แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน

โดย

นางสาวโสพิศ ชัยชนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน

โดย
นางสาวโสพิศ ชัยชนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

RENOVATION STRATEGIES TO IMPROVE ENERGY SAVING FOR PROVINCIAL HEALTH OFFICE

By

Miss Sopit Chaichana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2015

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน” เสนอโดย นางสาวโสพิศ ชัยชนะ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สัทธา ปัญญาแก้ว)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)
...../...../.....

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี)
...../...../.....

55054214: สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คำสำคัญ: ปรับปรุงอาคาร / กรอบอาคาร / ประหยัดพลังงานไฟฟ้า

โสพิศ ชัยชนะ: แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รศ.ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์ และ ผศ.ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี. 137 หน้า.

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์คือ 1.เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดตามแบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ของอาคารกรณีศึกษาคือ อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด และมีความเหมาะสมด้านการลงทุน 2.เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร ที่ได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 กับค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจริง 3.เพื่อเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลระหว่างโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 ซึ่งอาจมีผลต่อการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารที่แตกต่างกัน เครื่องมือที่ใช้ในการหาแนวทางปรับปรุง คือ โปรแกรม BEC v.1.0.6 ประเมินความเหมาะสมของแนวทางโดยพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์/ปี) ที่ลดลง จำนวนเงินลงทุน (บาท) และระยะคืนทุน (ปี)

ผลการศึกษาพบว่า

1. กรอบอาคารของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดตามแบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ได้แก่ ผนังทึบ คือ อิฐมอญฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม. ภายนอกทาสีเขียวอ่อน และ ผนังโปร่งแสง คือ กระจกโฟลตใส หนา 6 มม. มีค่า OTTV ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 68.94 วัตต์/ตร.ม. ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 50 วัตต์/ตร.ม. แนวทางปรับปรุงที่ทำให้ผนังอาคารมีค่า OTTV ผ่านเกณฑ์และเหมาะสมด้านการลงทุน แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ โดยการเสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิดบุฉนวน EPS หนา 35 มม. ในตัว (R 1.33 m^2C/W) และเว้นช่องอากาศกว้าง 3 ซม. มีค่า OTTV เป็น 48.05 วัตต์/ตร.ม. ระยะคืนทุน 5.43 ปี เป็นแนวทางที่มีค่าลงทุนถูกและคืนทุนเร็วที่สุด กรณีที่ 2 ปรับปรุงผนังทึบร่วมกับผนังโปร่งแสง โดยการเสริมแผ่นยิปซั่มหนา 12 มม. ชนิดบุแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ในตัว และเว้นช่องอากาศกว้าง 9 ซม. ร่วมกับการเปลี่ยนชนิดกระจก เป็นกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม หนา 6 มม. (SHGC 0.55) มีค่า OTTV เป็น 41.11 วัตต์/ตร.ม. ระยะคืนทุน 5.36 ปี เป็นแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานลงได้สูงสุดและคืนทุนเร็วที่สุด

หลังคา คือ คอนกรีตแบนหนา 15 ซม. ด้านล่างเป็นช่องอากาศ กว้าง 45 ซม. และฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่ม หนา 9 มม. มีค่า RTTV ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 27.64 วัตต์/ตร.ม. แนวทางปรับปรุงที่เหมาะสม คือ การปูฉนวนใยแก้วหนา 75 มม. ชนิดหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (R 1.98 m^2C/W) เหนือฝ้าเพดานเดิม มีค่า RTTV เป็น 6.07 วัตต์/ตร.ม. ระยะคืนทุน 1.24 ปี เป็นแนวทางที่มีค่าลงทุนถูกและคืนทุนเร็วที่สุด

2. การจำลองค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุงที่ได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 เป็นโปรแกรมที่มีค่าเริ่มต้นของโปรแกรม (ค่า Default) ที่ไม่สามารถแก้ไขได้ และมีความแตกต่างกับค่าการใช้งานจริงที่สำรวจพบได้แก่ จำนวนชั่วโมงใช้งาน จำนวนผู้ใช้อาคาร อัตราการระบายอากาศ และสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ เมื่อเทียบกับค่าการใช้พลังงานจริงที่ได้จากใบเสร็จค่าไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2557 พบว่าโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานสูงกว่าค่าจริง 21.12% และเมื่อจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus 8.1 ที่นำเข้าข้อมูลการใช้งานอาคารที่ใกล้เคียงกับค่าจริง (ยกเว้นอัตราการระบายอากาศในอาคารที่ไม่สามารถวัดค่าจริงได้) พบว่าโปรแกรมจำลองค่าพลังงานสูงกว่าค่าจริง 1.08%

3. ลักษณะการนำเข้าข้อมูล (Input) ระหว่างโปรแกรม BEC v.1.0.6 กับโปรแกรม EnergyPlus 8.1 มีความแตกต่างกัน 4 ประการหลัก ได้แก่ (ก) ข้อมูลจำนวนชั่วโมงใช้งาน จำนวนผู้ใช้อาคาร อัตราการระบายอากาศ และสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ ในโปรแกรม BEC เป็นค่า Default ที่ไม่สามารถแก้ไขได้ ต่างกับโปรแกรม EnergyPlus ที่สามารถกำหนดค่าเองได้ (ข) โปรแกรม BEC การกำหนดค่า Solar Absorptance ให้ระบุสีของพื้นผิวภายนอก สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศ ให้ระบุขนาดความกว้างของช่องอากาศ ต่างกับโปรแกรม EnergyPlus ที่ให้ระบุตัวเลขค่าดังกล่าว (ค) ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather Data) และสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร จำเป็นต้องระบุในโปรแกรม EnergyPlus แต่ไม่สามารถกำหนดในโปรแกรม BEC ได้ (ง) ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุ โปรแกรม BEC ให้ระบุชนิดของการแผ่รังสีของพื้นผิววัสดุ ต่างกับโปรแกรม EnergyPlus ที่ให้ระบุความหยาบของพื้นผิววัสดุ

ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ลายมือชื่อนักศึกษา ..... ปีการศึกษา 2558
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ..... 2. .....

55054214: MAJOR : ARCHITECTURE
KEY WORDS: RENOVATION / BUILDING ENVELOPE / ENERGY SAVING
SOPIT CHAICHANA: RENOVATION STRATEGIES TO IMPROVE ENERGY SAVING FOR PROVINCIAL HEALTH OFFICE. THESIS ADVISORS: ASSOC. PROF. PANTUDA PUTHIPIROJ, Ph.D. AND ASST. PROF. PRECHAYA MAHATTANATAWE, Ph.D. 137 pp.

This study aimed to 1.Find out strategies to improve the efficiency of the building envelope of the provincial health office typical standard building no. 8491. Chiangrai provincial health office is selected for case study, comply building energy code and also suitable for investment. 2.To compare among results such building simulation by EnergyPlus 8.1, BEC v.1.0.6 program and the actual building energy consumption. 3.To compare the input method between EnergyPlus 8.1 and BEC v.1.0.6 which may affect the predictive value of building energy consumption. A research tool is BEC v.1.0.6. The effectiveness of strategies was assessed by considering the reduced unit of building energy consumption per year (kWh/year), cost of investments (THB) and the payback period (years).

The results showed that:

1. The building envelope materials which consist of: opaque walls: plastered 10-cm thick brick walls of light green color: fenestration: 6-mm thick clear float glass, has an OTTV of 68.69 W/m^2 higher than the code (≤50 W/m^2) . A strategy to improve the OTTV to comply with the code which has the shortest payback period and improve the opaque wall component is the installation of 35-mm thick EPS insulation with 9-mm regular gypsum boards, this would have an OTTV to 48.05 W/m^2, and give a 5.43-year period for return on investment. Improving both the opaque wall and fenestration components requires the installation of a 12-mm thick foil back gypsum board with a 9-cm wide air gap at the opaque walls, and replacing window glass panes with 6-mm dark green float glass panes (SHGC 0.55); this would have the OTTV to 41.11 W/m^2, which give a 5.36-year period for return on investment.

For the roof materials which consist of: opaque roofs: 15-cm thick flat concrete roof, 45-cm wide air gap, and 9-mm gypsum board ceiling, has a RTTV of 27.64 W/m^2 higher than the code (≤15 W/m^2). A strategy to improve the RTTV to comply with the code which has the shortest payback period and the lowest cost is the installation of 75-mm thick fiberglass insulation wrapped with aluminum foil above the ceiling panels of the third floor room; this would have an RTTV to 6.07 W/m^2, which give a 1.24-year period for return on investment.

2. Simulation of the whole building energy consumption by BEC, was simulated by some default values, not editable and difference from the actual value included the working hours, occupancy, ventilation rate and various coefficients which contributed to heat load. The energy consumption were simulated by program was as much as 21.12% higher than that shown on the utility bills data for the year 2014. Simulation by EnergyPlus, which can input an actual value except the actual ventilation rate, not being measured. The energy consumption were simulated by program was as much as 1.08% higher than that shown on the utility bills.

3. The difference of the inputs between these two programs can be divided into 4 parts. (a) The working hours, occupancy, ventilation rate and various coefficients which contributed to heat load in BEC are default value, not editable. (b) The Solar absorptance in BEC was determinated by exterior wall color and the R-Value of air gap was determinated by air gap size. In EnergyPlus these two values can be specified using any suitable values. (c) Some factors cannot input to BEC for energy simulation such as weather data and the surrounding of buildings, but in EnergyPlus these factors are required. (d) The thermal resistance of air film in BEC based on emissivity, but in EnergyPlus based on the roughness of surface material.

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University
Student's signature ..... Academic Year 2015
Thesis Advisors' signature 1. ..... 2. .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และสร้างกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สัทธา ปัญญาแก้ว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาในการให้คำแนะนำและร่วมสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณภูวดล พัฒนภักดี หัวหน้ากลุ่มกำกับมาตรฐานอาคารและสิ่งก่อสร้าง 7 และเจ้าหน้าที่กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข ทุกท่าน ที่ได้ให้ข้อมูลและแบบก่อสร้างอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงรายทุกท่าน ที่สละเวลาตอบข้อซักถาม และให้ข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับการใช้งานอาคาร

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นางสาวอันธิกา ปานวิลัย และนางสาวรัชนีพร นันทคุณากร ที่คอยช่วยเหลือและร่วมเดินทางไปสำรวจเก็บข้อมูลอาคาร

และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ นายวสันต์ นันทคุณากร และนางสาวรัตนา ชัยชนะ ที่ให้ทุนทรัพย์ ให้กำลังใจ และสนับสนุนในการศึกษาครั้งนี้เสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฑ
สารบัญรูป ..... ฒ
สารบัญแผนภูมิ ..... ณ
บทที่
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
ขอบเขตการศึกษา 3
ขั้นตอนของการศึกษา 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
2 แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 6
นโยบายของรัฐด้านพลังงาน 6
การสำรวจและตรวจสอบการใช้พลังงานภายในอาคาร 7
การสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร 7
การตรวจสอบการใช้พลังงานภายในอาคาร 8
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร 9
ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน 9
ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน 10
เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบ 10
ระบบกรอบอาคาร 11
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 13
ระบบปรับอากาศ 13
ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร 13
แนวคิดการปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน 13
การปรับปรุงที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร 14
การปรับปรุงกรอบอาคาร 14
การปรับปรุงระบบแสงสว่าง 16
โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน 17

สารบัญ

บทที่		หน้า
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
	การประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน	21
	วิธีระยะคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period : PB)	21
	วิธีค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)	22
	วิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)	22
3	วิธีดำเนินการวิจัย	24
	ขั้นตอนการศึกษา	24
	เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	27
	โปรแกรม Building Energy Code version 1.0.6	27
	โปรแกรม EnergyPlus 8.1	28
4	อาคารกรณีศึกษา	30
	ลักษณะทางกายภาพของอาคาร	30
	ที่ตั้งอาคาร	30
	พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร	32
	วัสดุประกอบอาคาร	35
	ลักษณะการใช้งานและจำนวนผู้ใช้อาคาร	35
	ลักษณะการใช้งานภายในอาคาร	35
	จำนวนผู้ใช้อาคาร	36
	ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร	37
	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร	37
	ระบบปรับอากาศ	37
	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	39
	อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร	43
	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร	44
	ประเมินอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดด้านพลังงานก่อนปรับปรุง	47
	ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร	47
	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร	47
	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของพื้นที่ใช้งาน	47
	ประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	48
5	การหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารและการเปรียบเทียบผลการจำลอง	49
	เกณฑ์ในการเลือกแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน	49
	การสำรวจข้อมูลคุณสมบัติและราคาของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง	52
	ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังทึบ	52
	ความต้านทานความร้อนของช่องอากาศที่ผนัง	52

สารบัญ

บทที่ หน้า

แผ่นผนังสำเร็จรูป 53
สีทาสะท้อนความร้อน 54
กระจก 54
ฟิล์มลดความร้อน 55
ฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคา 56
ผลการปรับปรุงกรอบอาคาร 57
การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบ 57
การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังโปร่งแสง 62
การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบร่วมกับผนังโปร่งแสง 66
การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนหลังคา 68
การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเริ่มต้น ในโปรแกรม BEC v.1.0.6
กับค่าจริงที่ได้จากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา 76
เปรียบเทียบผลการจำลองด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคาร (ก่อนปรับปรุง) 77
เปรียบเทียบผลการจำลองด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคาร (หลังปรับปรุง) 78
การเปรียบเทียบความแตกต่างของการระบุค่านำเข้าในโปรแกรม 79
อภิปรายผล 90
6 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ 91
สรุปผลการศึกษา 91
ข้อเสนอแนะ 96
รายการอ้างอิง 97
ภาคผนวก 101
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ระบุในการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้า 102
ภาคผนวก ข ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรง ของวัสดุ 124
ภาคผนวก ค การคำนวณค่าไฟฟ้า 134
ประวัติผู้วิจัย 137

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณไฟฟ้าต่อปีของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	2
2	สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน	8
3	สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานแบ่งเป็น 4 ลักษณะ	9
4	ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก	13
5	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีประเมินความคุ้มค่าโครงการ	23
6	รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 1	32
7	รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 2	33
8	รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 3	34
9	รายละเอียดวัสดุประกอบอาคาร	35
10	รายละเอียดลักษณะและเวลาการใช้งานของอาคาร	35
11	จำนวนเจ้าหน้าที่ของอาคาร	36
12	ปริมาณไฟฟ้าต่อปีของอาคาร	37
13	รายละเอียดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ในอาคาร	37
14	รายละเอียดของเครื่องปรับอากาศแต่ละพื้นที่	38
15	รายละเอียดและจำนวนของหลอดไฟในอาคาร	39
16	รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ของชั้น 1	40
17	รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ของชั้น 2	41
18	รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ของชั้น 3	42
19	ขนาดไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในสำนักงาน	43
20	คุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด	44
21	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ของผนังแต่ละทิศ	45
22	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)	45
23	รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV	46
24	เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน	47
25	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละระบบในอาคาร	47
26	เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารตามเกณฑ์ในกฎกระทรวง	47
27	เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดตามเกณฑ์ในกฎกระทรวง	47
28	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ	48
29	สรุปการประเมินอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดด้านพลังงานก่อนปรับปรุง	48
30	เกณฑ์และผลการเลือกวิธีปรับปรุงอาคารเพื่อลดความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร	49
31	ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลการปรับปรุงกรอบอาคาร	51
32	รายละเอียดของฉนวนใยแก้วแบบแผ่นสำหรับงานผนัง	52
33	ค่าการต้านทานความร้อนของช่องอากาศที่ความกว้างต่างๆ	53
34	รายละเอียดของแผ่นผนังสำเร็จรูป	53

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
35	รายละเอียดของฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป	54
36	รายละเอียดของสีสะท้อนความร้อน	54
37	รายละเอียดของกระจกโฟลตและกระจกสะท้อนแสง	55
38	รายละเอียดของฟิล์มลดความร้อน	56
39	รายละเอียดของฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน	56
40	ค่า Outer Surface Color ของผนังทึบ	57
41	ค่า R-Value และราคา ของวิธีการปรับปรุงผนังทึบ	57
42	ค่า OTTV หลังการปรับปรุงผนังทึบแต่ละวิธี	59
43	ค่าปรับปรุงและระยะคืนทุนของวิธีปรับปรุงผนังทึบที่ผ่านเกณฑ์	61
44	สรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมด้านการลงทุน	61
45	ค่า U ค่า SHGC และราคา ของวิธีการปรับปรุงผนังโปร่งแสง	62
46	ค่า OTTV หลังการปรับปรุงผนังโปร่งแสงแต่ละวิธี	64
47	ค่าปรับปรุงและระยะคืนทุนของวิธีปรับปรุงผนังโปร่งแสง	65
48	ค่าปรับปรุงและระยะคืนทุนของวิธีปรับปรุงผนังทึบร่วมกับผนังโปร่งแสง	66
49	สรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบร่วมกับผนังโปร่งแสง	67
50	ค่า Outer Surface Color	68
51	รายละเอียดวิธีการปรับปรุงหลังคา R01-R05	68
52	ค่า RTTV หลังการปรับปรุงหลังคาแต่ละวิธี	70
53	ค่าปรับปรุงและระยะคืนทุนของวิธีปรับปรุงหลังคา	71
54	สรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงหลังคาที่เหมาะสมด้านการลงทุน	72
55	สรุปแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร	73
56	การเปรียบเทียบค่า Default ในโปรแกรม BEC และค่าจริงที่ได้จากการสำรวจ	76
57	เปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้ารายปีของอาคารที่ได้จากโปรแกรมกับการใช้งานจริง	77
58	เปรียบเทียบผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าของอาคารหลังปรับปรุง	78
59	เปรียบเทียบข้อมูลที่นำเข้าในโปรแกรม BEC และโปรแกรม EnergyPlus	79
60	สรุปการประเมินกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุข กับเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ	91
61	สรุปการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบ	91
62	สรุปการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบและผนังโปร่งแสง	92
63	สรุปการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนหลังคา	92
64	เปรียบเทียบผลการจำลองฯของอาคารก่อนปรับปรุง	93
65	เปรียบเทียบผลการจำลองฯของอาคารหลังปรับปรุง	93
66	การเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม 1	94
67	การเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม 2	95
68	การเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม 3	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
69	การเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม 4	96
70	รายละเอียดการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 1	103
71	รายละเอียดการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 2	104
72	รายละเอียดการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 3	105
73	DATABASE – ENVELOPE – MATERIAL - OPAQUE MATERIALS	107
74	DATABASE – ENVELOPE – MATERIAL- TRANSPARENT MATERIALS	107
75	DATABASE – ENVELOPE – MATERIAL- AIR GAP – WALL	108
76	DATABASE – ENVELOPE – MATERIAL- AIR GAP – ROOF	108
77	DATABASE – ENVELOPE – COMPONENT OF SECTION – OPAQUE	108
78	DATABASE – ENVELOPE – COMPONENT OF SECTION – TRANSPARENT	109
79	DATABASE – ENVELOPE – SECTION OF WALL	109
80	DATABASE – ENVELOPE – WALL	110
81	DATABASE – LIGHTING SYSTEM – LIGHTING EQUIPMENT	111
82	DATABASE – A/C SYSTEM – SPLIT TYPE & WINDOW TYPE	111
83	ข้อมูล Equipment ที่บันทึกในโปรแกรม	112
84	BUILDING MODEL – BUILDING ZONE	113
85	Simulation Control	114
86	Building	114
87	Heat Balance Algorithm	115
88	Site Location	115
89	Run Period	115
90	Run Period Control : Special Days	116
91	Schedule Type Limits	116
92	Schedule Day Hourly	117
93	Material	120
94	Material Air Gap	120
95	Window Material Simple Glazing System	120
96	Construction	120
97	People	121
98	Lights	122
99	Electric Equipment	123
100	ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของฉนวนใยแก้วแบบแผ่น	126
101	ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของฉนวนใยแก้วแบบม้วน	126
102	ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของแผ่นผนังสำเร็จรูป	127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
103	ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของแผ่นยิปซั่มชนิดบุฉนวน EPS	127
104	ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของสีสะท้อนความร้อน	128
105	ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของการเปลี่ยนชนิดกระจก	128
106	ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของฟิล์มลดความร้อน	129
107	การคำนวณราคาวิธีปรับปรุงผนังทึบ	130
108	การคำนวณราคาวิธีปรับปรุงผนังโปร่งแสง	131
109	การคำนวณราคาวิธีปรับปรุงหลังคา	131
110	ตารางค่า Factor F	132
111	พื้นที่ปรับปรุงส่วนผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา	133
112	ตัวอย่างการคำนวณค่าลงทุนปรับปรุง	133
113	ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	136

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะภายนอกของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	2
2	อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ในจังหวัดต่างๆ	5
3	อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	30
4	สภาพแวดล้อมภายนอกอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	31
5	เครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	37
6	ลักษณะดวงโคมและหลอดไฟภายในอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	39
7	แผงบังแดดคอนกรีตภายนอกของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	45

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แสดงข้อมูลของอาคารที่จำเป็นต้องระบุในลงในโปรแกรม BEC	17
2	แสดงโปรแกรมย่อยใน EnergyPlus	18
3	แสดงผังบริเวณของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย	31
4	แสดงผังอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ชั้น 1	32
5	แสดงผังอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ชั้น 2	33
6	แสดงผังอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ชั้น 3	34
7	แสดงผังไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ชั้น 1	40
8	แสดงผังไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ชั้น 2	41
9	แสดงผังไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ชั้น 3	42
10	แสดงลักษณะ และขนาดของแผงบังแดดคอนกรีตแนวตั้งและแนวนอน	44
11	แสดงรายละเอียดของแนวทางและผลการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังของอาคารกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6	74
12	แสดงรายละเอียดของแนวทางและผลการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนหลังคาของอาคารกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6	75
13	แสดงผังการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 1 ในโปรแกรม BEC v.1.0.6.	103
14	แสดงผังการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 2 ในโปรแกรม BEC v.1.0.6.	104
15	แสดงผังการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 3 ในโปรแกรม BEC v.1.0.6.	105
16	แสดงการแบ่งรูปแบบของผนังทิศต่างๆ สำหรับใช้ในโปรแกรม BEC v.1.0.6	106

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1	ค่า R-Value ของผนังทึบแต่ละแบบ	58
2	ราคาของวิธีการปรับปรุงผนังทึบแต่ละแบบ	58
3	ค่า OTTV หลังปรับปรุงผนังทึบ	60
4	ค่า U-Value ของการปรับปรุงผนังโปร่งแสง	62
5	ค่า SHGC ของการปรับปรุงผนังโปร่งแสง	63
6	ค่า LSG ของการปรับปรุงผนังโปร่งแสง	63
7	ราคาของวิธีการปรับปรุงผนังโปร่งแสง	63
8	ค่า OTTV หลังปรับปรุงผนังโปร่งแสง	64
9	ค่า OTTV หลังปรับปรุงผนังทึบร่วมกับกระจก	66
10	ราคาของวิธีการปรับปรุงผนังทึบร่วมกับการเปลี่ยนชนิดกระจก	67
11	ค่า R-Value ของหลังคาแต่ละแบบ	69
12	ราคาของวิธีการปรับปรุงหลังคา	69
13	ค่า RTTV หลังปรับปรุงหลังคา	70
14	ราคาค่าปรับปรุงหลังคาแต่ละวิธี	71

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการของภาคประชาชน ภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรม แต่ประเทศไทยมิได้มีแหล่งพลังงานเชิงพาณิชย์ภายในประเทศมากพอกับความต้องการ ทำให้ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปัจจุบันมีมูลค่ากว่า 5 แสนล้านบาท แนวทางสำคัญที่จะช่วยลดอัตราการเพิ่มความต้องการการใช้พลังงานในประเทศ คือการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดในทุกภาคส่วน (กระทรวงพลังงาน, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556: 2)

ภายใต้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 ให้อำนาจรัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงานออกกฎกระทรวงเพื่อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานอนุรักษ์พลังงานในอาคารขึ้น ได้แก่ กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งได้กำหนดให้อาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงที่มีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตร.ม. ขึ้นไป โดยแบ่งประเภทอาคารออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงาน อาคารชุด อาคารชุมนุมคน อาคารโรงมหรสพ โรงแรม สถานบริการ และอาคารห้างสรรพสินค้า ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งกฎกระทรวงดังกล่าวมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 20 มิถุนายน 2552 เป็นต้นไป

นอกจากนี้ คณะรัฐมนตรีในการประชุมเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2555 ได้มีมติให้หน่วยงานของภาครัฐ ดำเนินมาตรการลดใช้พลังงานลงให้ได้อย่างน้อยร้อยละ10 เพื่อเป็นตัวอย่างให้กับภาคประชาชน และภาคเอกชน ในการช่วยลดรายจ่ายค่าพลังงานของประเทศ โดยหน่วยงานที่ต้องดำเนินการ ได้แก่ หน่วยงานสังกัดกรมที่ตั้งขึ้นตามกฎกระทรวง และปฏิบัติงานอยู่ในส่วนกลาง และส่วนภูมิภาค (กระทรวงพลังงาน, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556: 3)

อาคารสำนักงานของภาครัฐที่มีการก่อสร้างและใช้งานในระยะเวลา 10 - 15 ปีที่ผ่านมาจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงฯ และตามมาตรการลดการใช้พลังงานร้อยละ10 เมื่อพิจารณาลักษณะของอาคาร โดยเฉพาะอาคารสำนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ในส่วนภูมิภาค ซึ่งไม่ได้ออกแบบสำหรับรองรับการใช้งานเครื่องปรับอากาศตั้งแต่แรก พบว่ามีปัญหาด้านการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ เนื่องจากถูกกำหนดด้วยกรอบงบประมาณ จึงเลือกใช้วัสดุที่มีราคาถูกและก่อสร้างได้ง่ายในสมัยนั้น (กระทรวงพลังงาน, ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.) ประกอบกับการออกแบบให้มีช่องเปิดจำนวนมากเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ ในภายหลังเมื่อมีการนำเครื่องปรับอากาศมาใช้ในอาคาร จึงอาจส่งผลให้การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีความสิ้นเปลือง

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 มีลักษณะปัญหาของอาคารด้านพลังงานตามที่กล่าวข้างต้น จากการสำรวจ พบว่า มีอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานดังกล่าว อย่างน้อยใน 21 จังหวัด การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย (ภาพที่ 1) เป็นอาคารกรณีศึกษา เนื่องจากผู้ใช้อาคารมีความพร้อมในการให้ข้อมูล และมีความสะดวกในการเข้าไปสำรวจอาคาร รวมทั้งมีการแยกมิเตอร์ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานหลังนี้ออกจากอาคารอื่นในบริเวณเดียวกัน โดยอาคารเริ่มเปิดใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546

ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เมื่อมิถุนายน 2557)

เมื่อศึกษาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารย้อนหลัง 4 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2557 (ตารางที่ 1) พบว่า ในปี พ.ศ. 2555 อาคารมีการใช้พลังงานสูงขึ้นจากปีก่อนหน้าร้อยละ 8.37 ต่อมารัฐบาลได้มีนโยบายให้ดำเนินมาตรการลดการใช้พลังงาน ส่งผลให้ ในปี พ.ศ. 2556 จากการดำเนินมาตรการ ได้แก่ การกำหนดเวลาเปิด-ปิดหลอดไฟ อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ รวมไปถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร มีปริมาณการใช้พลังงานลดลงจากเดิม ร้อยละ 31.51 ต่อมาในปี พ.ศ. 2557 จากการดำเนินการมาตรการเฉพาะการกำหนดเวลาเปิด-ปิดการใช้งานหลอดไฟ อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้ปริมาณพลังงานลดลงจากเดิม ร้อยละ 0.72

ตารางที่ 1 ปริมาณไฟฟ้าต่อปีของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ปี พ.ศ. 2554-2557

ปี พ.ศ.	**พ.ศ. 2554**	**พ.ศ. 2555**	**พ.ศ. 2556**	**พ.ศ. 2557**
ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)	212,285	230,814	158,082	156,944
เทียบกับปีก่อนหน้า	-	เพิ่มขึ้น 8.73%	ลดลง 31.51%	ลดลง 0.72%

จากการศึกษาประสิทธิภาพของกรอบอาคารเบื้องต้น พบว่ากรอบอาคารของห้องทำงานซึ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ คือ ผนังอิฐมอญฉาบเรียบหนา 10 ซม. หน้าต่างกระจกโฟลตใส หนา 6 มม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เท่ากับ 68.94 วัตต์/ตร.ม. สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 50 วัตต์/ตร.ม. ส่วนหลังคา คือ คอนกรีต หนา 15 ซม. ด้านล่างเป็นช่องว่างอากาศ หนา 45 ซม.

และฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เท่ากับ 27.64 วัตต์/ตร.ม. สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 15 วัตต์/ตร.ม. แสดงให้เห็นว่ากรอบอาคารของอาคารกรณีศึกษามีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนต่ำกว่าเกณฑ์ จึงควรมีการศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารให้ผ่านเกณฑ์และมีความเหมาะสมด้านการลงทุน

2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

2.1 เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร ของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดตามแบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 และมีความเหมาะสมด้านการลงทุน

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการจำลองด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ระหว่างโปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณตามกฎกระทรวงฯ และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่อาคารใช้จริง

2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการนำเข้าข้อมูลอาคารลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 ซึ่งอาจมีผลต่อการทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่แตกต่างกัน

3. ขอบเขตการศึกษา

3.1 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานสาธารณสุขตามแบบมาตรฐานเลขที่แบบ 8491 โดยมีอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย เป็นอาคารกรณีศึกษา แบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.2 ศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคาร ได้แก่ ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคาทึบ เพื่อให้ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6

3.3 เลือกแนวทางปรับปรุงที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) จำนวนเงินลงทุน (บาท) และระยะคืนทุน (ปี)

3.4 ศึกษาความแตกต่างของการนำเข้าข้อมูลอาคารลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 ที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

4. ขั้นตอนของการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูลของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ได้แก่

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

4.1.2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า

4.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมากำหนดแนวทางปรับปรุงกรอบอาคาร ได้แก่

4.2.1 คุณสมบัติวัสดุ ราคา และค่าแรงในการปรับปรุง

4.2.2 วิธีการคำนวณค่าก่อสร้าง ค่าวัสดุ และค่าแรง

4.2.3 การคำนวณค่าไฟฟ้าของอาคารสำนักงานราชการ

4.2.4 วิธีประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน

4.3 ประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนปรับปรุง เปรียบเทียบกับเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 ประกอบด้วย

4.3.1 การใช้พลังงานรวมของอาคาร

4.3.2 การถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

4.3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของพื้นที่ใช้งาน

4.3.4 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

4.4 กำหนดเกณฑ์และแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร

4.5 จำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารหลังปรับปรุงแต่ละแนวทาง

4.6 นำแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ มาศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุน เพื่อให้ได้แนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสม

4.7 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของผลทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา ที่ได้จากโปรแกรมจำลอง โดยการ

4.7.1 เปรียบเทียบเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่าง ของลักษณะการใช้งานอาคารที่เกิดขึ้นจริง กับค่าเริ่มต้น (Default) ในโปรแกรม BEC v.1.0.6

4.7.2 นำเข้าข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารที่เกิดขึ้นจริง ลงใน EnergyPlus 8.1 และจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

4.7.3 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของค่าพลังงานที่จำลองได้จากโปรแกรม BEC และโปรแกรม EnergyPlus เทียบกับค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจริง โดยดูจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าใน 1 ปี

4.7.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของผลประหยัด และระยะคืนทุน ของแนวทางปรับปรุง ที่ได้จากการจำลองการใช้พลังงานจากโปรแกรมทั้งสอง

4.8 เปรียบเทียบลักษณะการนำเข้าข้อมูลระหว่างโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 ที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

4.9 สรุปผลการศึกษา

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุง หรือออกแบบกรอบอาคารของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารที่ถูกต้องตามกฎกระทรวงฯ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และที่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

5.2 เพื่อให้เกิดความเข้าใจความแตกต่างของผลการจำลองค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 กับค่าที่เกิดขึ้นจริง

บทที่ 2

แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน และการศึกษาเปรียบเทียบผลการจำลองการใช้พลังงานที่ได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 และ EnergyPlus 8.1 ได้ศึกษาค้นคว้า เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491
2. นโยบายของรัฐด้านพลังงาน
3. การสำรวจและวิเคราะห์อาคาร
4. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร
5. เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานระบบ
6. แนวคิดการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน
7. โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
9. การประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน

1. อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ออกแบบโดยกองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 3 ชั้น มีเนื้อที่ประมาณ 2,293.51 ตร.ม. ตั้งอยู่ในอย่างน้อย 21 จังหวัด โดยเป็นที่ทำการของเจ้าหน้าที่รัฐในการกำกับดูแลด้านสาธารณสุขของจังหวัด

(ก) (ข)

ภาพที่ 2 อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ในจังหวัดต่างๆ
(ก) จังหวัดนครพนม (ข) จังหวัดมหาสารคาม

ที่มา: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครพนม. **อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครพนม**, เข้าถึงเมื่อ 16 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.nkp.moph.go.th; สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม, **อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม**, เข้าถึงเมื่อ 16 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://mkho.moph.go.th/mko/

ลักษณะของอาคารแบบมาตรฐาน พื้นที่ทั่วไปเป็นพื้นหินขัดสำเร็จรูป บางส่วนเป็นพื้นคอนกรีตปูด้วยกระเบื้องยาง ผนังทึบ คือ ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม. กระจกหน้าต่างเป็นกระจกใส หนา 6 มม. บานกรอบและวงกบเหล็กขึ้นรูป ฝ้าเพดานภายในแผ่นยิปซั่ม หนา 9 มม. ฉาบปูนเรียบ ลักษณะพื้นที่ใช้สอยภายในเป็นแบบสำนักงาน และห้องประชุม มีห้องน้ำอยู่รวมภายในอาคาร ใช้บันไดในการขึ้นลงระหว่างชั้น (ไม่มีลิฟต์โดยสาร) ตรงกลางอาคารเป็นโถงโล่ง สูงตั้งแต่ชั้น 1 ถึงชั้น 3

เนื่องจากอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด เป็นอาคารของภาคราชการ จึงต้องปฏิบัติตามนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด เพื่อเป็นตัวอย่างให้กับภาคประชาชน และภาคเอกชนต่อไป

2. นโยบายของรัฐด้านพลังงาน

การประหยัดพลังงานที่ถูกต้องไม่ได้หมายถึงการเลิกใช้พลังงาน แต่เป็นการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับอาคารสำนักงานจำเป็นต้องเข้าใจกิจกรรมและอุปกรณ์ต่างๆ ในอาคาร เพื่อแก้ไขจุดที่มีการรั่วไหลหรือการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง มีการกำหนดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆอย่างประหยัดและถูกต้อง รวมทั้งการวางมาตรการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548: 6) โดยภาครัฐได้มีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดในทุกภาคส่วนเช่นกัน คณะรัฐมนตรีในการประชุมเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2555 ได้มีมติให้หน่วยงานภาครัฐดำเนินการลดการใช้พลังงานให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 10 เพื่อเป็นตัวอย่างให้กับภาคเอกชนและภาคประชาชน ในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดอัตราการเพิ่มความต้องการการใช้พลังงานของประเทศ (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2556: 3)

ขั้นตอนดำเนินการในโครงการประหยัดพลังงานในภาครัฐ มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จัดตั้งคณะทำงานประหยัดพลังงานของหน่วยงาน

ขั้นตอนที่ 2 คณะทำงานพิจารณาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละระบบ ได้แก่ ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 3 คณะทำงานร่วมกันพิจารณาวิธีการใช้งานของแต่ละระบบที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 4 จากขั้นตอนที่ 2 และ 3 นำมาจัดทำแผนและมาตรการที่เหมาะสม โดยกำหนดเป้าหมายให้ลดการใช้พลังงานลงอย่างน้อยร้อยละ 10

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดผู้รับผิดชอบเพื่อดำเนินการตามแผนและการรายงานผล

ขั้นตอนที่ 6 คณะทำงานร่วมกันติดตามผล และทบทวนแผนปฏิบัติ ปีละ 2 ครั้ง

นอกจากนี้ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ยังได้มีการศึกษาวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงาน และกำหนดแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน และกำหนดเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงานเป็น ระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาว ดังนี้

แผนส่งเสริมระยะสั้น (1 - 2 ปี) เน้นใช้มาตรการที่สามารถดำเนินการได้ทันที ใช้เงินลงทุนไม่มาก เช่น การส่งเสริมให้มีระบบการจัดการด้านพลังงาน มีการบำรุงรักษาที่ดี และลงทุนเพื่อปรับปรุงอุปกรณ์และระบบต่างๆ เบื้องต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน มีเป้าหมายเพื่อลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 3

แผนส่งเสริมระยะปานกลาง (3 - 5 ปี) เน้นมาตรการที่ต้องมีการลงทุนเพิ่มขึ้น เพื่อปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพการดำเนินงานที่ดีขึ้น เป้าหมายเพื่อลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 7

แผนส่งเสริมระยะยาว (มากกว่า 5 ปี) เน้นมาตรการที่ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง อาจจำเป็นต้องมีการแก้ไขปรับปรุงกรอบอาคาร รวมไปถึงเปลี่ยนแปลงหลักการในการออกแบบอาคารและระบบการใช้พลังงานต่างๆในอาคารใหม่ รวมถึงการเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้พลังงานสูงให้เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อาจเหมาะสมกับโครงการอาคารสำนักงานใหม่ หรืออาคารสำนักงานที่ถึงระยะเวลาที่ต้องมีการปรับปรุง เป้าหมายเพื่อลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 10

3. การสำรวจและตรวจสอบการใช้พลังงานภายในอาคาร

การหาแนวทางปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า จำเป็นต้องมีการศึกษาหาปัญหาของอาคารก่อน โดยการสำรวจและตรวจสอบอาคาร ดังนี้

3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร

จากหนังสือ Retrofitting of Building For Energy Conservation (2527) เสนอแนวทางในการสำรวจและเก็บข้อมูล ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของอาคาร ประกอบด้วย

1.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร ได้แก่ ประเภทของโครงสร้างอาคาร ขนาดของอาคาร ทิศทางของอาคาร วัสดุก่อสร้าง พื้นที่ของช่องแสง และลักษณะการบังแดดให้ตัวอาคาร

1.2 พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ได้แก่ การกำหนดตำแหน่งห้องต่างๆในอาคาร

2. ข้อมูลงานระบบในอาคาร ประกอบด้วย

2.1 ระบบปรับอากาศ ได้แก่ ประเภท จำนวน และปริมาณพลังงานที่ใช้

2.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ได้แก่ ตำแหน่งดวงโคม ขนาด และวงจรไฟฟ้า

2.3 ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า ได้แก่ จำนวน และปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบ

3. ข้อมูลลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อาคาร

3.1 ตารางเวลาการใช้งาน ได้แก่ จำนวนผู้ใช้งานในแต่ละช่วงเวลา

4. ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร
   4.1 ตารางการใช้งานของระบบปรับอากาศ
   4.2 ตารางการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
   4.3 ตารางการใช้งานของระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า
5. ข้อมูลการใช้พลังงานที่ผ่านมา
6. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

3.2 การตรวจสอบการใช้พลังงานภายในอาคาร

วัชระ มั่งวิทิตกุล (2544: 41) กล่าวถึงการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารเพื่อให้ทราบว่ามีการใช้พลังงานอะไร มากน้อยเพียงใด และใช้ที่ไหน โดยการเก็บข้อมูลและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบกับการใช้พลังงานนั้นๆ

การตรวจสอบการใช้พลังงานต้องทำอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น อัตราค่าพลังงานที่สูงขึ้น ประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงตามสภาพการใช้งาน นอกจากนี้เทคโนโลยีการประหยัดพลังงานยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีมาตรการประหยัดพลังงานใหม่ๆ ให้เห็นอยู่เสมอ ส่วนมาตรการประหยัดพลังงานเดิมที่ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในการประเมินครั้งก่อนๆ ก็อาจจะถูกนำมาพิจารณาใหม่อีกครั้ง

การตรวจสอบการใช้พลังงาน แบ่งออกเป็น การตรวจสอบการใช้พลังงานเบื้องต้นและการตรวจสอบการใช้พลังงานโดยละเอียด

การตรวจสอบการใช้พลังงานเบื้องต้น เป็นการสำรวจและตรวจสภาพการใช้งานในระดับเบื้องต้นของอุปกรณ์ต่างๆ อาจใช้เครื่องมือตรวจตรวจวัดคร่าวๆ เพื่อชี้ให้เห็นสภาพการใช้พลังงานและศักยภาพเบื้องต้นในการประหยัดพลังงานของระบบต่างๆ

การตรวจสอบพลังงานโดยละเอียด เป็นการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปประเมินมาตรการประหยัดพลังงานที่มีความซับซ้อนและมีการลงทุนค่อนข้างมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ หรือการปรับปรุงกรอบอาคาร การตรวจสอบโดยละเอียดมักจำเป็นต้องใช้เครื่องมือตรวจสอบทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์และจำลองการใช้พลังงาน (Simulation) เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำ

สำหรับสัดส่วนการใช้พลังงานภายในอาคารของแต่ละระบบในอาคารสำนักงานของภาครัฐ ได้มีการสำรวจโดยกรมกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) สำหรับเป็นแนวทางตรวจสอบเบื้องต้น โดยพบว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงาน ดังนี้

ตารางที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

อาคาร	ระบบปรับอากาศ	ระบบแสงสว่าง	ระบบอื่นๆ
สำนักงาน	50-55%	20-25%	15-30%

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). **การสำรวจการใช้พลังงานในอาคารของรัฐ**, เข้าถึงเมื่อ 22 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://cste.sut.ac.th/2014/wp-content/uploads/2014/08/general.pptx

นอกจากนี้ ธงชัย ฟองสมุทร (2555: 6) ยังได้แสดงตัวเลขประมาณการ สำหรับนำไปประเมินการใช้พลังงานในสำนักงานแต่ละระบบคร่าวๆ โดยแบ่งสำนักงานออกเป็น 4 ลักษณะ (ตารางที่ 3) โดยให้เหตุผลว่า หน่วยงานในเมืองจำเป็นที่จะต้องเป็นพื้นที่ปรับอากาศเสียส่วนใหญ่ เนื่องจากทำเลที่ตั้งของอาคารที่มีการไหลเวียนของอากาศไม่ดี เสียงดังจึงจำเป็นต้องปิดห้องให้มิดชิด สำหรับหน่วยงานที่อยู่นอกเมือง ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นอาคารเดียวๆ อากาศไหลเวียนดี จึงอาจไม่จำเป็นต้องพึ่งพาเครื่องปรับอากาศมากนัก

ตารางที่ 3 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานที่แบ่งเป็น 4 ลักษณะ

สำนักงาน	ระบบปรับอากาศ (%)	ระบบแสงสว่าง (%)	ระบบอื่นๆ (%)
หน่วยงานทั่วไปในเมือง	60	25	15
หน่วยงานทั่วไปนอกเมือง	35	35	30
หน่วยงานที่มีอุปกรณ์พิเศษมากๆ	30	20	50
หน่วยงานที่มีเครื่องปรับอากาศน้อย	20	50	30

ที่มา: ธงชัย ฟองสมุทร. (2555). **กลยุทธ์พิชิตเป้าหมายลดการใช้พลังงาน 10-15%,** เข้าถึงเมื่อ 22 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.e-report.energy.go.th/cabinetfiles/ESaving55p2

4. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน (กระทรวงพลังงาน, ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2557) แบ่งออกเป็น ปัจจัยภายนอก และปัจจัยภายในที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

4.1 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

1. สภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้น เป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับที่อยู่อาศัยหรืออาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงาน เนื่องจากการสร้างอาคารที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศจะช่วยในการลดพลังงานในระบบการทำความเย็นสำหรับเขตร้อน

2. ทิศทางแดด ควรหลีกเลี่ยงการวางตำแหน่งด้านยาวของอาคารให้หันหน้าเข้าหาทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เนื่องจากจะมีความร้อนในเวลาบ่าย ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศสูง

3. การใช้ภูมิทัศน์โดยรอบอาคาร การใช้ประโยชน์จากภูมิทัศน์เพื่อการออกแบบ เช่น จัดให้พื้นผิวดินรอบอาคารโดยเฉพาะด้านที่ลมประจำพัดผ่าน เป็นวัสดุปูผิวที่ชุ่มชื้น เช่น สนามหญ้า ไม้คลุมดิน ไม่ควรปูผิวด้วยวัสดุสะท้อนความร้อน ประเภทผิวคอนกรีต เพราะจะพัดพาลมร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เป็นต้น

4. พืชพันธุ์ธรรมชาติ โดยการเลือกพันธ์ไม้ที่นำมาปลูกโดยรอบอาคาร เช่น ปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีทรงแผ่กว้างและพุ่มใบโปร่งรอบ ๆ อาคาร เพื่อให้ร่มเงาช่วยลดความร้อนที่เกิดจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun) แต่ในขณะเดียวกันนั้น ก็ไม่กักเก็บความชื้น หรือ การใช้ไม้พุ่มเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็น โดยให้มีลมพัดผ่านก่อนเข้าสู่อาคาร ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ตัวอาคารลดลง

4.2 ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

1. รูปทรงอาคารที่มีความเหมาะสม โดยมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวกรอบอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยให้น้อยที่สุด หรือการออกแบบให้กรอบอาคารมีขนาดเส้นรอบรูปน้อย มีการรั่วซึมของอากาศต่ำ ในกรณีที่อาคารมีรูปทรงเรียวยาว ควรวางอาคารในแนวทิศตะวันออก – ตะวันตก

2. ผนังอาคาร ถือเป็นส่วนที่มีความสำคัญในการช่วยให้อาคารมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในอาคาร ใช้เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เหมาะสมกับการทำกิจกรรมต่างๆ การเลือกใช้ผนังอาคารที่เหมาะสม คือใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ จะช่วยลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร

3. หลังคาอาคาร โดยการเพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้หลังคา การติดตั้งหรือบุฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา หรือระหว่างชั้นฝ้าเพดานกับหลังคา โดยอาจมีช่องระบายอากาศเพื่อระบายอากาศร้อนจากใต้หลังคาออกสู่ภายนอกอาคาร

4. ฉนวนกันความร้อน เลือกชนิดของฉนวนที่เหมาะสมทั้งแบบที่สำหรับติดตั้งบริเวณผนัง หรือติดตั้งบริเวณหลังคา เพื่อให้ตัวอาคารมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้สูงสุด

5. กระจก เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากเป็นส่วนที่รับความร้อนและแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร ดังนั้นการเลือกชนิดกระจกและเทคนิคการติดตั้งจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้

6. เครื่องปรับอากาศ ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิในอาคาร ให้เหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร การปรับอากาศของอาคารในภูมิประเทศร้อนชื้นมีกลไกการปรับอากาศ ประกอบด้วย การลดอุณหภูมิ และลดความชื้นของอากาศ โดยอากาศที่จ่ายเข้าบริเวณปรับอากาศต้องรับภาระความร้อนและความชื้นจากอุปกรณ์ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ การปรับอากาศจึงก่อให้เกิดการใช้พลังงานสูง ซึ่งภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ประกอบด้วย

แหล่งความร้อนภายใน (Internal Heat Source) ได้แก่ ความร้อนจากกิจกรรมของคน จากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

แหล่งความร้อนภายนอก (External Heat Source) ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอก และการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ผ่านกรอบอาคารที่เป็นกระจก

อากาศที่ระบาย และอากาศที่รั่วไหล (Ventilation and Infiltration Air) ได้แก่ อากาศภายนอกที่ป้อนเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศเพื่อรักษาคุณภาพอากาศ และอากาศภายนอกที่รั่วไหลเข้ามาตามรอยแยกของกรอบอาคาร หรือวงกบประตู หน้าต่าง

5. เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบ

กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในระบบต่างๆ โดยในขอบเขตของการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ

5.1 ระบบกรอบอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ใช้กำหนดประสิทธิภาพเชิงอุณหภาพของกรอบอาคาร ค่าดังกล่าวแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคาร (ครอบคลุมทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสง) ที่เป็นผลต่อภาระการปรับอากาศของระบบปรับอากาศ โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก สำหรับอาคารประเภทสำนักงาน ต้องมีค่าไม่เกิน 50 วัตต์/ตร.ม. ของผนังด้านนอกอาคาร คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) รวมกัน

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ใช้กำหนดประสิทธิภาพเชิงอุณหภาพของหลังคาอาคาร ค่าดังกล่าวแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่ถ่ายเทผ่านหลังคาอาคาร ครอบคลุมทั้งหลังคาทึบแสงและโปร่งแสงที่มีผลต่อภาระการปรับอากาศ สำหรับอาคารสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 15 วัตต์/ตร.ม. ของหลังคาอาคาร

1. วิธีการในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการ ดังต่อไปนี้

$$OTTV_i = (U_W)(1\text{-}WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (วัตต์/ตร.ม.)

