตรง ,กระจก Low-E มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อนและป้องกันรังสี UV, กระจกสองชั้น ประกอบด้วย กระจกสองแผ่นประกบกันมีช่องว่างระหว่างกระจก ช่วยลดการถ่ายเทความร้อน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โสพิศ ชัยชนะ (2558) ได้ทำการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารสาธารณสุขจังหวัดจากการเปรียบเทียบลักษณะการนำเข้าข้อมูลอาคารในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม Energy Plus 8.1 เห็นได้ว่า ทั้งสองโปรแกรมมีความแตกต่างกันในการนำเข้าข้อมูลอยู่หลายประการ ส่งผลให้การทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยค่าพลังงานที่ได้จากโปรแกรม BEC มีปริมาณสูงกว่าค่าพลังงานที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus เมื่อเทียบกับค่าพลังงานที่อาคารใช้จริง อาจเนื่องมาจาก โปรแกรม BEC มีการกำหนดจำนวนวันใช้งานต่อปี ที่ 260 วัน เมื่อเทียบกับจำนวนวันใช้งานจริงของอาคาร ที่ใช้งานประมาณ 247 วันต่อปี นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศที่ใช้ในการจำลอง โดยโปรแกรม BEC กำหนดให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีค่าคงที่ตลอดทั้งปี ต่างจากโปรแกรม Energy Plus ที่คำนวณจาก Weather data ที่มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ หนึ่งชั่วโมง จึงอาจส่งผลให้ค่าพลังงานที่ได้ ในระบบปรับอากาศมีความแตกต่างกันนอกจากนี้ เมื่อปรับปรุงกรอบอาคาร (ปรับปรุงค่าคุณสมบัติของวัสดุ ให้มีค่าการต้านทานความร้อนที่สูงขึ้น) ในโปรแกรม BEC ที่จำลองภาระของระบบปรับอากาศจากความร้อนที่ผ่านทางกรอบอาคารเป็นหลัก เมื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงค่าของวัสดุกรอบอาคาร จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus

วงศิยา อนุศักดิ์กุล (2559) ได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์และได้เสนอแนวทางการลดพลังงาน เพื่อให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ดังนี้ แนวทางที่ 1 การปรับปรุงผนังทึบ เปลี่ยนกระจก เพิ่มฉนวนหลังคา ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ในอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ทำให้การใช้พลังงานรวมทั้งอาคารลดลงได้ไม่เกิน 16 เปอร์เซ็นต์ต่อปี และยังมีการใช้พลังงานมากกว่าพลังงานที่สามารถผลิตได้เอง จึงยังเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ไม่ได้ แนวทางที่ 2 การเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอด LED ใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงขึ้น เปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงานให้มีประสิทธิภาพ เช่น ได้รับเครื่องหมาย Energy Star ในอาคารทั้ง 3 รูปแบบ สามารถลดพลังงานลงได้มากกว่าการปรับปรุงผนังทึบ เปลี่ยนกระจก เพิ่มฉนวนหลังคา และอาจจะมีความยุ่งยากน้อยกว่าในการปรับปรุง โดยเฉพาะในกรณีที่อาคารนั้นมีการใช้งานแล้ว ซึ่งเพียงการปรับปรุงในส่วนดังกล่าว ก็สามารถทำให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้อย่างไรก็ตามสำหรับอาคารสร้างใหม่ หรือต้องการปรับปรุงครั้งใหญ่ ควรปรับปรุงเปลือกอาคารให้ถูกต้องตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงานด้วย ซึ่งจะทำให้อาคารมีศักยภาพพลังงานสูงสุด ความต้องการพลังงานลดลงมากกว่าการปรับปรุงหรือจัดการพลังงานเพียงส่วนใดส่วนหนึ่ง ทำให้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนเต็มพื้นที่หลังคา ก็สามารถผลิต

พลังงานได้เพียงตามความต้องการได้ โดยในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงเพิ่มเติม เรียกว่าเป็นแนวทางที่ 1+2 ซึ่งพบว่าทำให้อาคารทั้ง 3 รูปแบบลดการใช้พลังงานลงได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

นุศรา มานะ (2555) ได้ศึกษาผลกระทบของการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ ต่อการใช้พลังงานการทำความเย็นในอาคารที่มีการติดตั้งฉนวนชนิดต่าง ๆ และได้สรุปปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานการทำความเย็นในอาคาร คือ ปัจจัยทางด้านความร้อนภายในอาคาร กล่าวคือ หากอาคารมีปัจจัยทางด้านความร้อนสูง ไม่ว่าจะเป็น พลังงานแสงสว่าง และพลังงานอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น จะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิผิวผนังภายในและภายนอกอาคารน้อย เครื่องปรับอากาศจึงไม่ต้องรับภาระในการทำงานหนัก และการที่เปลือกอาคารทั้งในส่วนผนังทึบและผนังโปร่งใส มีสภาพความเป็นฉนวนสูงนั้น ทำให้อาคารมีความสามารถในการคายความร้อนที่สะสมไว้ภายในอาคารได้ช้าลง หรือหน่วงความร้อนได้มากขึ้น ความร้อนจึงเข้าสู่อาคารในช่วงที่มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศในตอนกลางวันได้ช้าลง เครื่องปรับอากาศจึงไม่ต้องมีภาระการทำงานเพื่อขจัดความร้อนจากภายนอกอาคาร ซึ่งเห็นได้ชัดเจนกับกรณีอาคารสำนักงานที่มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศในตอนกลางวันนั่นเอง กระทบต่อการใช้พลังงานการทำความเย็น สำหรับกรณีที่มีวัสดุเปลือกอาคารสภาพความเป็นฉนวนสูง มีค่า Internal heat gain สูงนั้น พบว่า การปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิสูงจึงไม่นับว่าสำคัญต่อการประหยัดพลังงาน เนื่องจากพลังงานที่เกิดขึ้นคงที่ ไม่ว่าจะปรับอุณหภูมิเท่าใดก็ตาม

อุษณีย์ มิ่งวิมล (2540) ได้ศึกษาแนวทางในการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานในอาคารพักอาศัย เมื่อวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นโดยรวมของบ้านในแต่ละหลัง พบว่า บ้านขนาดใหญ่จะมีภาระการทำความเย็นมากกว่าบ้านขนาดเล็กมาก ซึ่งถ้าพิจารณาถึงตัวแปรเพียงเท่านี้ จะไม่เป็นการยุติธรรมในการชี้ว่าบ้านที่มีภาระทำความเย็นน้อยเป็นบ้านที่ประหยัดพลังงาน ส่วนบ้านที่มีภาระการทำความเย็นมากเป็นบ้านที่ไม่ประหยัดพลังงาน ทั้งนี้เพราะพื้นที่ที่ใช้ในการปรับอากาศมีไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องนำข้อมูลภาระการทำความเย็นของแต่ละบ้านมาเปรียบเทียบกับพื้นที่ใช้สอยของบ้านหลังนั้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีความยุติธรรมในการนำมาประเมินถึงความประหยัดพลังงานของบ้านแต่ละหลัง จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยทั่วไป และบ้านประหยัดพลังงาน นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของภาระการทำความเย็นของบ้านแต่ละหลังต่อพื้นที่ปรับอากาศ 1 ตารางเมตร สรุปเป็นสัดส่วนของตัวแปรที่ทำให้เกิดภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และสามารถแสดงเป็นอิทธิพลจากตัวแปรที่มีต่อภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย

ตาราง 2 อิทธิพลจากตัวแปรที่มีต่อภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย

อันดับที่	ตัวแปร	(%)
1	ส่วนหลังคา	41.23
2	ส่วนผนังทึบ	19.13
3	การรั่วไหลของอากาศ	17.05
4	การแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก	11.32
5	การนำและพาความร้อนผ่านกระจก	8.06
6	อุปกรณ์ไฟฟ้า	1.92
7	ระบบแสงสว่าง	1.29

กรินทร์ ภู่นวล (2540) ได้ศึกษาการปรับปรุงเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน: กรณีศึกษา อาคารสำนักพลโยธิน ธนาครสถิตไทย จำกัด (มหาชน) จากการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบเปลือกอาคารเดิมและระบบเปลือกอาคารที่ทำการปรับปรุง กับค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและค่าพลังงานสะสมในแต่ละปีแล้ว พบว่า ในอนาคตค่าใช้จ่ายสะสมของระบบเปลือกอาคารเดิม มีแนวโน้มสูงกว่าค่าใช้จ่ายสะสมของระบบเปลือกอาคารที่ทำการปรับปรุงทุกชนิด และพบว่า การเลือกใช้กระจก Reflective ติดฟิล์มกันความร้อน มีค่าใช้จ่ายสะสมรวมต่ำกว่าเปลือกอาคารเดิม แต่ค่าใช้จ่ายสะสมมีแนวโน้มที่สูงกว่ากระจกชนิดอื่น ๆ และในการใช้งานจริงฟิล์มที่ใช้มีอายุการใช้งานที่สั้น และจากการทดลองวัดอุณหภูมิผิวกระจกภายในยังพบว่า อุณหภูมิผิวภายในกระจกของกระจกยังสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเปลือกอาคารชนิดอื่น ๆ ซึ่งการเลือกใช้กระจก Reflective Insulating, กระจก Heat Minor, กระจก Low-E และกระจก Low-F 2000 ในช่วงแรกค่าใช้จ่ายสะสมสูงกว่าค่าใช้จ่ายสะสมของเปลือกอาคารเดิม แต่ในระยะยาวแล้วจะพบจุดคืนทุนและมีแนวโน้มค่าใช้จ่ายสะสมต่ำกว่าค่าใช้จ่ายสะสมของเปลือกอาคารเดิม

ศักดา เชื้อวนันทวงศ์ (2547) ได้ศึกษาการออกแบบบ้านแถวเพื่อใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาจะพบว่า แหล่งที่มาความร้อนส่วนใหญ่จะมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบเปลือกอาคาร เช่น ผนังทึบ, กระจกหน้าต่าง และวัสดุผนังหลังคา ซึ่งความร้อนที่เข้ามานี้จะเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารมาก ดังนั้นในการออกแบบอาคารบ้านแถวจึงควรให้ความสำคัญกับคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ในระบบเปลือกอาคาร การปรับปรุงผนังทึบด้วยการใช้ฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงมาก ๆ นั้นจะไม่ช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในได้มากนัก เพราะว่า พื้นที่ผนังทึบของอาคารบ้านแถวที่ได้รับความร้อนจากภายนอกมีเพียง 26% เท่านั้นของผนังอาคารทั้งหมด จึงทำให้ปริมาณความร้อนที่จะ

เข้ามาภายในอาคารมีสัดส่วนที่น้อยเกินไป ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนขนาดต่าง ๆ การปรับปรุงผนังทับด้วยการใช้ฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงนั้น ควรมีการป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์บริเวณกระจกหน้าต่างด้วย เพราะว่า ความร้อนที่เข้ามาภายในนี้จะทำให้อุณหภูมิอากาศของห้องสูงขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากผนังที่มีฉนวนกันความร้อนจะกักเก็บความร้อนภายในห้องได้น้อยกว่าผนังที่ไม่มีฉนวน

ดลยา ศิริปฐ (2548) ได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน: กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ. นครราชสีมา ได้ให้ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดสำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปดังนี้ การปรับปรุงอาคารด้วยการติดตั้งกระจกจากการวิจัยพบว่า กระจกของอาคารกรณีศึกษามีค่าความต้านทานต่ำ ดังนั้นจึงทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกเข้ามามาก ดังนั้น เมื่อทำการเปลี่ยนกระจกที่ค่าความต้านทานสูงขึ้นจะทำให้การแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่อาคารได้โดยการเลือกใช้กระจกที่เคลือบสาร LOW-E เพราะมีค่า $SC = 0.14$ สามารถลดการใช้พลังงานได้ดีมาก แต่ในทางกลับกันในเรื่องของการคืนทุนต้องใช้ระยะเวลานานกว่าแนวทางอื่น ๆ เนื่องจากว่าราคาต้นทุนของวัสดุมีราคาสูงมาก ข้อยเสียในอีกเรื่องของกระจกที่มีค่าการป้องกันการแผ่รังสีที่มีค่าสูงจะส่งผลต่อแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารก็ต่ำลงเช่นกัน ดังนั้นควรจะมีแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดต้นทุนของราคากระจกและแสงธรรมชาติก็สามารถส่องผ่านเข้ามาได้เพียงพอเพื่อลดการเปิดแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร โปรแกรม DOE-2 ที่ใช้ภายในอาคารจากการวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องนำข้อมูลสภาพอากาศของ จ. นครราชสีมา ปี พ.ศ. 2547 มาใช้ป้อนเข้าไปในโปรแกรมมาเป็นฐานข้อมูลต้องเป็นข้อมูลสภาพอากาศที่เก็บรายชั่วโมง ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจากการมอดูนิยมหาวิทยาลัยจะเก็บเป็นราย 3 ชั่วโมง ดังนั้นจำเป็นต้องมาหาค่าเฉลี่ยในชั่วโมงที่ไม่ได้มีการบันทึกข้อมูลไว้ จึงทำให้ข้อมูลอากาศมีความคลาดเคลื่อนในการคำนวณและประมวลผล

รัชนิวรรณ อังกรบุตร (2561) ได้ทำการประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับประเทศไทย และได้สรุปการประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจากโปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถแสดงปริมาณการใช้พลังงานต่อปี ค่าไฟฟ้าต่อปีตามจำนวนวันที่ใช้งานจริงระยะเวลาคืนทุน และร้อยละผลการประหยัดของเครื่องปรับอากาศแบบ Variable capacity unit เทียบกับแบบ Fixed capacity unit ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่มีค่าแตกต่างกันออกไปตามเขตภูมิภาคของประเทศและกลุ่มช่วงเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นโปรแกรมประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศที่จัดทำขึ้นนี้ จึงเป็นเครื่องมืออีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยคำนวณ เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการตัดสินใจเลือกใช้งาน รวมถึงการจัดทำแผนมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถ download โปรแกรมการคำนวณและใช้งานได้แบบ freeware

บทที่ 3

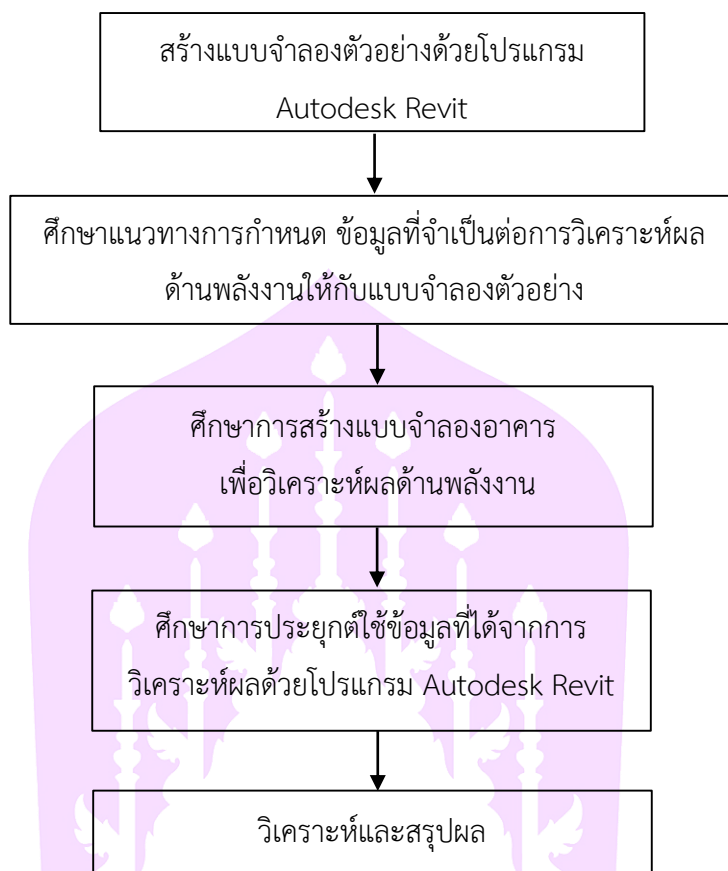
วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารแบบมาตรฐานอาคารภาครัฐ เพื่อการประหยัดพลังงานด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยศึกษาแนวทางการวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร พร้อมกับศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับการกระทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ และได้ทำการศึกษาการแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

ในขั้นตอนแรกจึงได้ศึกษาการงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดการใช้พลังงานด้วยการปรับปรุงอาคาร และศึกษาแบบมาตรฐานอาคารภาครัฐที่พบอยู่ในปัจจุบันเพื่อใช้สร้างแบบจำลองอาคารตัวอย่าง โดยสำรวจข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารแบบมาตรฐานอาคารภาครัฐ และคัดเลือกแบบที่มีแนวโน้มการใช้งานก่อสร้างจริงในอนาคตและเป็นแบบที่ต้องออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ตามกฎกระทรวง ที่ได้กำหนดให้อาคารที่จะก่อสร้างใหม่ หรือดัดแปลงอาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นในอาคารหลังเดียวตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไปใน 9 ประเภทอาคาร ได้แก่ 1) โรงมหรสพ ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร 2) โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม 3) สถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ 4) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล 5) สถานศึกษาตามกฎหมายว่าด้วยการศึกษาแห่งชาติ 6) สำนักงานหรือที่ทำการ 7) ห้างสรรพสินค้า หรือศูนย์การค้า 8) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด 9) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารจะต้องมีการออกแบบอาคารให้เป็นไป ตามกฎกระทรวง จากนั้นทำการศึกษาองค์ประกอบกรอบอาคารแบบมาตรฐานนั้น เพื่อใช้สร้างแบบจำลองด้วย โปรแกรม Autodesk Revit เพื่อใช้เป็นแบบจำลองข้อมูลที่ใช้ได้กับระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ศึกษาหาแนวทางวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เป็นการนำแบบจำลองที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Revit มาวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน ในส่วนค่าการใช้พลังงานรายปีระบบปรับอากาศ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์จากระบบนี้กับการวิเคราะห์ในรูปแบบอื่น รายละเอียดดังแสดงในภาพ

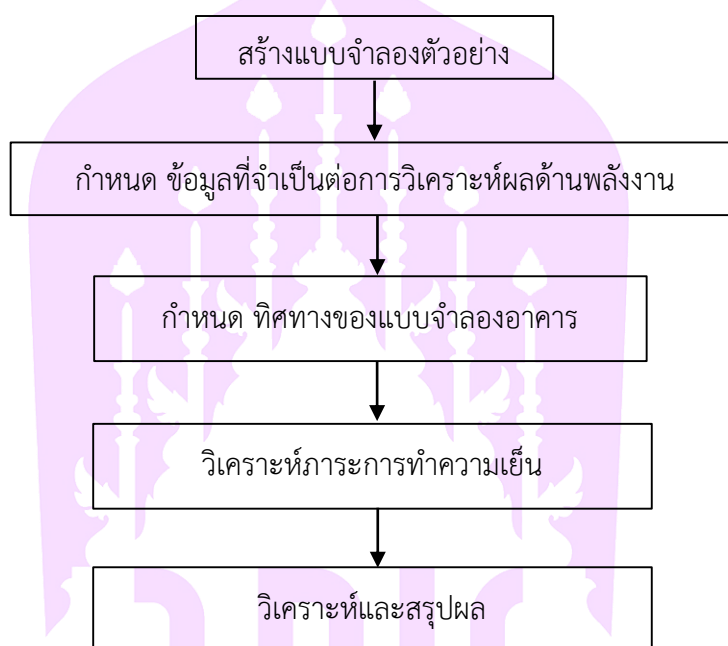


ภาพ 11 ขั้นตอนถัดมาศึกษาผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศ

การศึกษาแนวทางการกำหนดข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานให้กับแบบจำลองตัวอย่าง ในที่นี้เน้นศึกษาการกำหนดค่าข้อมูลที่มีผลต่อการคำนวณภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศอาคาร จากนั้นศึกษาวิธีการการแปลงแบบจำลองอาคารนั้นให้เป็นแบบจำลองนั้นเป็น Energy Analytical Model เพื่อวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน เมื่อได้ข้อมูลผลจากการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศอาคารด้วยโปรแกรม Autodesk Revit แล้ว จะทำการวิเคราะห์ผลค่าที่ได้นั้นโดยแปลงค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศอาคารเป็นค่าการใช้พลังงานรายปี โดยจะศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณตามโปรแกรมประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในงานวิจัยการประเมินการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับประเทศไทยของ รัชนิวรรณ และคณะ (2561) และตรวจสอบค่าที่จากการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานรายปีนั้นกับผลการวิเคราะห์ในรูปแบบอื่น

ศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ

ขั้นตอนถัดนี้มาเป็นการปรับปรุงแบบมาตรฐานอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน ของอาคาร ตามแบบมาตรฐานนั้นลง โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็น รายละเอียดดังแสดงในภาพ



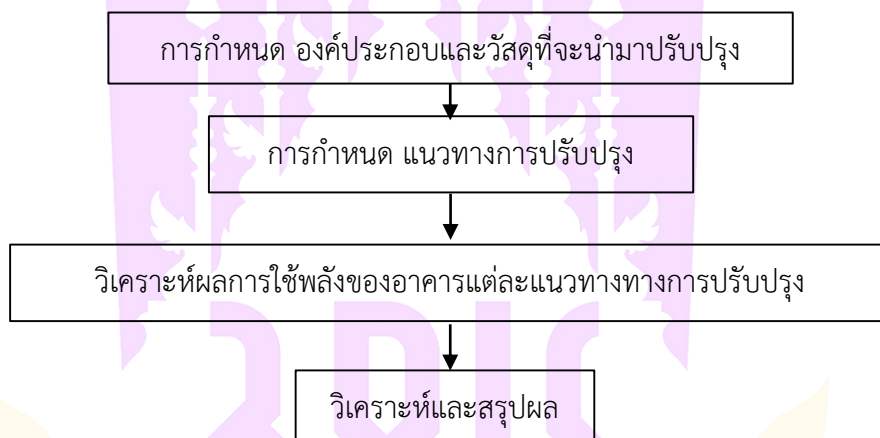
ภาพ 12 ขั้นตอนวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางของอาคาร

ในส่วนนี้ตัวแปรในการวิเคราะห์ผลตำแหน่งที่ตั้ง จะเลือกจากจังหวัดที่มีอยู่ในโปรแกรม ประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยเลือกให้มีการกระจายเป็นภาค ภาคละหนึ่งจังหวัด เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ผล ทำให้ได้ตำแหน่งที่จะนำมาวิเคราะห์ผลจำนวน 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย กรุงเทพฯ ขอนแก่น และสงขลา จากนั้นทำการวิเคราะห์กระทบจากทิศทางการวางอาคาร โดยที่กำหนดการวิเคราะห์ข้อมูลภาระการทำความเย็นเมื่อปรับแก้ทิศทางที่ทุก ๆ 10 องศา จะทำให้ได้ข้อมูลการวิเคราะห์ 36 กรณีต่อ 1 ตำแหน่ง การวิเคราะห์ และสรุปผลหาทิศทางของอาคารที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นทิศทางที่ให้ค่าภาระการทำความเย็นต่ำสุด และหาทิศทางของอาคารที่แย่ที่สุดซึ่งเป็นทิศทางที่ให้ค่าภาระการทำความเย็นมากที่สุด เพื่อสรุป

1. ทิศทางที่เหมาะสมที่สุดของแบบมาตรฐานนั้น ในแต่ละภูมิภาค
2. เปอร์เซ็นต์การลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศเมื่อปรับปรุงการเลือกทิศทางการวางอาคารจากทิศที่แย่ที่สุดไปเป็นทิศที่ดีที่สุด

ศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

การวิเคราะห์ผลกระทบการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารกับการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศ เป็นการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารที่ได้นำผลการวิเคราะห์ทิศทางที่ดีที่สุดจากผลการศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐมาปรับปรุง โดยเลือกปรับปรุงในส่วนของกรอบอาคาร ประกอบด้วย ผนังทึบ กระจก และฝ้าหลังคา ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยรายละเอียดดังแสดงในภาพ



ภาพ 13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร

การปรับปรุงแบบมาตรฐานอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน ในส่วนการปรับปรุงกรอบอาคาร ใช้ตำแหน่งละทิศทางที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานมากที่สุด ในการวิเคราะห์ผลส่วนแรก จึงเริ่มด้วยการกำหนดตำแหน่งละทิศทางให้เป็นไปตามกรณีที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานมากที่สุด จากนั้นทำการสร้างแนวทางการปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลแนวทางการปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด พร้อมกับหาต้นทุนในการปรับปรุงกรอบอาคารในแต่ละแนวทาง ในขั้นตอนการปรับปรุงกรอบอาคาร จะดำเนินการแก้ไขวัสดุจากแบบจำลองในโปรแกรม Autodesk Revit โดยทำการแก้ไขและตรวจสอบตัวแปรด้านพลังงานให้เป็นไปตามวัสดุที่ต้องการปรับปรุง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทำความเย็น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานระบบปรับอากาศในแต่ละแนวทาง จากนั้นสรุปผล

1. แนวทางการปรับปรุงที่ทำให้เกิดการลดการใช้พลังงานมากที่สุด
2. ต้นทุนในการปรับปรุงกรอบอาคารในแต่ละแนวทาง

3. ระยะเวลาคืนทุนในแต่ละแนวทาง

4. แนวทางการปรับปรุงที่ความเหมาะสม ด้านการลงทุน

1. การเลือกองค์ประกอบและวัสดุที่จะนำมาปรับปรุง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพิจารณาส่วนของกรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยเฉพาะส่วนของกระจกหน้าต่าง ผนัง และฝ้าเพดาน ซึ่งเป็นจุดที่มีการรับรังสีจากดวงอาทิตย์มากในช่วงกลางวัน และเป็นแหล่งสะสมความร้อนที่สำคัญ งานวิจัยของ Alwetaishi (2019) ได้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการปรับปรุงวัสดุผนังและหลังคา โดยพบว่า ผนังและหลังคาสามารถเป็นแหล่งสะสมความร้อนได้ถึง 70% ของความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่อาคาร (รัชนิวรรณ อังกรบุตร์, 2561) ขณะที่งานของ Bichiou and Krarti (2011) ชี้ว่า การเลือกวัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสม สามารถลดพลังงานใช้ในระบบปรับอากาศได้ถึง 25–30% โดยเฉพาะในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ดังนั้นการปรับปรุงองค์ประกอบเหล่านี้จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารในครั้งนี้มีพื้นฐานจากผลการศึกษาหลายงานที่ชี้ให้เห็นว่า กรอบอาคารเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อภาระการทำความเย็น โดยเฉพาะบริเวณกระจก ผนัง และฝ้าเพดาน ซึ่งมีพื้นที่สัมผัสแสงแดดมากที่สุด การเปลี่ยนวัสดุกระจกเป็นชนิดที่มีคุณสมบัติกันความร้อนสามารถลดพลังงานได้สูงสุดถึง 30% ขณะที่งานของ โสพิศ ชัยชนะ (2565) ชี้ว่าการเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ฝ้าเพดานและผนังทิศตะวันตกช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในช่วงบ่าย ทำให้ผนังและกระจกบริเวณดังกล่าวเป็นจุดรับความร้อนที่สำคัญที่สุดของอาคาร ดังนั้น การเลือกปรับปรุงวัสดุบริเวณทิศตะวันตก จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งและสามารถให้ผลในการลดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในเชิงทฤษฎีและจากผลการจำลองจากผลการศึกษาหลายงานที่ชี้ให้เห็นว่ากรอบอาคารเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ส่งผลโดยตรงต่อภาระการทำความเย็น โดยเฉพาะบริเวณกระจก ผนัง และฝ้าเพดาน ซึ่งมีพื้นที่สัมผัสแสงแดดมากที่สุด

ตาราง 3 วัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงกรอบอาคารในการศึกษานี้

องค์ประกอบของกรอบอาคาร	วัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง
ผนังทึบ	ฉนวนใยแก้ว, ฉนวนใยหิน, ฉนวนโพลียูรีเทน
ระบบหลังคา	ฉนวนใยแก้ว, ฉนวนใยหิน, ฉนวนโพลียูรีเทน
ผนังโปร่งใส (กระจก)	กระจกสี, กระจกสะท้อนแสง, กระจก Low-E

วัสดุที่เลือกใช้ในการปรับปรุงกรอบอาคารในครั้งนี้ได้ผ่านการพิจารณาจากคุณสมบัติเชิงเทคนิคและความเหมาะสมในการใช้งานจริงในบริบทของอาคารภาครัฐ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อน เช่น ค่าการนำความร้อนต่ำ และความเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทยนอกจากนี้ยังคำนึงถึงความสะดวกในการดำเนินการจริงในอาคารภาครัฐ เช่น สามารถติดตั้งหรือซ่อมแซมได้ง่ายโดยไม่กระทบต่อโครงสร้างหลักของอาคาร วัสดุเหล่านี้ยังเป็นวัสดุที่มีการใช้งานแพร่หลายในท้องตลาดไทย มีผู้ผลิตหลากหลายรายและมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานงานราชการ ซึ่งช่วยลดปัญหาในการจัดซื้อจัดจ้าง จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมทั้งในเชิงพลังงานและการใช้งานจริง

2. การกำหนดแนวทางการปรับปรุง

งานวิจัยส่วนนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ผลกระทบของการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารที่มีต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคาร โดยอาศัยผลการวิเคราะห์ทิศทางอาคารที่เหมาะสมที่สุด มาทำการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ผนังทึบ กระจก และหลังคา โดยคำนึงถึงปัจจัย 4 ประการ ดังนี้

1. ลดภาระการทำความเย็น: วัสดุที่เลือกใช้ควรช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนัง กระจก และหลังคา

2. รักษารูปแบบสถาปัตยกรรม: การปรับปรุงควรคงไว้ซึ่งรูปลักษณะภายนอกของอาคาร

3. ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเดิม: การปรับปรุงไม่ควรส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารเดิม

4. สามารถวิเคราะห์ผลได้ง่ายผ่านโปรแกรม Autodesk Revit: การปรับปรุงมุ่งเน้นวิธีการที่สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ Autodesk Revit

จากปัจจัยเหล่านี้ ผู้วิจัยได้เลือกแนวทางการปรับปรุง 3 แนวทาง ดังนี้

1. ติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนัง: เพิ่มความหนาของผนังโดยติดตั้งฉนวนระหว่างโครงคร่าวและปิดทับด้วยแผ่นผนังสำเร็จรูป

2. ติดตั้งฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้า: ติดตั้งฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้าเพดาน

3. เปลี่ยนชนิดกระจกหน้าต่าง: เปลี่ยนชนิดกระจกหน้าต่างเป็นชนิดที่ประหยัดพลังงาน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกฉนวนมาวิเคราะห์ผลการลดภาระการทำความเย็นอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน และฉนวนโพลียูรีเทน และเลือกรูปแบบการปรับปรุงชนิดกระจกหน้าต่าง 3 ประเภท ได้แก่ กระจก Low-E กระจกสะท้อนแสง และกระจกสี

โดยประเมินผลกระทบของแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร 39 รูปแบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มหลัก ได้แก่:

กลุ่มที่ 1: ปรับปรุงผนังทึบของอาคาร ระบบหลังคา และผนังโปร่งใส

กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบของอาคาร

กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบหลังคา

กลุ่มที่ 4: ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส

กลุ่มที่ 5: ปรับปรุงผนังทึบของอาคาร และระบบหลังคา

กลุ่มที่ 6: ปรับปรุงผนังทึบของอาคาร และผนังโปร่งใส

กลุ่มที่ 7: ปรับปรุงระบบหลังคาและผนังโปร่งใส



แนวทางการ ปรับปรุงที่	ผนังทึบ			ระบบหลังคา			ผนังโปร่งใส		
	ฉนวน ใยแก้ว	ฉนวน โพลียูเรเทน	ฉนวน โพลียูเรเทน	ฉนวน ใยแก้ว	ฉนวน โพลียูเรเทน	ฉนวน โพลียูเรเทน	กระจก Low-e	กระจก สะท้อนแสง	กระจกสี
	ปรับปรุงผนังทึบ ระบบหลังคา และผนังโปร่งใส								
1	/			/			/		
2	/			/				/	
3	/			/					/
4		/			/		/		
5		/			/			/	
6		/			/				/
7			/			/	/		
8			/			/		/	
9			/			/			/
	ปรับปรุงเฉพาะ ผนังทึบ								
10	/								
11		/							
12			/						
	ปรับปรุงเฉพาะระบบหลังคา								
13				/					
14					/				
15						/			
	ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส								
16							/		
17								/	
18									/
	ปรับปรุงผนังทึบและระบบหลังคา								
19	/			/					
20		/			/				
21			/			/			
	ปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งใส								
22	/						/		
23	/							/	
24	/								/
25		/					/		
26		/						/	
27		/							/
28			/				/		
29			/					/	
30			/						/
	ปรับปรุงระบบหลังคาและผนังโปร่งใส								
31				/			/		
32				/				/	
33				/					/
34					/		/		
35					/			/	
36					/				/
37						/	/		
38						/		/	
39						/			/

ภาพ 14 แนวทางการปรับปรุงวัสดุรอบอาคาร

3. วิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคาร

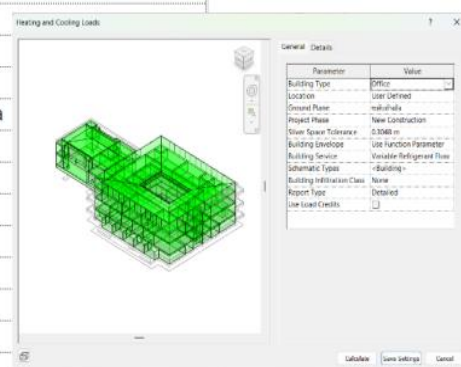
การวิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคารในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ผลการทำความเย็นด้วยโปรแกรม Autodesk Revit เมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารตามแนวทางการปรับปรุงที่กำหนดขึ้น และใช้คำสั่ง Heating and Cooling load ทำการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองนั้นเป็น Energy Analytical Model(EAM) จากนั้นกำหนดข้อมูลอาคารได้แก่ ตำแหน่งที่จะวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ใช้ตำแหน่ง ละติจูด 13.835247 ลองจิจูด 100.607986 กรุงเทพฯ และกำหนดทิศทางในการวิเคราะห์ผลที่ 0 องศา ซึ่งเป็นทิศที่อาคารหันด้านหน้าอาคารไปในทิศตะวันตก เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยให้หน้าอาคารเริ่มต้นที่ทิศนั้น และได้กำหนดลักษณะการใช้งานอาคารในโปรแกรม Autodesk Revit ดังนี้