U_W คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (วัตต์/ตร.ม.-องศาเซลเซียส)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนัง

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ (องศาเซลเซียส)

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง (วัตต์/ตร.ม.-องศาเซลเซียส)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (องศาเซลเซียส)

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงและ/หรือผนังทึบแสง (วัตต์/ตร.ม.)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) คือค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังแต่ละด้าน ($OTTV_i$) รวมกัน คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \ldots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \ldots + A_{wi}}$$

Aw_i คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง (ตร.ม.)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก ด้านที่พิจารณา (วัตต์/ตร.ม.)

2. วิธีการในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการ ดังต่อไปนี้

$$RTTV_i = (U_r)(1\text{-}SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา (วัตต์/ตร.ม.)

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (วัตต์/ตร.ม.-องศาเซลเซียส)

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ (องศาเซลเซียส)

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาโปร่งแสง (วัตต์/ตร.ม.-องศาเซลเซียส)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (องศาเซลเซียส)

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสงและ/หรือผนังทึบแสง (วัตต์/ตร.ม.)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) คำนวณจากสมการ ดังต่อไปนี้

$$RTTV = \frac{(A_{r1})(RTTV_1) + (A_{r2})(RTTV_2) + \ldots + (A_{ri})(RTTV_i)}{A_{r1} + A_{r2} + \ldots + A_{ri}}$$

A_{ri} คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและหลังคาโปร่งแสง (ตร.ม.)

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (วัตต์/ตร.ม.)

5.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร จะต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอ และเป็นไปตามมาตรฐานที่ยอมรับได้ทางวิศวกรรม สำหรับอาคารสำนักงาน อุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถ จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 14 วัตต์/ตร.ม.

5.3 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศขนาดเล็กที่ติดตั้งภายในอาคาร จะต้องมีค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำในรูปของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP; Coefficient Of Performance) หรืออัตราส่วนประสิทธิ์ภาพการใช้พลังงาน (EER; Energy Efficiency Ratio) ดังนี้

ตารางที่ 4 ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	**ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)**
ไม่เกิน 12,000 W	3.22

หมายเหตุ: COP 3.22 เท่ากับ 11 BTU/Hr/W

5.4 ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

กรณีที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หรือระบบใดระบบหนึ่งของอาคารที่พิจารณา ไม่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของระบบที่กำหนด อาคารดังกล่าวสามารถนำเข้าสู่การพิจารณาประเมินตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งอาคารได้ โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวในรอบ 1 ปี นำมาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานโดยรวมในรอบ 1 ปี ของอาคารอ้างอิง อาคารจะผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมได้ก็ต่อเมื่อค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารนั้นทั้งปี**ต่ำกว่า**ค่าการใช้พลังงานโดยรวมทั้งปีของอาคารอ้างอิง ซึ่งมีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และอาคารที่ใช้อ้างอิงต้องมีค่าระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศเป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบ

6. แนวคิดการปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552: 8) กล่าวถึงประเด็นที่ต้องพิจารณาก่อนปรับปรุงอาคาร ได้แก่

1. ความคุ้มค่าทางด้านการลงทุน โดยควรเสนอทางเลือกอย่างน้อย 2-3 แนวทาง
2. ค่าใช้จ่ายด้านการดูแลรักษาอาคารควรจะลดลงหรืออย่างน้อยต้องไม่เพิ่มขึ้น
3. ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ใช้อาคารต้องไม่ลดลง

นอกจากนี้ ยังมีแนวคิดในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548: 9-13) โดยได้เลือกศึกษาเฉพาะแนวคิดที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงอาคารที่เปิดใช้งานแล้วสำหรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

6.1 การปรับปรุงที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร

เป็นการใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิโดยรอบอาคารในเวลากลางวัน เป็นการลดภาระของระบบปรับอากาศ เช่น การใช้พืชพันธุ์ธรรมชาติโดยปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีทรงแผ่กว้างและพุ่มใบโปร่งบริเวณรอบๆอาคาร เพื่อให้ร่มเงาช่วยลดความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ แต่ไม่กักเก็บความชื้น ใช้ไม้พุ่มเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็น ปลูกหญ้าหรือพืชคลุมดินเพื่อป้องกันความร้อนให้กับดิน และทำให้อุณหภูมิผิวสภาพแวดล้อมเย็นลง

6.2 การปรับปรุงกรอบอาคาร

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตัวอาคารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเป็นอย่างมาก เพราะความร้อนจากรังสีอาทิตย์เป็นที่มาของภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศ หากสามารถลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ จะส่งผลให้ลดการใช้พลังงานลงได้มาก เพราะเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดในอาคาร ซึ่งการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศจะต้องลดภาระการทำความเย็นในอาคาร ซึ่งความร้อนที่ผ่านเข้าทางกรอบอาคารเป็นส่วนหนึ่งของภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (ณัฐพล เตชพิชิต, 2556: 1) โดยเลือกศึกษาเฉพาะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตัวอาคารที่สามารถปรับปรุงได้ภายหลัง ดังนี้

1. การลดความร้อนผ่านผนังทึบ โดยวิธีการเพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับผนัง (เพิ่มค่า R ของผนังให้สูงขึ้น) โดยการติดตั้งหรือบุฉนวนกันความร้อนที่ผนังกรอบอาคาร หรือใช้ผนังสองชั้นที่มีช่องว่างอากาศ (Air Gap) อยู่ระหว่างชั้นของผนังเป็นอากาศหรือฉนวนเพื่อกันความร้อน ทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เข้ามาในอาคารลดลง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548: 8) นอกจากนี้การออกแบบให้สีภายนอกของผนังทึบเป็นสีอ่อนหรือสีขาวจะช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารซึ่งมีผลต่อภาระของระบบปรับอากาศได้ เนื่องจากสีอ่อนหรือสีขาวมีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบที่เข้าสู่ตัวอาคารต่ำ (Ho, 1997: 88)

2. การลดความร้อนผ่านช่องเปิดของอาคาร โดยพิจารณาให้มีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด (WWR) ให้น้อยที่สุด มีชายคา กันสาด หรือปลูกต้นไม้เพื่อบังแดดให้กับช่องเปิดทุกๆทิศทาง

2.1 การเลือกชนิดกระจกหน้าต่าง โดยเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ต่ำ และมีค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน (LSG) สูง ตัวอย่างคุณสมบัติของกระจกต่างๆที่ใช้ในปัจจุบัน (สุรพล เดชพล, 2552: 51) ได้แก่

กระจกตัดแสง (Tinted Glass) สามารถลดแสงจ้าและความร้อน แต่อาจทำให้แสงสว่างเข้าสู่อาคารไม่เพียงพอ มีราคาถูก

กระจกดูดกลืนความร้อน (Heat-Absorbing Glass) สามารถดูดซับความร้อนได้ และหากมีที่กันแดดให้กระจก จะสามารถลดความร้อนได้มากขึ้น

กระจกเคลือบผิวสะท้อนแสง (Reflective Metalic Coating) ทำหน้าที่คล้ายกระจกเงาสะท้อนความร้อน สามารถลดทั้งความร้อนและลดแสงจ้า เหมาะกับการใช้งานในเวลากลางวัน แต่ขณะเดียวกันก็จะแผ่กระจายความร้อนให้กับภายในห้องเวลากลางคืน เหมาะสำหรับใช้ในเมืองหนาว นอกจากนี้แสงสะท้อนจากกระจกในเวลากลางวันอาจรบกวนอาคารข้างเคียง

กระจกสองชั้น (Double Glazing) ประกอบจากกระจกสองแผ่นที่มีช่องว่างระหว่างกลางเป็นสุญญากาศหรือก๊าซเฉื่อย มีคุณสมบัติยอมให้แสงสว่างเข้าได้มาก สามารถป้องกันรังสีอัลตร้าไวโอเลตได้ แต่ราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกระจกชนิดอื่นๆ

กระจกแผ่รังสีต่ำ (Low-E) เป็นกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ ช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้มาก แต่มีราคาค่อนข้างสูง

2.2 การติดตั้งฟิล์มลดความร้อนที่กระจก เป็นการควบคุมปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคาร เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากสามารถติดตั้งได้สะดวก แต่มีอายุการใช้งานต่ำเมื่อเทียบกับราคา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์ม เช่น ฟิล์มย้อมสี (Dyed Film) อายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี ฟิล์มเคลือบละอองโลหะ (Metal Reflective Film) ไม่เกิน 5 ปี หรือฟิล์มเคลือบอนุภาคโลหะ (Metal Sputtering Film) ซึ่งมีราคาสูงมาก มีอายุการใช้งานไม่เกิน10 ปี นอกจากนี้ การที่กระจกติดฟิล์มได้รับแสงอาทิตย์ตลอดช่วงเวลากลางวัน จะส่งผลให้อายุการใช้งานของฟิล์มลดลง (สุวัฒน์ ผาบจันดา, 2551: บทคัดย่อ)

3. ตำแหน่งช่องเปิด ปรับปรุงโดยการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแบบถาวรเหนือกระจกสำหรับบังรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Solar Radiation) หรือพิจารณาการออกแบบสภาพภูมิทัศน์เพื่อช่วยในการบังแดด นอกจากนี้การออกแบบอุปกรณ์บังแดดมีผลกับการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารโดยตรง ดังนั้นจึงควรพิจารณาควบคู่กันไป

การออกแบบอุปกรณ์บังแดด ควรใช้อุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารมากกว่าภายในอาคาร โดยมีลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมกับทิศทาง ได้แก่ ทิศใต้ ควรใช้อุปกรณ์บังแดดแบบผสม (แนวตั้งและแนวนอน) และเพิ่มชายคายื่นยาว ทิศตะวันออกและตะวันตก ใช้แบบแนวตั้งและปรับมุมได้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ใช้แบบตาราง ทิศเหนือ อาจใช้แบบแนวตั้งยื่นออกมาเล็กน้อยเพื่อบังช่วงเช้าและเย็น นอกจากนี้การติดตั้งกันสาดหรือแผงกันแดดควรหลีกเลี่ยงสะพานความร้อน โดยให้มีจุดเชื่อมระหว่างกันสาดกับตัวอาคารให้น้อยที่สุด หรือให้มีช่องว่างระหว่างกันสาดกับตัวอาคารเพียงพอเพื่อให้ระบายความร้อนได้ดี สำหรับการใช้อุปกรณ์บังแดดภายในอาคารไม่สามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ ควรพิจารณาใช้เฉพาะกรณีที่ต้องการช่วยลดแสงบาดตา และช่วยให้สบายตาขึ้นเท่านั้น

4. การลดความร้อนผ่านหลังคา ซึ่งเป็นส่วนที่รับความร้อนตลอดวันและมีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นในอาคารเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอาคารที่ค่อนข้างเตี้ยแต่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผิวอาคารสูง แนวทางในการลดความร้อนที่ผ่านหลังคา เช่น เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับหลังคา โดยการติดตั้งหรือบุฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา หรือระหว่างชั้นฝ้าเพดานกับหลังคา โดยอาจมีช่องเพื่อระบายอากาศร้อน ให้ออกจากใต้หลังคาสู่ภายนอกอาคาร การเลือกใช้หลังคาสีอ่อนเพื่อสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ และหลีกเลี่ยงการทำช่องแสงบนหลังคา นอกจากนี้การเลือกใช้ฉนวนควรพิจารณาเวลาใช้งานของเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากฉนวนจะมีมวลสารเป็นตัวสะสมความร้อน ซึ่งอาจมีผลเป็นภาระทำความเย็น หากใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืน จึงควรใช้เลือกฉนวนกับอาคารที่ใช้งานในเวลากลางวัน (อภิชญา อธิคมบัณฑิตกุล, 2555: 122)

5. การเลือกใช้ฉนวนป้องกันความร้อน โดยเลือกใช้ฉนวนที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานและตำแหน่งที่ติดตั้ง สำหรับข้อพิจารณาอื่นๆในการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ความหนาแน่น น้ำหนัก การยืดหดตัวเมื่อได้รับความร้อน การกันน้ำและความชื้น การทนต่อแรงอัดและความทนทาน คุณสมบัติการกันไฟ ความต้านทานต่อแมลง เชื้อรา สารเคมี ความปลอดภัยต่อสุขภาพ การกันเสียง ปลอดกลิ่น โดยฉนวนป้องกันความร้อนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (สุรพล เดชพล, 2552: 52-53) ได้แก่

ฉนวนใยแก้ว มีคุณสมบัติในการกันความร้อนและเสียงดี มีความปลอดภัย แต่ไม่ทนต่อความชื้น ควรเลือกใช้ชนิดที่มีวัสดุหุ้มกันความชื้น

ฉนวนร็อควูล สามารถกันความร้อนเทียบเท่ากับฉนวนใยแก้ว มีความทนไฟที่ดีกว่า สามารถดูดซับเสียงได้ แต่ไม่ทนต่อความชื้นเช่นเดียวกับฉนวนใยแก้ว

โฟมชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติในการกันความร้อนได้ และกันน้ำได้ดีมาก แต่ไม่ทนต่อความร้อนสูงๆ

ฉนวนเซลลูโลส สามารถกันความร้อนได้ดีพอๆกับฉนวนใยแก้ว แต่ต้องใส่สารกันไฟลาม

อลูมิเนียมฟอยล์ ต้องทำให้มีช่องว่างอากาศบริเวณผนัง หรือเหนือฝ้าเพดานเพื่อเพิ่มความเป็นฉนวน

6. การควบคุมการรั่วซึมของอากาศ เนื่องจากการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านทางช่องเปิด จะก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นปริมาณมาก การควบคุมการรั่วซึมของอากาศโดยติดตั้งวัสดุป้องกันความชื้นร่วมกับฉนวนสำหรับผนังอาคาร โดยให้ความชื้นสามารถผ่านออกไปภายนอกได้ และอุดหรือปิดรอยในส่วนต่างๆของอาคารเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศ เช่น ตามวงกบหน้าต่างและประตู รอยต่อระหว่างผนัง ช่องที่เจาะตามพื้น ผนังหรือหลังคาสำหรับการเดินท่อต่างๆ ให้สนิทด้วยซีเมนต์หรือซิลิโคน นอกจากนี้ยังควรย้ายอุปกรณ์สำนักงานบางประเภทที่ก่อให้เกิดความร้อนไว้นอกห้องปรับอากาศ เพื่อลดภาระของระบบปรับอากาศ (ศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ, 2543: 311)

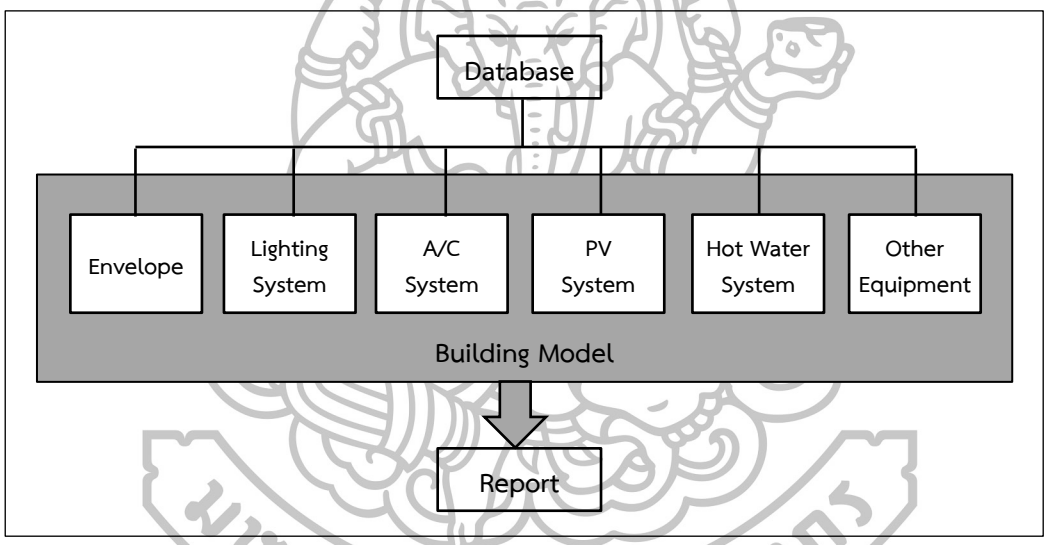
6.3 การปรับปรุงระบบแสงสว่าง การประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่างต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการทำงาน โดยคุณภาพของแสงสว่างที่ดี ประกอบด้วย การมีระดับแสงสว่างที่เพียงพอ ความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง มีสีของแสงที่ให้ความถูกต้องของสีในการมองเห็น การควบคุมแสงบาดตา การควบคุมทิศทางของแสง การประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างสามารถทำได้โดยการปิดเมื่อไม่ใช้งาน การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดแสงสว่าง การติดตั้งอุปกรณ์ปรับหรี่แสงสว่าง โดยเป็นการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในเวลากลางวันให้มากที่สุด เพื่อลดการใช้ไฟจากดวงโคมเพียงอย่างเดียว เช่น ในพื้นที่ทำงานมีเซนเซอร์ตรวจวัดระดับค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับได้ หลอดไฟในห้องจะดับหรือหรี่ลง เป็นต้น การเลือกใช้หลอดไฟและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง การหมั่นทำความสะอาดโคมไฟและหลอดไฟ การเลือกใช้สีอ่อนของผนังห้อง นอกจากนี้ยังมีการใช้หิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มความสว่างภายในอาคาร โดยพบว่าเมื่อมีการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ จะส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศลดลง เนื่องจากมีภาระทำความเย็นที่เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากดวงโคมลดลง (วุฒิพงศ์ แสนบุดดา, 2552: 237)

7. โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

โปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบตัวอาคารเพื่อตอบสนองต่อแนวคิดและหลักการอนุรักษ์พลังงาน การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1

7.1 โปรแกรม Building Energy Code version 1.0.6 หรือ BEC v1.0.6

เป็นโปรแกรมสำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 พัฒนาโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (พพ.) สำหรับการใช้โปรแกรม (กระทรวงพลังงาน. ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2557) จำเป็นต้องกรอกข้อมูลต่างๆ ของอาคารและระบบต่างๆ ที่จำเป็นให้ครบถ้วน เพื่อให้โปรแกรมสามารถแสดงผลประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของอาคารและระบบต่างๆได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



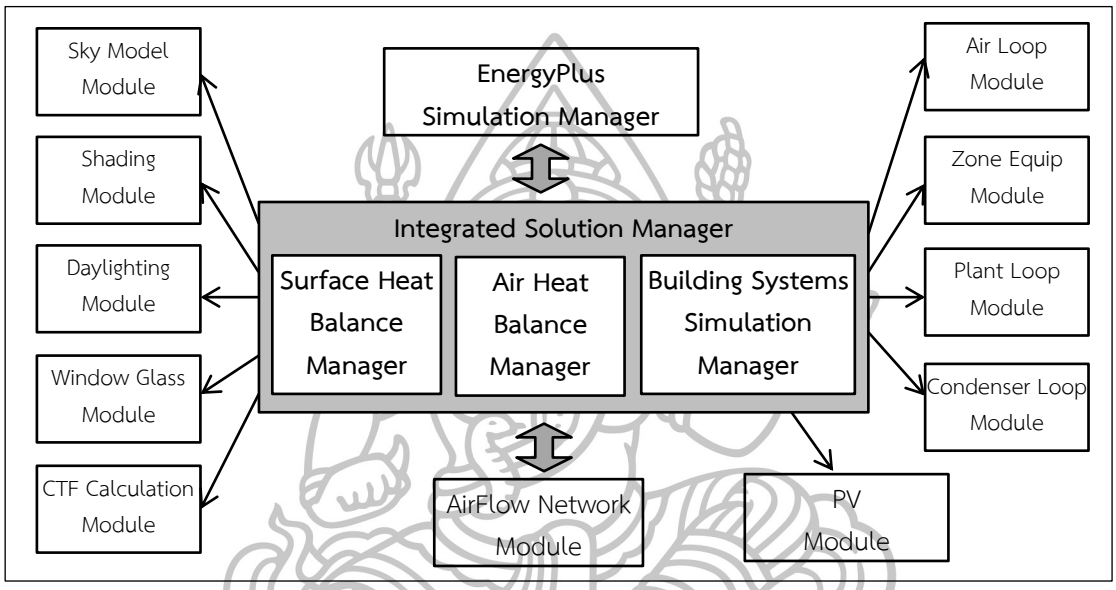
รูปที่ 1 แสดงข้อมูลของอาคารที่จำเป็นต้องระบุในลงในโปรแกรม BEC

7.2 โปรแกรม EnergyPlus 8.1

เป็นโปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารที่พัฒนามาจากโปรแกรม DOE 2 และ BLAST โดยการรวมส่วนที่มีประสิทธิภาพของทั้งสองโปรแกรมเข้าด้วยกัน โดยโปรแกรมสามารถคำนวณหาค่าภาระการทำความร้อน หรือเย็น ของระบบอุปกรณ์อาคารที่จำเป็นต่อการรักษาระดับอุณหภูมิภายในของอาคารตามที่กำหนดไว้ โดยมีส่วนประกอบหลักแบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุมหลัก (Simulation Manager) ส่วนคำนวณภาระระบบปรับอากาศ (Heat and Mass Balance Simulation) ส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ (Building Systems Simulation) และข้อมูลสภาพอากาศ (Weather Data)

การใช้งาน ผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลของอาคาร (Building Description) โดยข้อมูลส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปยังส่วนคำนวณภาระการปรับอากาศเพื่อหาความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Gain) และภาระทำความเย็น (Cooling Load) ข้อมูลอีกส่วนจะถูกส่งไปคำนวณระบบปรับอากาศที่สามารถกำหนดรูปแบบได้อย่างอิสระ (ทสพล เขตเจนการ, 2550: 928)

โดยโปรแกรม EnergyPlus จะประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยหลายโมดูลที่ทำงานร่วมกัน เพื่อคำนวณการใช้พลังงานของอาคาร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2 แสดงโปรแกรมย่อยใน EnergyPlus
ที่มา: **EnergyPlus** [computer program]. (1996). Washington: U.S. Department of Energy Building Technologies.

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อให้กรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเกณฑ์ที่กำหนด มีดังนี้

8.1 การศึกษาของ ปริมลาภ วสุวัต (2542: 109-112) ที่ได้ศึกษากลยุทธการปรับปรุงอาคารสำนักงานราชการเพื่อให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน DOE 2.1D จากการศึกษาพบว่าหลังคาของอาคารกรณีศึกษา คือ หลังคาเหล็กทาสีกันสนิม มุงด้วยกระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่สีแดง ภายในกรุแผ่นฉนวนสะท้อนรังสีอลูมิเนียมฟอยล์ มีค่า RTTV เท่ากับ 15.53 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่ 25 วัตต์/ตร.ม. และผนังของอาคาร ซึ่งประกอบด้วยผนังทึบคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบหนา 10 ซม. มีค่า OTTV เท่ากับ 62.93 W/m^2 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 55 วัตต์/ตร.ม. และมีค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่าง 17.51 วัตต์/ตร.ม. สูงกว่าที่กำหนดให้ไม่เกิน 16 วัตต์/ตร.ม. ผู้วิจัยได้เสนอทางเลือกในการปรับปรุง 4 แบบ ทั้งวิธีที่ปรับปรุงให้กรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเกณฑ์ที่กำหนด และการปรับปรุงเพื่อให้อาคารประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ดังนี้

1. ติดตั้งฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 16 กก./ลบ.ม. หนา 2.5 ซม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มหนา 12 มม. ที่ผนังทึบ เปลี่ยนจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ ลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 10.18 ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี

2. ใช้วิธีเดียวกับแนวทางแรก โดยเพิ่มการติดตั้งยางขอบหน้าต่างเพื่อลดการรั่วไหลของอากาศ และจัดพื้นที่สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแหล่งความร้อนแยกออกจากพื้นที่ปรับอากาศ ลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 15.18 ต่อปี คืนทุน 4.5 ปี

3. ใช้วิธีเดียวกับแนวทางที่สอง โดยเพิ่มการติดตั้งฉนวนใยแก้วที่มีความหนาแน่น 16 กก./ลบ.ม. หนา 2.5 ซม. ที่หลังคา และเปลี่ยนจากกระจกใสหนา 6 มม. เป็นกระจกสีชาหนา 6 มม. ลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 16.11 ต่อปี คืนทุน 6.5 ปี

4. ใช้วิธีเดียวกับแนวทางที่สาม โดยเพิ่มความหนาแน่นของฉนวนใยแก้วที่ติดตั้งเป็นที่ความหนาแน่น 24 กก./ลบ.ม. หนา 5 ซม. ที่ผนังทึบและหลังคา และเปลี่ยนจากกระจกใส หนา 6 มม. เป็นกระจกสะท้อนแสงสีเงินหนา 6 มม. ลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 18.56 ต่อปี คืนทุน 8.5 ปี

8.2 การศึกษาของ พีระพงษ์ โมลิกา (2546: 319-321) เป็นการศึกษาแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารหอสมุด เพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ โดยคำนวณค่าความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0 a จากการศึกษาพบว่า อาคารหอสมุดซึ่งมีระยะเวลาทำการตั้งแต่ 09.00-20.00 น. วัสดุกรอบอาคารประกอบด้วย ผนังทึบ คือ ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 ซม. มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศสูง เนื่องมาจากผนังอาคารที่เป็นวัสดุที่มีมวลสารมาก นอกจากนี้ยังมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารสูงกว่าที่เกณฑ์กำหนด คือ มีค่า OTTV เท่ากับ 82.56 วัตต์/ตร.ม. สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 45 วัตต์/ตร.ม. และมีค่า RTTV เท่ากับ 53.85 วัตต์/ตร.ม. สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 25 วัตต์/ตร.ม. โดยมีแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ ได้แก่

1. ผนังทึบ ติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนหนา 75 มม. พร้อมระบบสีสำเร็จภายนอกสีอ่อน ลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 6.42 ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 16.77 ปี

2. ผนังโปร่งแสง จากกระจกใสหนา 6 มม. ปรับปรุงโดยการติดตั้งฟิล์มกรองแสง P-18 Silver ที่มีค่า SC อยู่ที่ 0.51 ลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 5.62ต่อปี คืนทุน 7.24 ปี

3. หลังคา ใช้ฉนวน Ceramic Polymer Coating สามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 23.04 ต่อปี คืนทุน 3.34 ปี หากปรับปรุงทั้งสามส่วนรวมกันจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 27.74 ต่อปี คืนทุน 8.12 ปี

8.3 การศึกษาของ ดลยา ศิริปรุ (2548: 129) ที่ได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยพบว่าอาคารกรณีศึกษา มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูง เนื่องจากวัสดุกรอบอาคาร คือ ผนังอิฐมอญฉาบเรียบ หนา 10 ซม. ภายนอกทาสีขาว และหน้าต่างกระจกใสหนา 6 มม. มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ นอกจากนี้ยังมีพื้นที่กรอบอาคารมาก เนื่องจากอาคารมีลักษณะเป็นรูปกากบาท ส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ผนังสูงกว่าที่กฎหมายกำหนด คือมีค่า OTTV เท่ากับ 64.84 วัตต์/ตร.ม. ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 55 วัตต์/

ตร.ม. สำหรับหลังคา คือ แผ่นเหล็กทาสีกันสนิม มุงด้วยกระเบื้องซีแพคโมเนียสีเขียว บุอลูมิเนียมฟอยล์ ด้านล่างเป็นช่องอากาศ และฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. มีค่า RTTV เท่ากับ 13.76 วัตต์/ตร.ม. ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 25 วัตต์/ตร.ม. มีการเสนอทางเลือกการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ โดยจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารด้วยโปรแกรม DOE-2 สรุปแนวทางการปรับปรุงได้ดังนี้

1. ผนังอาคาร ติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 50 มม. และปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มหนา 12 มม. ที่ผนังทึบ และเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสีชาหนา 6 มม. ร่วมกับการติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวตั้งและแนวนอนสองชั้น หลังคาอาคาร ติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 25 มม. ที่เหนือฝ้าเพดาน สามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 39.26 ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 7.23 ปี

2. ใช้วิธีเดียวกับแนวทางที่ 1 โดยเพิ่มความหนาของฉนวนเป็น 75 มม. ทั้งในส่วนของผนังและหลังคา และเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสีฟ้า หนา 6 มม. สามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 40 ต่อปี คืนทุน 8.39 ปี

จากการศึกษานี้ยังพบว่า การใช้กระจก Low-E สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารได้ดีมาก แต่มีระยะเวลาการคืนทุนที่สูง เนื่องจากวัสดุในขณะนั้นมีราคาแพง

8.4 การศึกษาของ โสภณ ผลสุขการ (2551: 59) เป็นการศึกษาผลการปรับปรุงผนังโปร่งแสงของอาคารสำนักงานโดยใช้โปรแกรม DOE-2 โดยผนังโปร่งแสง คือ กระจกฝ้าหนา 6 มม. มีค่า SC เท่ากับ 0.85 ในทิศเหนือและทิศใต้ มีพื้นที่กระจก 175.4 ตร.ม. มี WWR คิดเป็นร้อยละ 39.30 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก มีพื้นที่กระจก 15.48 ตร.ม. มี WWR คิดเป็นร้อยละ 6.45 ผนังอาคารมีค่า OTTV เท่ากับ 62.93 วัตต์/ตร.ม. ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 55 วัตต์/ตร.ม. ได้มีการเสนอแนวทางปรับปรุงผนังโปร่งแสงเพื่อให้ผนังมีค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ คือ การติดฟิล์มกรองแสงที่มีค่า SC เท่ากับ 0.29 ที่กระจกเดิม สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 4.75 ต่อปี ระยะคืนทุนที่ 7.93 ปี

8.5 การศึกษาของ สุรพล เดชพล (2552: 77) ได้ศึกษาการปรับปรุงเปลือกอาคารสำนักงานของราชการ โดยอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชั้น มีทั้งส่วนสำนักงานและส่วนห้องประชุม เวลาทำการ 09.00-16.00 น. มีพื้นที่ปรับอากาศคิดเป็นร้อยละ 56.3 ของพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่ากรอบอาคารมีค่า OTTV และ RTTV ผ่านตามเกณฑ์ คือ ผนังก่ออิฐฉาบเรียบหนา 10 ซม. ภายนอกทาสีอ่อน กระจกเขียวใสหนา 6 มม. (SHGC 0.54) มี WWR ในทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เท่ากับ 0.385, 0.231, 0.042 และ 0.253 ตามลำดับ ไม่มีอุปกรณ์บังแดด (SC=1) มี OTTV เท่ากับ 48.42 วัตต์/ตร.ม. ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 50 วัตต์/ตร.ม. หลังคา คือ แผ่นเมทัลชีทสีอ่อน พ่นผิวด้านล่างด้วยโพลียูรีเทนโฟมหนา 50 มม. ด้านล่างเป็นช่องอากาศสูง 1 ม. และฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มหนา 12 มม. มี RTTV เท่ากับ 10.15 วัตต์/ตร.ม. ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 15 วัตต์/ตร.ม. โดยผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงเพื่อให้อาคารประหยัดพลังงานมากขึ้น มีเครื่องมือที่ใช้คือโปรแกรม Visaul DOE 4.1.0 ได้ผลดังนี้

1. ปรับปรุงผนังทึบโดยติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 50 มม. และปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่ม หนา 12 มม. ปรับปรุงผนังโปร่งแสงโดยเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีใส หนา 6 มม. (SHGC 0.23) ปรับปรุงหลังคาโดยปูฉนวนใยแก้วหนา 50 มม. เหนือฝ้าเพดาน วิธีนี้สามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 11.31 ระยะเวลาคืนทุน 11.9 ปี

2. ปรับปรุงผนังทึบโดยพ่นโฟมโพลียูรีเทนหนา 75 มม. และปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่ม หนา 12 มม. ปรับปรุงผนังโปร่งแสงโดยเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสีใสสะท้อนแสง หนา 6 มม. (SHGC 0.23) ปรับปรุงหลังคาโดยปูฉนวนใยแก้วหนา 50 มม. เหนือฝ้าเพดาน วิธีนี้สามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 11.63 ระยะเวลาคืนทุน 12 ปี

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว พบว่า แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเกณฑ์ที่กำหนด จะเป็นการปรับปรุงโดยเพิ่มค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุกรอบอาคาร ได้แก่ การปรับปรุงผนังทึบและหลังคาโดยการติดตั้งฉนวน การปรับปรุงผนังโปร่งแสงโดยการเปลี่ยนชนิดของกระจก และการติดฟิล์มลดความร้อน โดยผู้วิจัยได้เสนอแนวทางปรับปรุงที่เหมาะสมมากกว่า 1 แนวทาง เครื่องมือที่ใช้ คือ โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานของอาคารเพียง 1 โปรแกรม สำหรับหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงหลังปรับปรุง เพื่อนำมาคำนวณค่าความคุ้มค่าของการลงทุน

9. การประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน

การศึกษาครั้งนี้มีการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน เนื่องจากการปรับปรุงอาคารต้องมีการลงทุนโดยใช้เงินทุนจำนวนมาก ผลของการตัดสินใจจึงผูกพันต่อการดำเนินงานเป็นเวลาหลายปี ในปัจจุบันมีวิธีประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนดังนี้

1. วิธีระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period : PB)
2. วิธีค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)
3. วิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

9.1 วิธีระยะคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period : PB)

เกณฑ์ระยะคืนทุนเป็นเป็นเกณฑ์ที่คำนึงถึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ นั่นคือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุน

$$\text{ระยะคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (บาท)}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)}}$$

9.2 วิธีค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุนพลังงานจากมาตรการในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไปภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (Discount Rate) หรือค่าของทุน

$$\text{NPV (บาท)} = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

โดย NPV คือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิจากโครงการ (บาท)

B_t คือ ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่ t (บาท)

C_t คือ ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t (บาท)

t คือ ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n คือ อายุโครงการ (ปี)

r คือ อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน (ร้อยละ)

หลักการตัดสินใจ NPV เพื่อการลงทุน

NPV < 0 ไม่สมควรลงทุน

NPV = 0 เท่าทุน

NPV > 0 คุ้มค่าแก่การลงทุน

9.3 วิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

คือ อัตราลดค่า (Discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการประหยัดพลังงานตลอดอายุโครงการ (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน: 2550)

$$\text{IRR คือ r ที่ทำให้} \quad \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0$$

โดย IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (ร้อยละ)

B_t คือ ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่ t (บาท)

C_t คือ ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t (บาท)

t คือ ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n คือ อายุโครงการ (ปี)

r คือ อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน (ร้อยละ)

หลักการตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยนำค่า IRR ไปเปรียบเทียบกับอัตราเสียโอกาสของเงินทุน ซึ่งอาจเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของสถาบันการเงิน เป็นต้น

ถ้า IRR < r ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน
IRR = r เท่าทุน
IRR > r คุ้มค่าแก่การลงทุน

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีประเมินความคุ้มค่าโครงการแต่ละวิธี

วิธี	ข้อดี	ข้อเสีย
PB	1. คำนวณง่าย ไม่ซับซ้อน 2. ทำให้ทราบสภาพคล่องของโครงการ 3. เป็นตัววัดความเสี่ยงของโครงการได้	1. ไม่ได้พิจารณาเรื่องค่าเงินในเวลาที่ต่างกัน 2. ไม่ได้พิจารณาถึงความเสี่ยงของเงิน 3. ที่จะได้รับในอนาคต
NPV	1. ทราบมูลค่าของโครงการที่เพิ่มขึ้นจากการลงทุน 2. พิจารณาค่าเงินในเวลาที่ต่างกัน 3. พิจารณากำไรที่ได้ตลอดทั้งโครงการ	1. ต้องประมาณการผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการเพื่อใช้ในการคำนวณ 2. เป็นการสมมุติให้เงินกำไรที่ได้รับแต่ละปีนำไปลงทุนต่อ โดยได้รับผลตอบแทนขั้นต่ำคงที่ตลอดอายุของโครงการ
IRR	1. ทราบมูลค่าของโครงการที่เพิ่มขึ้นจากการลงทุน 2. พิจารณาค่าเงินในเวลาที่ต่างกัน 3. พิจารณากำไรที่ได้ตลอดทั้งโครงการ	1. ต้องสมมุติอัตราผลตอบแทนจากการลุงทุนที่มีค่าเท่ากับ IRR 2. มีความยุ่งยาก ซับซ้อน

การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้การคำนวณวิธีระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period) สำหรับเลือกแนวทางการปรับปรุงว่าเหมาะสมที่จะลงทุนมากน้อยเพียงใดเนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน เหมาะสมกับระยะเวลาในการศึกษา นอกจากนี้ ยังเป็นวิธีที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน แนะนำให้สามารถนำมาใช้พิจารณาเพื่อประเมินโครงการของกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ได้ เนื่องจากลักษณะโครงการที่ขอการสนับสนุนจะให้ผลการประหยัดพลังงานที่เท่ากันตลอดอายุของโครงการ (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, 2550)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารผ่านเกณฑ์ที่กำหนด และการศึกษาผลการจำลองการใช้พลังงานจากโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 มีขั้นตอนและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษา

1.1 รวบรวมข้อมูลของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ได้แก่

1.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

ที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบ ประกอบด้วย ความสูง และตำแหน่งของพืชพรรณในบริเวณใกล้เคียง สภาพของแหล่งน้ำในพื้นที่ และตำแหน่งของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างข้างเคียง

ลักษณะของอาคาร ประกอบด้วย ทิศทางของอาคาร พื้นที่ใช้สอย ลักษณะการใช้งานภายในอาคาร วัสดุก่อสร้างอาคาร พื้นที่ และสัดส่วนของช่องเปิดต่อผนังทึบในแต่ละทิศ

การใช้งานของผู้ใช้ภายในอาคาร ประกอบด้วย จำนวนผู้ใช้งานในแต่ละพื้นที่ ตารางเวลาการใช้งาน

1.1.2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่

ข้อมูลของระบบปรับอากาศ ประกอบด้วย ชนิด จำนวน ประสิทธิภาพ และตารางเวลาเปิด-ปิดของเครื่องปรับอากาศ

ข้อมูลของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย ชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้า และตารางเวลาเปิด-ปิดหลอดไฟ

ข้อมูลอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วย ประเภท จำนวน และกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยรวบรวมจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าของอาคารในปี พ.ศ. 2557 ทั้ง 12 เดือน

1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมากำหนดแนวทางปรับปรุงกรอบอาคาร

1.2.1. คุณสมบัติของวัสดุ ราคาค่าวัสดุ และราคาค่าแรง

รวบรวมข้อมูลด้านคุณสมบัติของวัสดุ ราคาค่าวัสดุ และค่าแรง โดยค้นหาจากเว็บไซต์ และการสอบถามข้อมูล จากบริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่าย ประกอบด้วย

ฉนวนใยแก้ว จาก

บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด

บริษัท ไมโครไฟเบอร์อุตสาหกรรม จำกัด

แผ่นผนังสำเร็จรูป จาก

บริษัท สยามยิปซั่มบอร์ด จำกัด

บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ยิบซั่ม จำกัด (มหาชน)

กระจก จาก

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

บริษัท การ์เดียน อินดัสทรีส์ คอร์ป จำกัด

ฟิล์มลดความร้อน จาก

บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด

บริษัท วีคูล คอร์ปอเรชั่น ไทย จำกัด

บริษัท เทคโนเซล (เฟรย์) จำกัด

บริษัท วงศ์บราเดอร์ อินเตอร์เทรด จำกัด

สีทาสะท้อนความร้อน จาก

บริษัท ดูรากรีต จำกัด

บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด

1.2.2 ศึกษาวิธีการคำนวณราคาค่าก่อสร้าง ค่าวัสดุ และค่าแรง โดยค้นหาข้อมูลจากเอกสารเผยแพร่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. บัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการสำหรับการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2556 โดย กรมบัญชีกลาง

2. หลักเกณฑ์และตารางคำนวณค่าวัสดุมวลรวมต่อหน่วยในงานก่อสร้างอาคาร ตามมติคณะรัฐมนตรี วันที่ 13 มีนาคม 2555 โดย สำนักมาตรฐานการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ กรมบัญชีกลาง

3. ราคาวัสดุก่อสร้าง ปี 2558: ภาคเหนือ: จังหวัดเชียงราย โดย สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์

1.2.3 ศึกษาวิธีการคำนวณค่าไฟฟ้า จากอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ที่อัตราตามช่วงเวลาของการใช้งาน (Time Of Use rate: TOU) แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์ ช่วง Peak (เวลา 09.00-22.00)

1.2.4 ศึกษาวิธีประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน ได้แก่ วิธีการคำนวณระยะคืนทุน

1.3 ประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนปรับปรุง

เพื่อให้ทราบถึงปัญหาด้านพลังงานของอาคาร เปรียบเทียบกับเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 ประกอบด้วย

1.3.1 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร แบ่งเป็นปริมาณและสัดส่วนที่ถูกใช้ในระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.3.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

1.3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของพื้นที่ใช้งาน

1.3.4 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

1.4 กำหนดเกณฑ์และแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร

กำหนดเกณฑ์และแนวทางการปรับปรุง เพื่อให้ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ คือการเพิ่มค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุกรอบอาคาร ได้แก่ ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคาทึบ

1.5 จำลองการใช้พลังงานของอาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารหลังปรับปรุงแต่ละแนวทาง

จำลองผลจากการปรับปรุงกรอบอาคารแต่ละแนวทาง ในเชิงผลการประหยัดพลังงาน โดยใช้โปรแกรม BEC v.1.0.6 และประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารที่ได้เทียบกับเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ

1.6 นำแนวทางการปรับปรุงที่ผ่านเกณฑ์ มาศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุน

โดยการคำนวณระยะเวลาคืนทุน จากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี และค่าต้นทุนของการปรับปรุงแต่ละแนวทาง เพื่อให้ได้แนวทางปรับปรุงที่เหมาะสม

1.7 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของผลการใช้พลังงานของอาคารที่ได้จากโปรแกรมจำลอง

ศึกษาความคลาดเคลื่อนของผลทำนายที่ได้จากการจำลองการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 กับค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริง และนำมาเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus 8.1 โดยการ

1.7.1 เปรียบเทียบลักษณะความแตกต่างของข้อมูลการใช้งานอาคารที่เกิดขึ้นจริงกับค่าเริ่มต้น (ค่า Default) ในโปรแกรม BEC v.1.0.6

1.7.2 นำเข้าข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารที่เกิดขึ้นจริงข้างต้น ลงในโปรแกรม EnergyPlus 8.1 และจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

1.7.3 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของค่าพลังงานที่จำลองได้จากทั้งสองโปรแกรม กับค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจริง โดยดูจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน

1.7.4 เปรียบเทียบผลประหยัด และระยะคืนทุน ของแนวทางปรับปรุง ที่ได้จากการจำลองการใช้พลังงานของทั้งสองโปรแกรม

1.8 เปรียบเทียบลักษณะการนำเข้าข้อมูลลงในโปรแกรม BEC และ EnergyPlus

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่นำเข้า (Input) ที่ระบุลงในโปรแกรมทั้งสอง ที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

1.9 สรุปการศึกษา

สรุปแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ โดยให้มีทางเลือกปรับปรุงมากกว่าหนึ่งแนวทาง สรุปผลการศึกษาความคลาดเคลื่อนของการทำนายค่าพลังงานที่ได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 และ EnergyPlus 8.1 รวมทั้งความแตกต่างของการนำเข้าข้อมูลของโปรแกรมทั้งสอง และอภิปรายผล แสดงข้อจำกัดสำหรับการนำผลการศึกษาไปใช้งานจริง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

2.1 โปรแกรม Building Energy Code version 1.0.6 หรือ BEC v1.0.6

เป็นโปรแกรมสำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 พัฒนาโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (พพ.) สำหรับการใช้โปรแกรม (กระทรวงพลังงาน. ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2557) จำเป็นต้องกรอกข้อมูลต่างๆ ของอาคารและระบบต่างๆ ที่จำเป็นให้ครบถ้วน เพื่อให้โปรแกรมสามารถแสดงผลประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของอาคารและระบบต่างๆได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

รายละเอียดที่ต้องระบุลงในโปรแกรม สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

2.1.1 ข้อมูลทะเบียนอาคาร ประกอบด้วย

ชื่ออาคาร หรือ โครงการ (Project Name)

ประเภทของอาคาร หรือ โครงการ (Type)

จังหวัดที่ตั้งของอาคาร หรือ โครงการ (Location)

2.1.2 Database ข้อมูลรายละเอียดของวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ

Envelope ข้อมูลรายละเอียดของวัสดุ และส่วนประกอบต่างๆ

Material รายละเอียดของวัสดุที่จะประกอบเป็นส่วนของผนัง

Component of Section รายละเอียดส่วนประกอบของผนัง

Section of Wall รายละเอียดของ Section ที่จะเป็นผนัง

Wall รายละเอียดของผนัง

Lighting System รายละเอียดของชุดโคมไฟ

A/C System รายละเอียดของระบบปรับอากาศ

Other รายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ

2.1.3 Building Model ข้อมูลรายละเอียดพื้นที่ภายใน ส่วนประกอบของผนัง และรายละเอียดของอุปกรณ์ที่อยู่ในแต่ละเขตพื้นที่

โดยโปรแกรมจะแสดงผลการประเมินการใช้พลังงานของอาคารแต่ละระบบ ดังนี้

2.1.4 Report

Envelope System รายงานสมรรถนะด้านการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาโดยรวมของทั้งอาคาร และแบ่งตามด้านของผนัง รวมถึงผลการประเมินเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกรอบอาคาร (ค่า OTTV หรือ RTTV แบ่งตามด้านของผนัง)

Lighting System รายงานสมรรถนะด้านพลังงานและผลการประเมินเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

DX Air-Conditioning Unit รายงานสมรรถนะด้านพลังงานและผลการประเมินเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของระบบปรับอากาศแบบเป็นชุด

Whole Building Energy รายงานสมรรถนะด้านพลังงานและผลการประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งอาคาร หรือ โครงการ

2.2 โปรแกรม EnergyPlus 8.1

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ของอาคาร พัฒนามาจากโปรแกรม DOE2 และ BLAST โดย LBNL Simulation Research Group สามารถคำนวณ Heating และ Cooling Load ของระบบอุปกรณ์ในอาคาร โดยรายละเอียดที่ต้องป้อนข้อมูลลงในโปรแกรมสำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

2.2.1 Simulation Parameters ข้อมูลสำหรับกำหนดรูปแบบการคำนวณ สำหรับจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

2.2.2 Location and Climate ข้อมูลรายละเอียดที่ตั้งของอาคาร

2.2.3 Schedules ข้อมูล วัน เวลา และปริมาณการใช้งานในแต่ละระบบของอาคาร

2.2.4 Surface Construction Elements ข้อมูลรายละเอียดด้านต่างๆ ของวัสดุประกอบอาคาร

2.2.5 Thermal Zones and Surfaces รายละเอียดการแบ่งโซนพื้นที่อาคาร ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง อุปกรณ์บังแดด และหลังคา

2.2.6 Internal Gains ข้อมูลแหล่งความร้อนที่มาจากปัจจัยภายในอาคาร ได้แก่ คน อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

2.2.7 Zone Ventilation Design Flow Rate ข้อมูลอัตราและปริมาณการระบายอากาศแต่ละโซน

2.2.8 Zone HVAC Controls and Thermostats ข้อมูลการควบคุมอุณหภูมิ

ผลการจำลองที่จะใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

2.2.9 Report: Meter

แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน (Monthly) ของแต่ละระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ (District Cooling: Facility) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Interior Lights: Electricity) และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า (Interior Equipment: Electricity) โดยแสดงผลเป็นตารางในโปรแกรม Microsoft Excel

2.2.10 Report: Envelope Summary

แสดงค่า Reflectance, U-Factor, Gross area, Azimuth, Tilt ของวัสดุอาคาร

บทที่ 4

อาคารกรณีศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีอาคารกรณีศึกษา คือ อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ตั้งอยู่เลขที่ 424 ม.5 บ้านหนองยาว ต.ท่าสาย อ.เมือง จ.เชียงราย มีลักษณะการใช้งานประเภทอาคารสำนักงาน เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 3 ชั้น เวลาทำการ ตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. มีเจ้าหน้าที่ประจำทั้งหมด 145 คน

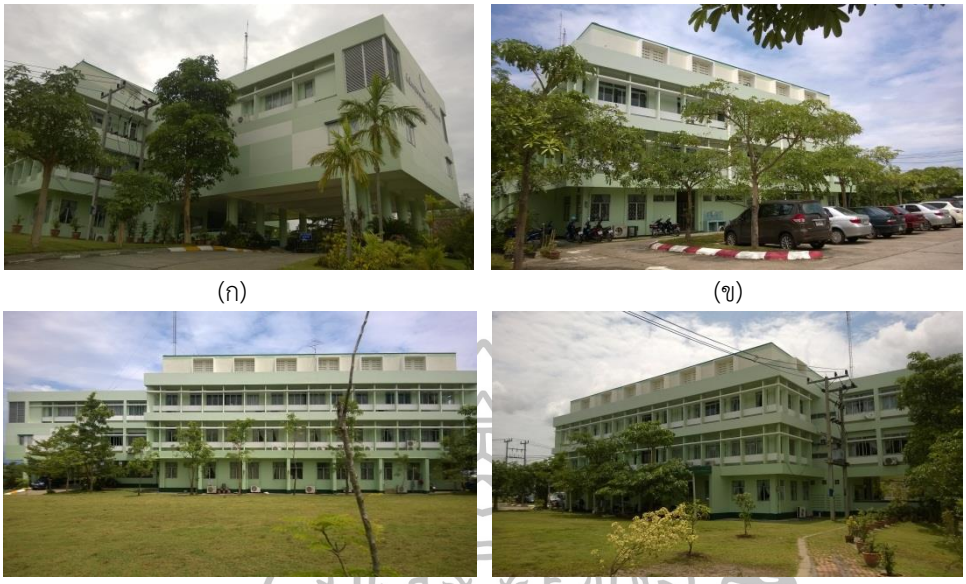
ภาพที่ 3 อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เมื่อมิถุนายน 2557)

1. ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

1.1 ที่ตั้งอาคาร

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ตั้งอยู่บนพื้นที่โครงการ ขนาด 12 ไร่ 3 งาน 41 ตารางวา ลักษณะอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีมุขยื่นด้านหน้า วางตัวในแนวแกนทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีสภาพแวดล้อมโดยรอบ (รูปที่ 3) คือ

ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (ด้านหน้าอาคาร)	เป็น	ถนนทางเข้าและที่จอดรถ
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ด้านข้างอาคาร)	เป็น	สนามหญ้า
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (ด้านหลังอาคาร)	เป็น	ลานที่จอดรถ
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ด้านข้างอาคาร)	เป็น	สนามหญ้า



(ก) (ข)

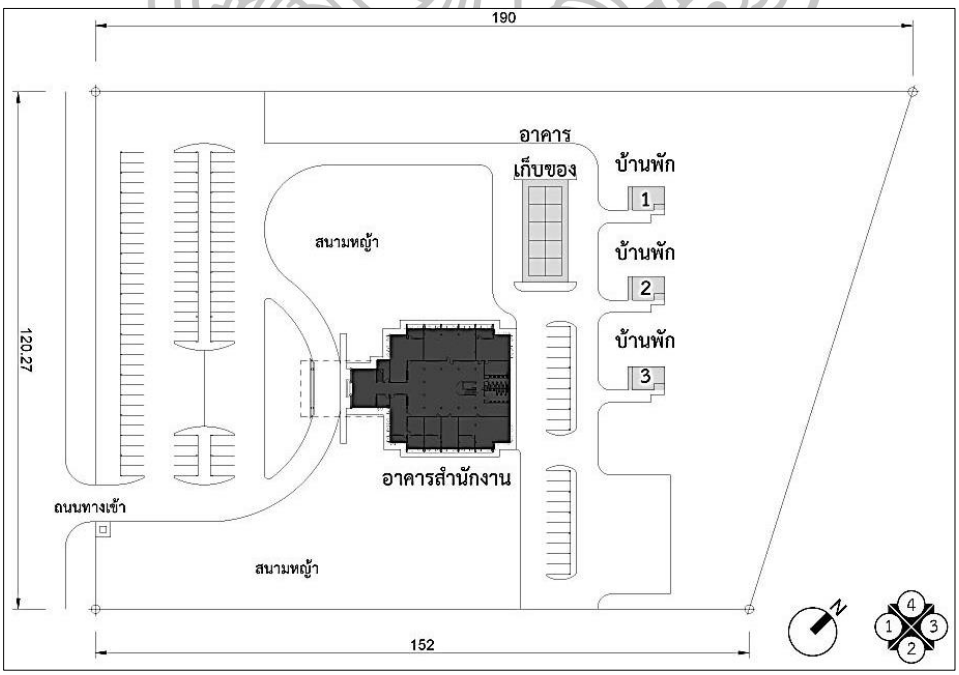
(ค) (ง)

ภาพที่ 4 สภาพแวดล้อมภายนอกอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

(ก) ด้านทิศตะวันตก (ข) ด้านทิศตะวันออก

(ค) ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ง) ด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

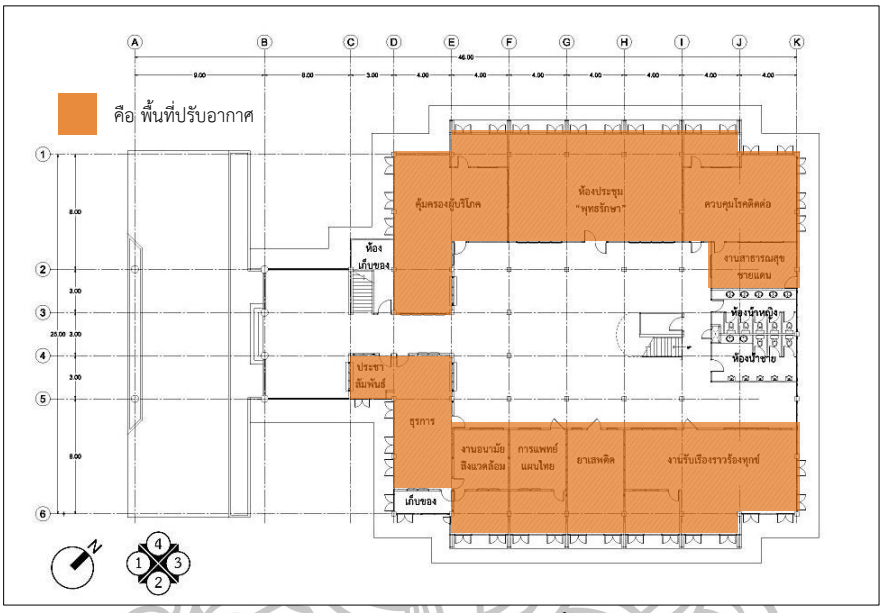
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เมื่อมิถุนายน 2557)



รูปที่ 3 แสดงผังบริเวณของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

1.2 พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงรายเป็นอาคารขนาด 3 ชั้น มีความสูงระหว่างชั้น (Floor-to-Floor) 3.40 ม. พื้นที่ใช้สอยรวม 2,293.51 ตร.ม. แบ่งเป็น พื้นที่ปรับอากาศ 1,424.66 ตร.ม. คิดเป็นร้อยละ 62.12 และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 868.85 ตร.ม. คิดเป็นร้อยละ 37.88 แต่ละชั้นมีรายละเอียดดังนี้

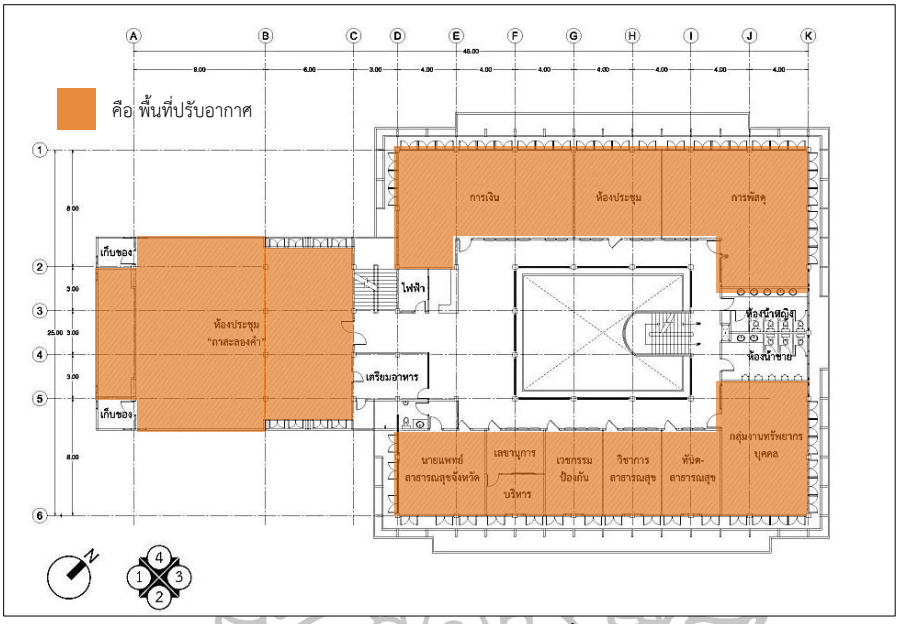


รูปที่ 4 แสดงผังอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ชั้น 1

ชั้น 1 ด้านหน้าเป็นจุดจอดเทียบรถ ภายในอาคาร มีพื้นที่ห้องทำงานเรียงตัวอยู่โดยรอบ ตรงกลางเป็นพื้นที่โถงเปิดโล่ง พื้นที่ห้องทำงานทั้งหมดเป็นพื้นที่ปรับอากาศ

ตารางที่ 6 รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 1

พื้นที่ปรับอากาศ		**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	
ห้อง	**พื้นที่ (ตร.ม.)**	**ห้อง**	**พื้นที่ (ตร.ม.)**
1. ธุรการ และประชาสัมพันธ์	52.85	1. เก็บของ	6.15
2. งานอนามัยสิ่งแวดล้อม	27.75	2. ห้องไฟฟ้า	10.15
3. การแพทย์แผนไทย	28.20	3. โถง(ต้อนรับ+ทางเดิน)	322.15
4. ยาเสพติด	28.20	4. ห้องน้ำ	36.85
5. งานรับเรื่องราวร้องทุกข์	80.50		
6. ควบคุมโรคติดต่อ	52.35		
7. ห้องประชุมพุทธรักษา	89.96		
8. คุ้มครองผู้บริโภค	72.20		
รวมพื้นที่ปรับอากาศ	**432.01**	**รวมพื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**375.30**
รวมพื้นที่ 807.31 ตร.ม.			

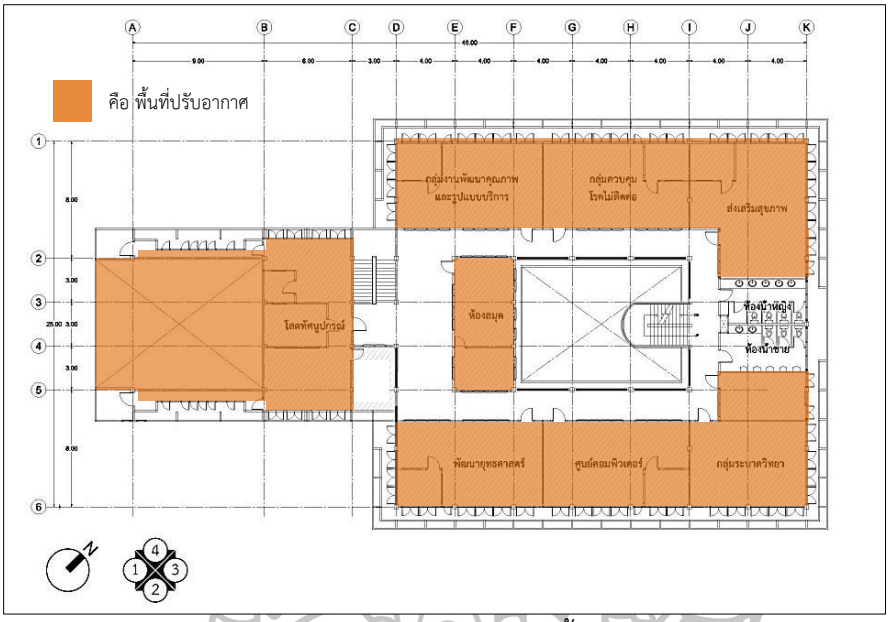


รูปที่ 5 แสดงผังอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ชั้น 2

ชั้น 2 ด้านหน้าเป็นห้องประชุมขนาดใหญ่ ภายในอาคารมีห้องทำงานเรียงตัวอยู่รอบด้านนอกเหมือนชั้น 1 ตรงกลางเปิดโล่ง พื้นที่ห้องทำงานทั้งหมดเป็นพื้นที่ปรับอากาศ

ตารางที่ 7 รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 2

พื้นที่ปรับอากาศ		**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	
ห้อง	**พื้นที่ (ตร.ม.)**	**ห้อง**	**พื้นที่ (ตร.ม.)**
1. ห้องประชุม	207.65	1. ห้องเก็บของ (ห้องประชุม)	10
2. นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัด	26.65	2. ห้องน้ำนายแพทย์ฯ	7.50
3. เลขานุการ	11.50	3. เตรียมอาหาร	18.45
4. หัวหน้าฝ่ายบริหาร	10.50	4. ห้องไฟฟ้า	5.80
5. เวชกรรมป้องกัน	22.50	5. โถงทางเดิน	162.35
6. วิชาการสาธารณสุข	22.50	6. ห้องน้ำ	36
7. ทันตสาธารณสุข	22.50		
8. กลุ่มงานทรัพยากรบุคคล	53.15		
9. การพัสดุ	78.55		
10. ห้องประชุมกาสะลอง	35.35		
11. การเงิน	79		
รวมพื้นที่ปรับอากาศ	**569.85**	**รวมพื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**240.10**
รวมพื้นที่ 809.95 ตร.ม.			



รูปที่ 6 แสดงผังอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ชั้น 3

ชั้น 3 ภายในอาคารมีห้องทำงานเรียงตัวอยู่รอบด้านนอกเหมือนชั้น 1 และชั้น 2 ตรงกลางเปิดโล่ง พื้นที่ห้องทำงานทั้งหมดเป็นพื้นที่ปรับอากาศ

ตารางที่ 8 รายละเอียดพื้นที่ห้องส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 3

พื้นที่ปรับอากาศ		**พื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	
ห้อง	**พื้นที่ (ตร.ม.)**	**ห้อง**	**พื้นที่ (ตร.ม.)**
1. โสตทัศนูปกรณ์	81.85	1. ห้องเก็บของ	20
2. พัฒนายุทธศาสตร์	57.35	2. โถงทางเดิน	160.15
3. ศูนย์คอมพิวเตอร์	57.35	3. ห้องน้ำ	36
4. กลุ่มระบาดวิทยา	45.75		
5. ส่งเสริมสุขภาพ	65.7		
6. กลุ่มควบคุมโรคไม่ติดต่อ	57.4		
7. กลุ่มงานพัฒนาคุณภาพฯ	57.4		
8. ห้องสมุด	37.3		
รวมพื้นที่ปรับอากาศ	**460.1**	**รวมพื้นที่ไม่ปรับอากาศ**	**216.15**
รวมพื้นที่ 676.25 ตร.ม.			

1.3 วัสดุประกอบอาคาร

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย เป็นอาคารที่มีโครงสร้างแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก จากการสำรวจ พบว่าอาคารมีรายละเอียดของวัสดุประกอบอาคาร ดังนี้

ตารางที่ 9 รายละเอียดวัสดุประกอบอาคาร

องค์ประกอบ	รายละเอียดวัสดุ
หลังคา	คอนกรีตแบน หนา 0.15 ม. มีช่องอากาศด้านล่าง สูง 45 ซม.
ฝ้าเพดาน	แผ่นยิปซัม หนา 9 มม. ไม่มีฉนวน (มีฝ้าเพดานเฉพาะชั้น 3)
ผนัง	อิฐมอญ ฉาบปูนเรียบทั้งสองด้าน หนา 0.10 ม. ภายนอกทาสีเขียวอ่อน
พื้น	คอนกรีตเสริมเหล็ก หล่อในที่ หนา 0.10 ม.
วัสดุปูพื้น	กระเบื้องยาง หนา 2 มม.
ประตู	บานไม้สัก หนา 5 ซม. วงกบไม้เนื้อแข็ง
หน้าต่าง	บานกรอบและวงกบเหล็ก ลูกฟักกระจกใสหนา 6 มม.

2. ลักษณะการใช้งานและจำนวนผู้ใช้อาคาร

2.1 ลักษณะการใช้งานภายในอาคาร

ภายในอาคารมีลักษณะการใช้งาน 2 รูปแบบหลักๆ คือ ใช้ทำงานแบบสำนักงานและใช้ประชุม

ตารางที่ 10 รายละเอียดลักษณะและเวลาการใช้งานของอาคาร

รูปแบบการใช้งาน	ผู้ใช้งาน	เวลาใช้งาน
1. สำนักงาน	บุคลากรประจำภายในสำนักงาน จำนวน 145 คน	วันจันทร์ - วันศุกร์ เวลา 08:00 - 12:00 น. 13:00 - 17:00 น.
2. ประชุม	บุคลากรภายในสำนักงานและบุคคลภายนอก เฉลี่ยวันละประมาณ 250 คน	วันจันทร์ - วันศุกร์ เวลา 08:00 - 12:.00 น. 13:00 - 17:00 น.

2.2 จำนวนผู้ใช้อาคาร

ผู้ใช้อาคารที่เป็นบุคลากรประจำภายในสำนักงาน มีรายละเอียดจำนวนแต่ละพื้นที่ดังนี้

ตารางที่ 11 จำนวนเจ้าหน้าที่ของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

ฝ่าย / ห้อง	จำนวน (คน)
1. ประชาสัมพันธ์	1
2. ธุรการ	7
3. งานอนามัยสิ่งแวดล้อม	4
4. การแพทย์แผนไทย	4
5. ยาเสพติด	4
6. งานรับเรื่องราวร้องทุกข์	9
7. ควบคุมโรคติดต่อ	10
8. คุ้มครองผู้บริโภค	9
9. นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัด	1
10. เลขานุการ	2
11. หัวหน้าฝ่ายบริหาร	1
12. เวชกรรมป้องกัน	1
13. วิชาการสาธารณสุข	1
14. ทันตสาธารณสุข	6
15. กลุ่มงานทรัพยากรบุคคล	9
16. การพัสดุ	11
17. การเงิน	11
18. โสตทัศนูปกรณ์	6
19. พัฒนายุทธศาสตร์	14
20. ศูนย์คอมพิวเตอร์	10
21. กลุ่มระบาดวิทยา	2
22. ส่งเสริมสุขภาพ	6
23. กลุ่มควบคุมโรคไม่ติดต่อ	6
24. กลุ่มงานพัฒนาคุณภาพและรูปแบบบริการ	9
25. ห้องสมุด	1
จำนวนเจ้าหน้าที่รวม	**145**

3. ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

3.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2557 (ตารางที่ 12) พบว่าในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 158,082 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ลดลงร้อยละ 31.51 จากปี พ.ศ. 2555 เนื่องจากมีมาตรการประหยัดพลังงานในอาคารภาครัฐ ได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร รวมไปถึงการกำหนดเวลาปิดเปิดหลอดไฟ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศ ในอาคาร

ตารางที่ 12 ปริมาณไฟฟ้าต่อปีของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย พ.ศ. 2554-2557

ปี	ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)	หมายเหตุ
2554	212,285	-
2555	230,814	เพิ่มขึ้น 8.73%
2556	158,082	ลดลง 31.51%
2557	156,944	ลดลง 0.72%

3.2 ระบบปรับอากาศ

พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร ได้แก่ ห้องทำงาน และห้องประชุม มีการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทั้งหมด มีรายละเอียดของเครื่องดังตารางที่ 13 และจำนวนเครื่องในแต่ละพื้นที่ดังตารางที่ 14 ซึ่งได้นำข้อมูลดังกล่าวบันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 สำหรับหาปริมาณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารต่อไป (ดูภาคผนวก ก ตารางที่ 82)

ตารางที่ 13 รายละเอียดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ในอาคาร

เครื่องปรับอากาศ	จำนวน (เครื่อง)	อัตราการทำความเย็น (Btu/Hr)	อัตราพลังงานที่ใช้ (W)	COP	หมายเหตุ
1. Carrier	28	17,050.11	1,500	3.33	Split_01
2. Eminent	9	25,696	2,250	3.34	Split_02
3. Carrier	7	32,476.78	2,819	3.38	Split_03

ภาพที่ 5 เครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เมื่อมิถุนายน 2557)

ตารางที่ 14 รายละเอียดของเครื่องปรับอากาศแต่ละพื้นที่

พื้นที่	เครื่องปรับอากาศ	จำนวน (เครื่อง)	Cooling Capacity (BTU/Hr.)	Power Consumption (W)	COP
1. ห้องประชาสัมพันธ์	Split_01	1	17,050.11	1,500	3.33
2. ห้องธุรการ	Split_03	1	32,476.78	2,819	3.38
3. ห้องงานอนามัยฯ	Split_01	1	17,050.11	1,500	3.33
4. ห้องการแพทย์แผนไทย	Split_01	1	17,050.11	1,500	3.33
5. ห้องยาเสพติด	Split_02	1	25,696	2,252	3.34
6. ห้องงานร้องทุกข์	Split_02	2	25,696	2,252	3.34
7. ห้องควบคุมโรคติดต่อ	Split_02	2	25,696	2,252	3.34
8. ห้องคุ้มครองผู้บริโภค	Split_03	2	32,476.78	2,819	3.38
9. ห้องประชุมพุทธรักษา	Split_01	2	17,050.11	1,500	3.33
10. ห้องนายแพทย์	Split_02	1	25,696	2,252	3.34
11. ห้องเลขานุการ	Split_01	1	17,050.11	1,500	3.33
12. ห้องหัวหน้าฝ่ายบริหาร	Split_01	1	17,050.11	1,500	3.33
13. ห้องเวชกรรมป้องกัน	Split_01	1	17,050.11	1,500	3.33
14. ห้องวิชาการสาธารณสุข	Split_01	1	17,050.11	1,500	3.33
15. ห้องทันตสาธารณสุข	Split_03	1	32,476.78	2,819	3.38
16. ห้องงานทรัพยากรบุคคล	Split_03	1	32,476.78	2,819	3.38
17. ห้องการพัสดุ	Split_03	2	32,476.78	2,819	3.38
18. ห้องการเงิน	Split_01	3	17,050.11	1,500	3.33
19. ห้องประชุมกาสะลองคำ	Split_01	5	17,050.11	1,500	3.33
20. ห้องโสตทัศนูปกรณ์	Split_01	1	17,050.11	1,500	3.33
21. ห้องพัฒนายุทธศาสตร์	Split_01	2	17,050.11	1,500	3.33
22. ห้องศูนย์คอมพิวเตอร์	Split_01	2	17,050.11	1,500	3.33
23. ห้องกลุ่มระบาดวิทยา	Split_01	2	17,050.11	1,500	3.33
24. ห้องส่งเสริมสุขภาพ	Split_02	2	25,696	2,252	3.34
25. ห้องควบคุมโรคไม่ติดต่อ	Split_01	2	17,050.11	1,500	3.33
26. ห้องงานพัฒนาคุณภาพฯ	Split_01	2	17,050.11	1,500	3.33
27. ห้องสมุด	Split_02	1	25,696	2,252	3.34

3.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

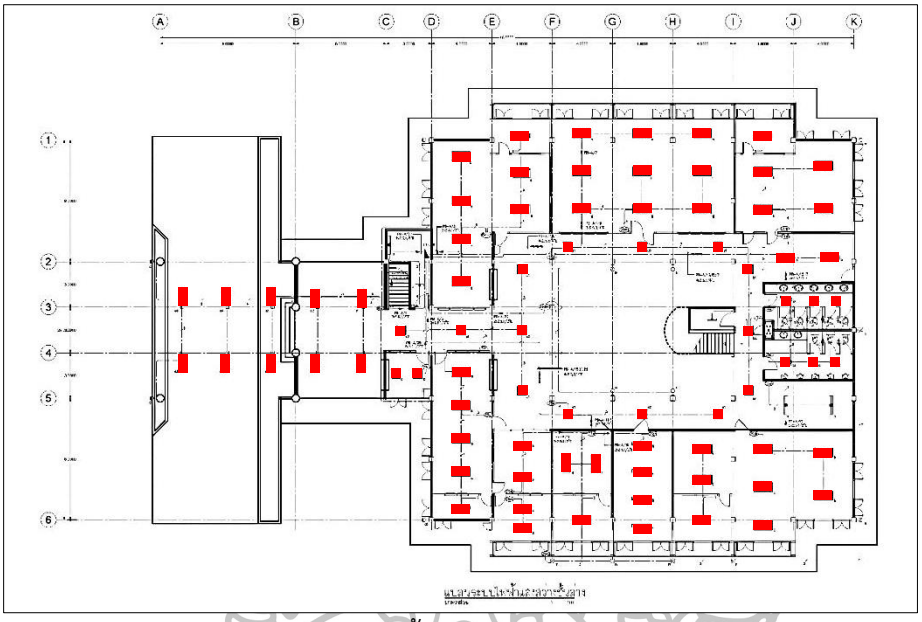
ประกอบด้วย อุปกรณ์ให้แสงสว่าง คือหลอดไฟ 2 ชนิด ได้แก่ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ มีรายละเอียดตามตารางที่ 15 และจำนวนตามตารางที่ 16 ถึง ตารางที่ 18 ซึ่งได้บันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 สำหรับหาปริมาณการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารต่อไป (ดูภาคผนวก ตารางที่ 81)

ตารางที่ 15 รายละเอียดและจำนวนของหลอดไฟในอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

หลอดไฟ	**ขนาดวัตต์ต่อโคม**	**พื้นที่ใช้งาน**
1. หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 18 วัตต์ ยาว 27.5 ซม. (11 นิ้ว) ครอบด้วยโคมตะแกรงอลูมิเนียม จำนวน 3 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์	หลอดไฟ 3x18 = 54 วัตต์ บัลลาสต์ 3x6 = 18 วัตต์ รวม 72 วัตต์	ทางเดิน
2. หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยโคมตะแกรงอลูมิเนียม จำนวน 2 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์	หลอดไฟ 2x36 = 72 วัตต์ บัลลาสต์ 2x6 = 12 วัตต์ รวม 84 วัตต์	ห้องทำงาน
3. หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ครอบด้วยโคมตะแกรงอลูมิเนียม จำนวน 3 หลอด/โคม ใช้กับบัลลาสต์ Low loss 6 วัตต์	หลอดไฟ 3x36 = 108 วัตต์ บัลลาสต์ 3x6 = 18 วัตต์ รวม 126 วัตต์	ห้องทำงาน ห้องประชุม
4. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 9 วัตต์	รวม 9 วัตต์	ห้องน้ำ ห้องประชุม

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 6 ลักษณะดวงโคมและหลอดไฟภายในอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย
(ก) ห้องสำนักงาน (ข) ห้องประชุม (ค) ทางเดิน (ง) ห้องน้ำ
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เมื่อมิถุนายน 2557)

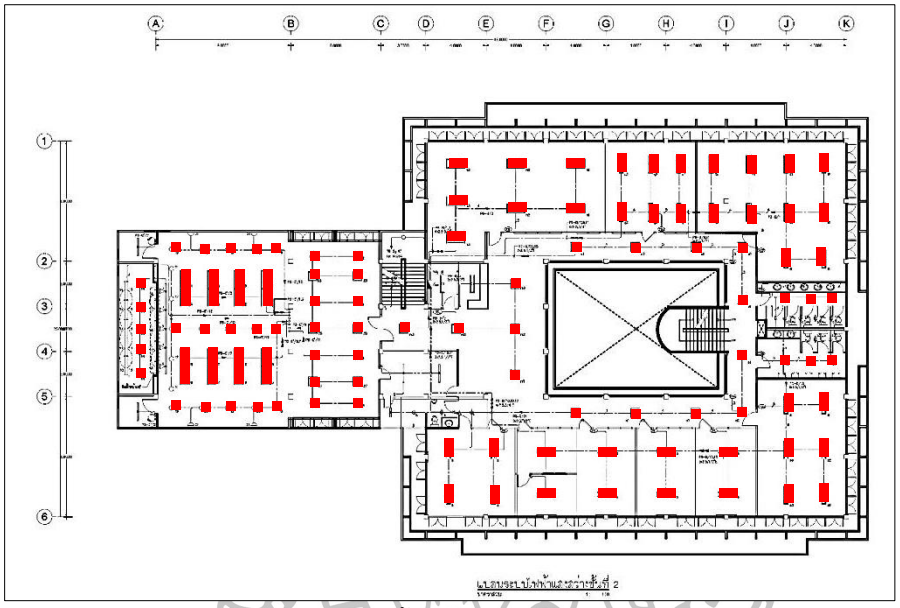


รูปที่ 7 แสดงผังไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ชั้น 1

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้น 1 มีกำลังไฟฟ้ารวม 7,080 วัตต์ พื้นที่อาคาร 807.31 ตร.ม. มีค่า LPD ของชั้น 1 เท่ากับ 8.77 วัตต์/ตร.ม. มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 16 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ของชั้น 1

ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	หลอดฟลูออเรสเซนต์		หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	บัลลาสต์ 6 วัตต์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
		18 วัตต์	36 วัตต์	9 วัตต์		
1. ประชาสัมพันธ์	9	6	-	-	6	144
2. ธุรการ	43.85	14	-	-	14	336
3. เก็บของ	6.15	-	2	-	2	84
4. งานประสานภาครัฐ	27.75	-	8	-	8	336
5. การแพทย์แผนไทย	28.2	-	9	-	9	378
6. ยาเสพติด	28.2	-	8	-	8	336
7. งานรับเรื่องร้องเรียน	80.5	-	23	-	23	966
8. ควบคุมโรคติดต่อ	52.35	-	14	-	14	588
9. ห้องประชุม	89.96	-	27	-	27	1,134
10. คุ้มครองผู้บริโภค	72.2	-	20	-	20	840
11. ห้องไฟฟ้า	10.15	1	2	-	3	108
12. โถงและทางเดิน	322.15	42	12	-	54	1,512
13. ห้องน้ำ	36.85	-	5	12	5	318
รวม	**807.31**	**63**	**130**	**12**	**193**	**7,080**

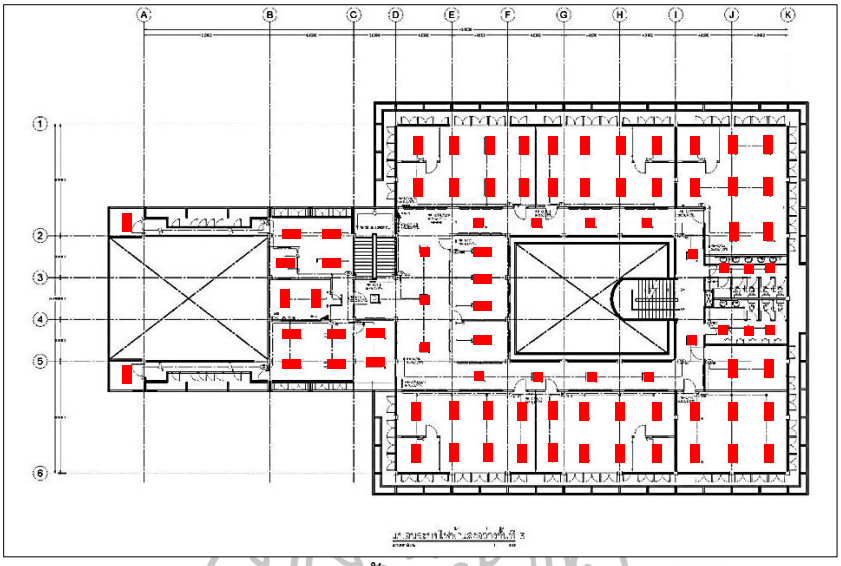


รูปที่ 8 แสดงผังไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ชั้น 2

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้น 2 มีกำลังไฟฟ้ารวม 8,955 วัตต์ พื้นที่อาคาร 809.95 ตร.ม. มีค่า LPD ของชั้น 2 เท่ากับ 11.06 วัตต์/ตร.ม. มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 17 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ของชั้น 2

ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	หลอดฟลูออเรสเซนต์		หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	บัลลาสต์ 6 วัตต์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
		18 วัตต์	36 วัตต์	9 วัตต์		
1. ห้องประชุม	217.65	18	66	32	84	3,492
2. นายแพทย์ฯ	34.15	-	8	2	8	354
3. เลขาฯ+หัวหน้าฝ่าย	22	-	4	-	4	168
4. เวชกรรมป้องกัน	22.5	-	4	-	4	168
5. วิชาการสาธารณสุข	22.5	-	4	-	4	168
6. ทันตสาธารณสุข	22.5	-	4	-	4	168
7. งานทรัพยากรบุคคล	53.15	-	12	-	12	504
8. การพัสดุ	78.55	-	20	-	20	840
9. ห้องประชุม	35.35	-	12	-	12	504
10. การเงิน	79	-	21	-	21	882
11. โถง+ห้องไฟฟ้า	186.6	47	6	1	53	1,389
12. ห้องน้ำ	36	-	5	12	5	318
รวม	**809.95**	**65**	**166**	**47**	**231**	**8,955**



รูปที่ 9 แสดงผังไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ชั้น 3

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้น 3 มีกำลังไฟฟ้ารวม 6,720 วัตต์ พื้นที่อาคาร 666.25 ตร.ม. มีค่า LPD ของชั้น 3 เท่ากับ 10.09 วัตต์/ตร.ม. มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 18 รายละเอียดปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ของชั้น 3

ชื่อห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)	หลอดฟลูออเรสเซนต์		หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	บัลลาสต์ 6 วัตต์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
		18 วัตต์	36 วัตต์	9 วัตต์		
1. โสตทัศนูปกรณ์	81.85	1	21	4	18	918
2. ห้องเก็บของ	10	-	2	-	2	84
3. พัฒนายุทธศาสตร์	57.35	-	16	-	16	672
4. ศูนย์คอมพิวเตอร์	57.35	-	16	-	16	672
5. กลุ่มระบาดวิทยา	45.75	-	16	-	16	672
6. ส่งเสริมสุขภาพ	65.7	-	16	-	16	672
7. กลุ่มควบคุมโรคฯ	57.4	-	16	-	16	672
8. กลุ่มงานพัฒนาฯ	57.4	-	16	-	16	672
9. ห้องสมุด	37.3	-	8	-	8	336
10. โถง+ห้องน้ำ	196.15	42	5	12	47	1,326
รวม	**666.25**	**43**	**132**	**15**	**175**	**6,720**

จากข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร พบว่า มีกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟรวมทั้งอาคาร 22,755 วัตต์ พื้นที่อาคาร 2,293.51 ตร.ม. คิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างต่อพื้นที่ (LPD) เท่ากับ 9.92 วัตต์/ตร.ม.

3.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในสำนักงาน ได้แก่ คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยแต่ละห้องมีขนาดอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามตารางที่ 19 ซึ่งได้บันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 สำหรับหาปริมาณการใช้พลังงานในระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าของอาคารต่อไป

ตารางที่ 19 ขนาดไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในสำนักงาน

ชื่อห้อง	**กำลังไฟฟ้า (วัตต์)**
1. ประชาสัมพันธ์	225
2. ธุรการ	900
3. งานประสานภาครัฐ	450
4. การแพทย์แผนไทย	450
5. ยาเสพติด	450
6. งานรับเรื่องราวร้องเรียน	900
7. ควบคุมโรคติดต่อ	900
8. คุ้มครองผู้บริโภค	900
9. เตรียมอาหาร	400
10. หัวหน้าฝ่ายบริหาร	450
11. เวชกรรมป้องกัน	450
12. วิชาการสาธารณสุข	450
13. ทันตสาธารณสุข	450
14. กลุ่มงานทรัพยากรบุคคล	1350
15. การพัสดุ	1350
16. การเงิน	1350
17. โสตทัศนูปกรณ์	675
18. พัฒนายุทธศาสตร์	900
19. ศูนย์คอมพิวเตอร์	1575
20. กลุ่มระบาดวิทยา	675
21. ส่งเสริมสุขภาพ	900
22. กลุ่มควบคุมโรคไม่ติดต่อ	450
23. กลุ่มงานพัฒนาคุณภาพและรูปแบบบริการ	675
รวมทั้งหมด	**17,500**

หมายเหตุ: อุปกรณ์ไฟฟ้า คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ และจอ LCD ขนาด 22 นิ้ว มีกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 225 วัตต์/ชุด

จากตารางที่ 19 พบว่า อุปกรณ์ไฟฟ้ามีกำลังรวมทั้งหมด 17,500 วัตต์ ใช้ในพื้นที่ปรับอากาศ 1,424.66 ตร.ม. คิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ปรับอากาศ (EQD) เท่ากับ 12.28 วัตต์/ตร.ม.

3.5 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

3.5.1 คุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคาร

วัสดุกรอบอาคาร ได้แก่ **ผนังทึบ** คือ ผนังอิฐมอญฉาบเรียบ หนา 10 ซม. ภายนอกทาสีเขียวอ่อน **ผนังโปร่งแสง** คือ หน้าต่างกระจกใส หนา 6 มม. **หลังคา** คือ คอนกรีต หนา 15 ซม. ด้านล่างเป็นช่องอากาศสูง 45 ซม. และฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. มีรายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุดังตารางที่ 20 ซึ่งได้บันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 สำหรับหาค่า OTTV ค่า RTTV และปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคาร (ดูภาคผนวก ก ตารางที่ 73 - ตารางที่ 80)

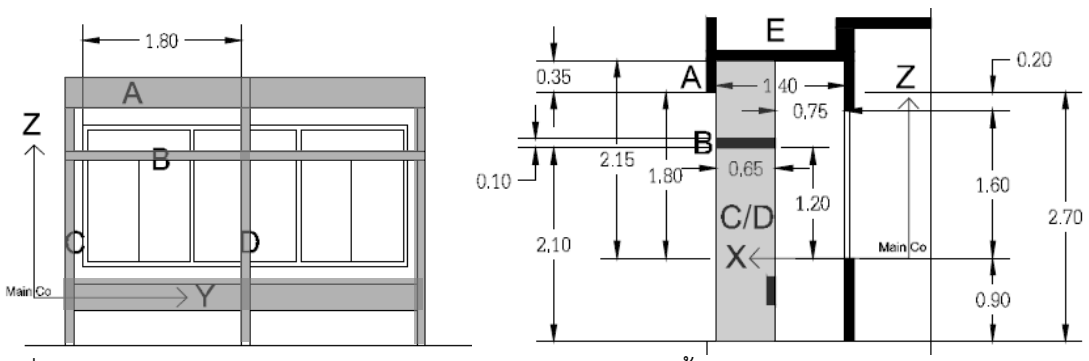
ตารางที่ 20 คุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

ผนังทึบ	**ความหนา (ม.)**	**Thermal Conductivity (W/m-k)**	**Density (kg/m^3)**	**Specific Heat (kJ/kg-K)**
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84
อิฐมอญ	0.07	0.498	1615	0.79
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84
ผนังโปร่งแสง	**ความหนา (ม.)**	**U-Value (W/m^2-K)**	**SHGC**	**VT**
กระจกโฟลตใส	0.006	5.83	0.83	91
หลังคาทึบ	**ความหนา (ม.)**	**Thermal Conductivity (W/m-k)**	**Density (kg/m^3)**	**Specific Heat (kJ/kg-K)**
คอนกรีตแบน	0.15	1.442	2400	0.92
ยิปซั่มบอร์ด	0.009	0.306	725	1.09
ช่องอากาศ	0.45	พื้นผิวมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง R = 0.458 m^2°C/W		

หมายเหตุ: คุณสมบัติของวัสดุ มาจากรายการวัสดุพื้นฐานในโปรแกรม BEC v.1.0.6

3.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดด (SC)

แผงบังแดดมีลักษณะเป็นแผ่นคอนกรีตแนวตั้งและแนวนอน โดยแผงบังแดดแนวตั้ง (C และ D) มีขนาดแผงกว้าง 0.65 ม. หนา 0.10 ม. ห่างจากผนัง 0.75 ม. แผงบังแดดแนวนอน (A, B และ E) มีขนาดเท่ากัน สูงจากพื้น 2.10 ม. ติดสูงจากระดับขอบล่างของกระจกหน้าต่าง 1.20 ม.