3.1 อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดผู้วิจัยได้กำหนดลักษณะการใช้งานอาคารในโปรแกรม Autodesk Revit เป็น office ซึ่งเป็นการกำหนด Parameter ที่ใช้วิเคราะห์ผลดังนี้



Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	28.571 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	10.76 W/m ²
Power Load Density	13.99 W/m ²
Infiltration Airflow per area	0.19 L/(s-m ²)
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Common Office Occupancy - 8 AM to 5 PM
Lighting Schedule	Office Lighting - 6 AM to 11 PM
Power Schedule	Office Lighting - 6 AM to 11 PM
Outdoor Air per Person	2.36 L/s
Outdoor Air per Area	0.30 L/(s-m ²)
Air Changes per Hour	0.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Opening Time	7:00
Closing Time	18:00
Unoccupied Cooling Set Point	27.78 °C
Heating Set Point	21.11 °C
Cooling Set Point	23.33 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%

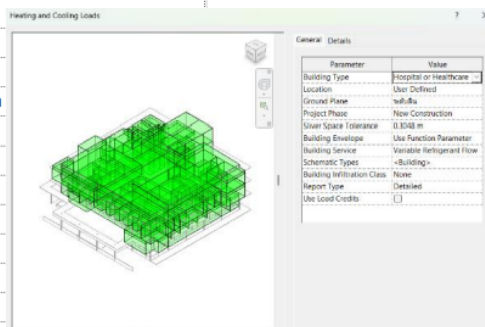


ภาพ 15 การกำหนดลักษณะการใช้งานอาคาร สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ในโปรแกรม Autodesk Revit

3.2 อาคารสถานพยาบาล อาคารผู้ป่วยนอก 3

อาคารสถานพยาบาลผู้วิจัยได้กำหนดลักษณะการใช้งานอาคารในโปรแกรม Autodesk Revit เป็น Hospital or Healthcare ซึ่งเป็นการกำหนด Parameter ที่ใช้วิเคราะห์ผล ดังนี้

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	10.000 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	12.92 W/m ²
Power Load Density	17.22 W/m ²
Infiltration Airflow per area	0.19 L/(s·m ²)
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Health-Care Facility Occupancy - 8 AM to 9 P
Lighting Schedule	Office Lighting - 6 AM to 11 PM
Power Schedule	Office Lighting - 6 AM to 11 PM
Outdoor Air per Person	0.00 L/s
Outdoor Air per Area	0.00 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	2.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Opening Time	1:00
Closing Time	0:00
Unoccupied Cooling Set Point	27.78 °C
Heating Set Point	21.11 °C
Cooling Set Point	23.33 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%



ภาพ 16 การกำหนดลักษณะการใช้งานอาคาร อาคารสถานพยาบาล อาคารผู้ป่วยนอก 3
ในโปรแกรม Autodesk Revit

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคารวัสดุรอบอาคารของอาคาร 2 ประเภท ได้แก่ อาคารสำนักงาน และอาคารโรงพยาบาล เพื่อทำการสรุปแนวทางปรับปรุงที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยพิจารณาจากปริมาณ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) จำนวนเงินลงทุน (บาท) และความคุ้มค่า จากนั้นจะทำการสรุปแนวทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด แนวทางที่คืนทุนเร็วที่สุด และแนะนำแนวทางที่เหมาะสมมากด้านการลงทุนมากที่สุด จะมีค่าการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า สูงกว่าค่าเฉลี่ยของการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าทุกแนวทาง และมีระยะเวลาคืนทุนที่น้อยกว่า ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาคืนทุนของทุกแนวทาง

บทที่ 4

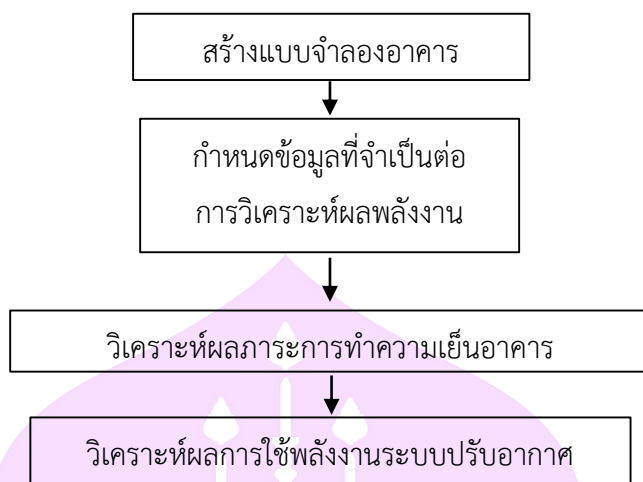
ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารแบบมาตรฐานอาคารภาครัฐ เพื่อการประหยัดพลังงานด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร จึงได้ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 3 มิติ อาคารที่ได้จากระบบ BIM มาใช้หาวิธีการวิเคราะห์ผลปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ พร้อมกับศึกษาด้านทุนที่ใช้ปรับปรุงในแต่ละแนวทาง โดยที่ผู้วิจัยทำการแบ่งหัวข้อของผลออกเป็น หัวข้อ ดังนี้

ผลการศึกษาหาแนวทางวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

จากการศึกษาหาแนวทางการวิเคราะห์ผลพลังงานด้วยโปรแกรม Autodesk Revit ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้โปรแกรม Autodesk Revit เพื่อวิเคราะห์หาขนาดเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับอาคาร ซึ่งเป็นการใช้คำสั่ง Heating and Cooling Load ในการคำนวณหาค่า Peak Cooling Load และทำการแปลงค่า Peak Cooling Load นั้นเป็น ค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศต่อปี

ในการศึกษาผลการวิจัยในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลอง 3 มิติอาคาร ตามแบบอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย เป็นกรณีตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ผล และได้ผลสรุปแนวทางการวิเคราะห์พลังงานระบบปรับอากาศด้วย โปรแกรม Autodesk Revit แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้



ภาพ 17 แนวทางการวิเคราะห์พลังงานระบบปรับอากาศด้วย โปรแกรม Autodesk Revit

1. การสร้างแบบจำลองอาคาร

จากการศึกษาแนวทางการเขียนแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลพลังงานระบบปรับอากาศ จะมี 2 ส่วนสำคัญที่จะต้องเขียนขึ้นมา เพื่อใช้เป็นแบบจำลองสำหรับเก็บข้อมูล วัสดุกรอบอาคารและ ลักษณะการใช้งานอาคาร ได้แก่

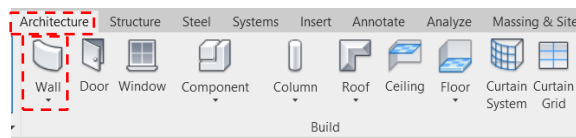
1.1 กรอบอาคาร ส่วน ผนัง พื้น ฝ้า หลังคา ประตูและหน้าต่าง

เมื่อเขียนแบบจำลองด้วยคำสั่งตามที่กำหนดจะทำให้สามารถเพิ่ม Parameter ด้านพลังงานให้แก่วัสดุกรอบอาคารได้

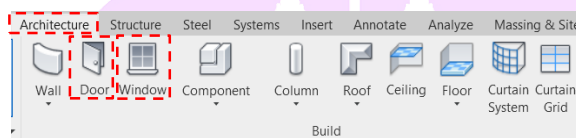
ตาราง 4 กรอบอาคาร ส่วน ผนัง พื้น ฝ้า หลังคา ประตูและหน้าต่าง

ขั้นตอนที่ รายละเอียด

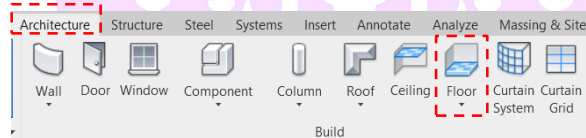
- 1 สร้างผนัง โดยไปที่แถบงาน Architecture > คำสั่ง Wall



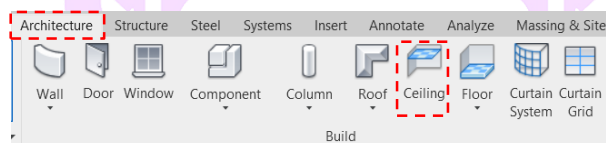
- 2 สร้างประตูและหน้าต่าง โดยไปที่แถบงาน Architecture > คำสั่ง Door และคำสั่ง Window



- 3 สร้างพื้น โดยไปที่แถบงาน Architecture > คำสั่ง Floor

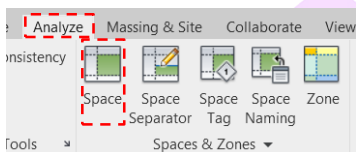
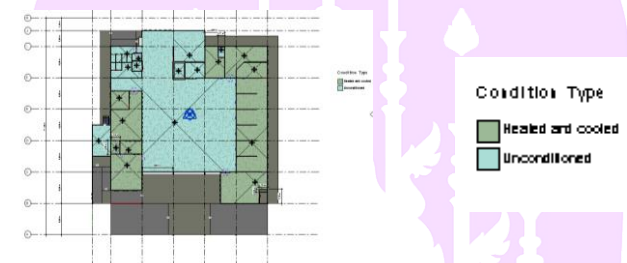
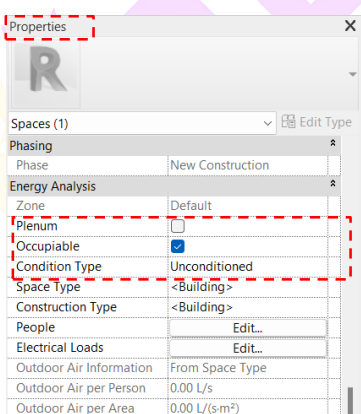


- 4 สร้างฝ้า โดยไปที่แถบงาน Architecture > คำสั่ง Ceiling



1.2 สร้าง Space เพื่อกำหนดลักษณะการใช้งานพื้นที่นั้น ๆ

ตาราง 5 สร้าง Space เพื่อกำหนดลักษณะการใช้งานพื้นที่นั้น ๆ

ขั้นตอนที่	รายละเอียด
1	ไปที่แถบงาน Analyze > คำสั่ง Space 
2	กำหนด Space ให้แก่ห้องและละห้อง  หมายเหตุ: ควรตัด Section เพื่อใช้ระดับความสูงของ Space ให้ถูกต้องตามขนาดห้องจริง
3	กำหนด Condition Type ของห้องแต่ละห้อง โดยไปที่ Properties ของ Space นั้น และทำการปรับ Parameter Condition type ให้เป็นไปตามการใช้งานจริง  หมายเหตุ: ในงานวิจัยนี้ได้ ใช้ Condition Type 3 รูปแบบ ในการใช้วิเคราะห์ผลได้แก่ Heated and cooled ใช้สำหรับพื้นที่ที่มีการปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ Unconditioned ใช้สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ Plenum ใช้สำหรับพื้นที่ระหว่างเหนือฝ้าจนถึงใต้พื้นชั้นถัดไป

2. กำหนดข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ผลพลังงาน

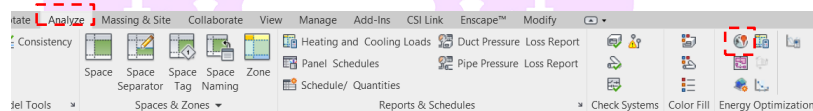
2.1 การตั้งค่าตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร

การตั้งค่าตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร ส่งผลต่อสภาพอากาศภายนอกของอาคาร เนื่องจาก โปรแกรมได้ดึงข้อมูล อุณหภูมิ จากสถานีตรวจวัดที่ใกล้กับ ที่ตั้งที่เราเลือกมากที่สุด การตั้งค่าสามารถทำได้โดย ไปที่คำสั่ง Heating and Cooling load โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง จากนั้นเลือกไปที่การตั้งค่า Location จะสามารถตั้งค่า Latitude และ ค่า Longitude ของอาคารได้ สามารถตรวจสอบข้อมูลสภาพอากาศ ได้ โดยไปที่แถบ Weather จะแสดงข้อมูลอากาศ เช่น Dry Bulb Wet Bulb Mean Daily Range

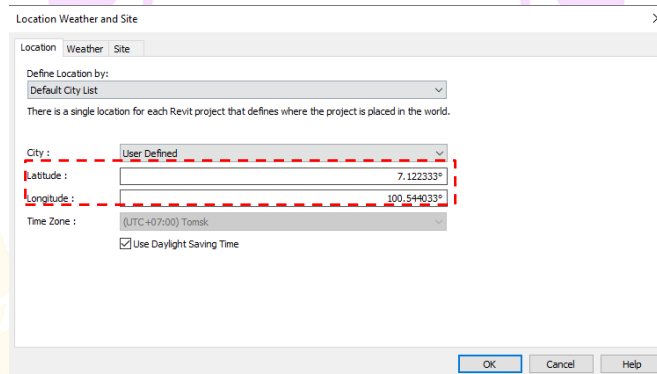
ตาราง 6 การตั้งค่าตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร

ขั้นตอนที่ รายละเอียด

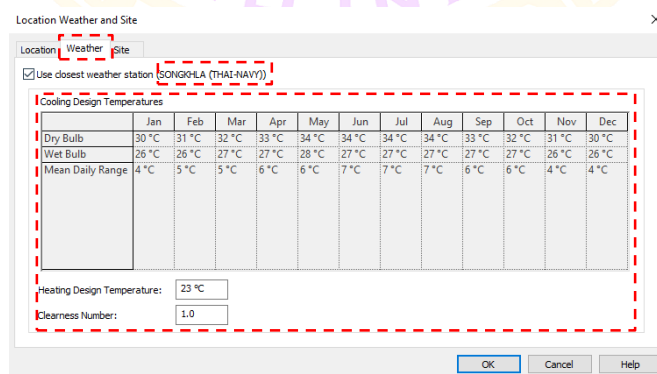
1 โดยไปที่ แถบงาน Analyze > คำสั่ง Location



2 กรอกข้อมูล parameter Latitude และ Longitude



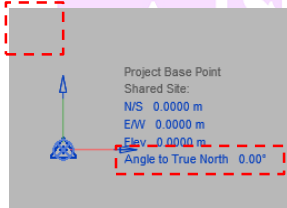
3 ตรวจสอบข้อมูลสภาพอากาศ



2.2 การกำหนดการวางแนวของอาคาร

การกำหนดการวางแนวของอาคาร หรือการกำหนดทิศทางของอาคารมีผลกับผลกระทบด้านความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นผิวอาคาร การตั้งค่าทิศทางของอาคาร ในโปรแกรม Autodesk Revit สามารถทำได้โดยการตั้งค่า Angle to True North ใน Project Base Point โปรแกรมจะทำการปรับทิศทางของอาคาร ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ตามทิศทางที่ผู้วิเคราะห์กำหนด การโคจรของดวงอาทิตย์ก็จะถูกปรับตามตำแหน่งที่เลือกทำการวิเคราะห์ผลด้วย

ตาราง 7 การกำหนดการวางแนวของอาคาร

ขั้นตอนที่	รายละเอียด
1	โดยไปที่ แถบงาน Site: Project Base Point กำหนดทิศทางของอาคารออกจากทิศเหนือ ใน Parameter Angle to True North 

2.3 กำหนดคุณสมบัติวัสดุกรอบอาคาร

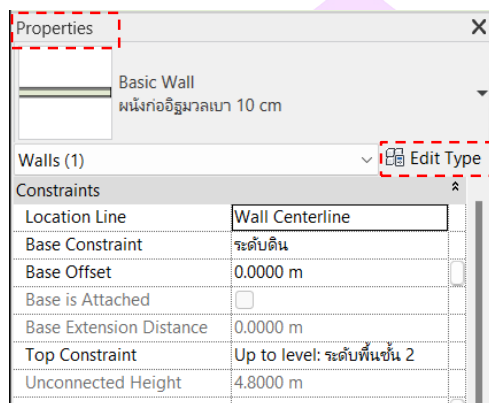
การตั้งค่าวัสดุกรอบอาคารเป็นการระบุค่าความต้านทานความร้อนของกรอบอาคาร สามารถทำได้โดยการกำหนดวัสดุให้กับอาคารนั้น ๆ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและสรุปการตั้งค่าของอาคารที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ ค่าภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม Autodesk Revit 2 ส่วน ดังนี้

2.3.1 กำหนดคุณสมบัติกรอบอาคาร ในส่วนผนัง และพื้น

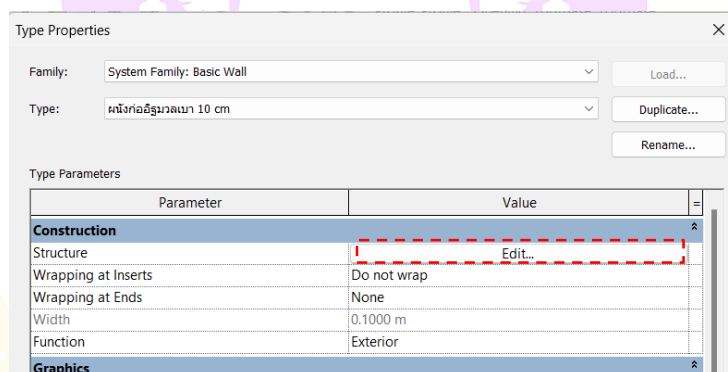
ตาราง 8 กำหนดคุณสมบัติกรอบอาคาร ในส่วนผนัง และพื้น

ขั้นตอนที่ รายละเอียด

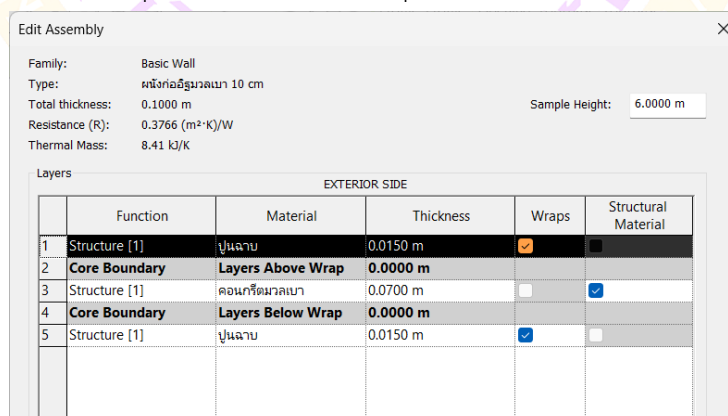
1 โดยไปที่ Properties ของผนังหรือพื้นนั้น ๆ จากนั้น Edit type



2 ไปที่ Parameter Structure เลือก Edit



3 กำหนด วัสดุและความหนา ของวัสดุผนังหรือพื้นแต่ละชั้น

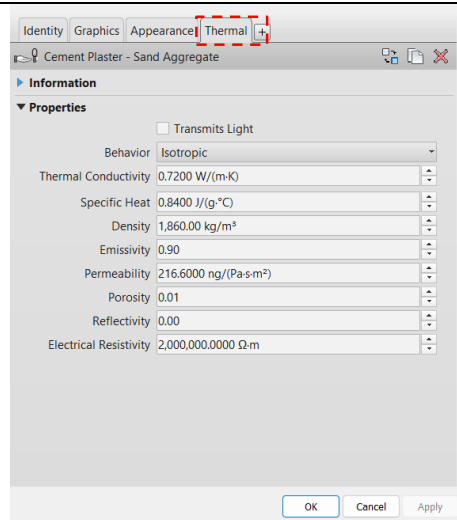


หมายเหตุ: วัสดุที่เลือกใช้ต้องมีข้อมูล Thermal อยู่ในวัสดุนั้น ๆ ด้วยเพื่อให้โปรแกรมสามารถดึงมาใช้คำนวณ Resistance (R) และ Heat Transfer Coefficient (U) ตรวจสอบได้โดย เลือกที่วัสดุนั้น ๆ และตรวจสอบในหัวข้อ Thermal

ตาราง 8 (ต่อ)

ขั้นตอนที่ รายละเอียด

3 (ต่อ)



2.3.2 กำหนดคุณสมบัติกรอบอาคาร ในส่วนฝ้า หลังคา และ ประตูหน้าต่าง

ตาราง 9 กำหนดคุณสมบัติกรอบอาคาร ในส่วนฝ้า หลังคา และ ประตูหน้าต่าง

ขั้นตอนที่	รายละเอียด																								
1	โดยไปที่แถบเครื่องมือ Analyze > คำสั่ง Heating and Cooling loads																								
2	ไปที่ Parameter Schematic Type <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Building Type</td><td>Hospital or Healthcare</td></tr> <tr> <td>Location</td><td>User Defined</td></tr> <tr> <td>Ground Plane</td><td>ระดับดิน</td></tr> <tr> <td>Project Phase</td><td>New Construction</td></tr> <tr> <td>Sliver Space Tolerance</td><td>0.3048 m</td></tr> <tr> <td>Building Envelope</td><td>Use Function Parameter</td></tr> <tr> <td>Building Service</td><td>Variable Refrigerant Flow</td></tr> <tr> <td>Schematic Types</td><td><Building></td></tr> <tr> <td>Building Infiltration Class</td><td>None</td></tr> <tr> <td>Report Type</td><td>Detailed</td></tr> <tr> <td>Use Load Credits</td><td>☐</td></tr> </tbody> </table>	Parameter	Value	Building Type	Hospital or Healthcare	Location	User Defined	Ground Plane	ระดับดิน	Project Phase	New Construction	Sliver Space Tolerance	0.3048 m	Building Envelope	Use Function Parameter	Building Service	Variable Refrigerant Flow	Schematic Types	<Building>	Building Infiltration Class	None	Report Type	Detailed	Use Load Credits	☐
Parameter	Value																								
Building Type	Hospital or Healthcare																								
Location	User Defined																								
Ground Plane	ระดับดิน																								
Project Phase	New Construction																								
Sliver Space Tolerance	0.3048 m																								
Building Envelope	Use Function Parameter																								
Building Service	Variable Refrigerant Flow																								
Schematic Types	<Building>																								
Building Infiltration Class	None																								
Report Type	Detailed																								
Use Load Credits	☐																								

ตาราง 9 (ต่อ)

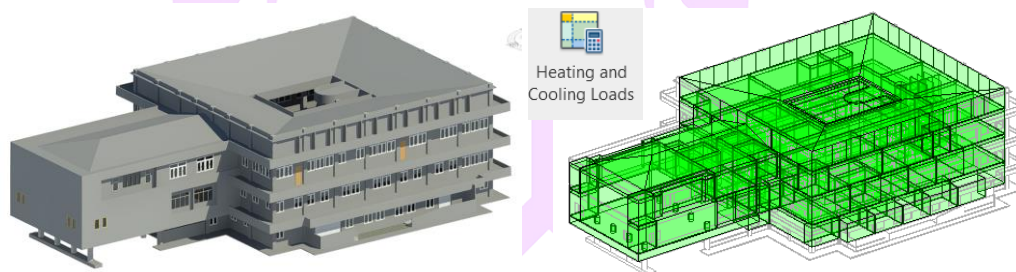
ขั้นตอนที่ รายละเอียด

3 เลือกรูปแบบ ของ ระบบหลังคา และประตูหน้าต่างให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงให้มากที่สุด

Analysis Properties		
By default, analysis properties are generated from information in Conceptual Types. Properties of Schematic Types are used when override is selected.		
Category	Override	Analytic Construction
Roofs	☒	Metal roof, R-19 batt insulation, gyp board (U=0.2490 W/(m ² ·K))
Exterior Walls	☐	8 in lightweight concrete block (U=0.8108 W/(m ² ·K))
Interior Walls	☐	Frame partition with 3/4 in gypsum board (U=1.4733 W/(m ² ·K))
Ceilings	☐	8 in lightweight concrete ceiling (U=1.3610 W/(m ² ·K))
Floors	☐	Passive floor, no insulation, tile or vinyl (U=2.9582 W/(m ² ·K))
Slabs	☐	Un-insulated solid (U=0.7059 W/(m ² ·K))
Doors	☒	Solid hardwood (U=2.5572 W/(m ² ·K))
Exterior Windows	☒	1/4 in single glass pane in heavy frame (U=3.1915 W/(m ² ·K), SHGC=0.86)
Interior Windows	☒	1/4 in single glass pane in heavy frame (U=3.1915 W/(m ² ·K), SHGC=0.86)
Skylights	☐	Large double-glazed windows (reflective coating) - industry (U=3.1956 W/(m ² ·K), SHGC=0.13)

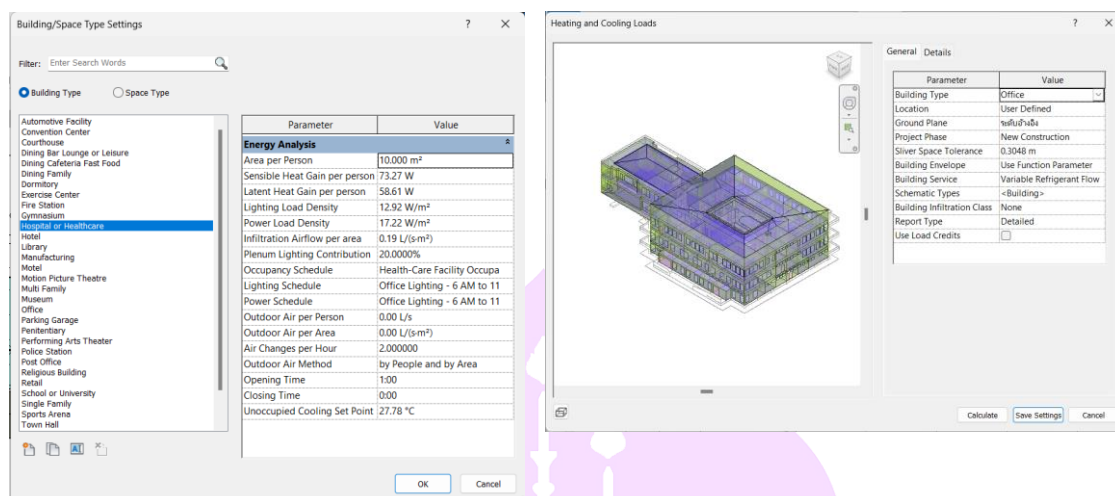
3. วิเคราะห์ภาระการทำความเย็น

การวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม Autodesk Revit เป็นการนำค่าสั่ง Heating and Cooling load ทำการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองนั้นเป็น Energy Analytical Model (EAM) ดังแสดงในภาพ 18



ภาพ 18 การสร้างแบบจำลอง EAM ด้วยโปรแกรม Autodesk Revit

ในการนำค่าสั่ง Heating and Cooling Load นั้น ให้ทำการตั้งค่าในส่วน Building Type ซึ่งเป็นการเลือกลักษณะประเภทการใช้งานอาคารนั้น ๆ ตรวจสอบ Location ให้ถูกต้อง ตรวจสอบระดับอ้างอิงโครงการ



ภาพ 19 การใช้งานคำสั่ง Heating and cooling load

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือค่าภาระการทำความเย็นซึ่งใช้ประกอบการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับความร้อนที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ โดยโปรแกรม Autodesk Revit จะแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นรายงาน ดังแสดงในภาพ 22

Building Summary

Inputs	
Building Type	Office
Area (m ²)	1,470.81
Volume (m ³)	4,372.78
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	315,153
Peak Cooling Month and Hour	April 4:00 PM
Peak Cooling Sensible Load (W)	298,643
Peak Cooling Latent Load (W)	16,510
Maximum Cooling Capacity (W)	315,153
Peak Cooling Airflow (L/s)	19,524.3
Peak Heating Load (W)	67,478
Peak Heating Airflow (L/s)	4,081.9
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	214.27
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	13.27
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	61.95
Cooling Area / Load (m ² /kW)	4.67
Heating Load Density (W/m ²)	45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.78

ภาพ 20 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานจากโปรแกรม Autodesk Revit

ผล Peak Cooling Load ที่ได้จากผลรายงานคือค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดในช่วงเวลาที่ยาวนานที่สุดของฤดูร้อนเป็นค่าปริมาณความร้อนที่เครื่องปรับอากาศต้องกำจัดออกในหนึ่งชั่วโมง เพื่อรักษาอุณหภูมิห้องให้สบายเพื่อการเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศต่อปีของอาคาร

4. วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

เมื่อได้ผล Peak Cooling Load จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Autodesk Revit ผู้วิจัยจึงศึกษาการคำนวณผลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากงานวิจัยของ รัชนีวรรณ อังกรบุตร์ (2561) เรื่องการประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับประเทศไทย เพื่อนำเอาวิธีการคำนวณนั้นมาใช้ในการแปลงค่า Peak Cooling Load ที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Revit ไปเป็นค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี และได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางแสดง 1 ซึ่งเป็นการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี โดยใช้ Microsoft Excel (CCSE-Calculation Lock)

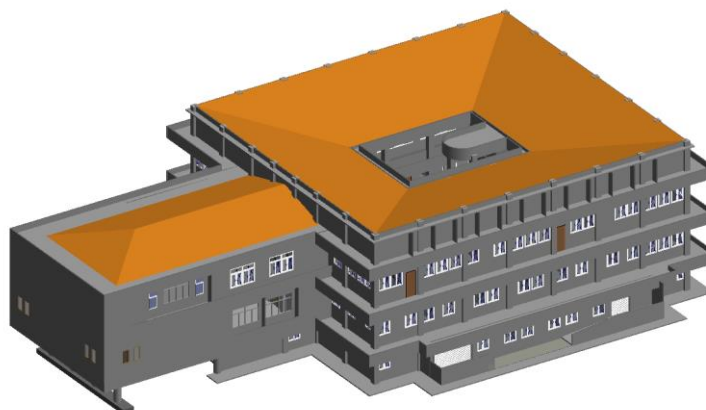
ข้อมูล		ประเภทเครื่องปรับอากาศ	
		Fixed Speed	Variable
ข้อมูล	อัตรา	เฉลี่ยราย	เฉลี่ยใหม่
	ช่วงเวลาใช้งานโดยประมาณ	9.00-18.00	6.00-12.00
	จำนวนวันทำงานต่อปี	247.00	200.00
	ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)	4.00	4.00
	เงินลงทุน (บาท)	-	2,000.00
	อุณหภูมิภายนอกสำหรับการทดสอบหรือตรวจวัด (°C)	35	-
	อุณหภูมิเข้าคอยล์เย็นสำหรับการทดสอบหรือตรวจวัด (°C)	27	-
	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเข้าคอยล์เย็นสำหรับการทดสอบหรือตรวจวัด (%)	50	-
	ขีดความสามารถทำความเย็นสำหรับการทดสอบหรือตรวจวัด	-	-
	- Full Capacity (Btu/hr)	1,064,646.20	24,000.00
	- Half Capacity (Btu/hr)	-	6,856.89
	กำลังไฟสำหรับการทดสอบหรือตรวจวัด	-	-
	- Full Power (Watt)	96,786.02	1,800.00
	- Half Power (Watt)	-	426.86

ภาพ 21 Microsoft Excel (CCSE-Calculation Lock)

5. วิเคราะห์พลังงานระบบปรับอากาศ โปรแกรม Autodesk Revit

เพื่อตรวจสอบผลการวิเคราะห์พลังงานระบบปรับอากาศที่ได้จาก โปรแกรม Autodesk Revit ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบพลังงานระบบปรับอากาศที่ได้จาก Autodesk Revit กับผลการวิเคราะห์ในรูปแบบอื่น โดยเลือกใช้แบบมาตรฐานอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย เป็นกรณีศึกษาเนื่องจากมีผลงานวิจัยของ โสพิศ ชัยชนะ (2558) เรื่อง แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน ซึ่งมีการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานระบบปรับอากาศและค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารจริง อีกทั้งมีข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งโปรแกรม BEC เป็นที่ยอมรับในการวิเคราะห์หาค่าการพลังงานระบบปรับอากาศอีกด้วย

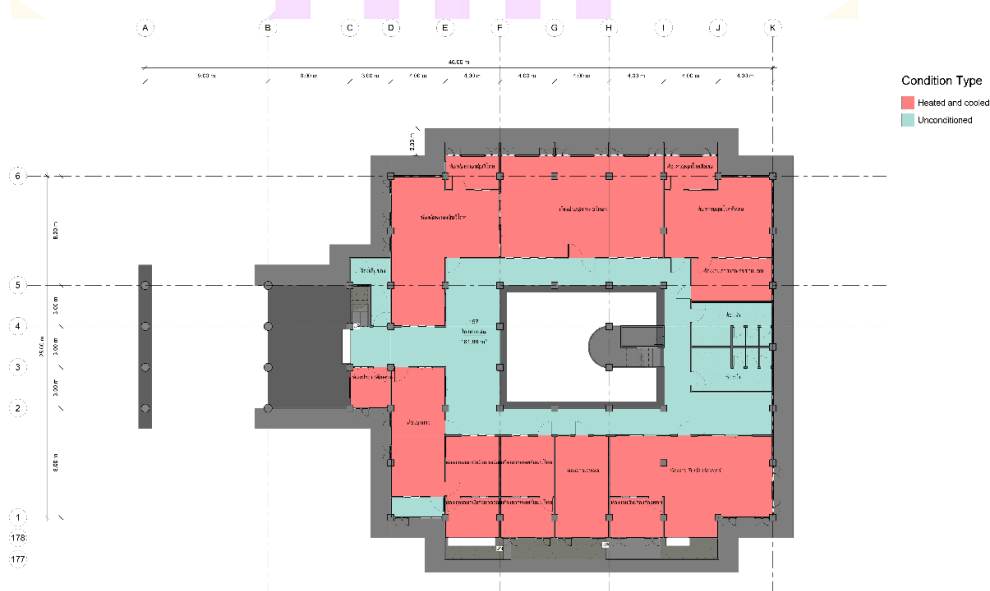
ผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย โดยทำการสร้างแบบจำลอง ตามขั้นตอนการสร้างแบบจำลองและกำหนดข้อมูลแบบจำลองข้างต้น เพื่อใช้เป็นกรณีตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ผล ทำให้ได้แบบจำลองที่มีลักษณะทางกายภาพ ดังนี้