รูปที่ 10 แสดงลักษณะ และขนาดของแผงบังแดดคอนกรีตแนวตั้งและแนวนอน

ตารางที่ 21 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ของผนังแต่ละทิศ

ขนาดกระจกหน้าต่าง	ค่า SC ของแผงบังแดด			
	SW	SE	NE	NW
2.20 x 1.60 ม.	-	0.41	-	0.50
1.80 x 1.60 ม.	0.44	0.43	0.53	0.53
1.40 x 1.60 ม.	0.41	0.42	0.54	0.49
0.90 x 1.60 ม.	0.61	0.63	-	-
0.90 x 1.60 ม.	-	-	0.58	-
0.90 x 1.60 ม.	-	0.43	0.52	0.56
ค่า SC เฉลี่ยในแต่ละทิศ	**0.46**	**0.54**	**0.52**	**0.49**

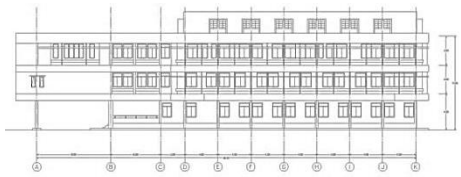
หมายเหตุ: ค่า SC ของแผงบังแดด คำนวณจากโปรแกรม BEC v.1.0.6

ภาพที่ 7 แผงบังแดดคอนกรีตภายนอกของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย (ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เมื่อมิถุนายน 2557)

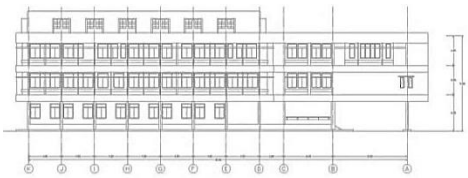
3.5.3 อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด มีอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ตั้งแต่ 25.28 ถึง 41.06 มีรายละเอียดของแต่ละทิศ ดังนี้

ตารางที่ 22 อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)

ทิศ	รูปด้าน	WWR
SW ตะวันตกเฉียงใต้ (45°)		25.28 %
SE ตะวันออกเฉียงใต้ (315°)		35.15 %

ตารางที่ 22 อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) (ต่อ)

ทิศ	รูปด้าน	WWR
NE ตะวันออกเฉียงเหนือ (225°)		41.06 %
NW ตะวันตกเฉียงเหนือ (135°)		37.75 %

หมายเหตุ: ค่า WWR ในตารางพิจารณาเฉพาะผนังส่วนที่ติดกับพื้นที่ปรับอากาศ มาจากค่าที่แสดงใน โปรแกรมBEC v.1.0.6

จากการนำเข้าข้อมูลทั้งหมด ลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เมื่อจำลองการใช้พลังงาน พบว่า กรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เท่ากับ 68.94 วัตต์/ตร.ม. และของหลังคาอาคาร (RTTV) เท่ากับ 27.64 วัตต์/ตร.ม. มีรายละเอียดตารางที่ 23

ตารางที่ 23 รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด

ผนังภายนอก	U-Value ($W/m^2°C$)		WWR	TDeq (°C)	SHGC	ESR (W/m^2)	OTTV (W/m^2)
	ผนังทึบ	กระจก					
ทิศตะวันตกเฉียงใต้	2.882	5.74	25.28	14.073	0.83	256.824	61.29
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	2.882	5.74	35.15	15.175	0.83	263.140	71.48
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	2.882	5.74	41.06	13.721	0.83	215.842	74.04
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	2.882	5.74	37.75	12.266	0.83	207.624	67.34
						ค่า OTTV (W/m^2)	68.94

หลังคา	U-Value ($W/m^2°C$)	1-WWR	TDeq (°C)	ESR (W/m^2)	RTTV (W/m^2)
หลังคาคอนกรีตแบน	1.238	1	22.329	437.38	27.64
				ค่า RTTV (W/m^2)	27.64

4. ประเมินอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดด้านพลังงานก่อนปรับปรุง

4.1 ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

จากการจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 พบว่า มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 190,097.66 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี ต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิง ที่กำหนดให้ไม่เกิน 198,604.86 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน

อาคารอ้างอิง (Reference Building)	**อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย (Evaluated Building)**	**ประเมินผล**
198,604.86 kWh/year	190,097.66 kWh/year	ผ่าน

แยกเป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนี้

ตารางที่ 25 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละระบบในอาคาร จากการจำลองด้วยโปรแกรม BEC

ระบบ	**ระบบปรับอากาศ**	**ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง**	**ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า**
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)	95,901.40	53,246.28	40,949.98
คิดเป็น (%)	50.45 %	28.01 %	21.54 %

4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

กรอบอาคารทั้งส่วนของผนังและหลังคา มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารตามเกณฑ์ในกฎกระทรวง

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม		**อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย**	**ประเมินผล**
OTTV (W/m^2)	≤ 50	68.94	**ไม่ผ่าน**
RTTV (W/m^2)	≤ 15	27.64	**ไม่ผ่าน**

4.3 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของพื้นที่ใช้งาน

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของพื้นที่ใช้งานของอาคาร ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ

ตารางที่ 27 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดตามเกณฑ์ในกฎกระทรวง

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด		**อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย**	**ประเมินผล**
อาคารสำนักงาน (W/m^2)	≤ 14	9.92	ผ่าน

4.4 ประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ในอาคาร มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ

ประสิทธิภาพขั้นต่ำ		**อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย**	**ประเมินผล**
COP	≥ 3.22	3.33, 3.34 และ 3.38	ผ่าน

หมายเหตุ: เกณฑ์ประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศ ขนาดไม่เกิน 12,000 วัตต์

จากการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 พบว่ามีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนด **ยกเว้น**ระบบกรอบอาคาร สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 29 สรุปการประเมินอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดด้านพลังงานก่อนปรับปรุง

เกณฑ์มาตรฐาน	**ค่ามาตรฐาน**	**อาคารสำนักงานสาธารณสุข**	**ประเมินผล**
พลังงานโดยรวมของอาคาร (kWh/year)	< 198,604.86	190,097.66	ผ่าน
OTTV (W/m^2)	≤ 50	68.94	**ไม่ผ่าน**
RTTV (W/m^2)	≤ 15	27.64	**ไม่ผ่าน**
LPD (W/m^2)	≤ 14	9.92	ผ่าน
COP (Watt/Watt)	≥ 3.22	3.35	ผ่าน

บทที่ 5

การหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร และการเปรียบเทียบผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม

1. เกณฑ์ในการเลือกแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารสำนักสาธารณสุขจังหวัดเชียงรายที่เกิดขึ้นในระบบต่างๆ พบว่า อาคารมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุด คือ ร้อยละ 50.45 และกรอบอาคารมีค่าการนำความร้อนรวมสูงกว่าที่เกณฑ์กำหนด เนื่องจากวัสดุกรอบอาคารมีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ เป็นผลให้มีความร้อนเข้าสู่อาคารและกลายเป็นภาระของระบบปรับอากาศจำนวนมาก การปรับปรุงจึงมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงกรอบอาคารให้มีค่าการต้านทานความร้อนที่สูงขึ้น แต่วิธีการปรับปรุงกรอบอาคารที่เปิดใช้งานแล้ว มีความแตกต่างกับการออกแบบอาคารที่สร้างใหม่ เนื่องจากต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการปรับปรุง โดยเลือกวิธีปรับปรุงที่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 3 เกณฑ์ (ตารางที่ 30) ดังนี้

1. เป็นวิธีปรับปรุงที่สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยการเพิ่มค่าการต้านทานความร้อน หรือลดการแผ่รังสีความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านกรอบอาคาร

2. เป็นวิธีปรับปรุงที่ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของอาคาร ไม่กระทบกับส่วนของโครงสร้างหลักของอาคาร เช่น เสา, เสาเอ็น, คาน หรือคานเอ็น ไม่เพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างมากเกินไป (จากกฎกระทรวง ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2528) การต่อเติม ซึ่งไม่เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างของอาคารเดิมส่วนหนึ่งส่วนใดเกินร้อยละสิบ ไม่ต้องยื่นขออนุญาต)

3. ไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบของอาคาร ไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบทางสถาปัตยกรรมภายนอก ไม่เปลี่ยนแปลงขนาดและตำแหน่งของช่องเปิด

ตารางที่ 30 เกณฑ์และผลการเลือกวิธีปรับปรุงอาคารเพื่อลดความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร

วิธีการปรับปรุง	เกณฑ์การเลือกวิธีการปรับปรุงอาคาร			ผลการประเมิน
	ลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร	ไม่กระทบโครงสร้าง	ไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบอาคาร	
ปรับปรุงผนังทึบภายนอก				
1. เปลี่ยนชนิดของผนัง	✓	✗	✓	ไม่เลือก
2. ติดตั้งฉนวน	✓	✓	✓	เลือก (1)
3. ทาสีขาวหรือสีสะท้อนความร้อน	✓	✓	✓	เลือก (2)

ตารางที่ 30 เกณฑ์และผลการเลือกวิธีปรับปรุงอาคารเพื่อลดความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (ต่อ)

วิธีการปรับปรุง	เกณฑ์การเลือกวิธีการปรับปรุงอาคาร			ผลการประเมิน
	ลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร	ไม่กระทบโครงสร้าง	ไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบอาคาร	
ปรับปรุงผนังโปร่งแสงภายนอก				
1. ลดพื้นที่กระจกหน้าต่าง	✓	✓	✗	ไม่เลือก
2. เปลี่ยนชนิดของกระจก	✓	✓	✓	เลือก (3)
3. ติดตั้งฟิล์มลดความร้อน	✓	✓	✓	เลือก (4)
4. ติดตั้งแผงบังแดด/กันสาด	✓	✗	✗	ไม่เลือก
ปรับปรุงหลังคา				
1. ติดตั้งหลังคาคลุมดาดฟ้า	✓	✗	✗	ไม่เลือก
2. ทาสีขาวหรือสีสะท้อนความร้อน	✓	✓	✓	เลือก (5)
3. ติดตั้งฉนวนเหนือฝ้าเพดาน	✓	✓	✓	เลือก (6)

วิธีการปรับปรุงกรอบอาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ได้แก่

1. การเปลี่ยนชนิดของผนังทึบ เนื่องจากต้องมีการสกัดผนังทึบเดิมออก อาจส่งผลต่อความแข็งแรงโครงสร้าง รวมทั้งมีความยุ่งยากในการปรับปรุง

2. การลดพื้นที่ผนังกระจก โดยการก่อเป็นผนังทึบ อาจส่งผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้าง หรือการปิดทับผนังกระจกด้วยแผ่นผนังเบา ก็อาจส่งผลต่อรูปแบบทางสถาปัตยกรรมเดิมของอาคาร รวมถึงส่งผลต่อรูปแบบการการใช้งานเดิมของผู้ใช้อาคาร

3. การติดตั้งแผงบังแดด หรือกันสาด โดยอาคารกรณีศึกษามีแผงบังแดดคอนกรีตโดยรอบอาคารอยู่แล้ว การติดตั้งแผงบังแดดคอนกรีตเพิ่มเติม อาจส่งผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้าง รวมถึงเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางสถาปัตยกรรมภายนอก หรือการติดตั้งแผงบังแดดด้วยวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เช่น แผงอลูมิเนียม ก็อาจส่งผลต่อรูปแบบสถาปัตยกรรมเดิมเช่นกัน

4. การติดตั้งโครงหลังคาคลุมหลังคาคอนกรีตเดิม อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง เนื่องจากน้ำหนักของโครงหลังคาและวัสดุมุงหลังคา อาจมากกว่าน้ำหนักที่โครงสร้างสามารถรับได้ รวมทั้งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางสถาปัตยกรรมภายนอกของอาคาร

วิธีการปรับปรุงกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด ได้แก่

1. การติดตั้งฉนวนที่ผนังทึบ
2. การทาสีขาวหรือสีสะท้อนความร้อนที่ผนังภายนอกของผนังทึบ
3. การเปลี่ยนชนิดกระจกหน้าต่าง
4. การติดตั้งฟิล์มลดความร้อนที่กระจกหน้าต่างเดิม
5. การทาสีขาวหรือสีสะท้อนความร้อนที่พื้นหลังคาคอนกรีต
6. การติดตั้งฉนวนเหนือฝ้าเพดาน

จากวิธีการปรับปรุงกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ สามารถกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาได้ดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลการปรับปรุงกรอบอาคาร

กรอบอาคาร	วิธีปรับปรุง	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
ผนังทึบ	1. การติดตั้งฉนวน และปิดทับด้วยแผ่นผนังเบา	1. ค่า R ของผนัง	1. ค่า OTTV 2. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	1. พื้นที่ของผนังทึบ 2. ค่า WWR ของผนัง 3. ทิศของอาคาร
	2. การเว้นช่องอากาศ และปิดทับด้วยแผ่นผนังเบา	1. ค่า R ของผนัง		
	3. การทาสีขาวที่ผนังด้านภายนอก	1. ค่า Solar absorptance		
ผนังโปร่งแสง	1. การเปลี่ยนชนิดกระจก	1. ค่า U ของกระจก 2. ค่า SHGC ของกระจก	1. ค่า OTTV 2. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	1. พื้นที่ของกระจกหน้าต่าง 2. ค่า WWR ของผนัง 3. ทิศของอาคาร 4. ค่า SC ของแผงบังแดด
	2. การติดฟิล์มลดความร้อนที่กระจกเดิม	1. ค่า U ของกระจก 2. ค่า SHGC ของกระจก		
หลังคา	1. การปูฉนวนเหนือฝ้าเพดาน	1. ค่า R ของหลังคา	1. ค่า RTTV 2. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	1. พื้นที่ของหลังคา
	2. การทาสีขาวที่พื้นหลังคาคอนกรีต	1. ค่า Solar absorptance		

2. การสำรวจข้อมูลคุณสมบัติและราคาของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง

วัสดุที่เลือกนำมาปรับปรุง ได้แก่ ฉนวนกันความร้อน สีทาสะท้อนความร้อนสีขาว กระจกหน้าต่าง และฟิล์มลดความร้อน โดยการสำรวจวัสดุที่มีขายในท้องตลาด และเป็นวัสดุที่อยู่ในรายการตามประกาศอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง กำหนดคุณสมบัติ หลักเกณฑ์ วิธีการ เงื่อนไข อุปกรณ์ หรือเครื่องจักร ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ. 2555

2.1 ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังทึบ

ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังมีหลายประเภท ทั้งฉนวนแบบพ่น และฉนวนแบบแผ่น การติดตั้งมีทั้งทำในขณะก่อสร้าง หรือหลังสร้างผนังเสร็จแล้ว โดยขอบเขตของการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ฉนวนที่สามารถติดตั้งในอาคารที่เปิดใช้งานแล้ว และติดตั้งโดยใช้ระบบโครงคร่าวผนังที่ด้านในของผนังทึบเท่านั้น ฉนวนที่เลือก คือ ฉนวนใยแก้วแบบแผ่น

ฉนวนใยแก้วแบบแผ่น ใช้ติดตั้งบริเวณผนังทึบด้านภายใน โดยวางอยู่ในช่องระหว่างโครงคร่าว แล้วปิดทับด้วยแผ่นผนังสำเร็จรูป ฉนวนใยแก้วที่มีขายในท้องตลาด มีขนาด 0.60 x 1.20 ม. และขนาด 1.22 x 2.44 ม. โดยเลือกใช้ฉนวนที่มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อน (ค่า R) ไม่น้อยกว่า 1.25 m^2K/W ซึ่งเป็นฉนวนที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน ตามประกาศของอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ ฉนวนที่เลือก มีค่า R-Value และราคาวัสดุ ดังนี้

ตารางที่ 32 รายละเอียดของฉนวนใยแก้วแบบแผ่นสำหรับงานผนัง

ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	**ความหนา (ม.)**	**R-Value ($m^2°C/W$)**	**ราคาวัสดุ/ตร.ม (บาท)**
24	0.065	1.86	260
32	0.05	1.52	332

หมายเหตุ: ค่า R-Value เป็นของฉนวนใยแก้วเท่านั้น ไม่รวมค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ โดยการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจาก รายการวัสดุในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และใช้ราคาวัสดุจากใบเสนอราคา บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด (ดูรายละเอียดที่ ภาคผนวก ข ตารางที่ 100)

2.2 ความต้านทานความร้อนของช่องอากาศที่ผนัง

ความต้านทานความร้อนในช่องอากาศ ขึ้นอยู่กับค่าการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวผนังด้านในช่องว่างอากาศ แบ่งเป็นพื้นผิวที่มีการแผ่รังสีสูง ได้แก่ ผนังทั่วไป และพื้นผิวที่มีการแผ่รังสีต่ำ ในกรณีที่มีผิวด้านใดด้านหนึ่ง หรือสองด้านเป็นผิวสะท้อนแสง เช่น แผ่นอลูมิเนียม โดยในกฎกระทรวงฯ กำหนดให้ช่องอากาศขนาดกว้าง 10 ซม. มีค่าความต้านทานความร้อนสูงสุด เนื่องจากเป็นระยะที่อากาศยังคงมีความนิ่ง หากกว้างมากกว่านี้ อากาศจะเริ่มเกิดการไหลเวียน ส่งผลให้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศไม่สูงขึ้นไปอีก (อภิชญา อธิคมบัณฑิตกุล, 2556: 4) และเมื่อพิจารณาขนาดความกว้างของโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี พบว่าโครงคร่าวรูปตัวซี (C) หรือตัวยู (U) มีขนาดกว้างมากที่สุดที่ไม่เกิน 10 ซม. คือขนาด 9 ซม. การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกความกว้างของช่องอากาศที่ 9 ซม. โดยมีค่าการต้านทานความร้อนของช่องอากาศ ดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ค่าการต้านทานความร้อนของช่องอากาศที่ความกว้างต่างๆ

ผิววัสดุที่ผนังด้านในช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ (m^2°C/W)		
	30 มม.	90 มม.	100 มม.
มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.150	0.158	0.160
มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.582	0.588	0.606

หมายเหตุ: กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

2.3 แผ่นผนังสำเร็จรูป

แผ่นผนังสำเร็จรูป หรือ แผ่นผนังเบา ที่นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคาร คือ แผ่นยิปซั่ม ขนาด 1.20 x 2.40 ม. มีความแข็งแรง ติดตั้งง่าย และราคาถูก โดยติดตั้งร่วมกับโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แผ่นผนังสำเร็จรูปกรุที่ผนังภายในด้านเดียว สำหรับปิดฉนวนกันความร้อนที่ผนัง และการเว้นช่องอากาศ แผ่นผนังสำเร็จรูปที่เลือก ได้แก่

แผ่นยิปซั่มชนิดมาตรฐาน เป็นวัสดุแผ่นที่มีไส้กลางของแผ่นเป็นแร่ยิปซั่มประกบด้วยกระดาษทั้งสองด้าน มีน้ำหนักเบา ติดตั้งกับโครงคร่าวโลหะด้านภายในอาคาร แผ่นยิปซั่มที่ใช้สำหรับงานผนังจะเลือกที่ความหนา 12 มม. มีรายละเอียดดังตารางที่ 34

แผ่นยิปซั่มชนิดบุด้วยฟอยล์อลูมิเนียม ทำจากแผ่นยิปซั่มมาตรฐาน มีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ติดที่ด้านหลังในตัว ซึ่งมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อน เลือกใช้ที่ความหนา 12 มม. เช่นเดียวกับแผ่นยิปซั่มมาตรฐาน มีรายละเอียดดังตารางที่ 34

ตารางที่ 34 รายละเอียดของแผ่นผนังสำเร็จรูป

ประเภท	K-Value (W/m-K)	R-Value (m^2°C/W)	ราคา/ตร.ม (บาท)
แผ่นยิปซั่มชนิดมาตรฐาน 12 มม.	0.318	0.04	60
แผ่นยิปซั่มบุฟอยล์อลูมิเนียม 12 มม.	0.322	0.04	138.25

หมายเหตุ: ค่า R-Value ของแผ่นยิปซั่มเท่านั้น ไม่รวมค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจาก รายการวัสดุในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และราคาวัสดุจากใบเสนอราคาบริษัท สยามอุตสาหกรรมยิปซั่ม จำกัด (ดูรายละเอียดที่ ภาคผนวก ข ตารางที่ 102)

แผ่นยิปซั่มชนิดบุด้วยฉนวนโพลีสไตรีนแบบขยายตัว หรือฉนวน EPS แบบแผ่น (Expanded Polystyrene High Density: EPS) คือแผ่นยิปซั่มชนิดมาตรฐาน หนา 9 มม. ที่มีฉนวน ESP ความหนาต่างๆ ติดมาในตัว ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้แผ่นยิปซั่มที่มีฉนวน EPS ที่ความหนา 35 มม. และ 50 มม. จะได้แผ่นผนังที่มีความหนารวม 44 มม. และ 59 มม. ตามลำดับ มีค่า R-Value และราคา/ตร.ม. ดังตารางที่ 35 โดยติดตั้งทับกับตัวโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสีขนาดกว้าง 3 ซม. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจึงต้องพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศขนาด 3 ซม. ด้วย

ตารางที่ 35 รายละเอียดของฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป

ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความหนา (ม.)	R-Value (m^2°C/W)	ราคาวัสดุ/ตร.ม (บาท)
25	0.044	1.33	345
25	0.059	1.83	390

หมายเหตุ: ค่า R-Value ของแผ่นยิปซั่มและฉนวน EPS เท่านั้น ไม่รวมค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจากเว็บไซต์บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ยิบซั่ม จำกัด ราคาจากการโทรสอบถามตัวแทนจำหน่าย (ดูรายละเอียดที่ ภาคผนวก ข ตารางที่ 103)

2.4 สีทาสะท้อนความร้อน

สีทาสะท้อนความร้อน สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่กรอบอาคารได้ โดยเป็นการลดค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ผ่านกรอบอาคาร มีผลต่อค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) โดยค่าที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ แบ่งสีภายนอกของพื้นผิวออกเป็น 4 แบบ โดยสีที่สามารถลดค่าการดูดกลืนได้มากที่สุดคือ สีขาว สีเงิน หรือสีสะท้อนแสง มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน 0.3 เทียบกับสีของอาคารก่อนปรับปรุง คือผนังสีเขียวอ่อน มีค่าสัมประสิทธิ์ 0.5 และหลังคาคอนกรีตไม่ทาสี มีค่าสัมประสิทธิ์ 0.7 การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกทาสีภายนอกเป็นสีขาว โดยทาทับพื้นผิว 2 รอบ มีราคาค่าวัดสุและราคาค่าแรง ดังนี้

ตารางที่ 36 รายละเอียดของสีสะท้อนความร้อน

ค่าการสะท้อน	ค่าการดูดกลืน	ราคา/ตร.ม (บาท)
95%	5%	106.5

หมายเหตุ: ค่าการสะท้อน และค่าการดูดกลืน มีที่มาจากเว็บไซต์ของบริษัทผู้ผลิต คือ บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด (ดูรายละเอียดที่ ภาคผนวก ข ตารางที่ 104) โดยการศึกษาครั้งนี้ระบุค่าในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ฯ ตามที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ

2.5 กระจก

กระจกหน้าต่างของอาคารกรณีศึกษา คือกระจกโฟลตใส หนา 6 มม. ซึ่งมีค่า SHGC สูงที่สุดในบรรดากระจกที่ความหนาเดียวกัน การปรับปรุงเพื่อประหยัดพลังงาน จึงเลือกชนิดของกระจกที่มีค่า SHGC ที่ต่ำลง เพื่อลดค่าการนำความร้อนที่ผ่านกระจกเข้าสู่อาคาร โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการเปลี่ยนลูกฟักกระจก เป็นกระจกชนิดแผ่นเดี่ยว หนา 6 มม. เท่านั้น และกำหนดให้ใช้บานกรอบเหล็กและวงกบเหล็กเดิม โดยเลือกกระจกที่มีค่า SHGC ไม่เกิน 0.55 และมีค่า LSG ไม่ต่ำกว่า 1.20 ซึ่งเป็นกระจกที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน ตามประกาศของอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ กระจกที่เลือกใช้ ได้แก่

กระจกโฟลตสี สามารถลดแสงจ้าและลดความร้อนที่ส่องมากระทบผิวกระจกได้ หลักการทำงานคือออกไซด์ในกระจกสามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนไว้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาและสีของกระจก เมื่อพิจารณาค่า VT จะพบว่า กระจกใสและกระจกสีอ่อน สามารถนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่ากระจกสีเข้ม แต่ก็จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าเช่นกัน

กระจกสะท้อนแสง เป็นกระจกที่เคลือบสารบนผิวกระจก เพื่อให้กระจกสามารถสะท้อนแสงและคลื่นความร้อนบางส่วนออกไปได้ โดยสีและความใสของกระจกขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคลือบนั้นๆ (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552: 22-28)

กระจกที่เลือกใช้ คือ กระจกประหยัดพลังงานตามประกาศของอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ ได้แก่ กระจกโฟลตสีเขียวเข้ม และกระจกสะท้อนแสงสีเขียว นอกจากนี้ยังเลือกกระจกโฟลตสีเขียวอ่อน ที่มีราคาถูกกว่า แม้จะมีค่า SHGC สูงกว่าที่กำหนดในประกาศฯ มาพิจารณาร่วมด้วย โดยกระจกที่เลือกมีรายละเอียดคุณสมบัติ ดังนี้

ตารางที่ 37 รายละเอียดของกระจกโฟลตและกระจกสะท้อนแสง

กระจกแผ่นเดี่ยว หนา 6 มม.	U-Value ($W/m^2°C$)	SHGC	VT	LSG	ราคา/ตร.ฟ (บาท)
กระจกโฟลต สีเขียวอ่อน	6.23	0.58	0.72	1.24	33
กระจกโฟลต สีเขียวเข้ม	5.80	0.55	0.70	1.27	39
กระจกสะท้อนแสง สีเขียว	4.09	0.41	0.56	1.34	120

หมายเหตุ: ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุกระจกมาจากเว็บไซต์ของ บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด และราคากระจกมาจากใบเสนอราคา (ดูรายละเอียดที่ ภาคผนวก ข ตารางที่ 105)

2.6 ฟิล์มลดความร้อน

ฟิล์มลดความร้อน คือ ฟิล์มพลาสติกที่ทำมาจากโพลีเอสเตอร์ชนิด P.E.T (Polyethylene terephthalate) มีความเหนียว สามารถแนบสนิทกับกระจกที่นำไปติดตั้ง ช่วยในการกรองแสงและลดความร้อนได้ มีความหนาประมาณ 2 – 4 มม. การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ฟิล์มลดความร้อนชนิดเคลือบละอองโลหะ (Metal reflective film) เนื่องจากมีราคาที่ไม่สูงมากนัก โดยเลือกฟิล์มที่มีคุณสมบัติเมื่อติดลงบนกระจกใสหนา 6 มม. เป็นไปตามเกณฑ์ที่ประกาศในรายการและคุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน โดยกระทรวงพลังงาน ดังนี้

1. มีค่าการส่องผ่านแสง (T_{VIS}) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30
2. มีค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{SOL}) ไม่เกินร้อยละ 40
3. มีค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเลต (T_{UV}) ไม่เกินร้อยละ 5
4. มีค่าการสะท้อนแสงภายนอก ($R_{VIS-OUT}$) ไม่เกินร้อยละ 25
5. มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของฟิล์ม (SC) ไม่น้อยกว่า 0.20 และไม่เกิน 0.60 (SHGC ไม่น้อยกว่า 0.174 และไม่เกิน 0.522)

จากการสำรวจฟิล์มในท้องตลาด พบว่าฟิล์มสีอ่อนที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว มีเพียงฟิล์มสีเทาอ่อนเท่านั้น โดยฟิล์มที่มีคุณสมบัติข้างต้น จะเป็นฟิล์มสีเข้ม ซึ่งมีค่า LSG ต่ำ จึงเลือกฟิล์มไร้สี ที่มีค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{SOL}) สูงกว่าเกณฑ์ และฟิล์มสีฟ้าอ่อน ที่มีค่าการสะท้อนแสง

ภายนอก ($R_{VIS-OUT}$) สูงกว่าเกณฑ์ แต่ไม่มากกว่าที่กฎหมายกำหนดให้ไม่เกินร้อยละ 30 (พระราชบัญญัติควบคุมอาคารฉบับที่ 48 ข้อ 27) มาพิจารณาร่วมด้วย มีรายละเอียดคุณสมบัติเมื่อติดลงบนกระจกใสหนา 6 มม. ดังนี้

ตารางที่ 38 รายละเอียดของฟิล์มลดความร้อน

กระจกติดฟิล์ม	U-Value ($W/m^2°C$)	SHGC	T_{UV}	T_{SOL}	T_{VIS}	$R_{VIS-OUT}$	LSG	ราคา/ตร.ฟ. (บาท)
กระจกติดฟิล์มไร้สี	5.62	0.48	1%	48%	61%	8%	1.11	170
กระจกติดฟิล์มสีฟ้าใส	5.62	0.46	1%	37%	47%	27%	0.89	150
กระจกติดฟิล์มสีเทาอ่อน	5.62	0.50	1%	38%	60%	7%	1.03	100

หมายเหตุ: ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุได้จากเว็บไซต์ของบริษัทผู้ผลิตกระจก และราคาได้จากการโทรสอบถาม (ดูรายละเอียดที่ ภาคผนวก ข ตารางที่ 106)

2.7 ฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคา

ฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคามีหลายชนิด ได้แก่ ฉนวนแบบฉีดพ่นใต้หลังคา ฉีดพ่นเหนือหลังคา ฉนวนแบบแผ่นปูใต้กระเบื้องหลังคา หรือเหนือฝ้าเพดาน สำหรับการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ฉนวนที่เหมาะสมกับการติดตั้งในอาคารที่เปิดใช้งานแล้ว คือ ฉนวนใยแก้วแบบม้วน ชนิดหุ้มฟอยล์อลูมิเนียม ขนาด 0.60 x 4.00 ม. สำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน โดยอาคารกรณีศึกษามีฝ้าเพดานชั้น 3 เป็นฝ้าเพดานยิปซั่มแบบทีบาร์ (T-Bar) สามารถเปิดแผ่นฝ้าออก และติดตั้งฉนวนชนิดนี้ได้สะดวก ฉนวนใยแก้วที่เลือกใช้ มีค่า R-Value และราคา/ตร.ม. ดังนี้

ตารางที่ 39 รายละเอียดของฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน

ความหนา (มม.)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	R-Value ($m^2°C/W$)	ราคา/ตร.ม (บาท)
0.075	12	1.98	80
0.15	12	3.97	113

หมายเหตุ: ค่า R-Value ของฉนวนใยแก้วเท่านั้น ไม่รวมค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจาก รายการวัสดุในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และราคาวัสดุจากใบเสนอราคา บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด (ดูรายละเอียดที่ ภาคผนวก ข ตารางที่ 101)

3. ผลการปรับปรุงกรอบอาคาร

3.1 การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบ

แบ่งการปรับปรุงออกเป็น 4 แนวทางหลัก ได้แก่ การทาสีขาวที่ผนังภายนอก การเสริมแผ่นยิปซั่มและเว้นช่องว่างอากาศ การติดตั้งฉนวนและปิดทับด้วยแผ่นผนังเบา และ การทาสีขาวที่ผนังร่วมกับการเว้นช่องว่างอากาศ สามารถกำหนดวิธีการปรับปรุงได้ทั้งหมด 9 วิธี (W1-W9) เมื่อจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 ได้ผลดังตารางที่ 41

สำหรับวิธีปรับปรุงโดยการทาสีขาวที่ผนังภายนอก การศึกษาครั้งนี้ได้ใส่ข้อมูลในโปรแกรม ให้มี Outer Surface Color ของผนังทึบ ดังนี้

ตารางที่ 40 ค่า Outer Surface Color ของผนังทึบ

ค่าที่บันทึกในโปรแกรม BEC	**ผนังทึบสีเขียวอ่อน (ผนังเดิม)**	**ผนังทึบทาสีขาว**
Outer Surface Color	Surface of pale color	Reflective and white surface
Solar Absorbtance	0.5	0.3
หมายเหตุ	วัสดุที่มีสีผิวสีอ่อน	วัสดุที่มีสีทาภายนอกเป็นสีขาว

ตารางที่ 41 ค่า R-Value และราคา ของวิธีการปรับปรุงผนังทึบ

วิธี	**การปรับปรุงผนังทึบ**	**R-Value (m^2 °C/W)**	**ราคา/ตร.ม. (บาท)**
ผนังเดิม	ผนังอิฐมอญ ฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม.	0.35	-
W1	ทาสีขาว ที่ผนังภายนอก	0.35	141.5
W2	เสริมแผ่นยิปซั่ม และเว้นช่องอากาศ กว้าง 9 ซม.	0.54	300
W3	เสริมแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์ และเว้นช่องอากาศ กว้าง 9 ซม.	0.99	378.25
W4	ทาสีผนังภายนอก+เสริมแผ่นยิปซั่มและเว้นช่องอากาศ (W01+W02)	0.54	441.50
W5	ทาสีผนังภายนอก+เสริมแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์และเว้นช่องอากาศ (W01+W03)	0.99	519.75
W6	เสริมแผ่นยิปซั่มบุฉนวน EPS หนา 35 มม. และช่องอากาศ กว้าง 3 ซม.	1.83	522.75
W7	เสริมแผ่นยิปซั่มบุฉนวน EPS หนา 50 มม. และช่องอากาศ กว้าง 3 ซม.	2.40	593.75
W8	ติดตั้งฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่ม	1.90	632
W9	ติดตั้งฉนวนใยแก้ว หนา 65 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่ม	2.24	560

หมายเหตุ: ค่า R-Value ของผนังทึบหลังปรับปรุงแล้ว (ผนังทึบ+ฉนวน+ช่องอากาศ+ฟิล์มอากาศ)

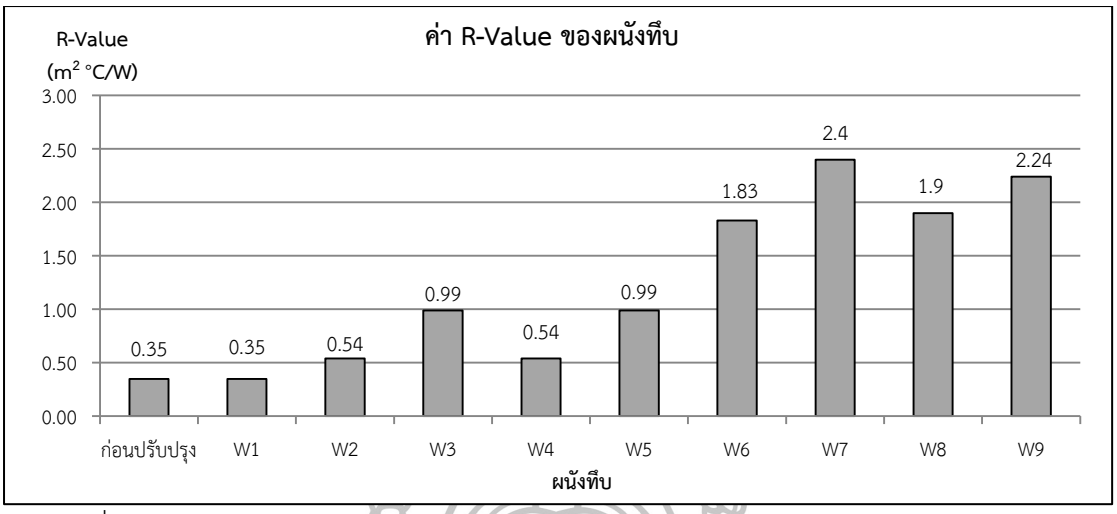
ราคา/ตร.ม. หมายถึง ราคาค่าวัสดุรวมกับราคาค่าแรง

ราคาวัสดุ คือ ค่าสีทาภายนอก, ฉนวน, แผ่นผนังสำเร็จรูป, ตะปูเกลียว และโครงคร่าว

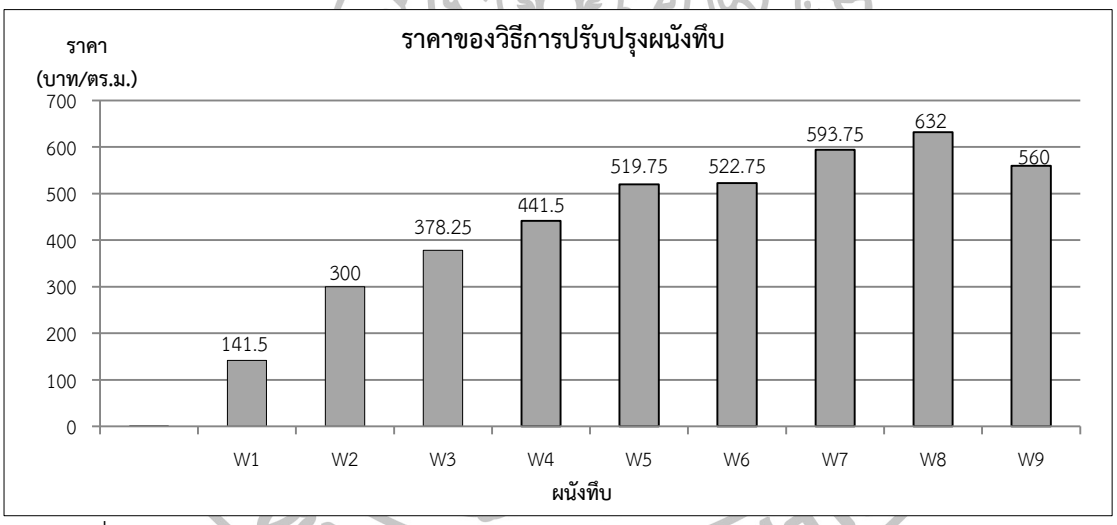
ราคาค่าแรง คือ ค่าแรงทาสี 2 รอบ, ค่าตั้งเคร่าและตีฝาวัสดุแผ่นสำเร็จรูป (ตีด้านเดียว)

ฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม. มีความหนาแน่นของฉนวน 32 กก./ลบ.ม.

ฉนวนใยแก้ว หนา 65 มม. มีความหนาแน่นของฉนวน 24 กก./ลบ.ม.



แผนภูมิที่ 1 ค่า R-Value ของผนังทึบแต่ละแบบ



แผนภูมิที่ 2 ราคาของวิธีการปรับปรุงผนังทึบแต่ละแบบ

จากตารางที่ 41 เมื่อเปรียบเทียบค่า R หลังปรับปรุงผนังทึบแต่ละวิธี กับราคาค่าปรับปรุง พบว่า

การทาสีขาวที่ผนังภายนอก (W1) เพียงอย่างเดียว มีราคาค่าปรับปรุงต่ำสุดในบรรดาวิธีที่ศึกษา แต่ไม่สามารถเพิ่มค่า R ของผนังให้สูงขึ้นจากเดิมได้ เนื่องจากเป็นการลดการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ

การเสริมแผ่นยิปซั่มและเว้นช่องอากาศ มีราคาปรับปรุงต่ำกว่าการใส่ฉนวน เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าฉนวน แต่ก็ส่งผลให้ผนังแบบเว้นช่องว่างอากาศมีค่า R ต่ำกว่าเช่นกัน โดยการเว้นช่องว่างและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์ (W3) ส่งผลให้ผนังอาคารมีค่า R สูงกว่าการปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มชนิดธรรมดา (W2)

การทาสีขาวที่ผนังภายนอก ร่วมกับการเสริมแผ่นยิปซั่มและเว้นช่องอากาศ (W4 และ W5) มีราคาปรับปรุงต่ำกว่าการใส่ฉนวนเช่นเดียวกับสองวิธีแรก แต่ไม่สามารถเพิ่มค่า R ของผนังให้สูงขึ้นจากการเว้นช่องอากาศเดิม เนื่องจากการทาสีขาวเป็นการลดการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบเป็นการลดการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ

การเสริมแผ่นยิปซั่มบุฉนวน EPS ที่มีฉนวนหนา 50 มม. พร้อมแผ่นยิปซั่ม หนา 9 มม. และมีช่องอากาศกว้าง 3 ซม. (W7) มีค่า R สูงที่สุดในบรรดาวิธีที่ศึกษา สำหรับฉนวน EPS ที่ความหนา 35 มม. (W6) ซึ่งเป็นฉนวนที่มีความหนาน้อยที่สุด พบว่ามีค่า R และราคาต่ำที่สุดในบรรดาวิธีการติดตั้งฉนวน

การติดตั้งฉนวนใยแก้ว และปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่ม หนา 12 มม. เมื่อพิจารณาค่า R และราคา พบว่าฉนวนใยแก้วความ หนา 65 มม. (W9) มีค่า R สูงกว่า และมีราคาถูกกว่า ฉนวนใยแก้วที่ความหนา 50 มม. (W8) ซึ่งมีราคาสูงที่สุดในบรรดาวิธีปรับปรุงผนังทึบที่ศึกษา เนื่องจากมีความหนาแน่นของเนื้อฉนวนสูงกว่า

เมื่อคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) หลังปรับปรุงผนังทึบ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 42 ค่า OTTV หลังการปรับปรุงผนังทึบแต่ละวิธี

วิธี	**การปรับปรุงผนังทึบ**	**OTTV หลังปรับปรุง** (W/m^2)	**OTTV ที่ลดลง** (W/m^2)
ก่อนปรับปรุง	ผนังอิฐมอญ หนา 10 ซม.	68.94	-
W1	ทาสีขาว ที่ผนังภายนอก	61.67	7.27
W2	เสริมแผ่นยิปซั่ม และเว้นช่องอากาศ	59.43	9.51
W3	เสริมแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์ และเว้นช่องอากาศ	52.25	16.69
W4	ทาสีผนังภายนอก+เสริมแผ่นยิปซั่มและเว้นช่องอากาศ	54.82	14.12
W5	ทาสีผนังภายนอก+เสริมแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์และเว้นช่องอากาศ	**49.68**	19.26
W6	เสริมแผ่นยิปซั่มบุฉนวน EPS หนา 35 มม. และช่องอากาศ	**48.05**	20.89
W7	เสริมแผ่นยิปซั่มบุฉนวน EPS หนา 50 มม. และช่องอากาศ	**46.89**	22.05
W8	ติดตั้งฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่ม	**47.80**	21.14
W9	ติดตั้งฉนวนใยแก้ว หนา 65 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่ม	**47.10**	21.84

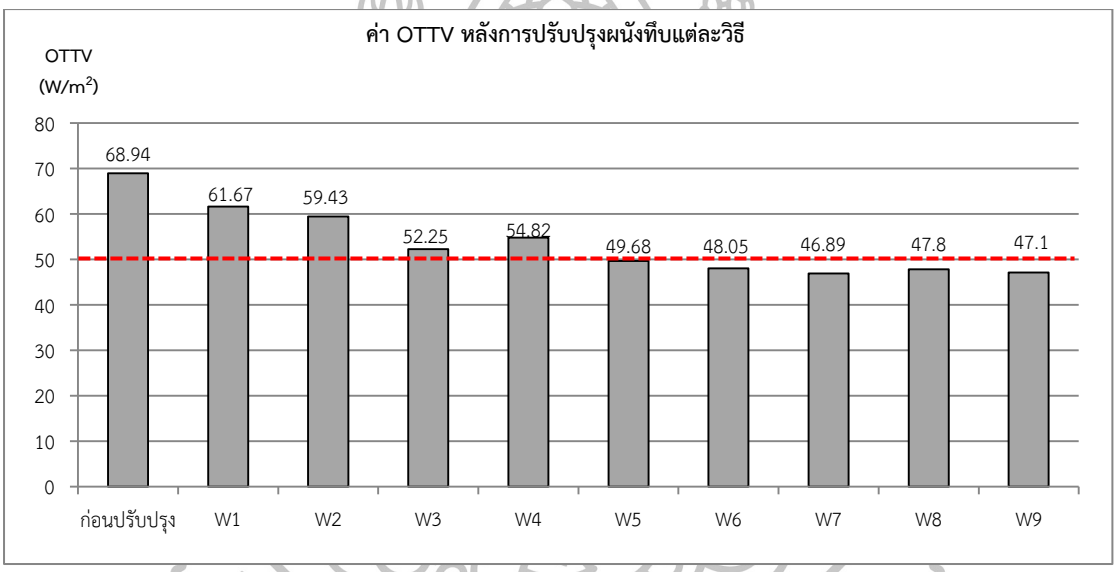
หมายเหตุ: ค่า OTTV หลังปรับปรุง มาจากการปรับปรุงผนังทึบอย่างเดียว โดยไม่เปลี่ยนแปลงส่วนกระจกหน้าต่าง

จากตารางที่ 42 วิธีปรับปรุงที่สามารถลดค่า OTTV จากเดิมที่ 68.94 วัตต์/ตร.ม. ให้ผ่านเกณฑ์ที่ไม่เกิน 50 วัตต์/ตร.ม. มีทั้งหมด 5 วิธี ได้แก่

การติดตั้งฉนวนใยแก้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่ม ทั้ง 2 วิธี (W8,W9) สามารถลดค่า OTTV ลง 21.14-21.84 วัตต์/ตร.ม. เป็น 47.10-47.80 วัตต์/ตร.ม.

การเสริมแผ่นยิปซั่มบุฉนวน EPS ทั้ง 2 วิธี (W6,W7) สามารถลดค่า OTTV ลง 20.89-22.05 วัตต์/ตร.ม. เป็น 46.89-48.05 วัตต์/ตร.ม.

การทาสีขาวที่ผนังภายนอก ร่วมกับการเสริมแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์ และเว้นช่องอากาศ (W5) สามารถลดค่า OTTV ลงได้ 19.26 วัตต์/ตร.ม. เป็น 49.68 วัตต์/ตร.ม. สำหรับวิธีการทาสีขาวที่ผนัง หรือการเว้นช่องว่างอากาศเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถทำให้ค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ได้



แผนภูมิที่ 3 ค่า OTTV หลังปรับปรุงผนังทึบ

พิจารณาความคุ้มค่าทางการลงทุนของแนวทางปรับปรุงที่ทำให้ผนังผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ โดยใช้วิธีคำนวณแบบระยะคืนทุนของแต่ละแนวทาง ดังนี้

$$\text{ระยะคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าปรับปรุง (บาท)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี)}}$$

คำนวณค่าปรับปรุง โดยคิดค่าต้นทุนวัสดุและค่าแรง รวมกับค่า Factor F ทุนไม่เกิน 1 ล้านบาท มีค่า Factor F ที่ 1.2726 (ดูภาคผนวก ข ตารางที่ 107 - ตารางที่ 110)

คำนวณค่าไฟฟ้าที่ลดได้ จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยคิดตามอัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ตามช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) (ดูภาคผนวก ค ตารางที่ 113) ได้ผลดังตารางที่ 43

ตารางที่ 43 ค่าปรับปรุงและระยะคืนทุนของวิธีปรับปรุงผนังทึบที่ผ่านเกณฑ์

วิธี	การปรับปรุงผนังทึบ	OTTV (W/m^2)	ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง[1]	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
W5	ทาสี+เสริมยิปซั่มบุฟอยล์+ช่องอากาศ	**49.68**	13.80 %	451,609.47[2]	68,610.74	6.58
W6	เสริมยิปซั่มบุฉนวนEPS 35 มม.+ช่องอากาศ	**48.05**	14.93 %	403,142.50	74,254.00	5.43
W7	เสริมยิปซั่มบุฉนวนEPS 50 มม.+ช่องอากาศ	**46.89**	15.76 %	457,897.39	78,386.64	5.84
W8	ฉนวนใยแก้ว 50 มม.+ ยิปซั่ม	**47.80**	15.11 %	487,395.62	75,141.59	6.49
W9	ฉนวนใยแก้ว 65 มม.+ ยิปซั่ม	**47.10**	15.61 %	431,869.54	77,645.67	5.56

หมายเหตุ: [1] คิดเฉพาะปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ จากเดิมที่ 95,901.40 kWh/year

[2] การปรับปรุงผนังทึบโดยการทาสี คิดพื้นที่ผนังเท่ากับ 888 ตร.ม. ซึ่งเป็นพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมดของอาคาร

จากตารางที่ 43 การทาสีขาว ร่วมกับการเสริมแผ่นยิปซั่มชนิดบุฟอยล์และเว้นช่องอากาศ (W5) มีค่าใช้จ่ายประมาณ 451,609.47 บาท คืนทุน 6.58 ปี

การเสริมแผ่นยิปซั่มบุฉนวน EPS และเว้นช่องอากาศ (W6-W7) มีค่าใช้จ่าย 403,142.50 - 457,897.39บาท คืนทุน 5.43 – 5.84 ปี

การติดตั้งฉนวนใยแก้ว (W8-W9) มีค่าใช้จ่าย 487,395.62 - 431,869.54 บาท คืนทุน 5.56 - 6.49 ปี

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยแบ่งออกเป็น 3 แนวทางที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีปรับปรุงที่คืนทุนเร็วที่สุด วิธีปรับปรุงที่ลงทุนต่ำที่สุด และวิธีปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้มากที่สุด สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 44 สรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมด้านการลงทุน

แนวทางที่เหมาะสม	วิธี	ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง[1]	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
คืนทุนเร็วที่สุด	W6	14.93 %	403,142.50	74,254.00	5.43
ลงทุนต่ำที่สุด					
ลดการใช้พลังงานสูงสุด	W7	15.76 %	457,897.39	78,386.64	5.84

หมายเหตุ: [1] คิดเฉพาะปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ จากเดิมที่ 95,901.40 kWh/year

วิธีปรับปรุงที่สามารถลด ค่า OTTV ให้ผ่านเกณฑ์ มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำที่สุดคือ การเสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิดบุฉนวน EPS หนา 35 มม. (R=1.33 m^2C/W) (W6) เงินลงทุน 403,142.50 บาท มีระยะคืนทุน 5.43 ปี สำหรับวิธีที่สามารถลดค่าไฟฟ้าต่อปีได้สูงสุด คือ การเสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิดบุฉนวน EPS หนา 50 มม. (R=1.83 m^2C/W) (W7) สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ 78,386.64 บาทต่อปี มีระยะคืนทุน 5.84 ปี จะเห็นได้ว่าวิธีปรับปรุงทั้งสองมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง และระยะคืนทุนที่ใกล้เคียงกัน

3.2 การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังโปร่งแสง

แบ่งการปรับปรุงออกเป็น 2 แนวทางหลัก ได้แก่ การเปลี่ยนชนิดลูกฟักกระจกหน้าต่าง และ การติดฟิล์มลดความร้อนที่กระจกใสเดิม สามารถกำหนดวิธีการปรับปรุงได้ทั้งหมด 6 วิธี (G1-G3 และ F1-F3) เมื่อจำลองข้อมูลอาคารลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 45 ค่า U ค่า SHGC และราคา ของวิธีการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

วิธี	การปรับปรุง ผนังโปร่งแสง	U-Value ($W/m^2°C$)	SHGC	VT	$R_{VIS-OUT}$	LSG	ราคา/ตร.ฟ (บาท)
กระจกเดิม	กระจกโฟลต ใส	5.83	0.83	0.91	8	1.10	-
G1	กระจกโฟลต สีเขียวอ่อน	6.23	0.58	0.72	7	1.24	46
G2	กระจกโฟลต สีเขียวเข้ม	5.80	0.55	0.70	8	1.27	52
G3	กระจกสะท้อนแสง สีเขียว	4.09	0.41	0.56	7	1.34	132
F1	ติดฟิล์มไร้สี	5.62	0.48	0.61	8	1.11	170
F2	ติดฟิล์มสีฟ้าอ่อน	5.62	0.46	0.47	27	0.89	150
F3	ติดฟิล์มสีเทาอ่อน	5.62	0.50	0.60	7	1.03	100

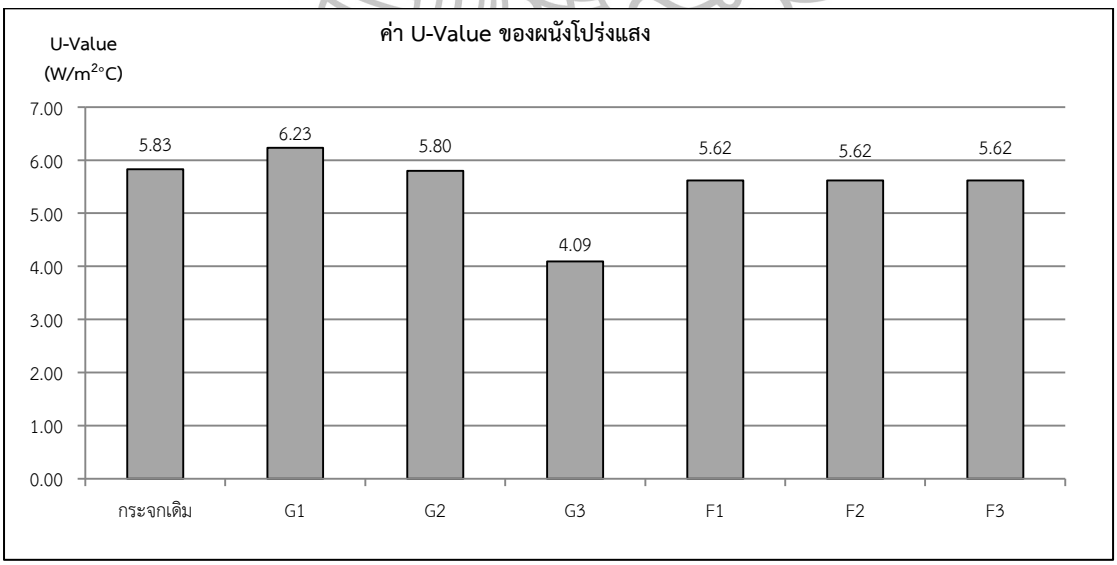
หมายเหตุ: กระจกทั้งหมดหนา 6 มม.

คุณสมบัติของวิธี F01 - F03 เป็นค่าเมื่อติดฟิล์มลงบนกระจกใสเดิม

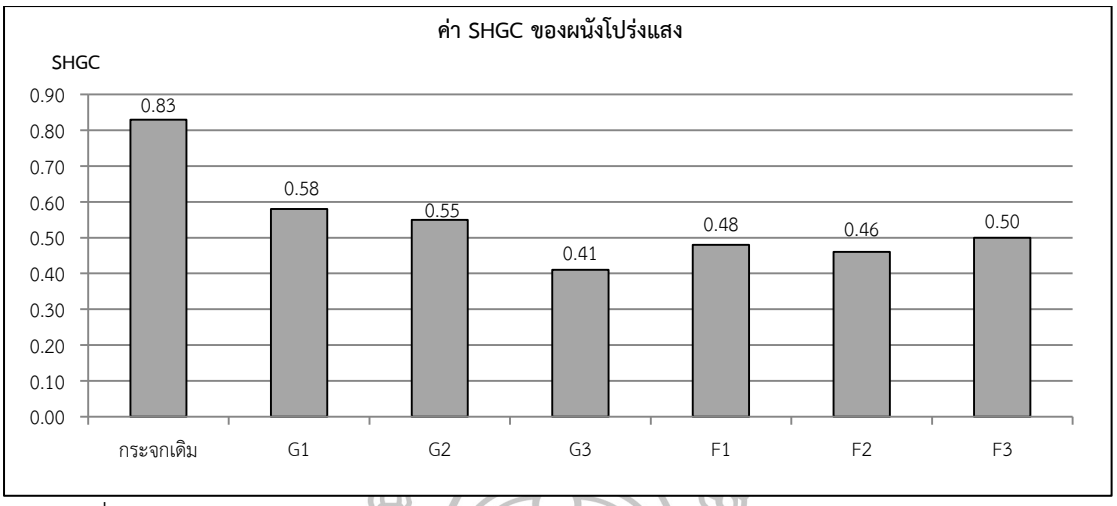
ราคา/ตร.ฟ. หมายถึง ราคาค่าวัสดุรวมกับราคาค่าแรง ต่อ ตร.ฟ.

ราคาวัสดุ คือ ราคาแผ่นกระจก หรือ ราคาฟิล์มลดความร้อน (รวมราคาค่าแรง)

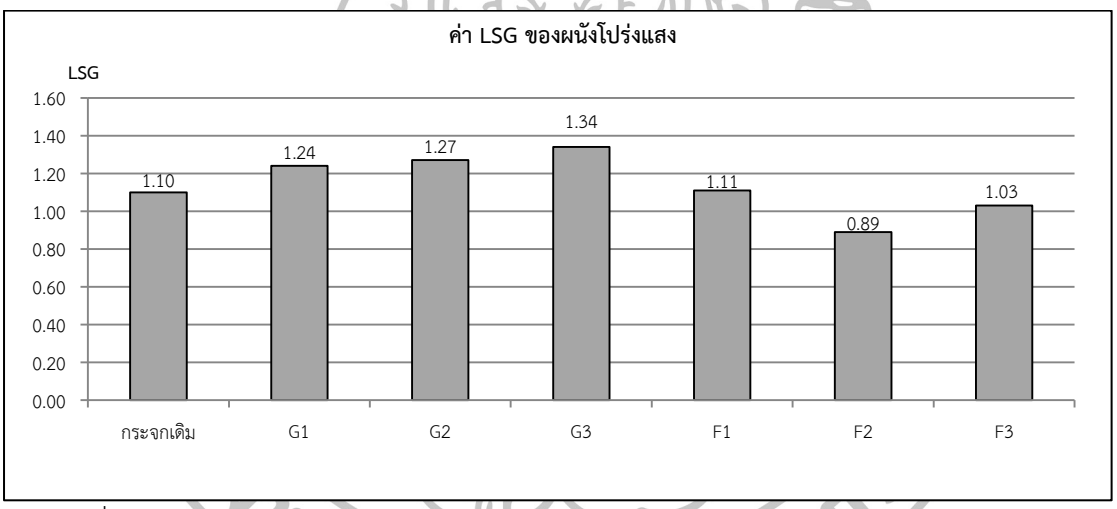
ราคาค่าแรง คือ ค่าตัดกระจก ติดตั้งกระจกแผ่นใหม่ และค่ารื้อถอนกระจกเดิม



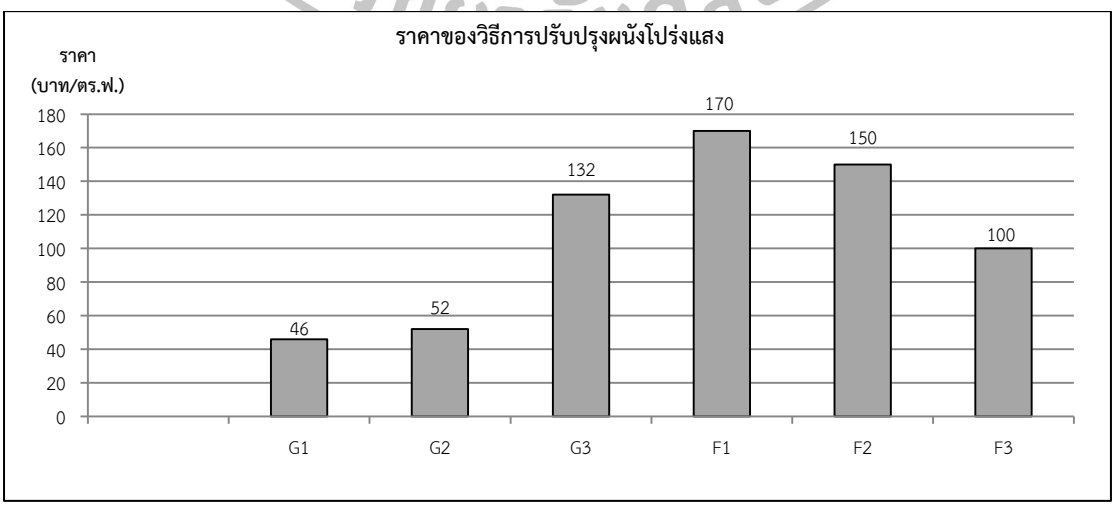
แผนภูมิที่ 4 ค่า U-Value ของการปรับปรุงผนังโปร่งแสง



แผนภูมิที่ 5 ค่า SHGC ของการปรับปรุงผนังโปร่งแสง



แผนภูมิที่ 6 ค่า LSG ของการปรับปรุงผนังโปร่งแสง



แผนภูมิที่ 7 ราคาของวิธีการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

จากแผนภูมิที่ 4 พบว่า กระจกสะท้อนแสงสีเขียว (G3) มีค่า U ต่ำที่สุดในบรรดากระจกที่เลือกศึกษา โดยกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม (G2) มีค่า U ใกล้เคียงกับการติดฟิล์มที่กระจกเดิม (F1-F3) แต่มีราคาต่ำกว่ามาก จากแผนภูมิที่ 5 พบว่า กระจกสะท้อนแสงสีเขียว มีค่า SHGC ต่ำกว่าการปรับปรุงโดยติดฟิล์มลดความร้อนทั้ง 3 สี และมีราคาต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาที่ค่า LSG ดังแผนภูมิที่ 6 พบว่า กระจกสะท้อนแสงสีเขียว มีค่า LSG สูงที่สุดในบรรดาวิธีการปรับปรุง สำหรับวิธีการติดฟิล์มลดความร้อน แม้จะมีค่า SHGC ต่ำกว่าการเปลี่ยนเป็นกระจกโฟลตสีเขียวอ่อน และกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม แต่ก็มีราคาสูงกว่ามาก

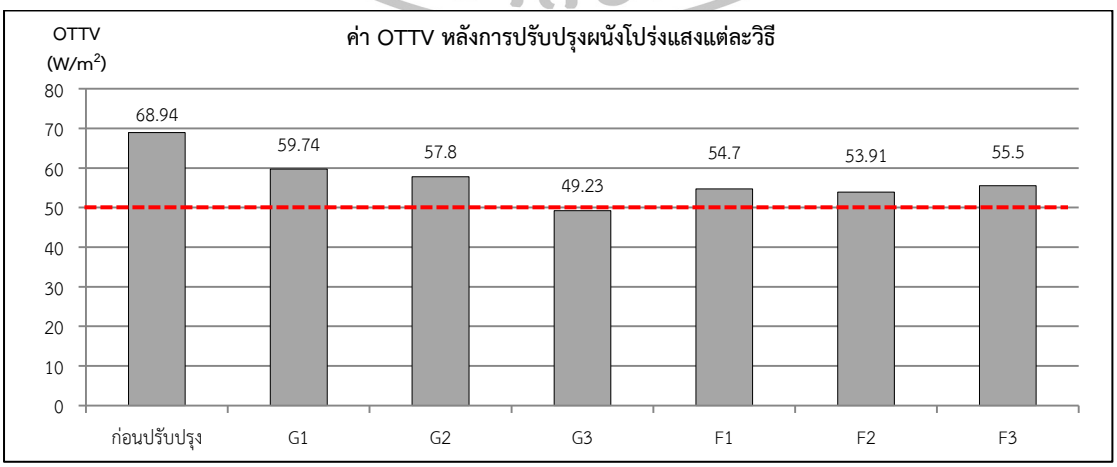
เมื่อคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) หลังปรับปรุงผนังโปร่งแสง ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 46 ค่า OTTV หลังการปรับปรุงผนังโปร่งแสงแต่ละวิธี

วิธี	**การปรับปรุงผนังโปร่งแสง**	**OTTV หลังปรับปรุง** (W/m^2)	**OTTV ที่ลดลง** (W/m^2)
ก่อนปรับปรุง	กระจกโฟลตใส หนา 6 มม.	68.94	-
G1	เปลี่ยนกระจกเดิมเป็น กระจกโฟลตสีเขียวอ่อน	59.74	9.20
G2	เปลี่ยนกระจกเดิมเป็น กระจกโฟลตสีเขียวเข้ม	57.80	11.15
G3	เปลี่ยนกระจกเดิมเป็น กระจกสะท้อนแสง สีเขียว	**49.23**	19.71
F1	ติดฟิล์มลดความร้อนไร้สี ที่กระจกเดิม	54.70	14.24
F2	ติดฟิล์มลดความร้อนสีฟ้าใส ที่กระจกเดิม	53.91	15.03
F3	ติดฟิล์มลดความร้อนสีเทาอ่อน ที่กระจกเดิม	55.50	13.45

หมายเหตุ: ค่า OTTV หลังปรับปรุง มาจากการปรับปรุงผนังโปร่งแสงอย่างเดียว โดยไม่เปลี่ยนแปลงส่วนผนังทึบ

จากตารางที่ 46 พบว่าวิธีที่สามารถลดค่า OTTV จากเดิมที่ 68.94 วัตต์/ตร.ม. ให้ผ่านเกณฑ์ที่ไม่เกิน 50 วัตต์/ตร.ม. ได้ ในการศึกษาครั้งนี้มีเพียง 1 วิธี คือการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสงสีเขียว (G3) สามารถลดค่า OTTV ให้เป็น 49.23 วัตต์/ตร.ม. ลดลง 19.71 วัตต์/ตร.ม.



แผนภูมิที่ 8 ค่า OTTV หลังปรับปรุงผนังโปร่งแสง

พิจารณาความคุ้มค่าทางการลงทุน โดยใช้วิธีคำนวณแบบระยะคืนทุนของแต่ละแนวทาง ดังนี้

$$\text{ระยะคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าปรับปรุง (บาท)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี)}}$$

คำนวณค่าปรับปรุง โดยคิดค่าต้นทุนวัสดุและค่าแรง รวมกับค่า Factor F ทุนไม่เกิน 1 ล้านบาท มีค่า Factor F ที่ 1.2726

คำนวณค่าไฟฟ้าที่ลดได้ จากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยคิดตามอัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ตามช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 47 ค่าปรับปรุงและระยะคืนทุนของวิธีปรับปรุงผนังโปร่งแสง

วิธี	กระจก	SHGC	OTTV (W/m^2)	ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง[1]	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
G1	กระจกโฟลต สีเขียวอ่อน	0.58	59.74	6.57%	211,152.34	32,692.46	6.46
G2	กระจกโฟลต สีเขียวเข้ม	0.55	57.80	7.97%	238,693.95	39,612.20	6.03
G3	**กระจกสะท้อนแสง สีเขียว**	**0.41**	**49.23**	**14.09%**	**605,915.40**	**70,047.52**	**8.65**
F1	กระจกใส ติดฟิล์มไร้สี	0.48	54.70	10.17%	780,345.59	50,597.83	15.42
F2	กระจกใส ติดฟิล์มสีฟ้าใส	0.46	53.91	10.74%	688,540.23	53,413.73	12.89
F3	กระจกใส ติดฟิล์มสีเทาอ่อน	0.50	55.50	9.61%	459,026.82	47,781.06	9.61

หมายเหตุ: [1] คิดเฉพาะปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ จากเดิมที่ 95,901.40 kWh/year

จากตารางที่ 47 พื้นที่กระจกหน้าต่าง มีประมาณ 335 ตร.ม. หรือ 3,607 ตร.ฟ. การเปลี่ยนชนิดกระจกจะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 211,152.34 - 605,915.40 บาท ระยะคืนทุน 6.03 – 8.65 ปี

การติดฟิล์มลดความร้อนที่กระจกใสเดิม มีค่าใช้จ่ายประมาณ 459,026.82 - 780,345.59 บาท ระยะคืนทุน 9.61 – 15.42 ปี การปรับปรุงวิธีนี้ แม้จะสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศได้สูงกว่าการเปลี่ยนชนิดกระจก เป็นกระจกโฟลตสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวเข้ม แต่ก็มีระยะคืนทุนที่นาน เมื่อพิจารณาที่อายุการใช้งานของฟิล์มที่เลือกใช้ คือ ฟิล์มเคลือบละอองโลหะ (Metal reflective film) ที่อายุการใช้งานเฉลี่ยไม่เกิน 5 ปี (สุวัฒน์ ผาบจันดา, 2551: บทคัดย่อ) แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา ด้วยการติดตั้งฟิล์มลดความร้อนชนิดนี้อย่างเดียว อาจไม่มีความคุ้มทุนเพียงพอ

สำหรับการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสงสีเขียว (G3) ซึ่งเป็นวิธีเดียวที่ทำให้ OTTV ผ่านเกณฑ์ มีระยะคืนทุน 8.65 ปี สูงกว่าระยะคืนทุนของการเปลี่ยนเป็นกระจกโฟลตสีค่อนข้างมาก โดยกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม (G2) มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด คือ 6.03 ปี แต่การปรับปรุงวิธีดังกล่าว ไม่สามารถทำให้ผนังอาคารมีค่า OTTV ที่ผ่านเกณฑ์ได้ จึงมีการศึกษาวิธีปรับปรุงโดยการเปลี่ยนชนิดกระจก ร่วมกับการปรับปรุงผนังทึบต่อไป

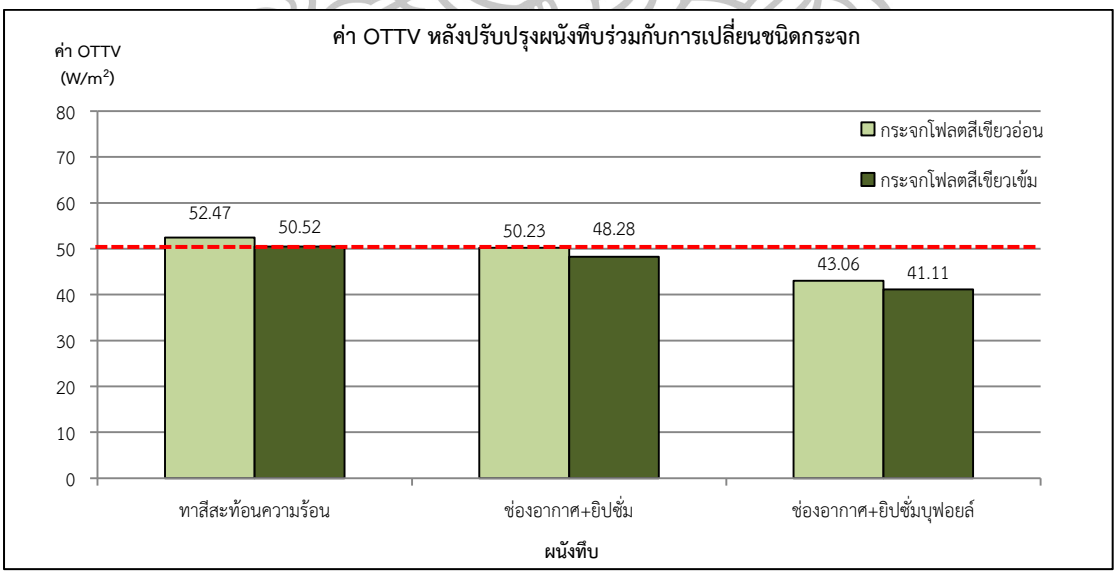
3.3 การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบร่วมกับผนังโปร่งแสง

ในขั้นตอนนี้ได้เลือกวิธีปรับปรุงผนังทึบ 3 วิธี จากทั้งหมด 7 วิธีที่กำหนดในตอนแรก โดยเลือกเฉพาะวิธีการทาสีขาว (W1) และการเสริมแผ่นยิปซั่มกับเว้นช่องอากาศ (W2-W3) เท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่สามารถทำให้ผนังมีค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ได้หากปรับปรุงเพียงอย่างเดียว สำหรับวิธีปรับปรุงผนังโปร่งแสง เลือกเฉพาะวิธีการเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลตสีเขียวอ่อน (G1) และกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม (G2) เท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่สามารถทำให้ผนังมีค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ได้หากปรับปรุงเพียงอย่างเดียวเช่นกัน กำหนดเป็นวิธีปรับปรุงได้ 6 วิธี (3X2 วิธี) ได้ผลดังนี้

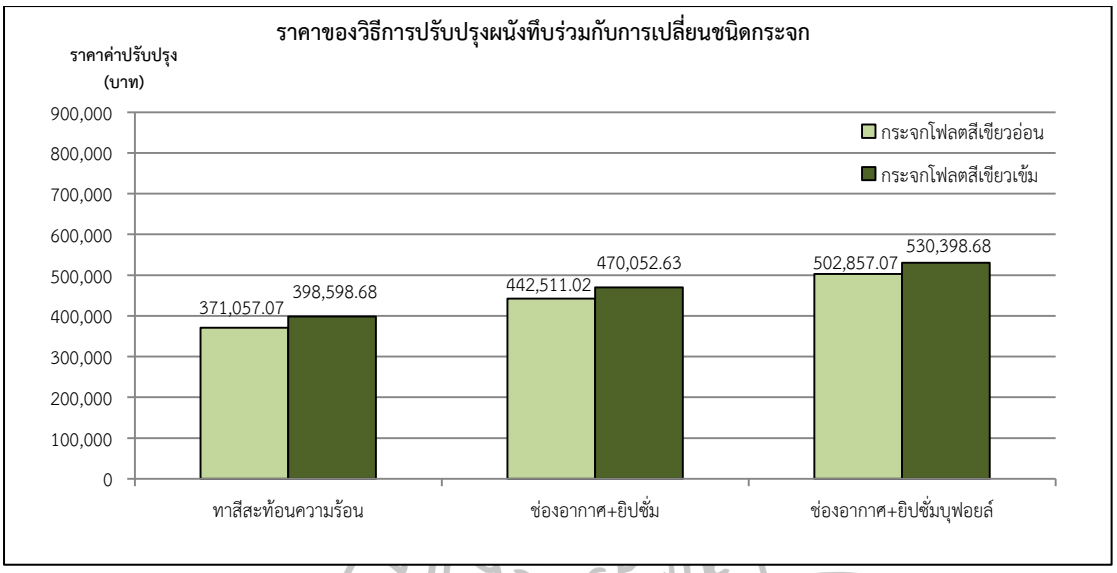
ตารางที่ 48 ค่าปรับปรุงและระยะคืนทุนของวิธีปรับปรุงผนังทึบร่วมกับผนังโปร่งแสง

ที่	ผนังทึบ	กระจก	OTTV (W/m^2)	ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง[1]	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
1	W1	G1	52.47	11.77%	371,057.07	58,540.30	6.34
2	W2	G1	50.23	13.38%	442,511.02	66,516.14	6.65
3	**W3**	**G1**	**43.06**	**18.50%**	**502,857.07**	**92,013.24**	**5.47**
4	W1	G2	50.52	13.16%	398,598.68	65,460.03	6.09
5	**W2**	**G2**	**48.28**	**14.77%**	**470,052.63**	**73,435.87**	**6.40**
6	**W3**	**G2**	**41.11**	**19.89%**	**530,398.68**	**98,932.97**	**5.36**

หมายเหตุ: [1] คิดเฉพาะปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ จากเดิมที่ 95,901.40 kWh/year



แผนภูมิที่ 9 ค่า OTTV หลังปรับปรุงผนังทึบร่วมกับกระจก



แผนภูมิที่ 10 ราคาของวิธีการปรับปรุงผนังทึบร่วมกับการเปลี่ยนชนิดกระจก

จากตารางที่ 48 พบว่าการปรับปรุงโดยเว้นช่องอากาศที่ผนังทึบ แล้วปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์ (W3) ร่วมกับการเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลตสีเขียว และสีเขียวเข้ม ทั้ง 2 วิธี สามารถทำให้ผนังมีค่า OTTV ที่ผ่านเกณฑ์

การเว้นช่องอากาศแล้วปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มชนิดธรรมดา (W2) สามารถทำให้ค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ได้ หากปรับปรุงร่วมกับการเปลี่ยนเป็นกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม (G2) เท่านั้น ทั้งนี้หากปรับปรุงร่วมกับการเปลี่ยนเป็นกระจกโฟลตสีเขียวอ่อน (G01) พบว่ามีค่า OTTV สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเพียง 0.23 วัตต์/ตร.ม.

สำหรับวิธีการทาสีขาวที่ผนังภายนอก (W1) ร่วมกับการเปลี่ยนชนิดกระจก ทั้ง 2 วิธี ไม่สามารถทำให้ผนังมีค่า OTTV ผ่านเกณฑ์ได้ ทั้งนี้การทาสีร่วมกับการเปลี่ยนเป็นกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม (G2) พบว่ามีค่า OTTV สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเพียง 0.52 วัตต์/ตร.ม.

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยแบ่งออกเป็น 3 แนวทางที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีปรับปรุงที่คืนทุนเร็วที่สุด วิธีปรับปรุงที่ลงทุนต่ำที่สุด และวิธีปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้มากที่สุด สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 49 สรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบร่วมกับผนังโปร่งแสงที่เหมาะสมด้านการลงทุน

แนวทางที่เหมาะสม	วิธี	ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง[1]	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
คืนทุนเร็วที่สุด	W3·G2	19.89%	530,398.68	98,932.97	5.36
ลดการใช้พลังงานสูงสุด					
ลงทุนต่ำที่สุด	W2·G2	14.77%	470,052.63	73,435.87	6.40

หมายเหตุ: [1] คิดเฉพาะปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ จากเดิมที่ 95,901.40 kWh/year

วิธีปรับปรุงที่สามารถลด ค่า OTTV ให้ผ่านเกณฑ์ มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด และสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้สูงสุด คือ การเสริมแผ่นยิปซั่มชนิดบุฟอยล์ และเว้นช่องอากาศ ร่วมกับการเปลี่ยนชนิดกระจกเดิมเป็นกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม (W3·G2) เงินลงทุน 530,398.68 บาท สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ 98,932.97 บาท/ปี ระยะคืนทุน 5.36 ปี สำหรับวิธีที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับปรุงต่ำที่สุดคือ การเสริมแผ่นยิปซั่มชนิดธรรมดา และเว้นช่องอากาศร่วมกับการเปลี่ยนชนิดกระจกเดิมเป็นกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม (W2·G2) ใช้เงินลงทุน 470,052.63 บาท จะเห็นได้ว่า วิธีปรับปรุง W3·G2 ค่าใช้จ่ายสูงกว่าไม่มาก แต่ก็สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานและลดค่าไฟฟ้าได้สูงกว่า รวมทั้งมีระยะคืนทุนที่เร็วกว่าประมาณ 1 ปีด้วย

3.4 การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนหลังคา

แบ่งออกเป็น 3 แนวทางหลัก ได้แก่ การทาสีขาวที่หลังคาคอนกรีต การปูฉนวนเหนือฝ้าเพดาน และการทาสีขาวที่หลังคาคอนกรีตร่วมกับการปูฉนวนเหนือฝ้าเพดาน สามารถกำหนดเป็นวิธีการปรับปรุงได้ทั้งหมด 5 วิธี (R1-R5) โดยจำลองข้อมูลลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6 ได้ผลตามตารางที่ 51

สำหรับวิธีปรับปรุงโดยการทาสีขาวที่หลังคาคอนกรีต การศึกษาครั้งนี้ได้ใส่ข้อมูลในโปรแกรม ให้มี Outer Surface Color ของหลังคา ดังนี้

ตารางที่ 50 ค่า Outer Surface Color

ค่าที่บันทึกในโปรแกรม BEC	**หลังคาคอนกรีตไม่ทาสี**	**หลังคาคอนกรีตทาสีขาว**
Outer Surface Color	Surface of slightly dark color	Reflective and white surface
Solar Absorbtance	0.7	0.3
หมายเหตุ	วัสดุที่มีสีผิวค่อนข้างเข้ม	วัสดุที่มีสีทาภายนอกเป็นสีขาว

ตารางที่ 51 รายละเอียดวิธีการปรับปรุงหลังคา R01-R05

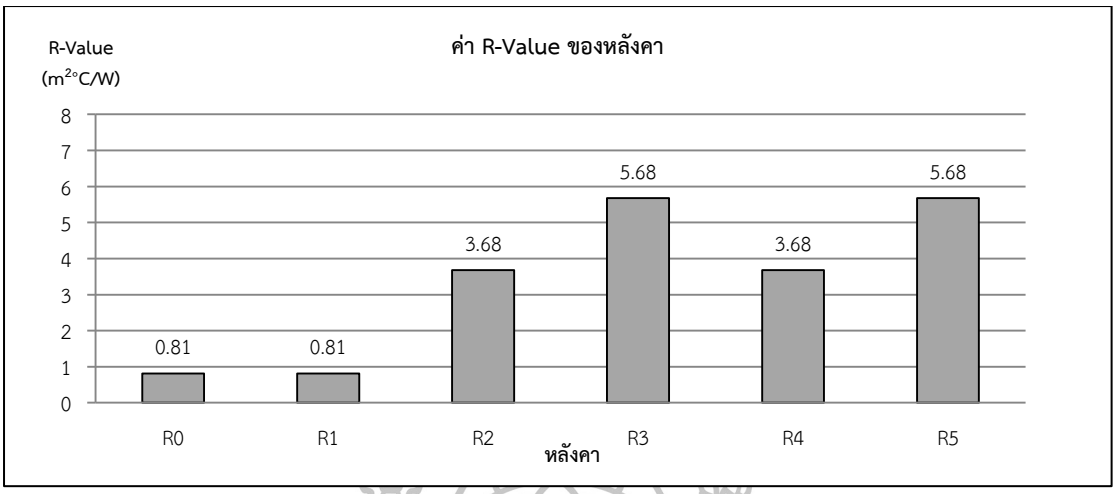
วิธี	**หลังคาคอนกรีต**	**ฉนวนเหนือฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่ม**	**R-Value (m^2°C/W)**	**ราคา/ตร.ม (บาท)**
หลังคาเดิม	ไม่ทาสี	ช่องอากาศ 45 ซม.	0.81	-
R1	ทาสีขาว	ช่องอากาศ 45 ซม.	0.81	141.5
R2	ไม่ทาสี	ช่องอากาศ + ใยแก้ว หนา 75 มม.	3.68	80
R3	ไม่ทาสี	ช่องอากาศ + ใยแก้ว หนา 150 มม.	5.68	113
R4	ทาสีขาว	ช่องอากาศ + ใยแก้ว หนา 75 มม.	3.68	221.5
R5	ทาสีขาว	ช่องอากาศ + ใยแก้ว หนา 150 มม.	5.68	254.5

หมายเหตุ: ค่า R-Value เป็นของหลังคาหลังปรับปรุงแล้ว (หลังคา+ช่องอากาศ+ฉนวน+ฟิล์มอากาศ)

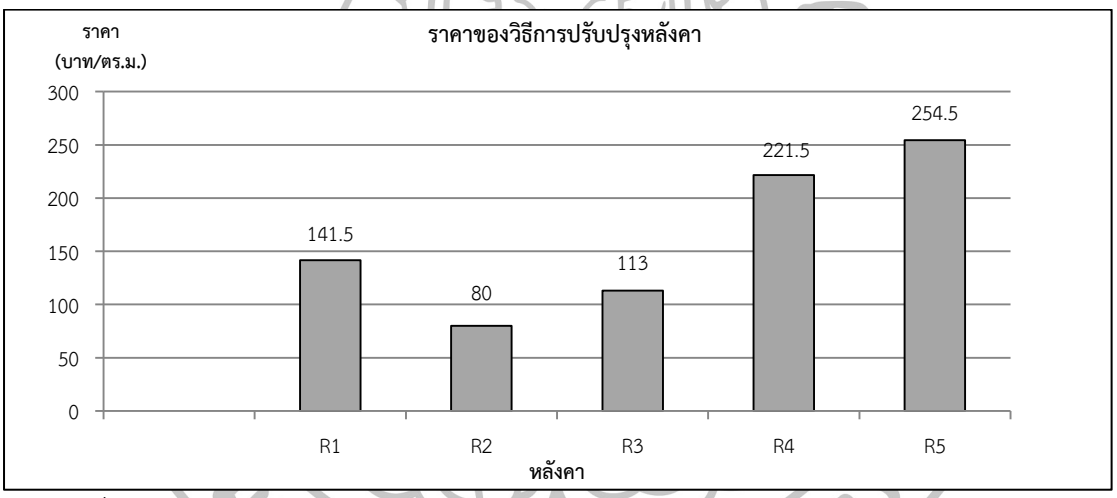
ราคา/ตร.ม. หมายถึง ราคาค่าวัสดุรวมกับราคาค่าแรง

ราคาวัสดุ ได้แก่ ค่าสีสะท้อนความร้อน และ ค่าฉนวน (รวมค่าแรง)

ราคาค่าแรง คือ ค่าแรงทาสี 2 รอบ (พื้นที่น้อยกว่า 5,000 ตร.ม.)



แผนภูมิที่ 11 ค่า R-Value ของหลังคาแต่ละแบบ



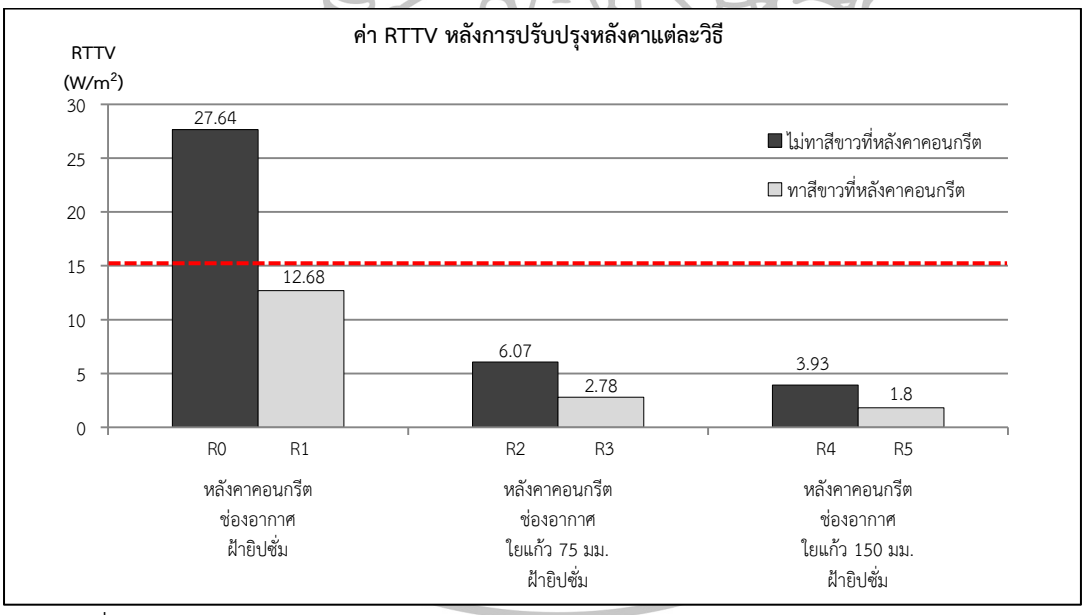
แผนภูมิที่ 12 ราคาของวิธีการปรับปรุงหลังคา

จากตารางที่ 51 เมื่อพิจารณาราคาค่าปรับปรุง และ ค่า R-Value พบว่าการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 150 มม. ชนิดหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ เหนือฝ้าเพดาน (R03) สามารถเพิ่มค่า R ได้มากกว่าฉนวนใยแก้วหนา 75 มม. (R02) โดยมีราคาสูงกว่า ส่วนการทาสีขาวที่พื้นหลังคาคอนกรีต (R1) มีราคาสูงกว่าการปรับปรุงโดยปูฉนวนเหนือฝ้าเพดาน แต่ไม่สามารถเพิ่มค่า R ให้สูงขึ้นจากเดิมได้ สำหรับการทาสีร่วมกับการปูฉนวน (R4-R5) จะมีค่า R เท่ากับเมื่อไม่ทาสี เนื่องจากการทาสีขาวเป็นการลดการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา และลดค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

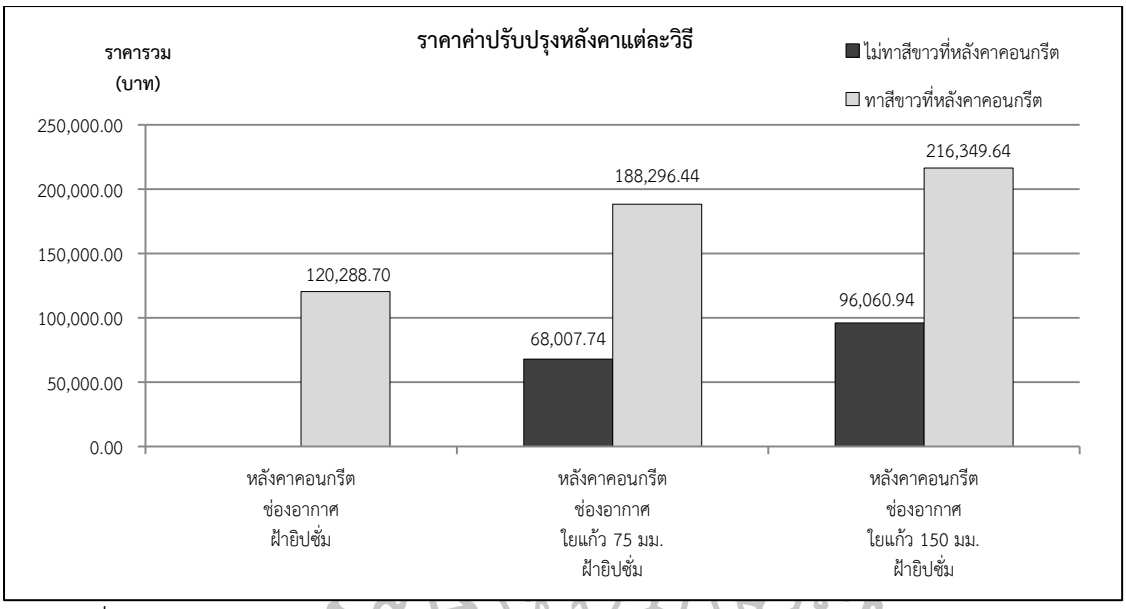
ตารางที่ 52 ค่า RTTV หลังการปรับปรุงหลังคาแต่ละวิธี

วิธี	การปรับปรุงหลังคา	RTTV หลังปรับปรุง (W/m^2)	RTTV ที่ลดลง (W/m^2)
R0	หลังคาคอนกรีตหนา 15 ซม. + ช่องอากาศ 45 ซม. +ฝ้ายิปซั่ม 9 มม.	27.64	-
R1	หลังคาคอนกรีต**ทาสีขาว** + ช่องอากาศ 45 ซม. +ฝ้ายิปซั่ม 9 มม.	**12.68**	14.97
R2	หลังคาคอนกรีต+ช่องอากาศ+**ฉนวนใยแก้ว 75 มม.**+ฝ้าเพดาน	**6.07**	21.57
R3	หลังคาคอนกรีต+ช่องอากาศ+**ฉนวนใยแก้ว 150 มม.**+ฝ้าเพดาน	**3.93**	23.71
R4	หลังคาคอนกรีต**ทาสี**+ช่องอากาศ+**ฉนวนใยแก้ว 75 มม.**+ฝ้าเพดาน	**2.78**	24.86
R5	หลังคาคอนกรีต**ทาสี**+ช่องอากาศ+**ฉนวนใยแก้ว 150 มม.**+ฝ้าเพดาน	**1.80**	25.84

จากตารางที่ 52 พบว่าทุกวิธีสามารถลดค่า RTTV ของอาคารกรณีศึกษาจากเดิมที่ 27.64 วัตต์/ตร.ม. ให้ผ่านเกณฑ์ที่ไม่เกิน 15 วัตต์/ตร.ม. ได้



แผนภูมิที่ 13 ค่า RTTV หลังปรับปรุงหลังคา



แผนภูมิที่ 14 ราคาค่าปรับปรุงหลังคาแต่ละวิธี

พิจารณาความคุ้มค่าทางการลงทุน โดยใช้วิธีคำนวณแบบระยะคืนทุนของแต่ละแนวทาง ดังนี้

$$\text{ระยะคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าปรับปรุง (บาท)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี)}}$$

คำนวณค่าปรับปรุง โดยคิดค่าต้นทุนวัสดุและค่าแรง รวมกับค่า Factor F ทุนไม่เกิน 1 ล้านบาท มีค่า Factor F ที่ 1.2726

คำนวณค่าไฟฟ้าที่ลดได้ จากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยคิดตามอัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ตามช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 53 ค่าปรับปรุงและระยะคืนทุนของวิธีปรับปรุงหลังคา

วิธี	การปรับปรุงหลังคา	RTTV (W/m^2)	ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง[1]	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
R1	ทาสีที่หลังคาคอนกรีต	12.68	7.64 %	120,288.70	37,982.45	3.17
R2	ปูฉนวนใยแก้ว 75 มม.	6.07	11.01 %	68,007.74	54,740.63	1.24
R3	ปูฉนวนใยแก้ว 150 มม.	3.93	12.10 %	96,060.94	60,181.14	1.60
R4	ทาสี + ปูฉนวนใยแก้ว 75 มม.	2.78	12.69 %	188,296.44	63,081.59	2.98
R5	ทาสี + ปูฉนวนใยแก้ว 150 มม.	1.80	13.19 %	216,349.64	65,578.61	3.30

หมายเหตุ: [1] คิดเฉพาะปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ จากเดิมที่ 95,901.40 kWh/year

จากตารางที่ 53 พื้นที่หลังคาบริเวณปรับอากาศ มีประมาณ 668 ตร.ม. การทาสีขาวที่หลังคาคอนกรีต มีค่าใช้จ่ายประมาณ 120,288.70 บาท คืนทุน 3.17 ปี

การปูฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดาน มีค่าใช้จ่าย 68,007.74 - 96,060.94 บาท คืนทุน 1.24 - 1.60 ปี

การทาสีร่วมกับการปูฉนวน มีค่าใช้จ่าย 188,296.44 - 216,349.64 บาท คืนทุน 2.98 – 3.30 ปี

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยแบ่งออกเป็น 3 แนวทางที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีปรับปรุงที่คืนทุนเร็วที่สุด วิธีปรับปรุงที่ลงทุนต่ำที่สุด และวิธีปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้มากที่สุด สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 54 สรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงหลังคาที่เหมาะสมด้านการลงทุน

แนวทางที่เหมาะสม	**วิธี**	**ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง**[1]	**ค่าปรับปรุง (บาท)**	**ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)**	**คืนทุน (ปี)**
คืนทุนเร็วที่สุด	R2	11.01 %	**68,007.74**	54,740.63	**1.24**
ลงทุนต่ำที่สุด					
ลดการใช้พลังงานสูงสุด	R5	13.19 %	216,349.64	**65,578.61**	3.30