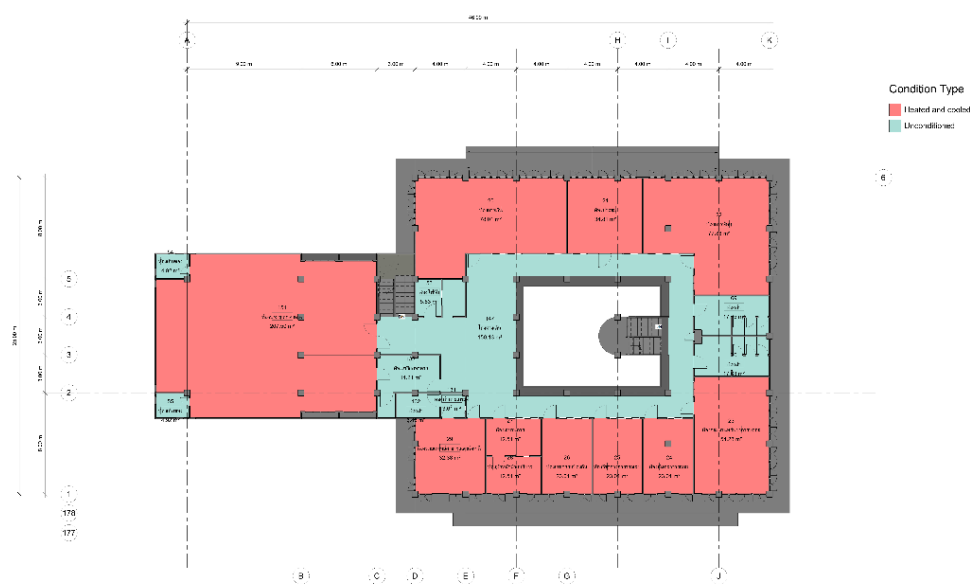
ภาพ 22 แบบจำลอง 3 มิติอาคาร

และได้กำหนดข้อมูลด้านพลังงานให้แก่แบบจำลอง โดยการกำหนด Space ให้กับพื้นที่ห้องแต่ละห้อง และการแบ่งลักษณะการใช้งานห้องตามระบบปรับอากาศออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

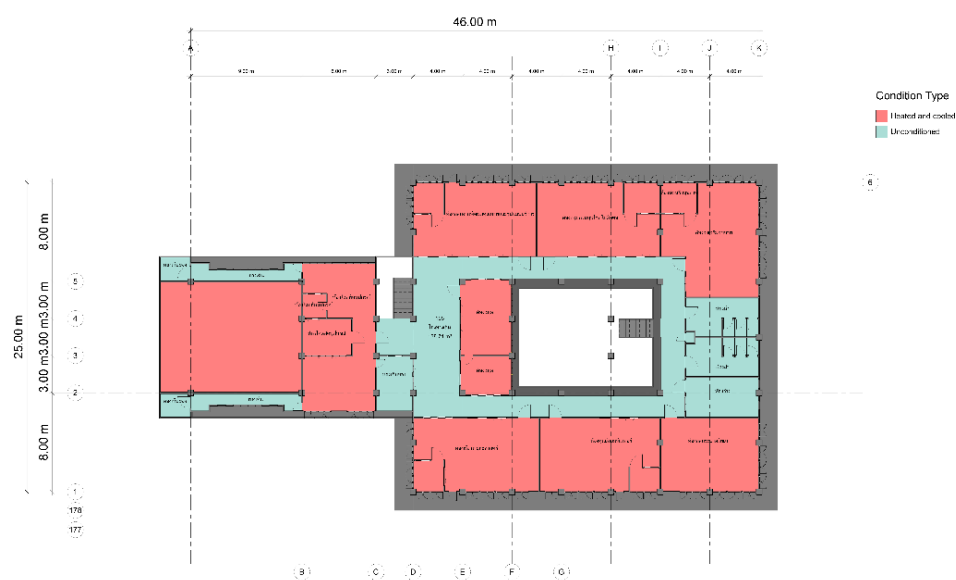
1. Heated and cooled ใช้สำหรับพื้นที่ที่มีการปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ
 2. Unconditioned ใช้สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ
 3. Plenum ใช้สำหรับพื้นที่ระหว่างเหนือฝ้าจนถึงใต้พื้นชั้นถัดไป
- สามารถแสดงเป็นแปลน แยกเป็นชั้นดังนี้



ภาพ 23 การแบ่งลักษณะการใช้งานห้องตามระบบปรับอากาศ ชั้น 1



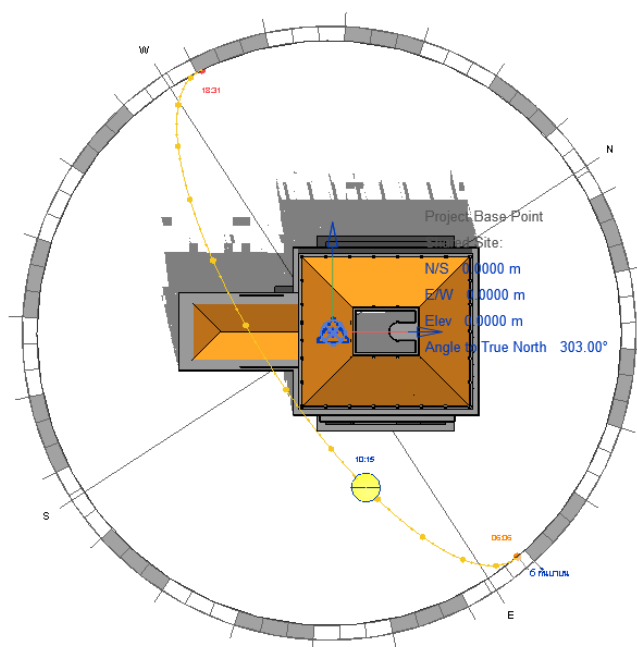
ภาพ 24 การแบ่งลักษณะการใช้งานห้องตามระบบปรับอากาศ ชั้น 2



ภาพ 25 การแบ่งลักษณะการใช้งานห้องตามระบบปรับอากาศ ชั้น 3

เพื่อให้ตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางของอาคารเป็นไปตามอาคารจริง ผู้วิจัยจึงทำการตั้งค่าตำแหน่งที่ตั้งอาคารตามพิกัดตาม ข้อมูลอาคารจริง

- พื้นที่ใช้สอยอาคารรวม 2,293.51 ตร.ม.
- ที่พิกัดที่ตั้ง Latitude :19.929271° Longitude:99.830751°
- เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยให้หน้าอาคารเริ่มต้นที่ทิศตะวันตก เป็น Angle to True North ที่ 0 องศา เมื่อเทียบกับทิศทางหน้าอาคารจริงแล้วออกจากทิศที่กำหนด เป็นทิศ 0 องศาอยู่ 303 องศา ดังนั้นในโปรแกรม Autodesk Revit จึงเป็นการกำหนด Angle to True North ให้มีค่าเท่ากับ 303 องศา



ภาพ 26 การกำหนดทิศทางของอาคาร

ตาราง 10 ข้อมูลการกำหนดที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ

รายการ	BEC v.1.0.6	Energy Plus 8.1	Autodesk Revit 2020
ที่ตั้งอาคาร	เลือกจังหวัดในประเทศไทย ไทย Location: Chiang Rai Latitude: 19.9 Longitude: 99.81	ระบุพิกัดที่ตั้ง Latitude: 19.92N Longitude: 99.83E Time zone: +7 Elevation: 394 m.	ระบุพิกัดที่ตั้ง Location: Chiang Rai Latitude :19.929271° Longitude:99.830751° Time zone: +7 Elevation: 422 m.
สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร	ไม่สามารถกำหนดได้	เลือก Terrain Country	อ้างอิงตามการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งอาคาร
สภาพภูมิอากาศ	ไม่สามารถกำหนดได้	Weather File Weather Data: CHIANG RAI RAI Station name: WMO#483030	Location Weather and Site Weather Data: CHIANG RAI Weather station: 621349

จากการตั้งค่าตำแหน่งที่ตั้งอาคารให้กับแบบจำลองในโปรแกรม Autodesk Revit ทำให้แบบจำลองอาคารมีข้อมูลสภาพอากาศโดยรอบตามแสดงในภาพ

Cooling Design Temperatures												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Dry Bulb	30 °C	33 °C	36 °C	38 °C	36 °C	34 °C	33 °C	33 °C	32 °C	32 °C	31 °C	30 °C
Wet Bulb	22 °C	22 °C	24 °C	25 °C	26 °C	26 °C	26 °C	26 °C	26 °C	26 °C	24 °C	23 °C
Mean Daily Range	15 °C	17 °C	16 °C	14 °C	9 °C	7 °C	6 °C	6 °C	7 °C	8 °C	10 °C	13 °C

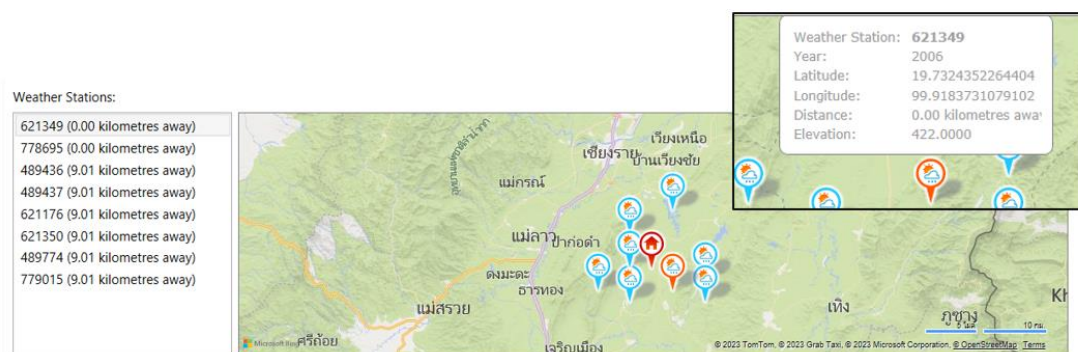
Heating Design Temperature: 10 °C

Clearness Number: 1.0

OK Cancel Help

ภาพ 27 การตั้งค่าตำแหน่งที่ตั้งอาคารโปรแกรม Autodesk Revit

ซึ่งเป็นการดึงข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีอากาศที่ใกล้กับตำแหน่งที่ตั้งอาคารมากที่สุด
ดังแสดงในภาพ



ภาพ 28 การดึงข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีอากาศโปรแกรม Autodesk Revit

ในการเพิ่มข้อมูลส่วนคุณสมบัติวัสดุกรอบอาคารผู้วิจัยได้กำหนดให้วัสดุในส่วนผนัง พื้น และ ฝ้า ให้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากวัสดุที่มีในโปรแกรม Autodesk Revit มาคำนวณเป็นค่า Thermal Resistance (R) และ Heat Transfer Coefficient (U)

Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	5.8378 W/(m ² ·K)
Thermal Resistance (R)	0.1713 (m ² ·K)/W
Thermal mass	12.82 kJ/K
Absorptance	0.100000
Roughness	3

ภาพ 29 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมโปรแกรม Autodesk Revit

และในส่วนประตูหน้าต่างและหลังคาผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้เลือกรูปแบบของระบบหลังคา และประตูหน้าต่างให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงให้มากที่สุด ด้วยการเลือกตั้งค่า Schematic Type ในขั้นตอนการใช้คำสั่ง Heating and Cooling Load

ในส่วนการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารผู้วิจัยได้ทำการตั้งค่าวัสดุ โดยเลือกวัสดุที่ใกล้เคียงกันกับการใช้งานจริงมากที่สุด และได้ทำการสรุปการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ดังนี้

ตาราง 11 ตารางสรุปการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารจากโปรแกรม Autodesk Revit

ข้อมูลทีระบุในโปรแกรมจำลองของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย			
รายการ	BEC v.1.0.6	Energy Plus 8.1	Autodesk Revit 2020
ค่าความต้านทาน	ค่า Default ^[3]	เลือก Roughness	เลือก Roughness 3 เป็นลักษณะ
ความร้อนของฟิล์ม	0.044 m ² C/W	Medium Rough	ทั่วไปของวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่
อากาศที่ผนังด้านนอก			
ค่าความต้านทาน	เลือก Inner surface type	เลือก Roughness	เลือก Roughness 3 เป็นลักษณะ
ความร้อนของฟิล์ม	แผ่รังสีสูง 0.120 m ² C/W	Medium Rough	ทั่วไปของวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่
อากาศที่ผนังด้านใน			
ค่าความต้านทาน	ค่า Default ^[3]	เลือก Roughness	เลือก Roughness 3 เป็นลักษณะ
ความร้อนของฟิล์ม	0.044 m ² C/W	Medium Rough	ทั่วไปของวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่
อากาศที่หลังคา			
ด้านนอก			
ค่าความต้านทาน	เลือก Inner surface type	เลือก Roughness	เลือก Roughness 3 เป็นลักษณะ
ความร้อนของฟิล์ม	แผ่รังสีสูง 0.120 m ² C/W	Medium Rough	ทั่วไปของวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่
อากาศที่หลังคาด้านใน			
ผนังทึบ ประกอบด้วย	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ
อิฐมวลเบา 70 มม.	และคำนวณค่าโดยโปรแกรม	และคำนวณค่าโดยโปรแกรม	และคำนวณค่าโดยโปรแกรม
ฉนวนปูน 2 ด้าน ปูนฉนวน	U-Factor = 2.882	U-Factor = 3.013 W/m ² K	U-Factor = 5.838 W/m ² K
หนา 15 มม.	W/m ² C		
หลังคา ประกอบด้วย	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดประเภทของหลังคา
คอนกรีต หนา 15 ซม.	และคำนวณค่าโดยโปรแกรม	และคำนวณค่าโดยโปรแกรม	6 in lightweight concrete
ช่องอากาศใต้หลังคา	U-Factor = 1.238	U-Factor = 1.372 W/m ² K	(U=0.9277 W/(m ² -K))
45 ซม. แผ่นยิปซัม[4]	W/m ² C		
หนา 9 มม.			
ประตู (ภายในอาคาร)	ไม่สามารถระบุได้	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดประเภทของประตู
ไม้สัก[4] หนา 5.08 ซม.		และคำนวณค่าโดยโปรแกรม	Solid hardwood (U=2.5572
K = 0.209 W/m-K,		U-Factor = 2.048 W/m ² K	W/(m ² -K))
Density = 685			
kg/m ³ , Specific heat			
= 1300 J/kg-K			
ผนังโปร่งแสง	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดประเภทของผนังโปร่งใส
กระจกโฟลตใส	และคำนวณค่าโดยโปรแกรม	และคำนวณค่าโดยโปรแกรม	1/4 in single glass pane in
หนา 6 มม.	U-Factor = 5.83 W/m ² C	U-Factor = 5.83 W/m ² C	heavy frame (U=3.1915
U-Factor = 5.83	SHGC = 0.83	SHGC = 0.83	W/(m ² -K), SHGC=0.86)
W/m ² C			
SHGC = 0.83			
VT = 0.91			

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการใช้ คำสั่ง Heating and Cooling Load โปรแกรม Autodesk Revit จะให้รายงานซึ่งแสดงค่า Peak Cooling Load ซึ่งเป็นค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุดของฤดูร้อน เป็นค่าปริมาณความร้อนที่เครื่องปรับอากาศต้องกำจัดออกในหนึ่ง ชั่วโมง เพื่อรักษาอุณหภูมิห้องให้สบายเพื่อการเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศ ต่อปีของอาคาร ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแปลงค่า Peak Cooling Load เป็นผลการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของอาคาร โดยได้ศึกษาการแปลงค่าพลังงาน Peak Cooling Load จากหน่วยวัตต์ (W) ไปเป็นหน่วย BTU/hr (British Thermal Units per hour) ซึ่งในการออกแบบระบบปรับอากาศและการจัดการพลังงานในอาคาร การแปลงค่าพลังงานจากหน่วยวัตต์ (Watts) ไปเป็นหน่วย BTU/hr (British Thermal Units per hour) ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้สามารถประเมินขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ โดยสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการแปลงคือ:

$$BTU/hr = Watts \times 3.41214$$

สูตรนี้สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยพลังงานในระบบเมตริกและระบบอังกฤษ โดยที่ 1 วัตต์ เท่ากับ 1 จูลต่อวินาที และเมื่อคำนวณพลังงานในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง (3600 วินาที) จะได้พลังงานรวมเป็น 3600 จูล ซึ่งเมื่อแปลงเป็น BTU โดยใช้ค่าคงที่ 1 BTU $\approx$ 1055 จูล จะได้:

$$BTU/hr = 1055Watts \times 3600 \approx Watts \times 3.41214$$

สูตรนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในงานวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมอาคารและการออกแบบระบบ HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) เนื่องจากช่วยให้สามารถแปลงค่าพลังงานที่ได้จากการวิเคราะห์โหลดความเย็น (Cooling Load Analysis) ไปสู่หน่วยที่ใช้ในการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ (ASHRAE, 2013; กนธ อินคำ, 2563; JMH Power, 2567)

อัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio, EER) คือ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็น (Btu/hr.) /W หรือค่า EER คือ อัตราส่วนของปริมาณความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ (output) กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ในการทำความเย็น (input)

ความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ (Output)	=	บีทียู ชั่วโมง
กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้ในการทำความเย็น (Input)	=	กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์
การคำนวณ EER	=	$\frac{\text{Output}}{\text{Input}}$ = $\frac{\text{บีทียู ชั่วโมง}}{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)}}$

ภาพ 30 อัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio, EER)

ที่มา: Food Network Solution, 2568

ค่า EER นี้ถูกนำมาใช้เป็นตัวกำหนดฉลากประหยัดไฟในอุปกรณ์ทำความเย็น เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น โดยระดับประสิทธิภาพหรือหมายเลขประหยัดไฟ แสดงในตารางด้านล่าง โดยตั้งแต่ พ.ศ. 2549 เป็นต้นไปให้ใช้การกำหนดค่าดังตารางนี้ (Food Network Solution, 2568)

ระดับประสิทธิภาพ		ประสิทธิภาพ (EER)
ระดับ 5	ดีมาก	11.0 ขึ้นไป
ระดับ 4	ดี	10.6 ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 11.0
ระดับ 3	ปานกลาง	9.6 ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 10.6
ระดับ 2	พอใช้	8.6 ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 9.6
ระดับ 1	ต่ำ	ต่ำกว่า 8.6

ภาพ 31 ค่า EER ตามฉลากประหยัดไฟในอุปกรณ์ทำความเย็น

ที่มา: Food Network Solution, 2568

จากค่า Peak Cooling Load จากโปรแกรม Autodesk Revit ที่มีค่าเท่ากับ 312,017 W ดังนั้นจะต้องใช้ขนาดเครื่องปรับอากาศ $312,017 \text{ W} \times 3.412 = 1,064,646.20 \text{ BTU/hr}$ และกำหนดกำลังไฟฟ้าขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด Full Power (Watt) เท่ากับ

จาก

$$EEP = \frac{\text{ความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่สามารถทำได้}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้ในการทำความเย็น}}$$

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้ในการทำความเย็นหรือ Full Power (Watt)

เท่ากับ

$$\text{Full Power} = \frac{\text{ความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่สามารถทำได้}}{EER}$$

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ ค่า EER ของเครื่องปรับอากาศ ระดับ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11 มาใช้ในการประมาณ ค่ากำลังไฟฟ้า Full Power (Watt) ของเครื่องปรับอากาศในการวิเคราะห์ผลครั้งนี้

$$\text{Full Power} = \frac{1,064,646.20 \text{ BTU/hr}}{11} = 96,786.02 \text{ Watts}$$

จากนั้นนำค่ากำลังไฟฟ้า Full Power (Watt) และขนาดเครื่องปรับอากาศ 1,064,646.20 BTU/hr ไปใช้ประกอบกับ Microsoft Excel (CCSE-Calculation Lock) จากงานวิจัยของ รัชนิวรรณ อังกรบุตร์ (2561) เรื่องการประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับประเทศไทยซึ่งได้คำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีโดยใช้ Microsoft Excel (CCSE-Calculation Lock)

โดยผู้วิจัยกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลใน Microsoft Excel (CCSE-Calculation Lock) ดังนี้

- a) จังหวัดเชียงราย
- b) ช่วงเวลาใช้งานโดยประมาณ 9.00-18.00 น.
- c) จำนวนวันทำงานต่อปี 247 วัน
- d) ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 4 บาท/kWh
- e) อุณหภูมิภายนอกขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด 35°C
- f) อุณหภูมิเข้าคอยล์เย็นขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด 27°C
- g) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเข้าคอยล์เย็นขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด (%RH) 50
- h) Full Capacity 1,064,646.20 BTU/hr
- i) Full Power 96,786.02 Watt

ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าต่อปีเท่ากับ 102,093.15 kWh/year และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 408,372.59 บาท/ปี ดังแสดงในตารางแสดงผลการคำนวณผลการใช้พลังงานไฟฟ้า CCSE-Calculation Lock

ข้อมูล		ประเภทเครื่องปรับอากาศ	
		Fixed Speed	Variable
	จังหวัด	เชียงราย	เชียงใหม่
	ช่วงเวลาใช้งานโดยประมาณ	9.00-18.00	6.00-12.00
	จำนวนวันทำงานต่อปี	247.00	200.00
	ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)	4.00	4.00
	เงินลงทุน (บาท)	-	2,000.00
	อุณหภูมิภายนอกขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด ($^{\circ}\text{C}$)	35	-
	อุณหภูมิเข้าคอยล์เย็นขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด ($^{\circ}\text{C}$)	27	-
	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเข้าคอยล์เย็นขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด (%RH)	50	-
	ขีดความสามารถการทำความเย็นขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด	-	-
	- Full Capacity (Btu/hr)	1,064,646.20	24,000.00
	- Half Capacity (Btu/hr)	-	6,856.89
	กำลังไฟฟ้าขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด	-	-
	- Full Power (Watt)	96,786.02	1,800.00
	- Half Power (Watt)	-	426.86
ผลการคำนวณ	SEER: ISO 16358-1:2013	11.62	19.61
	LCST (Btu/365 Days)	1,721,831,825	21,191,173
	CCSE (kWh/365 Days)	150,866.39	1,130.82
	ปริมาณการใช้พลังงานต่อปี (kWh/247 วัน)	102,093.15	619.63
	ร้อยละผลประหยัด	99.4%	
	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)	408,372.59	2,478.52
	ผลประหยัดค่าไฟฟ้า, บาท/ปี		405,894.07
	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	0.00	
หมายเหตุ:	1.กำหนดให้ภาระในการทำความเย็นในห้องเท่ากับขีดความสามารถการทำความเย็น		
	2. Temperature bin distribution from 20°C - 40°C		
	3. ใช้ข้อมูลอุณหภูมิย้อนหลัง 3 ปี (พ.ศ. 2558-2560) ในการจัดทำ Bin hours		
	4.ใช้วิธีคำนวณแบบ Bin method		
	5.ค่าขีดความสามารถการทำความเย็นและกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบ Variable จะเป็นข้อมูลที่มาจากการทดสอบจากห้องทดสอบ		
	จัดทำโดย		
	ทวัน จันดา, สิทธิพร ศรีเมือง และนพรัตน์ เกตุขาว		
	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา		

ภาพ 32 ผลการคำนวณผลการใช้พลังงานไฟฟ้า CCSE-Calculation Lock

6. ผลการศึกษาการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานที่ได้จากแบบจำลองโปรแกรม Autodesk

Revit

ผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานที่ได้จากแบบจำลองโปรแกรม Autodesk Revit โดยนำค่าการใช้พลังงานมาเปรียบเทียบกับโปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งเป็นผลจากงานวิจัยเรื่อง แนวทางการปรับปรุงอาคารสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงานของ โสพิศ ชัยชนะ (2558)

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่า มีค่าความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศ ดังตาราง 12 และ 13

ตาราง 12 ปริมาณไฟฟ้า

โปรแกรม	ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)
BEC v.1.0.6	95,901.40
Autodesk Revit	102,093.15
ค่าความแตกต่างเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Autodesk Revit & BEC v.1.0.6	6,191.75

ตาราง 13 ความแตกต่างผลการวิเคราะห์

การเปรียบเทียบความแตกต่าง	ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)	เปรียบเทียบ (%)
ค่าความแตกต่างเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Autodesk Revit & BEC v.1.0.6	6,191.75	-6.46

จากผลการวิจัยได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศด้วยโปรแกรมจำลองสารสนเทศอาคาร Building Information Modeling (BIM) จึงทำให้ทราบว่า เมื่อเปรียบเทียบไฟฟ้าจากโปรแกรม Autodesk Revit กับโปรแกรม BEC v.1.0.6 ได้พบว่า ปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Revit นั้นมีค่าสูงกว่าโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยคิดเป็นร้อยละ 6.46

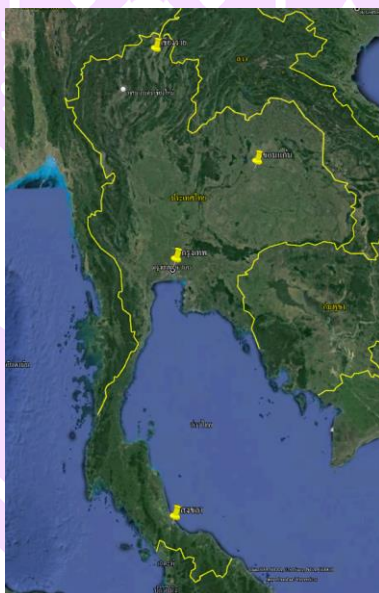
ผลการศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ

เนื่องจากภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ สามารถบ่งบอกปริมาณการใช้ไฟฟ้า ระบบปรับอากาศของอาคาร ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานอาคารรวมมากถึงร้อยละ 60 งานวิจัยส่วนนี้ เป็นการแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผล ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit และพิจารณา ทิศทางที่เหมาะสมของอาคารด้านการลดการใช้พลังงาน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์แบบจำลองตามแบบมาตรฐาน จำนวน 2 อาคาร ได้แก่ อาคาร

สำนักงาน และอาคารโรงพยาบาล โดยได้กำหนดพิกัดการวิเคราะห์ผล 4 ตำแหน่ง ได้แก่ เชียงราย ขอนแก่น กรุงเทพฯ และสงขลา

ตาราง 14 ข้อมูลการกำหนดตำแหน่งวิเคราะห์ผล

ตำแหน่ง	ละติจูด	ลองจิจูด
เชียงใหม่	19.732436	99.918374
กรุงเทพฯ	13.835247	100.607986
ขอนแก่น	16.436842	102.844575
สงขลา	7.122333	100.544033



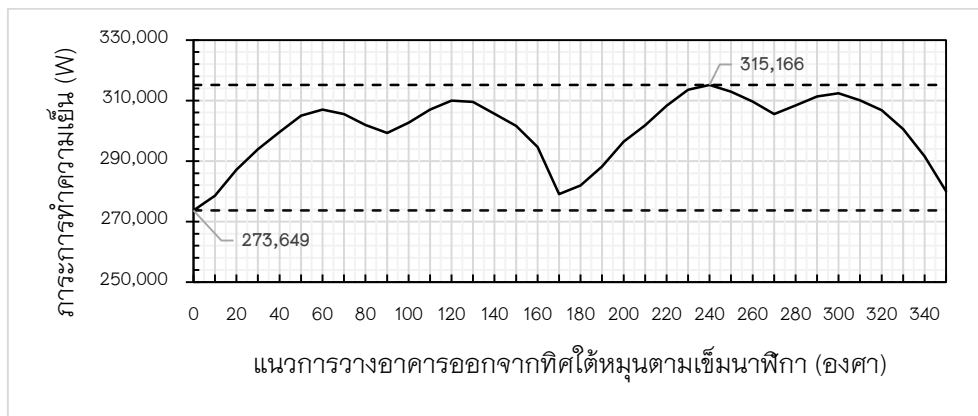
ภาพ 33 การกระจายตัวของตำแหน่งอาคารที่วิเคราะห์

และได้ผลการวิเคราะห์ผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับการกระทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ ตามแบบอาคาร ดังนี้

1. อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด

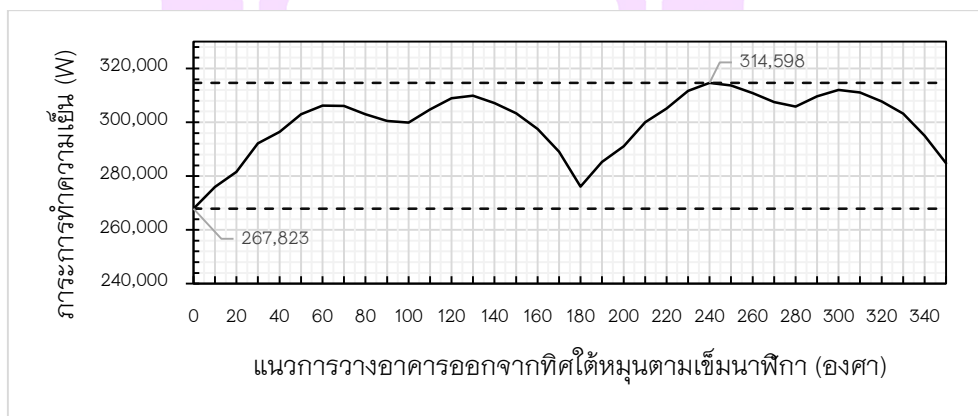
จากแบบจำลอง 3 มิติอาคาร อาคารสำนักงาน ตามแบบมาตรฐาน อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด เลขที่ 8491 กองแบบแผน กระทรวงสาธารณสุข ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลหา Peak Cooling Load โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit และทำการศึกษาการปรับแก้ตัวแปรตำแหน่ง และทิศทางของอาคาร ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1.1 การวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จังหวัดเชียงราย



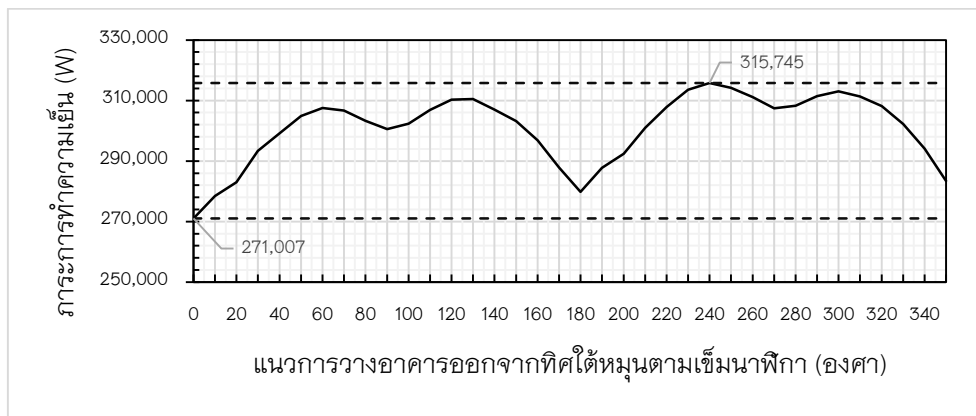
ภาพ 34 ผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร

1.2 การวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จังหวัดกรุงเทพ



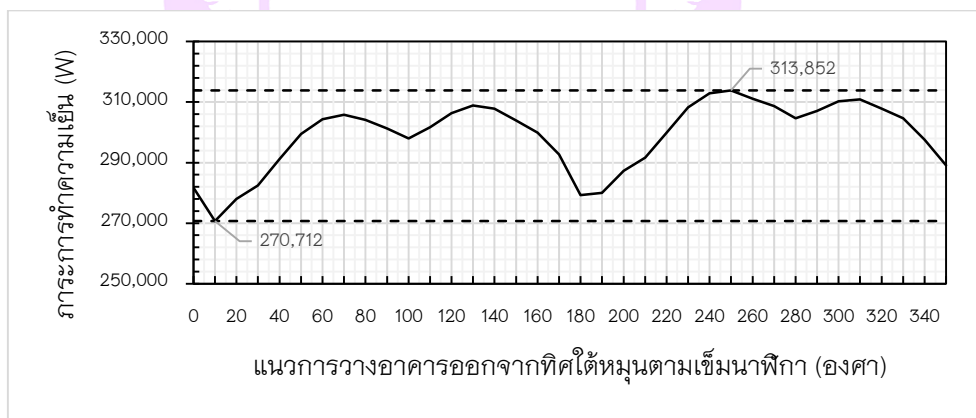
ภาพ 35 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร

1.3 การวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จังหวัดขอนแก่น



ภาพ 36 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร

1.4 การวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จังหวัดสงขลา



ภาพ 37 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร

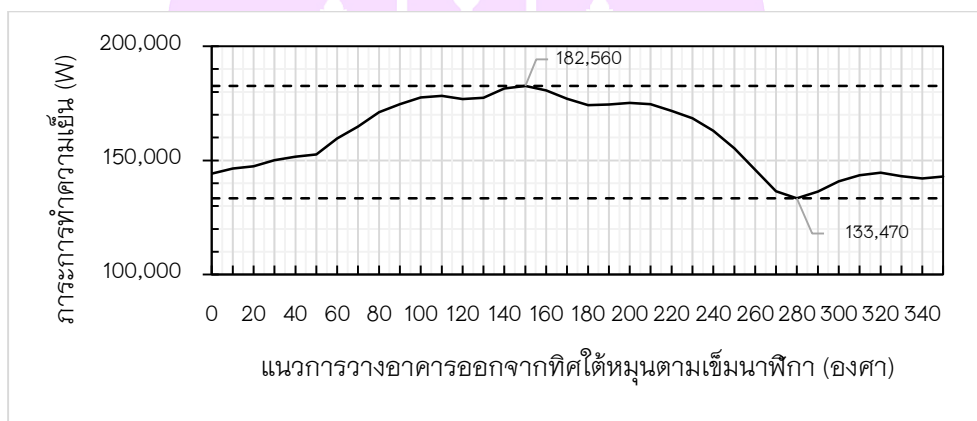
แนวทางการเลือกทิศก่อสร้างอาคารที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุดสำหรับจังหวัดเชียงราย กรุงเทพฯ และขอนแก่น คือ ทิศ 0 องศา ซึ่งเป็นทิศเริ่มต้นวิเคราะห์ผลลักษณะอาคารหันด้านหน้าอาคารไปในทิศตะวันตก เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยให้หน้าอาคารเริ่มต้นที่ทิศตะวันตก เป็น Angle to True North ที่ 0 องศา ในโปรแกรม Autodesk