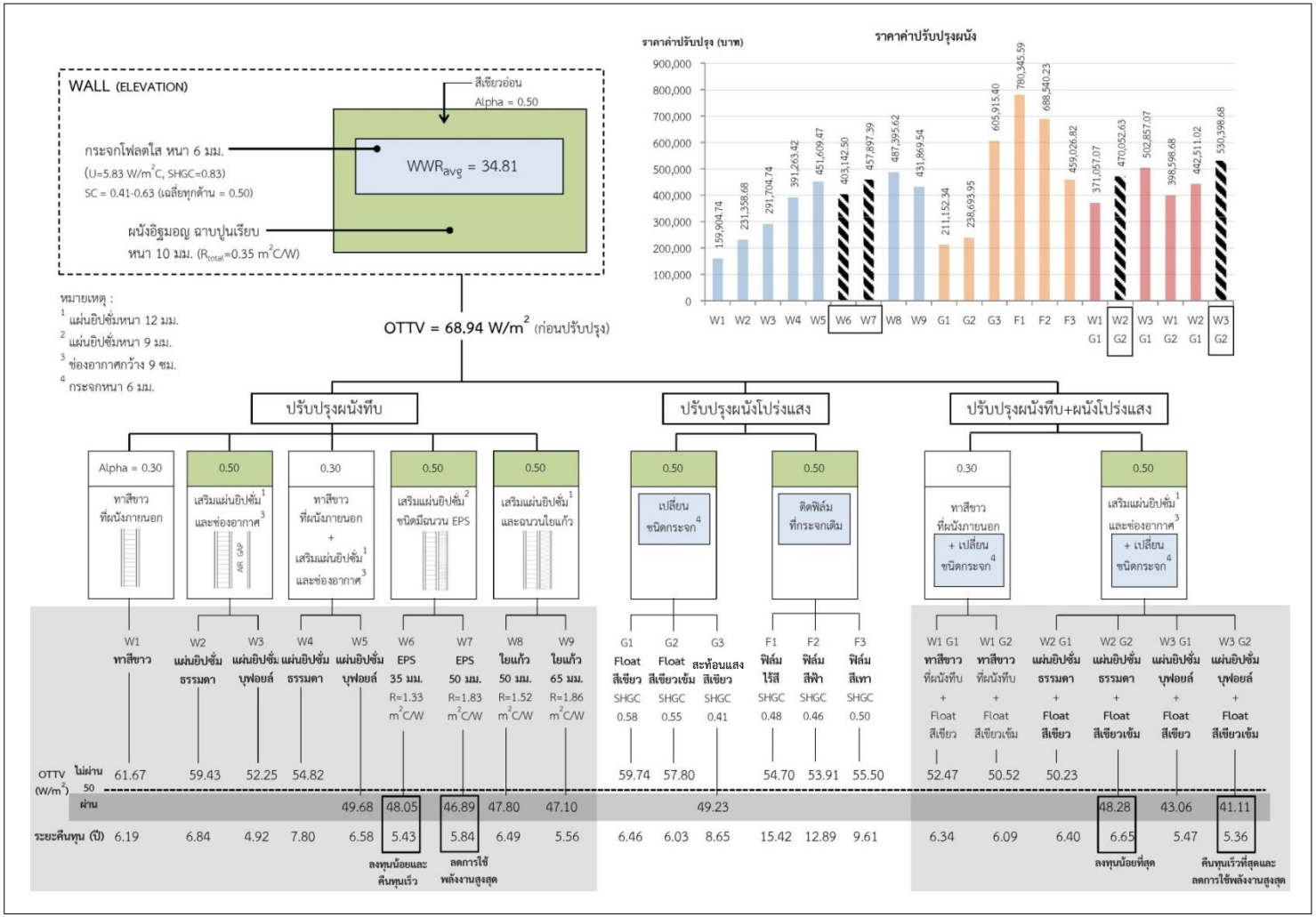
หมายเหตุ: [1] คิดเฉพาะปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ จากเดิมที่ 95,901.40 kWh/year

วิธีปรับปรุงที่สามารถลดค่า RTTV ให้ผ่านเกณฑ์ มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำที่สุดคือ การปูฉนวนใยแก้วหนา 75 มม. ชนิดหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (R=1.98 m^2C/W) เหนือฝ้าเพดาน (R2) เงินลงทุน 68,007.74 บาท มีระยะคืนทุน 1.24 ปี สำหรับวิธีที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้สูงสุด คือ การปูฉนวนใยแก้วหนา 150 มม. ชนิดหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (R=3.97 m^2C/W) เหนือฝ้าเพดาน และทาสีขาวที่พื้นหลังคาคอนกรีต (alpha=0.3) (R5) สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ 65,578.61 บาท/ปี มีระยะคืนทุนที่ 3.30 ปี จะเห็นได้ว่า วิธีปรับปรุงทั้งสองมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแตกต่างกันมาก แต่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกัน โดยวิธี R2 สามารถคืนทุนได้เร็วกว่าถึง 2 ปี

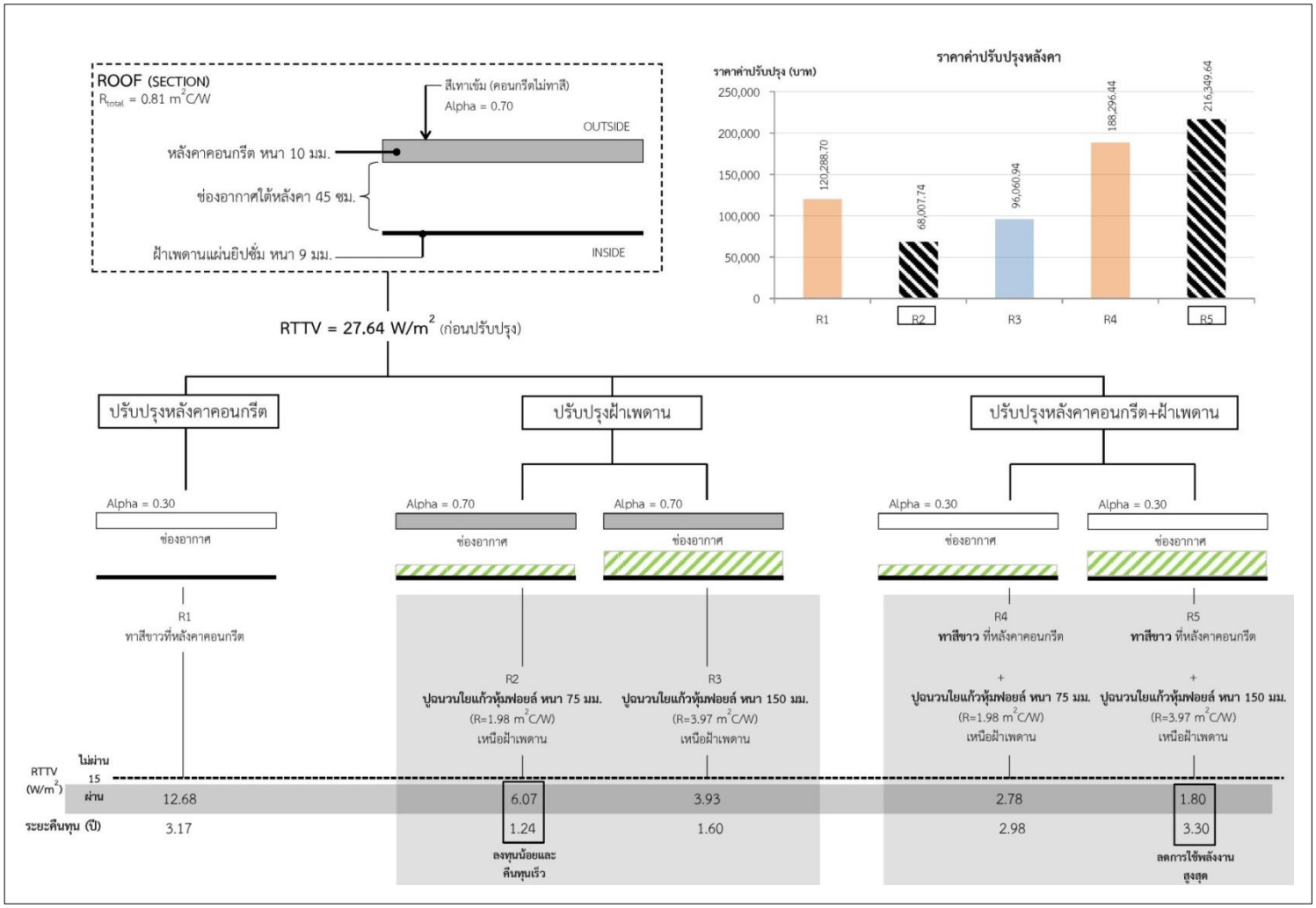
3.5 สรุปแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร ของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดตามแบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ในกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 และมีความเหมาะสมด้านการลงทุน ได้ดังตารางที่ 55 โดยสามารถสรุปผลการปรับปรุงของทุกแนวทางได้ดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12

ตารางที่ 55 สรุปแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ในกฎกระทรวงฯ และมีความเหมาะสมด้านการ

กรอบอาคาร	วิธีการปรับปรุง	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)	ความเหมาะสม ด้านการลงทุน
ผนังทึบ	W6 เสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิดบุฉนวน **EPS หนา 35 มม.** (R = 1.33 m^2C/W) และเว้นช่องว่างอากาศกว้าง 3 ซม.	**403,142.50**	74,254.00	**5.43**	**ลงทุนต่ำ**ที่สุด+**คืนทุนเร็ว**ที่สุด
	W7 เสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิดบุฉนวน **EPS หนา 50 มม.** (R = 1.83 m^2C/W) และเว้นช่องว่างอากาศกว้าง 3 ซม.	457,897.39	**78,386.64**	5.84	**ลดการใช้พลังงาน**ต่อปีสูงสุด
ผนังทึบ+ผนังโปร่งแสง	W**3**·G2 ผนังทึบ : เสริมแผ่นยิปซั่มชนิด**บุฟอยล์** หนา 9 มม. และเว้นช่องอากาศกว้าง 9 ซม. กระจก : เปลี่ยนเป็นกระจก**โฟลตสีเขียวเข้ม** หนา 6 มม. (SHGC=0.55)	530,398.68	**98,932.97**	**5.36**	**คืนทุนเร็ว**ที่สุด+ **ลดการใช้พลังงาน**ต่อปีสูงสุด
	W**2**·G2 ผนังทึบ : เสริมแผ่นยิปซั่มชนิด**ธรรมดา** หนา 9 มม. และเว้นช่องอากาศกว้าง 9 ซม. กระจก : เปลี่ยนเป็นกระจก**โฟลตสีเขียวเข้ม** หนา 6 มม. (SHGC=0.55)	**470,052.63**	73,435.87	6.40	**ลงทุนต่ำ**ที่สุด
หลังคาทึบ	R2 ปูฉนวน**ใยแก้วหนา 75 มม.** ชนิดหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (R=1.98 m^2C/W) เหนือฝ้าเพดานชั้นสาม	**68,007.74**	54,740.63	**1.24**	**ลงทุนต่ำ**ที่สุด+**คืนทุนเร็ว**ที่สุด
	R5 ปูฉนวน**ใยแก้วหนา 150 มม.** ชนิดหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (R=3.97 m^2C/W) เหนือฝ้าเพดานชั้นสาม และ**ทาสีขาว**ที่พื้นหลังคาคอนกรีต (alpha = 0.3)	216,349.64	**65,578.61**	3.30	**ลดการใช้พลังงาน**ต่อปีสูงสุด



รูปที่ 11 แสดงรายละเอียดของแนวทางและผลการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนัง ของอาคารกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6



รูปที่ 12 แสดงรายละเอียดของแนวทางและผลการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนหลังคา ของอาคารกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6

4. การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเริ่มต้น (ค่า Default) ในโปรแกรม BEC v.1.0.6 กับค่าจริงที่ได้จากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจข้อมูลของอาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง เปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น (ค่า Default) ในโปรแกรม BEC v.1.0.6 พบว่ามีความแตกต่างกันหลายประการ โดยโปรแกรมมีข้อจำกัดคือไม่สามารถแก้ไขข้อมูลดังกล่าวได้ เมื่อจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมดังกล่าว จึงอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลทำนายกับค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจริง โดยความแตกต่างของข้อมูลสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 56 การเปรียบเทียบค่า Default ในโปรแกรม BEC และค่าจริงที่ได้จากการสำรวจอาคาร

รายการ	ค่า Default ในโปรแกรม BEC (Office & School)	ค่าจริงที่ได้จากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา
จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อวัน	ใช้งานเวลากลางวัน = 9 ชม.	ใช้งานเวลา 8.00 - 17.00 น. แบ่งเป็น ระบบปรับอากาศ 8.00-12.00 น. , 13.00-17.00 น. = 8 ชม. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 8.00-12.30 น. , 13.00-17.00 น. = 8.5[1] ชม. ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า 8.00-12.30 น. , 13.00-17.00 น. = 8.5[1] ชม.
จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี	ใช้งาน 260 วัน/ปี = 2,340 ชม./ปี (วันหยุดเสาร์-อาทิตย์ 105 วัน/ปี)	ใช้งาน 247 วัน/ปี = 2,099.50 ชม./ปี (วันหยุดเสาร์-อาทิตย์ 105 วัน/ปี และวันหยุดนักขัตฤกษ์ 13 วัน [2])
จำนวนผู้ใช้งาน	0.10 คน/ตร.ม.	0.17 คน/ตร.ม.[3] (0.03 – 0.89 คน/ตร.ม.)
อัตราระบายอากาศ	0.25 ลิตร/วินาที/ตร.ม.	ไม่สามารถวัดค่าที่แน่นอนได้

หมายเหตุ: [1] ช่วงพักกลางวันเวลา 12.00 - 13.00 น. ภายในอาคารจะปิดการใช้งานเครื่องปรับอากาศ แต่จะยังมีการเปิดหลอดไฟ รวมทั้งเครื่องคอมพิวเตอร์บางส่วน จากการสำรวจพบว่ามีประมาณ ร้อยละ 50 ที่ยังเปิดใช้งานอยู่ จึงประมาณการจำนวนชั่วโมงใช้งานช่วงพักกลางวันเป็น 0.5 ชม.

[2] เมื่อกำหนดให้วันที่ 1 มกราคม เป็นวันอาทิตย์ จะมีวันหยุดนักขัตฤกษ์ ที่ไม่ตรงกับวันเสาร์และวันอาทิตย์ทั้งหมด 13 วัน

[3] อาคารมีผู้ใช้ทั้งหมด 395 คน (เจ้าหน้าที่ประจำ 145 คน + ผู้เข้าประชุม 250 คน) ในพื้นที่อาคารทั้งหมด 2,293.51 ตร.ม.

ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้นำค่าจริงจากการสำรวจอาคารข้างต้น มาเป็นข้อมูลนำเข้าในโปรแกรมที่สามารถกำหนดค่าเหล่านี้ได้ คือโปรแกรม EnergyPlus 8.1 เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของค่าพลังงานที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม กับค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจริง โดยจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุงจากโปรแกรมทั้งสอง (ดูรายละเอียดที่ ภาคผนวก ก) เปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่อาคารใช้จริง ที่ได้จากใบเสร็จค่าไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2557

5. เปรียบเทียบผลการจำลองด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคาร (ก่อนปรับปรุง) ระหว่างโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่อาคารใช้จริง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม EnergyPlus 8.1 และ BEC v.1.0.6 เทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากใบเสร็จค่าไฟฟ้าปี 2557 พบว่าปริมาณที่จำลองได้จากโปรแกรม BEC มีค่าสูงกว่าการใช้งานจริง คิดเป็นร้อยละ 21.12 และค่าที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus มีค่าสูงกว่าการใช้งานจริง คิดเป็นร้อยละ 1.08 ดังตารางที่ 57 โดยมีสัดส่วนการใช้ในระบบปรับอากาศมากที่สุด รองลงมาเป็นระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า เหมือนกันทั้งสองโปรแกรม

ตารางที่ 57 พลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคารกรณีศึกษาที่ได้จากโปรแกรมจำลองและการใช้งานจริง

รายการ	**BEC v.1.0.6**		**EnergyPlus 8.1**		**ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง[1] (kWh/year)**
	ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)	**คิดเป็น (%)**	**ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)**	**คิดเป็น (%)**	
ระบบปรับอากาศ	95,901.40	50.45%	74,465.88	46.94%	
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	53,246.28	28.01%	47,580.71	29.99%	
ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า	40,949.98	21.54%	36,592.50	23.07%	
รวม	**190,097.66**		**158,639.09**		**156,944**
ความคลาดเคลื่อนกับค่าการใช้งานจริง	สูงกว่า 33,153.66 kWh คิดเป็น 21.12%		สูงกว่า 1,695.09 kWh คิดเป็น 1.08%		

หมายเหตุ: [1] ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง ได้จากใบเสร็จค่าไฟฟ้าปี 2557 ซึ่งไม่สามารถแยกการใช้งานในแต่ละระบบได้ เนื่องจากอาคารไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าแยกแต่ละระบบ โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารประกอบด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในสำนักงาน และปั๊มน้ำ

จะเห็นได้ว่าผลการทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนปรับปรุง ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus 8.1 มีความใกล้เคียงกับค่าการใช้งานจริงมากกว่าผลที่ได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่กระทรวงพลังงานแนะนำให้ใช้เพื่อประเมินอาคารเทียบกับเกณฑ์ตามกฎหมายและใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นหลัก จึงได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลประหยัด และระยะคืนทุน ของแนวทางปรับปรุง ที่ได้จากการจำลองการใช้พลังงานจากโปรแกรม EnergyPlus 8.1 กับผลที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม BEC v.1.0.6 ที่ศึกษาในขั้นก่อนหน้านี้ เพื่อดูความแตกต่างต่อไป

6. เปรียบเทียบผลการจำลองด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคาร (หลังปรับปรุง) ระหว่างโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1

ในขั้นตอนนี้ ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลการจำลองด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคารหลังปรับปรุง ที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม EnergyPlus 8.1 กับโปรแกรม BEC v.1.0.6 ที่ได้จำลองในขั้นตอนก่อนหน้านี้ โดยเลือกแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารทั้งส่วนของผนัง และหลังคาที่ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ และเป็นแนวทางที่คืนทุนเร็วที่สุดมาพิจารณา โดยไม่เปลี่ยนแปลงการใช้งานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์อาคาร ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 58 ผลจำลองการใช้พลังงานของอาคารหลังปรับปรุงจากโปรแกรม BEC และ EnergyPlus

แนวทาง	**ผลการจำลองจากโปรแกรม**	**BEC**	**EnergyPlus**
W6·R2	พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (kWh/year)	95,901.40	74,465.88
	พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง (kWh/year)	68,954.08	68,697.83
	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (%)	**25.94 %**	**7.75 %**
	งบลงทุน (บาท)	471,150.24	471,150.24
	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท/ปี)	128,994.63	31,345.41
	ระยะคืนทุน (ปี)	**3.65**	**15.03**
แนวทาง	**ผลการจำลองจากโปรแกรม**	**BEC**	**EnergyPlus**
W3·G2·R2	พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (kWh/year)	95,901.40	74,465.88
	พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง (kWh/year)	63,798.58	65,296.52
	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (%)	**30.90%**	**12.31 %**
	งบลงทุน (บาท)	598,406.43	598,406.43
	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท/ปี)	153,673.60	49,829.20
	ระยะคืนทุน (ปี)	**3.89**	**12.01**

หมายเหตุ: ปริมาณพลังงานไฟฟ้าคิดเฉพาะในระบบปรับอากาศ

จากตารางที่ 58 เมื่อเปรียบเทียบผลหลังปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา โดยพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง จะเห็นว่า โปรแกรมทั้งสองให้ผลการทำนายค่าพลังงานที่แตกต่างกันมาก โดยในโปรแกรม BEC เมื่อปรับปรุงเฉพาะส่วนกรอบอาคาร จะสามารถลดปริมาณพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้สูงถึงประมาณร้อยละ 25-30 ขณะที่โปรแกรม EnergyPlus เมื่อปรับปรุงกรอบอาคารส่วนเดียวกัน จะสามารถลดได้ประมาณร้อยละ 7-12 ส่งผลให้มีระยะคืนทุนที่ยาวนานกว่ามาก อาจเนื่องมาจากวิธีการจำลองการใช้พลังงานที่แตกต่างกันของทั้งสองโปรแกรม โดยโปรแกรม BEC จะเน้นการจำลองภาระของระบบปรับอากาศจากความร้อนที่ผ่านทางกรอบอาคาร เมื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงค่าของวัสดุกรอบอาคาร จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานจากเดิมในปริมาณมาก ในขณะที่โปรแกรม EnergyPlus อาจมีการจำลองที่ซับซ้อนมากกว่า รวมถึงปัจจัยด้านข้อมูลสภาพอากาศจาก Weather data ทำให้เมื่อเปลี่ยนแปลงข้อมูลวัสดุกรอบอาคาร จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานที่น้อยกว่า จากผลที่เกิดขึ้น จึงได้ศึกษาความแตกต่างของการนำเข้าข้อมูล (Input) ระหว่างโปรแกรมทั้งสองต่อไป

7. การเปรียบเทียบความแตกต่างของการระบุค่านำเข้า (Input) ในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1

ในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาความแตกต่างของการระบุค่านำเข้า (Input) ระหว่างโปรแกรมทั้งสอง ที่คาดว่าจะส่งผลให้ได้ค่าการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยเป็นข้อมูลของอาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง สำหรับในโปรแกรม EnergyPlus จะนำเข้าข้อมูลที่เป็นค่าจริง ซึ่งบางข้อมูลไม่สามารถระบุในโปรแกรม BEC ได้ (เนื่องจากในโปรแกรมกำหนดให้เป็นค่า Default ที่ไม่สามารถแก้ไขให้ตรงกับค่าจริงได้) มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 59 เปรียบเทียบข้อมูลที่นำเข้าในโปรแกรม BEC และโปรแกรม EnergyPlus

ข้อมูลที่ระบุในโปรแกรมจำลองของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย		
รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1.0.009**
ที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ		
ที่ตั้งอาคาร	**เลือกจังหวัดในประเทศไทย** Location : Chiang Rai Latitude : 19.9 Longitude : 99.81	**ระบุพิกัดที่ตั้ง** Latitude : 19.92N Longitude : 99.83E Time zone : +7 Elevation : 394 m.
สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร	ไม่สามารถกำหนดได้	**เลือก Terrain** Country
สภาพภูมิอากาศ	ไม่สามารถกำหนดได้	**Weather File** Weather Data : CHIANG RAI Station name : WMO#483030
การใช้งานอาคาร		
ประเภทการใช้งาน	**เลือกประเภทอาคาร** Type : Office & School	ไม่จำเป็นต้องระบุ
จำนวนชั่วโมงใช้งาน/วัน	**ค่า Default** เวลากลางวัน 9 ชม./วัน	**กำหนดเอง** Schedule:Day:Hourly ระบบปรับอากาศ เวลา 8.00-12.00, 13.00-17.00 น. = 8.00 ชั่วโมง/วัน ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง,อุปกรณ์ไฟฟ้า เวลา 8.00-12.30, 13.00-17.00 น. = 8.50 ชั่วโมง/วัน

ตารางที่ 59 เปรียบเทียบข้อมูลที่นำเข้าในโปรแกรม BEC และโปรแกรม EnergyPlus (ต่อ)

ข้อมูลที่ระบุในโปรแกรมจำลองของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย		
รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1.0.009**
การใช้งานอาคาร (ต่อ)		
จำนวนชั่วโมงใช้งาน/ปี	**ค่า Default** 260 วัน/ปี วันทำงาน : จันทร์ – ศุกร์ [260 วัน] วันหยุด : เสาร์ – อาทิตย์ [105 วัน] จะได้ 9 (ชม./วัน) x 260 (วัน/ปี) = 2,340 ชม./ปี	**กำหนดเอง** Schedule:Week:Daily 247 วัน/ปี วันทำงาน : จันทร์ – ศุกร์ [247 วัน] วันหยุด : เสาร์ – อาทิตย์ [105 วัน] วันหยุดนักขัตฤกษ์ [13 วัน] [1] และ 8 (ชม./วัน) x 247 (วัน/ปี) = 1,976 ชม./ปี จะได้ 8.5 (ชม./วัน) x 247 (วัน/ปี) = 2,099.50 ชม./ปี
จำนวนผู้ใช้งาน	**ค่า Default** 0.10 คน/ตร.ม.	**กำหนดเอง** People > Number of people ผู้ใช้อาคาร 395 คน [2] คิดเป็น 0.03 - 0.27 คน/ตร.ม. เฉลี่ย 0.17 คน/ตร.ม.
คุณสมบัติของวัสดุ		
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผนังด้านนอก	**ค่า Default** [3] 0.044 m^2C/W	**เลือก Roughness** MediumRough
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผนังด้านใน	**เลือก Inner surface type** แผ่รังสีสูง 0.120 m^2C/W	**เลือก Roughness** MediumRough
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่หลังคาด้านนอก	**ค่า Default** [3] 0.055 m^2C/W	**เลือก Roughness** MediumRough
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่หลังคาด้านใน	**เลือก Inner surface type** แผ่รังสีสูง 0.162 m^2C/W	**เลือก Roughness** MediumRough

หมายเหตุ: [1] เมื่อกำหนดให้วันที่ 1 มกราคม เป็นวันอาทิตย์ จะมีวันหยุดนักขัตฤกษ์ ที่ไม่ตรงกับวันเสาร์และวันอาทิตย์ทั้งหมด 13 วัน (ดูภาคผนวก ก ตารางที่ 90)

[2] จำนวนผู้ใช้งานต่อวันของอาคารกรณีศึกษา คือ บุคลากร 145 คน ผู้ใช้บริการห้องประชุม 250 คน

[3] ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร พ.ศ. 2552

ตารางที่ 59 เปรียบเทียบข้อมูลที่นำเข้าในโปรแกรม BEC และโปรแกรม EnergyPlus (ต่อ)

ข้อมูลที่ระบุในโปรแกรมจำลองของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย		
รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1.0.009**
คุณสมบัติของวัสดุอาคาร (ต่อ)		
ค่าความต้านทานความร้อนช่องอากาศใต้หลังคา สูง 45 ซม.	**กำหนดลักษณะของช่องอากาศ** Material > Air Gap > Roof แผ่นรังสีสูง 0.458 m^2C/W	**กำหนดเอง** Surface construction elements > Material:AirGap 0.458 m^2K/W
สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	**เลือก Outer Surface Color** หลังคาคอนกรีตไม่ทาสี = 0.7 (Surface of slightly dark color) ผนังทึบสีเขียวอ่อน = 0.5 (Surface of pale color)	**กำหนดเอง** Solar Absorptance หลังคาคอนกรีตไม่ทาสี = 0.7 ผนังทึบสีเขียวอ่อน = 0.5
ผนังทึบ ประกอบด้วย ปูนฉาบ[4] หนา 15 มม. K = 0.72 W/m-K, Density = 1860 kg/m^3, Specific heat = 840 J/kg-K อิฐมอญ[4] หนา 70 มม. K = 0.498 W/m-K, Density = 1615 kg/m^3, Specific heat = 790 J/kg-K ปูนฉาบ[4] หนา 15 มม.	**กำหนดคุณสมบัติของวัสดุและคำนวณค่าโดยโปรแกรม** U-Factor = 2.882 $W/m^2°C$	**กำหนดคุณสมบัติของวัสดุและคำนวณค่าโดยโปรแกรม** U-Factor = 3.013 $W/m^2°K$[5]
หลังคา ประกอบด้วย คอนกรีต[4] หนา 15 ซม. K = 1.442 W/m-K, Density = 2400 kg/m^3, Specific heat = 920 J/kg-K ช่องอากาศใต้หลังคา 45 ซม. R = 0.458 m^2-K/W แผ่นยิปซั่ม[4] หนา 9 มม. K = 0.306 W/m-K, Density = 725 kg/m^3, Specific heat = 1090 J/kg-K	**กำหนดคุณสมบัติของวัสดุและคำนวณค่าโดยโปรแกรม** U-Factor = 1.238 $W/m^2°C$	**กำหนดคุณสมบัติของวัสดุและคำนวณค่าโดยโปรแกรม** U-Factor = 1.372 $W/m^2°K$

หมายเหตุ: [4] คุณสมบัติของวัสดุ ใช้ค่าจากรายการวัสดุที่มีในโปรแกรม BEC v.1.0.6

[5] ค่า U-Value ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม EnergyPlus 8.1

ตารางที่ 59 เปรียบเทียบข้อมูลที่นำเข้าในโปรแกรม BEC และโปรแกรม EnergyPlus (ต่อ)

ข้อมูลที่ระบุในโปรแกรมจำลองของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย		
รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1.0.009**
คุณสมบัติของวัสดุอาคาร (ต่อ)		
ประตู (ภายในอาคาร) ไม้สัก[4] หนา 5.08 ซม. K = 0.209 W/m-K, Density = 685 kg/m^3, Specific heat = 1300 J/kg-K	ไม่สามารถระบุได้	**กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ และคำนวณค่าโดยโปรแกรม** U-Factor = 2.048 W/m^2°K
พื้น (ชั้น 1) กระเบื้องปูพื้น[4] หนา 3 มม. K = 0.362 W/m-K, Density = 2093 kg/m^3, Specific heat = 800 J/kgK คอนกรีต[4] หนา 15 ซม. K = 1.442 W/m-K, Density = 2400 kg/m^3, Specific heat = 920 J/kgK	ไม่สามารถระบุได้	**กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ และคำนวณค่าโดยโปรแกรม** U-Factor = 3.320 W/m^2°K
ผนังโปร่งแสง กระจกโฟลตใส[4] หนา 6 มม. U-Factor = 5.83 W/m^2°C SHGC = 0.83 V_T = 0.91	**กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ และคำนวณค่าโดยโปรแกรม** U-Factor = 5.83 W/m^2°C SHGC = 0.83	**กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ และคำนวณค่าโดยโปรแกรม** U-Factor = 5.83 W/m^2°C SHGC = 0.83
ประสิทธิผลการบังแดดของอุปกรณ์บังแดด	**กำหนดพิกัดของแผงบังแดด และคำนวณค่าโดยโปรแกรม** Shading Co-efficient Calculation ร่วมกับการกำหนดจังหวัดที่ตั้ง	**สร้างโมเดลอาคารและแผงบังแดด คำนวณค่าโดยโปรแกรม** OpenStudio SketchUp Plug-in **กำหนดให้ Solar distribution เป็น** FullExteriorWithReflections

หมายเหตุ: [4] คุณสมบัติของวัสดุ ใช้ค่าจากรายการวัสดุที่มีในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ตารางที่ 59 เปรียบเทียบข้อมูลที่นำเข้าในโปรแกรม BEC และโปรแกรม EnergyPlus (ต่อ)

ข้อมูลที่ระบุในโปรแกรมจำลองของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย		
รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1.0.009**
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง		
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	**กำหนดเอง** ขนาดของหลอดไฟรวม 22,755 W ใช้งาน 2,340 ชม./ปี (Default) ใช้พลังงานรวม 53,246.28 kWh/year	**กำหนดเอง** ขนาดของหลอดไฟรวม 22,755 W ใช้งาน 2,108 ชม./ปี ใช้พลังงานรวม 47,580.71 kWh/year
ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า		
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	**กำหนดเอง** ขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้ารวม 17,500 W ใช้งาน 2,340 ชม./ปี (Default) ใช้พลังงานรวม 40,949.98 kWh/year	**กำหนดเอง** ขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้ารวม 17,500 W ใช้งาน 2,108 ชม./ปี ใช้พลังงานรวม 36,592.50 kWh/year
ระบบปรับอากาศ		
ชนิดและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ	**กำหนดเอง** ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ระบุค่า COP = 3.33, 3.34 และ 3.38	**โปรแกรมคำนวณหา Ideal Loads** ใช้ COP เฉลี่ย = 3.35
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	**คำนวณโดยโปรแกรม** ใช้งาน 2,340 ชม./ปี (Default) ใช้พลังงานรวม 95,901.40 kWh/year	**คำนวณโดยโปรแกรม** ได้ Ideal Loads แล้วหารด้วยค่า COP ใช้งาน 1,976 ชม./ปี ใช้พลังงานรวม 74,465.88 kWh/year

ตารางที่ 59 เปรียบเทียบข้อมูลที่นำเข้าในโปรแกรม BEC และโปรแกรม EnergyPlus (ต่อ)

ข้อมูลที่ระบุในโปรแกรมจำลองของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย		
รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1.0.009**
ระบบปรับอากาศ (ต่อ)		
ภาระความร้อนของระบบปรับอากาศ	**ค่า Default** [6] ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่าง = 0.84 อุปกรณ์ไฟฟ้า = 0.85 ผู้ใช้อาคาร = 0.85 การระบายอากาศ = 0.90	**กำหนดเอง** [7] ความร้อนจากหลอดไฟ ที่ติดตั้งแบบ Surface mount มีค่า Fraction Radiant, Visible, Convected = 0.72, 0.18, 0.10 ตามลำดับ ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร) Fraction radiant = 0.3 ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร Activity: Typing = 117W/person Fraction radiant = 0.3
อัตราการระบายอากาศ	**ค่า Default** 0.25 ลิตร/วินาที/ตร.ม.	**กำหนดเอง** [8] ZoneVentilationDesignFlowRate Ventilation type : Intake 0.25 ลิตร/วินาที/ตร.ม.

หมายเหตุ: [6] จากสูตรการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ในประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารฯ พ.ศ. 2552

[7] ปรีชญา มหัทธนทวี. (2555). การใช้โปรแกรม EnergyPlus. เอกสารประกอบวิชา 261401 การออกแบบสถาปัตยกรรมขั้นสูง 1 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[8] จากการสำรวจ พบว่าห้องที่มีการปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษามีการใช้พัดลมดูดอากาศ แต่เนื่องจากไม่สามารถวัดอัตราการระบายอากาศได้ จึงกำหนดให้อัตราของ Ventilation ในโปรแกรม EnergyPlus มีค่าเท่ากับค่า Default ในโปรแกรม BEC

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของการนำเข้าข้อมูล ระหว่างโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 ในตารางที่ 59 พบว่ามีความแตกต่างทั้งรูปแบบข้อมูลที่ระบุ และวิธีการจำลองของโปรแกรม สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ

ที่ตั้งอาคาร: โปรแกรม BEC ให้ระบุจังหวัดที่ตั้งอาคารจากตัวเลือก ซึ่งมีเฉพาะในประเทศไทย สำหรับโปรแกรม EnergyPlus ใช้วิธีการระบุพิกัดที่ตั้งของอาคาร

สภาพแวดล้อมรอบอาคาร: โปรแกรม BEC ไม่สามารถกำหนดได้ แต่ EnergyPlus สามารถเลือกลักษณะสภาพแวดล้อมรอบอาคารได้ เช่น มีลักษณะเป็นพื้นที่โล่ง เป็นเมือง เป็นย่านอุตสาหกรรม หรืออยู่ริมทะเล เป็นต้น เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีผลต่อค่า Wind speed ที่จะนำมาคำนวณค่า Surface exterior convective heat transfer coefficient ในหมวดคุณสมบัติของวัสดุต่อไป

สภาพภูมิอากาศ: โปรแกรม BEC ไม่สามารถกำหนดสภาพภูมิอากาศได้ แต่โปรแกรม EnergyPlus ใช้ข้อมูลจาก Weather file ของพื้นที่ตั้งอาคารนั้นๆ

2. การใช้งานอาคาร

ประเภทการใช้งาน: โปรแกรม BEC ต้องเลือกประเภทของอาคาร เนื่องจากเป็นการประเมินว่าอาคารประเภทดังกล่าวจะผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯหรือไม่ สำหรับโปรแกรม EnergyPlus ไม่ต้องกำหนดประเภทอาคาร

จำนวนชั่วโมงใช้งานอาคาร:

โปรแกรม BEC กำหนดให้อาคารสำนักงาน ใช้งานอาคารในทุกระบบ (ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า) ในเวลากลางวัน เป็นเวลา 9 ชั่วโมง/วัน โดยไม่สามารถแก้ไขได้ และกำหนดให้มีวันใช้งาน 260 วัน/ปี คือวันจันทร์-วันศุกร์ (วันทำงาน) หักลบจากวันเสาร์-วันอาทิตย์ที่มี 105 วัน/ปี จะได้จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปีเท่ากับ 2,340 ชั่วโมง (9 ชั่วโมง/วัน x 260 วัน/ปี)

สำหรับโปรแกรม EnergyPlus สามารถกำหนดเวลาและจำนวนชั่วโมงใช้งานต่อวัน รวมไปถึงจำนวนวันใช้งานต่อปีได้ โดยสามารถกำหนดแยกจำนวนการใช้งานในแต่ละระบบ โดยไม่จำเป็นต้องมีระยะเวลาใช้งานที่เท่ากัน ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้อาคารกรณีศึกษา มีการใช้งานอาคาร 247 วัน/ปี คือวันจันทร์-วันศุกร์ (วันทำงาน) หักลบจากวันเสาร์-วันอาทิตย์ที่มี 105 วัน/ปี และวันหยุดนักขัตฤกษ์ที่ไม่ตรงกับวันเสาร์-อาทิตย์อีก 13 วัน/ปี มีการใช้งานระบบปรับอากาศ 8 ชั่วโมง/วัน จะได้จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปีเท่ากับ 1,976 ชั่วโมง (8 ชั่วโมง/วัน x 247 วัน/ปี) และการใช้งานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า 8.5 ชั่วโมง/วัน จะได้จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปีเท่ากับ 2,099.50 ชั่วโมง (8.5 ชั่วโมง/วัน x 247 วัน/ปี)

จำนวนผู้ใช้งาน: โปรแกรม BEC กำหนดให้มีผู้ใช้งานอาคารจำนวน 0.10 คน/ตร.ม. ของพื้นที่ทั้งหมด โดยไม่สามารถแก้ไขจำนวนได้ สำหรับโปรแกรม EnergyPlus สามารถกำหนดจำนวนได้ ทั้งแบบ จำนวนคน (คน) จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/ตร.ม.) และ พื้นที่/จำนวนคน (ตร.ม./คน)

3. คุณสมบัติของวัสดุ

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ:

โปรแกรม BEC ให้เลือกว่าเป็นพื้นผิวของผนังหรือหลังคา (หากเป็นหลังคาให้ระบุองศาด้วย) และเลือกลักษณะของวัสดุ โดยพิจารณาการแผ่รังสีของพื้นผิว แบ่งเป็น แผ่รังสีสูง และแผ่รังสีต่ำ ซึ่งมีค่าที่กำหนดไว้แล้วในโปรแกรม

สำหรับโปรแกรม EnergyPlus ให้เลือกลักษณะของวัสดุโดยพิจารณาที่ความหยาบของพื้นผิว แบ่งเป็น Very rough, Rough, Medium rough, Medium smooth, Smooth และ Very smooth เมื่อคำนวณร่วมกับค่าความเร็วลม (Wind speed) จากการเลือกสภาพแวดล้อมรอบอาคาร จะได้ค่า Surface exterior convective heat transfer coefficient (ปรีชญา มหัทธนทวี, 2555: 12)

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศ: โปรแกรม BEC มีตัวเลือกให้ระบุขนาดของช่องอากาศ โดยเลือกว่าเป็นช่องอากาศในผนังหรือหลังคา (หากเป็นหลังคาให้ระบุองศาด้วย) และพิจารณาการแผ่รังสีของพื้นผิวภายใน แบ่งเป็น แผ่รังสีสูง และแผ่รังสีต่ำ ซึ่งหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารฯ พ.ศ. 2552 กำหนดให้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศที่ผนังที่กว้าง 10 ซม. มีค่าสูงสุด แม้ช่องอากาศจะมีขนาดกว้างกว่านี้ ก็ไม่สามารถเพิ่มค่าความต้านทานความร้อนได้ หรือช่องอากาศที่หลังคา ที่มีพื้นผิวแผ่รังสีสูง เมื่อช่องอากาศกว้างกว่า 20 ซม. กำหนดให้มีค่าสูงสุดที่ 0.458 m^2C/W แต่สำหรับโปรแกรม EnergyPlus ให้ระบุค่า Thermal resistance เอง โดยต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0 m^2K/W

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์:

โปรแกรม BEC ต้องเลือกสีภายนอกของวัสดุผนังทึบหรือหลังคาทึบ (Outer surface color) แบ่งเป็น Reflective and white surface, Surface of pale color, Surface of slightly dark color และ Surface of dark color ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 ตามลำดับ

สำหรับโปรแกรม EnergyPlus ให้ระบุค่าใน Solar absorptance โดยโปรแกรมจะกำหนดค่า Default ไว้ที่ 0.7 แต่ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าใหม่ได้ โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

ในการศึกษาครั้งนี้มีผนังภายนอกสีเขียวอ่อน และหลังคาคอนกรีตไม่ทาสี เลือกค่าในโปรแกรม BEC เป็น Surface of pale color และ Surface of dark color ซึ่งมีค่า 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ และได้ระบุค่าเดียวกันนี้ในโปรแกรม EnergyPlus

ค่า U Factor ของผนังทึบและหลังคาทึบ: โปรแกรม BEC และ EnergyPlus ต้องระบุค่า Thickness, Conductivity, Density และ Specific Heat เหมือนกันทั้งสองโปรแกรม โดยค่า U ที่ได้จากการระบุข้อมูลวัสดุอาคารในการศึกษาครั้งนี้ หากเป็นค่าที่ยังไม่รวมค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ทั้งสองโปรแกรมจะให้ค่าที่เท่ากัน แต่เมื่อรวมค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ พบว่าทั้งสองโปรแกรมให้ค่าที่ต่างกัน อาจเป็นเพราะโปรแกรม BEC คิดค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศจากลักษณะการแผ่รังสีของพื้นผิววัสดุ รวมทั้งมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่คงที่ตลอดเวลา ส่งผลให้มีค่า U คงที่ ต่างจากโปรแกรม EnergyPlus ที่คำนวณจาก

ลักษณะความหยาบของพื้นผิว และค่าความเร็วลม ส่งผลให้ผนังทึบและหลังคาของอาคารมีค่า U ที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วลมทุกๆชั่วโมง

ค่า U Factor ของ ประตู พื้น และผนัง ที่อยู่ภายในอาคาร: การศึกษาครั้งนี้ ระบุข้อมูลวัสดุอาคารในโปรแกรม BEC เฉพาะส่วนกรอบอาคาร เนื่องจากโปรแกรมจะจำลองการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาภายนอกที่สัมผัสอากาศและได้รับรังสีอาทิตย์เท่านั้น สำหรับการระบุข้อมูลในโปรแกรม EnergyPlus ได้ระบุข้อมูลของผนัง พื้น และประตู ที่อยู่ภายในอาคาร เนื่องจากโปรแกรมจะจำลองผนังภายในโซนทั้งหมด ซึ่งอาจมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากผนังระหว่างโซน (มัลลิกา ปู่เพ็ชร์, 2555: 193) รวมถึงพื้นอาคารที่สัมผัสดิน ก็อาจมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเช่นกัน

ค่า U Factor และค่า SHGC ของกระจก: การศึกษาครั้งนี้ เลือกนำเข้าข้อมูลวัสดุกระจกในโปรแกรม EnergyPlus หมวด WindowMaterial:SimpleGlazingSystem ซึ่งจำเป็นต้องระบุค่า U Factor, SHGC และ V_T เช่นเดียวกับการระบุค่าของกระจก หมวด Transparent Material ในโปรแกรม BEC

อุปกรณ์บังแดด:

โปรแกรม BEC กำหนดให้ใส่ค่า Shading Co-efficient (SC) ของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยโปรแกรมจะกำหนดค่า Default ไว้ที่ SC เท่ากับ 1 หมายถึง กระจกหน้าต่างนั้นไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถบังเงาให้ได้ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้ระบุค่า SC จากการใช้ Shading Co-efficient Calculation โดยระบุพิกัดต่างๆของกระจกหน้าต่าง และแผงกันแดด และใส่ค่าที่ได้ในโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณค่าการบังแดดจากที่ตั้งจังหวัดที่ผู้ใช้เลือกในขั้นตอนแรก

สำหรับโปรแกรม EnergyPlus ได้สร้างโมเดลอาคารและแผงบังแดดในโปรแกรม OpenStudio SketchUp Plug-in เพื่อให้ได้พิกัดของแผงบังแดด และให้โปรแกรม คำนวณค่าการบังเงาเอง โดยใช้ข้อมูลจากพิกัดที่ตั้งอาคารในการคำนวณค่าการบังแดด

4. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง: โปรแกรม BEC กำหนดให้ระยะเวลาใช้งานหลอดไฟทั้งหมดที่ระบุในโปรแกรม เป็นเวลา 9 ชม./วัน ซึ่งคิดเป็น 2,340 ชม./ปี แต่การใช้งานจริงของอาคารกรณีศึกษา มีนโยบายให้ปิดไฟบางส่วนในช่วงพักกลางวัน จึงระบุค่าในโปรแกรม EnergyPlus ให้ช่วงเวลา 12.00-13.00 น. มี Fraction ของ Schedule การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง เป็น 0.50 (ปิดหลอดไฟประมาณครึ่งหนึ่ง ของจำนวนหลอดไฟทั้งหมดในห้อง) เท่ากับว่ามีการใช้งานหลอดไฟน้อยกว่า 9 ชม./วัน ผลจากการระบุข้อมูลขนาดกำลัง (วัตต์) ของหลอดไฟในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/year) ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus มีปริมาณน้อยกว่าที่ได้จากโปรแกรม BEC เนื่องจากมีระยะเวลาใช้งานหลอดไฟในช่วง 12.00-13.00 น. ที่น้อยกว่า

5. ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า

การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า: เช่นเดียวกับการนำเข้า ข้อมูลในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง คือ ระบุในโปรแกรม EnergyPlus ให้ช่วงเวลา 12.00-13.00 น. มี Fraction ของ Schedule การใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็น 0.50 เนื่องจากแม้จะเป็นช่วงพักกลางวัน แต่ก็มียังบุคลากรบางส่วนที่ยังใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่ (แต่บางส่วนจะปิดอุปกรณ์) จากการระบุข้อมูลขนาดกำลัง(วัตต์)ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าพลังงาน (kWh/year) ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus มีปริมาณน้อยกว่าโปรแกรม BEC เนื่องจากมีระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ในช่วง 12.00-13.00 น. น้อยกว่า

6. ระบบปรับอากาศ

การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ: อาคารกรณีศึกษา มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยในโปรแกรม BEC ต้องระบุค่า Cooling capacity (kBtu/h) และ Rated power (kW) ของเครื่องปรับอากาศแต่ละโซน โดยโปรแกรมจะคำนวณค่า COP ให้ เพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อไป

สำหรับโปรแกรม EnergyPlus เนื่องจากการระบุข้อมูลของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความซับซ้อนมาก การศึกษานี้จึงเลือกระบุค่าในหมวดของ ZoneHVAC:IdealLoads :AirSystem แทน ผลที่ได้คือปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ (kWh) แล้วจึงนำมาหารด้วยค่า COP ของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งอาคารกรณีศึกษามีเครื่องปรับอากาศที่มีค่า COP แตกต่างกัน ได้แก่ COP 3.33, 3.34 และ 3.38 (ตารางที่ 13) จึงเลือกใช้ค่า COP เฉลี่ย เนื่องจากมีค่า COP ที่ไม่ต่างกันมาก แต่วิธีการดังกล่าวจะให้ผลที่กับต่างการระบุข้อมูลของเครื่องปรับอากาศที่ละเอียดมากกว่า ซึ่งต้องอาศัยความรู้ทางวิศวกรรมปรับอากาศในการศึกษาต่อไป

จากการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรมทั้งสอง พบว่าผลที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus มีปริมาณน้อยกว่าที่ได้จากโปรแกรม BEC อาจเนื่องมาจาก มีระยะเวลาใช้งานเครื่องปรับอากาศที่น้อยกว่า (โปรแกรม BEC กำหนดให้ใช้งาน 2,340 ชม./ปี แต่การนำเข้าข้อมูลใน EnergyPlus ระบุให้ใช้งาน 1,976 ชม./ปี) รวมไปถึงความแตกต่างของการคำนวณภาระความร้อนของระบบ และค่า COP ของเครื่องปรับอากาศด้วย

ภาระความร้อนของระบบปรับอากาศ:

โปรแกรม BEC มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ ได้แก่ ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ผู้ใช้อาคาร และการระบายอากาศ เป็นค่า Default ไว้แล้ว เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อไป

สำหรับโปรแกรม EnergyPlus ต้องระบุค่า Fraction Radiant ค่า Fraction Visible และค่า Fraction Convected เพื่อหาปริมาณความร้อนที่เกิดภายในโซน

อัตราการระบายอากาศ: โปรแกรม BEC กำหนดค่า Default ให้ทุกโซนมีอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 0.25 ลิตร/วินาที/ตร.ม. ต่างกับโปรแกรม EnergyPlus ที่สามารถกำหนดค่าเองได้ แต่การศึกษาครั้งนี้ ไม่สามารถวัดอัตราการระบายอากาศจริงของอาคารได้ จึงเลือกระบุข้อมูลใน ZoneVentilationDesignFlowRate ให้มีอัตราการระบายอากาศเช่นเดียวกับค่า Default ของโปรแกรม BEC

จะเห็นได้ว่าทั้งสองโปรแกรมมีความแตกต่างกันในการนำเข้าข้อมูลอยู่หลายประการ ส่งผลให้การทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยค่าพลังงานที่ได้จากโปรแกรม BEC มีปริมาณสูงกว่าค่าพลังงานที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus เมื่อเทียบกับค่าพลังงานที่อาคารใช้จริง อาจเนื่องมาจาก โปรแกรม BEC มีการกำหนดจำนวนวันใช้งานต่อปี ที่ 260 วัน เมื่อเทียบกับจำนวนวันใช้งานจริงของอาคาร ที่ใช้งานประมาณ 247 วันต่อปี นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศที่ใช้ในการจำลอง โดยโปรแกรม BEC กำหนดให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีค่าคงที่ตลอดทั้งปี ต่างจากโปรแกรม EnergyPlus ที่คำนวณจาก Weather data ที่มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนไปทุกๆหนึ่งชั่วโมง จึงอาจส่งผลให้ค่าพลังงานที่ได้ในระบบปรับอากาศมีความแตกต่างกัน

นอกจากนี้ เมื่อปรับปรุงกรอบอาคาร (ปรับปรุงค่าคุณสมบัติของวัสดุให้มีค่าการต้านทานความร้อนที่สูงขึ้น) ในโปรแกรม BEC ที่จำลองภาระของระบบปรับอากาศจากความร้อนที่ผ่านทางกรอบอาคารเป็นหลัก เมื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงค่าของวัสดุกรอบอาคาร จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus

มหาวิทยาลัยศิลปากร

8. อภิปรายผล

8.1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละระบบของอาคารสำนักงาน

ผลการศึกษาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นอาคารประเภทสำนักงาน ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 พบว่า มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 50.45, 28.01 และ 21.54 ตามลำดับ และเมื่อจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus 8.1 จำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละระบบได้ 46.94, 29.99 และ 23.07 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุด รองลงมาเป็นระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า สอดคล้องกับตัวอย่างสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานตามมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุม ที่จัดทำโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2552: 3) ที่แสดงตัวอย่างสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานของระบบต่างๆดังกล่าว คิดเป็นร้อยละเฉลี่ย 55, 25 และ 20 ตามลำดับ

8.2 ความเหมาะสมด้านการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารสำนักงาน

ผลการหาแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยพิจารณาที่ระยะคืนทุน พบว่าแนวทางที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด อาจไม่ใช่แนวทางที่เหมาะสมด้านการลงทุน เนื่องจากอาจเป็นแนวทางปรับปรุงที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง และผลประหยัดที่ได้ไม่เพียงพอให้คืนทุน สอดคล้องกับการศึกษาของ ปริมลาภ วสุวัต (2542: 113) ; ดลยา ศิริปรุ (2548: 128) ; สุรพล เดชพล (2552: 73) ที่พบว่าแนวทางที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด ไม่ใช่แนวทางที่ดีที่สุด หากพิจารณาในด้านความคุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากมีสัดส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุนต่ำกว่าแนวทางที่ประหยัดพลังงานน้อยกว่า ทั้งนี้เครื่องมือ คือโปรแกรมจำลองที่ใช้ในการวิจัยดังกล่าวเป็นโปรแกรมที่แตกต่างกัน

8.3 ความแตกต่างของผลจำลองการใช้พลังงานที่ได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 และโปรแกรม EnergyPlus 8.1

ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้า ที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม BEC และ โปรแกรม EnergyPlus พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยโปรแกรม BEC จำลองการใช้พลังงานในอาคารได้สูงกว่า อาจเป็นเพราะโปรแกรมมีค่า Default กำหนดจำนวนวันใช้งานอาคารมากกว่าที่ผู้วิจัยได้กำหนดในโปรแกรม EnergyPlus นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ระบุข้อมูลของผนังภายนอก หลังคาภายนอก พื้นที่สัมผัสดิน พื้นภายใน และผนังภายในของอาคาร ลงในโปรแกรม EnergyPlus ต่างจากในโปรแกรม BEC ที่ระบุเฉพาะส่วนกรอบอาคารเท่านั้น สอดคล้องกับการศึกษาของ มัลลิกา ปุ่เพ็ชร์ (2555: 193) ที่พบว่า ผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของทั้งสองโปรแกรมมีความแตกต่างกัน โดยผลการจำลองการใช้พลังงานจากโปรแกรม EnergyPlus มีปริมาณสูงกว่า เนื่องจากโปรแกรม BEC จะระบุข้อมูลกรอบอาคารของส่วนปรับอากาศเฉพาะที่สัมผัสกับภายนอก ส่วนการจำลองด้วยโปรแกรม Energy plus จะจำลองผนังโดยรอบโซนทั้งหมด ซึ่งอาจมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากผนังระหว่างโซน

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการศึกษา

1.1 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร ของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐานเลขที่แบบ 8491 ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ และมีความเหมาะสมด้านการลงทุน

เมื่อประเมินประสิทธิภาพกรอบอาคารของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดตามแบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 (ก่อนปรับปรุง) กับเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 60 ผลการประเมินประสิทธิภาพของกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุข เลขที่แบบ 8491

วัสดุกรอบอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2)	เกณฑ์ที่กำหนด (W/m^2)	ผลการประเมิน
ผนังทึบ: ผนังอิฐมอญฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม. ภายนอกทาสีเขียวอ่อน **ผนังโปร่งแสง**: กระจกโฟลตใส หนา 6 มม.	OTTV = 68.94	50	**ไม่ผ่าน**
หลังคา: คอนกรีต หนา 15 ซม. ด้านล่างเป็นช่องว่างอากาศ กว้าง 45 ซม. และฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่ม หนา 9 มม.	RTTV = 27.64	15	**ไม่ผ่าน**

1.1.1 การปรับปรุงผนัง แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การปรับปรุงผนังทึบอย่างเดียว และการปรับปรุงผนังทึบร่วมกับการปรับปรุงผนังโปร่งแสง สามารถสรุปแนวทางที่เหมาะสมได้ดังนี้

ตารางที่ 61 สรุปแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบ

วิธีการปรับปรุงส่วนผนังทึบ	OTTV (W/m^2)	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)	ความเหมาะสมด้านการลงทุน
เสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิดบุฉนวน EPS หนา 35 มม. ในตัว ($R = 1.33\ m^2C/W$) และเว้นช่องว่างอากาศกว้าง 3 ซม.	48.05	**403,142.50**	74,254.00	**5.43**	**ลงทุนต่ำ**ที่สุด และ**คืนทุนเร็ว**ที่สุด
เสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิดบุฉนวน EPS หนา 50 มม. ในตัว ($R = 1.83\ m^2C/W$) และเว้นช่องว่างอากาศกว้าง 3 ซม.	46.89	457,897.39	**78,386.64**	5.84	**ลดการใช้พลังงานต่อปี**ได้สูงสุด

หมายเหตุ: จำลองปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6

ตารางที่ 62 สรุปแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบและผนังโปร่งแสง

วิธีการปรับปรุงส่วนผนังทึบและผนังโปร่งแสง	OTTV (W/m^2)	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)	ความเหมาะสมด้านการลงทุน
ผนังทึบ: เสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิด**บุฟอยล์** และเว้นช่องอากาศกว้าง 9 ซม. **ผนังโปร่งแสง**: กระจกโฟลตสีเขียวเข้ม หนา 6 มม. (SHGC=0.55)	41.11	530,398.68	**98,932.97**	**5.36**	**คืนทุนเร็ว**ที่สุด และ**ลดการใช้พลังงานต่อปี**ได้สูงสุด
ผนังทึบ: เสริมแผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. ชนิด**ธรรมดา** และเว้นช่องอากาศกว้าง 9 ซม. **ผนังโปร่งแสง**: กระจกโฟลตสีเขียวเข้ม หนา 6 มม. (SHGC=0.55)	48.28	**470,052.63**	73,435.87	6.40	**ลงทุนต่ำ**ที่สุด

หมายเหตุ: จำลองปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6

1.1.2 การปรับปรุงหลังคา สามารถสรุปแนวทางที่เหมาะสมได้ดังนี้

ตารางที่ 63 สรุปแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนหลังคา

วิธีการปรับปรุงส่วนหลังคา	RTTV (W/m^2)	ค่าปรับปรุง (บาท)	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)	ความเหมาะสมด้านการลงทุน
ปูฉนวนใยแก้วหนา 75 มม. ชนิดหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (R=1.98 m^2C/W) เหนือฝ้าเพดานชั้นสาม	6.07	**68,007.74**	54,740.63	**1.24**	**ลงทุนต่ำ**ที่สุด และ**คืนทุนเร็ว**ที่สุด
ปูฉนวนใยแก้วหนา 150 มม. ชนิดหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ (R=3.97 m^2C/W) เหนือฝ้าเพดานชั้นสาม และทาสีขาวที่พื้นหลังคาคอนกรีต (alpha = 0.3)	1.80	216,349.64	**65,578.61**	3.30	**ลดการใช้พลังงานต่อปี**ได้สูงสุด

หมายเหตุ: จำลองปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6

1.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคาร ระหว่างโปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณตามกฎกระทรวงฯ และโปรแกรม EnergyPlus 8.1 กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่อาคารใช้จริง

ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร**ก่อนปรับปรุง** ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus มีความใกล้เคียงกับค่าการใช้งานจริงที่ได้จากใบเสร็จค่าไฟฟ้าปี 2557 มากกว่าผลที่ได้จากโปรแกรม BEC ซึ่งเป็นโปรแกรมที่กระทรวงพลังงานแนะนำให้ใช้เพื่อประเมินอาคารเทียบกับเกณฑ์ตามกฎหมาย และใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นหลัก โดยปริมาณการใช้พลังงานที่จำลองได้จากโปรแกรม BEC มีค่าสูงกว่าการใช้งานจริง คิดเป็นร้อยละ 21.12

ตารางที่ 64 ผลจำลองการใช้พลังงานของอาคารก่อนปรับปรุง จากโปรแกรม BEC และ EnergyPlus

รายการ	**BEC v.1.0.6**		**EnergyPlus 8.1**		**ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง**[1] (kWh/year)
	ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)	**คิดเป็น (%)**	**ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)**	**คิดเป็น (%)**	
ระบบปรับอากาศ	95,901.40	50.45%	74,465.88	46.94%	
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	53,246.28	28.01%	47,580.71	29.99%	
ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า	40,949.98	21.54%	36,592.50	23.07%	
รวม	**190,097.66**		**158,639.09**		**156,944**
ความคลาดเคลื่อนกับค่าการใช้งานจริง	สูงกว่า 33,153.66 kWh คิดเป็น **21.12%**		สูงกว่า 1,695.09 kWh คิดเป็น **1.08%**		

หมายเหตุ: [1] ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง ได้จากใบเสร็จค่าไฟฟ้าปี 2557 ไม่สามารถแยกการใช้งานในแต่ละระบบได้ เนื่องจากอาคารไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าแยกแต่ละระบบ

ผลการจำลองด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคาร**หลังปรับปรุง** โดยเลือกแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารทั้งส่วนของผนัง และหลังคาที่ผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ และเป็นแนวทางที่คืนทุนเร็วที่สุดมาพิจารณา จำนวน 2 แนวทาง ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 65 ผลจำลองการใช้พลังงานของอาคารหลังปรับปรุง จากโปรแกรม BEC และ EnergyPlus

แนวทาง	**ผลการจำลองจากโปรแกรม**	**BEC**	**EnergyPlus**
W6·R2	การใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (kWh/year)	95,901.40	74,465.88
	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงหลังปรับปรุง (%)	**25.94 %**	**7.75 %**
	ลดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	128,994.63	31,345.41
	ระยะคืนทุน (ปี)	**3.65**	**15.03**
แนวทาง	**ผลการจำลองจากโปรแกรม**	**BEC**	**EnergyPlus**
W3·G2·R2	การใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (kWh/year)	95,901.40	74,465.88
	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงหลังปรับปรุง (%)	**30.90%**	**12.31 %**
	ลดค่าไฟฟ้าได้ (บาท/ปี)	153,673.60	49,829.20
	ระยะคืนทุน (ปี)	**3.89**	**12.01**

หมายเหตุ: ปริมาณพลังงานไฟฟ้าคิดเฉพาะในระบบปรับอากาศ

เมื่อเปรียบเทียบผลหลังปรับปรุงอาคาร จะเห็นได้ว่า ทั้งสองโปรแกรมให้การทำนายค่าพลังงานที่แตกต่างกันมาก โดยในโปรแกรม BEC เมื่อปรับปรุงเฉพาะส่วนกรอบอาคาร จะสามารถลดปริมาณพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้สูงถึงประมาณร้อยละ 25-30 ขณะที่โปรแกรม EnergyPlus เมื่อปรับปรุงกรอบอาคารส่วนเดียวกัน จะสามารถลดได้ประมาณร้อยละ 7-12 ส่งผลให้มีระยะคืนทุนที่ยาวนานกว่า อาจเนื่องมาจากวิธีการจำลองการใช้พลังงานที่แตกต่างกันของทั้งสองโปรแกรม โดยโปรแกรม BEC มีการจำลองภาระของระบบปรับอากาศจากความร้อนที่ผ่านทางกรอบอาคาร และมีการกำหนดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกเท่ากันตลอดทั้งปี เมื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุกรอบอาคาร จึงอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานที่สูงมากกว่า ในขณะที่โปรแกรม EnergyPlus มีการจำลองการใช้พลังงานจากข้อมูลสภาพอากาศ (Weather data) ที่อาจมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกที่สูงหรือต่ำ ไม่เท่ากันตลอดทั้งปี

1.3 การเปรียบเทียบลักษณะการนำเข้าข้อมูล (Input) ในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และ EnergyPlus 8.1 ซึ่งอาจมีผลต่อการทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่แตกต่างกัน

ความแตกต่างของการนำเข้าข้อมูล (Input) ระหว่างทั้งสองโปรแกรมสามารถสรุปได้ดังนี้

1.3.1 ข้อมูลที่โปรแกรม BEC มีการกำหนดค่า Default ไว้ ไม่สามารถแก้ไขได้ คือ จำนวนชั่วโมงการใช้งาน จำนวนผู้ใช้อาคาร สัดส่วนความร้อนจากแหล่งความร้อนภายใน และอัตราการระบายอากาศ ต่างกับโปรแกรม EnergyPlus ที่สามารถกำหนดค่าเองได้

ตารางที่ 66 การเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และ EnergyPlus 8.1 (1)

รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1**
จำนวนวันใช้งาน/ปี	260 วัน/ปี (วันจันทร์-วันศุกร์)	กำหนดเองได้
จำนวนชั่วโมงใช้งาน	9 ชม./วัน หรือ 2,340 ชม./ปี	กำหนดเองได้
จำนวนผู้ใช้อาคาร	0.10 คน/ตร.ม.	กำหนดเองได้
ความร้อนที่เป็นภาระของระบบปรับอากาศ	อยู่ในรูปค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อน ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง = 0.84 ระบบอุปกรณ์ = 0.85 ผู้ใช้อาคาร = 0.85 การระบายอากาศ = 0.90	กำหนดเองได้
อัตราการระบายอากาศ	0.25 ลิตร/วินาที/ตร.ม.	กำหนดเองได้

1.3.2 ข้อมูลที่โปรแกรม BEC กำหนดตัวเลือกมาให้เลือก คือ สีของพื้นผิวด้านนอก เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Solar absorptance) และให้ระบุขนาดความกว้างของช่องอากาศ เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศ ต่างกับโปรแกรม EnergyPlus ที่ต้องระบุตัวเลขของค่าเหล่านี้เอง

ตารางที่ 67 การเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และ EnergyPlus 8.1 (2)

รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1**
สีของพื้นผิวภายนอกอาคาร	กำหนดให้เลือกสีภายนอก 4 แบบ เพื่อแทนค่า Solar absorptance Reflective and white surface [0.3] Surface of pale color [0.5] Surface of slightly dark color [0.7] Surface of dark color [0.9]	กำหนดค่า Solar Absorptance ตั้งแต่ 0-1
ค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศ	กำหนดให้เลือกว่าเป็นช่องอากาศของผนังหรือหลังคา แล้วระบุขนาดของช่องอากาศ องศาของหลังคา และชนิดของการแผ่รังสีของพื้นผิว โดยโปรแกรมจะประมาณค่าโดยวิธีเชิงเส้นตรง	กำหนดค่า Thermal Resistance ที่มากกว่า 0 (โดยไม่กำหนดค่าสูงสุด)

1.3.3 ข้อมูลที่จำเป็นต้องระบุในโปรแกรม EnergyPlus ได้แก่ สภาพอากาศ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร สภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร และองค์ประกอบอื่นๆภายในอาคาร แต่ไม่สามารถกำหนดในโปรแกรม BEC ได้

ตารางที่ 68 การเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และ EnergyPlus 8.1 (3)

รายการ	**BEC v.1.0.6**	**EnergyPlus 8.1**
ที่ตั้งอาคาร	เลือกจังหวัดได้เท่านั้น	สามารถระบุพิกัดที่ตั้งของอาคารได้
สภาพภูมิอากาศ	ไม่สามารถเลือกได้ โดยโปรแกรมจะใช้วิธีจำลองจากค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า	สามารถเลือกใช้ Weather Data ของพื้นที่นั้นๆได้
ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยรอบ	ไม่สามารถเลือกได้	สามารถเลือกลักษณะสภาพแวดล้อมได้ เช่น พื้นที่ราบ พื้นที่ในเมือง หรืออยู่ใกล้ทะเล
องค์ประกอบอื่นๆของอาคาร	ให้ระบุเฉพาะกรอบอาคารเท่านั้น	สามารถระบุผนังภายในอาคาร หรือพื้นที่สัมผัสดิน ซึ่งอาจมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของอาคารได้

1.3.4 ข้อมูลสำหรับกำหนดค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ในโปรแกรม BEC ให้เลือกระบุว่าเป็นพื้นผิววัสดุชนิดแผ่รังสีสูง หรือแผ่รังสีต่ำ แต่โปรแกรม EnergyPlus ให้เลือกระบุตามลักษณะความหยาบของพื้นผิว และคำนวณร่วมกับค่าความเร็วลมที่มีใน Weather data

ตารางที่ 69 การเปรียบเทียบการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม BEC v.1.0.6 และ EnergyPlus 8.1 (4)

รายการ	BEC v.1.0.6	EnergyPlus 8.1
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุ	พิจารณาที่ชนิดการแผ่รังสีของพื้นผิว แบ่งเป็น แผ่รังสีสูง และแผ่รังสีต่ำ	พิจารณาที่ความหยาบของพื้นผิว แบ่งเป็น Very rough, Rough, Medium rough, Medium smooth, Smooth และ Very smooth คำนวณร่วมกับค่าความเร็วลม

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

2.1.1 การหาแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารที่เหมาะสม ผู้สนใจสามารถนำขั้นตอนการหาแนวทางในการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ได้ โดยอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต่างๆ ให้เป็นไปตามอาคารจริง เช่น ที่ตั้งของอาคาร ทิศทางของอาคาร ค่าอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) และสีภายนอกของอาคาร เป็นต้น

2.1.2 การคำนวณระยะคืนทุน ราคาจริงของวัสดุและราคาค่าแรง อาจแตกต่างไปจากการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากราคาวัสดุที่ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ หรือการสั่งซื้อวัสดุในปริมาณมากอาจทำให้วัสดุมีราคาถูกลง

2.2 ข้อเสนอแนะในการทำการศึกษาครั้งต่อไป

2.2.1 การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยศึกษาเฉพาะแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร ได้แก่ ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคาเท่านั้น ทั้งนี้ แนวทางในการลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานมากขึ้น การแยกอุปกรณ์ที่มีความร้อนออกจากพื้นที่ปรับอากาศ หรือการลดการรั่วซึมของอากาศในห้องปรับอากาศ ก็สามารถช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้เช่นกัน จึงควรมีการศึกษาแนวทางปรับปรุงเหล่านี้ร่วมกับการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อให้อาคารมีการประหยัดพลังงานมากขึ้น

2.2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ราคาวัสดุ และราคาค่าแรง มาจากการสอบถามราคาขายทั่วไปจากบริษัทผู้ผลิต หรือตัวแทนจำหน่าย ในปี พ.ศ. 2557-2558 อนาคตอาจมีการเปลี่ยนแปลงด้านราคา หรือมีการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุในด้านการต้านทานความร้อนที่ดีขึ้น จึงควรมีการศึกษาผลการประหยัดพลังงานและความเหมาะสมด้านการลงทุนต่อไป

รายการอ้างอิง

"กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552." (2552). **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์): 10-13.

กรมบัญชีกลาง. (2544). **ตารางอายุการใช้งานและอัตราค่าเสื่อมราคาทรัพย์สิน**. เข้าถึงเมื่อ 25 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงจาก http://www.moe.go.th/webfnd/mo29.htm

_____. (2555). **หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างอาคาร.** เข้าถึงเมื่อ 25 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงจาก http://www.gprocurement.go.th/

_____. (ม.ป.ป.). **Factor F งานก่อสร้างอาคาร.** เข้าถึงเมื่อ 25 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงจาก http://www.gprocurement.go.th/

กระทรวงพลังงาน. (2557). **ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.** เข้าถึงเมื่อ 16 สิงหาคม 2557. เข้าถึงจาก http://www.2e-building.com/article.php?cat=knowledge&id=173

_____. (ม.ป.ป.). **ความเป็นมาของโครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ.** เข้าถึงเมื่อ 25 กันยายน 2557. เข้าถึงจาก http://www.2e-building.com/governmentbuilding/about-us.php?

_____. (ม.ป.ป). **เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน (ในกรณีปรับปรุงอาคารเดิม): กรณีศึกษา อาคารอนุรักษ์พลังงานติดฉลากระดับดีเด่น.** เข้าถึงเมื่อ 5 เมษายน 2557. เข้าถึงจาก www2.dede.go.th/km_beep/innovation1.doc

_____. (ม.ป.ป.). **เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน.** ม.ป.ท.

กระทรวงพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2548). **การเลือกใช้วัสดุเพื่ออนุรักษ์พลังงาน.** หนังสือชุดรู้'รักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. ม.ป.ท.

_____. (2553). **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553.** เข้าถึงเมื่อ 6 เมษายน 2557. เข้าถึงจาก http://www.energyvision.co.th/14258361

_____. (2555). "ประกาศอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง กำหนดคุณสมบัติ หลักเกณฑ์ วิธีการ เงื่อนไข วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน (ฉบับที่ 1) พ.ศ. 2555." 30 มกราคม.

_____. (ม.ป.ป.). **Building EnergyCode Software** [โปรแกรมคอมพิวเตอร์]. กรุงเทพฯ

กระทรวงพลังงาน. ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). **คู่มือโปรแกรม Building Energy Code: การตรวจประเมินอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย.** เข้าถึงเมื่อ 16 สิงหาคม 2557. เข้าถึงจาก http://2e.araidee.com/images/userfiles/files/1422955156_9741.pdf

กระทรวงพลังงาน. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2556). **โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ ปีงบประมาณ 2557.** เข้าถึงเมื่อ 25 ตุลาคม 2557. เข้าถึงจาก http://www.e-report.energy.go.th

กระทรวงพลังงาน. สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. (ม.ป.ป.). **หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าผลตอบแทนทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์.** เข้าถึงเมื่อ 29 มิถุนายน 2557. เข้าถึงจาก http://www2.dede.go.th/webpage/frame.htm

กระทรวงพาณิชย์. สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า. (2557). **ราคาสินค้าเฉลี่ยวัสดุก่อสร้างของจังหวัดเชียงราย.** เข้าถึงเมื่อ 25 พฤษภาคม 2557.เข้าถึงจาก http://www.price.moc.go.th/price/struct/index

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (ม.ป.ป.). **โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า.** เข้าถึงเมื่อ 19 กรกฎาคม 2557. เข้าถึงจาก https://www.pea.co.th/Documents/Rate2012.pdf

ณัฐพล เตชพิชิตโชค. (2556). “อิทธิพลของสารเปลี่ยนสถานะที่มีผลต่อพฤติกรรมทางความร้อนของช่องใต้หลังคา.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ดลยา ศิริปรุ. (2548). “แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน: กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทสพล เขตเจนการ. (2550). “การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์.” เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศ ณ โรงแรมเวลคัม จอมเทียน บีช จังหวัดชลบุรี, 17-19 ตุลาคม.

ธงชัย ฟองสมุทร, รศ.ดร. (ม.ป.ป.). **กลยุทธ์พิชิตเป้าหมายลดการใช้พลังงาน10-15%.** เข้าถึงเมื่อ 22 มิถุนายน 2557. เข้าถึงจาก http://www.e-report.energy.go.th/cabinetfiles/ESaving55p2

ธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล. (2555). “ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนของอาคารในเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้น”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนาคารกรุงไทย. บริษัทมหาชนจำกัด. (2558) **อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ.** เข้าถึงเมื่อ 19 กันยายน 2558. เข้าถึงจากhttp://www.ktb.co.th/ktb/Download/rateFee/RateFeeDownload_3795loan26_05_58.pdf

ปริมลาภ วสุวัต, ร.อ.หญิง. (2542). “กลยุทธการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ: กรณีศึกษา อาคารกองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศดอนเมือง.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรีชญา มหัทธนทวี. (2555). การใช้โปรแกรม EnergyPlus. เอกสารประกอบวิชา 261 401 การออกแบบสถาปัตยกรรมขั้นสูง 1 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พีระพงษ์ โมลิกา. (2546). “การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทหอสมุดในสถาบันการศึกษาเพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา: อาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

มนตรี ยืนสา. (2556). “การศึกษาความคุ้มค่าของการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าหอพักชาย 3 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.” เข้าถึงเมื่อ 15 มิถุนายน 2557. เข้าถึงจาก http://library.cmu.ac.th/faculty/econ/Exer751409/2556/Exer2556_no151

มัลลิกา ปู่เพ็ชร์. (2555). “แนวทางการพัฒนาเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของอาคารในแบบประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

วัชระ มั่งวิทิตกุล. (2544). **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: อินเตอร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

วุฒิพงศ์ แสนบุดดา. (2552). “แนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติ กรณีศึกษา:ศาลากลางจังหวัดนนทบุรี.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ. (2543). “อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำนักงบประมาณ. (ม.ป.ป.). **ระเบียบ หลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงบประมาณ.** เข้าถึงเมื่อ 25 พฤษภาคม 2558. เข้าถึงจาก http://www.bb.go.th/bbweb/?page_id=6639

สุนทร บุญญาธิการ. (2545). **การออกแบบประสานระบบมหาวิทยาลัยชินวัตร.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สุรพล เดชพล. (2552). “แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานราชการ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุวัฒน์ ผาบจันดา. (2551). **การพัฒนากระจกสำหรับใช้ป้องกันรังสีอินฟราเรด สำหรับผลิตหน้าต่างอนุรักษ์พลังงาน.** เข้าถึงเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2558. เข้าถึงจาก http://www.research.sci.ubu.ac.th/System-Research/Detail/detailProj.php?index=2551A11702017

โสภณ ผลสุขการ. (2551). “กลยุทธการบริหารจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุสรา ศรีสรวล. (2545). “การศึกษาวัสดุผิวเคลือบสะท้อนความร้อน.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อภิชญา อธิคมบัณฑิตกุล. (2555). “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุหลังคาที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนทั่วไป.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อภิชญา อธิคมบัณฑิตกุล. (2556) “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนหลังคาทั่วไป.” ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี 2556 Built Environment Research Associates Conference 2013; BERAC 4,** 3-9. กรุงเทพฯ: จี.บี.พี. เซ็นเตอร์

อัจฉรา ชีวะตระกูลกิจ. (ม.ป.ป.). **การประเมินความคุ้มค่าของโครงการ.** เข้าถึงเมื่อ 29 มิถุนายน 2558. เข้าถึงจาก http://audit.anamai.moph.go.th/download/km_center/

EnergyPlus [computer program]. (1996). Washington: U.S. Department of Energy Building Technologies.

Ho, Paul H.K. (1997). “Computer software for overall thermal transfer value calculation for building in Hong Kong.” **ASR Journal**, no. 83-90. Accessed May 12, 2015. Available from http://anzasca.net/wpcontent/uploads/2014/08/12_ANZASC_1997_Ho.pdf

Meckler, Milton. (1994). **Retrofitting of Buildings for Energy Conservation.** 2nd ed. Lilburn: The Fairmont Press.

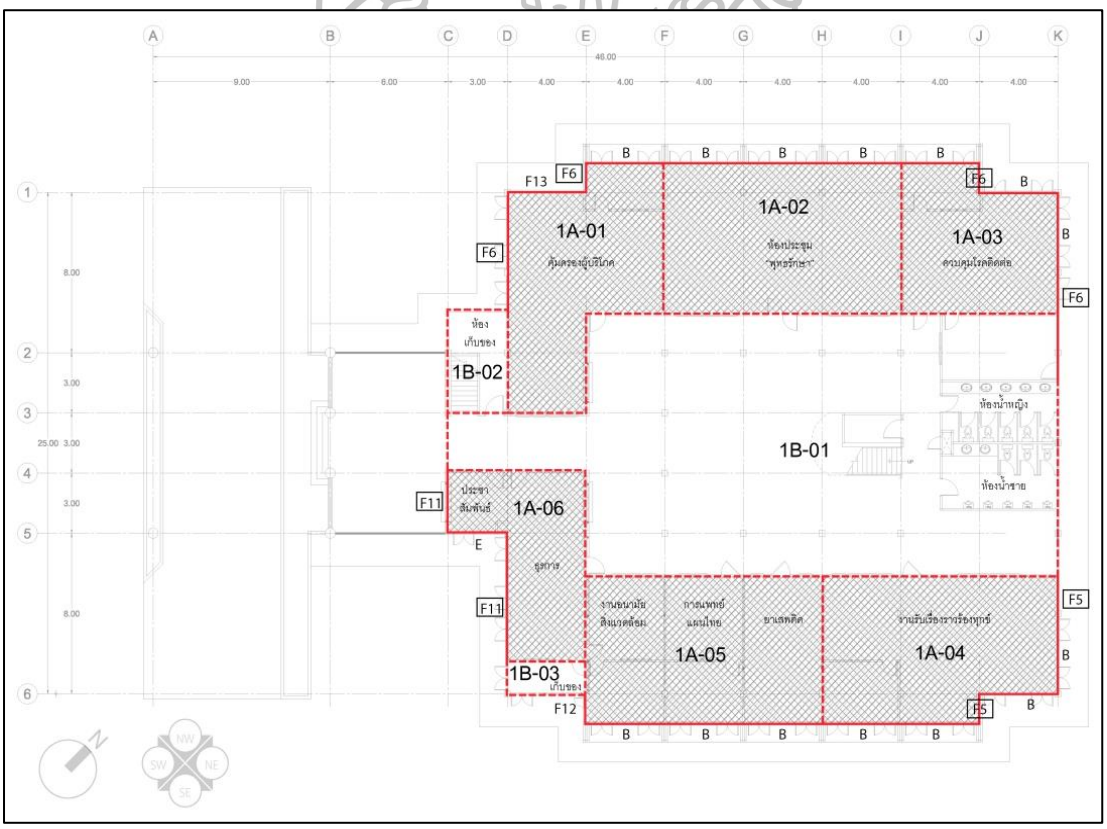
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ระบุในการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 และ โปรแกรม EnergyPlus 8.1

ตารางที่ 70 รายละเอียดการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 1

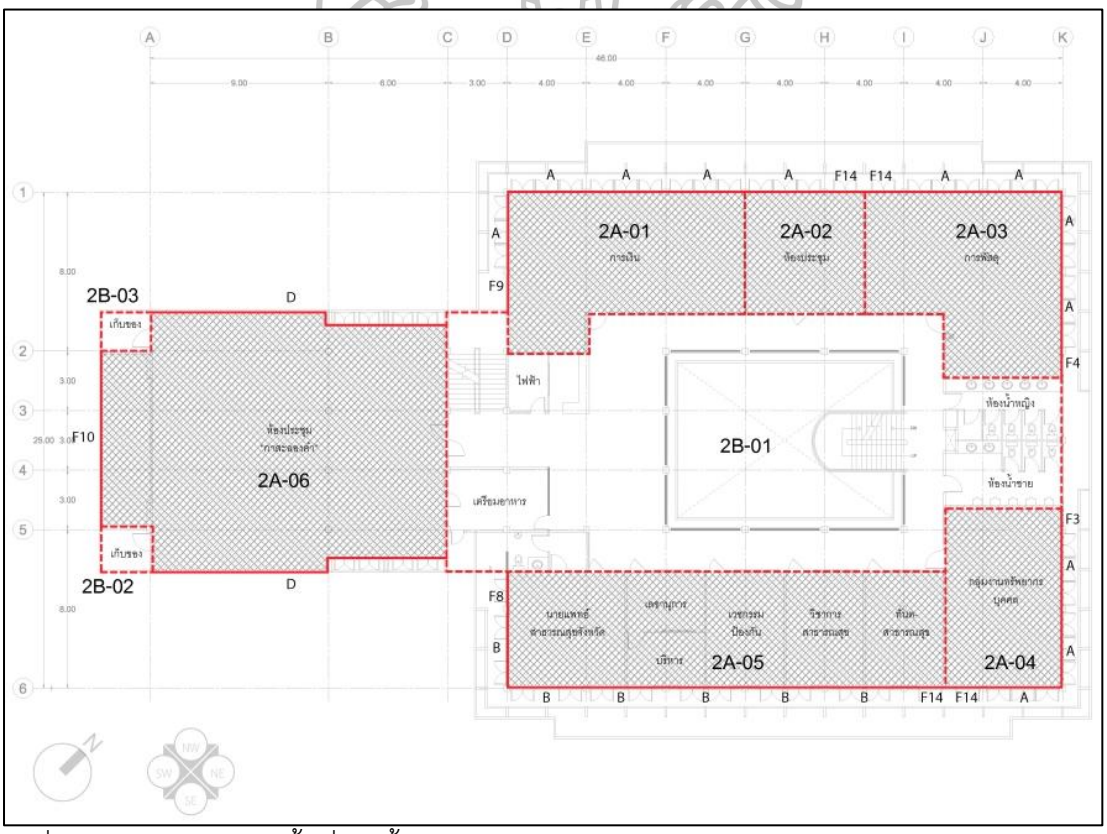
โซน A (ปรับอากาศ)			โซน B (ไม่ปรับอากาศ)		
โซน	**การใช้งาน**	**พื้นที่ (ตร.ม.)**	**โซน**	**การใช้งาน**	**พื้นที่ (ตร.ม.)**
1A-01	คุ้มครองผู้บริโภค	72.20	1B-01	โถงกลาง,ห้องน้ำ	359.00
1A-02	ห้องประชุมพุทธรักษา	89.96	1B-02	ห้องไฟฟ้า	10.15
1A-03	ควบคุมโรคติดต่อ	52.35	1B-03	ห้องเก็บของ	6.15
1A-04	รับเรื่องราวร้องทุกข์	80.50			
1A-05	อนามัย,แผนไทย,สิ่งเสพติด	84.15			
1A-06	ธุรการ,ประชาสัมพันธ์	52.85			
	รวมพื้นที่	432.01		รวมพื้นที่	375.3
				รวมพื้นที่ชั้น 1	807.31



รูปที่ 13 แสดงผังการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 1 ในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ตารางที่ 71 รายละเอียดการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 2

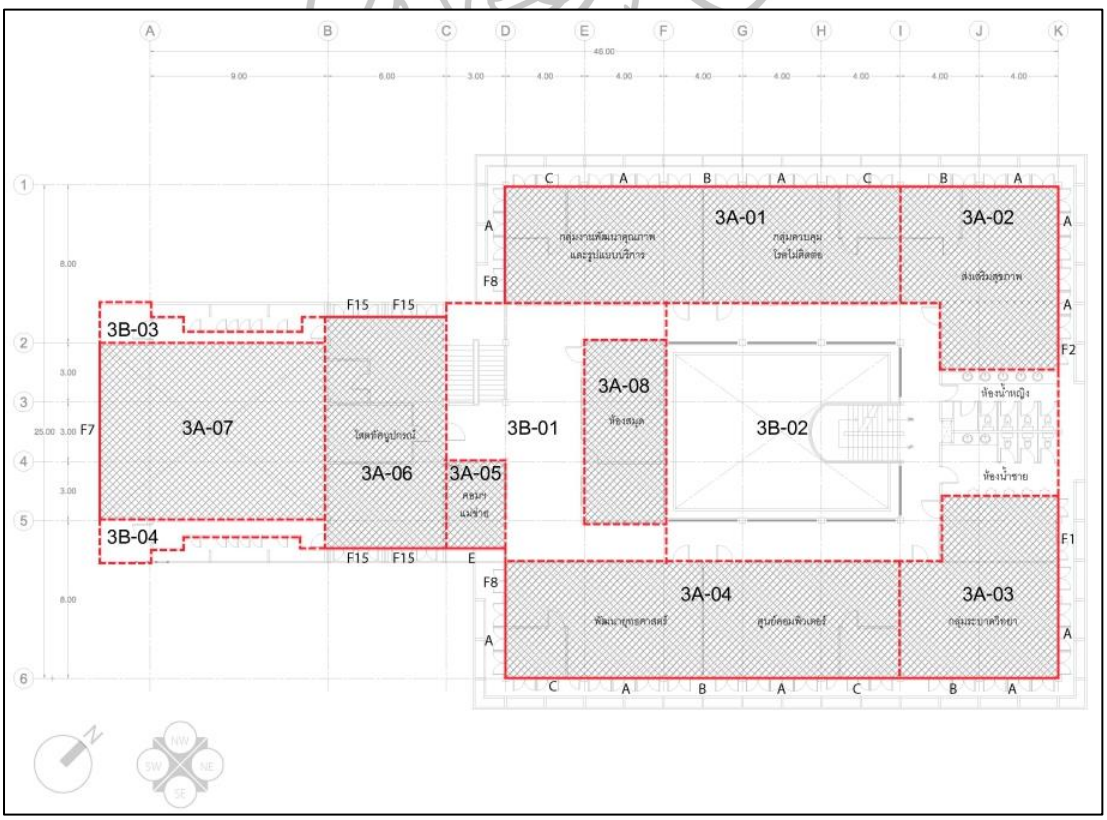
โซน A (ปรับอากาศ)			โซน B (ไม่ปรับอากาศ)		
โซน	**การใช้งาน**	**พื้นที่ (ตร.ม)**	**โซน**	**การใช้งาน**	**พื้นที่ (ตร.ม)**
2A-01	การเงิน	79.00	2B-01	โถงกลาง,ห้องน้ำ,	230.10
2A-02	ห้องประชุม	35.35		เตรียมอาหาร,ไฟฟ้า	
2A-03	พัสดุ	78.55	2B-02	ห้องเก็บของ	5.00
2A-04	ทรัพยากรบุคคล	53.15	2B-03	ห้องเก็บของ	5.00
2A-05	นายแพทย์,เลขฯ,	116.15			
	วิชาการ,ทันตะ				
2A-06	ห้องประชุมกาสะลองคำ	207.65			
	รวมพื้นที่	569.85		รวมพื้นที่	240.1
				รวมพื้นที่ชั้น 2	809.95



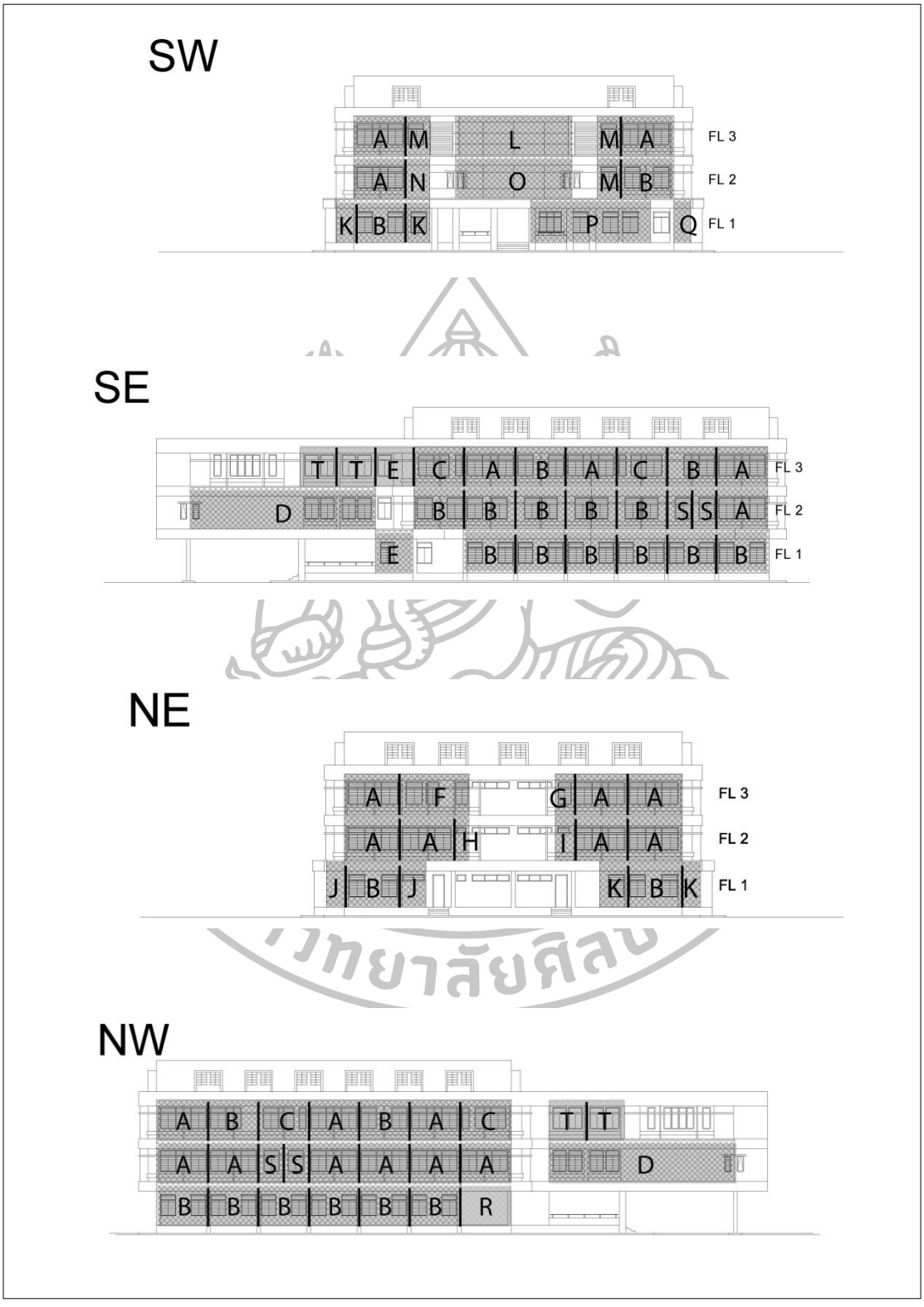
รูปที่ 14 แสดงผังการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 2 ในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ตารางที่ 72 รายละเอียดการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 3

โซน A (ปรับอากาศ)			โซน B (ไม่ปรับอากาศ)		
โซน	**การใช้งาน**	**พื้นที่ (ตร.ม)**	**โซน**	**การใช้งาน**	**พื้นที่ (ตร.ม)**
3A-01	พัฒนาคุณภาพ,	114.8	3B-01	โถงกลาง	80.15
	โรคไม่ติดต่อ		3B-02	โถงกลาง,ห้องน้ำ	116
3A-02	ส่งเสริมสุขภาพ	65.7	3B-03	ห้องเก็บของ	10
3A-03	ระบาดวิทยา	45.75	3B-04	ห้องเก็บของ	10
3A-04	พัฒนายุทธศาสตร์,คอมฯ	114.7			
3A-05	ห้องคอมฯแม่ข่าย	13.5			
3A-06	โสตทัศนูปกรณ์	68.35			
3A-07	ห้องประชุมกาสะลองคำ	-			
3A-08	ห้องสมุด	37.3			
	รวมพื้นที่	460.1		รวมพื้นที่	216.15
				รวมพื้นที่ชั้น 3	676.25



รูปที่ 15 แสดงผังการแบ่งพื้นที่โซนชั้น 3 ในโปรแกรม BEC v.1.0.6



รูปที่ 16 แสดงการแบ่งรูปแบบของผนังทิศต่างๆ สำหรับใช้ในโปรแกรม BEC v.1.0.6

รายละเอียดข้อมูลที่บันทึกลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6

PROJECT : THESIS_RENOVATE

TYPE : OFFICE & SCHOOL

LOCATION : CHIANG RAI

ตารางที่ 73 DATABASE – ENVELOPE – MATERIAL - OPAQUE MATERIALS

No	Material Name	Themal Conductivity (W/m-K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (kJ/kg-K)
1	ปูนฉาบ	0.720	1860	0.84
2	อิฐมอญ	0.498	1615	0.79
3	ฉนวนใยแก้ว_24_65	0.035	24	0.96
4	ฉนวนใยแก้ว_32_50	0.033	32	0.96
5	ฉนวนโฟม_25_44	0.033	25	1.21
6	ฉนวนโฟม_25_59	0.031	25	1.21
7	แผ่นยิปซั่ม_12	0.318	760	1.09
8	แผ่นยิปซั่มบุฟอยล์_12	0.322	745	1.09
9	ฉนวนใยแก้วเหนือฝ้า_12_75	0.038	12	0.96
10	ฉนวนใยแก้วเหนือฝ้า_12_150	0.0378	12	0.96
11	คอนกรีตสแลบ_150	1.442	2400	0.92
12	แผ่นยิปซั่ม_09	0.306	725	1.09

หมายเหตุ : ฉนวนใยแก้ว_24_65 คือ ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 24 กก/ลบ.ม. และหนา 65 มม.