Revit และแนวทางการเลือกทิศก่อสร้างอาคารที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสงขลา คือ ทิศ 20 องศา จากทิศตะวันตกในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

2. อาคารโรงพยาบาล

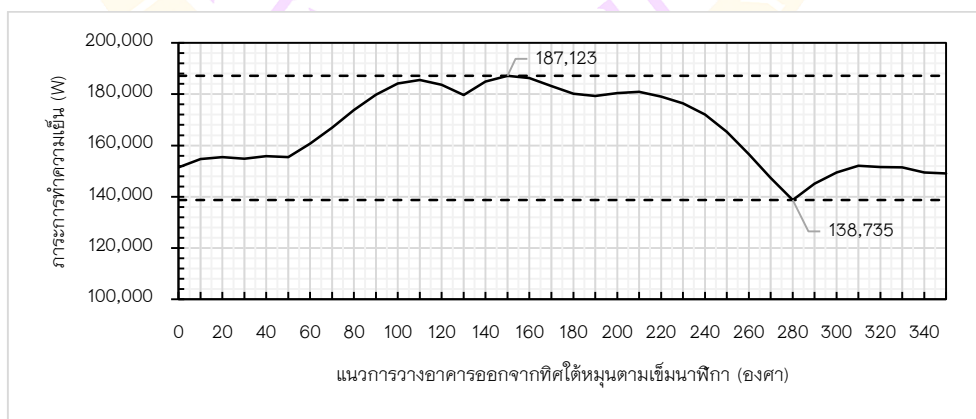
จากแบบจำลอง 3 มิติอาคาร อาคารผู้ป่วยนอก 3 ชั้น ตามแบบมาตรฐานเลขที่ 10946 กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพกระทรวงสาธารณสุข ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลหา Peak Cooling Load โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit และทำการศึกษาการปรับแก้ตัวแปรตำแหน่ง และทิศทางของอาคาร ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จังหวัดเชียงราย



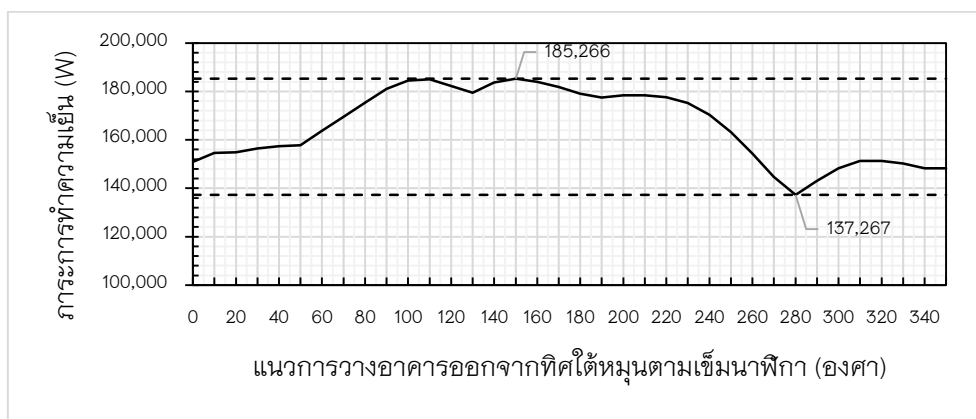
ภาพ 38 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร

2.2 การวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จังหวัดกรุงเทพ



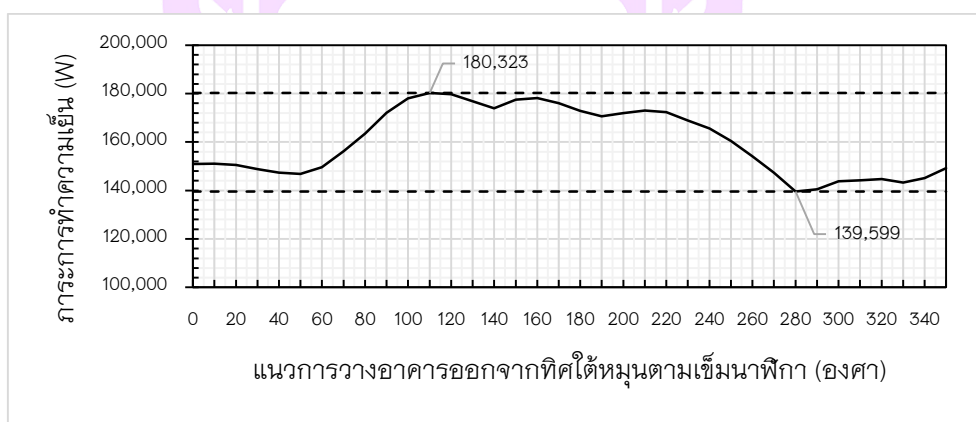
ภาพ 39 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร

2.3 การวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จังหวัดขอนแก่น



ภาพ 40 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร

2.4 การวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จังหวัดสงขลา

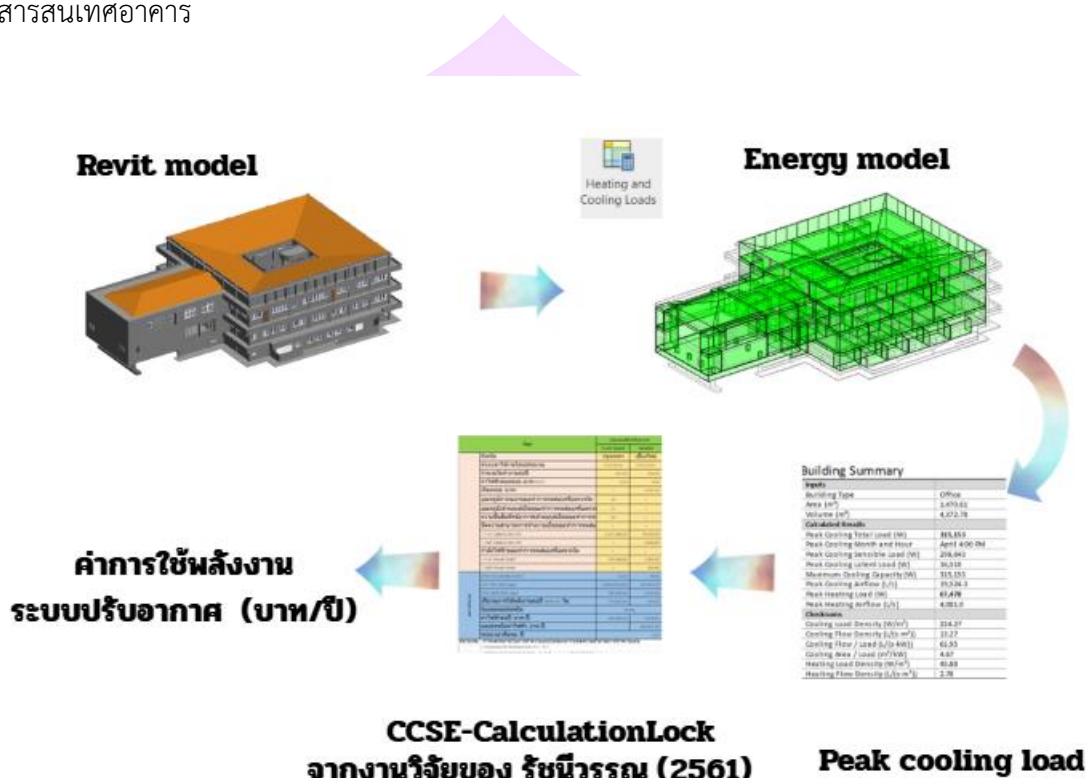


ภาพ 41 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ Peak Cooling Load และทิศทางของอาคาร

แนวทางการเลือกทิศก่อสร้างอาคารที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด คือ ทิศ 280 องศา ออกจากทิศเริ่มต้นวิเคราะห์ผลในทิศตามเข็มนาฬิกาทิศเริ่มต้นวิเคราะห์ผลมีลักษณะอาคารหันด้านหน้าอาคารไปในทิศตะวันตก เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยให้หน้าอาคารเริ่มต้นที่ทิศตะวันตก เป็น Angle to True North ที่ 0 องศา ในโปรแกรม Autodesk Revit

ผลการศึกษาแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

ผลการศึกษาส่วนนี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบแบบจำลองอาคารสารสนเทศ (BIM) เพิ่มเติมจากกระบวนการการวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศอาคารที่ได้จากงานวิจัย ส่วนแรก ผลการศึกษาหาแนวทางวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานอาคารระบบปรับอากาศด้วยระบบแบบจำลองอาคาร



ภาพ 42 กระบวนการที่ได้จากการประยุกต์ BIM ในการวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศอาคาร

ประกอบกับข้อมูลงานวิจัยส่วนที่ 2 ผลการศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ ที่ได้วิเคราะห์หาทิศทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับก่อสร้างอาคารตามแบบมาตรฐานตัวอย่างที่ได้ยกมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้

ในการประยุกต์ใช้กระบวนการการวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศอาคารในทิศทางที่ดีที่สุดจากนั้นทำการปรับปรุงกรอบอาคารและวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงที่น่าสนใจสำหรับการปรับปรุงเพื่อลดขนาดเครื่องปรับอากาศลง ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารส่วนระบบปรับอากาศของอาคารที่ลดลงต่อไปด้วยเนื่องจากขนาดเครื่องปรับอากาศเล็กลงเท่ากับใช้พลังงานน้อยลง เมื่อพิจารณาที่การตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศด้วยรูปแบบการใช้งานแบบเดียวกันดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 15 ข้อมูลการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการพิจารณาค่าการใช้พลังงาน
ของเครื่องปรับอากาศใน CCSE-Calculation Lock

ช่วงเวลาใช้งานโดยประมาณ	9.00-18.00 น.
จำนวนวันทำงานต่อปี (วัน)	247
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)	4
เงินลงทุน (บาท)	-
อุณหภูมิภายนอกขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด (°C)	35
อุณหภูมิเข้าคอยล์เย็นขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด (°C)	27
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเข้าคอยล์เย็นขณะทำการทดสอบหรือตรวจวัด (%RH)	50

จากการกระบวนที่ได้จากการประยุกต์ BIM ในการวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศอาคาร จะเห็นว่าค่าที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Revit คำสั่ง heating and Cooling load เป็นค่าภาระการทำความร้อนสูงสุด (Peak Cooling load) ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณเทียบกับค่าพลังงานที่เครื่องปรับอากาศต้องกำจัดกับค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดนี้ จะทำให้ได้ขนาดเครื่องปรับอากาศสำหรับใช้เปรียบเทียบผลค่าการลดลงของขนาดเครื่องปรับอากาศเมื่อเปลี่ยนจากขนาดเครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุงเป็นขนาดเครื่องปรับอากาศเมื่อปรับปรุงด้วยแนวทางการปรับปรุงแต่ละแนวทางโดยประเมินผลกระทบของแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร 39 รูปแบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มหลัก ได้แก่:

กลุ่มที่ 1: ปรับปรุงผนังทึบของอาคาร ระบบหลังคา และผนังโปร่งใส

กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบของอาคาร

กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบหลังคา

กลุ่มที่ 4: ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส

กลุ่มที่ 5: ปรับปรุงผนังทึบของอาคาร และระบบหลังคา

กลุ่มที่ 6: ปรับปรุงผนังทึบของอาคาร และผนังโปร่งใส

กลุ่มที่ 7: ปรับปรุงระบบหลังคาและผนังโปร่งใส

และสรุปเป็นตารางข้อมูลแยกออกเป็น 2 อาคารได้ดังนี้

1. อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด

เพื่อให้วิเคราะห์ผลแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ ผู้วิจัยจึงทำการเขียนแบบจำลองสามมิติอาคารโดยอ้างอิงข้อมูลของอาคารตามข้อมูลแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ออกแบบโดย

กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข และสรุปข้อมูลของแบบจำลองอาคารได้ดังนี้

- พื้นที่ใช้สอยอาคารรวม 2,293.51 ตร.ม.
- พื้นที่ปรับอากาศรวม 1465 ตร.ม.
- พื้นที่ไม่ปรับอากาศรวม 828.51 ตร.ม.
- ที่พิกัดที่ตั้ง Latitude : 13.835247° Longitude: 100.607986° (เป็นพิกัดที่ใช้แทน

การวิเคราะห์ผลตำแหน่งกรุงเทพฯ ในงานวิจัยนี้)

- Angle to True North ที่ 0 องศา
- กำหนดลักษณะการใช้งานอาคารในโปรแกรม Autodesk Revit เป็น office

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	28.571 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	10.76 W/m ²
Power Load Density	13.99 W/m ²
Infiltration Airflow per area	0.19 L/(s.m ²)
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Common Office Occupancy - 8 AM to 5 PM
Lighting Schedule	Office Lighting - 6 AM to 11 PM
Power Schedule	Office Lighting - 6 AM to 11 PM
Outdoor Air per Person	2.36 L/s
Outdoor Air per Area	0.30 L/(s.m ²)
Air Changes per Hour	0.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Opening Time	7:00
Closing Time	18:00
Unoccupied Cooling Set Point	27.78 °C
Heating Set Point	21.11 °C
Cooling Set Point	23.33 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%

ภาพ 43 ข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ในโปรแกรม Autodesk Revit

ตาราง 16 ผลวิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด

แนวทาง การปรับปรุง	ขนาดเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งอาคาร (Btu/hr)	ค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าการใช้พลังงาน ไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	ร้อยละการลดลง ของค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้า
ก่อนปรับปรุง	897,063	545,666.93	-	-
1	590,658	359,969.79	185,697.14	34%
2	598,513	362,729.98	182,936.95	33%
3	620,882	376,286.81	167,380.12	31%
4	594,070	360,037.64	185,629.29	34%
5	601,911	364,789.56	178,877.37	33%
6	626,546	379,719.44	165,947.48	30%
7	591,678	358,588.08	187,078.85	34%
8	599,533	363,348.27	182,318.66	33%
9	622,427	377,223.55	166,443.38	31%
10	747,119	452,795.16	90,871.77	17%
11	751,165	455,245.63	88,421.30	16%
12	748,299	453,508.63	90,158.30	17%
13	816,212	494,667.13	48,999.79	9%
14	817,815	495,659.02	48,007.90	9%
15	816,645	494,929.75	48,737.18	9%
16	839,246	508,627.20	35,039.73	6%
17	855,897	518,718.31	24,948.62	5%
18	891,491	540,290.13	3,376.80	1%
19	643,896	390,234.47	155,432.46	28%
20	649,771	393,795.30	149,871.62	28%
21	645,557	391,241.51	152,425.42	28%
22	667,302	404,419.92	139,247.01	26%
23	675,033	409,105.67	134,561.26	25%
24	724,166	438,882.72	104,784.20	19%
25	669,028	405,466.25	138,200.67	25%
26	676,757	410,149.94	133,516.99	25%

ตาราง 16 (ต่อ)

แนวทาง การปรับปรุง	ขนาดเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งอาคาร (Btu/hr)	ค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าการใช้พลังงาน ไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	ร้อยละการลดลง ของค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้า
27	728,220	441,359.33	102,307.60	19%
28	667,868	404,763.19	138,903.74	26%
29	675,600	409,448.94	134,217.99	25%
30	725,350	439,600.27	104,066.66	19%
31	742,983	450,286.92	93,380.01	17%
32	760,030	460,617.90	83,049.02	15%
33	796,200	482,539.19	61,127.74	11%
34	744,833	451,407.70	92,259.23	17%
35	761,848	461,720.07	81,946.86	15%
36	797,975	483,614.47	60,052.46	11%
37	743,485	450,590.89	93,076.05	17%
38	760,521	460,915.67	82,751.25	15%
39	528,681	482,830.76	60,836.17	11%

หมายเหตุ: ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เป็นค่าการใช้พลังงานต่อปีที่ลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนขนาดเครื่องปรับอากาศให้เล็กลงจากแนวทางการวิเคราะห์ผลก่อนปรับปรุง และขนาดเครื่องปรับอากาศรวมทั้งอาคาร (Btu/hr) ได้จากการแปลงค่า peak cooling load เป็นพลังงานที่เครื่องปรับอากาศต้องทำเพื่อกำจัด Cooling load นี้

จากผลการวิจัยที่แสดงในตาราง แนวทางที่ส่งผลให้เกิดการลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ **แนวทางที่ 1** ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง **185,697.14 บาทต่อปี** หรือคิดเป็น **34%** ซึ่งเป็นการปรับปรุงทั้งผนังทึบ หลังคา ด้วยฉนวนใยแก้ว และผนังโปร่งใสด้วยกระจก Low_E

และเมื่อวิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดแยกตามกลุ่มการปรับปรุงจะได้ผลการปรับปรุงดังนี้

กลุ่มที่ 1: ปรับปรุงผนังทึบ, หลังคา และผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 1-9) ในกลุ่มนี้ การปรับปรุงทุกแนวทางสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 30% - 34% ซึ่งเป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการประหยัดพลังงานโดยรวม

กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ (แนวทางที่ 10-12) แนวทางการปรับปรุงผนังทึบเพียงอย่างเดียว ให้ผลการลดค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 16% - 17% ซึ่งแนวทางที่ 10 (ฉนวนใยแก้ว) เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 90,871.77 บาทต่อปี หรือ 17%

กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบหลังคา (แนวทางที่ 13-15) การปรับปรุงเฉพาะหลังคาให้ผลการประหยัดพลังงานในระดับที่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างชัดเจน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 9% ซึ่งแนวทางที่ 13 (ฉนวนใยแก้ว) เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 48,999.79 บาทต่อปี หรือ 9%

กลุ่มที่ 4: ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 16-18) การปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใสให้ผลประหยัดพลังงานในระดับที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ โดยเฉพาะ แนวทางที่ 18 (กระจกสี) ซึ่งลดค่าใช้จ่ายได้เพียง 3,376.80 บาทต่อปี หรือ 1% เท่านั้น ในขณะที่ แนวทางที่ 16 (กระจก Low_e) เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 35,039.73 บาทต่อปี หรือ 6%

กลุ่มที่ 5: ปรับปรุงผนังทึบและระบบหลังคา (แนวทางที่ 19-21) การปรับปรุงทั้งผนังทึบและหลังคาให้ผลการประหยัดพลังงานที่ดี โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 26%-28% ซึ่ง แนวทางที่ 19 เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 155,432.46 บาทต่อปี หรือ 28%

กลุ่มที่ 6: ปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 22-30) กลุ่มนี้มีผลการประหยัดพลังงานที่หลากหลาย โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 19%-26% ซึ่ง แนวทางที่ 28 เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 138,903.74 บาทต่อปี หรือ 26%

กลุ่มที่ 7: ปรับปรุงระบบหลังคาและผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 31-39) การปรับปรุงกลุ่มนี้ให้ผลการประหยัดพลังงานในระดับปานกลาง โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 11%-17% ซึ่ง แนวทางที่ 31 เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 93,380.01 บาทต่อปี หรือ 17%

เมื่อเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานระหว่าง กลุ่มที่ 2 (ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ) กลุ่มที่ 3 (ปรับปรุงเฉพาะหลังคา) และกลุ่มที่ 4 (ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส) พบว่า:

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลการประหยัดพลังงานมากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 17%

กลุ่มที่ 3 ให้ผลการประหยัดพลังงานในระดับรองลงมา โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 9%

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มที่ให้ผลการประหยัดพลังงาน **น้อยที่สุด** โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 6%

จากข้อมูลจะเห็นว่าการปรับปรุง ผนังทึบ เพียงอย่างเดียวส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้มากกว่าการปรับปรุงหลังคาหรือผนังโปร่งใสเพียงอย่างเดียวอย่างชัดเจน

แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการลดลงของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า กับค่าวัสดุที่ใช้ปรับปรุงเพื่อคาดการณ์ค่าความคุ้มค่าในการเลือกปรับปรุง โดยพิจารณาตามข้อมูลพื้นที่ที่เลือกปรับปรุง วัสดุตั้งและราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงนี้

ตาราง 17 พื้นที่ปรับปรุงวัสดุอาคารสำนักงาน

	จำนวน	หน่วย
ผนัง	675	ตร.ม.
ระบบหลังคา	817.5	ตร.ม.
ผนังโปร่งใส	134.5	ตร.ม.

ตาราง 18 ราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุง

	ราคาต่อหน่วย	
ฉนวนใยแก้ว	180	บาท/ตร.ม.
ฉนวนใยหิน	250	บาท/ตร.ม.
ฉนวนโพลียูเรเทน	400	บาท/ตร.ม.
กระจก Low-E	5500	บาท/ตร.ม.
กระจกสะท้อนแสง	3500	บาท/ตร.ม.
กระจกสี	1500	บาท/ตร.ม.

หมายเหตุ: การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะใช้ราคาเฉลี่ยจากข้อมูลที่รวบรวมมา ข้อมูลราคาวัสดุอ้างอิง

จาก CHILL FLOW, 2025; หจก. เจริญ เมทัล อิงค์ อ่างทอง, 2568, Wazzadu, 2568;

Global House, 2025 ตามรายการบรรณานุกรมท้ายเอกสาร

ตาราง 19 อัตราส่วนราคาวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงอาคารสำนักงาน

แนวทางการปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงาน ไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	ราคาของวัสดุที่ใช้ ปรับปรุง (บาท)	อัตราส่วนราคาของวัสดุ ที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้ พลังงานที่ลดลง
1	185,697.14	1,008,147	5.4
2	182,936.95	739,239	4.1
3	167,380.12	470,331	2.8
4	185,629.29	1,112,622	6.1
5	178,877.37	843,714	4.7
6	165,947.48	574,806	3.5
7	187,078.85	1,336,497	7.2
8	182,318.66	1,067,589	5.9
9	166,443.38	798,681	4.8
10	90,871.77	121,500	1.3
11	88,421.30	168,750	1.9
12	90,158.30	270,000	3.0
13	48,999.79	147,150	3.0
14	48,007.90	204,375	4.3
15	48,737.18	327,000	6.7
16	35,039.73	739,497	21.1
17	24,948.62	470,589	18.9
18	3,376.80	201,681	59.7
19	155,432.46	268,650	1.8
20	149,871.62	373,125	2.5
21	152,425.42	597,000	3.9
22	139,247.01	860,997	6.2
23	134,561.26	592,089	4.4
24	104,784.20	323,181	3.1
25	138,200.67	908,247	6.6
26	133,516.99	639,339	4.8

ตาราง 19 (ต่อ)

แนวทางการปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงาน ไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	ราคาของวัสดุที่ใช้ ปรับปรุง (บาท)	อัตราส่วนราคาของวัสดุ ที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้ พลังงานที่ลดลง
27	102,327.60	370,431	3.6
28	138,903.74	1,009,497	7.3
29	134,217.99	740,589	5.5
30	104,066.66	471,681	4.5
31	93,380.01	886,647	9.5
32	83,049.02	617,739	7.4
33	61,127.74	348,831	5.7
34	92,259.23	943,872	10.2
35	81,946.86	674,964	8.2
36	60,052.46	406,056	6.8
37	93,076.03	1,066,497	11.5
38	82,751.25	797,589	9.6
39	60,836.17	528,681	8.7

หมายเหตุ: อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบความคุ้มค่าในการเลือกลงทุนปรับปรุง เนื่องจากราคาวัสดุเป็นส่วนค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการปรับปรุง

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าระยะยาวต้องการลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูง และมีอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงที่เหมาะสม จะทำการเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ลดลงต่อปี มากที่สุด 5 อันดับแรก จะได้แนวทางที่น่าสนใจดังนี้

ตาราง 20 แนวทางการปรับปรุงที่ให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปีมากที่สุด 5 อันดับ

แนวทางการปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่	อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุง
	ลดลง (บาท/ปี)	ต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลง
7	187,078.85	7.2
1	185,697.14	5.4
4	185,629.29	6.1
2	182,936.95	4.1
8	182,318.66	5.9

เมื่อพิจารณาเรื่องระยะเวลาการคืนทุนเพิ่มเติมจะเห็นว่าแนวทางที่ 2 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังและหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้วและปรับปรุงผนังโปร่งใสด้วยกระจกสะท้อนแสง เป็นแนวทางที่น่าสนใจที่สุด เนื่องจากให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี มากอยู่ในอันดับต้น ๆ และให้ระยะเวลาการคืนทุนน้อยที่สุดในกลุ่มนี้

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงในขณะนี้ ยังคงสามารถลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูง ดังนั้นจึงพิจารณาอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อยที่สุด 5 อันดับแรก ได้แนวทางที่น่าสนใจดังนี้

ตาราง 21 แนวทางการปรับปรุงที่ให้อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อยที่สุด 5 อันดับแรก

แนวทางการปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่	อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุง
	ลดลง (บาท/ปี)	ต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลง
3	167,380.12	2.8
10	90,873.77	1.3
11	88,421.30	1.9
19	153,432.46	1.8
20	149,871.62	2.5

และเมื่อพิจารณาเรื่องค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเพิ่มเติมจะเห็นว่าแนวทางที่ 3 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังและหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว และเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสี เป็นแนวทางที่น่าสนใจที่สุดเนื่องจากอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อยอยู่ในอันดับต้น ๆ และให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี มากที่สุดในกลุ่มนี้

2. อาคารโรงพยาบาล แบบมาตรฐานเลขที่ 10946 กองแบบแผน

เพื่อให้วิเคราะห์ผลแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ ผู้วิจัยจึงทำการเขียนแบบจำลองสามมิติอาคารโดยอ้างอิงข้อมูลของอาคารตามข้อมูลแบบมาตรฐานอาคารโรงพยาบาล 3 ชั้น แบบมาตรฐานเลขที่ 10946 กองแบบแผนและสรุปข้อมูลของแบบจำลองอาคารได้ดังนี้

- พื้นที่ใช้สอยอาคารรวม 2,688 ตร.ม.
- พื้นที่ปรับอากาศรวม 1,358 ตร.ม.
- พื้นที่ไม่ปรับอากาศรวม 1,330 ตร.ม.
- ที่พิกัดที่ตั้ง Latitude: 13.835247° Longitude: 100.607986° (เป็นพิกัดที่ใช้แทน

การวิเคราะห์ผลตำแหน่งกรุงเทพฯ ในงานวิจัยนี้)

- Angle to True North ที่ 0 องศา

- กำหนดลักษณะการใช้งานอาคารในโปรแกรม Autodesk Revit เป็น Hospital or Healthcare

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	10.000 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	12.92 W/m ²
Power Load Density	17.22 W/m ²
Infiltration Airflow per area	0.19 L/(s·m ²)
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Health-Care Facility Occupancy - 8 AM to 9 P
Lighting Schedule	Office Lighting - 6 AM to 11 PM
Power Schedule	Office Lighting - 6 AM to 11 PM
Outdoor Air per Person	0.00 L/s
Outdoor Air per Area	0.00 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	2.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Opening Time	1:00
Closing Time	0:00
Unoccupied Cooling Set Point	27.78 °C
Heating Set Point	21.11 °C
Cooling Set Point	23.33 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%

ภาพ 44 ข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารโรงพยาบาล ในโปรแกรม Autodesk Revit

ตาราง 22 ผลวิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคารโรงพยาบาล

แนวทาง การปรับปรุง	ขนาดเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งอาคาร (Btu/hr)	ค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้าที่ ลดลง (บาท/ปี)	ร้อยละการลดลง ของค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้า
ก่อนปรับปรุง	586,137	355,229.89		-
1	473,456	286,939.11	68,290.77	19%
2	478,458	289,970.58	65,259.30	18%
3	488,517	296,066.61	59,163.28	17%
4	477,762	289,548.74	65,681.15	18%
5	482,733	292,561.60	62,668.29	18%
6	492,734	298,622.47	56,607.42	16%
7	477,257	289,242.70	65,987.19	19%
8	482,232	292,257.63	62,972.26	18%
9	492,239	298,322.63	56,907.25	16%
10	542,361	328,699.36	26,530.53	7%
11	542,590	328,837.91	26,391.98	7%
12	542,774	328,949.57	26,280.32	7%
13	518,088	313,988.67	41,241.22	12%
14	521,695	316,174.39	39,055.50	11%
15	521,238	315,897.30	39,332.59	11%
16	554,163	335,852.06	19,377.83	5%
17	559,138	338,866.98	16,362.90	5%
18	569,139	344,927.85	10,302.03	3%
19	493,191	298,899.56	56,330.32	16%
20	496,037	300,624.15	54,605.74	15%
21	495,869	300,522.83	54,707.06	15%
22	542,924	329,040.56	26,189.33	7%
23	547,913	332,063.75	23,166.13	7%
24	557,944	338,143.24	17,086.65	5%
25	543,491	329,383.82	25,846.07	7%
26	548,479	332,407.02	22,822.87	6%
27	558,507	338,484.43	16,745.46	5%

ตาราง 22 (ต่อ)

แนวทาง การปรับปรุง	ขนาดเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งอาคาร (Btu/hr)	ค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าการใช้พลังงาน ไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	ร้อยละการลดลง ของค่าการใช้ พลังงานไฟฟ้า
28	543,463	329,367.28	25,862.61	7%
29	548,452	332,390.47	22,839.41	6%
30	558,480	338,467.89	16,762.00	5%
31	483,917	293,279.14	61,950.74	17%
32	488,905	296,302.34	58,927.54	17%
33	498,937	302,381.82	52,848.06	15%
34	487,687	295,564.12	59,665.77	17%
35	492,648	298,570.77	56,659.11	16%
36	502,622	304,615.10	50,614.78	14%
37	487,210	295,274.62	59,955.27	17%
38	492,174	298,283.34	56,946.54	16%
39	502,154	304,331.81	50,898.08	14%

หมายเหตุ: ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เป็นค่าการใช้พลังงานต่อปีที่ลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนขนาดเครื่องปรับอากาศให้เล็กลงจากแนวทางการวิเคราะห์ผลก่อนปรับปรุง และขนาดเครื่องปรับอากาศรวมทั้งอาคาร (Btu/hr) ได้จากการแปลงค่า peak cooling load เป็นพลังงานที่เครื่องปรับอากาศต้องทำเพื่อกำจัด Cooling load นี้

จากผลการวิจัยที่แสดงในตาราง แนวทางที่ส่งผลให้เกิดการลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ **แนวทางที่ 1** ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง **68,290.77 บาทต่อปี** หรือคิดเป็น **19%** ซึ่งเป็นการปรับปรุงทั้งผนังทึบ หลังคา ด้วยฉนวนใยแก้ว และผนังโปร่งใสด้วยกระจก Low_E

และเมื่อวิเคราะห์ผลการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดแยกตามกลุ่มการปรับปรุงจะได้ผลการปรับปรุงดังนี้

กลุ่มที่ 1: ปรับปรุงผนังทึบ, หลังคา และผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 1-9)

ในกลุ่มนี้ การปรับปรุงทุกแนวทางสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 16%-19% ซึ่งเป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการประหยัดพลังงานโดยรวม โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 68,290.77 บาทต่อปี

กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ (แนวทางที่ 10-12)

แนวทางการปรับปรุงผนังทึบเพียงอย่างเดียวให้ผลการลดค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 7% ซึ่งแนวทางที่ 10 (ฉนวนใยแก้ว) เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 26,530.53 บาทต่อปี

กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบหลังคา (แนวทางที่ 13-15)

การปรับปรุงเฉพาะหลังคาให้ผลการประหยัดพลังงานในระดับที่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างชัดเจน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 11%-12% ซึ่งแนวทางที่ 13 (ฉนวนใยแก้ว) เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 41,241.22 บาทต่อปี

กลุ่มที่ 4: ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 16-18)

การปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใสให้ผลประหยัดพลังงานในระดับที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ โดยเฉพาะแนวทางที่ 18 (กระจกสี) ซึ่งลดค่าใช้จ่ายได้เพียง 10,302.03 บาทต่อปี หรือ 3% เท่านั้น ในขณะที่แนวทางที่ 16 (กระจก Low_e) เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 19,377.83 บาทต่อปี หรือ 5%

กลุ่มที่ 5: ปรับปรุงผนังทึบและระบบหลังคา (แนวทางที่ 19-21)

การปรับปรุงทั้งผนังทึบและหลังคาให้ผลการประหยัดพลังงานที่ดี โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 15%-16% ซึ่งแนวทางที่ 19 เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 56,330.32 บาทต่อปี

กลุ่มที่ 6: ปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 22-30)

กลุ่มนี้มีผลการประหยัดพลังงานที่หลากหลาย โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 5%-7% ซึ่งแนวทางที่ 28 เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 25,863 บาทต่อปี

กลุ่มที่ 7: ปรับปรุงระบบหลังคาและผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 31-39)

การปรับปรุงกลุ่มนี้ให้ผลการประหยัดพลังงานในระดับปานกลาง โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงอยู่ที่ 14%-17% ซึ่ง แนวทางที่ 31เป็นแนวทางที่ให้ผลประหยัดสูงสุดในกลุ่มนี้ โดยลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 61,950.74 บาทต่อปี

เมื่อเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานระหว่าง กลุ่มที่ 2 (ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ) กลุ่มที่ 3 (ปรับปรุงเฉพาะหลังคา) และ กลุ่มที่ 4 (ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส) พบว่า

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่ให้ผลการประหยัดพลังงาน **มากที่สุด** โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ **12%**

กลุ่มที่ 2 ให้ผลการประหยัดพลังงานในระดับรองลงมา โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ **7%**

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มที่ให้ผลการประหยัดพลังงาน **น้อยที่สุด** โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 5%

จากข้อมูลจะเห็นว่าการปรับปรุง **หลังคา** เพียงอย่างเดียวส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้มากกว่าการปรับปรุงผนังทึบหรือผนังโปร่งใสเพียงอย่างเดียวอย่างชัดเจน

แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการลดลงของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า กับค่าวัสดุที่ใช้ปรับปรุงเพื่อคาดการณ์ค่าความคุ้มค่าในการเลือกปรับปรุง โดยพิจารณาตามข้อมูลพื้นที่ที่เลือกปรับปรุงวัสดุดังในตารางต่อไปนี้ และราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงในตาราง 15

ตาราง 23 พื้นที่ปรับปรุงวัสดุอาคารสำนักงาน

	จำนวน	หน่วย
ผนัง	461.3	ตร.ม.
ระบบหลังคา	837.8	ตร.ม.
ผนังโปร่งใส	146.73	ตร.ม.

ตาราง 24 อัตราส่วนราคาวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงอาคารโรงพยาบาล

แนวทาง การปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงาน ไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	ราคาของวัสดุที่ใช้ ปรับปรุง (บาท)	อัตราส่วนราคาของวัสดุ ที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้ พลังงานที่ลดลง
1	68,290.77	1,040,853	15.2
2	65,259.30	747,393	11.5
3	59,163.28	453,933	7.7
4	65,681.15	1,131,790	17.2
5	62,668.29	838,330	13.4
6	56,607.42	544,870	9.6
7	65,987.19	1,326,655	20.1
8	62,972.26	1,033,195	16.4
9	56,907.25	739,735	13.0
10	26,530.53	83,034	3.1
11	26,391.98	115,325	4.4
12	26,280.32	184,520	7.0

ตาราง 24 (ต่อ)

แนวทาง การปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ลดลง (บาท/ปี)	ราคาของวัสดุที่ใช้ ปรับปรุง (บาท)	อัตราส่วนราคาของวัสดุ ที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้ พลังงานที่ลดลง
13	41,241.22	150,804	3.7
14	39,055.50	209,450	5.4
15	39,332.59	335,120	8.5
16	19,377.83	807,015	41.6
17	16,362.90	513,555	31.4
18	10,302.03	220,095	21.4
19	56,330.32	233,838	4.2
20	54,605.74	324,775	5.9
21	54,707.06	519,640	9.5
22	26,189.33	890,049	34.0
23	23,166.13	596,589	25.8
24	17,086.65	303,129	17.7
25	25,846.07	922,340	35.7
26	22,822.87	628,880	27.6
27	16,745.46	335,420	20.0
28	25,862.61	991,535	38.3
29	22,839.41	698,075	30.6
30	16,762.00	404,615	24.1
31	61,950.74	957,819	15.5
32	58,927.54	664,359	11.3
33	52,848.06	370,899	7.0
34	59,665.77	1,016,465	17.0
35	56,659.11	723,005	12.8
36	50,614.78	429,545	8.5
37	59,955.27	1,142,135	19.0
38	56,946.54	848,675	14.9
39	50,898.08	555,215	10.9

หมายเหตุ: อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบความคุ้มค่าในการเลือกลงทุนปรับปรุง เนื่องจากราคาวัสดุเป็นส่วนค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการปรับปรุง

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าระยะยาวต้องการลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูง และมีอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงที่เหมาะสม จะทำการเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี มากที่สุด 5 อันดับแรก จะได้แนวทางที่น่าสนใจดังนี้

ตาราง 25 แนวทางการปรับปรุงที่ให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปีมากที่สุด 5 อันดับ

แนวทางการปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ลดลง (บาท/ปี)	อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุง ต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลง
1	68,230.77	15.2
4	65,681.15	17.5
2	65,259.30	11.5
7	65,982.19	20.1
8	62,972.25	16.4

และเมื่อพิจารณาเรื่องอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเพิ่มเติมจะเห็นว่าแนวทางที่ 2 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังและระบบฝ้าหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว และปรับปรุงผนังโปร่งใสด้วยกระจกสะท้อนแสง เป็นแนวทางที่น่าสนใจที่สุดเนื่องจากให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี มากอยู่ในอันดับต้น ๆ และให้ระยะเวลาการคืนทุนน้อยที่สุดในกลุ่มนี้

เมื่อพิจารณาแนวทางที่ต้องการอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อย ในขณะที่ยังคงสามารถลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูง โดยเลือกอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อยที่สุด 5 อันดับแรก จะได้แนวทางที่น่าสนใจดังนี้

ตาราง 26 แนวทางการปรับปรุงที่ให้อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงาน
ที่ลดลงน้อยที่สุด 5 อันดับแรก

แนวทางการปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ลดลง (บาท/ปี)	อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุง ต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลง
10	26,530.53	3.1
11	26,391.98	4.4
13	41,241.22	3.7
14	39,055.50	5.4
19	56,330.32	4.2

และเมื่อพิจารณาเรื่องค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเพิ่มเติมจะเห็นว่าแนวทางที่ 19 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังและระบบฝ้าหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว เป็นแนวทางที่น่าสนใจที่สุดเนื่องจากอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลง มีค่าน้อยอยู่ในอันดับต้น ๆ และให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี มากที่สุดในกลุ่มนี้

บทที่ 5

บทสรุป

จากผลการวิจัยการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อวิเคราะห์ผลพลังงานระบบปรับอากาศอาคาร ตามแบบมาตรฐานอาคารภาครัฐ ได้วิเคราะห์และสรุปผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามผลการวิจัย ได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. สรุปผลและข้อเสนอแนะการศึกษาหาแนวทางวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศของอาคาร ด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

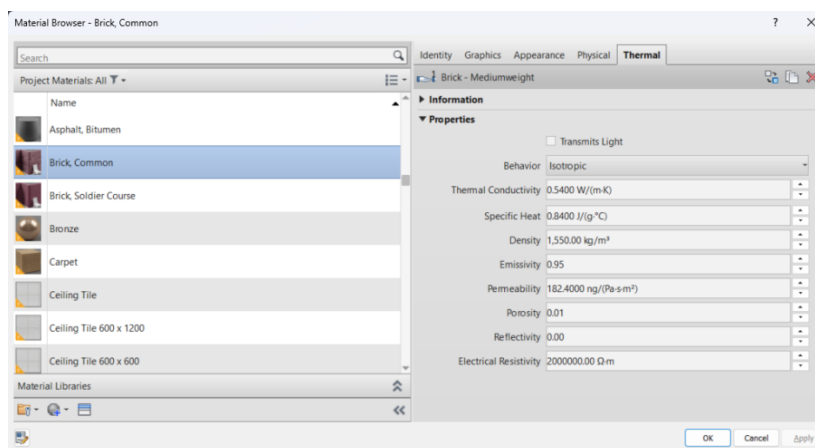
1.1 สรุปผล

การศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เพื่อวิเคราะห์ผลพลังงานระบบปรับอากาศของอาคารตามมาตรฐานอาคารภาครัฐ ได้แสดงให้เห็นว่า ระบบ BIM สามารถนำมาใช้ในการประเมินค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศต่อปีได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงโดยมีค่าความแตกต่างอยู่ที่ 6.46%

1.2 การอภิปรายผลการวิจัย

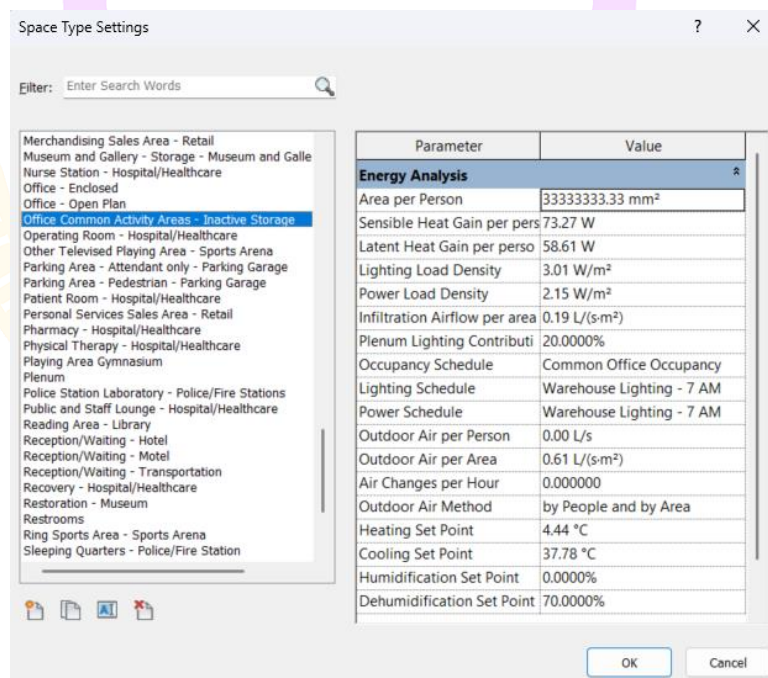
จากผลการวิจัยที่พบว่า ค่าการใช้พลังงานที่ได้จากระบบ BIM มีความแตกต่างจากโปรแกรม BEC v.1.0.6 อยู่ที่ 6.46% นั้น สามารถอภิปรายได้ว่า ระบบ BIM มีศักยภาพในการเป็นเครื่องมือประเมินพลังงานเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามความแตกต่างที่เกิดขึ้นมีสาเหตุหลักมาจากการตั้งค่ารายละเอียดของแบบจำลอง ซึ่งผู้วิจัยสามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนได้

ข้อมูลวัสดุรอบอาคาร: ในการวิจัยนี้มีการใช้คุณสมบัติของวัสดุตามที่โปรแกรม Autodesk Revit กำหนดไว้เป็นค่าตั้งต้น โดยไม่ได้ปรับแก้ให้ตรงกับข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม BEC ทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อทดสอบความง่ายในการใช้งานเบื้องต้น ซึ่งหากต้องการผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงขึ้น ผู้ใช้งานสามารถปรับแก้คุณสมบัติเชิงความร้อน (Thermal properties) ของวัสดุในโปรแกรมได้



ภาพ 45 การกำหนดข้อมูลด้านพลังงานให้กับวัสดุในโปรแกรม Autodesk Revit

ข้อมูลพื้นที่การใช้งาน: การวิเคราะห์ในครั้งนี้นำการกำหนดลักษณะการใช้งานอาคาร (Space Type) ตามฐานข้อมูลมาตรฐาน ASHRAE ซึ่งโปรแกรม Autodesk Revit ดึงข้อมูลมาใช้อัตโนมัติ โดยไม่ได้กำหนดข้อมูลอย่างละเอียดตามที่ใช้ในโปรแกรม BEC ทั้งหมด หากมีการกำหนดรายละเอียดการใช้งานอาคารที่ตรงกันมากขึ้น คาดว่าค่าความแตกต่างของผลลัพธ์จะลดลง



ภาพ 46 ตัวอย่างข้อมูลด้านพลังงาน_หลังจากทำการกำหนดลักษณะการใช้งานอาคารในโปรแกรม Autodesk Revit

1.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับการต่อยอดในอนาคต ดังนี้

1.3.1 หากต้องการให้การศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลมีความละเอียดและแม่นยำยิ่งขึ้น ควรทำการศึกษาในส่วนของการปรับ Parameter และกำหนดค่าข้อมูลของวัสดุและพื้นที่การใช้งาน ให้ถูกต้องมากขึ้น โดยใช้มาตรฐานการตั้งค่าเดียวกันทั้งในระบบ BIM และโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

1.3.2 ผู้ใช้งานและผู้ออกแบบสามารถใช้ระบบ BIM เป็นเครื่องมือในการประเมินการใช้พลังงานของอาคารในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นได้ทันที ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานตั้งแต่ช่วงออกแบบอาคาร หากต้องการความแม่นยำที่สูงขึ้นเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในรายละเอียด ควรมีการตั้งค่าคุณสมบัติวัสดุและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ตรงตามมาตรฐานที่ต้องการอย่างครบถ้วน

2. สรุปและข้อเสนอแนะผลการศึกษาผลกระทบด้านทิศทางการวางอาคารกับภาระการทำความเย็นของอาคารตามแบบมาตรฐานภาครัฐ

2.1 สรุปผล

จากการศึกษาผลกระทบของทิศทางการวางอาคารต่อภาระการทำความเย็นของอาคารตามมาตรฐานภาครัฐ โดยทำการวิเคราะห์จากการหมุนทิศทางของแบบจำลองอาคารทุก 10 องศา สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงทิศทางการวางอาคารส่งผลต่อการลดลงของภาระการทำความเย็นต่อปีอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเปรียบเทียบจากทิศทางที่ให้ภาระการทำความเย็นสูงสุดไปยังทิศทางที่ให้ภาระการทำความเย็นต่ำสุด พบว่า

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด: ทิศที่เหมาะสมที่สุดคือ ทิศ 0 องศา ซึ่งเป็นทิศเริ่มต้นวิเคราะห์ผลลักษณะอาคารหันด้านหน้าอาคารไปในทิศตะวันตก เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยให้หน้าอาคารเริ่มต้นที่ทิศตะวันตก เป็น Angle to True North ที่ 0 องศา ในโปรแกรม Autodesk Revit ทิศที่แย่ที่สุดคือ ทิศ 240 องศา เมื่อทำการเปรียบเทียบการปรับปรุงจากทิศที่แย่ที่สุดไปเป็นทิศที่ดีที่สุด สามารถลดภาระการทำความเย็นได้สูงสุดถึง **15%**

อาคารโรงพยาบาล: ทิศที่เหมาะสมที่สุด คือ ทิศ 280 องศา ซึ่งเป็นทิศเริ่มต้นวิเคราะห์ผลลักษณะอาคารหันด้านหน้าอาคารไปในทิศตะวันตก เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยให้หน้าอาคารเริ่มต้นที่ทิศตะวันตก เป็น Angle to True North ที่ 0 องศา ในโปรแกรม Autodesk Revit ทิศที่แย่ที่สุดคือ ทิศ 150 องศา เมื่อทำการเปรียบเทียบการปรับปรุงจากทิศที่แย่ที่สุด ไปเป็นทิศที่ดีที่สุด สามารถลดภาระการทำความเย็นได้สูงสุดถึง **27%**

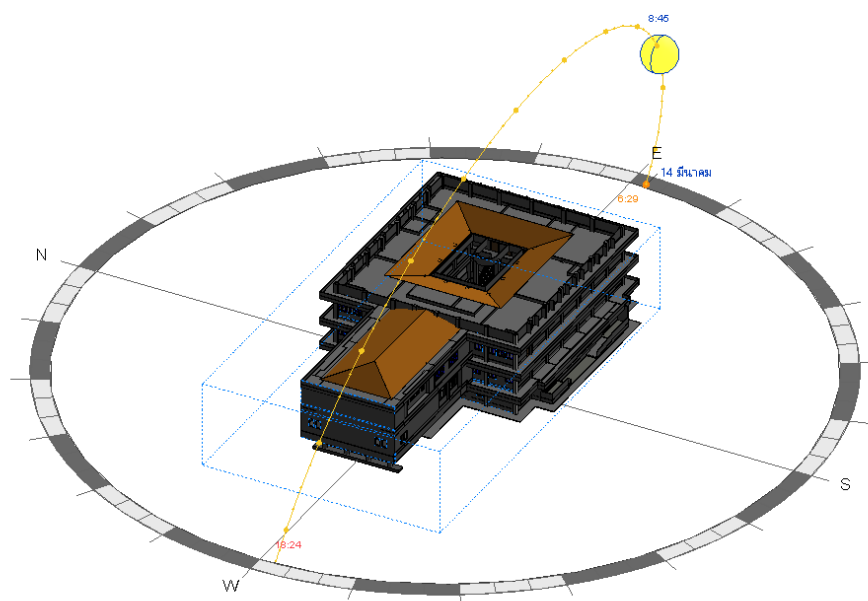
2.2 การอภิปรายผลการวิจัย

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดและอาคารเรียน

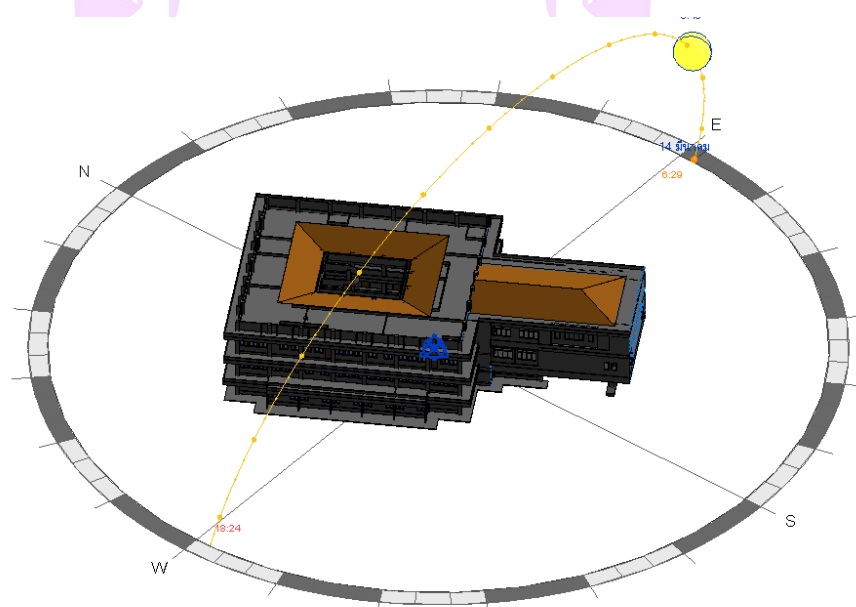
จากการวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางการวางอาคารต่อภาระการทำความเย็นพบว่า ทิศทางการวางอาคารที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งให้ค่าภาระความเย็นต่ำสุดคือ การหันด้านหน้าอาคารไปทางทิศตะวันตก (0 องศา) ในขณะที่ ทิศทางที่แย่ที่สุด ซึ่งให้ค่าภาระความเย็นสูงสุด คือ ทิศทางที่หันหน้าอาคารไปทางตะวันออกเฉียงทิศใต้ (240 องศา)

ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับหลักการออกแบบอาคารเพื่อลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยพิจารณาจากพื้นที่รับแสงของอาคารและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เนื่องจากทิศทางการวางอาคารที่เหมาะสมที่สุดนั้นมีการจัดวางให้ด้านที่มีพื้นที่รับแสงน้อยกว่า (ด้านหน้าและหลังของอาคาร) หันไปทางทิศตะวันตก ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุดโดยเฉพาะในช่วงบ่ายที่มีความเข้มของแสงแดดสูง ส่วนด้านยาวที่สุดของอาคารจะหันไปทางทิศเหนือและใต้ ซึ่งได้รับแสงอาทิตย์น้อยกว่า ส่งผลให้ความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยรวมลดลง ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดภาระความร้อนและช่วยประหยัดพลังงาน

งานวิจัยของ Jareemit and Canyookt (2021) เรื่อง “Residential cluster design and potential improvement for maximum energy performance and outdoor thermal comfort on a hot summer in Thailand” มีส่วนหนึ่งของงานวิจัยได้แสดงถึงผลกระทบของอัตราส่วนความกว้างและความยาวของอาคารและทิศทางการวางอาคาร พบว่า **การวางด้านแคบของอาคารให้อยู่ในทิศตะวันออก-ตะวันตก ทำให้เกิดค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด** เมื่อเป็นอาคารที่มีอัตราส่วนหน้าต่างต่อผนังที่เท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งนี้ที่ยืนยันว่าการจัดวางทิศทางของอาคารเพื่อลดการรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน



ภาพ 47 แบบจำลองอาคารสำนักงานสาธารณสุขที่แสดงแนวการวางอาคารที่ให้ค่าภาระการทำ
ความเย็นน้อยที่สุดหันด้านหน้าอาคารไปทาง ทิศตะวันตก (0 องศาจากทิศตะวันออก)

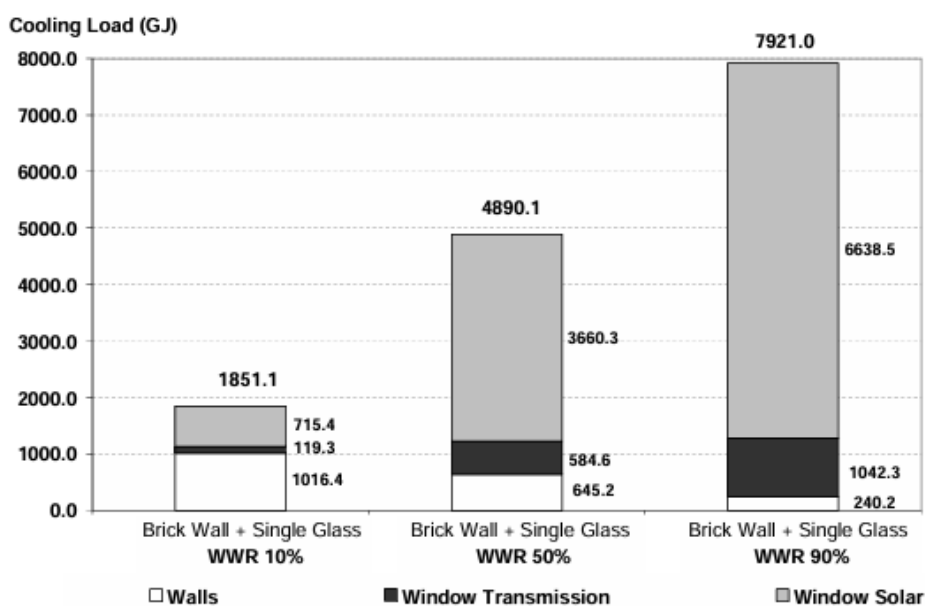


ภาพ 48 แบบจำลองอาคารสำนักงานสาธารณสุขที่แสดงแนวการวางอาคารที่ให้ค่าภาระการทำ
ความเย็นมากที่สุดหันหน้าอาคารไปทาง ตะวันตกเฉียงทิศใต้ (240 องศา
จากทิศตะวันออก)

อาคารโรงพยาบาล

จากการวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางการวางอาคารต่อภาระการทำความเย็นพบว่า ทิศทางการวางอาคารที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งให้ค่าภาระความเย็นต่ำสุดคือ การหันด้านหน้าอาคารไปทาง ทิศตะวันตก (280 องศา) ในขณะที่ ทิศทางที่แย่ที่สุด ซึ่งให้ค่าภาระความเย็นสูงสุด คือ ทิศทางที่หันหน้าอาคารไปทาง ตะวันตกเฉียงทิศใต้ (150 องศา)

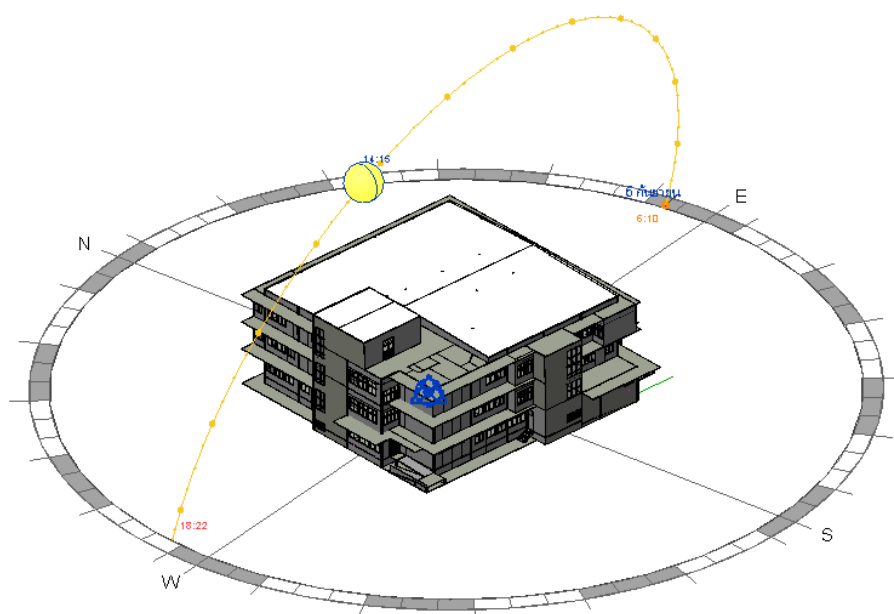
ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับหลักการออกแบบอาคารเพื่อลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากทิศทางการวางอาคารที่เหมาะสมที่สุดของแบบอาคารนี้มีความแตกต่างของด้านกว้างและด้านยาวอาคารน้อยมากนั้น จึงจะพิจารณาปัจจัยอัตราส่วนพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อผนังทึบของอาคาร จากกราฟแสดงผลการวิจัยของ ชูพงษ์ ทองคำสมุทร 2557 เรื่องการเปลี่ยนแปลงภาระการทำความเย็นของอาคารสำนักงานที่มีผลมาจากชนิดของวัสดุ และอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร กรณีศึกษา: จังหวัดขอนแก่น เมื่อพิจารณากรอบอาคารวัสดุชนิดเดียวกันปัจจัยด้านอัตราส่วนพื้นที่ผนังโปร่งใสต่อผนังทึบนั้นส่งผลอย่างมากต่อการเพิ่มขึ้นของภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในอาคาร



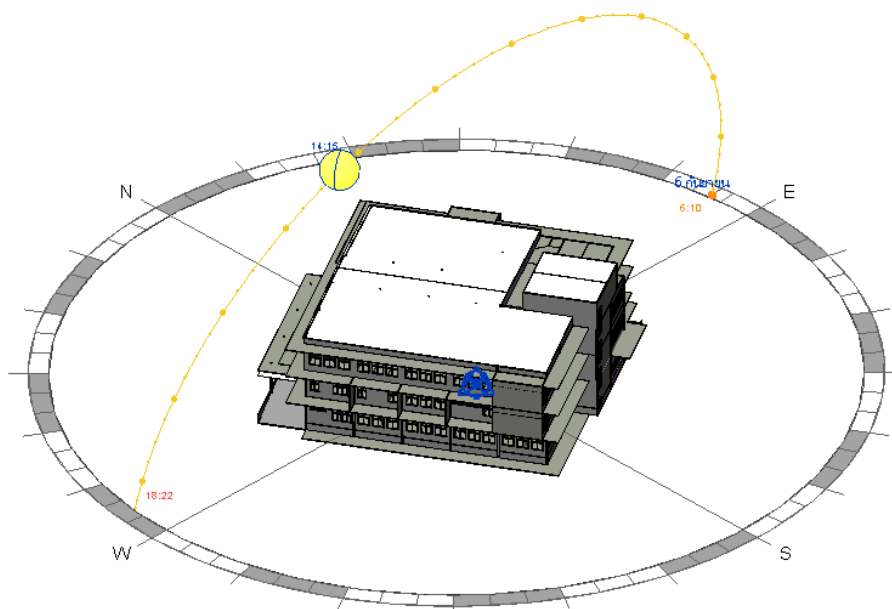
ภาพ 49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผนังอาคารกรณีใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนคู่กับกระจกใส โดยที่ WWR มีค่า 10%, 50% และ 90% ตามลำดับ

ที่มา: ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2557

ทำให้เมื่อพิจารณาจากภาพ 50 และ 51 จะเห็นว่าเมื่อแบบจำลองอาคารโรงพยาบาล หันด้านที่มีช่องเปิดมากที่สุดของอาคารไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้ จะทำให้เกิดภาระการทำความเย็นมากที่สุด



ภาพ 50 แบบจำลองอาคารโรงพยาบาลที่แสดงแนวการวางอาคารที่ให้ค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด หันด้านหน้าอาคารไปทาง ทิศตะวันตก (280 องศา จากทิศตะวันออก)



ภาพ 51 แบบจำลองอาคารโรงพยาบาลที่แสดงแนวการวางอาคารที่ให้ค่าภาระการทำความเย็นมากที่สุด หันหน้าอาคารไปทาง ตะวันตกเฉียงทิศใต้ (150 องศา จากทิศตะวันออก)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระบบแบบจำลองอาคารสารสนเทศ (BIM) สามารถวิเคราะห์ผลพลังงานระบบปรับอากาศโดยวิเคราะห์ปัจจัยลักษณะทางกายภาพของอาคารประกอบกับทิศทางของแสงอาทิตย์ที่กระทำกับลักษณะอาคารที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) กับกระบวนการวิเคราะห์ผลพลังงานระบบปรับอากาศตามงานวิจัยนี้ จึงมีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ผลพลังงานระบบปรับอากาศที่มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์จำนวนมากได้

2.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะการต่อยอดงานวิจัยเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยพิจารณาจากข้อจำกัดที่พบในการวิจัยครั้งนี้เป็นหลัก การวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาปัจจัยด้านอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นเพิ่มเติม เช่น อาคารข้างเคียง, สิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือเงาที่เกิดขึ้นจากต้นไม้ และโครงสร้างอื่น ๆ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความใกล้เคียงกับสภาพของโครงการจริง

3. สรุปและข้อเสนอแนะผลการศึกษากำหนดแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

3.1 สรุปผล

ผลการวิจัยในส่วนนี้จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผลการศึกษากำหนดแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศในอาคารของหน่วยงานภาครัฐ 2 แห่ง ได้แก่

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด

ตาราง 27 สรุปผลแนวทางการปรับปรุงที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มการปรับปรุงอาคารสำนักงาน

สาธารณสุขจังหวัด

	แนวทาง การปรับปรุง	ลดค่าใช้จ่ายได้ (บาท/ปี)	ลดใช้พลังงาน (%)
กลุ่มที่ 1: ปรับปรุงผนังทึบ, หลังคา และผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 1-9)	แนวทางที่ 1	185,697	34%
กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ (แนวทางที่ 10-12)	แนวทางที่ 10	90,874	17%
กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบ หลังคา (แนวทางที่ 13-15)	แนวทางที่ 13	49,000	9%
กลุ่มที่ 4: ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 16-18)	แนวทางที่ 16	35,040	6%

ตาราง 27 (ต่อ)

	แนวทาง การปรับปรุง	ลดค่าใช้จ่ายได้ (บาท/ปี)	ลดใช้พลังงาน (%)
กลุ่มที่ 5: ปรับปรุงผนังทึบและระบบ หลังคา (แนวทางที่ 19-21)	แนวทางที่ 19	153,432	28%
กลุ่มที่ 6: ปรับปรุงผนังทึบและผนัง โปร่งใส (แนวทางที่ 22-30)	แนวทางที่ 28	138,904	26%
กลุ่มที่ 7: ปรับปรุงระบบหลังคาและ ผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 31-39)	แนวทางที่ 31	93,380	17%

แนวทางที่มีการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าสูงสุด คือ แนวทางที่ 1 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังและระบบหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว และปรับปรุงผนังโปร่งใสด้วยกระจก Low_E อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเท่ากับ 5 ลดการใช้พลังงานอาคารได้ถึง 34% โดยที่ใช้ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง 1,008,147 บาท

แนวทางที่มีอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อยที่สุด คือ แนวทางที่ 10 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเท่ากับ 1.3 ลดการใช้พลังงานอาคารได้ถึง 17% โดยที่ใช้ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง 121,500 บาท

แนวทางที่แนะนำต้องการลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูงและมี อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงที่เหมาะสม คือแนวทางที่ 2 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารส่วนผนังกับหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้วและปรับปรุงผนังโปร่งใสด้วยกระจกสะท้อนแสง อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเท่ากับ 4.1 ลดการใช้พลังงานอาคารได้ถึง 34% โดยที่ใช้ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง 739,239 บาท

แนวทางที่แนะนำเมื่อต้องการ อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อย ในขณะที่ยังคงสามารถลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูง คือ แนวทางที่ 3 เป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังและหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว และเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสี อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลง 2.8 ลดการใช้พลังงานอาคารได้ถึง 31% โดยที่ใช้ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง 470,331 บาท

กลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบ ที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด ได้แก่ กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ (แนวทางที่ 10-12) เป็นกลุ่มที่ให้ผลการประหยัดพลังงาน

มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 3 และ 4 ที่เป็นกลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบ เหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 17%

กลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 2 ระบบ ที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด
ได้แก่ กลุ่มที่ 5: ปรับปรุงผนังทึบและระบบหลังคา (แนวทางที่ 19-21) เป็นกลุ่มที่ให้ผลการประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 6 และ 7 ที่เป็นกลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 2 ระบบเหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 28%

อาคารโรงพยาบาล แบบมาตรฐานเลขที่ 10946 กองแบบแผน

ตาราง 28 สรุปผลแนวทางการปรับปรุงอาคารโรงพยาบาล แบบมาตรฐานเลขที่ 10946

	แนวทาง การปรับปรุง	ลดค่าใช้จ่ายได้ (บาท/ปี)	ลดใช้พลังงาน (%)
กลุ่มที่ 1: ปรับปรุงผนังทึบ, หลังคา และผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 1-9)	แนวทางที่ 1	68,291	19%
กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ (แนวทางที่ 10-12)	แนวทางที่ 10	26,531	7%
กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบ หลังคา (แนวทางที่ 13-15)	แนวทางที่ 13	41,241	12%
กลุ่มที่ 4: ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 16-18)	แนวทางที่ 16	19,378	5%
กลุ่มที่ 5: ปรับปรุงผนังทึบและระบบ หลังคา (แนวทางที่ 19-21)	แนวทางที่ 19	56,330	16%
กลุ่มที่ 6: ปรับปรุงผนังทึบและผนัง โปร่งใส (แนวทางที่ 22-30)	แนวทางที่ 28	25,863	7%
กลุ่มที่ 7: ปรับปรุงระบบหลังคาและ ผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 31-39)	แนวทางที่ 31	61,951	17%

แนวทางที่มีการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าสูงสุด คือ แนวทางที่ 1 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังและระบบหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว และปรับปรุงผนังโปร่งใสด้วยกระจก Low_E อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเท่ากับ 15.2 ลดการใช้พลังงานอาคารได้ถึง 19% โดยใช้ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง 11,040,853 บาท

แนวทางที่มีอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อยที่สุด คือ แนวทางที่ 10 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเท่ากับ 3.1 ลดการใช้พลังงานอาคารได้ถึง 7% โดยใช้ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง 83,034 บาท

แนวทางที่แนะนำต้องการลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูงและมีอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงที่เหมาะสม คือแนวทางที่ 2 ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารส่วนผนังกับหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้วและปรับปรุงผนังโปร่งใสด้วยกระจกสะท้อนแสง อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเท่ากับ 11.5 ลดการใช้พลังงานอาคารได้ถึง 18% โดยใช้ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง 747,393 บาท

แนวทางที่แนะนำเมื่อต้องการ อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อย ในขณะที่ยังคงสามารถลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูง คือ แนวทางที่ 19 เป็นการปรับปรุงอาคารในส่วนผนังและหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนใยแก้ว อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลง 4.2 ลดการใช้พลังงานอาคารได้ถึง 16% โดยใช้ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง 233,838 บาท

กลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบ ที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด ได้แก่ กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบหลังคา (แนวทางที่ 13-15) เป็นกลุ่มที่ให้ผลการประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 2 และ 4 ที่เป็นกลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบเหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 12%

กลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 2 ระบบ ที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด ได้แก่ กลุ่มที่ 7: ปรับปรุงระบบหลังคาและผนังโปร่งใส (แนวทางที่ 31-39) เป็นกลุ่มที่ให้ผลการประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 6 และ 7 ที่เป็นกลุ่มการปรับปรุงครั้งละ 2 ระบบเหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 17%

อภิปรายผลการวิจัย

1. การอภิปรายแนวทางที่ได้จากการปรับปรุงกรอบอาคาร

รายละเอียดของผลที่ได้จากงานวิจัยส่วนนี้อภิปรายผลการวิจัยด้านผลการศึกษการแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศอธิบายผลการวิจัยเปรียบเทียบระหว่างอาคารสำนักงานและอาคารโรงพยาบาล

แนวทางที่มีการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

อาคารสำนักงาน: แนวทางที่ 1 (ปรับปรุงผนังทึบ, หลังคา, และผนังโปร่งใสด้วยกระจก Low_E) สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 34%

อาคารโรงพยาบาล: แนวทางที่ 1 (ปรับปรุงผนังทึบ, หลังคา, และผนังโปร่งใสด้วยกระจก Low_E) สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 19% โดยมีต้นทุน 1,040,853 บาท

แนวทางที่มีอัตราส่วนราคาของวัสดุต่อค่าใช้จ่ายพลังงานที่ลดลงน้อยที่สุด

อาคารสำนักงาน: แนวทางที่ 10 (ปรับปรุงผนังทึบด้วยฉนวนใยแก้ว) ให้ผลประหยัดพลังงาน 17% โดยมีต้นทุน 121,500 บาท

อาคารโรงพยาบาล: แนวทางที่ 10 (ปรับปรุงผนังทึบด้วยฉนวนใยแก้ว) ให้ผลประหยัดพลังงาน 7% โดยมีต้นทุน 63,034 บาท

แนวทางที่แนะนำต่อการลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้ในระดับสูงและมีอัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเหมาะสม

อาคารสำนักงาน: แนวทางที่ 2 (ปรับปรุงผนังทึบด้วยฉนวนใยแก้วและผนังโปร่งใสด้วยกระจกสะท้อนแสง) ให้ผลประหยัดพลังงาน 34% โดยมีต้นทุน 739,239 บาท

อาคารโรงพยาบาล: แนวทางที่ 2 (ปรับปรุงผนังทึบด้วยฉนวนใยแก้วและผนังโปร่งใสด้วยกระจกสะท้อนแสง) ให้ผลประหยัดพลังงาน 18% โดยมีต้นทุน 747,393 บาท

แนวทางที่แนะนำเมื่อต้องการ อัตราส่วนราคาของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงน้อย ในขณะที่ยังคงสามารถลดการใช้พลังงานได้ในระดับสูง

อาคารสำนักงาน: แนวทางที่ 3 (ปรับปรุงผนังทึบด้วยฉนวนใยแก้วและผนังโปร่งใสด้วยกระจกสี) ให้ผลประหยัดพลังงาน 31% โดยมีต้นทุน 470,331 บาท

อาคารโรงพยาบาล: แนวทางที่ 19 (ปรับปรุงผนังทึบด้วยฉนวนใยแก้ว) ให้ผลประหยัดพลังงาน 16% โดยมีต้นทุน 233,838 บาท

กลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบ ที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด

อาคารสำนักงาน: กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ (แนวทางที่ 10-12) ให้ผลการประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 3 และ 4 ที่เป็นกลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบเหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 17%

อาคารโรงพยาบาล: กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบหลังคา (แนวทางที่ 13-15) ให้ผลการประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 2 และ 4 ที่เป็นกลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบเหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 12%

กลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 2 ระบบ ที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด

อาคารสำนักงาน: กลุ่มที่ 2: ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ (แนวทางที่ 10-12) ให้ผลการประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 3 และ 4 ที่เป็นกลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบเหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 17%

อาคารโรงพยาบาล:กลุ่มที่ 3: ปรับปรุงเฉพาะระบบหลังคา (แนวทางที่ 13-15) ให้ผลการประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 2 และ 4 ที่เป็นกลุ่มการปรับปรุงที่ปรับปรุงครั้งละ 1 ระบบเหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดที่ 12%

ข้อสังเกต

การปรับปรุงอาคารสำนักงานให้ผลการประหยัดพลังงานโดยรวมสูงกว่าอาคารโรงพยาบาลอย่างชัดเจนในทุกแนวทาง เนื่องจากพื้นที่ปรับอากาศของอาคารสำนักงานมากกว่าพื้นที่ปรับอากาศของอาคารโรงพยาบาล อีกทั้งผลการปรับปรุงกรอบอาคารขึ้นอยู่กับข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารที่แตกต่างกัน รวมถึงรูปแบบทางกายภาพของอาคารที่แตกต่างกัน

สำหรับอาคารสำนักงาน การปรับปรุง **ผนังทึบ** เพียงอย่างเดียวให้ผลดีที่สุดในกลุ่มปรับปรุงเฉพาะส่วน เนื่องจากอาคารสำนักงานมีอัตราส่วนภาระการทำความเย็นในส่วนผนังมากที่สุด สังเกตได้จากรายงานการวิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Revit ของอาคารดังแสดงในรูปรายงานส่วนการแสดงผล ภาระการทำความเย็นแยกตามองค์ประกอบอาคาร ดังนี้

Cooling Components	Total (W)	Percentage
Wall	87,390	33.79%
Window	73,053	28.24%
Door	1,178	0.46%
Roof	0	0.00%
Skylight	0	0.00%
Partition	0	0.00%
Infiltration	0	0.00%
Ventilation	20,569	7.95%
Lighting	11,232	4.34%
Power	18,167	7.02%
People	6,266	2.42%
Plenum	34,780	13.45%
Fan Heat	6,028	2.33%
Reheat	0	0.00%
Total	258,663	100%

ภาพ 52 ผลภาระการทำความเย็นแยกตามองค์ประกอบอาคาร (อาคารสำนักงาน)

สำหรับอาคารโรงพยาบาล การปรับปรุง **หลังคา** เพียงอย่างเดียวให้ผลการลดการใช้พลังงานมากที่สุดในกลุ่มปรับปรุงเฉพาะส่วน เนื่องจากอาคารโรงพยาบาลมีอัตราส่วนภาระการทำความเย็นในส่วนพื้นที่หน้าต่างมากที่สุด และพื้นที่ใต้หลังคา (Plenum) มากกว่าส่วนผนังทึบ ประกอบกับการปรับปรุงฝ้าส่งผลต่อการลดลงของภาระการทำความเย็นที่มาจากพื้นที่ใต้หลังคา

(Plenum) มากกว่าส่วนที่มาจากหน้าต่าง สังเกตได้จากรายงานการวิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Revit ของอาคารดังแสดงในรูปรายงานส่วนการแสดงผลภาระการทำความเย็น แยกตามองค์ประกอบอาคาร ดังนี้

Cooling Components	Total (W)	Percentage
Wall	28,217	16.43%
Window	68,364	39.80%
Door	147	0.09%
Roof	451	0.26%
Skylight	0	0.00%
Partition	0	0.00%
Infiltration	0	0.00%
Ventilation	0	0.00%
Lighting	11,079	6.45%
Power	18,465	10.75%
People	13,300	7.74%
Plenum	28,265	16.45%
Fan Heat	3,499	2.04%
Reheat	0	0.00%
Total	171,787	100%

ภาพ 53 ผลภาระการทำความเย็นแยกตามองค์ประกอบอาคาร (อาคารโรงพยาบาล)

เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานระบบปรับอากาศมีจำนวนมาก ลักษณะกายภาพอาคาร ลักษณะการใช้งานอาคาร ที่แตกต่างกันก็จะส่งผลให้วิธีการปรับปรุงที่เหมาะสมต่างกันออกไป

ดังนั้นกระบวนการการวิเคราะห์ผลระบบปรับอากาศของอาคารที่ได้จากงานวิจัยนี้ เมื่อนำมาใช้ช่วยวิเคราะห์ผลการปรับปรุงระบบปรับอากาศจึงเป็นกระบวนการที่เหมาะสม เนื่องจากช่วยให้สามารถจัดการข้อมูลได้ง่ายขึ้น และสามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ครบถ้วน สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับเลือกปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานอาคารลง

2. การอธิบายแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ในการวิเคราะห์ผลการปรับปรุงกรอบอาคาร

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ในการวิเคราะห์ผลการปรับปรุงกรอบอาคารนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจาก BIM เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถประเมินและตัดสินใจในช่วงเริ่มต้นของการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประเด็นหลักที่ต้องพิจารณาเมื่อใช้ BIM

คือ การทำความเข้าใจว่าอาคารแต่ละประเภทมีแนวทางการปรับปรุงที่แตกต่างกันไป โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจ ได้แก่

การลดลงของภาระการทำความเย็น: BIM ช่วยในการจำลองและวิเคราะห์ผลกระทบของวัสดุและเทคนิคการปรับปรุงที่เลือกใช้ต่อภาระการทำความเย็นของอาคาร เพื่อให้สามารถเลือกแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

การลดภาระการทำความเย็นของอาคารเป็นหนึ่งในเป้าหมายสำคัญของการออกแบบเพื่อความยั่งยืนและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) โดยเฉพาะโปรแกรม Autodesk Revit มีบทบาทสำคัญในการช่วยวิเคราะห์ผลกระทบของวัสดุและเทคนิคการปรับปรุงต่อภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ผ่านการจำลองแบบจำลองอาคารทั้งในรูปแบบ 2D และ 3D ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงวิเคราะห์

Autodesk Revit ใช้โมเดลข้อมูลอาคารร่วมกับระบบวิเคราะห์ภายใน เช่น Revit Energy Analysis เพื่อคำนวณภาระการทำความเย็น โดยอ้างอิงจากปัจจัยสำคัญหลายประการ ได้แก่

1. **ข้อมูลพื้นที่ใช้งาน (Spaces):** ขนาดพื้นที่ ความสูง และการแบ่งโซน
2. **วัสดุองค์ประกอบอาคาร:** ค่าการนำความร้อน (U-value), ความหนา และประเภทวัสดุของผนัง หลังคา พื้น
3. **สภาพอากาศภายนอก:** อุณหภูมิ ความชื้น และรังสีแสงอาทิตย์
4. **ทิศทางและการรับแสงแดด:** การวางอาคารตามทิศ การแรเงา และการรับแสงโดยตรง
5. **หน้าต่างและช่องเปิด:** ขนาด ประเภทกระจก และค่าการถ่ายเทความร้อน
6. **อัตราการระบายอากาศ:** การถ่ายเทอากาศภายนอกและการหมุนเวียนภายใน
7. **ภาระภายใน:** จำนวนผู้ใช้งาน อุปกรณ์ไฟฟ้า และแสงสว่าง
8. **เวลาใช้งานอาคาร:** ตารางเวลาใช้งานพื้นที่ที่ส่งผลต่อภาระสูงสุด

การวิเคราะห์เหล่านี้ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบแนวทางการออกแบบหรือปรับปรุงอาคารได้อย่างแม่นยำ เช่น การเลือกวัสดุฉนวนที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ หรือการปรับขนาดหน้าต่างเพื่อควบคุมการรับแสงแดด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

การใช้ตารางข้อมูล (Schedules) ใน Autodesk Revit ที่เชื่อมโยงกับโมเดล 3D ยังช่วยให้สามารถดึงข้อมูลวัสดุและปริมาณมาใช้ในการคำนวณต้นทุนและประสิทธิภาพพลังงานได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจเชิงวิศวกรรมและการวางแผนงบประมาณในโครงการปรับปรุงอาคาร

การประเมินต้นทุนวัสดุในการปรับปรุงอาคารเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยข้อมูลที่ถูกต้องและครอบคลุม เพื่อให้สามารถวางแผนงบประมาณได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

ในบริบทของการใช้เทคโนโลยี BIM (Building Information Modeling) โปรแกรม Autodesk Revit มีบทบาทสำคัญในการจัดการข้อมูลวัสดุผ่านระบบโมเดล 3D ที่เชื่อมโยงกับแบบ 2D และตารางข้อมูล (Schedules) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนได้โดยตรง

1. ความสัมพันธ์ระหว่างแบบ 2D, 3D และตารางข้อมูล

แบบ 3D ใน Autodesk Revit คือโมเดลที่ประกอบด้วยองค์ประกอบทางกายภาพ เช่น ผนัง พื้น หลังคา ซึ่งแต่ละองค์ประกอบจะมีข้อมูล เช่น ประเภทวัสดุ ขนาด ปริมาณ และ รหัสสินค้า

แบบ 2D เช่น แพลน รูปด้าน และรูปตัด ถูกสร้างขึ้นจากโมเดล 3D โดยอัตโนมัติ ทำให้ข้อมูลในแบบ 2D สอดคล้องกับแบบ 3D อย่างสมบูรณ์ ตารางข้อมูล (Schedules) เป็นเครื่องมือที่ดึงข้อมูลจากโมเดลมาแสดงในรูปแบบตาราง เช่น ตารางวัสดุ ตารางหน้าต่าง ตารางพื้นที่ ซึ่งสามารถปรับแต่งให้แสดงข้อมูลที่ต้องการได้

2. การประเมินต้นทุนวัสดุผ่านตารางข้อมูล

ตารางข้อมูลสามารถแสดงปริมาณวัสดุที่ใช้ในโครงการ เช่น พื้นที่ผนัง จำนวนหน้าต่าง โดยอิงจากโมเดล 3D ที่แม่นยำ สามารถเพิ่มราคาต่อหน่วยและสูตรคำนวณต้นทุนรวมในตาราง เพื่อให้ได้มูลค่ารวมของวัสดุแต่ละประเภทเมื่อมีการปรับเปลี่ยนแบบไม่ว่าจะเป็น 2D หรือ 3D

3. ประโยชน์ในการช่วยตัดสินใจ

ช่วยเปรียบเทียบต้นทุนของแนวทางการออกแบบต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบ เช่น การใช้วัสดุชนิดต่าง ๆ หรือการเลือกหน้าต่างแบบต่าง ๆ ลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณราคา เนื่องจากข้อมูลมาจากโมเดลที่แม่นยำและเป็นปัจจุบัน สามารถ Export ตารางข้อมูลไปยัง Excel และประยุกต์ใช้ข้อมูลนั้นต่อได้

สรุปได้ว่า BIM เป็นเครื่องมือที่ดีสำหรับการออกแบบด้านพลังงานของอาคารในระยะเริ่มต้น เพราะไม่เพียงแต่ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานเบื้องต้นได้ แต่ยังช่วยจัดการข้อมูลจำนวนมากได้อย่างเป็นระบบ แก้ไขได้ง่าย และให้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจที่หลากหลาย เพื่อให้ผู้ลงทุนสามารถประเมินความคุ้มค่าได้อย่างรอบด้านและแม่นยำ

ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์ผลส่วนนี้เป็นเพียงการกำหนดข้อมูลโครงการสมมุติ ทั้งด้านตำแหน่งที่ตั้ง ข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคาร และข้อมูลด้านพลังงานของวัสดุกรอบอาคาร สำหรับการประเมินผลเบื้องต้นเท่านั้น เพื่อให้สามารถใช้ผลการวิเคราะห์กับโครงการจริงได้ควรทำการลงรายละเอียดข้อมูลของโครงการเพิ่มเติมเพื่อให้ข้อมูลของโครงการให้ถูกต้องตามรูปแบบการใช้งานจริง

บรรณานุกรม

- กนธ อินคำ. (2563). รายงานการปฏิบัติงานหลักสูตรฝึกสหกิจศึกษา: สภาวะการทำความเย็นของร้าน MOSHI MOSHI ในศูนย์การค้าเซ็นทรัลเวสต์เกต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). คู่มือเผยแพร่อาคาร ต้นแบบประหยัดพลังงานภาครัฐ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวง พลังงาน.
- กรินทร์ ภู่นวล. (2540). การปรับปรุงเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน: กรณีศึกษาอาคารสำนัก พหลโยธิน ธนาคารกสิกรไทย จำกัด (มหาชน) [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร บัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- ดลยา ศิริปฐ. (2548). แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ. นครราชสีมา [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร บัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- ทรงพล ยมนา. (2565). ทิศทางของ BIM กับความพร้อมในไทย. <https://thaibim.net/2021/01/10/bim-direction-and-preparation-in-thailand/>
- ชูพงษ์ ทองคำสมุทร. (2557). การเปลี่ยนแปลงภาระการทำความเย็นของอาคารสำนักงานที่มีผลมาจาก ชนิดของวัสดุ และอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร กรณีศึกษา: จังหวัดขอนแก่น. *สิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวิจัย*, 13(1), 99–114. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/arch-kku/article/view/45492>
- นุศรา มานะ. (2555). ผลกระทบของการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศต่อการใช้พลังงานการทำความเย็นในอาคารที่มีการติดตั้งฉนวนชนิดต่าง ๆ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร บัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- บ้านและสวน. (2565). 9 ฉนวนกันความร้อนเพื่อบ้านเย็น. <https://www.baanlaesuan.com>
- รัชนิวรรณ อังกรบุตร. (2561). การประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับ ประเทศไทย. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (หน้า 505-510). ระยอง: โรงแรมโนโวเทล จังหวัดระยอง.
- วงศียา อนุศักดิ์กุล. (2559). แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคาร ที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร บัณฑิต คณะสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร].

- ศักดิ์ดา เชื้อวนันทวงศ์. (2547). การออกแบบบ้านแถวเพื่อใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2565). ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. <http://old.2e-building.com/article.php?cat=knowledge&id=173>
- โสพิศ ชัยชนะ (2568). แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร].
- หจก. เจริญ เมทัล อิงค์ อ่างทอง. (2025). “หน้าแรก”. <https://www.หจก.เจริญเมทัลอิงค์อ่างทอง.com>.
- อุษณีย์ มิ่งวิมล. (2540). แนวทางในการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานในอาคารพักอาศัย [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- Alwetaishi, M. (2019). Impact of shading devices on the indoor energy performance for residential buildings in different climatic regions: A case study. *Energy Reports*, 5, 1159-1167. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.012>
- ASHRAE. (2013). *SI Guide for HVAC&R*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Autodesk. (2565). “Using the Heating and Cooling Loads Tool,” *Autodesk Revit 2020 Help*. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/>
- Bichiou, Y., & Krarti, M. (2011). Optimization of envelope and HVAC systems selection for residential buildings. *Energy and Buildings*, 43(12), 3373-3382. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.031>
- CHILL FLOW. (2025). “ฉนวนใยหิน Rockwool ราคาเท่าไร? เปรียบเทียบราคาและการเลือกที่ประหยัดกว่า”. <https://chill-flow.com/rockwool-price>.
- CHILL FLOW. (2025). “ฉนวนใยแก้ว SCG รีวิว คุณภาพ ราคา เปรียบเทียบ ฉนวนใยแก้ว MicroFiber ทางเลือกที่ดีกว่า”. <https://chill-flow.com/fiberglass-scg>.
- Food Network Solution. (2568). “Energy Efficiency Ratio (EER)/อัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ”. <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0897/energy-efficiency-ratio-eer>.

Jareemit, K., & Canyookt, K. (2021). Residential cluster design and potential improvement for maximum energy performance and outdoor thermal comfort on a hot summer in Thailand. *Building and Environment*, 204, 1-16.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108170>

JMHPower. (2567). "How to Convert Watts to BTU?". <https://www.jmhpower.com/how-to-convert-watts-to-btu/>.





ภาคผนวก

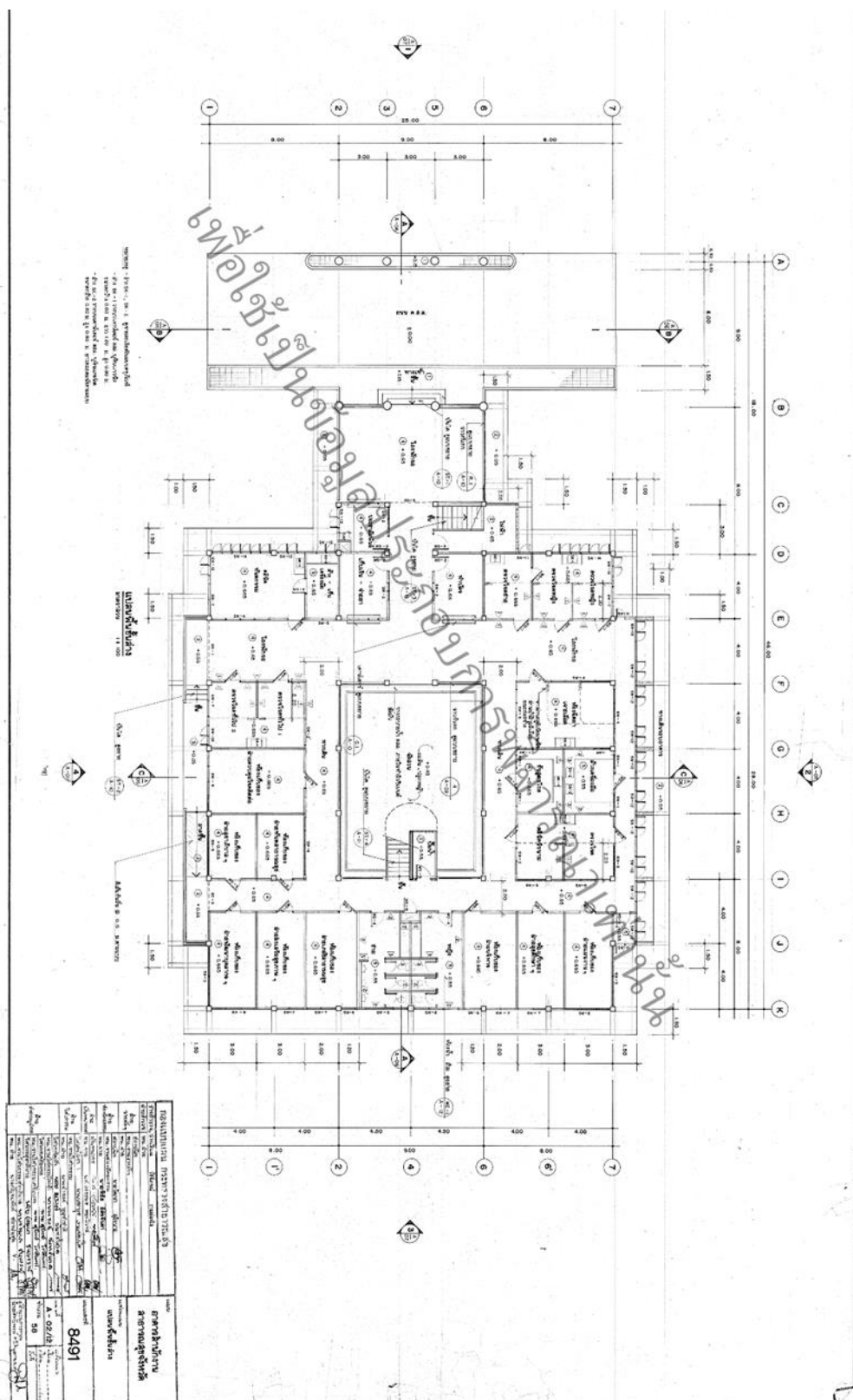
ภาคผนวก ก แบบจำลองอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์

ก.1 แบบมาตรฐานอาคารต้นแบบ

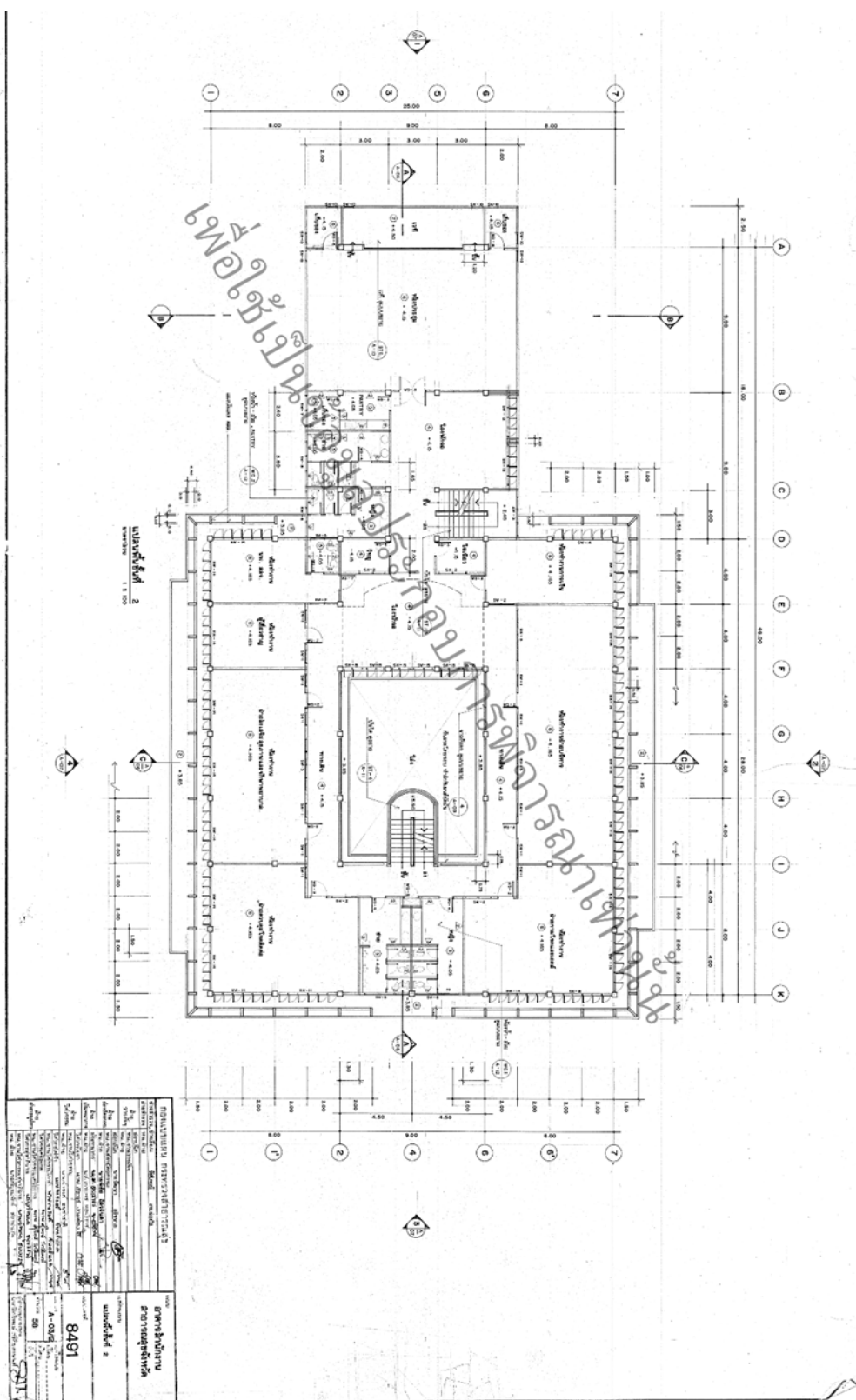
ก.1.1 อาคารสาธารณสุขจังหวัด

ตาราง 29 ข้อมูลแบบมาตรฐานสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด

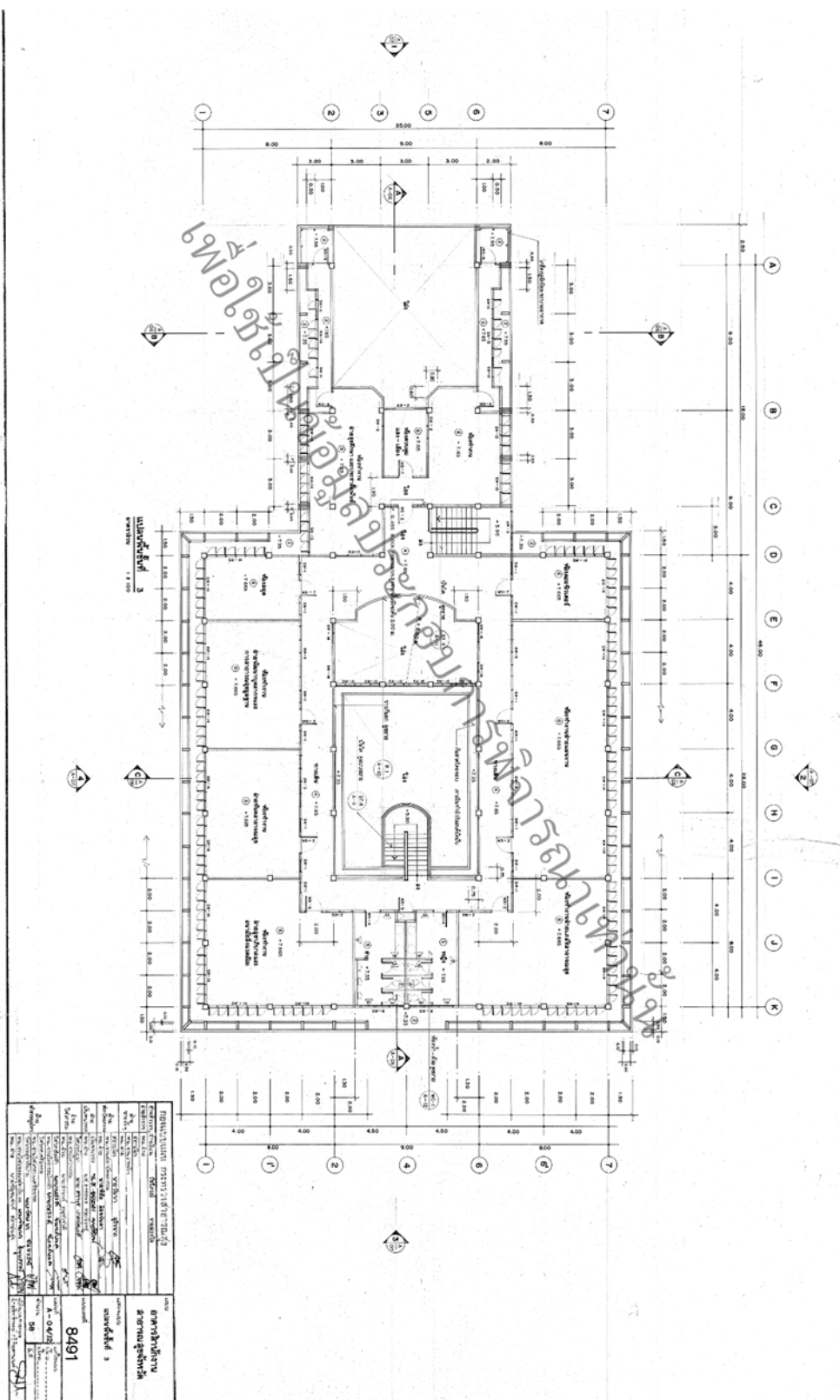
รายการ	รายละเอียด
แบบมาตรฐาน	แบบเลขที่ 8491 กองแบบแผน กระทรวงสาธารณสุข
ประเภทอาคาร	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด
พื้นที่ใช้สอย	2,000 ตารางเมตร
จำนวนชั้น	3 ชั้น



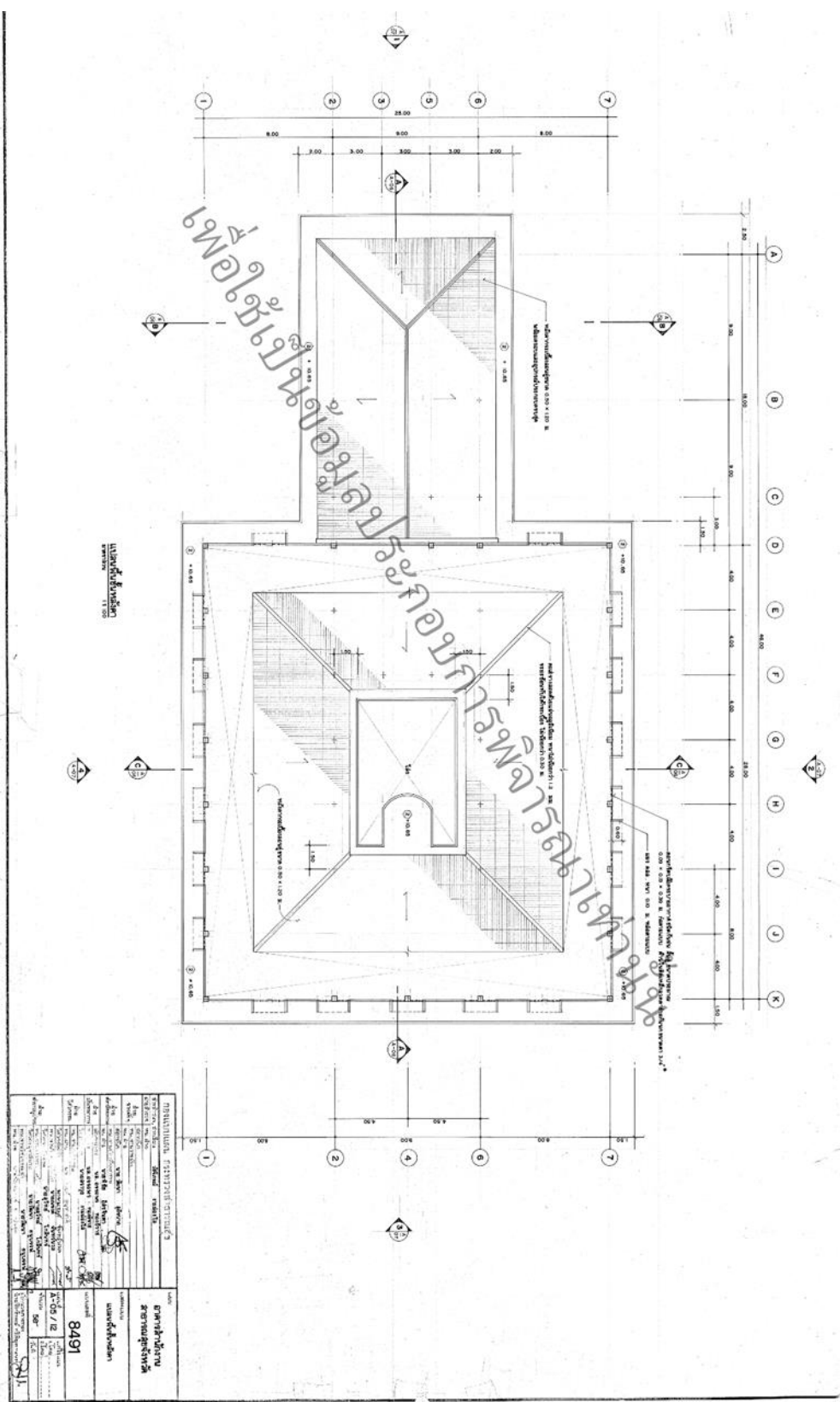
ภาพ 54 อาคารสาธารณสุขจังหวัด แปรณพื้นที่ 1



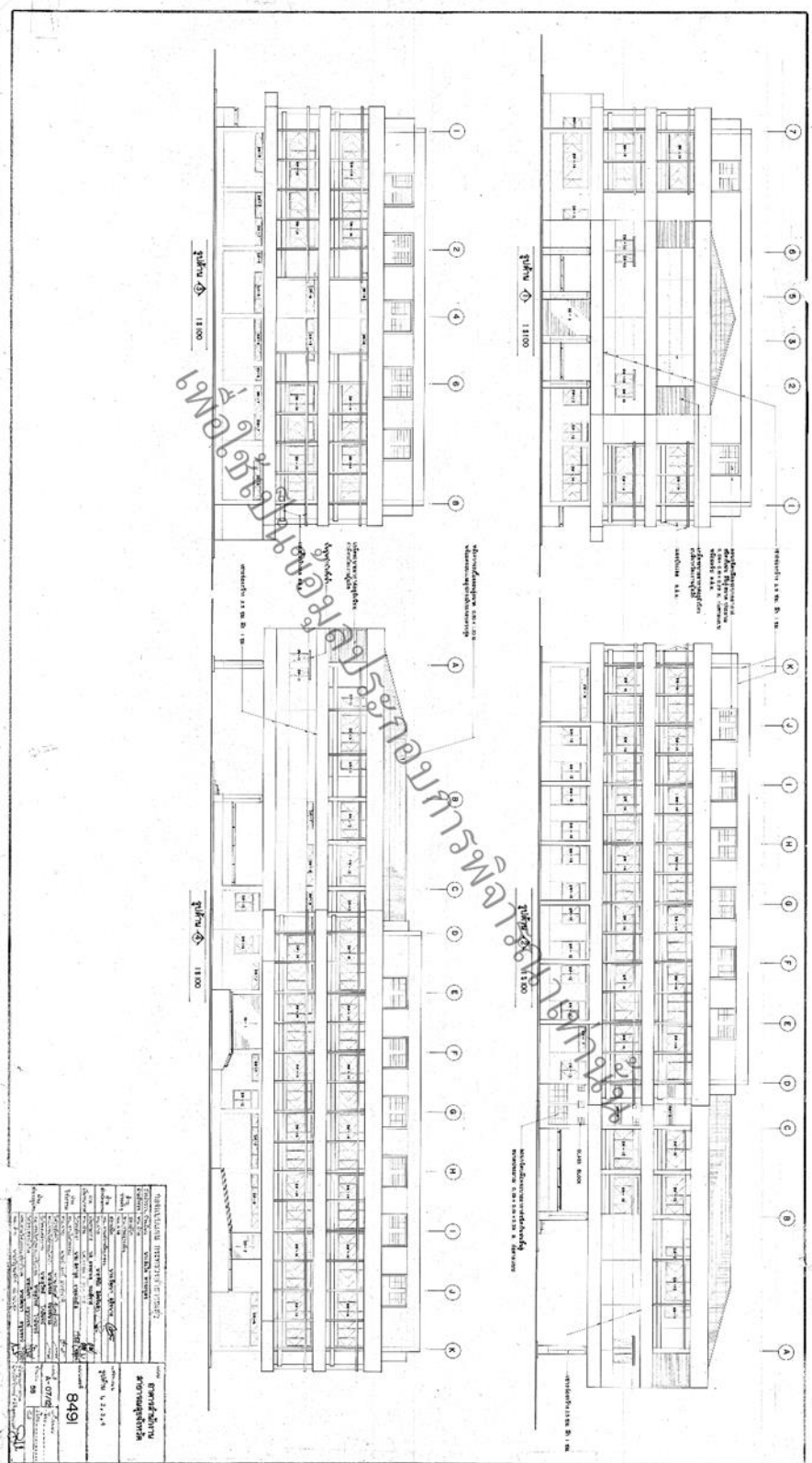
ภาพ 55 อาคารสาธารณสุขจังหวัด แปรณพื้นที่ 2



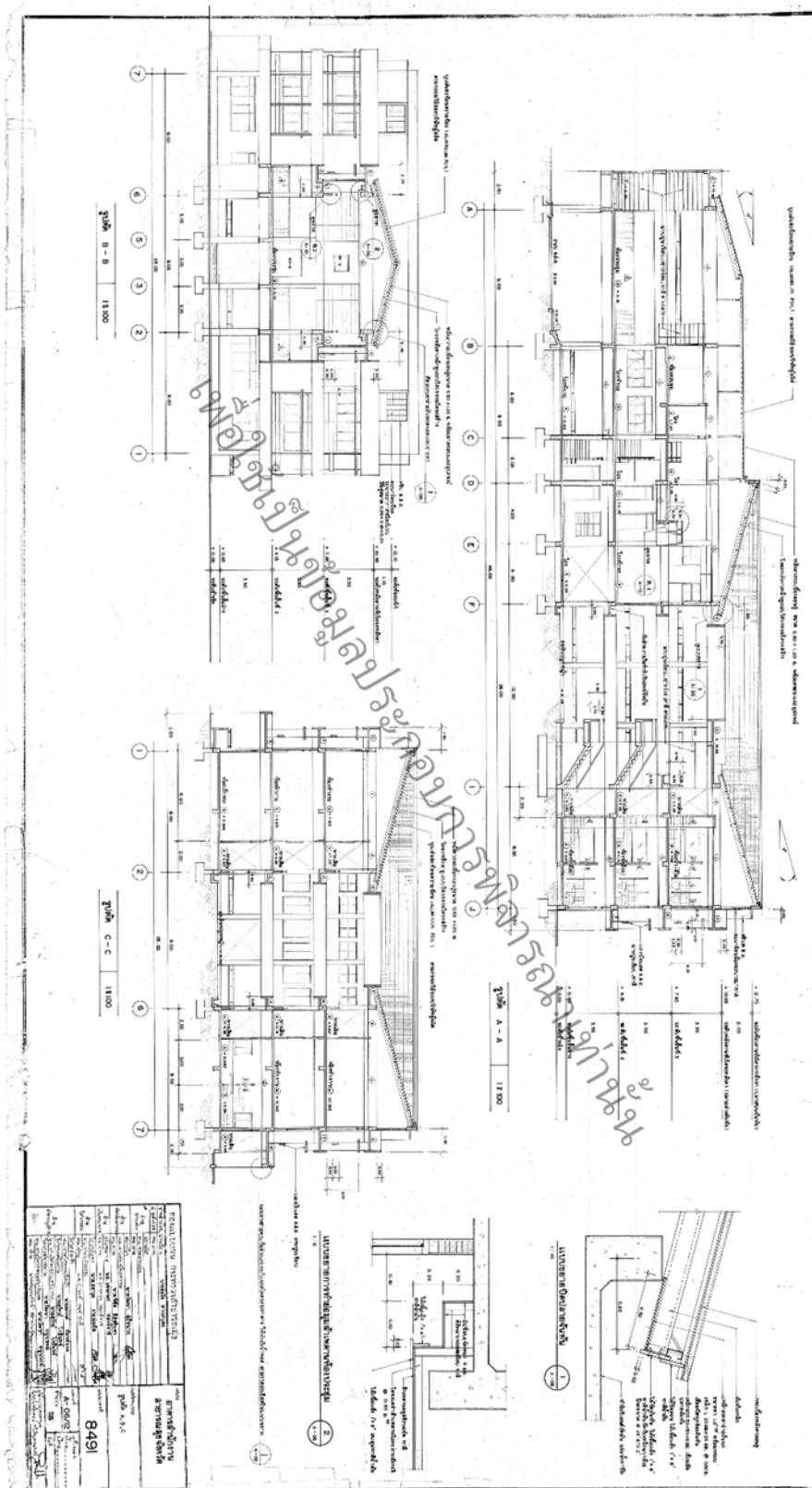
ภาพ 56 อาคารสาธารณสุขจังหวัด แปลนพื้นที่ 3



ภาพ 57 อาคารสาธารณสุขจังหวัด แพลนพื้นหลังคา



ภาพ 58 อาคารสาธารณสุขจังหวัด รูปด้าน



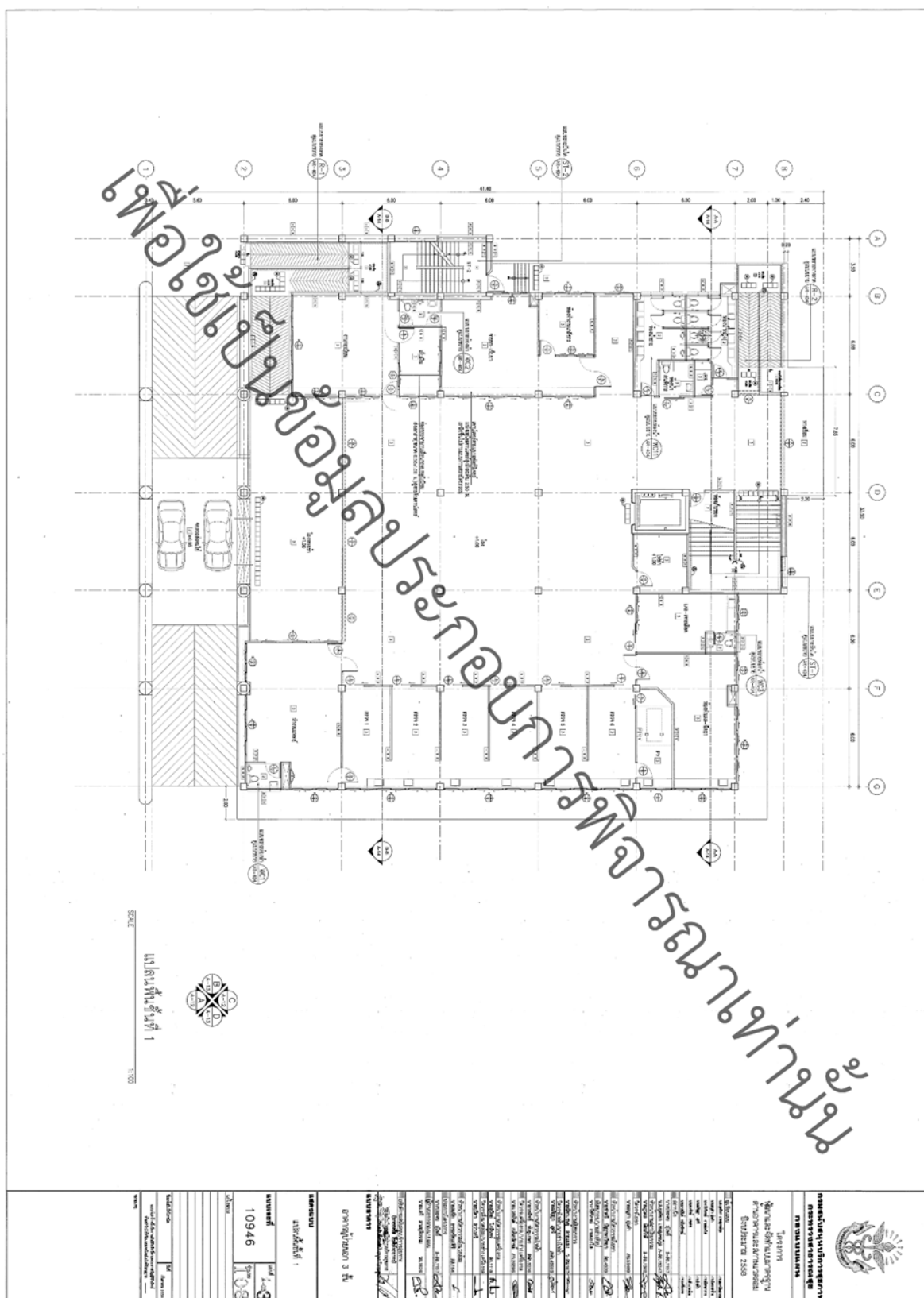
ภาพ 59 อาคารสาธารณะสุขจังหวัด รูปตัด

ก.1.2 อาคารโรงพยาบาล

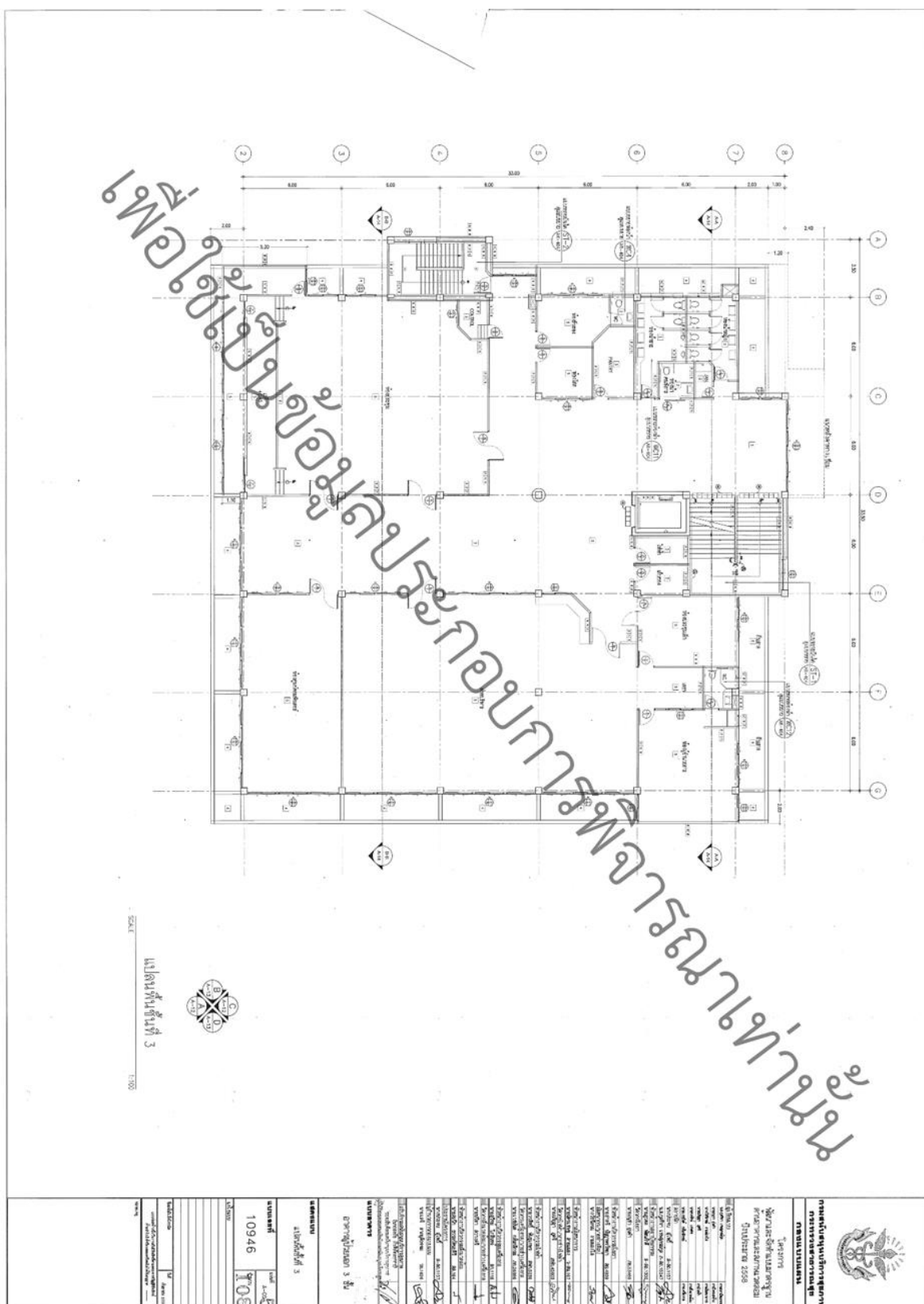
ตาราง 30 ข้อมูลแบบมาตรฐานอาคารโรงพยาบาล

รายการ	รายละเอียด
แบบมาตรฐาน	แบบเลขที่ 10946 กองแบบแผน กระทรวงสาธารณสุข
ประเภทอาคาร	อาคารผู้ป่วยนอก
พื้นที่ใช้สอย	2,000 ตารางเมตร
จำนวนชั้น	3 ชั้น

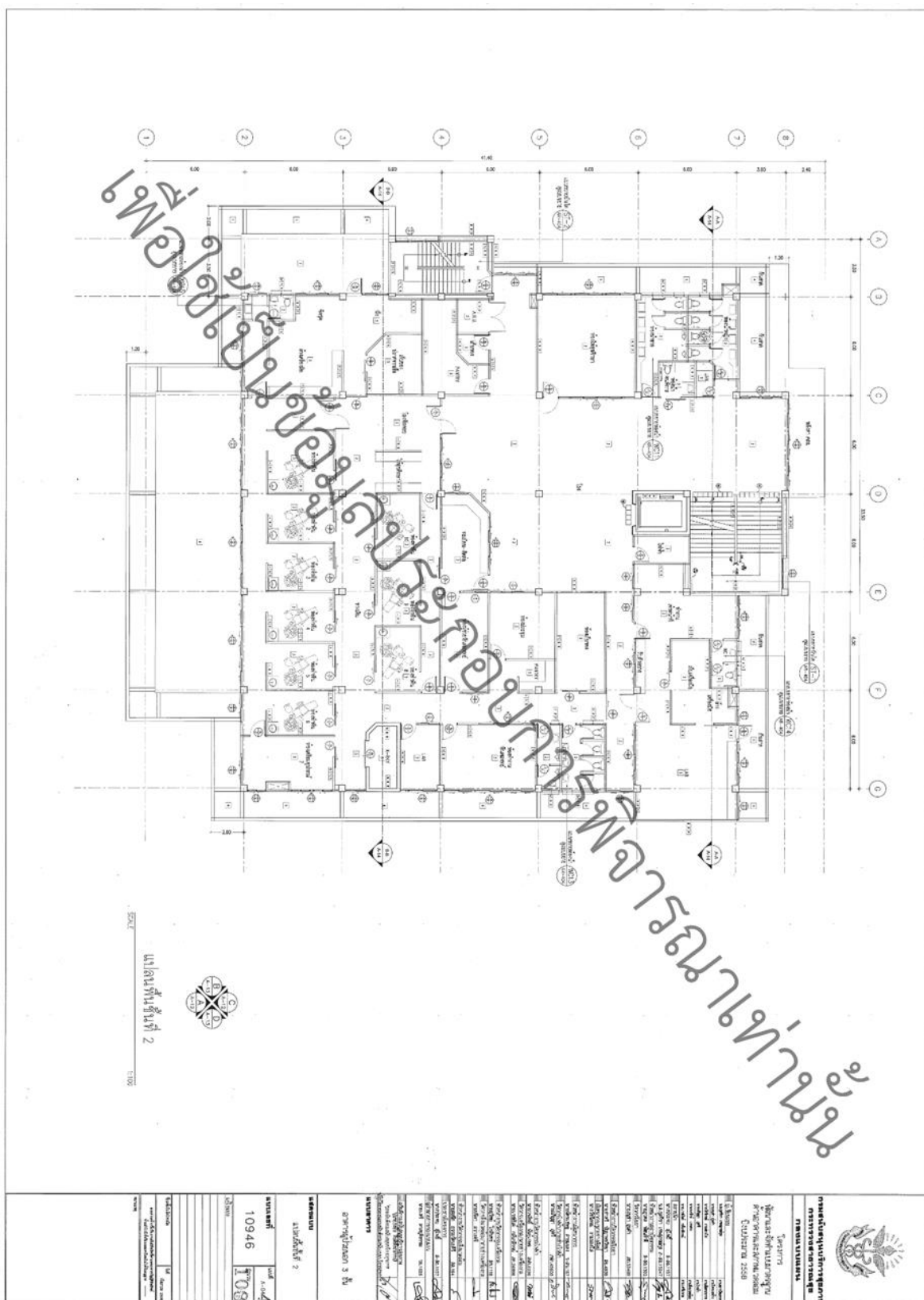




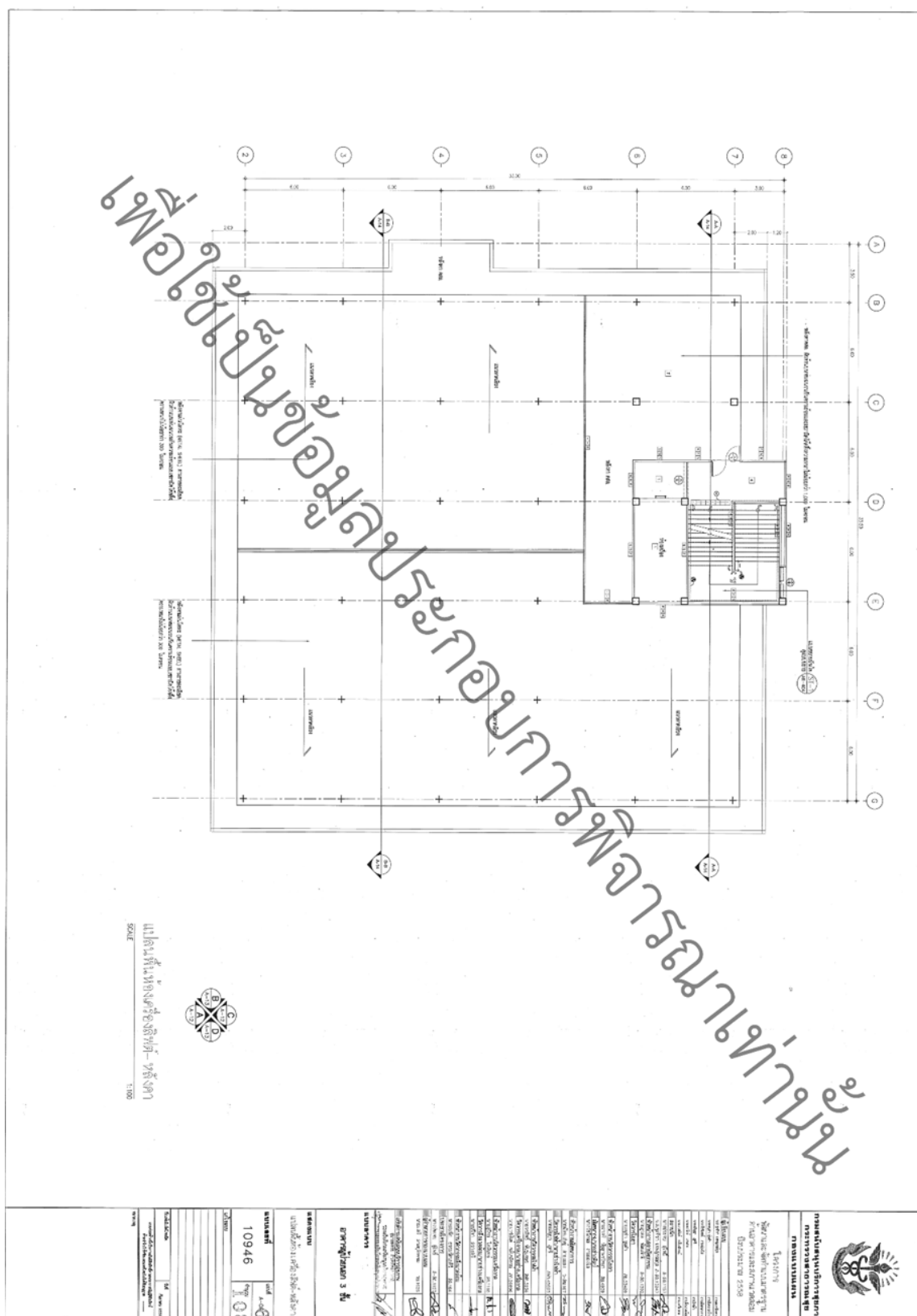
ภาพ 60 อาคารโรงพยาบาล แผนผังพื้นที่ 1



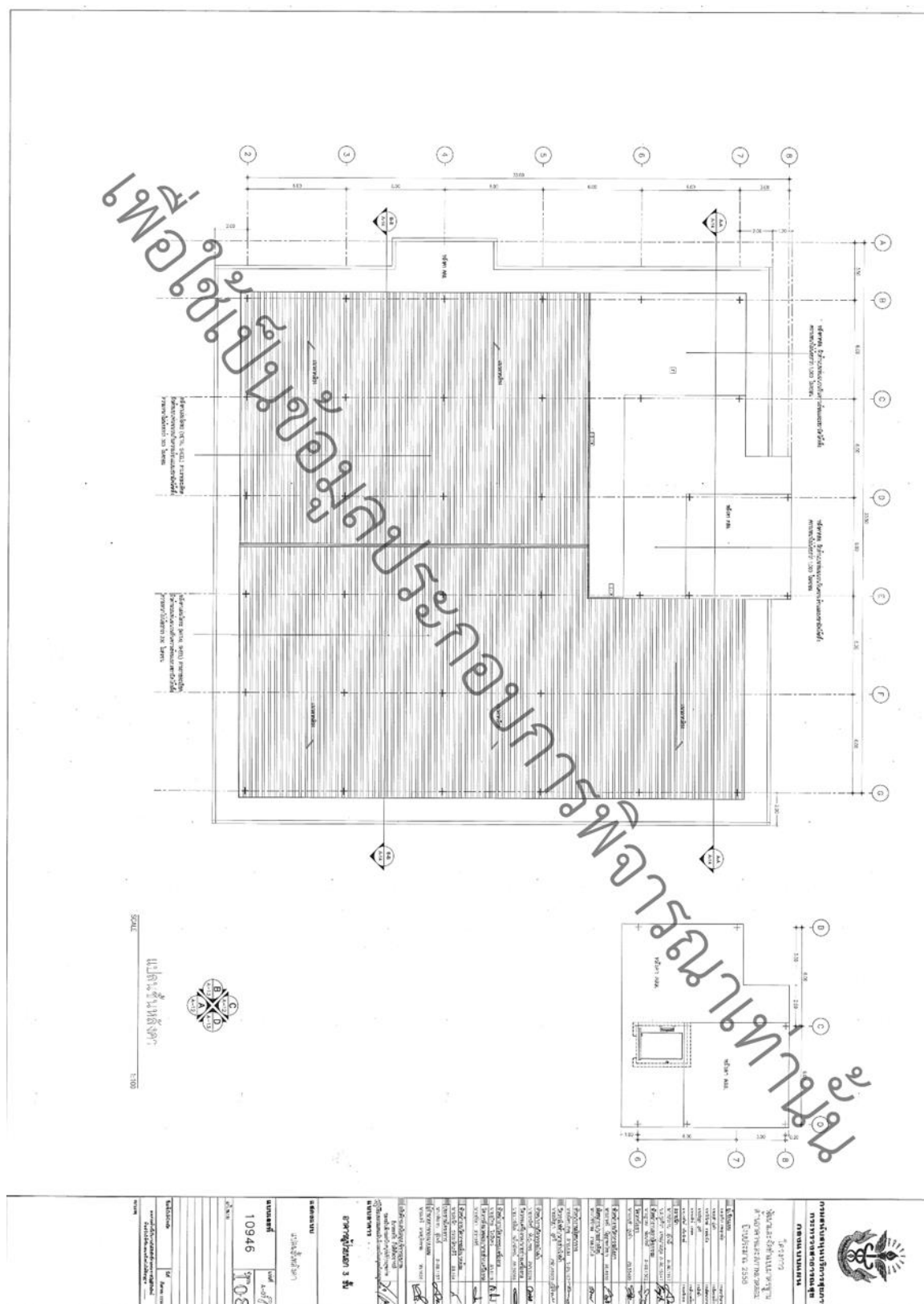
ภาพ 61 อาคารโรงพยาบาล แปลนพื้นที่ 2



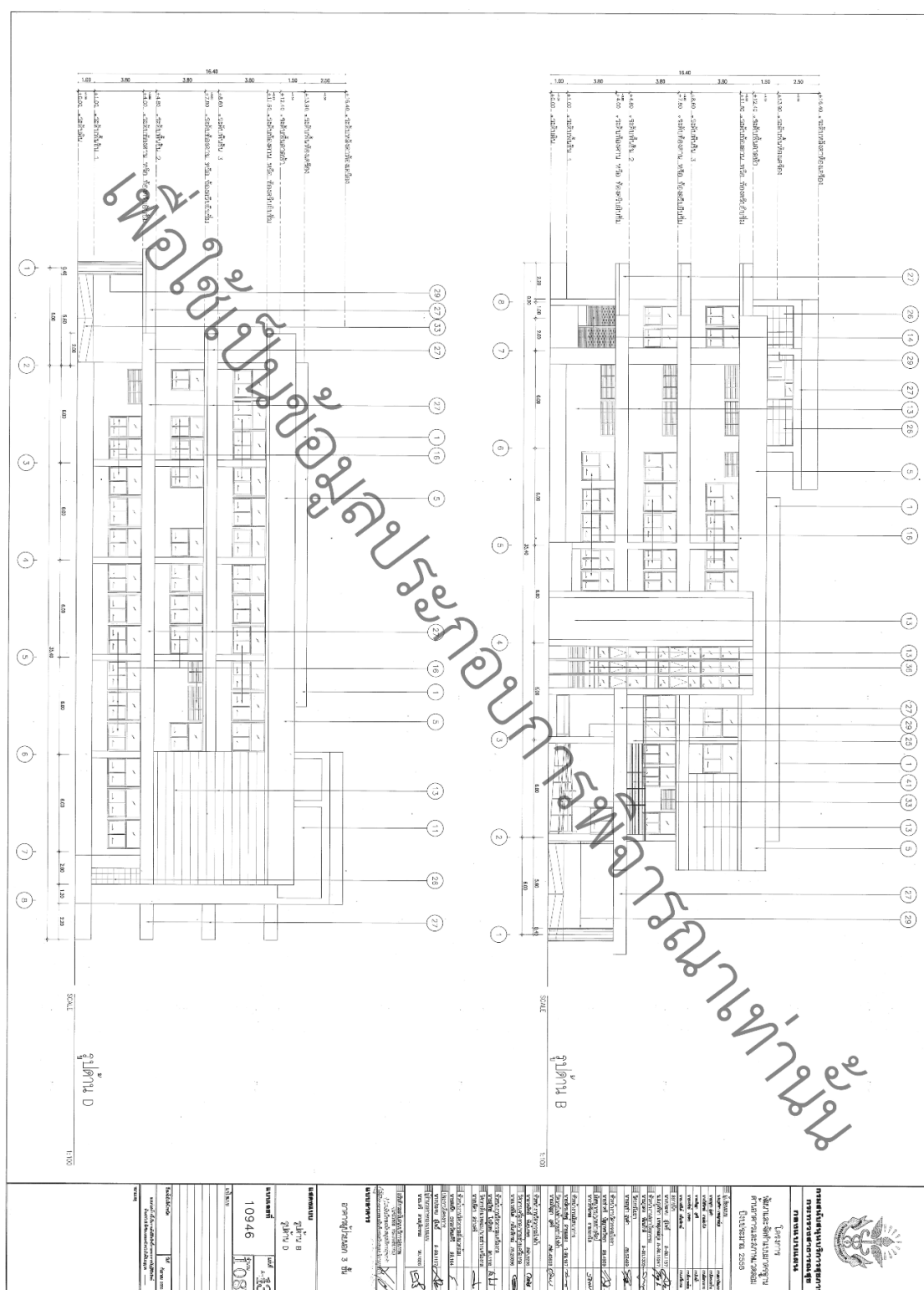
ภาพ 62 อาคารโรงพยาบาล แปลนพื้นที่ 3



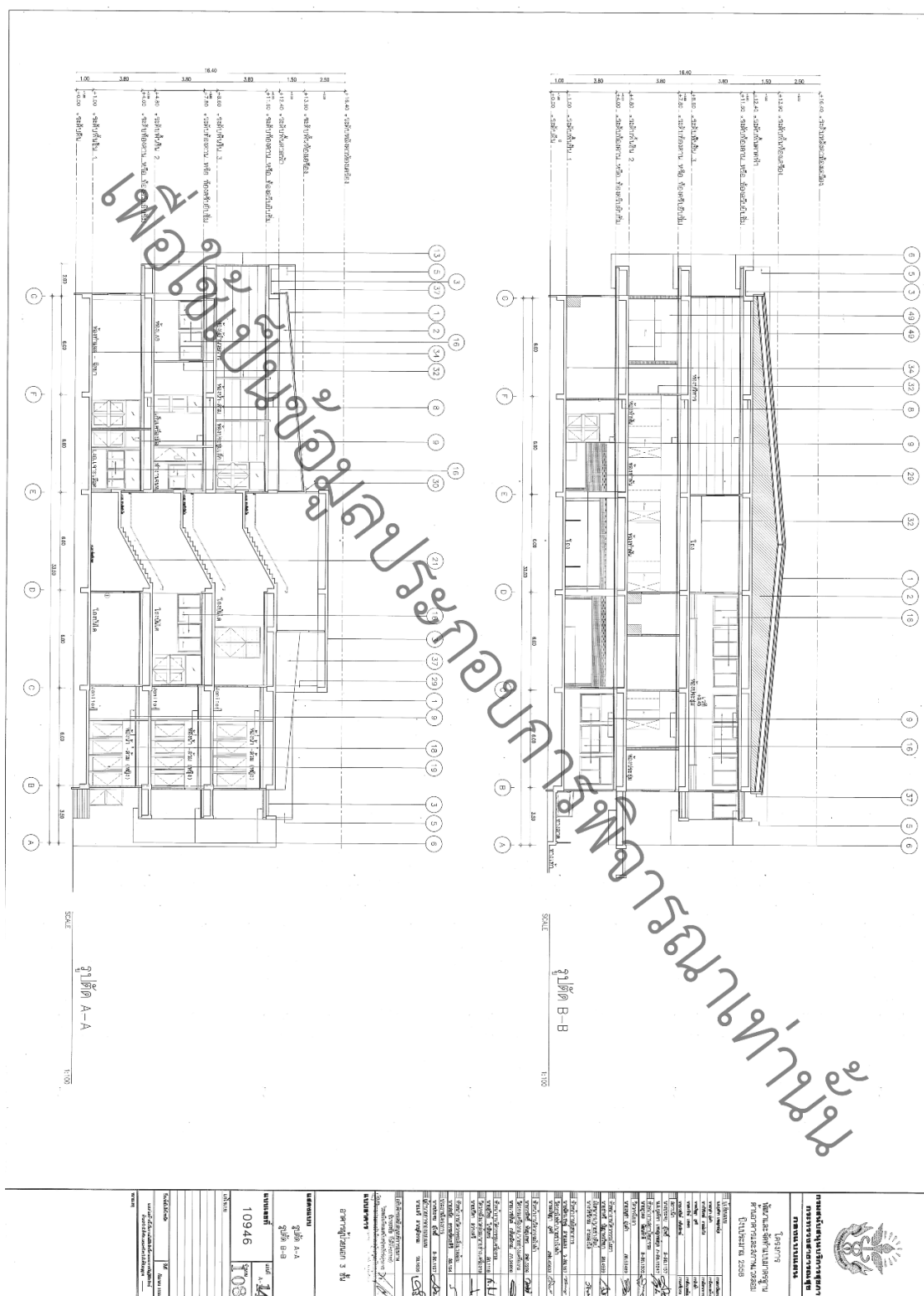
ภาพ 63 อาคารโรงพยาบาล แพลนชั้นห้องเครื่องลิฟต์



ภาพ 64 อาคารโรงพยาบาล แพลนหลังคา

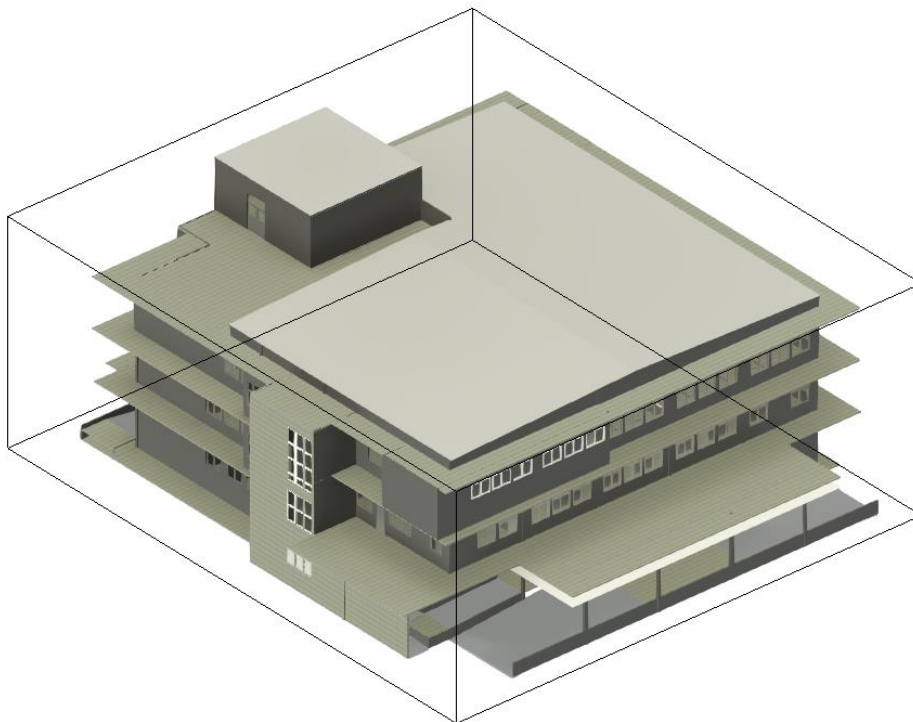


ภาพ 66 อาคารโรงพยาบาล รูปด้าน B, รูปด้าน D

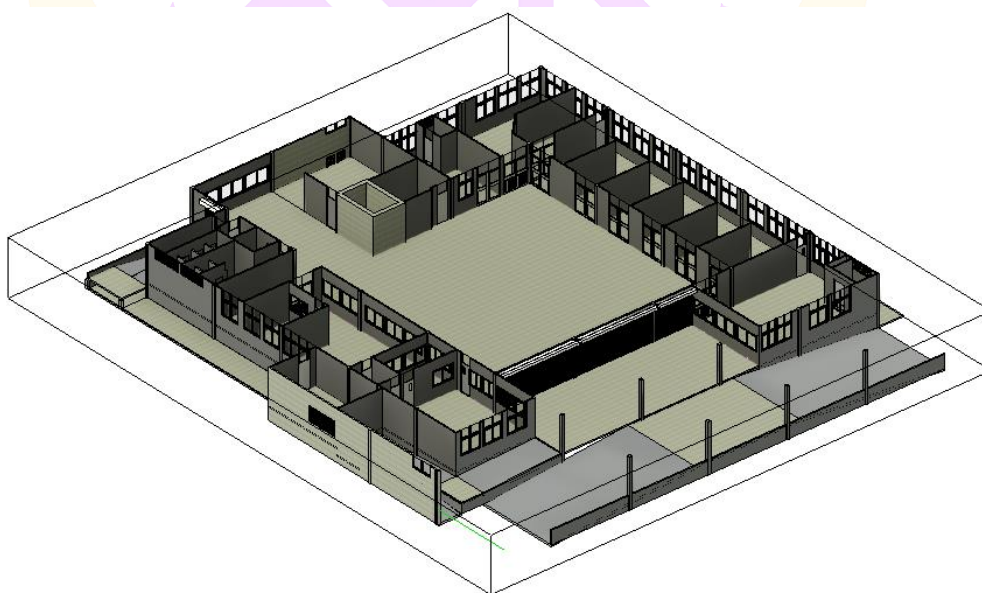


ภาพ 67 อาคารโรงพยาบาล รูปตัด

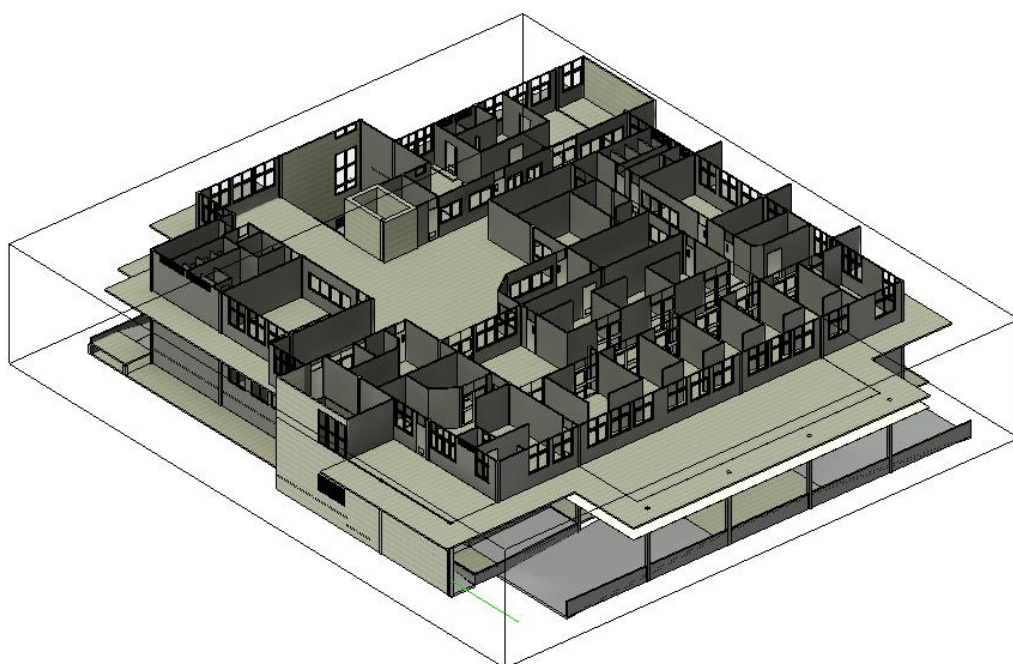
ก.2 ภาพแสดงโมเดลจาก Autodesk Revit



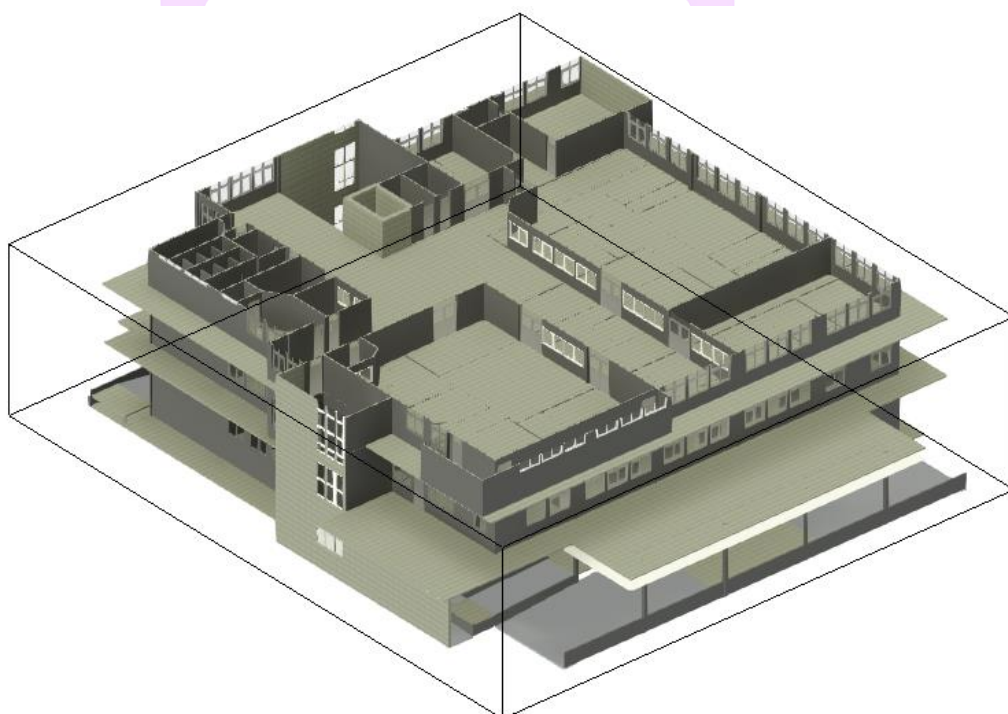
ภาพ 68 ภาพสามมิติอาคารโรงพยาบาล



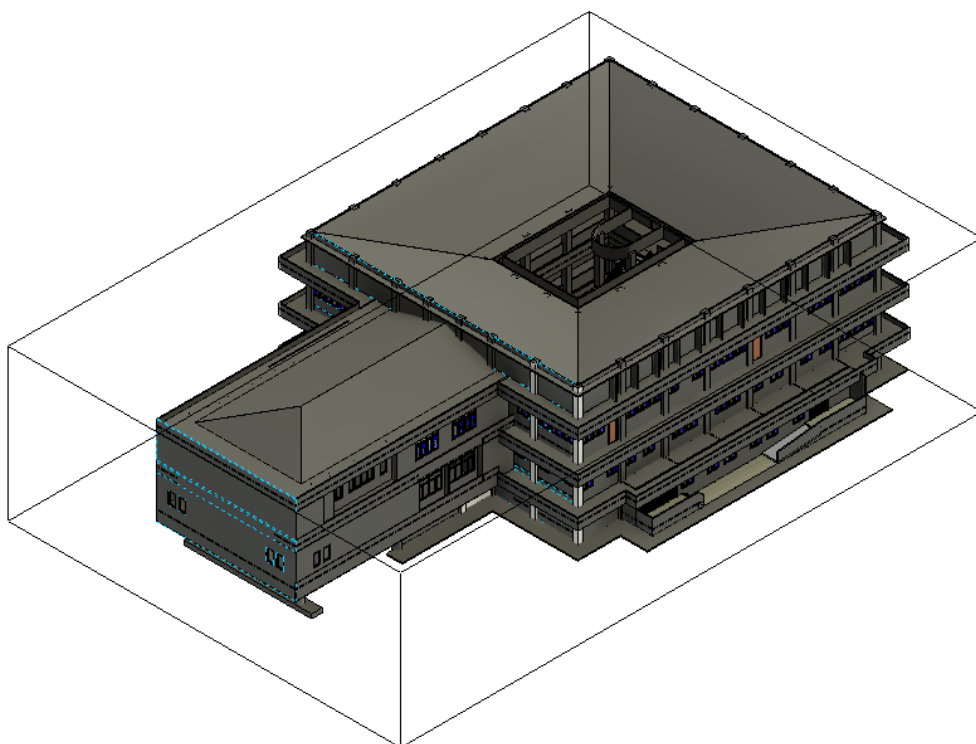
ภาพ 69 ภาพสามมิติอาคารโรงพยาบาล ชั้น 1



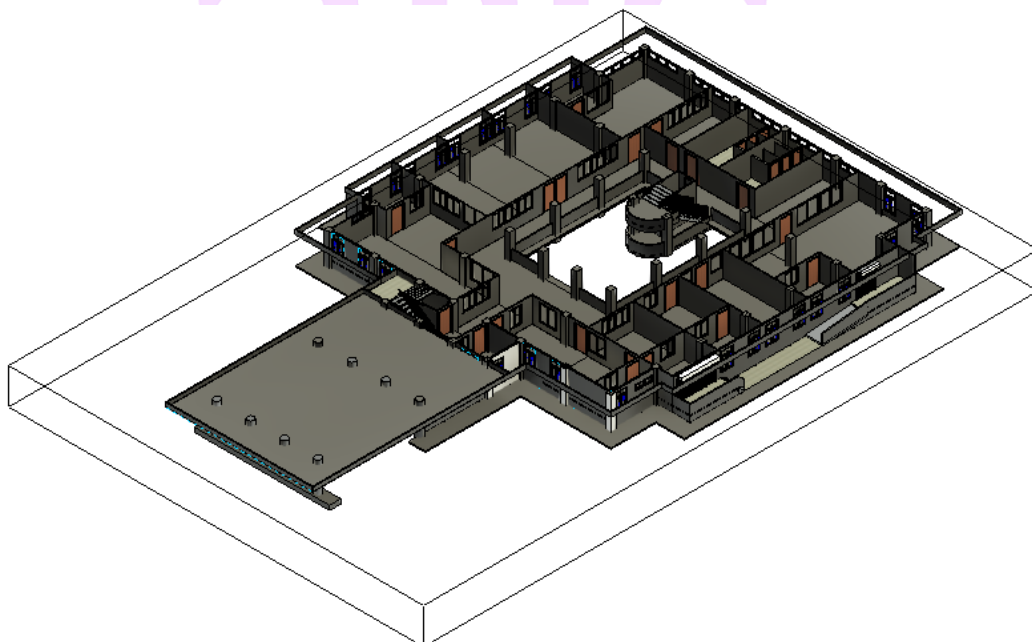
ภาพ 70 ภาพสามมิติอาคารโรงพยาบาล ชั้น 2



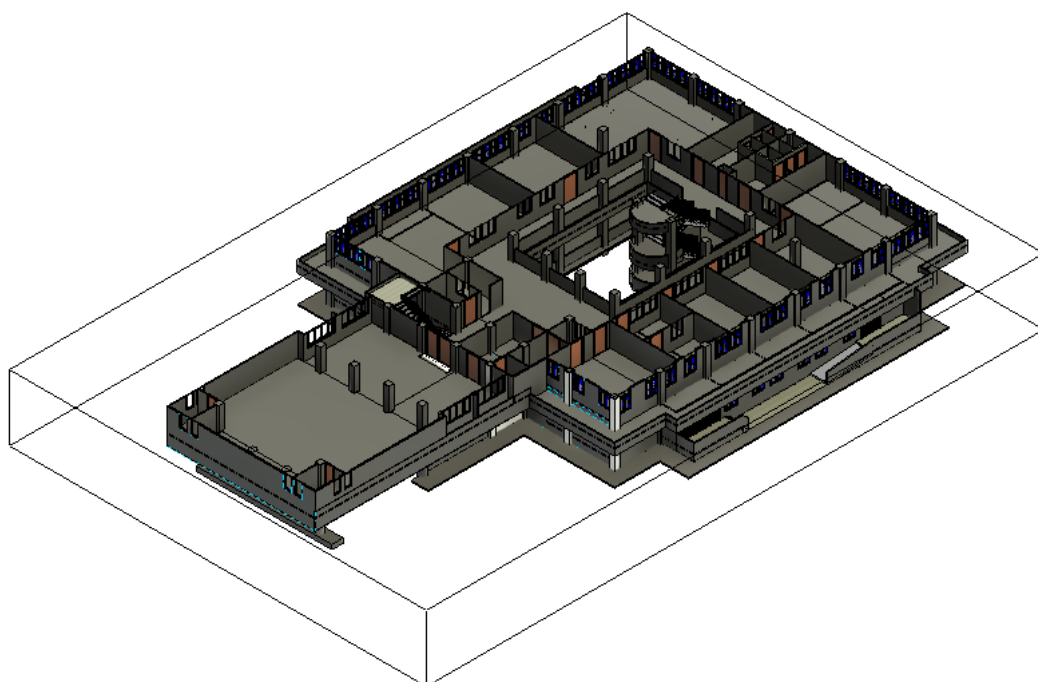
ภาพ 71 ภาพสามมิติอาคารโรงพยาบาล ชั้น 3



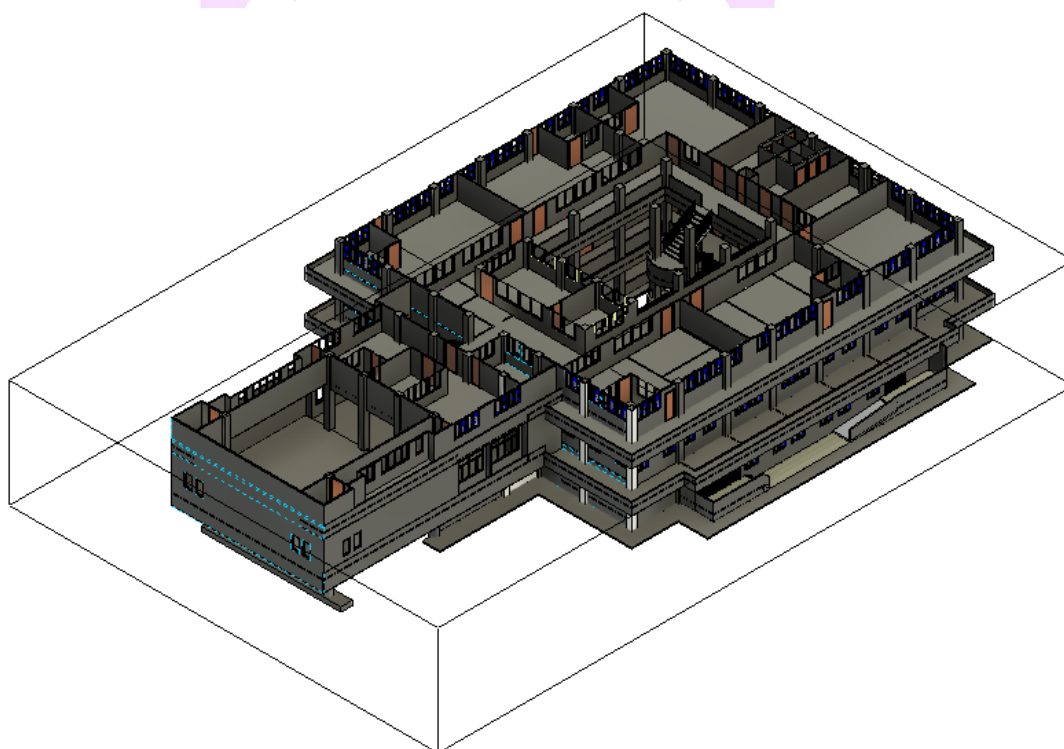
ภาพ 72 ภาพสามมิติอาคารสำนักงาน



ภาพ 73 ภาพสามมิติอาคารสำนักงาน ชั้น 1



ภาพ 74 ภาพสามมิติอาคารสำนักงาน ชั้น 2



ภาพ 75 ภาพสามมิติอาคารสำนักงาน ชั้น 3

ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิเคราะห์พลังงาน

ผลการคำนวณ Peak Cooling Load จากผลกระทบด้านทิศทางการวางตัวของอาคาร
โปรแกรม Autodesk Revit

ข.1 อาคารสำนักงาน

ตาราง 31 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 0 องศา (Peak Cooling Load
น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผลจังหวัดเชียงราย

Inputs	
Building Type	Office
Area (m ²)	1,470.81
Volume (m ³)	4,372.78
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	273,649
Peak Cooling Month and Hour	October 14:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	241,299
Peak Cooling Latent Load (W)	32,350
Maximum Cooling Capacity (W)	269,695
Peak Cooling Airflow (L/s)	16,125.50
Peak Heating Load (W)	67,476
Peak Heating Airflow (L/s)	4,081.80
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	186.05
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	10.96
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	58.93
Cooling Area / Load (m ² /kW)	5.37
Heating Load Density (W/m ²)	45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.78

ตาราง 32 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 240 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผลจังหวัดเชียงราย

Inputs	
Building Type	Office
Area (m ²)	1,470.81
Volume (m ³)	4,372.78
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	315,166
Peak Cooling Month and Hour	April 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	298,656
Peak Cooling Latent Load (W)	16,510
Maximum Cooling Capacity (W)	315,166
Peak Cooling Airflow (L/s)	19,525.30
Peak Heating Load (W)	67,476
Peak Heating Airflow (L/s)	4,081.80
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	214.28
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	13.28
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	61.95
Cooling Area / Load (m ² /kW)	4.67
Heating Load Density (W/m ²)	45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.78

ตาราง 33 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 0 องศา (Peak Cooling Load
น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล กรุงเทพฯ

Inputs		
Building Type	Office	
Area (m ²)		1,470.81
Volume (m ³)		4,372.78
Calculated Results		
Peak Cooling Total Load (W)		267,823
Peak Cooling Month and Hour	May 16:00	
Peak Cooling Sensible Load (W)		242,550
Peak Cooling Latent Load (W)		25,272
Maximum Cooling Capacity (W)		266,433
Peak Cooling Airflow (L/s)		15,905.30
Peak Heating Load (W)		67,476
Peak Heating Airflow (L/s)		4,081.80
Checksums		
Cooling Load Density (W/m ²)		182.09
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))		10.81
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))		59.39
Cooling Area / Load (m ² /kW)		5.49
Heating Load Density (W/m ²)		45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))		2.78

ตาราง 34 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 240 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล กรุงเทพฯ

Inputs	
Building Type	Office
Area (m ²)	1,470.81
Volume (m ³)	4,372.78
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	314,598
Peak Cooling Month and Hour	April 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	298,088
Peak Cooling Latent Load (W)	16,510
Maximum Cooling Capacity (W)	314,598
Peak Cooling Airflow (L/s)	19,486.00
Peak Heating Load (W)	67,476
Peak Heating Airflow (L/s)	4,081.80
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	213.89
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	13.25
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	61.94
Cooling Area / Load (m ² /kW)	4.68
Heating Load Density (W/m ²)	45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.78

ตาราง 35 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 0 องศา (Peak Cooling Load
น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล ขอนแก่นฯ

Inputs	
Building Type	Office
Area (m ²)	1,470.81
Volume (m ³)	4,372.78
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	271,007
Peak Cooling Month and Hour	October 15:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	238,656
Peak Cooling Latent Load (W)	32,350
Maximum Cooling Capacity (W)	268,854
Peak Cooling Airflow (L/s)	16,068.70
Peak Heating Load (W)	67,478
Peak Heating Airflow (L/s)	4,081.90
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	184.26
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	10.93
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	59.29
Cooling Area / Load (m ² /kW)	5.43
Heating Load Density (W/m ²)	45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.78

ตาราง 36 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 240 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล ขอนแก่นฯ

Inputs	
Building Type	Office
Area (m ²)	1,470.81
Volume (m ³)	4,372.78
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	315,745
Peak Cooling Month and Hour	April 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	299,235
Peak Cooling Latent Load (W)	16,510
Maximum Cooling Capacity (W)	315,745
Peak Cooling Airflow (L/s)	19,565.30
Peak Heating Load (W)	67,478
Peak Heating Airflow (L/s)	4,081.90
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	214.67
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	13.3
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	61.97
Cooling Area / Load (m ² /kW)	4.66
Heating Load Density (W/m ²)	45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.78

ตาราง 37 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 0 องศา (Peak Cooling Load
น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล สงขลาฯ

Inputs		
Building Type	Office	
Area (m ²)		1,470.81
Volume (m ³)		4,372.78
Calculated Results		
Peak Cooling Total Load (W)		281,740
Peak Cooling Month and Hour	May 15:00	
Peak Cooling Sensible Load (W)		256,468
Peak Cooling Latent Load (W)		25,272
Maximum Cooling Capacity (W)		281,740
Peak Cooling Airflow (L/s)		16,654.30
Peak Heating Load (W)		67,478
Peak Heating Airflow (L/s)		4,081.90
Checksums		
Cooling Load Density (W/m ²)		191.55
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))		11.32
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))		59.11
Cooling Area / Load (m ² /kW)		5.22
Heating Load Density (W/m ²)		45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))		2.78

ตาราง 38 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 250 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล สงขลา

Inputs	
Building Type	Office
Area (m ²)	1,470.81
Volume (m ³)	4,372.78
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	313,852
Peak Cooling Month and Hour	April 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	297,342
Peak Cooling Latent Load (W)	16,510
Maximum Cooling Capacity (W)	313,852
Peak Cooling Airflow (L/s)	19,434.40
Peak Heating Load (W)	67,478
Peak Heating Airflow (L/s)	4,081.90
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	213.39
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	13.21
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	61.92
Cooling Area / Load (m ² /kW)	4.69
Heating Load Density (W/m ²)	45.88
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.78

ข.2 อาคารโรงพยาบาล

ตาราง 39 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 280 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผลจังหวัดเชียงราย

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (m ²)	1,357.78
Volume (m ³)	4,057.06
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	133,470
Peak Cooling Month and Hour	April 15:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	127,103
Peak Cooling Latent Load (W)	6,367
Maximum Cooling Capacity (W)	133,470
Peak Cooling Airflow (L/s)	7,253.10
Peak Heating Load (W)	23,466
Peak Heating Airflow (L/s)	1,793.60
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	98.3
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	5.34
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	54.34
Cooling Area / Load (m ² /kW)	10.17
Heating Load Density (W/m ²)	17.28
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	1.32

ตาราง 40 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 150 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผลจังหวัดเชียงราย

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (m ²)	1,357.78
Volume (m ³)	4,057.06
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	182,560
Peak Cooling Month and Hour	April 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	176,193
Peak Cooling Latent Load (W)	6,367
Maximum Cooling Capacity (W)	182,560
Peak Cooling Airflow (L/s)	10,054.50
Peak Heating Load (W)	23,466
Peak Heating Airflow (L/s)	1,793.60
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	134.45
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	7.41
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	55.07
Cooling Area / Load (m ² /kW)	7.44
Heating Load Density (W/m ²)	17.28
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	1.32

ตาราง 41 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 280 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล กรุงเทพฯ

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (m ²)	1,357.78
Volume (m ³)	4,057.06
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	138,735
Peak Cooling Month and Hour	June 9:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	132,369
Peak Cooling Latent Load (W)	6,367
Maximum Cooling Capacity (W)	138,735
Peak Cooling Airflow (L/s)	7,246.70
Peak Heating Load (W)	8,829
Peak Heating Airflow (L/s)	621.3
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	102.18
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	5.34
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	52.23
Cooling Area / Load (m ² /kW)	9.79
Heating Load Density (W/m ²)	6.5
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	0.46

ตาราง 42 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 150 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล กรุงเทพฯ

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (m ²)	1,357.78
Volume (m ³)	4,057.06
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	187,123
Peak Cooling Month and Hour	April 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	180,757
Peak Cooling Latent Load (W)	6,367
Maximum Cooling Capacity (W)	187,123
Peak Cooling Airflow (L/s)	10,002.60
Peak Heating Load (W)	8,829
Peak Heating Airflow (L/s)	621.3
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	137.82
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	7.37
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	53.45
Cooling Area / Load (m ² /kW)	7.26
Heating Load Density (W/m ²)	6.5
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	0.46

ตาราง 43 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 280 องศา (Peak Cooling Load น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล ขอนแก่นฯ

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (m ²)	1,357.78
Volume (m ³)	4,057.06
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	137,267
Peak Cooling Month and Hour	May 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	130,901
Peak Cooling Latent Load (W)	6,367
Maximum Cooling Capacity (W)	137,267
Peak Cooling Airflow (L/s)	7,217.90
Peak Heating Load (W)	11,036
Peak Heating Airflow (L/s)	759.9
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	101.1
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	5.32
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	52.58
Cooling Area / Load (m ² /kW)	9.89
Heating Load Density (W/m ²)	8.13
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	0.56

ตาราง 44 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 150 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล ขอนแก่นฯ

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (m ²)	1,357.78
Volume (m ³)	4,057.06
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	185,266
Peak Cooling Month and Hour	April 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	178,899
Peak Cooling Latent Load (W)	6,367
Maximum Cooling Capacity (W)	185,266
Peak Cooling Airflow (L/s)	9,882.20
Peak Heating Load (W)	11,036
Peak Heating Airflow (L/s)	759.9
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	136.45
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	7.28
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	53.34
Cooling Area / Load (m ² /kW)	7.33
Heating Load Density (W/m ²)	8.13
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	0.56

ตาราง 45 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 280 องศา (Peak Cooling Load
น้อยที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล สงขลาฯ

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (m ²)	1,357.78
Volume (m ³)	4,057.06
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	139,599
Peak Cooling Month and Hour	June 15:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	133,232
Peak Cooling Latent Load (W)	6,367
Maximum Cooling Capacity (W)	139,599
Peak Cooling Airflow (L/s)	7,228.40
Peak Heating Load (W)	465
Peak Heating Airflow (L/s)	31.8
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	102.81
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	5.32
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	51.78
Cooling Area / Load (m ² /kW)	9.73
Heating Load Density (W/m ²)	0.34
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	0.02

ตาราง 46 ผลการคำนวณ Peak Cooling Load ทิศทางที่ 110 องศา (Peak Cooling Load มากที่สุด) ตำแหน่งการวิเคราะห์ผล สงขลา

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (m ²)	1,357.78
Volume (m ³)	4,057.06
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	180,323
Peak Cooling Month and Hour	November 15:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	173,956
Peak Cooling Latent Load (W)	6,367
Maximum Cooling Capacity (W)	180,323
Peak Cooling Airflow (L/s)	9,403.60
Peak Heating Load (W)	465
Peak Heating Airflow (L/s)	31.8
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	132.81
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	6.93
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	52.15
Cooling Area / Load (m ² /kW)	7.53
Heating Load Density (W/m ²)	0.34
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	0.02

ภาคผนวก ค รายละเอียดการตั้งค่า Building Type ในแบบจำลองอาคาร โปรแกรม Autodesk Revit

ตาราง 47 ข้อมูล Parameter ที่ถูกเพิ่มให้กับ Space ในแบบจำลองอาคาร เมื่อเลือก Building Type เป็น Office

Parameter	Default Value
Occupancy Schedule	Common Office 8 am - 5 pm
Lighting/Equipment Schedule	Office Lighting 6 am - 11 pm
People/100 sq. M.	3.5
People Activity Level	Standing, Light Work, Walking
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
People Sensible Heat Gain (Btu/person)	250
People Latent Heat Gain (Btu/person)	200
Lighting Load Density (W/sq. ft.)	1.00
Equipment Load Density (W/sq. ft.)	1.30
Electrical Equipment Radiant Percentage	0.3
Carpet (Y/N)	Y
Condition Type	Heated and Cooled
OA L/S Person	10
OA Flow Per Area (cu. M./hr/sq. M.)	3.7
Open Time	
Close Time	
Unoccupied Cooling Set Point (F)	85

ตาราง 48 ข้อมูล Parameter ที่ถูกเพิ่มให้กับ Space ในแบบจำลองอาคาร เมื่อเลือก Building Type เป็น Hospital or Healthcare

Parameter	Default Value
Occupancy Schedule	Typical 24/7
Lighting/Equipment Schedule	Office Lighting 6 am - 11 pm
People/100 sq. M.	10
People Activity Level	Standing, Light Work, Walking
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
People Sensible Heat Gain (Btu/person)	250
People Latent Heat Gain (Btu/person)	200
Lighting Load Density (W/sq. ft.)	1.20
Equipment Load Density (W/sq. ft.)	1.60
Electrical Equipment Radiant Percentage	0.5
Carpet (Y/N)	N
Condition Type	Heated and Cooled
OA L/S Person	10
OA Flow Per Area (cu. M./hr/sq. M.)	3.7
Open Time	
Close Time	
Unoccupied Cooling Set Point (F)	85

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นันทพล มหาวັນ
วัน เดือน ปี เกิด	10 กุมภาพันธ์ 2541
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2563 วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
ที่อยู่ปัจจุบัน	169/127 หมู่ที่ 4 ต.บางแก้ว อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ
ผลงานตีพิมพ์	นันทพล มหาวັນ, อภิชาติ บัวกล้า, ฤทธิ์ฤทธิ์ ก้อนทอง และนพรัตน์ เกตุขาว (ผู้บรรยาย). (24-26 สิงหาคม 2565). การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานด้วยการปรับปรุงกรอบอาคาร กรณีศึกษา: อาคารที่อยู่อาศัย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 (หน้า BIM05, 1-10). เชียงราย: โรงแรมเดอะ เฮอริเทจ เชียงราย.
รางวัลที่ได้รับ	-