ตารางที่ 74 DATABASE – ENVELOPE – MATERIAL- TRANSPARENT MATERIALS

No	Material Name	U-Value Summer Daytime (W/m^2-K)	SHGC	Visible Rays (Reflect)	Visible Rays (Trans)
1	G00_กระจกโฟลตใส	5.83	0.83	8	91
2	G01_กระจกโฟลตสีเขียวอ่อน	6.23	0.58	7	72
3	G02_กระจกโฟลตสีเขียวเข้ม	6.17	0.57	5	44
4	G03_กระจกสะท้อนแสง สีเขียว	3.58	0.69	12	81
5	F01_กระจกโฟลตใสติดฟิล์มใส	5.62	0.48	8	61
6	F03_กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีฟ้าใส	5.62	0.46	27	47
7	F04_กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีเทาอ่อน	5.62	0.50	7	60

BEC : Warning

For Transparent Materials : If you input U-Value, BEC will use your value to calculate OTTV/RTTV. If you input Thickness and Thermal Conductivity (k), BEC will calculate U-Value for you

ตารางที่ 75 DATABASE – ENVELOPE – MATERIAL- AIR GAP – WALL

No	Material Name	Air Gap Type	Thickness (m.)	Air Gap Resistance
1	ช่องอากาศ_30	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.02	0.150
2	ช่องอากาศ_90	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.09	0.158
3	ช่องอากาศ_90_บุฟอยล์	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.09	0.602

ตารางที่ 76 DATABASE – ENVELOPE – MATERIAL- AIR GAP – ROOF

No	Material Name	Air Gap Type	Thickness (m)	Air Gap Resistance
1	ช่องอากาศ_35_มีฟอยล์	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.35	1.356
2	ช่องอากาศ_45	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.45	0.458

ตารางที่ 77 DATABASE – ENVELOPE – COMPONENT OF SECTION – OPAQUE COMPONENT

No	Component Name	Wall / Roof	Outer Surface Color	Inner Surface Type
1	W00	Wall	Surface of pale color	แผ่รังสีสูง
2	W01	Wall	Reflective and white surface	แผ่รังสีสูง
3	W02	Wall	Surface of pale color	แผ่รังสีสูง
4	W03	Wall	Surface of pale color	แผ่รังสีสูง
5	W04	Wall	Reflective and white surface	แผ่รังสีสูง
6	W05	Wall	Reflective and white surface	แผ่รังสีสูง
7	W06	Wall	Surface of pale color	แผ่รังสีสูง
8	W07	Wall	Surface of pale color	แผ่รังสีสูง
9	W08	Wall	Surface of pale color	แผ่รังสีสูง
10	W09	Wall	Surface of pale color	แผ่รังสีสูง
14	R00	Roof	Surface of slightly dark color	แผ่รังสีสูง
15	R01	Roof	Reflective and white surface	แผ่รังสีสูง
16	R02	Roof	Surface of slightly dark color	แผ่รังสีสูง
17	R03	Roof	Surface of slightly dark color	แผ่รังสีสูง
18	R04	Roof	Reflective and white surface	แผ่รังสีสูง
19	R05	Roof	Reflective and white surface	แผ่รังสีสูง

ตารางที่ 78 DATABASE – ENVELOPE – COMPONENT OF SECTION – TRANSPARENT COMPONENT

No	Component Name	Wall/Roof	SHGC	Transmittance
1	G00	Wall	0.83	91
2	G01	Wall	0.58	72
3	G02	Wall	0.57	44
4	G03	Wall	0.69	81
5	F01	Wall	0.48	61
6	F02	Wall	0.56	57
7	F03	Wall	0.50	60

ตารางที่ 79 DATABASE – ENVELOPE – SECTION OF WALL

No	Section Name	Wall/Roof	Section Detail	
			Opaque Area (m^2)	Transparent Area (m^2)
1	Wall_A	Wall	5.80	6.00
2	Wall_B	Wall	7.80	4.00
3	Wall_C	Wall	6.80	5.00
4	Wall_D	Wall	35.25	9.00
5	Wall_E	Wall	6.85	2.00
6	Wall_F	Wall	6.60	5.20
7	Wall_G	Wall	2.825	1.60
8	Wall_H	Wall	2.94	0.60
9	Wall_I	Wall	3.285	0.60
10	Wall_J	Wall	7.65	1.20
11	Wall_K	Wall	8.73	2.55
12	Wall_L	Wall	27.00	0
13	Wall_M	Wall	2.425	2.00
14	Wall_N	Wall	4.425	0
15	Wall_O	Wall	25.00	2.00
16	Wall_P	Wall	18.55	8.00
17	Wall_Q	Wall	3.54	0
18	Wall_R	Wall	11.80	0
19	Wall_S	Wall	3.90	2.00
20	Wall_T	Wall	4.85	4.00
21	Roof	Roof	667.75	0

ตารางที่ 80 DATABASE – ENVELOPE – WALL

No	Wall Name	Wall/ Roof	Plane Azimuth	Inclination	Wall Detail	SC
1	1A-01-SW	Wall	45	90	Wall_K	0.44
2	1A-01-NW	Wall	135	90	Wall_B, Wall_R	0.49, 0
3	1A-02-NW	Wall	135	90	Wall_B	0.49
4	1A-03-NW	Wall	135	90	Wall_B	0.49
5	1A-03-NE	Wall	225	90	Wall_B,Wall_K	0.54, 0.53
6	1A-04-NE	Wall	225	90	Wall_B, Wall_J	0.54, 0.52
7	1A-04-SE	Wall	315	90	Wall_B	0.42
8	1A-05-SE	Wall	315	90	Wall_B	0.42
9	1A-05-SW	Wall	45	90	Wall_Q	0
10	1A-06-SW	Wall	45	90	Wall_P	0.61
11	1A-06-SE	Wall	315	90	Wall_E	0.63
12	2A-01-NW	Wall	135	90	Wall_A	0.53
13	2A-01-SW	Wall	45	90	Wall_A, Wall_N	0.44, 0
14	2A-02-NW	Wall	135	90	Wall_A, Wall_S	0.53, 0.56
15	2A-03-NW	Wall	135	90	Wall_A, Wall_S	0.53, 0.56
16	2A-03-NE	Wall	225	90	Wall_A, Wall_I	0.53, 0.52
17	2A-04-NE	Wall	225	90	Wall_A, Wall_H	0.53, 0.52
18	2A-04-SE	Wall	315	90	Wall_A, Wall_S	0.43, 0.43
19	2A-05-SE	Wall	315	90	Wall_B, Wall_S	0.42, 0.43
20	2A-05-SW	Wall	45	90	Wall_B, Wall_M	0.41, 0.61
21	2A-06-SW	Wall	45	90	Wall_O	1
22	2A-06-NW	Wall	135	90	Wall_D	0.50
23	2A-06-SE	Wall	315	90	Wall_D	0.41
24	3A-01-NW	Wall	135	90	Wall_A, Wall_B, Wall_C	0.53, 0.49, 0.53
25	3A-01-SW	Wall	45	90	Wall_A, Wall_M	0.44, 0.61
26	3A-02-NW	Wall	135	90	Wall_A, Wall_B	0.53, 0.49
27	3A-02-NE	Wall	225	90	Wall_A, Wall_G	0.53, 0.52
28	3A-03-NE	Wall	225	90	Wall_A, Wall_F	0.53, 0.58

ตารางที่ 80 DATABASE – ENVELOPE – WALL (ต่อ)

No	Wall Name	Wall/ Roof	Plane Azimuth	Inclination	Wall Detail	SC
29	3A-03-SE	Wall	315	90	Wall_A, Wall_B	0.43, 0.42
30	3A-04-SE	Wall	315	90	Wall_A, Wall_B, Wall_C	0.43, 0.42, 0.43
31	3A-04-SW	Wall	45	90	Wall_A, Wall_M	0.44, 0.61
32	3A-05-SE	Wall	315	90	Wall_E	0.63
33	3A-06-NW	Wall	135	90	Wall_T	0.50
34	3A-06-SE	Wall	315	90	Wall_T	0.41
35	3A-07-SW	Wall	45	90	Wall_L	0
36	Roof	Roof	0	0	Roof	0

ตารางที่ 81 DATABASE – LIGHTING SYSTEM – LIGHTING EQUIPMENT

No	Luminaire Code	Electric Power Required
1	Fluorescent_18	24
2	Fluorescent_36	42
3	Compact_9	9

ตารางที่ 82 DATABASE – A/C SYSTEM – SPLIT TYPE & WINDOW TYPE

No	Code	Cooling Capacity	Unit	Rated Power
1	Split_25000	25.696	kBtu/h	2.25
2	Split_17000	17.05	kBtu/h	1.5
3	Split_32000	32.476	kBtu/h	2.819

ตารางที่ 83 ข้อมูล Equipment ที่บันทึกในโปรแกรม

ชื่อห้อง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	จำนวนคอมฯ (เครื่อง)	เครื่องใช้อื่นๆ (วัตต์)	ZONE (Watt)	
1. ประชาสัมพันธ์	225	1		1A-06	1,125
2. ธุรการ	900	4			
3. งานประสานภาครัฐ	450	2		1A-05	1,350
4. การแพทย์แผนไทย	450	2			
5. ยาเสพติด	450	2			
6. งานรับเรื่องราวร้องเรียน	900	4		1A-04	900
7. ควบคุมโรคติดต่อ	900	4		1A-03	900
8. คุ้มครองผู้บริโภค	900	4		1A-01	900
9. เตรียมอาหาร	400	0	400	2B-01	400
10. หัวหน้าฝ่ายบริหาร	450	2		2A-05	1,800
11. เวชกรรมป้องกัน	450	2			
12. วิชาการสาธารณสุข	450	2			
13. ทันตสาธารณสุข	450	2			
14. กลุ่มงานทรัพยากรบุคคล	1350	6		2A-04	1,350
15. การพัสดุ	1350	6		2A-03	1,350
16. การเงิน	1350	6		2A-01	1,350
17. โสตทัศนูปกรณ์	675	3		3A-06	675
18. พัฒนายุทธศาสตร์	900	4		3A-04	2,475
19. ศูนย์คอมพิวเตอร์	1575	7			
20. กลุ่มระบาดวิทยา	675	3		3A-03	675
21. ส่งเสริมสุขภาพ	900	4		3A-02	900
22. กลุ่มควบคุมโรคไม่ติดต่อ	450	2		3A-01	1,125
23. กลุ่มงานพัฒนาคุณภาพ	675	3			
24. ห้องสมุด	225	1		3A-08	225
รวมทั้งหมด	**17,500**	76	400	-	17,500

ตารางที่ 84 BUILDING MODEL – BUILDING ZONE

No	Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m^2)
1	1A-01	1	72.20
2	1A-02	1	89.96
3	1A-03	1	52.35
4	1A-04	1	80.50
5	1A-05	1	84.15
6	1A-06	1	52.85
7	2A-01	2	79.00
8	2A-02	2	35.35
9	2A-03	2	78.55
10	2A-04	2	53.15
11	2A-05	2	116.15
12	2A-06	2	207.65
13	3A-01	3	114.80
14	3A-02	3	65.70
15	3A-03	3	45.75
16	3A-04	3	114.70
17	3A-05	3	13.50
18	3A-06	3	68.35
19	3A-07	3	207.65
20	3A-08	3	37.3
21	1B-01	1	359
22	1B-02	1	10.15
23	1B-03	1	6.15
24	2B-01	2	230.10
25	2B-02	2	5
26	2B-03	2	5
27	3B-01	3	80.15
28	3B-02	3	116
29	3B-03	3	10
30	3B-04	3	10

รายละเอียดข้อมูลที่บันทึกลงในโปรแกรม EnergyPlus 8.1

Simulation Parameters

Version

Version Identifier : 8.1

Simulation Control

ตารางที่ 85 Simulation Control

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		No
Do System Sizing Calculation		No
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes

Building

ตารางที่ 86 Building

Field	Units	Obj1
Name		Provincial Health Office
North Axis	deg	-45
Terrain		Country
Loads Convergence Tolerance Value		.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	.4
Solar Distribution		FullExteriorWithReflections
Maximun Number of Warmup Days		25
Minimun Number of Warmup Days		6

Surface Convection Algorithm : Inside

Algorithm : TARP

Surface Convection Algorithm : Outside

Algorithm : DOE-2

Time Step

Number of Timesteps per Hour : 4

Heat Balance Algorithm

ตารางที่ 87 Heat Balance Algorithm

Field	Units	Obj1
Algorithm		ConductionTransferFunction
Surface Temperature Upper Limit	C	200
Min Surface Convection Heat Transfer Coef. Value	W/m^2-K	.1
Max Surface Convection Heat Transfer Coef. Value	W/m^2-K	1000

Location and Climate

Site Location

ตารางที่ 88 Site Location

Field	Units	Obj1
Name		ChiangRai
Latitude	deg	19.917
Longgitude	deg	99.833
Time Zone	hr	7
Elevation	m	394

Run Period

ตารางที่ 89 Run Period

Field	Units	Obj1
Name		Run Period Office
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		UseWeatherFile
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		No
Apply Weekend Holiday Rule		Yes
Use Weather File Rain Indicators		No
Use Weather File Snow Indicators		No
Number of time Runperiod to be Repeat		1
Increment Day of Week on repeat		No
Start Year		2001

Run Period Control : Special Days

ตารางที่ 90 Run Period Control : Special Days

Object	Name	Start Date	Duration	Special Day Type
Obj1	New Year Day	January 1	3	Holiday
Obj2	Makha Bucha Day	March 7	1	Holiday
Obj3	Chakri Day	April 6	1	Holiday
Obj4	Songkarn Day	April 13	4	Holiday
Obj5	Coronation Day	May 5	1	Holiday
Obj6	Royal Ploughing	May 9	1	Holiday
Obj7	Visakha Bucha Day	June 4	1	Holiday
Obj8	Arsarnha Bucha Day	August 2	1	Holiday
Obj9	Queen's Birthday	August 12	1	Holiday
Obj10	King Chulalongkorn	October 23	1	Holiday
Obj11	King's Birthday	December 5	1	Holiday
Obj12	Constitution Day	December 10	1	Holiday
Obj13	New Year's Eve	December 31	1	Holiday

Schedules

Schedule Type Limits

ตารางที่ 91 Schedule Type Limits

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj4	Obj5
Name		Fraction	Temperature	Activity	TempControl
Lower Limit Value	varies	0	0	59	0
Upper Limit Value	varies	1	50	250	4
Numeric Type		Continuous	Continuous	Continuous	Discrete
Unit Type					

Schedule Day Hourly

ตารางที่ 92 Schedule Day Hourly

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		PeopleDay_W	PeopleDay_H	ActDay_W	ActDay_H	LightDay_W	LightDay_H
ScheduleType		Fraction	Fraction	Activity	Activity	Fraction	Fraction
Hour 1	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 2	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 3	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 4	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 5	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 6	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 7	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 8	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 9	varies	1	0	117	60	1	0
Hour 10	varies	1	0	117	60	1	0
Hour 11	varies	1	0	117	60	1	0
Hour 12	varies	1	0	117	60	1	0
Hour 13	varies	0.5	0	117	60	0.5	0
Hour 14	varies	1	0	117	60	1	0
Hour 15	varies	1	0	117	60	1	0
Hour 16	varies	1	0	117	60	1	0
Hour 17	varies	1	0	117	60	1	0
Hour 18	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 19	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 20	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 21	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 22	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 23	varies	0	0	60	60	0	0
Hour 24	varies	0	0	60	60	0	0

ตารางที่ 92 Schedule Day Hourly (ต่อ)

Field	Units	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Name		EqDay_W	EqDay_H	InfilDay_W	InfilDay_H	InfilConDay_W	InfilConDay_H
ScheduleType		Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction
Hour 1	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 2	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 3	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 4	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 5	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 6	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 7	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 8	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 9	varies	1	0	1	1	0	1
Hour 10	varies	1	0	1	1	0	1
Hour 11	varies	1	0	1	1	0	1
Hour 12	varies	1	0	1	1	0	1
Hour 13	varies	0.5	0	1	1	1	1
Hour 14	varies	1	0	1	1	0	1
Hour 15	varies	1	0	1	1	0	1
Hour 16	varies	1	0	1	1	0	1
Hour 17	varies	1	0	1	1	0	1
Hour 18	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 19	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 20	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 21	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 22	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 23	varies	0	0	1	1	1	1
Hour 24	varies	0	0	1	1	1	1

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 92 Schedule Day Hourly (ต่อ)

Field	Units	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16	Obj17	Obj18
Name		VentDay_W	VentDay_H	CTLDay_W	CTLDay_H	CTMPDay_W	CTMPDay_H
ScheduleType		Fraction	Fraction	TempComtrol	TempComtrol	Temperature	Temperature
Hour 1	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 2	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 3	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 4	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 5	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 6	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 7	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 8	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 9	varies	1	0	2	0	25	50
Hour 10	varies	1	0	2	0	25	50
Hour 11	varies	1	0	2	0	25	50
Hour 12	varies	1	0	2	0	25	50
Hour 13	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 14	varies	1	0	2	0	25	50
Hour 15	varies	1	0	2	0	25	50
Hour 16	varies	1	0	2	0	25	50
Hour 17	varies	1	0	2	0	25	50
Hour 18	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 19	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 20	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 21	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 22	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 23	varies	0	0	0	0	50	50
Hour 24	varies	0	0	0	0	50	50

มหาวิทยาลัยศิลปากร

Surface Construction Element

ตารางที่ 93 Material

Obj	Name	Roughness	Thickness (m)	Conductivity (W/m-K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kg-K)
1	CementPlaster	Medium Rough	0.015	0.72	1860	840
2	FiredBrick	Medium Rough	0.07	0.498	1615	790
3	RubberTile	Medium Rough	0.003	0.573	1900	1260
4	ConcreteFloor	Medium Rough	0.15	1.442	2400	920
5	GypsumBoard	Medium Rough	0.009	0.306	725	1090
6	Wood	Medium Rough	0.05	0.15	608	1630
7	ConcreteRoof	Medium Rough	0.15	1.442	2400	920

ตารางที่ 94 Material Air Gap

Obj	Name	Thermal Resistance (m^2-K/W)
1	Ceiling air space 45 cm	0.458
2	Ceiling air space Foil 35 cm	1.356

ตารางที่ 95 Window Material Simple Glazing System

Obj	Name	U-Factor	SHGC	Visible Transmittanc
1	Clear_6mm	5.83	0.83	0.91

ตารางที่ 96 Construction

Obj	Name	Outside Layer	Layer 2	Layer 3
1	Exterior Wall	CementPlaster	FiredBrick	CementPlaster
2	Interior Wall	CementPlaster	FiredBrick	CementPlaster
3	Floor Rubber Tile	ConcreteFloor	RubberTile	
4	Glass Window	Clear_6mm		
5	Wooden Door	Wood		
6	Flat Roof	ConcreteRoof		

Internal Gains

ตารางที่ 97 People

Obj	Name	Zone	Schedule Name	Calculation Method	Number of People
1	1B_PeopleOffice	1B	PeopleYear	People	2
2	1C_PeopleOffice	1C	PeopleYear	People	7
3	1D_PeopleOffice	1D	PeopleYear	People	4
4	1E_PeopleOffice	1E	PeopleYear	People	4
5	1F_PeopleOffice	1F	PeopleYear	People	4
6	1H_PeopleOffice	1H	PeopleYear	People	10
7	1J_PeopleOffice	1J	PeopleYear	People	120
8	1K_PeopleOffice	1K	PeopleYear	People	9
9	2A_PeopleOffice	2A	PeopleYear	People	3
10	2B_PeopleOffice	2B	PeopleYear	People	2
11	2C_PeopleOffice	2C	PeopleYear	People	3
12	2D_PeopleOffice	2D	PeopleYear	People	3
13	2E_PeopleOffice	2E	PeopleYear	People	3
14	2F_PeopleOffice	2F	PeopleYear	People	6
15	2G_PeopleOffice	2G	PeopleYear	People	100
16	2I_PeopleOffice	2I	PeopleYear	People	100
17	2L_PeopleOffice	2L	PeopleYear	People	30
18	3A_PeopleOffice	3A	PeopleYear	People	6
19	3B_PeopleOffice	3B	PeopleYear	People	14
20	3C_PeopleOffice	3C	PeopleYear	People	10
21	3D_PeopleOffice	3D	PeopleYear	People	11
22	3E_PeopleOffice	3E	PeopleYear	People	6
23	3F_PeopleOffice	3F	PeopleYear	People	6
24	3H_PeopleOffice	3H	PeopleYear	People	9
25	3M_PeopleOffice	3M	PeopleYear	People	5
26	3P_PeopleOffice	3P	PeopleYear	People	18

ตารางที่ 98 Lights

Obj	Name	Zone	Schedule Name	Calculation Method	Lighting Level (W)
1	1B_LightOffice	1B	LightingYear	LightingLevel	840
2	1C_LightOffice	1C	LightingYear	LightingLevel	1134
3	1D_LightOffice	1D	LightingYear	LightingLevel	588
4	1E_LightOffice	1E	LightingYear	LightingLevel	1302
5	1F_LightOffice	1F	LightingYear	LightingLevel	714
6	1H_LightOffice	1H	LightingYear	LightingLevel	480
7	1J_LightOffice	1J	LightingYear	LightingLevel	1830
8	1K_LightOffice	1K	LightingYear	LightingLevel	108
9	2A_LightOffice	2A	LightingYear	LightingLevel	84
10	2B_LightOffice	2B	LightingYear	LightingLevel	882
11	2C_LightOffice	2C	LightingYear	LightingLevel	504
12	2D_LightOffice	2D	LightingYear	LightingLevel	840
13	2E_LightOffice	2E	LightingYear	LightingLevel	504
14	2F_LightOffice	2F	LightingYear	LightingLevel	1008
15	2G_LightOffice	2G	LightingYear	LightingLevel	3408
16	2I_LightOffice	2I	LightingYear	LightingLevel	1725
17	2L_LightOffice	2L	LightingYear	LightingLevel	42
18	3A_LightOffice	3A	LightingYear	LightingLevel	42
19	3B_LightOffice	3B	LightingYear	LightingLevel	1344
20	3C_LightOffice	3C	LightingYear	LightingLevel	672
21	3D_LightOffice	3D	LightingYear	LightingLevel	672
22	3E_LightOffice	3E	LightingYear	LightingLevel	1344
23	3F_LightOffice	3F	LightingYear	LightingLevel	168
24	3H_LightOffice	3H	LightingYear	LightingLevel	774
25	3M_LightOffice	3M	LightingYear	LightingLevel	336
26	3P_LightOffice	3P	LightingYear	LightingLevel	1410

ตารางที่ 99 Electric Equipment

Obj	Name	Zone	Schedule Name	Calculation Method	Design Level (W)
1	1B_EquipmentOffice	1B	EquipmentYear	EquipmentLevel	225
2	1C_ EquipmentOffice	1C	LightingYear	EquipmentLevel	900
3	1D_ EquipmentOffice	1D	LightingYear	EquipmentLevel	450
4	1E_ EquipmentOffice	1E	LightingYear	EquipmentLevel	450
5	1F_ EquipmentOffice	1F	LightingYear	EquipmentLevel	450
6	1H_ EquipmentOffice	1H	LightingYear	EquipmentLevel	900
7	1J_ EquipmentOffice	1J	LightingYear	EquipmentLevel	900
8	1K_ EquipmentOffice	1K	LightingYear	EquipmentLevel	900
9	2A_ EquipmentOffice	2A	LightingYear	EquipmentLevel	400
10	2B_ EquipmentOffice	2B	LightingYear	EquipmentLevel	450
11	2C_ EquipmentOffice	2C	LightingYear	EquipmentLevel	450
12	2D_ EquipmentOffice	2D	LightingYear	EquipmentLevel	450
13	2E_ EquipmentOffice	2E	LightingYear	EquipmentLevel	450
14	2F_ EquipmentOffice	2F	LightingYear	EquipmentLevel	1350
15	2G_ EquipmentOffice	2G	LightingYear	EquipmentLevel	1350
16	3A_ EquipmentOffice	3A	LightingYear	EquipmentLevel	1350
17	3B_ EquipmentOffice	3B	LightingYear	EquipmentLevel	675
18	3C_ EquipmentOffice	3C	LightingYear	EquipmentLevel	900
19	3D_ EquipmentOffice	3D	LightingYear	EquipmentLevel	1575
20	3E_ EquipmentOffice	3E	LightingYear	EquipmentLevel	675
21	3F_ EquipmentOffice	3F	LightingYear	EquipmentLevel	900
22	3H_ EquipmentOffice	3H	LightingYear	EquipmentLevel	450
23	3M_ EquipmentOffice	3M	LightingYear	EquipmentLevel	900

ภาคผนวก ข
ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรง ของวัสดุที่เลือกศึกษา และการคำนวณค่าลงทุน

สัญลักษณ์และคำศัพท์ด้านคุณสมบัติของวัสดุ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

U	หมายถึง	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม มีหน่วยเป็น W/m^2-K
R	หมายถึง	ค่าความต้านทานความร้อนรวม มีหน่วยเป็น $(m^2.^{\circ}C) / W$
Δx	หมายถึง	ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)
k	หมายถึง	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น $W/(m.^{\circ}C)$
P	หมายถึง	ความหนาแน่นของวัสดุ มีหน่วยเป็น $kg./m^3$
C_p	หมายถึง	ค่าความร้อนจำเพาะ มีหน่วยเป็น kJ/kgK
SHGC	หมายถึง	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านผนังโปร่งแสง
LSG	หมายถึง	ค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน
$R_{VIS-OUT}$	หมายถึง	ค่าการสะท้อนแสงภายนอก
T_{VIS}	หมายถึง	ค่าการส่องผ่านแสง
T_{SOL}	หมายถึง	ค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์
T_{UV}	หมายถึง	ค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเลต

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของวัสดุปรับปรุง

ตารางที่ 100 ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของฉนวนใยแก้วแบบแผ่น

ที่	∆x (m.)	P ($kg./m^3$)	C_p (kJ/kgK)	K (W/m .°C)	R (m2.°C/ W)	size (m. X m.)	ราคาวัสดุ (บาท/แผ่น)	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	หมายเหตุ
1	0.065	24	0.96	0.035	1.857	0.60 x 1.20	187.5	260	ใบเสนอราคา 1 กุมภาพันธ์ 2557 ฉนวนใยแก้วรุ่น Cool Wall T65 ตราช้าง
2	0.05	32	0.96	0.033	1.515	1.22 x 2.44	990	332	ใบเสนอราคา 1 กุมภาพันธ์ 2557 ฉนวนใยแก้วรุ่น CRB Series Both Side Facing ตราช้าง

หมายเหตุ: คุณสมบัติของฉนวน ได้จากรายการวัสดุในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ตารางที่ 101 ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของฉนวนใยแก้วแบบม้วน

ที่	∆x (m.)	p ($kg./m^3$)	C_p (kJ/kgK)	K (W/m .°C)	R (m2.°C/ W)	size (m. X m.)	ราคาวัสดุ (บาท/แผ่น)	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	หมายเหตุ
1	0.075	12	0.96	0.036	1.98	0.60 x 4.00	330	138	ใบเสนอราคา 1 กุมภาพันธ์ 2557 ฉนวนใยแก้วรุ่น Stay Cool 3" Premium
2	0.15	12	0.96	0.038	3.97	0.60 x 4.00	444	185	ใบเสนอราคา 1 กุมภาพันธ์ 2557 ฉนวนใยแก้วรุ่น Stay Cool 6" Premium

หมายเหตุ: คุณสมบัติของฉนวน ได้จากรายการวัสดุในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ตารางที่ 102 ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของแผ่นผนังสำเร็จรูป

ที่	แผ่นผนัง	∆x (m.)	p ($kg./m^3$)	C_p (kJ/kgK)	K (W/m°C)	size (m. X m.)	ราคาวัสดุ (บาท/แผ่น)	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	ราคารวม (บาท)	หมายเหตุ
1	ยิปซั่ม	0.012	760	1.09	0.318	1.20x2.40	172.9		300	รายการประมาณราคา 2558 สพฐ. งานตั้งเคร่าเหล็กชุบสังกะสี และตีฝาวัสดุแผ่นยิปซั่ม 12 มม. ตีด้านเดียว
2	ยิปซั่มบุฟอยล์	0.012	754	1.09	0.322	1.20x2.40	395	138.25		ใบแนะนำราคา 15 ธันวาคม 2557 แผ่นยิปซั่ม HeatBloc 12 มม. ตราช้าง
3	โครงคร่าวเหล็ก ชุบสังกะสี							177.75		ตารางคำนวณค่าวัสดุมวลรวมฯ 2555 กรมบัญชีกลาง (รวมตะปูและฉาบรอยต่อ)

หมายเหตุ: คุณสมบัติของแผ่นยิปซั่ม และแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์ ได้จากรายการวัสดุในโปรแกรม BEC v.1.0.6

ตารางที่ 103 ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของแผ่นยิปซั่มชนิดบุฉนวนโพรีสไตรีนแบบขยายตัว (EPS)

ที่	∆x (m.)	p ($kg./m^3$)	C_p (kJ/kgK)	K (W/m .°C)	R ($m2.°C/ W$)	size (m. X m.)	ราคาวัสดุ (บาท/แผ่น)	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	หมายเหตุ
1	0.044	25	1.21	0.033	1.33	1.20x2.40	990	345	โทรสอบถาม 7 มีนาคม 2557 แผ่นยิปซั่มกันร้อนพิเศษ เทอร์มัลไลน์ ตรายิปรอค
2	0.059	25	1.21	0.031	1.83	1.20x2.40	1200	416	โทรสอบถาม 7 มีนาคม 2557 แผ่นยิปซั่มกันร้อนพิเศษ เทอร์มัลไลน์ ตรายิปรอค

หมายเหตุ: ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจาก http://www.gyproc.co.th/gypliner-thermaline/

ตารางที่ 104 ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของสีสะท้อนความร้อน

ที่	Solar Reflectivity	Solar Absorbance	p ($kg./m^3$)	ราคา (บาท/ถัง 20 ลิตร)	ราคา (บาท/ตร.ม.)	ราคาค่าแรง (บาท/ตร.ม.)	หมายเหตุ
1	95%	5%	1.06	3550 /ถัง	106.5		โทรสอบถาม 9 มีนาคม 2558 สีสะท้อนความร้อน Roofseal Sunblock ตรา TOA
2						35	รายการประมาณราคา 2558 สพฐ. งานทาสีน้ำมัน 2 เที่ยว (พื้นที่น้อยกว่า 5,000 ตร.ม.)

หมายเหตุ: ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจาก www.toagroup.com/contents/files /product-technical-20121220-164812-086196.pdf

ตารางที่ 105 ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของการเปลี่ยนชนิดกระจก

ที่	กระจก	∆x (m.)	U-Value (W/m^2-K)	SHGC	LSG	$R_{VIS-OUT}$	T_{VIS}	ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ฟ.)	ราคาค่าแรง (บาท/ตร.ฟ.)	หมายเหตุ
1	กระจกโฟลตสีเขียวอ่อน	0.006	6.23	0.58	1.24	7	0.72	33		โทรสอบถาม 3 มิถุนายน 2558 กระจกโฟลตสีเขียวใส ตราอาซาฮี
2	กระจกโฟลตสีเขียวเข้ม	0.006	5.8	0.55	1.27	8	0.70	39		โทรสอบถาม 4 มิถุนายน 2558 กระจกพานาซัพสีเขียว ตราอาซาฮี
3	กระจกสะท้อนแสง สีเขียว	0.006	4.09	0.41	1.34	7	0.56	120		โทรสอบถาม 3 มิถุนายน 2558 กระจก Sunergy สีเขียว ตราอาซาฮี
4	ค่าตัดและติดตั้งกระจก								9	บัญชีค่าแรงงานฯ 2556 กรมบัญชีกลาง
5	ค่ารื้อถอน								4	บัญชีค่าแรงงานฯ 2556 กรมบัญชีกลาง ค่าแรงงานรื้อถอนกระจก (อาคารไม่เกิน 3 ชั้น)

หมายเหตุ: ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจาก http://www.agc-flatglass.co.th/download/catalogue/AGC catalogue 2010 T.pdf

ตารางที่ 106 ข้อมูลคุณสมบัติ ราคา และราคาค่าแรงของฟิล์มลดความร้อน

ที่	รายการ	△x (m.)	U-Value (W/m^2-K)	SC	SHGC	T_{UV}	T_{sol}	$R_{VIS-OUT}$	T_{VIS}	ราคาวัสดุ+ค่าแรง (บาท/ตร.ฟ.)	หมายเหตุ
1	ฟิล์มใส	0.002	5.62	0.55	0.48	1%	48%	8.00	61	170	โทรสอบถาม 25 มิถุยายน 2558 ฟิล์มรุ่น Prestige 60 - Clear film ตรา 3M
2	ฟิล์มสีฟ้าอ่อน	0.004	5.62	0.53	0.46	1%	37%	27.00	47	150	โทรสอบถาม 25 มิถุยายน 2558 ฟิล์ม XR50SISRPS ตรา Lamina
3	ฟิล์มสีเทาอ่อน	0.003	5.62	0.58	0.50	1%	38%	7.00	60	100	โทรสอบถาม 25 มิถุยายน 2558 ฟิล์มรุ่น Nano Ceramic Film MM-1760 ตรา Maxxmafilm

หมายเหตุ: ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจาก http://multimedia.3m.com/mws/media/421084O/prestige-spec-data-sheet-csi-format.pdf

http://www.laminafilms.com/main.php?hm=product&op=build&type=film

http://www.maxxmafilm.com/product/detail/29/MaxxmaFilm.com%20%7C%20ฟิล์มอาคาร%20Nano%20 Ceramic%20Film

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 107 การคำนวณราคาวิธีปรับปรุงผนังทึบ

ที่	วิธีปรับปรุงผนังทึบ	ราคา (บาท/ตร.ม.)	ราคารวม (บาท/ตร.ม.)
W01	ค่าสีสะท้อนความร้อน สีขาว ค่าแรงทาสี 2 รอบ	106.5 35	141.5
W02	ช่องอากาศกว้าง 9 มม. แผ่นยิปซั่มหนา 12 มม.	0 300 [1]	300
W03	ช่องอากาศกว้าง 9 มม. แผ่นยิปซั่มบุฟอยล์หนา 12 มม.	0 378.25 [1]	378.25
W04	ค่าสีสะท้อนความร้อน ค่าแรงทาสี 2 รอบ ช่องอากาศกว้าง 9 มม. แผ่นยิปซั่มหนา 12 มม.	106.5 35 0 300 [1]	441.50
W05	ค่าสีสะท้อนความร้อน ค่าแรงทาสี 2 รอบ ช่องอากาศกว้าง 9 มม. แผ่นยิปซั่มบุฟอยล์หนา 12 มม.	106.5 35 0 378.25 [1]	519.75
W06	แผ่นยิปซั่มบุ EPS 25 กก./ลบ.ม. หนา 35 มม.[2] โครงคร่าว+ตะปู+ค่าแรงติดตั้งและฉาบเรียบ	345 177.75	522.75
W07	แผ่นยิปซั่มบุ EPS 25 กก./ลบ.ม. หนา 50 มม.[2] โครงคร่าว+ตะปู+ค่าแรงติดตั้งและฉาบเรียบ	416 177.75	593.75
W08	ฉนวนใยแก้ว 32 กก./ลบ.ม. หนา 50 มม. แผ่นยิปซั่มหนา 12 มม.	332 300 [1]	632
W09	ฉนวนใยแก้ว 24 กก./ลบ.ม. หนา 65 มม. แผ่นยิปซั่มหนา 12 มม.	260 300 [1]	560

หมายเหตุ: [1] รวมค่าวัสดุโครงคร่าวและตะปู รวมค่าแรงติดตั้งและฉาบเรียบ

[2] แผ่นยิปซั่มหนา 9 มม.

ตารางที่ 108 การคำนวณราคาวิธีปรับปรุงผนังโปร่งแสง

ที่	วิธีปรับปรุงผนังโปร่งแสง	ราคา (บาท/ตร.ฟ.)	ราคารวม (บาท/ตร.ฟ.)
G01	กระจกโฟลตสีเขียวอ่อน ค่าแรงรื้อถอน + ค่าติดตั้งกระจก	33 13	46
G02	กระจกโฟลตสีเขียวเข้ม ค่าแรงรื้อถอน + ค่าติดตั้งกระจก	39 13	52
G03	กระจกสะท้อนแสง สีเขียว ค่าแรงรื้อถอน + ค่าติดตั้งกระจก	120 13	132
F01	ฟิล์มสีใส	170 [1]	170
F02	ฟิล์มสีฟ้าอ่อน	150 [1]	150
F03	ฟิล์มสีเทาอ่อน	100 [1]	100

หมายเหตุ: [1] รวมค่าติดตั้ง

ตารางที่ 109 การคำนวณราคาวิธีปรับปรุงหลังคา

ที่	วิธีปรับปรุงผนังโปร่งแสง	ราคา (บาท/ตร.ม.)	ราคารวม (บาท/ตร.ม.)
R01	ค่าสีสะท้อนความร้อน ค่าแรงทาสี 2 รอบ	106.5 35	141.5
R02	ฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 12 กก./ลบ.ม. หนา 75 มม.	80 [1]	80
R03	ฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 12 กก./ลบ.ม. หนา 150 มม.	113 [1]	113
R04	ฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 12 กก./ลบ.ม. หนา 75 มม. ค่าสีสะท้อนความร้อน ค่าแรงทาสี 2 รอบ	80 [1] 106.5 35	221.5
R05	ฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 12 กก./ลบ.ม. หนา 150 มม. ค่าสีสะท้อนความร้อน ค่าแรงทาสี 2 รอบ	113 [1] 106.5 35	254.5

หมายเหตุ: [1] รวมค่าติดตั้ง

ตารางที่ 110 ตารางค่า **Factor F**

ตาราง Factor F งานก่อสร้างอาคาร

เงินล่วงหน้าจ่าย	0 %	ดอกเบี้ยเงินกู้	7 % ต่อปี
เงินประกันผลงานหัก	0 %	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	7 %

ค่างาน (ทุน) ล้านบาท	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง (%)				รวมในรูป Factor	ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	Factor F
	ค่าอำนวยการ	ค่าดอกเบี้ย	ค่ากำไร	รวมค่าใช้จ่าย			
≤ 0.5	12.2660	1.1667	5.5000	18.9327	1.1893	1.0700	1.2726
1	12.2660	1.1667	5.5000	18.9327	1.1893	1.0700	1.2726
2	12.0383	1.1667	5.5000	18.7050	1.1870	1.0700	1.2701
5	11.9400	1.1667	5.5000	18.6067	1.1861	1.0700	1.2691
10	11.7523	1.1667	5.0000	17.9190	1.1792	1.0700	1.2617
15	8.1313	1.1667	5.0000	14.2980	1.1430	1.0700	1.2230
20	8.1223	1.1667	5.0000	14.2890	1.1429	1.0700	1.2229
25	8.1006	1.1667	4.5000	13.7673	1.1377	1.0700	1.2173
30	7.4491	1.1667	4.5000	13.1158	1.1312	1.0700	1.2103
40	7.2250	1.1667	4.5000	12.8917	1.1289	1.0700	1.2079
50	7.2202	1.1667	4.5000	12.8869	1.1289	1.0700	1.2079
60	6.7961	1.1667	4.0000	11.9628	1.1196	1.0700	1.1980
70	6.7758	1.1667	4.0000	11.9425	1.1194	1.0700	1.1978
80	6.7758	1.1667	4.0000	11.9425	1.1194	1.0700	1.1978
90	6.5412	1.1667	4.0000	11.7079	1.1171	1.0700	1.1953
100	6.5412	1.1667	4.0000	11.7079	1.1171	1.0700	1.1953
150	6.5330	1.1667	4.0000	11.6997	1.1170	1.0700	1.1952
200	6.5224	1.1667	4.0000	11.6891	1.1169	1.0700	1.1951
250	6.2711	1.1667	4.0000	11.4378	1.1144	1.0700	1.1924
300	6.2679	1.1667	3.5000	10.9346	1.1093	1.0700	1.1870
350	6.1909	1.1667	3.5000	10.8576	1.1086	1.0700	1.1862
400	6.1658	1.1667	3.5000	10.8325	1.1083	1.0700	1.1859
500	6.1658	1.1667	3.5000	10.8325	1.1083	1.0700	1.1859
> 500	5.5503	1.1667	3.5000	10.2170	1.1022	1.0700	1.1793

หมายเหตุ 1. กรณีค่างานอยู่ระหว่างช่วงของค่างานต้นทุนที่กำหนด ให้เทียบอัตราส่วนเพื่อหาค่า Factor F หรือใช้สูตรคำนวณ
2. ถ้าเป็นงานเงินกู้หรือจากแหล่งอื่นซึ่งไม่ต้องชำระภาษีมูลค่าเพิ่ม ให้ใช้ Factor F ในช่อง "รวมในรูป Factor"

หมายเหตุ: จากหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 13 มีนาคม 2555

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

ตารางที่ 111 พื้นที่ปรับปรุงส่วนผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา

ที่	องค์ประกอบ	พื้นที่
1	ผนังทึบ	606 ตร.ม.
2	ผนังโปร่งแสง : กระจก	335 ตร.ม. หรือ 3,607 ตร.ฟ.
3	ฝ้าเพดาน	668 ตร.ม.
4	หลังคาดาดฟ้า	668 ตร.ม.

หมายเหตุ: พื้นที่อาคารได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6

ตารางที่ 112 ตัวอย่างการคำนวณค่าลงทุนปรับปรุง

แนวทาง	วิธีปรับปรุง	รายการ	ค่าลงทุน (บาท)
W06R02	W08	ผนังทึบ : แผ่นยิปซั่ม 9 มม. บุฉนวน EPS 35 มม.	316,786.50
	R02	ฝ้าเพดาน : ฉนวนใยแก้ว หนา 75 มม.	53,440.00
		รวมค่างานต้นทุน	370,226.50
		ค่า Factor F = 1.2726	100,923.74
		ค่างานต้นทุน + Factor F (ค่าปรับปรุงทั้งหมด)	**471,150.24**
W03G02R02	W03	ผนังทึบ : ช่องอากาศ 9 ซม. และแผ่นยิปซั่มบุฟอยล์ 12 มม.	229,219.50
	G02	ผนังโปร่งแสง : กระจกโฟลตสีเขียวเข้ม หนา 6 มม.	187,564.00
	R02	ฝ้าเพดาน : ฉนวนใยแก้ว หนา 75 มม.	53,440.00
		รวมค่างานต้นทุน	470,223.50
		ค่า Factor F = 1.2726	128,182.93
		ค่างานต้นทุน + Factor F (ค่าปรับปรุงทั้งหมด)	**598,406.43**

ภาคผนวก ค
การคำนวณค่าไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้า

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

สำหรับการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบศาสนกิจของทุกศาสนา ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

1.1 อัตราปกติ		**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)	**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
1.1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			8.19
15 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 – 15)	1.8632	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 16 – 25)	2.5026	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 26 – 35)	2.7549	
65 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 36 - 100)	3.1381	
50 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 101 – 150)	3.2315	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 – 400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1.1.1 ที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 50 หน่วยต่อเดือน ได้รับสิทธิค่าไฟฟ้าฟรีในเดือนนั้น

1.1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน			38.22
150 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 – 150)	2.7628	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 – 400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

1.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)		**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	
1.2.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์	4.5827	2.1495	312.24
1.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	5.2674	2.1827	38.22

หมายเหตุ 1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1 แต่หากมีการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วย ติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2 และเมื่อใดที่การใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าเกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2

3. ประเภทที่ 1.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่ม ขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

4. ประเภทที่ 1.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 1.1 ตามเดิมได้

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัย อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.1 อัตราปกติ		**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)	**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
2.1.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์		3.4230	312.24
2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์			46.16
150 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 – 150)	2.7628	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 – 400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)		**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	
2.2.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์	4.5827	2.1495	312.24
2.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	5.2674	2.1827	46.16

หมายเหตุ 1. ประเภทที่ 2.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่ม ขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 2.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 2.1 ตามเดิมได้

3. เดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 3 หรือ 4 หรือ 5 แล้วแต่กรณี

ข้อกำหนดช่วงเวลาอัตรา TOU

Peak : เวลา 09.00 น. – 22.00 น. วันจันทร์ – ศุกร์ และวันพืชมงคล

Off Peak : เวลา 22.00 น.– 09.00 น. วันจันทร์ – ศุกร์ และวันพืชมงคล
: เวลา 00.00 น.– 24.00 น. วันเสาร์ – อาทิตย์,วันแรงงานแห่งชาติ,
วันพืชมงคลที่ตรงกับวันเสาร์ – อาทิตย์ และ
วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้าที่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ซึ่งมีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลค (Lag) เฉพาะเดือนที่มีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว โดยส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ (KVAR) ละ 56.07 บาท (เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์)
2. อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น ยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
3. ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บในแต่ละเดือน ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้าตามอัตราข้างต้น ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) และภาษีมูลค่าเพิ่ม

อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น เริ่มใช้ตั้งแต่ **ค่าไฟฟ้าประจำเดือน มิถุนายน 2555** เป็นต้นไป

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 200 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 1090
โทรศัพท์ 0-2590-9125, 0-2590-9127 โทรสาร 0-2590-9133-34 http://www.pea.co.th Call Center 1129

ตารางที่ 113 ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง

รายการ	W06R02	W03G02R02
ปริมาณไฟฟ้า (หน่วย/ปี)	143,297.06	138,755.74
ค่าไฟฟ้า [1]	656,687.44	635,875.93
ค่า Ft [2]	71,089.67	68,836.72
ค่าบริการ [3]	3,746.88	3,746.88
ภาษีมูลค่าเพิ่ม (7%)	51,206.68	49,592.17
รวมค่าไฟฟ้ารายปี	782,730.67	758,051.70

หมายเหตุ: [1] ค่าไฟฟ้าประเภท 2 กิจการขนาดเล็ก อัตรา TOU ช่วงเวลา Peak ราคา 4.5827 บาทต่อหน่วย

[2] การศึกษาครั้งนี้ ใช้ค่า Ft = 0.4961 บาท/หน่วย คงที่ทั้ง 12 เดือน

[3] ค่าบริการ = 312.24 บาท/เดือน หรือ คิดเป็น 3,746.88 บาท/ปี

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวโสพิศ ชัยชนะ
ที่อยู่	เลขที่ 99 โปริสภา เจริญกรุง 29 ตลาดน้อย สัมพันธวงศ์ กรุงเทพฯ
โทรศัพท์	085 334 5998

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2553	สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมหลัก มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2555	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม (สายวิชาการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร) มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2554	สถาปนิก ณ หน่วยปฏิบัติการวิจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุและคนพิการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร