

แนวทางการปรับปรุงด้านการประหยัดพลังงานและการควบคุมความชื้นสำหรับอาคารเก่าที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

นางสาวพิรลยา ลีรุ่งเรืองพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR) เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RENOVATION GUIDELINES ON ENERGY CONSERVATION AND MOISTURE
CONTROL FOR HISTORICAL BUILDINGS IN A TROPICAL CLIMATE.

Miss Piranya Leerungruangpan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แนวทางการปรับปรุงด้านการประหยัดพลังงานและการ
ควบคุมความชื้นสำหรับอาคารเก่าที่มีคุณค่าทาง
ประวัติศาสตร์ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

โดย

นางสาวพิริลยา ลีรุ่งเรืองพันธุ์

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัฐิ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตตร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ดารณี จาริมิตร)

พิริลยา ลีรุ่งเรืองพันธ์ุ : แนวทางการปรับปรุงด้านการประหยัดพลังงานและการควบคุมความชื้นสำหรับอาคารเก่าที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น (RENOVATION GUIDELINES ON ENERGY CONSERVATION AND MOISTURE CONTROL FOR HISTORICAL BUILDINGS IN A TROPICAL CLIMATE.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรรจน์ เศรษฐบุต, 155 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงโบราณสถานให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและมีสภาพอากาศภายในที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยต้องเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมทั้งในเรื่องการประหยัดพลังงานและเรื่องเศรษฐศาสตร์ กำหนดโบราณสถานที่มีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันจำนวน 3 อาคารเป็นอาคารกรณีศึกษา ได้แก่ (1.) พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์ ใช้งานเป็นพิพิธภัณฑ์ (2.) ไอ.พี. เพลส ใช้งานเป็นห้างสรรพสินค้า และ (3.) กระทรวงมหาดไทย ใช้งานเป็นสำนักงาน ทั้ง 3 อาคารเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวัน วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ (1.) การสำรวจและศึกษาข้อมูล รวมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารทั้ง 3 อาคาร และ (2.) หาแนวทางปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานด้วยการจำลองพลังงานผ่านโปรแกรม VisualDOE 4.1 และคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาพบว่าโบราณสถานทั้ง 3 อาคารมีปัญหาในเรื่องของความชื้น แม้บางเวลาอุณหภูมิภายในห้องจะอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแต่ความชื้นก็ยังคงมีปริมาณสูง ดังนั้นนอกเหนือจากการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานจึงต้องคำนึงถึงการควบคุมความชื้นด้วย ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้เครื่องดูดความชื้นแบบคอมเพรสเซอร์โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 แนวทางคือ (1.) ใช้เฉพาะช่วงเวลางานอาคาร และ (2.) ใช้ตลอด 24 ชั่วโมง ผลวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงอาคารพบว่าทั้ง 3 อาคารให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แนวทางที่มีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและมีความคุ้มค่าคือ การใส่ฉนวนหนา 2 และ 3 นิ้วที่ฝ้าเพดานชั้นหลังคา และการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจนเดิม ส่วนการเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำจะช่วยในการประหยัดพลังงานมากที่สุด แต่ไม่มีความคุ้มค่า สำหรับปัญหาความชื้นนั้นการใช้เครื่องดูดความชื้นจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากแนวทางเดิมประมาณ 5.24 – 16.64% และ 14.14 – 78.66% เมื่อเดินเครื่องในเวลากลางวันและเดินเครื่องตลอด 24 ชม.ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 แนวทางไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อ นิสิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5773571025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: HISTORICAL BUILDING / ENERGY EFFICIENCY / HUMIDITY CONTROL

PIRANYA LEERUNGRUANGPAN: RENOVATION GUIDELINES ON ENERGY CONSERVATION AND MOISTURE CONTROL FOR HISTORICAL BUILDINGS IN A TROPICAL CLIMATE.. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 155 pp.

This study aims to recommend energy conservation guidelines and evaluate the indoor air quality in the archaeological sites of 3 case studies that are still in use today - (1) The National Gallery, currently used as museum, (2) OP Place, currently used as shopping centre, and (3) The Ministry of Interior, currently used as offices. All case studies are air-conditioned during the day. The research methodology consists of 2 main parts: (1) The physical characteristic of the building is surveyed and the HOBO data logger is used to measure temperature and relative humidity and (2) the use of VisualDOE 4.1 to create a guideline to increase energy efficiency and evaluate economic value analysis.

The result from this study indicates that the main problem is the humidity, which is high despite the temperature being in the benchmark. Therefore, the humidity control must be considered together with the method that increases the energy efficiency of the building. In this study, the use of Portable/Compressor dehumidifier is recommended in 2 guidelines: (1) only during the day, and (2) 24 hours. The technical analysis shows that all case studies have similar results. To obtain the energy efficiency and economic value, it is suggested that the buildings (1) add 2" and 3" thick of fiberglass insulation to the top floor ceiling and (2) replace fluorescent and halogen lamp with LED tubes. Another option is to use water cooled water chillers system which provides the most energy efficiency but the least economically. The compressor dehumidifier will use more energy than the original cases by 5.24 – 16.64% and 14.14 – 78.66% when turned on during the day and 24 hours respectively. However, these two methods are not worth the investment.

Department: Architecture

Student's Signature

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความสามารถ และสนับสนุน จากหลายท่าน

ขอแสดงความขอบคุณ ผศ. ดร. อรรถนัย เศรษฐสุบุดร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
รศ. พรรณชลัท สุริโยธิน และ ผศ. ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ เป็นอย่างสูง สำหรับความรู้และ
คำแนะนำที่มีให้ตลอดมาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษา ขอขอบคุณค่ะ และขอแสดงความขอบคุณ อ.
ดร. ดารณี จารีมิตร ที่กรุณาให้เกียรติร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอแสดงความขอบคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่
กรุณาอนุญาตให้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ (U12 Temp/RH/Light/External
Data Logger และ CO2/HUMIDITY/TEMP. MONITOR Model: MCH-383SD) เพื่อใช้ในการ
ทำวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอแสดงความขอบคุณเจ้าหน้าที่ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร
ได้แก่ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์ ห้างสรรพสินค้า โอ.พี. เพลส และอาคาร
กระทรวงมหาดไทย สำหรับความช่วยเหลือในการดำเนินการเก็บข้อมูลและติดตั้งเครื่องมือ
ตรวจวัด และขอแสดงความขอบคุณ สำนักสถาปัตยกรรมศิลป์ กรมศิลปากร รวมทั้งกรมโยธาธิการและ
ผังเมืองที่อนุญาตให้ข้อมูลแบบก่อสร้างของอาคารกรณีศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนรวมถึงให้กำลังใจตลอดมา และ
ขอบคุณนิสิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขานวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตยกรรมที่ 7
ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือและมิตรภาพที่ดีเสมอมาตั้งแต่เริ่มเรียน ขอขอบคุณค่ะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ด
สารบัญแผนภูมิ.....	ธ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 คำถามในการวิจัย.....	5
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	5
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.6 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย.....	7
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
1.8 ลำดับขั้นตอนในการทำการวิจัย.....	10
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 การถ่ายเทพลังงานความร้อน.....	11
2.1.1 การนำความร้อน (Heat conduction).....	11
2.1.2 การพาความร้อน (Heat convection).....	11
2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation).....	11
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอาคาร.....	12

2.2.1 ค่าการนำความร้อน (Conductivity หรือค่า K).....	12
2.2.2 ค่าความต้านทานความร้อน (Resistance หรือค่า R).....	12
2.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of heat transmission หรือค่า U)	12
2.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและช่วงเวลาหน่วง ที่ความร้อนไหลผ่าน (U and Time Lag Values).....	12
2.3 สภาวะนำสบาย	13
2.4 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร.....	14
2.4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)	14
2.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)	15
2.5 ประเภทของระบบปรับอากาศ	16
2.5.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type)	16
2.5.2 เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว (Package unit)	17
2.5.3 ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Water chiller)	17
2.6 วิธีการคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ	19
2.7 ทฤษฎีด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น	20
2.7.1 การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB).....	20
2.7.2 การคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (Return on Investment: ROI)..	20
2.8 การจำลองพลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	21
2.9.1 ปัญหาของอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์	21
2.9.2 แนวทางการบูรณะอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์	22

2.9.3 แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพคุณภาพอากาศภายในอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน.....	23
2.9.4 แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์	24
2.10 วิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองพลังงาน	30
2.10.1 วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ. นครราชสีมา”.....	30
2.10.2 วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานราชการ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี”	31
2.10.3 วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารศาลากลางด้วยการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร	32
2.11 สรุปการทบทวนวรรณกรรม.....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	34
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	34
3.1.1 ข้อมูลทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา.....	34
3.1.2 การประเมินสถานะนำสบายภายในอาคาร	35
3.1.3 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม.....	35
3.1.4 การสร้างอาคารอ้างอิงผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	36
3.1.5 การกำหนดแนวทางในการปรับปรุง	36
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.2.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	36
3.2.2 โปรแกรม Visual DOE 4.1	37

บทที่ 4 ผลการศึกษา	39
4.1 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา.....	39
4.1.1 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3	40
4.1.2 ลักษณะทางกายภาพ อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3	41
4.2 ข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา (งานระบบอาคาร).....	43
4.2.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3.....	43
4.2.2 ระบบปรับอากาศ อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3.....	45
4.2.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3	45
4.2.4 ระบบอุปกรณ์อาคาร อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3.....	53
4.3 สภาวะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษา	56
4.3.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3.....	57
4.3.2 สภาวะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษา.....	62
4.4 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา	67
4.5 การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	70
4.5.1 การเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงาน	71
4.5.2 การเปรียบเทียบด้านสภาพอากาศภายในอาคาร	76
บทที่ 5 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	82
5.1 กำหนดขอบเขตแนวทางการปรับปรุง	82
5.1.1 วัสดุกรอบอาคารส่วนผนังที่บ	82
5.1.2 วัสดุกรอบอาคารช่องแสง (ประตูและหน้าต่าง).....	89
5.1.3 วัสดุฝ้าเพดาน.....	90
5.1.4 ระบบแสงสว่างภายในอาคาร.....	93

5.1.5 ระบบปรับอากาศภายในอาคาร	94
5.1.6 สรุปรายละเอียดของแนวทางการปรับปรุง	95
5.2 ผลการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา ที่ 1, 2 และ 3.....	97
5.2.1 อาคารกรณีศึกษาที่ 1	97
5.2.2 อาคารกรณีศึกษาที่ 2	104
5.2.3 อาคารกรณีศึกษาที่ 3	110
5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาเรื่องความชื้นภายในกรณีศึกษา ที่ 1, 2 และ 3	116
5.3.1 อาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	120
5.3.2 อาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	126
5.3.3 อาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	128
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	133
6.1 ปัญหาของอาคารกรณีศึกษา	133
6.2 ผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	134
6.2.1 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา	134
6.2.2 สรุปผลแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	136
6.3 การพิจารณาแนวทางที่มีประสิทธิภาพร่วมกับการแก้ไขปัญหาความชื้น.....	140
6.4 ข้อเสนอแนะ	145
6.4.1 การศึกษาเพิ่มเติมเพื่อระบุที่มาของความชื้น.....	145
6.4.2 การศึกษาแนวทางการตัดความชื้นร่วมกับระบบทางวิศวกรรม	145
6.4.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds : VOCs) เพื่อประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารเพิ่มเติม	146
ภาคผนวก.....	147
รายการอ้างอิง	150

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 155



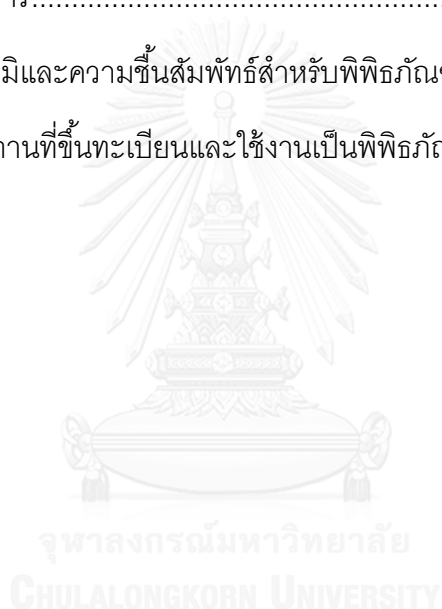
สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	จำนวนเปรียบเทียบโบราณสถานที่ขึ้นทะเบียน และยังไม่ได้ขึ้นทะเบียน.....	2
ตารางที่ 1.2	ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ วิธีการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
ตารางที่ 2.1	แนวทางการสื่อความหมายเพื่อรักษาคุณค่าของอาคารอนุรักษ์	23
ตารางที่ 4.1	ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร	41
ตารางที่ 4.2	อัตราส่วนพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	42
ตารางที่ 4.3	อัตราส่วนพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	42
ตารางที่ 4.4	อัตราส่วนพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่ 3	42
ตารางที่ 4.5	ข้อมูลระบบปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร	45
ตารางที่ 4.6	ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1	47
ตารางที่ 4.7	ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ).....	48
ตารางที่ 4.8	ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้งานภายนอกอาคารกรณีศึกษาที่ 1	48
ตารางที่ 4.9	ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2	50
ตารางที่ 4.10	ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้งานภายนอกอาคารกรณีศึกษาที่ 2	50
ตารางที่ 4.11	ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3	52
ตารางที่ 4.12	ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้งานภายนอกอาคารกรณีศึกษาที่ 3	53
ตารางที่ 4.13	อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1	54
ตารางที่ 4.14	อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	54
ตารางที่ 4.15	อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	55
ตารางที่ 4.16	ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารที่วัดได้จริงจากกรณีศึกษาที่ 1	57
ตารางที่ 4.17	ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารที่วัดได้จริงจากกรณีศึกษาที่ 2	58
ตารางที่ 4.18	ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (เฉพาะจุดที่ 1) ภายในอาคาร ที่วัดได้จริงจากกรณีศึกษาที่ 3	59

ตารางที่ 4.19	ค่ามาตรฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร.....	62
ตารางที่ 4.20	ค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	68
ตารางที่ 4.21	ค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	69
ตารางที่ 4.22	ค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	70
ตารางที่ 4.23	ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3.....	76
ตารางที่ 5.1	รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	83
ตารางที่ 5.2	รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ).....	84
ตารางที่ 5.3	รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	84
ตารางที่ 5.4	รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 2 (ต่อ).....	85
ตารางที่ 5.5	รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	86
ตารางที่ 5.6	แนวทางการปรับปรุงผนังที่บของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3.....	88
ตารางที่ 5.7	แนวทางการปรับปรุงผนังที่บของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3 (ต่อ).....	89
ตารางที่ 5.8	รายละเอียดหลังคาของอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	91
ตารางที่ 5.9	รายละเอียดหลังคาของอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	91
ตารางที่ 5.10	รายละเอียดหลังคาของอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	92
ตารางที่ 5.11	แนวทางการปรับปรุงฝ้าเพดานของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3.....	92
ตารางที่ 5.12	แนวทางการปรับปรุงฝ้าเพดานของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3 (ต่อ).....	93
ตารางที่ 5.13	สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	96
ตารางที่ 5.14	สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	96
ตารางที่ 5.15	สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	97
ตารางที่ 5.16	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	98
ตารางที่ 5.17	อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	99

ตารางที่ 5.18	PB และ ROI แต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	100
ตารางที่ 5.19	ผลที่ได้จากแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	101
ตารางที่ 5.20	ผลที่ได้จากแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)	102
ตารางที่ 5.21	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2... ..	104
ตารางที่ 5.22	อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทาง ปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	105
ตารางที่ 5.23	PB และ ROI แต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	106
ตารางที่ 5.24	ผลที่ได้จากแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	108
ตารางที่ 5.25	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3... ..	110
ตารางที่ 5.26	อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทาง ปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	111
ตารางที่ 5.27	PB และ ROI แต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	112
ตารางที่ 5.28	ผลที่ได้จากแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	114
ตารางที่ 5.29	รายละเอียดการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคาร กรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3	120
ตารางที่ 5.30	ผลที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	120
ตารางที่ 5.31	ผลที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)	121
ตารางที่ 5.32	PB และ ROI ที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคาร กรณีศึกษาที่ 1	121
ตารางที่ 5.33	PB และ ROI ที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ).....	122
ตารางที่ 5.34	ผลที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	126
ตารางที่ 5.35	PB และ ROI ที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคาร กรณีศึกษาที่ 2	126

ตารางที่ 5.36	ผลที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	129
ตารางที่ 5.37	PB และ ROI ที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคาร กรณีศึกษาที่ 3	129
ตารางที่ 6.1	สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร.....	136
ตารางที่ 6.2	สรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางของอาคาร กรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร.....	138
ตารางที่ 6.3	สรุประยะเวลาการคืนทุน (ปี) แต่ละแนวทางของอาคารกรณีศึกษา ทั้ง 3 อาคาร.....	139
ตารางที่ 6.4	ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับพิพิธภัณฑสถานตามมาตรฐาน	142
ตารางที่ 6.5	โบราณสถานที่ขึ้นทะเบียนและใช้งานเป็นพิพิธภัณฑสถานในปัจจุบัน.....	143



สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1	ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร.....	1
ภาพที่ 1.2	สภาพปัญหาที่พบบริเวณภายนอกอาคาร.....	4
ภาพที่ 1.3	สภาพปัญหาที่พบบริเวณภายในอาคาร	4
ภาพที่ 2.1	แผนภูมิไฮโครเมตริก	13
ภาพที่ 2.2	ไดอะแกรมของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดไม่เดินท่อลม	16
ภาพที่ 2.3	ไดอะแกรมของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดเดินท่อลม	16
ภาพที่ 2.4	ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ.....	18
ภาพที่ 2.5	ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	18
ภาพที่ 2.6	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลอาคารลงในโปรแกรม VisualDOE 4.1	21
ภาพที่ 2.7	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียพลังงานในอาคารประวัติศาสตร์ที่มีโครงสร้าง แบบผนังรับน้ำหนัก	25
ภาพที่ 2.8	การประยุกต์ใช้ฉนวนสำหรับอาคารเก่าที่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนภายในอาคาร	26
ภาพที่ 2.9	รายละเอียดการติดตั้งฉนวนโดยหุุดที่เหนือคานไม้ที่ระยะ 200 มม. และตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดความชื้น	26
ภาพที่ 2.10	เปรียบเทียบอุณหภูมิและค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารปกติ และผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน	27
ภาพที่ 2.11	การติดตั้ง PV แบบที่บแสงเหนือหลังคา	29
ภาพที่ 2.12	กระบวนการในการปรับปรุงประสิทธิภาพเรื่องพลังงานสำหรับอาคาร ประวัติศาสตร์ของ AiCARR.....	29
ภาพที่ 2.13	อาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา	30
ภาพที่ 2.14	อาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.....	31
ภาพที่ 2.15	ตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารศาลากลาง จ.สุพรรณบุรี.....	32

ภาพที่ 3.1	ตัวอย่างแบบสถาปัตยกรรมของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	34
ภาพที่ 3.2	ตัวอย่างแบบงานระบบวิศวกรรมปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	35
ภาพที่ 3.3	อุปกรณ์ U12 Temp/ RH/ Light/ External Data Logger (HOBO).....	37
ภาพที่ 3.4	อุปกรณ์ CO ₂ / HUMIDITY/ TEMP. MONITOR Model : MCH-383SD	37
ภาพที่ 3.5	ตัวอย่างการจำลองอาคารกรณีศึกษาที่ 1 จากโปรแกรม VisualDOE 4.1	38
ภาพที่ 4.1	ที่ตั้งอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร.....	39
ภาพที่ 4.2	พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์ ในอดีตและปัจจุบัน.....	40
ภาพที่ 4.3	ห้างสรรพสินค้า ไอพี เพลส ในอดีตและปัจจุบัน.....	40
ภาพที่ 4.4	ศาลาว่าการกระทรวงมหาดไทยในอดีตและปัจจุบัน	41
ภาพที่ 4.5	ช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	46
ภาพที่ 4.6	ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 1	46
ภาพที่ 4.7	ช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	49
ภาพที่ 4.8	ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานในพื้นที่ส่วนกลางของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	49
ภาพที่ 4.9	ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานในพื้นที่เช่าของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	49
ภาพที่ 4.10	ช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษาที่ 3	51
ภาพที่ 4.11	ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 3	51
ภาพที่ 4.12	อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 1	53
ภาพที่ 4.13	อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	55
ภาพที่ 4.14	ผังพื้นที่แสดงจุดที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ กรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ	56
ภาพที่ 4.15	จุดที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 1	57
ภาพที่ 4.16	จุดที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 2.....	58
ภาพที่ 4.17	จุดที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 3.....	58

ภาพที่ 4.18	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 9.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 1	59
ภาพที่ 4.19	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 1	60
ภาพที่ 4.20	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 9.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2	60
ภาพที่ 4.21	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2	61
ภาพที่ 4.22	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 8.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 3	61
ภาพที่ 4.23	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 3	62
ภาพที่ 4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 1.....	63
ภาพที่ 4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 2.....	64
ภาพที่ 4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 3.....	64
ภาพที่ 4.27	อาคารอ้างอิงที่ 1, 2 และ 3 ในโปรแกรม VisualDOE 4.1	70
ภาพที่ 4.28	การแบ่งพื้นที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 ในปัจจุบัน	72
ภาพที่ 4.29	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 9.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 1	77
ภาพที่ 4.30	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 1	78
ภาพที่ 4.31	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 9.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2	78
ภาพที่ 4.32	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2	79
ภาพที่ 4.33	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 8.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 3	79
ภาพที่ 4.34	แผนภูมิไฮโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 3	80
ภาพที่ 5.1	เครื่องลดความชื้นแบบทั่วไปขนาด 50, 160 และ 350 ลิตร.....	117
ภาพที่ 5.2	เครื่องดูดความชื้น และส่วนประกอบของระบบดูดความชื้น ชนิดกึ่งล้อดูดความชื้น	117
ภาพที่ 5.3	การวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ใช้สอยแต่ละห้องภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1	118
ภาพที่ 5.4	การวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ใช้สอยแต่ละห้องภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2	119
ภาพที่ 5.5	การวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ใช้สอยแต่ละห้องภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3	119

ภาพที่ 6.1 สภาพปัญหาภายใน พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์ ปัจจุบัน 141

ภาพที่ 6.2 พิพิธภัณฑ์ธนาคารแห่งประเทศไทย วังบางขุนพรหม และวังเทวะเวสม์
ในปัจจุบัน..... 143

ภาพที่ 6.3 พิพิธภัณฑ์ตำรวจ วังปารุสกวัน ในปัจจุบัน..... 143

ภาพที่ 6.4 พิพิธภัณฑ์พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว ในปัจจุบัน..... 144

ภาพที่ 6.5 พิพิธภัณฑ์การเรียนรู้แห่งชาติ (มิวเซียมสยาม) ในปัจจุบัน..... 144



สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 1.1	แสดงระเบียบวิธีการศึกษา.....	10
แผนภูมิที่ 4.1	แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (พ.ศ. 2557 และ 2558)...	43
แผนภูมิที่ 4.2	แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาที่ 2 (พ.ศ. 2557 และ 2558)...	44
แผนภูมิที่ 4.3	แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาที่ 3 (พ.ศ. 2556 และ 2558)...	44
แผนภูมิที่ 4.4	แสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกและภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 ...	66
แผนภูมิที่ 4.5	แสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกและภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 ...	66
แผนภูมิที่ 4.6	แสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกและภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3 ...	66
แผนภูมิที่ 4.7	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมระหว่างใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริง และอาคารอ้างอิงจากโปรแกรม VisualDOE 4.1 ของอาคารกรณีศึกษาที่ 1.....	71
แผนภูมิที่ 4.8	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 จากการจำลอง.....	72
แผนภูมิที่ 4.9	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมระหว่างใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริง และอาคารอ้างอิงจากโปรแกรม VisualDOE 4.1 ของอาคารกรณีศึกษาที่ 2.....	73
แผนภูมิที่ 4.10	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาที่ 2 จากการจำลอง.....	74
แผนภูมิที่ 4.11	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมระหว่างใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริง และอาคารอ้างอิงจากโปรแกรม VisualDOE 4.1 ของอาคารกรณีศึกษาที่ 3.....	75
แผนภูมิที่ 4.12	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาที่ 3 จากการจำลอง.....	75
แผนภูมิที่ 5.1	แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคาร กรณีศึกษาที่ 1	98
แผนภูมิที่ 5.2	แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละ แนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	99
แผนภูมิที่ 5.3	แสดง PB และ ROI ในแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 ..	100
แผนภูมิที่ 5.4	แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมด ของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	102

แผนภูมิที่ 5.5	แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	103
แผนภูมิที่ 5.6	แสดง PB และ ROI ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	103
แผนภูมิที่ 5.7	แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	105
แผนภูมิที่ 5.8	แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	106
แผนภูมิที่ 5.9	แสดง PB และ ROI แต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	107
แผนภูมิที่ 5.10	แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	108
แผนภูมิที่ 5.11	แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	109
แผนภูมิที่ 5.12	แสดง PB และ ROI ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	109
แผนภูมิที่ 5.13	แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3	111
แผนภูมิที่ 5.14	แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3	112
แผนภูมิที่ 5.15	แสดง PB และ ROI ในแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3	113
แผนภูมิที่ 5.16	แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 3	114
แผนภูมิที่ 5.17	แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 3	115

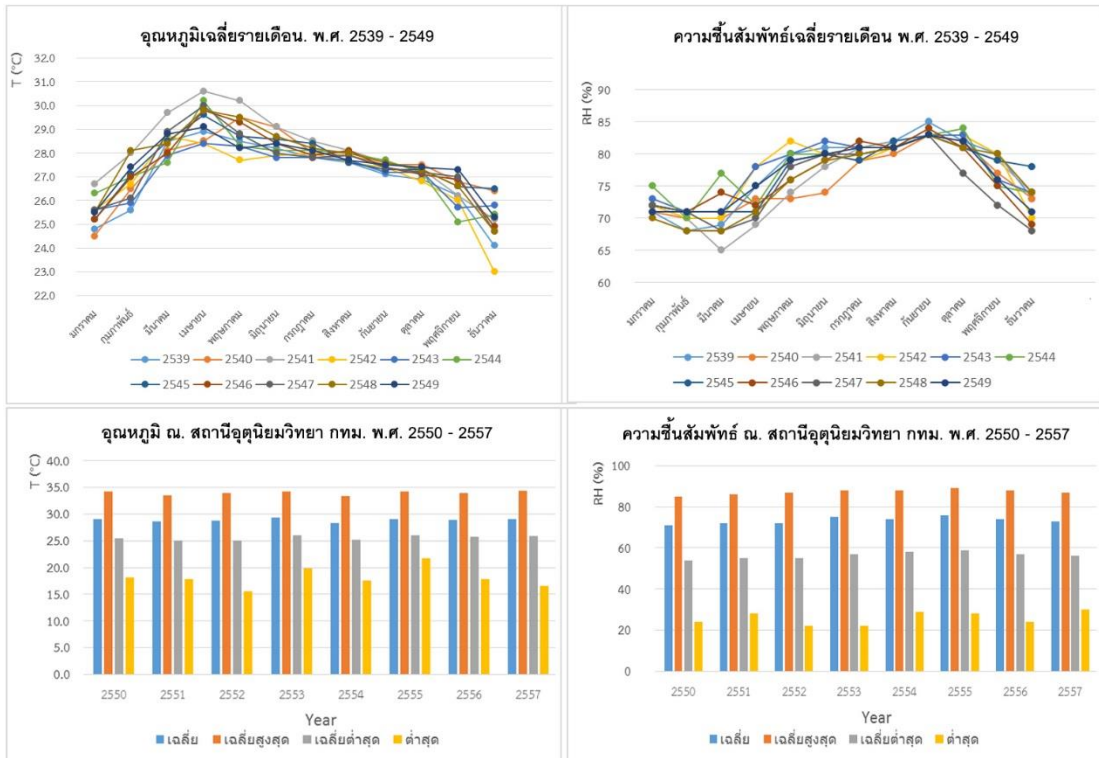
แผนภูมิที่ 5.18	แสดง PB และ ROI ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคาร กรณีศึกษาที่ 3	115
แผนภูมิที่ 5.19	แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุงร่วมกับการ แก้ไขปัญหาความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 1	122
แผนภูมิที่ 5.20	แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุงร่วมกับการ แก้ไขปัญหาความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)	123
แผนภูมิที่ 5.21	แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุงร่วมกับการ แก้ไขปัญหาความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)	123
แผนภูมิที่ 5.22	แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับระยะ เวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 1	124
แผนภูมิที่ 5.23	แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับระยะ เวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)	124
แผนภูมิที่ 5.24	แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับระยะ เวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)	125
แผนภูมิที่ 5.25	แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุงร่วมกับการ แก้ไขปัญหาความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 2	127
แผนภูมิที่ 5.26	แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับ ระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 2	127
แผนภูมิที่ 5.27	แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุงร่วมกับการ แก้ไขปัญหาความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 3	130
แผนภูมิที่ 5.28	แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับ ระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 3	130
แผนภูมิที่ 6.1	แสดงพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางการ ปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร.....	138
แผนภูมิที่ 6.2	แสดงระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ในแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคาร กรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร	140

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น สภาพภูมิอากาศโดยรวมมีอุณหภูมิและความชื้นสูงอยู่เกือบตลอดทั้งปี ดังภาพที่ 1.1 และความชื้นนั้นก็เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่องานสถาปัตยกรรม สำหรับประเทศไทยนั้นมีประวัติศาสตร์มายาวนาน มีอาคารและสิ่งก่อสร้างที่นับเป็นมรดกทางสถาปัตยกรรมมาหลายสมัยตั้งแต่สมัยทวารวดี สมัยศรีวิชัย สมัยลพบุรี



ภาพที่ 1.1 ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (2558)

สมัยสุโขทัย สมัยอู่ทอง สมัยอยุธยา มาจนถึงสมัยกรุงรัตนโกสินทร์ มรดกสถาปัตยกรรมสมัยกรุงรัตนโกสินทร์นี้ นับเป็นมรดกที่ยังคงมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน สามารถจับต้องได้ สัมผัสได้ และใช้งานได้ จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากกรมศิลปากรพบว่าทางกรมศิลปากรได้กำหนดให้อาคารอนุรักษ์ อยู่ในขอบเขตของคำว่า “โบราณสถาน” ซึ่งหมายความว่าอสังหาริมทรัพย์ซึ่งโดยอายุหรือ

โดยลักษณะแห่งการก่อสร้างหรือโดยหลักฐานเกี่ยวกับประวัติของสังหาริมทรัพย์นั้นเป็นประโยชน์ในทางศิลปะ ประวัติศาสตร์หรือโบราณคดีทั้งนี้ให้รวมถึงสถานที่ที่เป็นแหล่งโบราณคดี แหล่งประวัติศาสตร์และอุทยานประวัติศาสตร์ด้วย (พระราชบัญญัติโบราณสถาน โบราณวัตถุ ศิลปวัตถุ และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ (ฉบับที่ 2), 2535) ในปัจจุบันทางกรมศิลปากรได้ดำเนินการขึ้นทะเบียนอาคารอนุรักษ์ไปเป็นจำนวนหนึ่งแล้ว ทางสำนักโบราณคดี กรมศิลปากร ได้สรุปจำนวนโบราณสถานที่ขึ้นทะเบียนทั้งหมดในปี 2554 ไว้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 จำนวนเปรียบเทียบโบราณสถานที่ขึ้นทะเบียน และยังไม่ได้ขึ้นทะเบียน

(กองนโยบายและแผนงาน สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร, 2558)

รายละเอียด	กรุงเทพมหานคร (แห่ง)	ภูมิภาค (แห่ง)	รวมทั้งหมด (แห่ง)
โบราณสถานที่ควรค่าแก่การอนุรักษ์	535	8,197	8,732
โบราณสถานที่ยังไม่ได้ขึ้นทะเบียน	344	6,285	6,629
โบราณสถานที่ขึ้นทะเบียน	191	1,912	2,103

ซึ่งการขึ้นทะเบียนนั้น จะส่งผลให้ทางกรมศิลปากรสามารถคุ้มครอง ควบคุม และดูแลรักษาโบราณสถานได้อย่างเต็มที่ เพราะหากจะดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งที่ทำให้สภาพของโบราณสถานหรือพื้นที่ที่กำหนดเป็นเขตโบราณสถานต้องเปลี่ยนแปลงไป เช่น การปลูกสร้างอาคารใหม่ในพื้นที่ การซ่อมแซมหรือบูรณะอาคาร ฯลฯ จะต้องได้รับอนุญาตจากอธิบดีกรมศิลปากรก่อนเสมอ ในปัจจุบันโบราณสถานบางอาคารยังคงมีสภาพดีและใช้สอยได้ตามวัตถุประสงค์เดิมกับตอนเริ่มก่อสร้าง แต่ก็มีส่วนหนึ่งที่ได้เปลี่ยนลักษณะการใช้งานไปแล้ว รวมทั้งมีอาคารจำนวนหนึ่งที่อยู่ในสภาพทรุดโทรมเนื่องจากการดูแลรักษามายาวนาน จนบางอาคารต้องถูกรื้อถอนไปเพราะสภาพอาคารที่ทรุดโทรมเกินกว่าจะเก็บรักษาเอาไว้ได้ ในขณะที่บางอาคารก็ถูกรื้อถอนทั้งที่อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ไปเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆกัน รูปแบบทางสถาปัตยกรรมในช่วงดังกล่าวที่ได้รับอิทธิพลจากตะวันตกนั้นมีลักษณะเด่นคือ ผนังภายนอกเป็นผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing) คือก่ออิฐถือปูนความหนาประมาณ 25 - 60 ซม. เป็นผนังโดยรอบอาคารลึกลงไปถึงฐานรากใต้ดิน ซึ่งเป็นจุดสัมผัสที่สามารถนำความขึ้นจากดินขึ้นสู่โครงสร้างผนังอิฐด้านบน พื้นชั้น 2 เป็นพื้นไม้วางบนคานไม้ สำหรับสาเหตุการเสื่อมสภาพของโบราณสถานนั้นจากการศึกษาของ ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัฐิ (2552) ได้สรุปไว้ว่าโดยมากเกิดจากสาเหตุดังนี้

- แสงอาทิตย์

- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- สาเหตุจากน้ำและความชื้น โดยมากอาคารเก่าที่เป็นอาคารก่ออิฐฉาบปูนนั้น มักประสบ ปัญหาในเรื่องความชื้นจากดิน (Rising damp) ทำให้เกิดคราบเกลือ ผงังปูนแตกร้าว
- สาเหตุจากทางชีวภาพ เช่น เชื้อรา ตะไคร่น้ำ และวัชพืช
- อุบัติภัยทางธรรมชาติ
- การกระทำของมนุษย์

สำหรับปัญหาเรื่องความชื้นนั้นนอกจากจะทำให้อาคารโบราณสถานเสียหายแล้วยังส่งผลต่อคุณภาพของอากาศภายในอาคารซึ่งมีอิทธิพลต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคารโดยตรง การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นนอกจากจะทำให้มีอาคารมีคุณภาพอากาศภายในที่เหมาะสมกับการใช้งานแล้วยังสามารถควบคุมหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีวะและเชื้อโรคต่างๆที่ส่วนใหญ่อาศัยอุณหภูมิและความชื้นสูงเป็นปัจจัยในการแพร่ขยายพันธุ์ การบูรณะอาคารโบราณสถานในปัจจุบันนั้นโดยมากได้มีการแก้ปัญหาในส่วนความชื้นจากดิน ด้วยวิธีสร้างทางระบายอากาศ เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการระเหยของความชื้นในผนังและใต้พื้นออก โดยพยายามหลีกเลี่ยงวิธีที่จะทำให้โครงสร้างของโบราณสถานเกิดการบอบช้ำและพยายามคงสภาพวัสดุอาคารดั้งเดิมไว้ วิธีดำเนินการตัดลดความชื้นจะกระทำโดยการอัดน้ำยาป้องกันความชื้นเข้าไปในผนังของโบราณสถาน โดยจะพบว่าในบางอาคารมีการเพิ่มช่องระบายอากาศบริเวณฐานอาคารเพื่อช่วยระบายความชื้นด้วยเช่นกัน นอกจากการตัดความชื้นดังกล่าวแล้วการควบคุมความชื้นของอากาศภายในอาคารอาจจะใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาระดับความชื้นภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ แต่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก เนื่องจากต้องเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งวัน หากหยุดใช้เครื่องปรับอากาศอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องจะสูงขึ้น ขณะที่ผนังยังมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ (สุรียน ศิริธรรมปิติ, 2542)

จากการศึกษาเพิ่มเติมของ Lourenco, Luso, and Almeida (2006) ได้วิจัยเกี่ยวกับปัญหาการชำรุดเสียหายของอาคารประวัติศาสตร์เดิมในประเทศโปรตุเกสดังภาพที่ 1.2 และภาพที่ 1.3 โดยได้สรุปว่าปัญหาที่สำคัญที่สุดสำหรับภายนอกและภายในอาคารคือปัญหาที่เกี่ยวกับน้ำ และได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารทุกหลังได้ผลสรุปว่าอาคารส่วนมากมีสภาพอากาศภายในที่ไม่เหมาะสม มีความชื้นในเกณฑ์ที่สูงตลอดทั้งวัน ซึ่งถือเป็นบ่อเกิดของเชื้อรา และได้ระบุเพิ่มเติมว่าควรระวังปัญหาเกี่ยวกับการควบแน่นของน้ำด้วยสาเหตุของปัญหาดังกล่าวอาจเนื่องมาจากเทคโนโลยีการก่อสร้างและวัสดุในสมัยเก่า



ภาพที่ 1.2 สภาพปัญหาที่พบบริเวณภายนอกอาคาร (Lourenco, Luso, & Almeida, 2006)



ภาพที่ 1.3 สภาพปัญหาที่พบบริเวณภายในอาคาร (Lourenco, Luso, & Almeida, 2006)

ดังนั้นจึงควรหาองค์ความรู้หรือเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่สามารถนำมาปรับใช้กับวัสดุและโครงสร้างดั้งเดิมของอาคาร และที่สำคัญคือต้องเป็นวิธีการที่สามารถรักษาไว้ซึ่งคุณค่าดั้งเดิมของอาคาร เช่น การระบายอากาศ ระบบปรับอากาศ และการใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนัง ซึ่ง Berardinis, Rotilio, Marchionni, and Friedman (2014) ได้กล่าวเพิ่มเติมไว้ว่า การปรับปรุงอาคารเดิมนั้นไม่ใช่คำนึงถึงเพียงแต่เรื่องของโครงสร้างอาคารเท่านั้นแต่ควรให้ความสำคัญเรื่องของประสิทธิภาพในเรื่องการประหยัดพลังงานควบคู่ไปด้วย เพราะปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมายในปัจจุบัน มีสาเหตุที่สำคัญมาจากการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย โดยปราศจากการคำนึงถึงผลเสียที่จะตามมา และสำหรับในงานสถาปัตยกรรมนั้นก็ถือว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับเรื่องการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก สุดตาภา ใจแสน และ อรรถจัน เศรษฐสุนทร (2556) ได้สรุปว่าขั้นตอนการรีโนเวทหรือการทำลายอาคารนั้นถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการเกิดสภาวะโลกร้อน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบ

ระหว่างการรื้อถอนหรือการทุบทำลายอาคารเดิมเพื่อก่อสร้างอาคารใหม่ ก็กับการปรับปรุงอาคารเก่าให้สามารถใช้งานได้ในลักษณะเดียวกันนั้น การปรับปรุงอาคารเก่าถือได้ว่าเป็นการประหยัดทรัพยากรและพลังงานได้มากกว่าการสร้างอาคารใหม่ขึ้นมาทั้งหมด

ดังนั้นในการศึกษาคั้งนี้จึงมุ่งหวังที่จะศึกษาและค้นคว้าหาแนวทางในปรับปรุงอาคารโบราณสถานให้มีสภาพอากาศภายในที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ควบคู่ไปกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานให้แก่อาคาร

1.2 คำถามในการวิจัย

1.2.1 โบราณสถานในอดีตที่มีโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีปัญหาในการใช้งานหรือไม่

1.2.2 การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม เช่น การใส่ฉนวนบริเวณผนังด้านในอาคารและฝ้าเพดานชั้นหลังคา การปรับเปลี่ยนชนิดกระจก รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ สามารถประหยัดพลังงานจากการใช้งานและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่

1.2.3 สำหรับวิธีการแก้ปัญหาเรื่องสภาพอากาศภายในอาคารที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงเกินเกณฑ์นั้น วิธีการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศอาจสามารถควบคุมระดับอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคารให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมได้ แต่ก็ใช่วิธีที่ใช้พลังงานสูงมาก ดังนั้นทางเลือกในการใช้เครื่องดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจะทำให้อาคารยังคงมีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานรวมทั้งมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ รวมทั้งการใช้งานเครื่องดูดความชื้นเพื่อควบคุมสภาพอากาศภายในให้อยู่ในเกณฑ์จะช่วยในการประหยัดพลังงานจากการใช้งานอาคารได้ โดยวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.4.1 เพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหาของโบราณสถานจากการเก็บข้อมูล และสำรวจอาคารจริง โดยคัดเลือกอาคารกรณีศึกษาจากโบราณสถานที่ยังคงมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันและมีประเภทการใช้งานที่แตกต่างกัน

1.4.2 เพื่อวิเคราะห์และประเมินสภาพอากาศภายในโบราณสถาน โดยการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในอาคารจริง

1.4.3 เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงาน โดยการศึกษา ค้นคว้า สำรวจ และเก็บรวบรวมข้อมูล จากอาคารกรณีศึกษาจริง ทั้งแบบสถาปัตยกรรม วิศวกรรม ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า รวมทั้งใบเสร็จค่าไฟฟ้า

1.4.4 เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงโบราณสถานให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน รวมทั้งมีสภาพอากาศภายในอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละแนวทางด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 และการคำนวณ

1.4.5 เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พร้อมทั้งสรุปผลการศึกษาเพื่อนำเสนอเป็นแนวทางสำหรับการนำไปใช้กับโบราณสถานจริงต่อไป

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 การศึกษาครั้งนี้กำหนดขอบเขตอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารที่ก่อสร้างขึ้นในช่วงรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 5) จนถึงรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 7) ซึ่งเป็นช่วงที่สถาปัตยกรรมตะวันตกเข้ามามีอิทธิพลต่อสถาปัตยกรรมในประเทศไทยเป็นอย่างมาก ดังนั้นสถาปัตยกรรมที่สร้างขึ้นในช่วงดังกล่าวจึงมีโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนักซึ่งเป็นลักษณะเด่นของสถาปัตยกรรมแบบตะวันตกที่มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยศึกษาโบราณสถานประเภทอาคารเดี่ยวที่ใช้งานช่วงเวลากลางวันเป็นหลักในปัจจุบัน

1.5.2 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น รวมทั้งข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร โดยศึกษาเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่เกิดจากปัจจัยหลัก ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร

1.5.3 ศึกษากระบวนการเลือกอาคารที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร คือ ผนังที่ปิด ช่องเปิด รวมถึงหลังคา และระบบเครื่องกลที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร ทั้งนี้การวิจัยไม่ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ในสถานการณ์จริง คือ สภาพแวดล้อมโดยรอบ อาคารข้างเคียง รวมทั้งภูมิสถาปัตยกรรม

1.5.4 แนวทางการปรับปรุงอาคารต้องเป็นวิธีที่ไม่ทำลายคุณค่าดั้งเดิมของอาคาร โดยพิจารณาประสิทธิภาพของแต่ละแนวทางด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.1 เท่านั้น ไม่ได้ดำเนินการปรับปรุงอาคารจริง

1.6 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 การศึกษารวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา รวมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร และส่วนที่ 2 การจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.1 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.6.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศเพื่อศึกษาแนวคิดและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน รวมทั้งแนวทางการปรับปรุงโบราณสถาน

1.6.2 คัดเลือก สํารวจ ประเมิน และวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา

1.6.2.1 สํารวจโบราณสถานแต่ละพื้นที่เพื่อคัดเลือกอาคารกรณีศึกษา โดยมีขั้นตอนการพิจารณาดังนี้

- เป็นอาคารที่ก่อสร้างขึ้นในสมัยรัตนโกสินทร์ ช่วงระหว่างรัชกาลที่ 5 ถึงรัชกาลที่ 7 ซึ่งมีโครงสร้างอาคารในลักษณะผนังรับน้ำหนัก
- เป็นอาคารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และใช้งานในช่วงเวลากลางวันเป็นหลัก
- มีประเภทการใช้สอยอาคารที่แตกต่างกัน

เมื่อคัดเลือกแล้วเสร็จจึงได้อาคารกรณีศึกษาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวันเป็นหลักทั้งหมด 3 อาคาร ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์ ใช้งานเป็นพิพิธภัณฑ์

กรณีศึกษาที่ 2 โอ.พี. เพลส ใช้งานเป็นห้างสรรพสินค้า

กรณีศึกษาที่ 3 กระทรวงมหาดไทย ใช้งานเป็นสำนักงาน

1.6.2.2 สํารวจสภาพแวดล้อมและที่ตั้งโดยรอบอาคาร สภาพของอาคารในปัจจุบัน และวิเคราะห์ปัญหาของอาคารกรณีศึกษา

1.6.2.3 เก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับอาคารกรณีศึกษา ได้แก่ ข้อมูลทางกายภาพของอาคาร ลักษณะทางสถาปัตยกรรม วัสดุเปลือกอาคาร พื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ลักษณะการใช้งานอาคาร ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร พฤติกรรมการใช้สอยอาคารของผู้ใช้อาคาร ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในอาคารทั้งในเรื่องระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ภายในอาคาร

1.6.2.4 ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ตามจุดที่กำหนดภายในอาคาร และติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารที่มีการใช้งานเป็นสำนักงาน เพื่อประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารเพื่อประเมินสภาวะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษา

1.6.2.5 ประเมินและวิเคราะห์อาคารด้านประสิทธิภาพของอาคารโบราณสถาน โดยพิจารณาจากข้อมูลที่เก็บมาทั้งหมด แล้วสรุปปัญหาของอาคารกรณีศึกษาที่ต้องดำเนินการปรับปรุง รวมทั้งสรุปตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

1.6.3 สร้างแบบจำลองอาคารกรณีศึกษา (Base case) ด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 แล้วนำไปตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับใบเสร็จค่าไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งส่งผลให้สามารถปรับค่าต่างๆในโปรแกรมให้มีความแม่นยำ และลดข้อผิดพลาดในการสร้างอาคารอ้างอิงเพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละแนวทางการปรับปรุงต่อไป

1.6.4 เสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา (Propose) โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบสถาปัตยกรรมซึ่งต้องเป็นวิธีที่ไม่ทำลายคุณค่าอาคารเดิม รวมทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ รวมทั้งการเพิ่มการใช้งานระบบดูดความร้อนร่วมกับระบบปรับอากาศเทียบกับอาคารอ้างอิง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอาคารโบราณสถาน ทั้งในด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร รวมถึงประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงาน

1.6.5 วิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของแต่ละทางเลือก ด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 โดยเปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงาน (% SAVE) และปริมาณพลังงานที่ใช้

ต่อพื้นที่อาคาร (EUI) รวมทั้งประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนของการปรับปรุงในแต่ละแนวทาง และสรุปแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมกับอาคารโบราณสถานจริงต่อไป

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

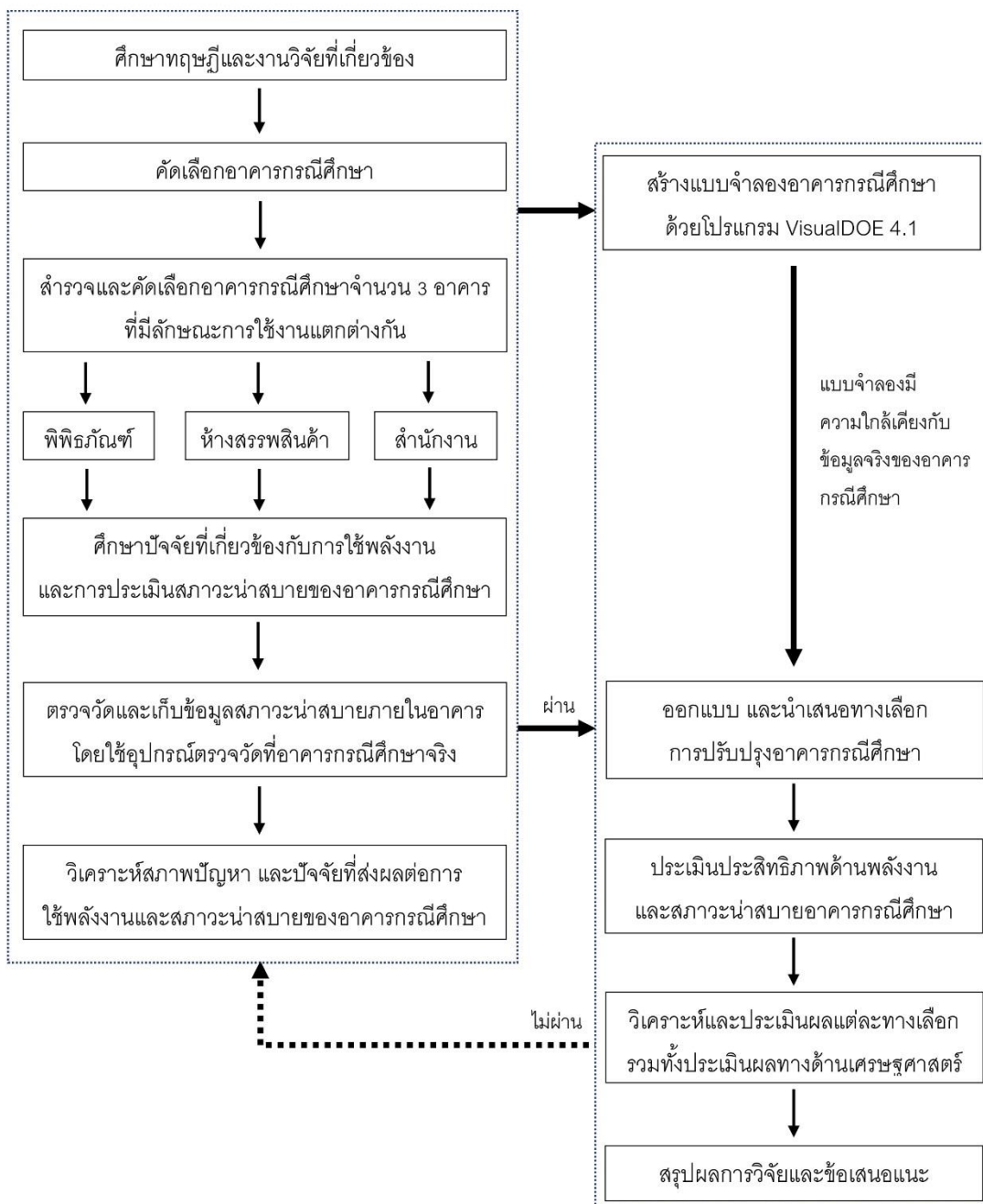
1.7.1 ทราบถึงปัญหา และประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานของอาคารโบราณสถานที่ยังคงใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหา รวมทั้งเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าวิจัยต่อไป

1.7.2 นำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานรวมทั้งการควบคุมสภาพอากาศภายในให้อยู่ในเกณฑ์ รวมทั้งนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงสำหรับโบราณสถานจริงแต่ละอาคารต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 1.2 ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ วิธีการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

	วัตถุประสงค์	ระเบียบวิธีการศึกษา	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
1	เพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหาของโบราณสถาน	ศึกษาจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การเก็บข้อมูล และสำรวจอาคารจริง โดยคัดเลือกอาคารกรณีศึกษาจากโบราณสถานประเภทอาคารเดี่ยวที่ใช้งานช่วงเวลากลางวันเป็นหลักในปัจจุบัน	ทราบถึงปัญหาของโบราณสถานที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าวิจัยต่อไป
2	เพื่อวิเคราะห์และประเมินสภาพอากาศภายในโบราณสถาน	ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และเพิ่มเครื่องมือวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารกรณีศึกษาที่ใช้งานเป็นสำนักงาน	
3	เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงาน	ศึกษา ค้นคว้า สืบค้น และเก็บรวบรวมข้อมูล จากอาคารกรณีศึกษาจริง ทั้งจากแบบสถาปัตยกรรม วิศวกรรม พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า รวมทั้งใบเสร็จค่าไฟฟ้า	
4	เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงโบราณสถานให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน รวมทั้งมีสภาพอากาศภายในอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม	จำลองและทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละแนวทางด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 รวมทั้งการคำนวณ	นำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานรวมทั้งการควบคุมสภาพอากาศภายในให้อยู่ในเกณฑ์ รวมทั้งนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทาง
5	เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์		ในการปรับปรุงสำหรับโบราณสถานจริงแต่ละอาคารต่อไปในอนาคต

1.8 ลำดับขั้นตอนในการทำการวิจัย



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงระเบียบวิธีการศึกษา

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทพลังงานความร้อน

ความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายเทพลังงานความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1.1 การนำความร้อน (Heat conduction)

เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุล หรือผ่านตัวกลางจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า พิจารณาได้จากค่าการนำความร้อน (Conductivity : K) คือปริมาณความร้อนที่ผ่านเนื้อวัสดุ ต่อหน่วยความหนา ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิ และต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะมีสภาพนำความร้อนสูง เช่น วัสดุประเภทโลหะ ส่วนวัสดุที่มีสภาพนำความร้อนต่ำจะเป็นวัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อน เช่น พวกฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ

2.1.2 การพาความร้อน (Heat convection)

เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่มีของเหลวหรือก๊าซทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปจากผิววัสดุ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อความร้อนผ่านเข้าสู่ผนังอาคารแล้วผนังด้านในจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้อากาศรอบๆผนังด้านในมีอุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นอากาศที่ร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น ทำให้อากาศภายในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหมุนเวียนเข้าแทนที่ในลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน

2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทางโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานดังเช่นการนำความร้อนและการพาความร้อน การแผ่รังสีจึงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือสุญญากาศ อาคารจะได้รับความร้อนโดยการแผ่รังสีทั้งรูปแบบรังสีทางตรงและรังสีกระจาย

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอาคาร

สำหรับการถ่ายเทความร้อนนั้น นอกจากการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในด้านต่างๆของวัสดุด้วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ค่าการนำความร้อน (Conductivity หรือค่า K)

คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ ต่อหน่วยความหนา ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิ และต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$

2.2.2 ค่าความต้านทานความร้อน (Resistance หรือค่า R)

คืออัตราส่วนระหว่าง ความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับค่าการนำความร้อนของวัสดุ กรณีที่วัสดุซ้อนกันหลายชั้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจะเท่ากับผลบวกของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุที่กำหนดแต่ละชั้นรวมกันและค่าการต้านทานความร้อนจะมีความสัมพันธ์กับค่าการนำความร้อนแบบเป็นส่วนกลับกัน กล่าวคือถ้าค่าการต้านทานความร้อนสูง วัสดุนั้นก็จะมีค่าการนำความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็น $(m^2 \cdot ^\circ C) / W$

2.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

(Coefficient of heat transmission หรือค่า U)

คือค่าพลังงานที่ถ่ายเทบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยมีความต่างอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส หรือ 1 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น $W/m^2 \cdot ^\circ K$ หรือ $W/m^2 \cdot ^\circ C$

2.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่าน (U and Time Lag Values)

สามารถแบ่งวัสดุออกตามคุณสมบัติเป็น 2 ประเภทคือ

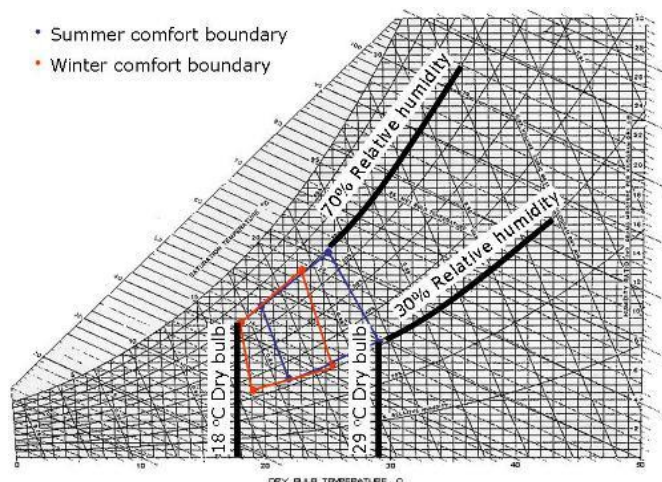
- วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ โดยมากมีน้ำหนักเบา มักใช้เป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งเหมาะกับบริเวณที่ใช้งานในเวลากลางวัน
- วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูงหรือวัสดุที่มีมวลสาร เป็นวัสดุที่มีค่าช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านจากผิวด้านนอกสู่ผิวด้านใน (Time Lag) สูง โดยจะกักเก็บความร้อนที่สะสมในเวลากลางวัน และจะแผ่รังสีความร้อนออกสู่ภายในอาคารเมื่ออากาศภายในมีอุณหภูมิต่ำลง ส่งผลให้ภายในอาคารร้อนขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะกับการใช้งานในเวลากลางวัน

2.3 สภาวะน่าสบาย

สิ่งสำคัญประการหนึ่งที่อยู่อกแบบควรคำนึงถึงในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน คือ ความรู้สึกร้อน-หนาวของผู้ใช้อาคารหรือสภาวะน่าสบายของมนุษย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับขอบเขตของสภาวะน่าสบาย (comfort zone) ที่อาจแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะดินฟ้าอากาศ สภาพแวดล้อม และความเคยชินที่แตกต่างกัน โดยมีปัจจัยหลักที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย ได้แก่

- เสื้อผ้า
- อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolic Rate)
- อุณหภูมิอากาศ
- ความชื้นสัมพัทธ์
- อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature; MRT)
- ความเร็วของกระแสลมที่พัดผ่านผิวหนัง

องค์กร ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers) ได้ศึกษาสภาวะน่าสบายของมนุษย์ และได้สร้างแผนภูมิที่แสดงถึงช่วงสภาวะสบาย ที่เรียกว่า แผนภูมิ Psychrometric chart สำหรับผู้อยู่อาศัยในประเทศสหรัฐอเมริกา ช่วงอุณหภูมิดังกล่าว คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ในอากาศอยู่ระหว่าง 30% ถึง 70% ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่ทำให้ผิวหนังแห้งหรือรู้สึกเหนียวตัวจนเกินไป กับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Temperature dry bulb) อยู่ในช่วง 18 องศาเซลเซียส (65 องศาฟาเรนไฮต์) ถึง 29 องศาเซลเซียส (85 องศาฟาเรนไฮต์) ดังภาพที่ 2.1 แต่ได้มีการนำไปปรับใช้ตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริก

ที่มา : Air-conditioner-selection.com (2559)

- สภาพะสบายในฤดูร้อน คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 30% ถึง 70%
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 23 องศาเซลเซียส (73 องศาฟาเรนไฮต์) และ 25 องศาเซลเซียส (77 องศาฟาเรนไฮต์)
- สภาพะสบายในฤดูหนาว คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 30% ถึง 70%
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 19 องศาเซลเซียส (67 องศาฟาเรนไฮต์) และ 22 องศาเซลเซียส (72 องศาฟาเรนไฮต์)

2.4 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)

กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 (กฎกระทรวง, 2552) กำหนดไว้ว่า

- สถานศึกษา สำนักงาน ต้องมีค่า OTTV ไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร
- ห้างสรรพสินค้า ต้องมีค่า OTTV ไม่เกิน 40 วัตต์ต่อตารางเมตร

ค่า OTTV ของผนังภายนอกอาคารแต่ละทิศทาง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$OTTV_i = (U_w)(1+WWR)(T_{Deq}) + (U_i)(WWR)(\Delta T) + (SC)(WWR)(SF)$$

โดยที่

OTTV _i	คือค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง ด้านที่พิจารณา (W/m ²)
U _i	คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ของผนังทึบ (W/m ² .°c)
WWR	คืออัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสง ต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา
TDeq	คือค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (°c)
U _f	คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก หรือผนังโปร่งแสง (W/m ² .°c)
ΔT	คือค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร กำหนดให้ใช้ค่า 5°c

SC คือค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SHGC คือค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนรังสีอาทิตย์

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอกทั้งหมดของอาคาร (OTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTVi)

2.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (RTTV)

กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 (กฎกระทรวง, 2552) กำหนดไว้ว่า

- สถานศึกษา สำนักงาน ต้องมีค่า RTTV ไม่เกิน 15 วัตต์ต่อตารางเมตร
- ห้างสรรพสินค้า ต้องมีค่า RTTV ไม่เกิน 12 วัตต์ต่อตารางเมตร

ค่า RTTV สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$RTTV = (U_i)(1-RSR)(T_{Deq}) + (U_{rt})(RSR)(\Delta T) + (SC)(RSR)(SF)$$

โดยที่

RTTV คือค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่พิจารณา

U_i คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนที่บี (W/m².°c)

RSR คืออัตราส่วนพื้นที่ของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคาต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

T_{Deq} คือค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (°c)

U_{rt} คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง (W/m².°c)

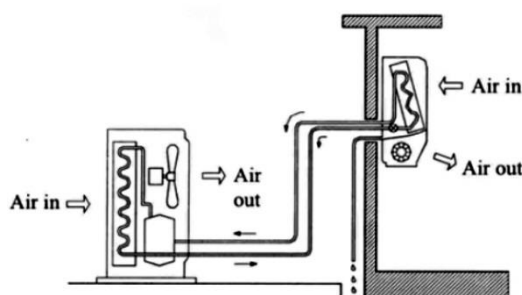
SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา

ST คือค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (Solar factor) ที่ผ่านส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา

2.5 ประเภทของระบบปรับอากาศ

ในปัจจุบันระบบปรับอากาศถือได้ว่าเป็นระบบหลักที่ทุกอาคารจำเป็นต้องใช้งาน เมื่อเทียบปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารหนึ่งอาคาร พบว่าระบบปรับอากาศนั้นมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุด ระบบปรับอากาศที่ใช้งานในปัจจุบันนั้นแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ดังนี้

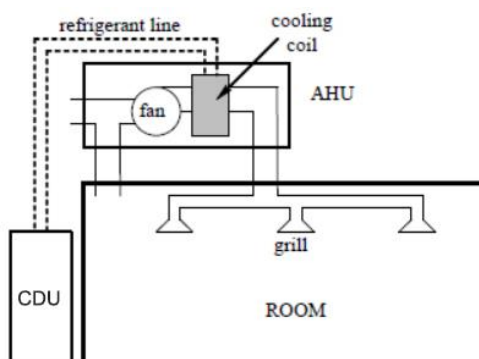
2.5.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type)



ภาพที่ 2.2 ไดอะแกรมของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดไม่เดินท่อลม

ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2559)

เป็นระบบปรับอากาศขนาดเล็ก ระบบที่ไม่เดินท่อลมดังภาพที่ 2.2 ส่วนมากมีขนาดการทำคามเย็นไม่เกิน 5 ตันความเย็น แบ่งส่วนประกอบออกเป็น 2 ส่วนคือ คอล์ยเย็น (Fan coil unit : FCU) ติดตั้งภายในพื้นที่ปรับอากาศ และคอล์ยร้อน (Condensing unit : CDU) ซึ่งมีเครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) อยู่ภายในโดยติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ถ้าเป็นระบบที่เดินท่อลมดังภาพที่ 2.3 จะมีขนาดการทำคามเย็นประมาณ 3 - 30 ตัน CDU ตั้งอยู่ภายนอกอาคารและ Air handling unit หรือ AHU อยู่บนฝ้าเพดานหรือในห้องเครื่อง มีการเดินท่อเพื่อช่วยให้การกระจายลมดีขึ้น แต่ต้องบำรุงรักษามากขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 2.3 ไดอะแกรมของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดเดินท่อลม

ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2559)

2.5.2 เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว (Package unit)

ประกอบด้วยแผงคอยล์เย็น คอยล์ร้อน และเครื่องอัดสารทำความเย็นรวมอยู่ในชุดแพ็คเกจเดียวกัน โดยมีท่อส่งลมเย็นและท่อลมกลับซึ่งติดตั้งอยู่ด้านในแล้วต่อท่อออกมาตามผนังด้านนอกอาคาร เชื่อมกับเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจ ท่อส่งลมเย็น (Supply air duct) ทำหน้าที่จ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศ และท่อลมกลับ (Return air duct) ทำหน้าที่นำลมเย็นที่แลกเปลี่ยนความเย็นให้กับห้องปรับอากาศกลับมายังแผงทำความเย็น โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายปริมาณลมเย็น (Variable air volume : VAV) เพื่อควบคุมปริมาณการทำความเย็นให้เหมาะสม แบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser) ได้ 2 แบบ คือ

1. ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Packaged Air Cooled Air Conditioner)

โดยทั่วไปมีขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 30 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้ง มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 1.4 – 1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน

2. ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Packaged Water Cooled Air Conditioner)

ใช้สำหรับระบบที่ต้องการกำลังทำความเย็นมาก มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศคือมีประสิทธิภาพอยู่ประมาณ 1.2 กิโลวัตต์ต่อตัน

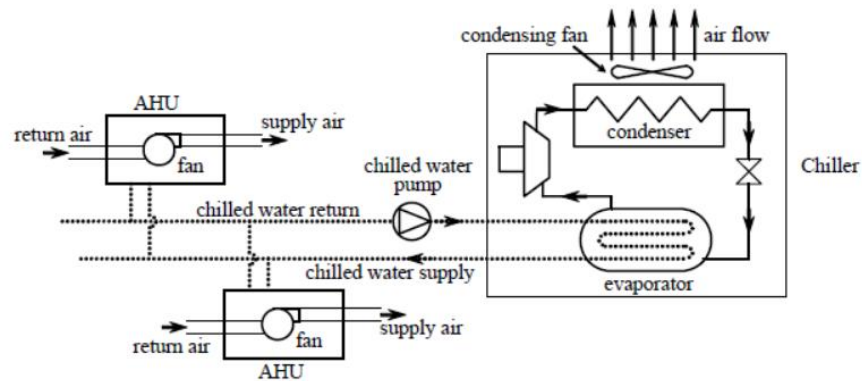
2.5.3 ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Water chiller)

เป็นระบบที่ใช้ทำน้ำเย็นเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความเย็นไปยัง Fan coil unit (FCU) เหมาะสำหรับอาคารที่มีขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ แบ่งตามชนิดคอมเพรสเซอร์ได้ดังนี้ แบบหยอชิง (Centrifugal Chiller), แบบลูกสูบ (Reciprocating Chiller) และแบบสกรู (Screw chiller)

แบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนออกเป็น 2 แบบคือ

1. แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller)

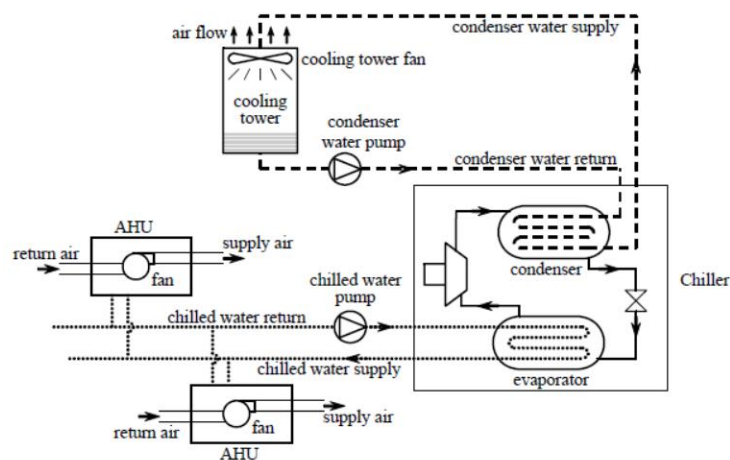
โดยปกติขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 500 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้ง หรือระบบน้ำสำหรับระบายความร้อน ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะอยู่ระหว่าง 1.4 -1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ
ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2559)

2. แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ หรือ (Water Cooled Water Chiller)

ใช้สำหรับระบบที่ต้องการขนาดการทำน้ำเย็นมาก โดยปกติขนาดการทำน้ำเย็นประมาณ 100 - 3,000 ตัน คอมเพรสเซอร์มักจะเป็นแบบลูกสูบ แบบสกรู และแบบหอยโข่งประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำดีกว่าชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยจะอยู่ระหว่าง 0.62 - 0.75 กิโลวัตต์ต่อตัน เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ต้องลงทุนสูงและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูงกว่า เนื่องจากจำเป็นต้องติดตั้งหอระบายความร้อน (Cooling Tower) และเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) รวมทั้งต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการสึกกร่อน และการเกิดตะกรันในระบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อันเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นต่ำลง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ
ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2559)

2.6 วิธีการคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศที่ดีจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำในการทำความเย็น โดยที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูง ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมีหน่วยเป็นบีทียู/ชั่วโมง และ ต้นความเย็น โดย 1 ต้นความเย็นมีค่าเท่ากับ 12,000 บีทียู/ชั่วโมง การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศมีวิธีดังต่อไปนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP)

เครื่องปรับอากาศที่มีค่า COP สูงจะมีประสิทธิภาพและใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า เครื่องปรับอากาศที่มีค่า COP ต่ำ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{COP} = \frac{\text{ปริมาณความเย็นที่ทำได้ (Watt)}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ (Watt)}}$$

หมายเหตุ : 1 วัตต์ เท่ากับ 3.412 บีทียู/ชั่วโมง

2. ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio: EER)

คือค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยมากมักใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีหน่วยเป็น (บีทียู/ชั่วโมง) /วัตต์ เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER สูงยิ่งมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าได้มากกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER ต่ำ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{EER} = \frac{\text{อัตราการทำความเย็น (BTU/hr)}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (Watt)}}$$

3. ค่ากิโลวัตต์ต่อต้นความเย็น (kW/ton)

ค่ากิโลวัตต์ต่อต้นความเย็นมักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นทั้งแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

โดยทั้ง 3 ค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\text{EER} = 3.412 \times \text{COP}$$

$$\text{kW/ton} = 3.517 / \text{COP} = 12 / \text{EER}$$

2.7 ทฤษฎีด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาทฤษฎีด้านเศรษฐศาสตร์ทั้งหมด 2 เรื่องดังนี้

2.7.1 การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน เป็นการหาระยะเวลาที่ได้รับผลตอบแทนในรูปของกระแสเงินสดเข้า เท่ากับกระแสเงินสดที่จ่ายลงทุน โดยไม่คำนึงถึงเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ว่าในระยะเวลาที่ต่างกันย่อมมีค่าไม่เท่ากัน มีข้อดีคือสามารถคำนวณได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ทำให้ทราบผลการคืนทุนเร็ว โดยโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นหรือคืนทุนเร็ว ย่อมมีความเสี่ยงน้อย สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนในการปรับปรุงทั้งหมด (บาท)}}{\text{จำนวนเงินจากค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี (บาท)}}$$

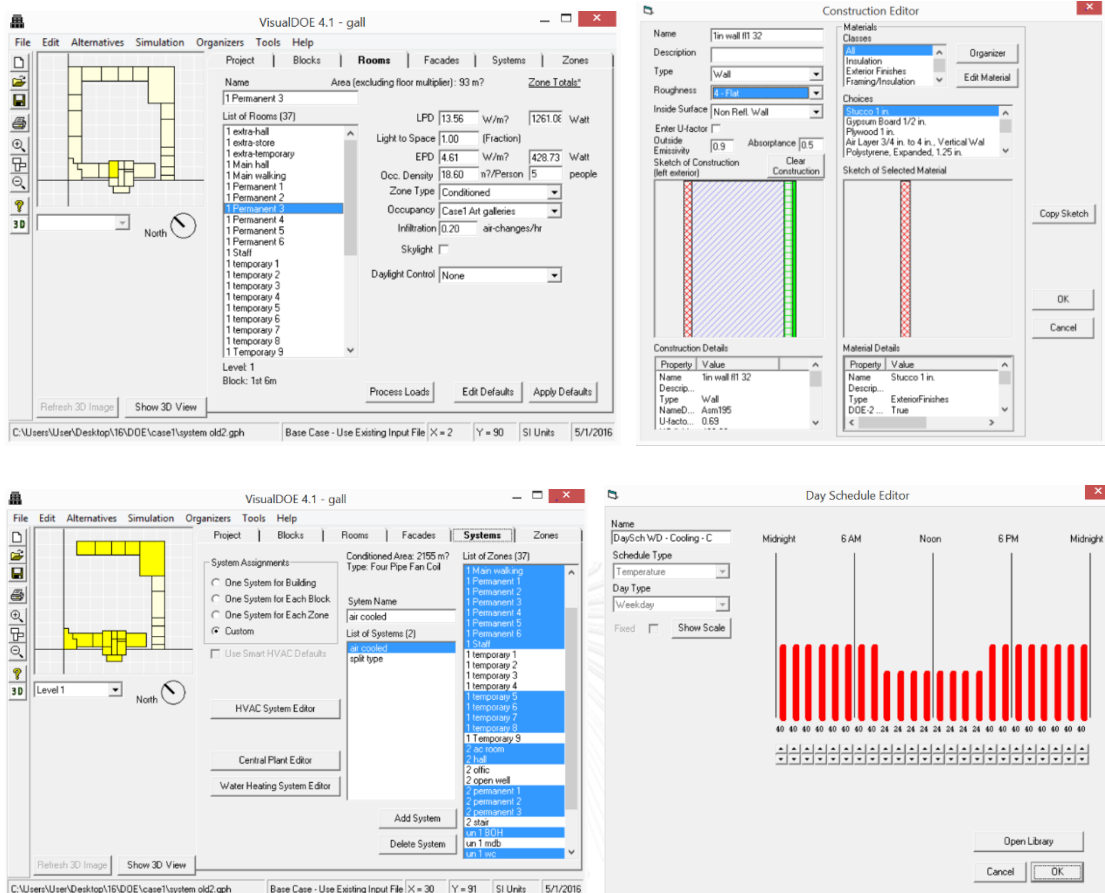
2.7.2 การคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (Return on Investment: ROI)

การวัดค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) เป็นวิธีที่พิจารณาศักยภาพของการลงทุนว่าผลตอบแทนจากการลงทุนที่ได้รับนั้นมีประสิทธิผลกับเงินที่ลงทุนไปหรือไม่ เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุน โดยผลลัพธ์ที่ออกมาจะมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) กล่าวคือสามารถทำกำไรได้กี่เปอร์เซ็นต์ต่อการลงทุนจำนวน 100 บาท ซึ่งหาก ROI มีค่าสูงถือว่ามีประสิทธิผลดี สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (\%)} = \frac{\text{ผลตอบแทน (บาท)}}{\text{เงินลงทุน (บาท)}} \times 100$$

2.8 การจำลองพลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานของอาคารเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการวิเคราะห์ทางเลือกเพื่อออกแบบหรือปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ในปัจจุบันมีหลากหลายโปรแกรม ยกตัวอย่างเช่น VisualDOE, Ecotect, EnergyPlus และ Equest โดยในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้โปรแกรม VisualDOE 4.1 สำหรับการจำลองอาคารนั้นจำเป็นต้องกรอกข้อมูลอาคารโดยละเอียดทั้งทิศทางการวางผังอาคาร ลักษณะทางกายภาพของอาคาร วัสดุอาคาร ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบอุปกรณ์อาคาร พฤติกรรมการใช้งานอาคาร รวมทั้งจำนวนบุคลากรที่ใช้งานอาคาร ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลอาคารลงในโปรแกรม VisualDOE 4.1

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

ศึกษาและค้นคว้าจากวิทยานิพนธ์ และบทความทางวิชาการ โดยใช้คำสำคัญในการสืบค้นคือ การอนุรักษ์อาคาร อาคารประวัติศาสตร์ สภาวะน่าสบาย สภาพอากาศภายในอาคาร และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สำหรับงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 หัวข้อ ทั้งหมด 18 บทความ ดังนี้

2.9.1 ปัญหาของอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์

Rani (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสภาพอากาศภายในอาคารสำหรับอาคารมรดกโลกในเมืองจอร์จทาวน์ ปีนัง ที่ประเทศมาเลเซีย ซึ่งปัจจุบันนี้ใช้งานเป็นสำนักงาน โดยการสำรวจและตรวจสอบ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และได้สรุปว่า อาคารมรดกโลกเหล่านี้โดยมากไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ทางมาเลเซียได้กำหนดไว้ สำหรับโบราณสถานในประเทศไทยนั้น สุริยนศิริธรรมปิติ (2542) ได้ระบุไว้ว่าการเกิดความชื้นในอาคารถือเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหาย

แก่อาคาร โดยเฉพาะโบราณสถาน การกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหายให้แก่อาคาร ส่วนประกอบอาคารรวมถึงภาพจิตรกรรมฝาผนัง โดยจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหยดน้ำที่ควบแน่นกับพื้นผิวผนังซึ่งมีสภาพเป็นกรดจากมลภาวะทางอากาศ ก่อให้เกิดเชื้อราและทำให้ฝุ่นจับบริเวณที่เกิดการควบแน่นได้ง่าย และทำให้เกิดการตกลึกของเกลือในเวลาต่อมา การควบแน่นของไอน้ำในอากาศจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิและความชื้นสูง และเมื่อพื้นผิวของอาคารมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้อากาศโดยรอบไม่สามารถรับปริมาณไอน้ำในอากาศได้อีกจึงเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำบริเวณผิวผนังนั้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเพื่อเปิดเครื่องปรับอากาศให้ช่วยควบคุมปริมาณความชื้นของอากาศภายในอาคาร และยังได้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในอาคาร โดยได้สรุปไว้ว่าการเกิดการควบแน่นภายในอาคารนั้นขึ้นอยู่กับ

- อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกอาคาร
- การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นของแต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวัน
- อุณหภูมิผิววัสดุอาคาร เช่น ผนัง พื้น หลังคา
- ค่าการนำความร้อน และการถ่ายเทความร้อนของวัสดุอาคาร
- ทิศที่ตั้ง และความหนาของผนัง

และได้เสนอแนะแนวทางไว้ว่าควรออกแบบและหาวิธีการบูรณะที่ถูกต้องเพื่อแก้ไขปัญหาเพื่อที่จะทำให้อาคารมีอายุที่ยืนยาวต่อไป

2.9.2 แนวทางการบูรณะอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์

ภัทร์ สีสัมพรโรจน์ (2545) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการอนุรักษ์โบราณสถานเพื่อใช้ประโยชน์ใหม่และได้สรุปแนวทางการอนุรักษ์ไว้ว่ามี 3 ปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา คือ

- เกณฑ์การพิจารณาด้านคุณค่าโบราณสถาน (Value)
- เกณฑ์การพิจารณาด้านการออกแบบและก่อสร้างอาคาร (Design and Construction)
- เกณฑ์การพิจารณาด้านการใช้งานอาคาร (Building use)

ต่อมา ลลิตา บุญมี (2555) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแนวคิด และทฤษฎีในการอนุรักษ์สถาปัตยกรรม และแบ่งประเภทการปรับปรุงอาคารเดิมออกเป็น 2 ประเภทคือ

- การปรับปรุงอาคารเดิม – ประโยชน์ใช้สอยเดิม
- การปรับปรุงอาคารเดิม – ประโยชน์ใช้สอยใหม่

ซึ่งสิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนการปรับปรุงอาคารทั้ง 2 รูปแบบคือ การประเมินคุณค่าของอาคารทั้งทางด้านประวัติศาสตร์ ด้านสถาปัตยกรรม และด้านความสำคัญต่อเมืองหรือชุมชน โดยภายหลังจากการวิเคราะห์จึงสามารถสรุปได้ว่า การรักษารูปแบบสถาปัตยกรรมภายนอกเป็นสิ่งที่สำคัญมากที่สุด ซึ่งการรักษาคุณค่าทางด้านสถาปัตยกรรมในเรื่องความแท้ด้านรูปทรงและการออกแบบนี้เองจะส่งผลต่อการรักษาคุณค่าด้านอื่นๆ และถึงแม้ว่าจะมีการใช้วัสดุใหม่ติดตั้งภายในอาคารเดิม ก็สามารถสร้างความกลมกลืนด้วยความเรียบง่าย และการใช้สีที่ไม่ลดความสำคัญของกายภาพอาคารเดิมได้ และสรุปแนวทางในการปรับปรุงอาคารอนุรักษ์ที่สามารถรักษาคุณค่าและความแท้ดั้งเดิมไว้ได้ โดยแบ่งแนวทางการสื่อความหมายออกเป็น 3 แนวทาง คือ สื่อด้วยการบูรณะ สื่อด้วยความกลมกลืน และ สื่อด้วยความแตกต่าง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แนวทางการสื่อความหมายเพื่อรักษาคุณค่าของอาคารอนุรักษ์ (ลลิตา บุญมี, 2555)

แนวทางการสื่อความหมาย	วิธีการ	สิ่งที่ต้องคำนึง
สื่อด้วยการบูรณะ	รักษาความแท้ด้านรูปทรงและการออกแบบทุกอย่างตามเจตนาดั้งเดิมในการออกแบบ ทั้งภายนอกอาคาร ภายในอาคาร งานระบบ และวัสดุก่อสร้าง	ข้อมูลรูปแบบสถาปัตยกรรมที่ถูกต้องและชัดเจน
สื่อด้วยความกลมกลืน	เพิ่มองค์ประกอบใหม่เข้าไปโดยสร้างความกลมกลืนกับองค์ประกอบเดิม	กลมกลืนแต่สามารถแยกแยะระหว่างกายภาพเดิมกับองค์ประกอบใหม่ได้
สื่อด้วยความแตกต่าง	ผสานองค์ประกอบใหม่ที่ร่วมสมัยกับช่วงเวลาการปรับปรุงอาคารให้เข้ากับกายภาพเดิม	องค์ประกอบใหม่ต้องไม่เด่นชัดและไม่ลดความสำคัญของกายภาพเดิมลงไป

ซึ่งสอดคล้องกับ Buvik, Andersen, and Tangen (2014) ที่ใช้อาคารเรียนเดิมในประเทศนอร์เวย์ เป็นกรณีศึกษา โดยได้กล่าวสรุปไว้ว่าการปรับปรุงอาคารที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์นั้น ต้องปรับปรุงให้สอดคล้องกับรูปแบบอาคารดั้งเดิมให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และได้เพิ่มเติมว่า ภายหลังจากการปรับปรุงอาคารจะต้องมีการใช้พลังงานให้น้อยที่สุด และมีสภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

2.9.3 แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพคุณภาพอากาศภายในอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

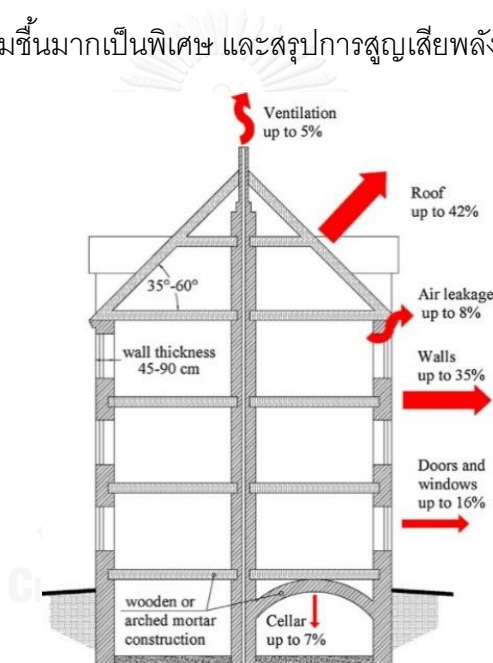
Balocco and Grazzini (2007) ได้ทำการสำรวจเกี่ยวกับสภาพอากาศภายใน “Hall of the Five Hundred” พบว่ามีคุณภาพอากาศภายในที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานเนื่องจากความ

กว้าง ความยาว และความสูงของห้องที่มากเกินกว่าภาระของเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความร้อนจะควบคุมไว้ได้ และได้นำเสนอแนวทางการติดตั้งแผ่นแผ่รังสี (Radient Platform) ที่บริเวณพื้นห้อง เพื่อให้อากาศภายในเกิดการหมุนเวียน และได้นำวิธีการนี้ไปจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าอากาศภายในห้องโถงสามารถหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าเดิม และให้คำแนะนำเพิ่มเติมไว้ว่าอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์หากต้องการเปลี่ยนแปลงการใช้สอยเป็นพิพิธภัณฑ์มีเรื่องต้องพิจารณา 2 ข้อคือ ต้องไม่ทำลายคุณค่าอาคารเดิม และต้องมีสภาพอากาศภายในที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานและผู้เข้าชม รวมทั้งควรจำลองสภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อนเริ่มต้นการปรับปรุงเสมอ ต่อมา Papadopoulos, Avgelis, and Anastaselos (2008) ได้ทำการวิจัยหาแนวทางการปรับปรุงสภาพอากาศภายในของอาคาร White Tower ที่เปลี่ยนการใช้สอยจากเดิมเป็นคุก มาเป็นพิพิธภัณฑ์ในปัจจุบัน โดยพบว่าสภาพอากาศภายในที่ไม่เหมาะกับการใช้งาน โดยเฉพาะปัญหาเรื่องความชื้น ตอนท้ายจึงได้เสนอแนะให้ติดตั้งอุปกรณ์ลดความชื้น (Dehumidifier) และอุปกรณ์ระบายอากาศ (Ventilator) ให้ทำงานเฉพาะเวลาการใช้งาน และยกเลิกการใส่กระจกบริเวณช่องเปิดเพื่อให้อากาศหมุนเวียนได้ดีขึ้นที่บริเวณโถงบันได

2.9.4 แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์

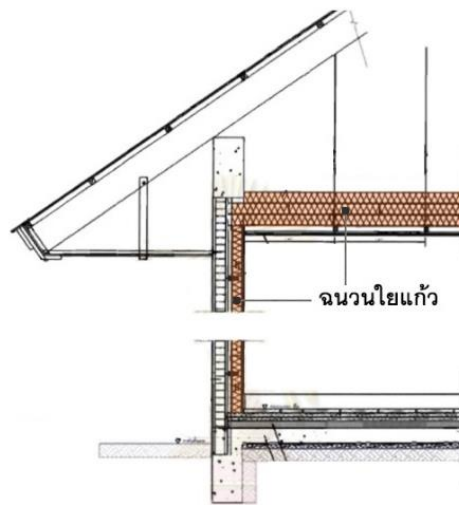
รูปแบบของอาคารอนุรักษ์ที่ก่อสร้างขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 5 – รัชกาลที่ 6 นั้น เนื่องจากเป็นช่วงที่สถาปัตยกรรมตะวันตกเข้ามามีบทบาทในประเทศไทยเป็นอย่างมากดังนั้นสถาปัตยกรรมในยุคนี้จึงมีลักษณะเป็นอาคารโครงสร้างผนังก่ออิฐรับน้ำหนักที่ผนังหนาตั้งแต่ 25 ซม. ไปจนถึง 60 ซม. ซึ่งจากการศึกษาของ ญัฐกานต์ เกษประทุม (2543) ที่ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมากได้ระบุว่าอิทธิพลค่าความจุความร้อนมีผลต่อค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนนั้นคือ ผนังที่มีความหนามากจะมีความจุความร้อนมาก ทำให้มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมาก ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีช่วงเวลากหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่าผนังคอนกรีตหนา 20 และ 10 ซม. เท่ากับ 1 และ 2.5 ซม. ตามลำดับ และในสภาวะปรับอากาศ ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. จะใช้พลังงานในการลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังน้อยกว่าผนังคอนกรีตหนา 20 และ 10 ซม. เท่ากับ 8 และ 10.7 ปีที่อุณหภูมิต่ำต่อวัน โดยได้ข้อสรุปว่าอาคารไม่ปรับอากาศและใช้งานช่วงเวลากลางวันเหมาะกับการใช้ผนังมวลสารมาก แม้อุณหภูมิภายในจะไม่อยู่ในเขตสบายแต่สามารถใช้การพัดพาของอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิให้เข้าสู่เขตสบายได้ ส่วนอาคารที่ไม่ปรับอากาศที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางคืนหรือใช้งานตลอดทั้งวันไม่เหมาะสมกับการใช้ผนังมวลสารมาก ซึ่งสอดคล้องกับ สรญา ประวิตรางกูร (2543) ที่ได้ระบุว่าอาคารที่ปรับอากาศเวลา

กลางวัน รวมทั้งอาคารที่ปรับอากาศตลอด 24 ชม. ควรใช้ผนังที่มีมวลสารมาก Buvik et al. (2014) ได้แนะนำวิธีการปรับปรุงอาคารทั้งหมด 4 วิธีคือ (1) การปรับปรุงรูปร่างอาคารภายนอก (2) การเปลี่ยนหน้าต่างใหม่โดยให้มีรูปร่างใกล้เคียงกับอาคารเดิมมากที่สุด และ (3) การใส่ฉนวนกันความร้อนที่ห้องใต้หลังคา และ (4) การปรับปรุงระบบการทำความร้อนภายในอาคาร โดยตั้งเป้าหมายว่าถ้าใช้ทั้ง 4 วิธีร่วมกันจะสามารถลดอัตราการใช้พลังงานในอาคารได้ถึง 67% โดย Zagorskas et al. (2014) ได้กล่าวเพิ่มเติมว่าสำหรับอาคารเดิมที่เป็นโครงสร้างผนังรับน้ำหนักนั้น สามารถใส่ฉนวนที่ผนังด้านในของเปลือกอาคารได้ ถึงแม้ว่าจะมีปัญหาเรื่องของพื้นที่ใช้งานที่ลดลง เนื่องจากความหนาของผนังที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ยังเป็นวิธีการที่สามารถลดการใช้พลังงานได้ โดยสรุปว่าการใส่ฉนวนที่ผนังภายใน และหลังคาสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ 70% แต่ต้องระวังเรื่องของปัญหาความชื้นมากเป็นพิเศษ และสรุปการสูญเสียพลังงานในอาคาร ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ค่าเฉลี่ยการสูญเสียพลังงานในอาคารประวัติศาสตร์ที่มีโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนัก (Zagorskas et al., 2014)

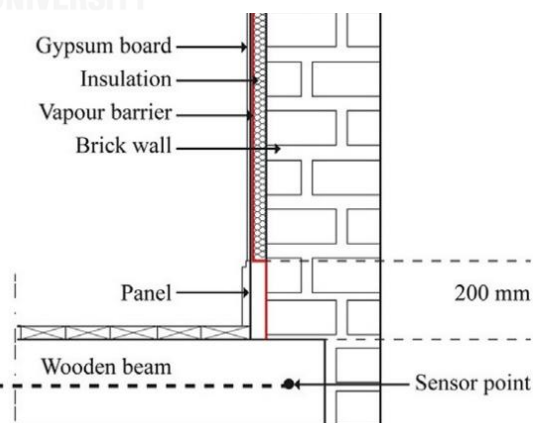
เมื่อศึกษาเรื่องฉนวนเพิ่มเติม สฤกกา พงษ์สุวรรณ (2552) พบว่าปัจจัยสำคัญของฉนวนกันความร้อนที่ส่งผลต่อการลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้แก่ (1) ค่าการต้านทานความร้อน หรือค่าการนำความร้อน (2) ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน และ (3) มวลสาร โดยได้สรุปว่า หลังคา ผนัง และพื้นอาคารคือองค์ประกอบของเปลือกอาคารที่จำเป็นต้องใช้ฉนวนกันความร้อน สำหรับในส่วนของผนังนั้นได้แนะนำว่าการติดตั้งฉนวนที่ผนังภายนอกนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่หากเป็นกรณีของอาคารเดิมที่จำเป็นต้องคงรูปแบบอาคารภายนอกไว้ ก็สามารถใส่ฉนวนบริเวณผนังเปลือกอาคารที่อยู่ด้านในอาคารได้ ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การประยุกต์ใช้ฉนวนสำหรับอาคารเก่าที่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนภายในอาคาร

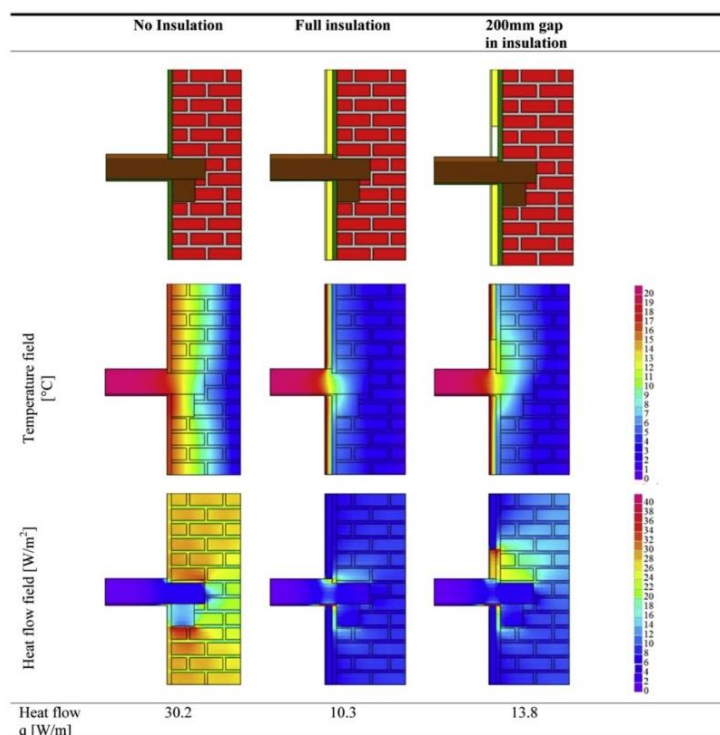
(สฤกกา พงษ์สุวรรณ, 2552)

แต่การใส่ฉนวนภายในนั้นจะต้องระวังเรื่องของปัญหาความชื้นมากเป็นพิเศษ เนื่องจากอาจเกิดการแทรกซึมของความชื้นจากภายนอกอาคารตามแนวรอยต่อของโครงสร้าง โดยการใส่ฉนวนภายในอาคารนี้มีข้อดีอีกอย่างหนึ่ง คือ ช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านการกันเสียงจากภายนอก และดูดซับเสียงจากภายในอาคาร โดย Harrestrup and Svendsen (2015) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการใส่ฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังเปลือกอาคารด้านใน โดยได้สรุปว่าวิธีการใส่ฉนวนโดยหยุดที่เหนือคานไม้ชั้นบนที่ระยะ 200 มม. ดังภาพที่ 2.9 และภาพที่ 2.10 สามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ 3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อตารางเมตร ต่อปี และที่สำคัญคือไม่มีปัญหาเรื่องความชื้นในภายหลัง



ภาพที่ 2.9 รายละเอียดการติดตั้งฉนวนโดยหยุดที่เหนือคานไม้ที่ระยะ 200 มม.

และตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดความชื้น (Harrestrup & Svendsen, 2015)



ภาพที่ 2.10 เปรียบเทียบอุณหภูมิและค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารปกติ และผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน (Harrestrup & Svendsen, 2015)

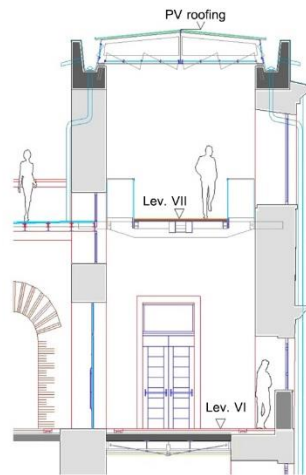
สำหรับเรื่องชนิดของฉนวนกันความร้อนที่จะเลือกใช้กับอาคารนั้น อภิษฎา อธิคมบัณฑิตกุล และ อรรถจัน เศรษฐบุตร (2556) ได้สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนที่บริเวณหลังคาเอาไว้ว่า ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้งานอาคารในแต่ละช่วงเวลาเนื่องจากภาระการทำความเย็นมีส่วนในการสิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด ซึ่งหากมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่ควรใช้ฉนวนมวลสารเพื่อหน่วงความร้อนไว้ไม่ให้เข้ามาเป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศมากนัก โดยแนะนำให้ใช้ฉนวนใยแก้ว ในทางกลับกันหากใช้เครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ควรเลือกใช้ฉนวนที่ไม่มีมวลสารเพื่อให้ความร้อนสามารถคายสู่ท้องฟ้าได้เร็ว ซึ่งเป็นการช่วยลดภาระของระบบปรับอากาศ โดยแนะนำให้ใช้อลูมิเนียมฟอยล์หรือสีทากันความร้อนผสมอนุภาคซิลิกา แต่ถือได้ว่ามีต้นทุนสูงมากกว่าฉนวนใยแก้วค่อนข้างมาก

ต่อมา กวิน วิฑูรพงศ์ (2556) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสีทากันความร้อนผสมอนุภาคซิลิกาพบว่าเมื่อนำมาใช้งานจริงสีทากันความร้อนผสมอนุภาคซิลิกานั้นถือได้ว่ายังไม่คุ้มค่า และตามกฎหมายกระทรวงว่าด้วยเรื่องวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 กำหนดไว้ว่าวัสดุประเภทสะท้อนความร้อนไม่สามารถนำมาคำนวณค่า Overall Thermal Transfer Value (OTTV) และค่า Roof Thermal Transfer Value (RTTV) ได้ ซึ่งหากจะ

นำไปใช้กับอาคารที่ต้องการการรับรองจากเกณฑ์อาคาร หรือกฎหมายพลังงานควรพิจารณาเลือกใช้ฉนวนชนิดอื่นแทน และสุดท้ายได้ระบุว่าอาคารที่ใช้งานในเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่เหมาะสมกับการใช้ฉนวนกันความร้อนที่หลังคามากกว่า ซึ่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่หลังคาสำหรับช่วงเวลากลางคืนถือว่าไม่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน

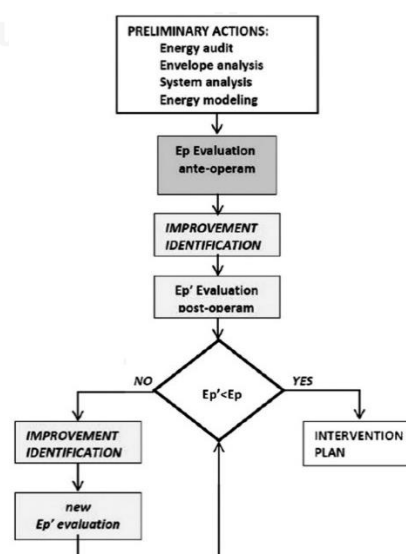
ในส่วนการปรับปรุงส่วนของเปิดนั้น สุรพล เดชพล (2552) ได้กล่าวไว้ว่ากระจกเป็นส่วนที่รับความร้อนเข้าสู่อาคารมากที่สุด เนื่องจากความร้อนสามารถผ่านทะลุเข้าสู่อาคารได้พร้อมๆกับแสงสว่าง ดังนั้นในการเลือกใช้กระจกจึงควรเลือกกระจกที่มีค่าการนำรังสีความร้อน (U-Value) เข้าสู่อาคารที่น้อยที่สุด แต่สำหรับกระจกที่ดีนั้นนอกจากจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ดีแล้ว ยังต้องมีคุณสมบัติในการยอมให้ แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาเพื่อการส่องสว่างภายในอาคารด้วย ดังนั้นในการเลือกใช้กระจกควรจะต้องประเมินจุดที่เหมาะสมระหว่างการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และค่าการรับแสงสว่างธรรมชาติ โดยได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประเมินค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อใช้วิธีเปลี่ยนกระจก ร่วมกับวิธีการใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนังภายในอาคาร และฝ้าเพดานในชั้นที่อยู่ใต้หลังคา เทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน พบว่าสามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 11.3 - 11.6 % และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาประมาณ 11.9 - 12 ปี

จากการศึกษาของ Moschella et al. (2013) ซึ่งเสนอแนวทางการใช้เทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Technology) สำหรับอาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ โดยเสนอให้ติดตั้งเทคโนโลยี Building integrated photovoltaic systems (BIPV) เฉพาะที่บริเวณหลังคา เนื่องจากไม่สามารถใส่ที่ผนังภายนอกอาคารได้ ซึ่งได้แนะนำเพิ่มเติมว่าสำหรับการใช้งานจริงควรเลือกสีของวัสดุให้ใกล้เคียงกับสีของหลังคาเดิม เพื่อไม่ให้กระทบกับคุณค่าของอาคารเดิม โดยการติด BIPV บนหลังคานี้สามารถเพิ่มค่าการส่องสว่างได้ 52% และประหยัดพลังงานได้ 8.86% และสำหรับเรื่องของระบบ Photovoltaic systems (PV) นั้น Bellia, d' Ambrosio Alfano, Giordano, Lanniello, and Riccio (2015) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดของ PV โดยติดตั้งที่บริเวณหลังคา ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การติดตั้ง PV แบบที่บแสงเหนือหลังคา (Bellia et al., 2014)

และแบ่ง PV ออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบที่บแสง และแบบกึ่งโปร่งแสง เมื่อประเมินผลพบว่าแบบที่บแสงให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบกึ่งโปร่งแสง เนื่องจากหากเป็นฤดูร้อนการใช้ PV ชนิดกึ่งโปร่งแสงจะส่งผลให้ภายในอาคารมีปัญหาในเรื่องของแสงที่สว่างเกินไป และอุณหภูมิที่สูงมากจนเกินไปซึ่งได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในการใช้ PV แบบที่บแสงร่วมกับการติดตั้งกระจกฉนวนความร้อน (ขนาด 3+4+3 มม.) ที่บริเวณพื้นที่บนสุดและที่หน้าต่าง พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 27.1% ในฤดูร้อน และช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 32.1 ตันต่อปี โดย Santoli (2015) ได้อธิบายเพิ่มเติมถึงแนวทางในการประเมินผลและพัฒนาประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารเดิมที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ขององค์กร The Italian Association of Air Conditioning and Heating (AiCARR) ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 กระบวนการในการปรับปรุงประสิทธิภาพเรื่องพลังงานสำหรับอาคารประวัติศาสตร์ของ AiCARR (Santoli, 2015)

โดย AiCARR นั้นให้ความสำคัญในด้านการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อค้นคว้าหาเครื่องมือในการตรวจสอบ และประเมินการจัดการควบคุมดูแลโดยจะค้นคว้าหาแนวทางที่เหมาะสมกับความต้องการและลักษณะเฉพาะของอาคารซึ่งถือได้ว่าเป็นมรดกทางวัฒนธรรม รวมถึงได้จัดหาสถาบันที่จะคอยดูแลและประเมินระดับประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน โดยต้องเป็นไปตามหลักการฟื้นฟูสภาพอาคารที่สอดคล้องกับเกณฑ์ในการอนุรักษ์อาคารเดิมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์

2.10 วิจัยนิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองพลังงาน

จากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานให้แก่อาคาร โดยใช้โปรแกรม VisualDOE 4.1 ช่วยในการวิเคราะห์ทางเลือกนั้น พบว่ามีวิทยานิพนธ์จำนวนหนึ่งที่ศึกษาในด้านนี้ โดยทำการปรับปรุงอาคารสำนักงานราชการ อาคารศาลากลาง ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างอาคารในแบบเสาและคานจำนวน 3 เรื่อง ดังนี้

2.10.1 วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐ เพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา”



ภาพที่ 2.13 อาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา (ดลยา ศิริปฐุ, 2548)

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงการออกแบบอาคารภาครัฐเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่เหมาะสมทั้งในเชิงเทคโนโลยีและเศรษฐศาสตร์ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ (1.) ประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร รวมทั้งระดับอุณหภูมิภายในอาคารที่มีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบาย และ (2.) จำลองสภาพอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.1 จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ภายในอาคารถูกใช้ไปกับเครื่องปรับอากาศเนื่องจากองค์ประกอบทางเปลือกอาคารที่มีความต้านทานความร้อนไม่ดีพอ จึงได้กำหนดแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารเดิมได้แก่ ผนังทึบ หลังคา และ ส่วน

ผนังโปร่งแสงหรือกระจก ผลการศึกษาพบว่าผนังและหลังคาที่ติดตั้งฉนวนใยแก้ว 2 และ 3 นิ้ว มีศักยภาพในด้านการประหยัดพลังงาน แต่ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน ส่วนกระจกมี 3 ประเภทที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับงบประมาณในการลงทุนของแต่ละหน่วยงาน คือกระจกธรรมดา กระจกสะท้อนแสง และกระจก 2 ชั้น นอกจากนั้นยังได้พิจารณาองค์ประกอบในการวิเคราะห์เพิ่มเติม ดังนี้ (1.) แผงกันแดดภายนอกอาคาร (2.) การวางผังและรูปทรงของอาคาร และ (3.) การวิเคราะห์พื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ผลการศึกษารูปได้ว่ารูปทรงอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามตะวันและสัดส่วนหน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 30% มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำที่สุด ส่วนแผงกันแดดในทิศทางต่างๆ จากการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าพบว่า แผงกันแดดทางทิศเหนือควรมีลักษณะเป็นแผงกันแดดแนวตั้ง ส่วนแผงกันแดดทางทิศใต้ ตะวันออกและตะวันตกเป็นแผงกันแดดแนวนอน 2 ชั้น จะเหมาะสมที่สุด

2.10.2 วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานราชการ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี”



ภาพที่ 2.14 อาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

(สุรพล เดชพล, 2552)

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานราชการสมัยใหม่ที่ก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว โดยใช้เกณฑ์แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ในการประเมินแนวทางในการปรับปรุงวัสดุครอบอาคารที่สามารถรักษาอุณหภูมิแบบทางสถาปัตยกรรมดั้งเดิมไว้ได้ ในขั้นตอนการศึกษากำหนดทางเลือกในการปรับปรุงองค์ประกอบจำนวน 3 ชนิด คือ (1.) การปรับปรุงระบบผนังทึบ (2.) การปรับปรุงผนังโปร่ง และ (3.) การปรับปรุงฝ้าเพดาน สรุปจำนวนทางเลือกได้ทั้งหมด 6 แนวทาง และทำการจำลองแต่ละทางเลือกด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 ผลที่ได้คือมีจำนวนทางเลือกที่ดีที่สุด 2 ทางเลือก คือ (1.) การปรับปรุงผนังทึบ

ภายในโดยการกรุฉนวนใยแก้ว หนา 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.ผนังโปร่งแสงใช้กระจกธรรมดาใสสะท้อนแสง ฝ้าเพดานกรุฉนวนใยแก้ว หนา 2 นิ้ว สามารถลดค่าการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 11.31 และมีระยะเวลาคืนทุน 11.9 ปี และ (2.) การปรับปรุงผนังที่ภายในโดยการพ่นโฟมโพลียูรีเทน หนา 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.ผนังโปร่งแสงใช้กระจกธรรมดาใสสะท้อนแสง ฝ้าเพดานกรุฉนวนใยแก้ว หนา 2 นิ้ว สามารถลดค่าการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 11.6 และมีระยะเวลาคืนทุน 12 ปี

2.10.3 วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารศาลากลางด้วยการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร



ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารศาลากลาง จ.สุพรรณบุรี (ศานิส ยี่โกษา, 2553)

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงการออกแบบกรอบอาคารของอาคารศาลากลาง ให้มีประสิทธิภาพการในเรื่องการใช้พลังงาน และเป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมทั้งในเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ โดยมีขั้นตอนการศึกษาคือ (1.) การเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษาเพื่อสร้างรูปแบบอาคารอ้างอิง (2.) การสร้างอาคารอ้างอิงด้วยการจำลองในโปรแกรม VisualDOE 4.1 โดยทำการเทียบเคียงกับค่าไฟฟ้าที่ใช้จริงของอาคารกรณีศึกษาที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐาน (3.) การออกแบบแนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุง ซึ่งจากการคำนวณทั้งหมด 112 แนวทางพบว่าการปรับปรุงโดยเปลี่ยนเป็นผนังก่ออิฐมวลฉนวนครึ่งแผ่น 2 ชั้น เว้นช่องอากาศไว้ตรงกลาง และเปลี่ยนกระจกของช่องเปิดเฉพาะในส่วนของพื้นที่ที่มีการปรับอากาศจากกระจกใสเดิมเป็นกระจกสีเขียวตัดแสงหนา 6 มม. มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด สำหรับการใส่ฉนวนที่ผนังอาคารนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้ดีขึ้นจริงแต่ไม่มีความคุ้มค่าเนื่องจากค่าก่อสร้าง (Initial Cost) สูงกว่าค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้มาก จึงไม่คุ้มค่าการลงทุนในระยะยาว

2.11 สรุปการทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งหมดข้างต้นนั้น พบว่าในต่างประเทศซึ่งโดยมากจะเป็นประเทศบริเวณแถบยุโรปนั้น ให้ความสำคัญกับการศึกษา ค้นคว้า และวิจัย หาวิธีในการบูรณะอาคารเก่าควบคู่ไปกับการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน เพื่อรักษาอาคารที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ในประเทศเอาไว้ แต่ในประเทศไทยนั้นสำหรับเรื่องแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานให้แก่อาคาร พบว่ามีการศึกษาในด้านนี้ทั้งในลักษณะ บ้านพักอาศัย ตึกแถว อาคารไฮมาร์ท อาคารสำนักงานราชการ อาคารศาลากลาง เป็นต้น แต่ทั้งนี้อาคารที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นอาคารสมัยใหม่ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างอาคารในแบบเสาและคาน ยังไม่มีการศึกษาในอาคารโบราณสถานที่มีโครงสร้างเป็นผนังรับน้ำหนัก ในประเทศไทยนั้นโดยมากอาคารโบราณสถานในปัจจุบันถูกใช้งานในลักษณะตามสภาพ แม้ว่าบางอาคารจะได้รับการบูรณะไปแล้ว แต่ก็ยังขาดการบูรณาการองค์ความรู้ และเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ากับกระบวนการและทฤษฎีการอนุรักษ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงาน รวมทั้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของอาคารแต่ละประเภท ซึ่งอาจเนื่องมาจากข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งหวังที่จะค้นคว้า และรวบรวมข้อมูล เพื่อนำเสนอเป็นแนวทางสำหรับการบูรณะอาคารให้มีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงาน รวมทั้งมีคุณภาพอากาศภายในที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยต้องเป็นวิธีการที่ใช้ได้จริง และมีความเป็นไปได้ในการลงทุน ภายใต้กรอบแนวคิดที่สำคัญคือต้องไม่ทำลายคุณค่าของอาคารโบราณสถานเดิม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

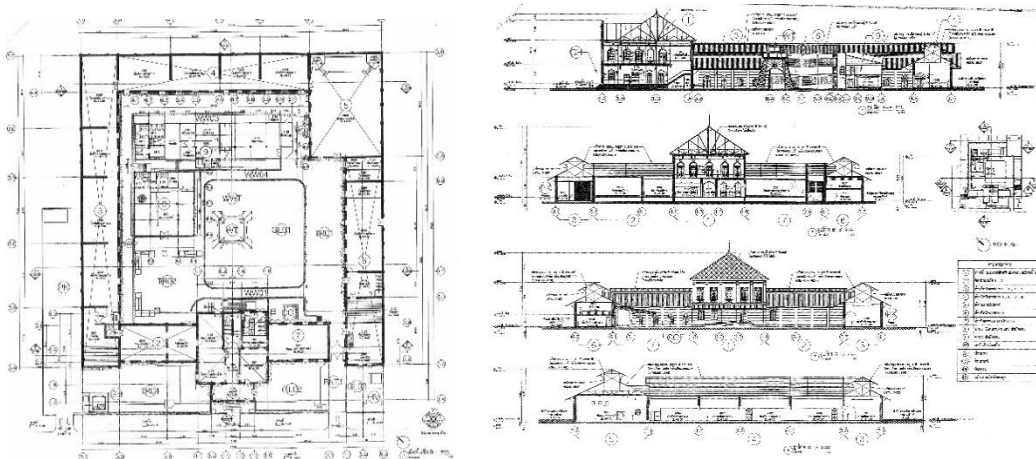
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 การศึกษารวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา และ ส่วนที่ 2 การจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.1 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ข้อมูลทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา

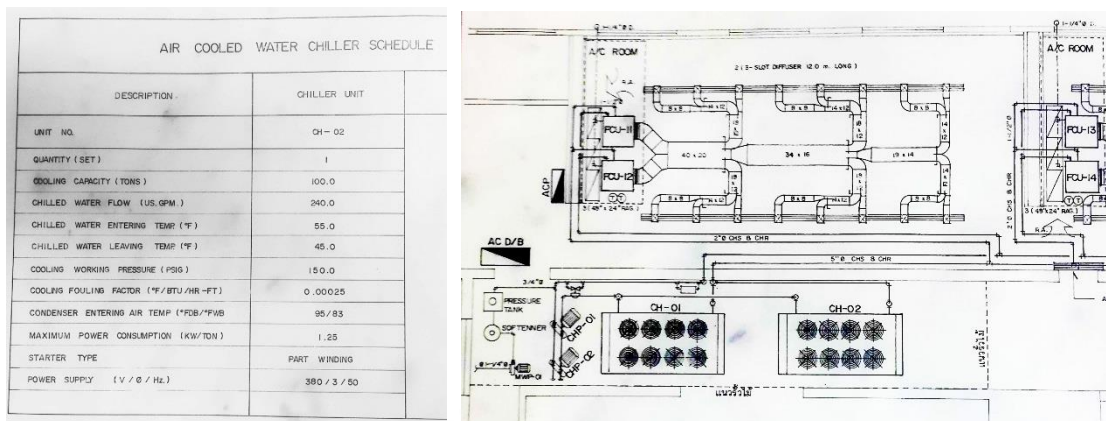
เก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับอาคารกรณีศึกษาจากเอกสารต่างๆ ได้แก่ แบบสถาปัตยกรรม และแบบวิศวกรรมงานระบบ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของอาคาร ลักษณะทางสถาปัตยกรรม วัสดุเปลือกอาคาร พื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ลักษณะการใช้งานอาคาร ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร พฤติกรรมการใช้สอยอาคารของผู้ใช้อาคาร ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในอาคารทั้งในเรื่องระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ภายในอาคาร โดยมีรายละเอียดในการเก็บข้อมูลดังนี้

1. ศึกษาแบบสถาปัตยกรรม และแบบวิศวกรรมงานระบบดังภาพที่ 3.1 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการใช้สอยพื้นที่แต่ละประเภทภายในอาคาร และระบุสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ



ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างแบบสถาปัตยกรรมของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

2. ศึกษาประเภทของระบบปรับอากาศที่ใช้ภายในอาคารโดยละเอียดเพื่อนำไปคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศต่อไป ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างแบบงานระบบวิศวกรรมปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

3. ศึกษารายการวัสดุภายในอาคาร ทั้งประเภทและขนาดของวัสดุทุกผนัง วัสดุพื้น ฝ้าเพดาน หลังคา รวมทั้งรูปแบบและขนาดของประตูหน้าต่าง เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร
4. รวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริง เพื่อนำมาเป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมที่จำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้การจำลองมีความเที่ยงตรง และคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

3.1.2 การประเมินสถานะน่าสบายภายในอาคาร

ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ตามจุดที่กำหนดภายในอาคาร และติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารที่ใช้งานเป็นสำนักงาน เพื่อประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารเพื่อประเมินสถานะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษาด้วยแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart)

3.1.3 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

นำข้อมูลวัสดุอาคารรวมทั้งแบบสถาปัตยกรรมของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารที่เก็บรวบรวมในขั้นต้นทั้งหมด มาวิเคราะห์และคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่บและหลังคา เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

3.1.4 การสร้างอาคารอ้างอิงผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สร้างแบบจำลองอาคารกรณีศึกษา (Base case) ด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 แล้วนำไปตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับการใช้ไฟฟ้าจริงจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งส่งผลให้สามารถปรับค่าต่างๆในโปรแกรมให้มีความแม่นยำ และลดข้อผิดพลาดในการสร้างอาคารอ้างอิงเพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อไป

3.1.5 การกำหนดแนวทางในการปรับปรุง

การวิจัยในครั้งนี้กำหนดขอบเขตการศึกษาที่ระบบเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร คือ ผนังทึบ ช่องเปิด หลังคา ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยเพิ่มเติมแนวทางการใช้งานระบบดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศด้วย ทั้งนี้การวิจัยไม่ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ในสถานการณ์จริง คือ สภาพแวดล้อมโดยรอบ อาคารข้างเคียง รวมทั้งภูมิสถาปัตยกรรมรวมทั้งต้องเป็นวิธีที่ไม่ทำลายคุณค่าดั้งเดิมของอาคาร

3.1.6 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

คำนวณหาประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ทั้งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร (Energy consumption) ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (Saving) งบประมาณในการลงทุนขั้นต้น (Initial cost) ระยะเวลาการคืนทุน (Payback period) และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (%) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับความคุ้มค่าที่จะลงทุนปรับปรุงในแต่ละแนวทาง

3.1.7 การสรุปผลการวิจัย

เพื่อประเมินแนวทางในการปรับปรุงอาคารโดยเป็นทางเลือกที่เหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงอาคารเก่าที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ในอนาคต

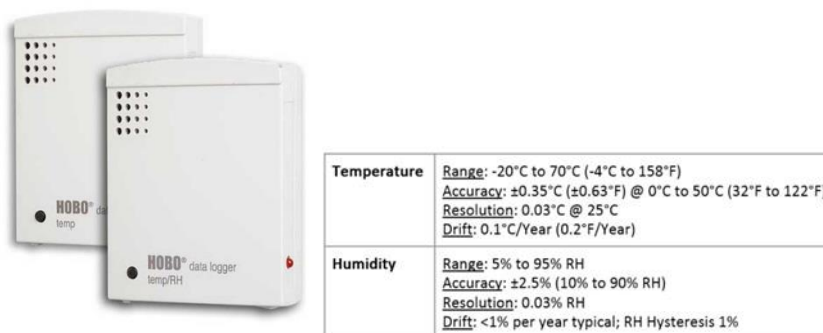
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อดังนี้

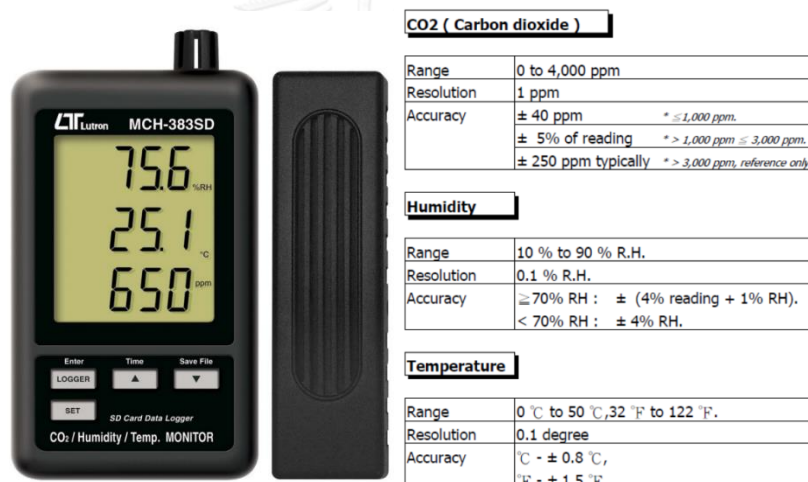
3.2.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดจำนวน 2 ประเภทคือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ U12 Temp/ RH/ Light/ External Data Logger (HOBO) ดังภาพที่ 3.3 และอุปกรณ์วัดปริมาณ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ CO₂/HUMIDITY/TEMP. MONITOR
Model : MCH-383SD ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ U12 Temp/ RH/ Light/ External Data Logger (HOBO)



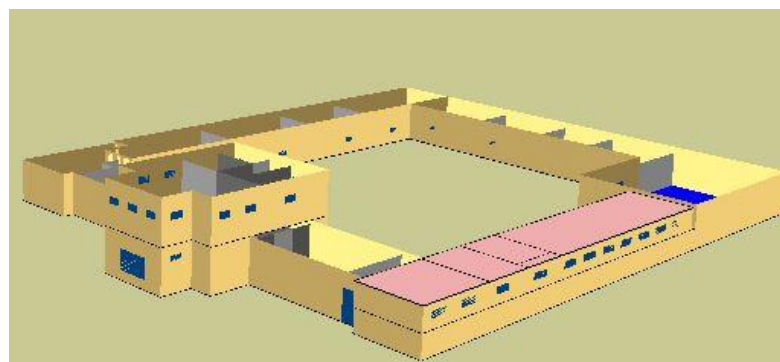
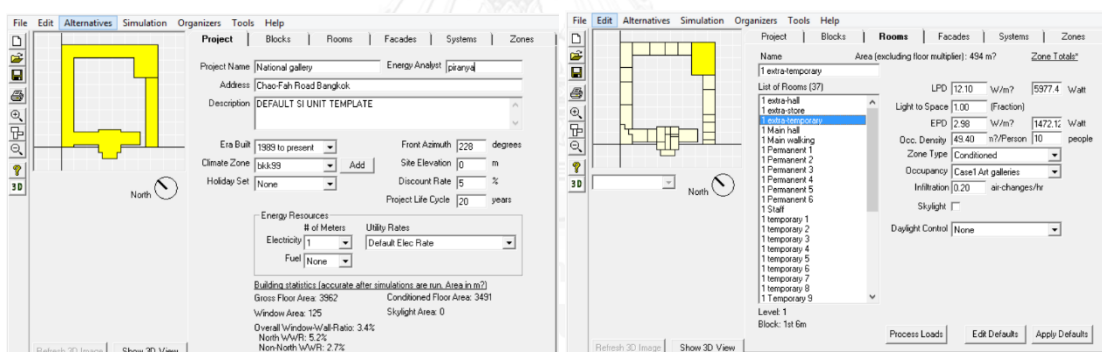
ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ CO₂/ HUMIDITY/ TEMP. MONITOR Model : MCH-383SD

3.2.2 โปรแกรม Visual DOE 4.1

เป็นโปรแกรมที่จำลองการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้รายปี ซึ่งการที่จะทำให้ได้ผลที่ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุดนั้นจะต้องป้อนข้อมูลเกี่ยวกับอาคารโดยละเอียด โดยมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

1. การป้อนข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวกับอาคาร ยกตัวอย่างเช่น
 - ขนาดของพื้นที่ใช้สอยส่วนต่างๆโดยแบ่งพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
 - ชนิดของวัสดุหุ้มวัสดุพื้น ผนัง ฝ้าเพดาน หลังคา และประตูหน้าต่าง

- ค่าการใช้พลังงานแสงสว่างในแต่ละพื้นที่ใช้สอย
 - ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์อาคารในแต่ละพื้นที่ใช้สอย
 - ประเภทและขนาดของระบบปรับอากาศภายในอาคาร
 - พฤติกรรมการใช้งานพื้นที่ ช่วงเวลาการเปิดปิดเครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง รวมถึงอุปกรณ์อาคาร
 - จำนวนผู้ใช้สอยในแต่ละพื้นที่
2. การคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายปี เปรียบเทียบกับใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริงของอาคาร เพื่อปรับให้ค่ามีความใกล้เคียงกันมากที่สุด และใช้เป็นค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามาตรฐานของอาคารอ้างอิง
 3. สร้างแนวทางการปรับปรุงอาคารในแต่ละแนวทางเพื่อนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายปีของแต่ละแนวทางเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามาตรฐานของอาคารอ้างอิง



ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างการจำลองอาคารกรณีศึกษาที่ 1 จากโปรแกรม VisualDOE 4.1

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา

การศึกษาครั้งนี้กำหนดขอบเขตอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารเก่าที่สร้างขึ้นในสมัยรัตนโกสินทร์ มีโครงสร้างอาคารในรูปแบบผนังรับน้ำหนัก ซึ่งเป็นอาคารประเภทอาคารเดี่ยวที่ใช้งานช่วงเวลากลางวันเป็นหลักในปัจจุบัน และมีประเภทการใช้สอยอาคารที่แตกต่างกัน จำนวน 3 อาคาร ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์ ใช้งานเป็นพิพิธภัณฑสถานในเวลากลางวัน

กรณีศึกษาที่ 2 : ไอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร ใช้งานเป็นห้างสรรพสินค้า
ในเวลากลางวัน-ช่วงค่ำ

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย ใช้งานเป็นสำนักงาน ในเวลากลางวัน
ที่ตั้งของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ที่ตั้งอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร

โดยมีรายละเอียดของอาคารกรณีศึกษาดังนี้

4.1.1 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์

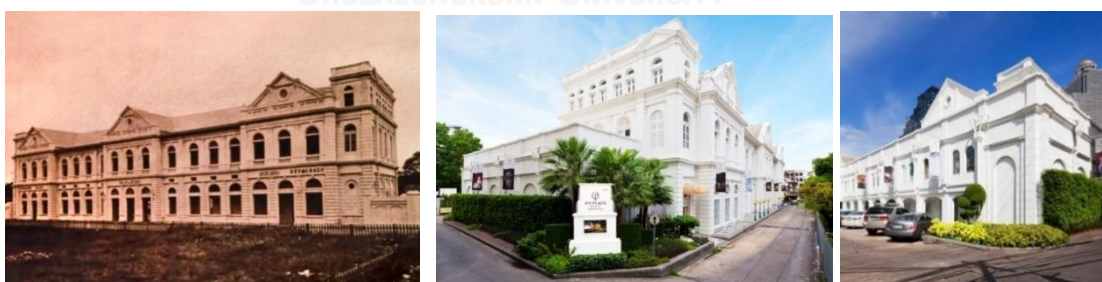
ใช้งานเป็นพิพิธภัณฑสถาน ตั้งอยู่บริเวณ ถนนเจ้าฟ้า เชียงสะพานปิ่นเกล้าฝั่งพระนคร ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2445 ในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 5) ปัจจุบันใช้เป็นที่ทำการพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์ กรมศิลปากร ขึ้นทะเบียนโบราณสถานเมื่อปี พ.ศ. 2521 เปิดทำการในวันพุธ ถึงวันอาทิตย์ ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึงเวลา 16.00 น.



ภาพที่ 4.2 พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์ ในอดีตและปัจจุบัน

กรณีศึกษาที่ 2 : โอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

ใช้งานเป็นห้างสรรพสินค้า ในเวลากลางวัน-ช่วงค่ำ ตั้งอยู่บริเวณ ซอยเจริญกรุง 38 ถนนเจริญกรุง สร้างขึ้นในปลายรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 5) ปัจจุบันใช้งานในรูปแบบของห้างสรรพสินค้า โดยแบ่งพื้นที่ให้เช่าขายสินค้าภายในอาคาร ยังไม่ดำเนินการขึ้นทะเบียนโบราณสถาน เปิดทำการทุกวัน ตั้งแต่เวลา 10.00 ถึงเวลา 19.00 น.



ภาพที่ 4.3 ห้างสรรพสินค้า โอพี เพลส ในอดีตและปัจจุบัน

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

ใช้งานเป็นสำนักงาน ตั้งอยู่บริเวณถนนอัมรินทร์ แขวง วัดราชบพิธ ปัจจุบันใช้เป็นที่ทำการราชการของกระทรวงมหาดไทย ขึ้นทะเบียนโบราณสถานเมื่อปี พ.ศ. 2548 โดยเปิดทำการในวันจันทร์ ถึงวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 8.30 น. ถึงเวลา 16.30 น.



ภาพที่ 4.4 ศาลว่าการกระทรวงมหาดไทยในอดีตและปัจจุบัน

4.1.2 ลักษณะทางกายภาพ อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

จากการสำรวจ เก็บรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารสามารถสรุปองค์ประกอบต่างๆของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร

รายละเอียด	กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3
โครงสร้างอาคาร	ผนังรับน้ำหนัก	- ผนังรับน้ำหนัก(อาคารเดิม) - เสาคาน(ส่วนต่อเติม)	ผนังรับน้ำหนัก
ผนัง	ผนังก่ออิฐฉาบปูน ทาสี ความหนา 37.5 และ 52.5 ซม.	ผนังก่ออิฐฉาบปูน ทาสี ความหนา 11, 30 และ 60 ซม.	ผนังก่ออิฐฉาบปูน ทาสี ความหนา 35 และ 52 ซม.
พื้น	พื้นไม้หนา 1 นิ้ว โครงสร้างไม้	พื้นไม้หนา 1 นิ้ว โครงสร้างไม้ ปูพรม ส่วนชั้น 2 และชั้น 4 ที่ต่อเติมใช้พื้น เป็นโครงสร้างเหล็ก ปูทับด้วยพรม	พื้นไม้หนา 1 นิ้ว โครงสร้างไม้
ฝ้าเพดาน	- ชั้น 1 ฝ้าเพดานท้องพื้นไม้ - ชั้น 1 ส่วนนิทรรศการชั่วคราว และ ชั้น 2 เป็นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบ รอยต่อเรียบ	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด ฉาบรอยต่อเรียบ	- ชั้น 1 ฝ้าเพดานท้องพื้นไม้ - ชั้น 2 เป็นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด ฉาบรอยต่อเรียบ
หลังคา	โครงหลังคาไม้, โครงหลังคาเหล็ก	โครงหลังคาไม้, หลังคา คสล.	โครงหลังคาไม้
ประตู	- วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อกไม้ - วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อก กระจกใสหนา 6 มม.	- วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อกไม้ - วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อก กระจกใสหนา 6 มม. - วงกบ และบานกรอบอลูมิเนียม ลูกล็อกกระจกใสหนา 6 มม.	- วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อกไม้ - วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อก กระจกใสหนา 6 มม. - วงกบ และบานกรอบอลูมิเนียม ลูกล็อกกระจกสีชาหนา 6 มม.
หน้าต่าง	- วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อกไม้ - วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อก กระจกใสหนา 6 มม.	- วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อกไม้ - วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อก กระจกใสหนา 6 มม.	- วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อกไม้ - วงกบ และบานกรอบไม้ ลูกล็อก กระจกใสหนา 6 มม.

จะเห็นได้ว่าลักษณะทางกายภาพของกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารนั้นมีความใกล้เคียงกัน คือ อาคารมีผนังภายนอกที่หนาในลักษณะของผนังมวลอุณหภาพ แต่สำหรับเรื่องความสูงของอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ห้างสรรพสินค้าไอพี เฟลสนั้น แตกต่างจากอีก 2 กรณีศึกษาเนื่องจากภายหลังการบูรณะปรับปรุงอาคารได้เพิ่มจำนวนชั้นจากเดิมที่มี 2 ชั้น เป็น 3 ชั้น คือจากเดิมที่ชั้น 1 มีความสูง 6.20 เมตร แบ่งแยกออกเป็นชั้น 1 สูง 3.10 และชั้น 2 สูง 3.10 แทน ทำให้ระดับพื้นภายในห้องกับระดับของช่องเปิดอาคารบริเวณชั้น 1 และชั้น 2 นั้นไม่สัมพันธ์กัน แต่ก็ถือว่าเป็นอาคารที่มีพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมากกว่าอาคารกรณีศึกษาที่ 1 และ 3 เพราะช่องเปิดอาคารทั้งสองเป็นหน้าต่างไม้บานเปิดคู่ลูกฟักไม้ทึบ เมื่อเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 อาคารจึงปิดบานหน้าต่าง คงเหลือเฉพาะช่องแสงเหนือหน้าต่างที่เป็นลูกฟักกระจกเท่านั้น สำหรับขนาดของพื้นที่ใช้สอยและอัตราส่วนของพื้นที่ปรับอากาศของทั้ง 3 อาคารแสดงดังตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

ชั้นที่	พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่รวม (ตร.ม.)	ส่วนปรับอากาศ (%)
1	2,550.00	557.00	3,107.00	82.07
2	702.00	180.00	882.00	79.59
รวม	3,252.00	737.00	3,989.00	81.52

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

ชั้นที่	พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่รวม (ตร.ม.)	ส่วนปรับอากาศ (%)
1	1,893.50	250.50	2,144.00	88.32
2	2,006.50	0.00	2,006.50	100.00
3	1,135.50	0.00	1,135.50	100.00
4	0.00	304.00	304.00	0.00
รวม	5,035.50	554.50	5,590.00	90.08

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

ชั้นที่	พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่รวม (ตร.ม.)	ส่วนปรับอากาศ (%)
1	3,216.50	1,313.00	4,529.50	71.01
2	3,546.50	983.00	4,529.50	78.30
รวม	6,763.00	2,296.00	9,059.00	74.66

4.2 ข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา (งานระบบอาคาร)

4.2.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

โดยพิจารณาจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริงของอาคารกรณีศึกษา เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากการจำลองผ่านโปรแกรม VisualDOE 4.1 ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์

พื้นที่ใช้สอยรวม 3,989 ตารางเมตร ใช้งานอาทิตย์ละ 5 วัน ประมาณ 7 ชั่วโมงต่อวัน

- ปี 2557 ใช้ 340,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 1,787,464.62 บาทต่อปี
- ปี 2558 ใช้ 412,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 2,092,536.29 บาทต่อปี

รายละเอียดดังแผนภูมิที่ 4.1



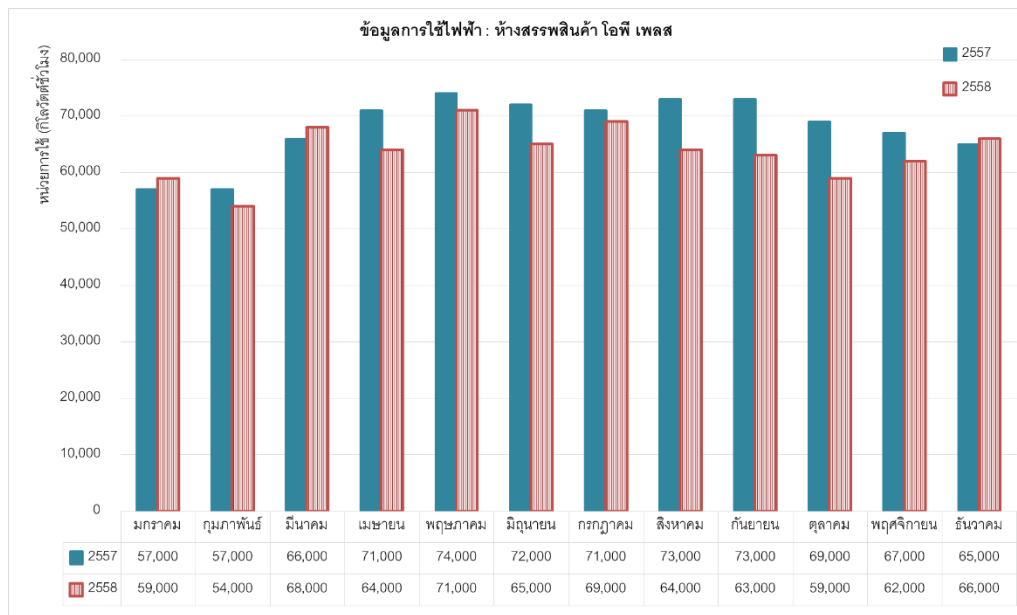
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (พ.ศ. 2557 และ 2558)

กรณีศึกษาที่ 2 : โอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

พื้นที่ใช้สอยรวม 5,590 ตารางเมตร ใช้งานทุกวัน ประมาณ 9 ชั่วโมงต่อวัน

- ปี 2557 ใช้ 815,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 3,680,040.51 บาทต่อปี
- ปี 2558 ใช้ 764,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 3,383,577.51 บาทต่อปี

รายละเอียดดังแผนภูมิที่ 4.2

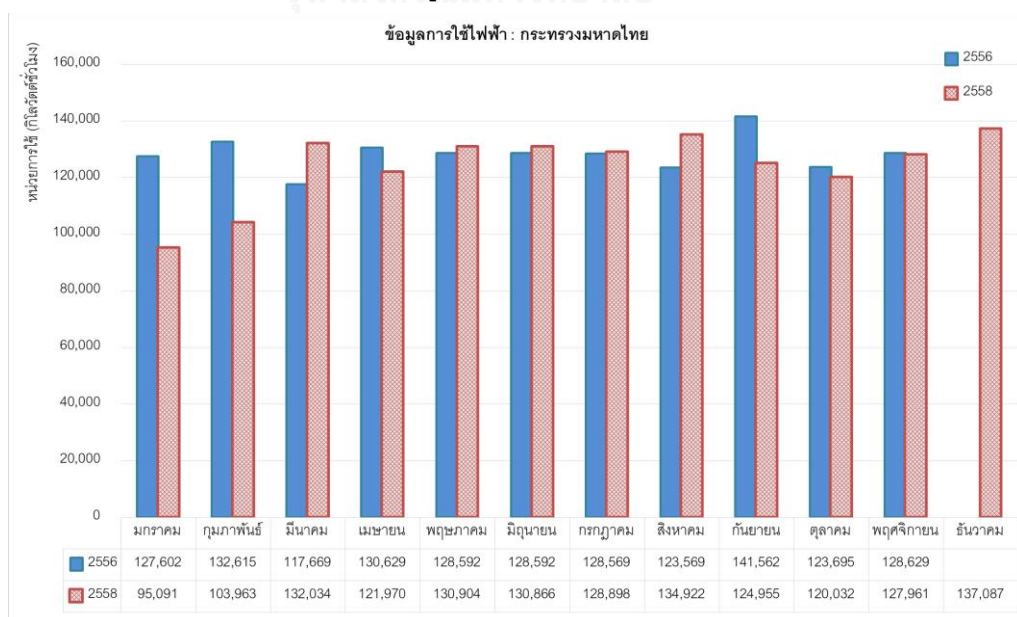


แผนภูมิที่ 4.2 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาที่ 2 (พ.ศ. 2557 และ 2558)

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

พื้นที่ใช้สอยรวม 9,059 ตารางเมตร ใช้งานอาทิตย์ละ 5 วัน ประมาณ 7 ชั่วโมงต่อวัน

- ปี 2556 ใช้ 1,411,723 กิโลวัตต์ชั่วโมง (ไม่รวมเดือนธันวาคม)
คิดเป็นเงิน 6,484,949.69 บาทต่อปี
 - ปี 2558 ใช้ 1,488,683 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 6,793,750.76 บาทต่อปี
- รายละเอียดตั้งแผนภูมิที่ 4.3



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาที่ 3 (พ.ศ. 2556 และ 2558)

4.2.2 ระบบปรับอากาศ อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

ระบบปรับอากาศในอาคารกรณีศึกษาแต่ละอาคารมีรายละเอียดดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์

ใช้งาน 2 ระบบคือระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ กำลังการทำ ความเย็น 100 ตันจำนวน 2 เครื่อง และระบบแยกส่วนในบริเวณห้องจัดนิทรรศการ ชั่วคราว

กรณีศึกษาที่ 2 : โอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

ใช้งาน 2 ระบบคือระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศกำลังการทำ ความเย็น 179.36 ตันจำนวน 1 เครื่อง และกำลังการทำ ความเย็น 178.88 ตันจำนวน 1 เครื่อง และระบบแยกส่วนบริเวณห้องงานระบบชั้น 1 และห้องน้ำชั้น 3

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

ใช้ระบบแพ็คเกจยูนิตทั้งหมด กำลังการทำ ความเย็นรวมทั้งอาคารประมาณ 465 ตันความเย็น

สามารถสรุประบบปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลระบบปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร

รายละเอียด	กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3
ชนิดของเครื่องปรับอากาศ	- Air cooled water chiller - Spilt type	- Air cooled water chiller - Spilt type	- Package air cooled
วันที่เปิดใช้งานอาคาร	พุธ - อาทิตย์	ทุกวัน	จันทร์ - ศุกร์
ช่วงเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ	9.00 - 16.00	10.00 - 19.00	8.30 - 16.30

4.2.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารกรณีศึกษาแต่ละอาคารมีรายละเอียดดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์

ระบบแสงธรรมชาติ

รูปแบบผังอาคารมีลักษณะอาคารแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีคอร์ทตรงกลาง (Center Court Layout) ทำให้สามารถรับแสงธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ แต่ในปัจจุบันที่ใช้งานอาคารเป็นพิพิธภัณฑ์นั้น ช่องเปิดอาคารทั้งชั้น 1 และชั้น 2 กลับเป็นบานลูกฟักไม้ที่บึกเกือบทั้งหมด คงเหลือแต่ช่องแสงเหนือบานประตูที่เป็นลูกฟักกระจกใสหนา 6 มม. ประมาณ 1 บานต่อ 1 ห้องจัดแสดงนิทรรศการเท่านั้น ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

ระบบแสงประดิษฐ์

ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานภายในอาคารนั้นมีหลายรูปแบบทั้งโคมช้อ โคมฝังฝ้า เพดาน โคมส่องเน้นในราง ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 1

โดยมีรายละเอียดรูปแบบของดวงโคม ชนิดของหลอดไฟ จำนวน และค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบแสงประดิษฐ์ ดังตารางที่ 4.6 ถึงตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้ภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1

ภายในอาคาร	ชนิดหลอดไฟฟ้า	หลอดไฟฟ้า					พลังงานทั้งหมด (วัตต์)	พลังงาน/พื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)	พลังงาน/พื้นที่รวมภายนอกอาคาร (วัตต์/ตร.ม.)
		จำนวนโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนหลอด	ขนาดหลอด (วัตต์)	รวม (วัตต์)			
ชั้น 1									
โถงทางเข้า	โคมข้อ 5 ข้อ compact fluorescent	3	5	15	21	315	385	7.70	8.19
	โคมติดผนังสองชั้น MH	2	1	2	35	70			
โถงทางเดิน	โคมข้อ 5 ข้อ compact fluorescent	3	5	15	21	315	560	13.33	13.82
	โคมติดผนังสองชั้น MH	7	1	7	35	245			
จิตรกรรมฝาผนัง	โคม fluorescent 2x28 2EB	30	2	60	38	2,280	2,955	39.40	39.89
	Track light 3x75 (2M.)	3	3	9	75	675			
จิตรกรรมแบบตะวันตก 1	Track light 3x75 (1M.)	1	3	3	75	225	225	10.71	11.20
จิตรกรรมแบบตะวันตก 2	โคม fluorescent 2x28 2EB	42	2	84	38	3,192	4,092	26.40	26.89
	Track light 3x75 (2M.)	4	3	12	75	900			
ห้องจำหน่ายบัตรเข้าชม	โคมเพดาน compact fluorescent	9	1	9	21	189	217	4.82	5.31
	fluorescent ในตู้	1	1	1	28	28			
จิตรกรรมร่วมสมัย 1	โคม fluorescent 2x28 2EB	16	2	32	38	1,216	1,216	13.08	13.56
ศิลป์ร่วมสมัย 1	โคม fluorescent 2x28 2EB	22	2	44	38	1,672	2,347	31.29	31.78
	Track light 3x75 (2M.)	3	3	9	75	675			
ศิลป์ร่วมสมัย 2	Track light 3x75 (2M.)	8	3	24	75	1,800	1,800	15.65	16.14
ห้องจัดนิทรรศการ 1	โคมฝังฝ้าเพดาน compact fluorescent	10	1	10	21	210	2,598	15.28	15.77
	โคม fluorescent กล้องหลัก EB	26	1	26	38	988			
	โคมห้อยเพดาน compact fluorescent	6	1	6	21	126			
	Track light	12	1	12	75	900			
	flood light MH	2	1	2	250	500			
ห้องจัดนิทรรศการ 2	โคมฝังฝ้าเพดาน compact fluorescent	8	1	8	21	168	2,932	17.25	17.73
	โคม fluorescent กล้องหลัก EB	28	1	28	38	1,064			
	Track light	16	1	16	75	1,200			
	flood light MH	2	1	2	250	500			
ห้องจัดนิทรรศการ 3	โคมฝังฝ้าเพดาน compact fluorescent	9	1	9	11	99	1,759	13.53	14.02
	โคม fluorescent กล้องหลัก EB	20	1	20	28	560			
	Track light	8	1	8	75	600			
	flood light MH	2	1	2	250	500			
ห้องจัดนิทรรศการ 4	โคมฝังฝ้าเพดาน compact fluorescent	10	1	10	21	210	2,750	14.47	14.96
	โคม fluorescent กล้องหลัก EB	30	1	30	38	1,140			
	Track light	12	1	12	75	900			
	flood light MH	2	1	2	250	500			
ห้องจัดนิทรรศการ 5	โคม fluorescent 2x28 2EB	32	2	64	38	2,432	2,432	18.01	18.50
ห้องจัดนิทรรศการ 6	โคม fluorescent 2x28 2EB	28	2	56	38	2,128	2,128	17.02	17.51
ห้องจัดนิทรรศการ 7	โคม fluorescent 2x28 2EB	26	2	52	38	1,976	1,976	20.80	21.29
ห้องจัดนิทรรศการ 8	โคม fluorescent 2x28 2EB	30	2	60	38	2,280	2,280	19.83	20.31
ห้องเอกภาพประสงค์	โคม fluorescent กล้องหลัก EB	26	1	26	38	988	5,738	11.62	12.10
	โคม fluorescent 2x28 2EB	52	2	104	38	3,952			
	โคมฝังฝ้าเพดาน compact fluorescent	38	1	38	21	798			
โถงทางเข้า	โคมเพดาน compact fluorescent	10	1	10	21	210	210	3.23	3.72
ห้องจัดนิทรรศการ 9	โคมเพดาน compact fluorescent	48	1	48	21	1,008	2,148	11.31	11.79
	โคม fluorescent 2x28 2EB	15	2	30	38	1,140			
ห้องคลัง	โคม fluorescent	13	1	13	46	598	598	3.86	4.34
โถงทางเข้า	โคมเพดาน compact fluorescent	10	1	10	11	110	110	1.69	11.90
ห้อง MDB	โคม fluorescent กล้องหลัก EB	5	1	5	28	140	140	3.11	3.60
ห้องเก็บของ 1	โคม fluorescent กล้องหลัก EB	3	1	3	28	84	84	1.40	1.89
ห้องคลัง	โคม fluorescent กล้องหลัก EB	6	1	6	28	168	168	2.24	2.73
ห้องเก็บของ 2	โคม fluorescent 2x28 2EB	4	2	8	28	224	224	4.98	5.46
ห้องเก็บของ 3	โคม fluorescent 2x28 2EB	1	2	2	28	56	56	1.87	2.35

ตารางที่ 4.7 ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้ภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

ภายในอาคาร	ชนิดหลอดไฟ	หลอดไฟ					พลังงานทั้งหมด (วัตต์)	พลังงาน/พื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)	พลังงาน/พื้นที่รวมภายนอกอาคาร (วัตต์/ตร.ม.)
		จำนวนโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนหลอด	ขนาดหลอด (วัตต์)	รวม (วัตต์)			
ห้องเก็บของ 4	โคมฝังฝ้าเพดาน compact fluorescent	6	1	6	11	66	66	2.87	3.36
ห้องเก็บของ 5	โคมฝังฝ้าเพดาน compact fluorescent	5	1	5	11	55	55	2.39	2.88
ทางเข้า 1	โคมห้อยเพดาน MH	1	2	2	70	140	140	4.00	4.49
MDB	โคมเพดาน compact fluorescent	2	1	2	11	22	22	0.92	1.40
ห้องเก็บของใต้บันได	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ห้องนำ	โคมเพดาน compact fluorescent	9	1	9	5	45	144	3.43	3.91
	โคมเพดาน compact fluorescent	9	1	9	11	99			
ชั้น 2									
โถงบันได ชั้นที่ 2	โคมข้อ 12 ข้อ compact fluorescent	1	12	12	11	132	402	11.17	11.65
	ไฟสปอร์ตไลท์	1	1	1	150	150			
จิตรกรรมไทยประเพณี 1	โคมข้อ 5 ข้อ compact fluorescent	3	5	15	11	165	1,638	7.12	7.61
	โคมข้อ 9 ข้อ compact fluorescent	1	9	9	11	99			
	โคมเพดาน LED 3X9	42	3	126	9	1,134			
จิตรกรรมไทยประเพณี 2	โคม fluorescent 2x28 2EB	9	2	18	28	504	1,059	16.81	17.30
	โคมข้อ 5 ข้อ compact fluorescent	1	5	5	11	55			
	โคมเพดาน LED 3X9	10	3	30	9	270			
จิตรกรรมไทยประเพณี 3 + ห้องเครื่องปรับอากาศ	โคม fluorescent 2x28 2EB	10	2	20	28	560	1,137	18.05	18.53
	โคมข้อ 5 ข้อ compact fluorescent	1	5	5	11	55			
	โคมเพดาน LED 3X9 fluorescent	8	3	24	9	216			
สำนักงาน	โคมเพดาน compact fluorescent	42	1	42	11	462	2,706	8.73	9.21
	โคม fluorescent 2x28 2EB	24	2	48	28	1,344			
ห้องเก็บของ	โคม fluorescent กล้องเหล็ก EB	12	1	12	28	336	456	2.53	3.02
ค่าเฉลี่ย								10.82	11.54

ตารางที่ 4.8 ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้ภายนอกอาคารกรณีศึกษาที่ 1

ภายนอกอาคาร	ชนิดหลอดไฟ	หลอดไฟ					พลังงานทั้งหมด (วัตต์)
		จำนวนโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนหลอด	ขนาดหลอด (วัตต์)	รวม (วัตต์)	
	โคมห้อย MH70	2	1	2	70	140	8,120
	โคมฉายทรงเหลี่ยม MH70	35	1	35	70	2,450	
	โคม upright MH2x70	7	2	14	70	980	
	โคมฝัง MH70	20	1	20	70	1,400	
	โคมเสา compact fluorescent	21	1	21	50	1,050	
	โคมฉาย MH150	14	1	14	150	2,100	

กรณีศึกษาที่ 2 : โอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

ระบบแสงธรรมชาติ

รูปแบบผังอาคารมีลักษณะอาคารแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ใช้งานเป็นห้างสรรพสินค้า ช่องเปิดอาคารเป็นลูกฟูกกระจกใสหนา 6 มม. ทั้งหมด ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

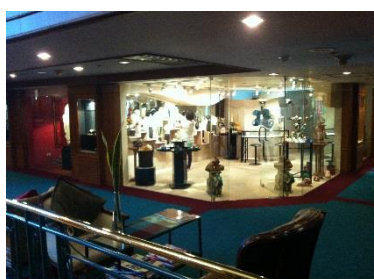
ระบบแสงประดิษฐ์

ระบบแสงประดิษฐ์ภายในอาคารนั้นจะเปิดใช้งานในเวลา 9.00 – 19.30 น. โดยหลังเวลา 19.30 น. จะเปิดประมาณ 20 % เป็นเวลา 1 ชม. ดังภาพที่ 4.8 โดยบริเวณที่เปิดตลอด 24 ชม. คือชั้น 1 ส่วนห้องเครื่อง (M&E) และส่วนรับส่งสินค้า (Loading) สำหรับดวงโคมภายนอกอาคารนั้นจะเปิดตั้งแต่เวลา 18.00 – 20.00 น.



ภาพที่ 4.8 ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานในพื้นที่ส่วนกลางของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

โดยระบบแสงประดิษฐ์ของอาคารที่เก็บรวบรวมได้นั้นเก็บได้เฉพาะในส่วนกลางของเจ้าของโครงการเท่านั้นในส่วนในพื้นที่เช่าขายของผู้เช่าจะเป็นผู้ออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างด้วยตนเอง ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานในพื้นที่เช่าของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

โดยมีรายละเอียดรูปแบบของดวงโคม ชนิดของหลอดไฟ จำนวน และค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบแสงประดิษฐ์ ดังตารางที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้ภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2

ภายในอาคาร	ชนิดหลอดไฟ	หลอดไฟฟ้า					พลังงานทั้งหมด (วัตต์)	พลังงาน/พื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)	พลังงาน/พื้นที่รวมภายนอกอาคาร (วัตต์/ตร.ม.)
		จำนวนโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนหลอด	ขนาดหลอด (วัตต์)	รวม (วัตต์)			
ชั้น 1 ส่วนทางเดินภายใน	หลอดฮาโลเจน	46	1	46	50	2,300	3,650	4.05	4.40
	หลอดตะเกียบ PL	94	1	94	9	846			
	หลอด R63	3	1	3	60	180			
	หลอด fluorescent 10W	5	1	5	20	100			
	หลอด fluorescent 18W	8	1	8	28	224			
ชั้น 1 ส่วน M&E	หลอด fluorescent 36W	22	1	22	46	1,012	1,012	9.16	9.51
ชั้น 1 ส่วน Loading	หลอด fluorescent 36W	4	1	4	46	184	184	9.20	9.55
ชั้น 1 ส่วน Outdoor ด้านหน้า	หลอด fluorescent 36W	24	1	24	46	1,104	2,816	19.03	19.38
	หลอดฮาโลเจน	32	1	32	50	1,600			
	หลอด fluorescent 18W	4	1	4	28	112			
ชั้น 2	หลอดฮาโลเจน	63	1	63	50	3,150	5,523	5.36	5.71
	หลอดตะเกียบ PL 7W	22	1	22	7	154			
	หลอดตะเกียบ PL 9W	162	1	162	9	1,458			
	LED Candle Light	6	1	6	3.5	21			
	หลอด fluorescent 10W	1	1	1	20	20			
	หลอด fluorescent 18W	6	1	6	28	168			
	หลอด fluorescent 36W	12	1	12	46	552			
ชั้น 3	หลอดฮาโลเจน	79	1	79	50	3,950	10,721	9.44	9.79
	หลอด Twiter	6	1	6	15	90			
	หลอดตะเกียบ PL 9W	8	1	8	9	72			
	LED	10	1	10	6	60			
	LED Candle Light	162	1	162	3.5	567			
	หลอดจำปา	12	1	12	25	300			
	หลอด fluorescent 10W	2	1	2	20	40			
	หลอด fluorescent 18W	7	1	7	28	196			
	หลอด fluorescent 36W	29	1	29	46	1,334			
	หลอด fluorescent 2x28W	27	2	54	38	2,052			
	หลอดเมทัลฮาไลด์ 150W	4	1	4	150	600			
	หลอดตะเกียบ 20W	73	1	73	20	1,460			
ชั้น 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย							9.37	9.72	

ตารางที่ 4.10 ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้ภายนอกอาคารกรณีศึกษาที่ 2

ภายนอกอาคาร	ชนิดหลอดไฟ	หลอดไฟฟ้า					พลังงานทั้งหมด (วัตต์)
		จำนวนโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนหลอด	ขนาดหลอด (วัตต์)	รวม (วัตต์)	
	หลอดแสงจันทร์	3	1	3	70	210	10,159
	หลอด compact fluorescent LED	45	1	45	15	675	
	หลอดจำปา	8	1	8	6	48	
	หลอด fluorescent 18W	24	1	24	25	600	
	หลอด fluorescent 36W	12	1	12	28	336	
	หลอด Sport light	85	1	85	46	3,910	
	หลอด Sport light	1	1	1	500	500	
	หลอดเมทัลฮาไลด์ 150W	4	1	4	150	600	
	หลอดแสงจันทร์ LED	2	1	2	40	80	
	หลอดเมทัลฮาไลด์ 400W	4	1	4	400	1,600	
	ไฟกิ่ง	8	1	8	5	40	
	Flood light	52	1	52	30	1,560	

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

ระบบแสงธรรมชาติ

รูปแบบผังอาคารมีลักษณะอาคารแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีคอร์ทตรงกลาง (Center Court Layout) และมีทางเดินภายในอาคารโดยรอบคอร์ท ทำให้เกิดข้อดีในการบังแดดให้แก่พื้นที่ห้องทำงาน หน้าต่างเดิมโดยรอบอาคารชั้น 1 เป็นลูกฟักไม้ มีช่องแสงกระจกใสหนา 6 มม. ด้านบนทั้งหมด ส่วนหน้าต่างชั้น 2 เป็นหน้าต่างลูกฟักไม้ ช่องแสงเป็นบานเกล็ดไม้ ช่องเปิดด้านหน้าอาคารติดตั้งหน้าต่างบานอลูมิเนียมลูกฟักกระจกสีชา ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

ระบบแสงประดิษฐ์

ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานภายในห้องทำงานนั้นโดยมากเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 3

ในการเก็บข้อมูลระบบแสงประดิษฐ์สำหรับอาคารนั้นสามารถเก็บได้เพียงชั้น 1 เท่านั้น โดยมีรายละเอียดรูปแบบของดวงโคม ชนิดของหลอดไฟ จำนวน และค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบแสงประดิษฐ์ ดังตารางที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้ภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3

ภายในอาคาร	พื้นที่ (ตร.ม.)	ชนิดหลอดไฟ	หลอดไฟฟ้า					พลังงาน ทั้งหมด (วัตต์)	พลังงาน/ พื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)	พลังงาน/พื้นที่ รวมภายนอกอาคาร (วัตต์/ตร.ม.)
			จำนวน โคม	จำนวน หลอดต่อ โคม	จำนวน หลอด	ขนาด หลอด (วัตต์)	รวม (วัตต์)			
ทิศเหนือ										
กองสารนิเทศ 1	100	โคม fluorescent2x28 2EB	14	2	28	38	1,064	1,064	10.64	11.19
ผอ.กองสารนิเทศ	100	โคม fluorescent2x28 2EB	5	2	10	38	380	380	3.80	4.35
กองสารนิเทศ 2	68	โคม fluorescent2x28 2EB	9	2	18	38	684	684	10.06	10.61
ห้องโสต	63	ปิด	-	-	-	-	-	-	-	-
งานบริหารทั่วไป	63	โคม fluorescent2x28 2EB	12	2	24	38	912	912	14.48	15.03
กองต่างประเทศ	126	โคม fluorescent2x28 2EB	20	2	40	38	1,520	1,520	12.06	12.61
กลุ่มงานกิจการต่างประเทศ	63	โคม fluorescent2x28 2EB	12	2	24	38	912	912	14.48	15.03
ผอ.กองต่างประเทศ	63	โคม downlight	11	1	11	20	220	884	14.03	14.58
		โคม fluorescent1x18	2	1	2	28	56			
		โคม fluorescent2x28 2EB	8	2	16	38	608			
กลุ่มงานอาเซียน	68	โคม downlight	30	1	30	20	600	712	10.47	11.02
		โคม fluorescent1x18	4	1	4	28	112			
ทิศตะวันออก										
กลุ่มงานอำนวยความสะดวกกระทรวง	182	โคม fluorescent2x28 2EB	32	2	64	38	2,432	2,432	13.36	13.91
ศูนย์ปฏิบัติการกระทรวงมหาดไทย	202	โคม downlight	43	1	43	20	860	2,216	10.97	11.52
		โคมระย้า	1	5	5	20	100			
		โคมติดผนัง	2	1	2	20	40			
		โคม fluorescent2x28 2EB	16	2	32	38	1,216			
ห้องเก็บของ	85	ปิด	-	-	-	-	-	-	-	
ห้องนำชาย	91	โคม downlight	20	1	20	20	400	540	5.93	6.48
		โคมติดผนัง	7	1	7	20	140			
ห้องนำหญิง	28	โคม downlight	9	1	9	20	180	320	11.43	11.98
		โคมติดผนัง	7	1	7	20	140			
งานบริหารงานทั่วไป กลุ่มงานพัสดุ	254	โคม fluorescent2x28 2EB	45	2	90	38	3,420	3,420	13.46	14.01
ฝ่ายการเงิน กองคลัง	254	โคม fluorescent2x28 2EB	45	2	90	38	3,420	3,420	13.46	14.01
ทิศใต้										
ผอ. กองคลัง	65	โคม fluorescent2x28 2EB	6	2	12	38	456	456	7.02	7.57
		โคม fluorescent1x18	13	1	13	28	364			
กลุ่มงานบัญชี กองคลัง	120	โคม fluorescent2x28 2EB	24	2	48	38	1,824	1,824	15.20	15.75
กลุ่มงานวางแผนอัตรากำลัง	60	โคม fluorescent2x28 2EB	12	2	24	38	912	912	15.20	15.75
กลุ่มงานสวัสดิการและประโยชน์เกื้อกูล	90	โคม fluorescent2x28 2EB	15	2	30	38	1,140	1,140	12.67	13.22
กลุ่มงานบรรจุแต่งตั้ง และข้อมูลบุคคล	90	โคม fluorescent2x28 2EB	20	2	40	38	1,520	1,520	16.89	17.44
กลุ่มงานสรรหาและประเมินบุคคล	65	โคม fluorescent2x28 2EB	11	2	22	38	836	836	12.86	13.41
ผอ. กองการเจ้าหน้าที่	95	โคม fluorescent กล้องเหล็ก EB	26	1	26	38	988	988	10.40	10.95
ศูนย์ดำรงธรรม	95	โคม downlight	14	1	14	20	280	280	2.95	3.50
ทิศตะวันตก										
กองกลาง	260	โคม fluorescent2x28 2EB	60	2	120	38	4,560	4,560	17.54	18.09
ห้องนักข่าว	30	โคม fluorescent2x28 2EB	12	2	24	38	912	1,024	34.13	34.68
		โคม fluorescent1x18 2EB	4	1	4	28	112			
ส่วนกลาง	30	โคม fluorescent2x28 2EB	12	2	24	38	912	1,024	34.13	34.68
		โคม fluorescent1x18 2EB	4	1	4	28	112			
สำนักงานสารนิเทศ	260	โคม fluorescent2x28 2EB	84	2	168	38	6,384	6,384	24.55	25.10
ค่าเฉลี่ย									13.93	14.48

ตารางที่ 4.12 ชนิดดวงโคมและหลอดไฟที่ใช้งานภายนอกอาคารกรณีศึกษาที่ 3

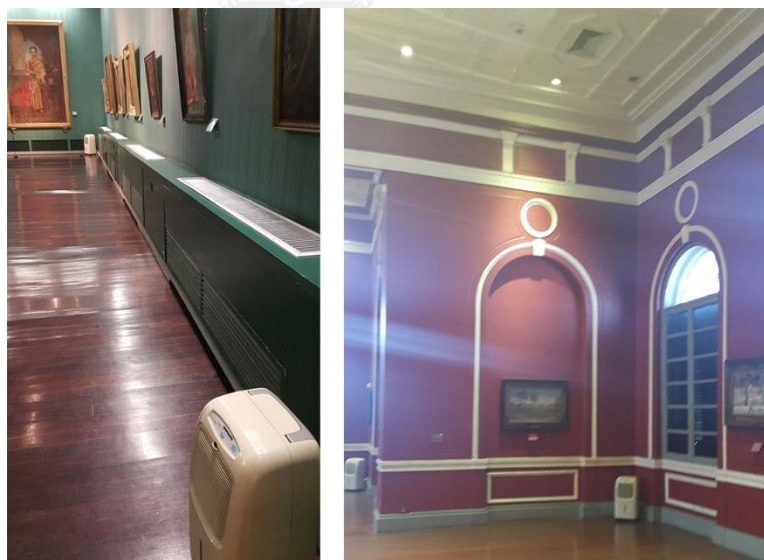
ภายในอาคาร	ชนิดหลอดไฟ	หลอดไฟ					พลังงานทั้งหมด (วัตต์)
		จำนวนโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนหลอด	ขนาดหลอด (วัตต์)	รวม (วัตต์)	
	โคม fluorescent1x18 2EB	33	2	66	28	1,848	5,386
	โคม fluorescent2x28 2EB	59	1	59	38	2,242	
	โคมระย้า	1	36	36	11	396	
	โคม downlight	19	1	19	20	380	
	โคมติดผนัง	26	1	26	20	520	

4.2.4 ระบบอุปกรณ์อาคาร อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารกรณีศึกษาแต่ละอาคารมีรายละเอียดดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารโดยมากเป็นเครื่องฟอกอากาศที่ตั้งไว้บริเวณมุมห้องจัดแสดงนิทรรศการดังภาพที่ 4.12 เนื่องจากทางหอศิลป์ได้แยกพื้นที่ใช้งานส่วนสำนักงานออกไปอยู่ที่อาคารอีกหลังหนึ่ง ซึ่งใช้มิเตอร์ไฟฟ้าคนละตัวกับอาคารหอศิลป์ ดังนั้นอาคารนี้จึงมีอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนไม่มากนัก รายละเอียด ดังตารางที่ 4.13



ภาพที่ 4.12 อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 4.13 อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า				
ห้อง	อุปกรณ์	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	รวม (วัตต์)
ชั้น 1				
โถงทางเข้า	เครื่องฟอกอากาศขนาดเล็ก	3	290	870
โถงทางเดิน	พัดลมชนิดตั้งพื้น	2	180	360
จิตรกรรมผีพระหัตถ์	เครื่องฟอกอากาศขนาดเล็ก	2	290	580
จิตรกรรมแบบตะวันตก 1	พัดลมระบายอากาศ	2	23	46
จิตรกรรมแบบตะวันตก 2	เครื่องฟอกอากาศขนาดเล็ก	3	290	870
จิตรกรรมร่วมสมัย 1	เครื่องฟอกอากาศขนาดเล็ก	1	290	290
ห้องจัดนิทรรศการ 1	curtain air	1	81	196
ห้องจัดนิทรรศการ 5	notebook	1	115	115
ห้องจัดนิทรรศการ 8	curtain air	1	81	81
ห้องอเนกประสงค์	curtain air	2	81	162
	computer	2	250	500
	monitor	2	35	70
ห้องจัดนิทรรศการ 9	notebook	2	115	230
ชั้น 2				
โถงบันได ชั้นที่ 2	notebook	1	115	115
จิตรกรรมไทยประเพณี 1	เครื่องฟอกอากาศขนาดเล็ก	3	290	870
จิตรกรรมไทยประเพณี 2	เครื่องฟอกอากาศขนาดเล็ก	1	290	290
สำนักงาน	เครื่องฟอกอากาศขนาดเล็ก	3	290	1,100
			รวม	6,745

กรณีศึกษาที่ 2 : โอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเก็บข้อมูลได้เฉพาะในส่วนกลางของเจ้าของโครงการเท่านั้น ในส่วนของผู้เช่าจะเป็นผู้เสียค่าไฟฟ้าเองทางเจ้าของโครงการจึงไม่กำหนดจำนวนอุปกรณ์ที่แน่นอน ดังนั้นจึงมีอุปกรณ์ไฟฟ้าเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า				
ห้อง	อุปกรณ์	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	รวม (วัตต์)
ชั้น 1 ส่วน M&E	คอมพิวเตอร์	1	450	450
	เครื่องเล่น DVD	1	180	180
	ตู้กดน้ำดื่ม	1	100	100
	โทรทัศน์ จอ LCD 47"	1	120	120
	จอมอนิเตอร์	3	35	105
	monitor LCD 19"	2	35	70
ชั้น 3 ห้องน้ำชาย	เครื่องเป่ามือ	1	1800	1,800
ชั้น 3 ห้องน้ำหญิง	เครื่องเป่ามือ	1	1800	1,800
			รวม	4,625

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

ใช้งานในลักษณะสำนักงานดังนั้นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารนี้โดยมากจึงเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องปริ้นเตอร์ รวมถึงเครื่องสแกนเนอร์ ดังภาพที่ 4.13 อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 3 แต่มีข้อจำกัดคือการเก็บข้อมูลระบบอุปกรณ์อาคารสำหรับอาคารนี้นั้นสามารถเก็บได้เพียงชั้น 1 เท่านั้น ได้ผลการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 4.15



ภาพที่ 4.13 อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานในอาคารกรณีศึกษาที่ 3

ตารางที่ 4.15 อุปกรณ์อาคารที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3

ห้อง	จำนวน Computer	จำนวน โต๊ะ	จำนวน Monitor	จำนวน โต๊ะ	จำนวน Printer	จำนวน โต๊ะ	จำนวน Xerox	จำนวน โต๊ะ	จำนวน ตู้เย็น	จำนวน โต๊ะ	จำนวน TV	จำนวน โต๊ะ	จำนวน ตู้กดน้ำ	จำนวน โต๊ะ	จำนวน ตู้ซักผ้า	จำนวน โต๊ะ	จำนวน ไมโครเวฟ	จำนวน โต๊ะ	จำนวน พัดลม	จำนวน โต๊ะ	จำนวนพัดลม ระบายอากาศ	จำนวน โต๊ะ	รวม	
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	250		35		200		1080		140		120		100		700		800		60		25			
ทิศเหนือ																								
กองสารนิเทศ 1	10	2500			7	1400	2	2160	1	140	2	240					1				2	50	6,490	
ผอ.กองสารนิเทศ	2	500			2	400					1	120									1	25	1,045	
กองสารนิเทศ 2	5	1250			2	400					1	120					1				1	25	1,795	
ห้องโสต																								
งานบริหารทั่วไป	5	1250			2	400					1	120											1,770	
กองต่างประเทศ	14	3500			6	1200	1	1080	1	140	1	120	2	200	1	700	1	800	1		2	50	7,790	
กลุ่มงานกิจการต่างประเทศ	8	2000			3	600					1	120									1	25	2,745	
ผอ.กองต่างประเทศ	2	500			2	400					1	120											1,020	
กลุ่มงานอาเซียน	8	2000			2	400					1	120			1	700							3,220	
ทิศตะวันออก																								
กลุ่มงานอำนวยการปกครอง	10	2500			5	1000	1	1080			2	240								1	60	7	175	5,055
ศูนย์ปฏิบัติการกระทรวงมหาดไทย	8	2000	12	420	4	800			1	140	16	1920			1	700				1	60			6,040
เปิด																								
ห้องน้ำชาย																								
ห้องน้ำหญิง																								
งานบริหารงานทั่วไป กลุ่มงานพัสดุ	24	6000							1	140	1	120					1	800			4	100	7,160	
ฝ่ายการเงิน กองคลัง	20	5000							1	140	2	240					1	800					6,180	
ทิศใต้																								
ผอ. กองคลัง	3	750			1	200					1	120					1	700			3	75	1,845	
กลุ่มงานบัญชี กองคลัง	12	3000			3	600	1	1080													6	150	4,830	
กลุ่มงานวางแผนอัตรากำลัง	10	2500			5	1000																	3,500	
กลุ่มงานสวัสดิการและประโยชน์ออก	13	3250																			1	25	3,275	
กลุ่มงานบรรจุแต่งตั้ง และข้อมูลบุคคล	16	4000			4	800							1								1	25	4,825	
กลุ่มงานสรรหาและประเมินบุคคล	8	2000			3	600			1	140													2,740	
ผอ. กองการเจ้าหน้าที่	2	500			1	200															2	50	750	
ศูนย์ดำรงธรรม											1	120	1	100					3				220	
ทิศตะวันตก																								
กองกลาง	25	6250									1	120									1	25	6,395	
ส่วนกลาง	3	750			2	400				1	140	1	120										1,410	
สำนักงานสารนิเทศ	25	6250			6	1200					1	120							1		3	75	7,645	
																							รวม	87,745

4.3 สภาวะนำสบายภายในอาคารกรณีศึกษา

ดำเนินการเก็บข้อมูลเฉพาะตัวแปร อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ (U12 Temp/RH/Light/External Data Logger) ในทิศทางที่แตกต่างกันตามจุดที่กำหนดภายในอาคาร สำหรับอาคารกรณีศึกษาที่ใช้งานในรูปแบบของสำนักงานได้ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารเพิ่มเติมจำนวน 1 จุด (CO₂/HUMIDITY/TEMP. MONITOR Model: MCH-383SD) โดยกำหนดเก็บข้อมูลตัวแปรทุก 15 นาที (แก้วนก สดจริง และ ยิ่งสวัสดิ์ไชยะกุล, 2555) เป็นเวลาทั้งหมด 7 วัน ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์

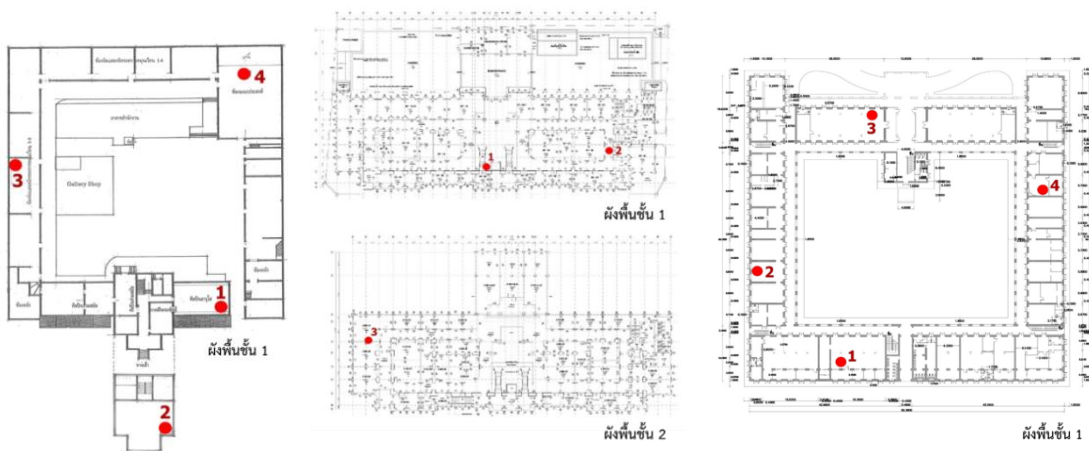
ดำเนินการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมด 4 จุด โดยแยกไปตามลักษณะการใช้งาน จุดที่ 1 และ 2 คือส่วนนิทรรศการถาวร และส่วนที่ 3 และ 4 คือนิทรรศการชั่วคราว เป็นระยะเวลา 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 24/10/2015 ถึงวันที่ 31/10/2015

กรณีศึกษาที่ 2 : ไอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

ดำเนินการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมด 3 จุด โดยแยกไปตามทางเดินแต่ละทิศทางในอาคารเป็นระยะเวลา 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 24/10/2015 ถึงวันที่ 31/10/2015

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

ดำเนินการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมด 4 จุด โดยแยกไปตามสำนักงานแต่ละทิศทางในอาคาร เป็นระยะเวลา 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 04/11/2015 ถึงวันที่ 11/11/2015 สำหรับจุดที่ 1 เก็บปริมาณก๊าซ CO₂ เพิ่มเติมเนื่องจากมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 4.14 ผังพื้นที่แสดงจุดที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ

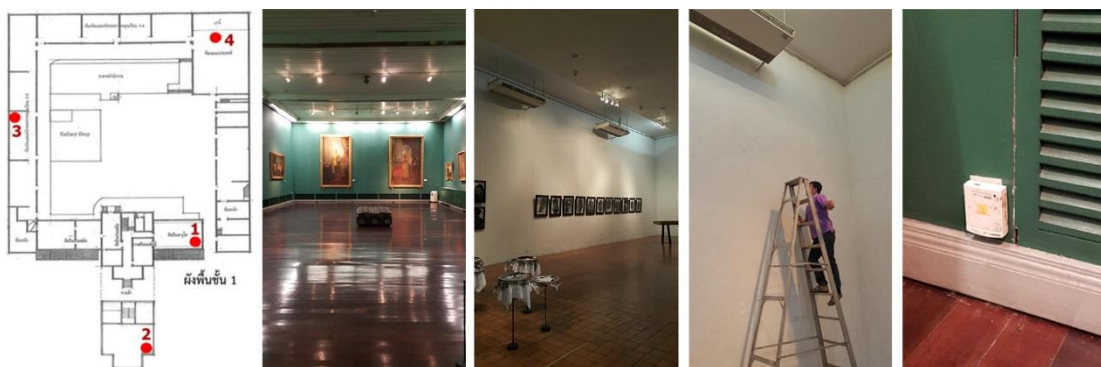
กรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

4.3.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

ผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์พบว่าอากาศภายนอกมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29 - 30 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 67 -71 % ส่วนผลของสภาพอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารมีดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์

มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยอยู่ที่ 27 – 29 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 65 -72 % โดยมีความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระหว่างวันอยู่ที่ 4.8 - 12 °C และ 17 - 40 % รายละเอียดแสดงในภาพที่ 4.15 และตารางที่ 4.16



ภาพที่ 4.15 จุดที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 4.16 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารที่วัดได้จริงจากกรณีศึกษาที่ 1

ข้อมูล	จุดที่ 1		จุดที่ 2		จุดที่ 3		จุดที่ 4		อากาศภายนอก	
	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)
ค่าเฉลี่ย	27.15	71.56	29.44	65.44	28.66	71.22	28.33	72.83	29.89	67.4
ค่าน้อยสุด	22.35	42.94	24.63	56.02	26.43	53.9	24.05	59.47	26.6	45.99
ค่ามากที่สุด	34.31	82.95	32.05	73.34	31.26	81.14	30.87	79.82	33.68	85.25
ค่า SD	1.72	7.72	1.61	3.9	0.9	6.53	1.47	4.6	2	9.29

กรณีศึกษาที่ 2 : โอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยอยู่ที่ 25 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 66 - 69 % โดยมีความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระหว่างวันอยู่ที่ 2.5 – 5.5 °C และ 10 - 17 % รายละเอียดแสดงในภาพที่ 4.16 และตารางที่ 4.17



ภาพที่ 4.16 จุดที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ 4.17 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารที่วัดได้จริงจากกรณีศึกษาที่ 2

ข้อมูล	จุดที่ 1		จุดที่ 2		จุดที่ 3		อากาศภายนอก	
	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)
ค่าเฉลี่ย	25.25	69.32	25.88	67.83	25.55	66.88	29.9	67.32
ค่าน้อยสุด	23.83	60.85	24.12	59.91	22.27	61.32	26.6	45.99
ค่ามากที่สุด	26.33	77.9	26.84	76.56	27.8	71.55	33.97	85.25
ค่า SD	0.84	4.38	0.68	4.13	1.85	3.15	2.02	9.38

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยอยู่ที่ 22 – 26 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 63 - 69% โดยมีความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระหว่างวันอยู่ที่ 1.9 – 5.4 °C และ 21- 34 % รายละเอียดแสดงภาพที่ 4.17 และตารางที่ 4.18

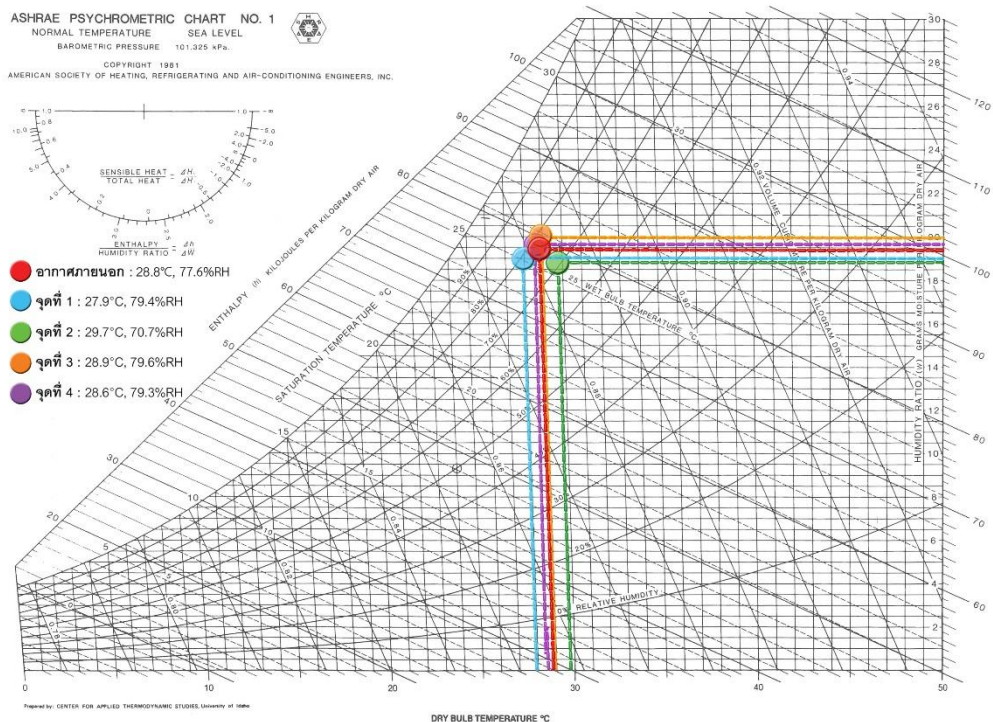


ภาพที่ 4.17 จุดที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 3

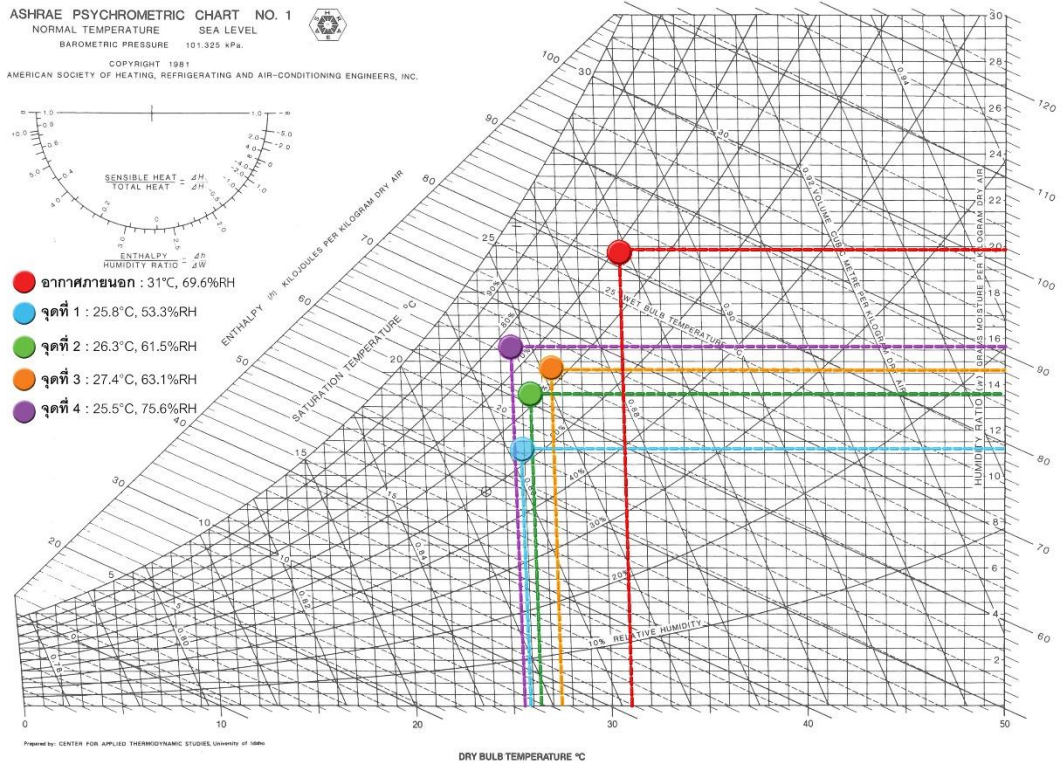
ตารางที่ 4.18 ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (เฉพาะจุดที่ 1) ภายในอาคาร ที่วัดได้จริงจากกรณีศึกษาที่ 3

ข้อมูล	จุดที่ 1			จุดที่ 2		จุดที่ 3		จุดที่ 4		อากาศภายนอก	
	Temp (°C)	RH (%)	CO2 (ppm)	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)	Temp (°C)	RH (%)
ค่าเฉลี่ย	24.18	67.36	626.06	25.93	69.32	25.07	58.41	22.71	63.55	29.73	70.93
ค่าน้อยสุด	22.06	49.63	425	24.07	56.46	24.12	47.39	19.34	49.46	26.99	53.78
ค่ามากที่สุด	25.67	84	902	27.01	84.89	26.04	68.96	24.77	76.32	33.24	84.63
ค่า SD	0.87	10.24	156.18	0.65	4.63	0.39	4.61	1.45	8.46	1.74	7.46

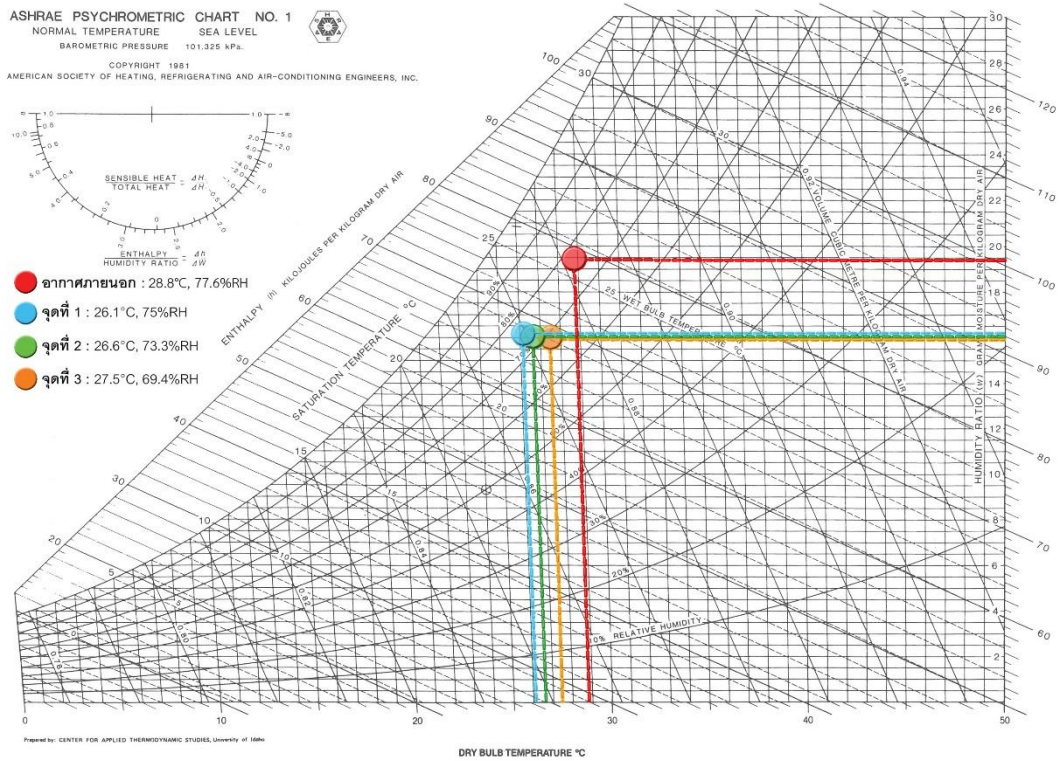
ต่อมาจึงนำผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มาวิเคราะห์บนแผนภูมิไซโครเมตริก โดยเลือกนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในช่วงเวลาก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศคือ เวลา 9.00 น. ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 และเวลา 8.00 น. ในกรณีศึกษาที่ 3 มาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ภายหลังจากเปิดเครื่องปรับอากาศคือเวลา 12.00 น. ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 และ 3 ได้ผล ดังภาพที่ 4.18 ถึงภาพที่ 4.23 ตามลำดับ จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าทิศทางความแตกต่างระหว่างสภาพอากาศภายในและสภาพอากาศภายนอกก่อนและหลังเปิดเครื่องปรับอากาศนั้นมีความแตกต่างกัน ทั้ง 3 อาคาร โดยกรณีศึกษาที่ 1 จะเห็นว่าช่วงเวลาก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศนั้นมีความสภาพอากาศภายในที่ใกล้เคียงกับภายนอกมาก ซึ่งถือว่ามีปริมาณความชื้นสูงมาก และมีห้องจัดแสดงจำนวน 2 จุด ที่มีความชื้นภายในอาคารสูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก



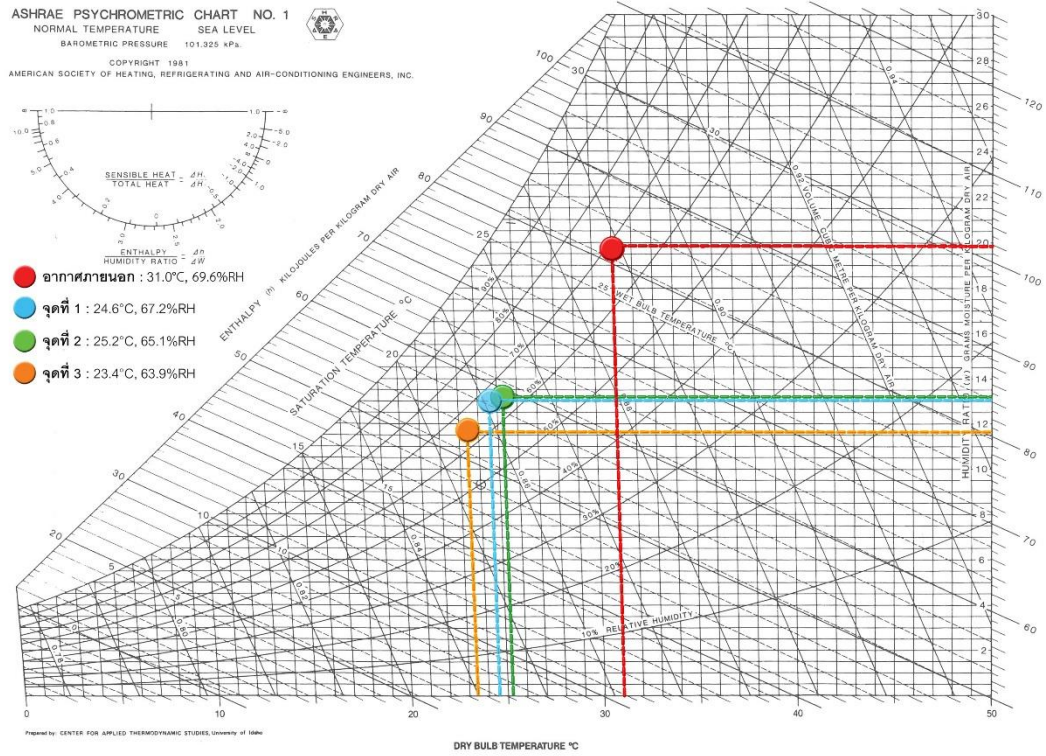
ภาพที่ 4.18 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 9.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 1



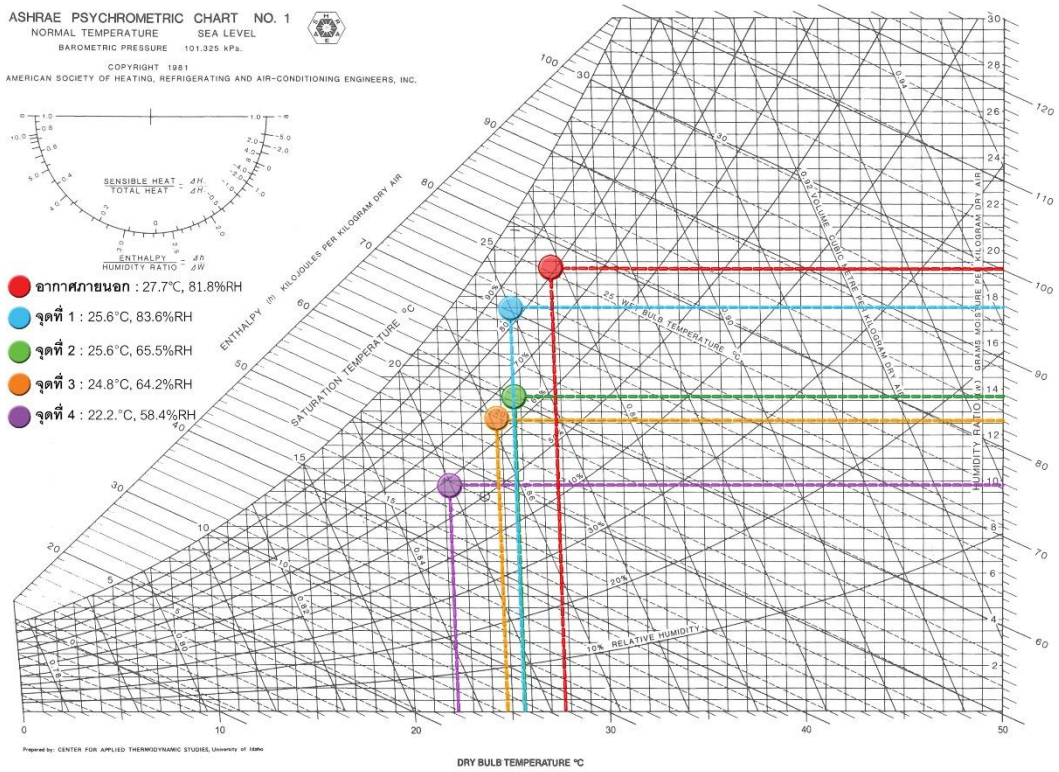
ภาพที่ 4.19 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 1



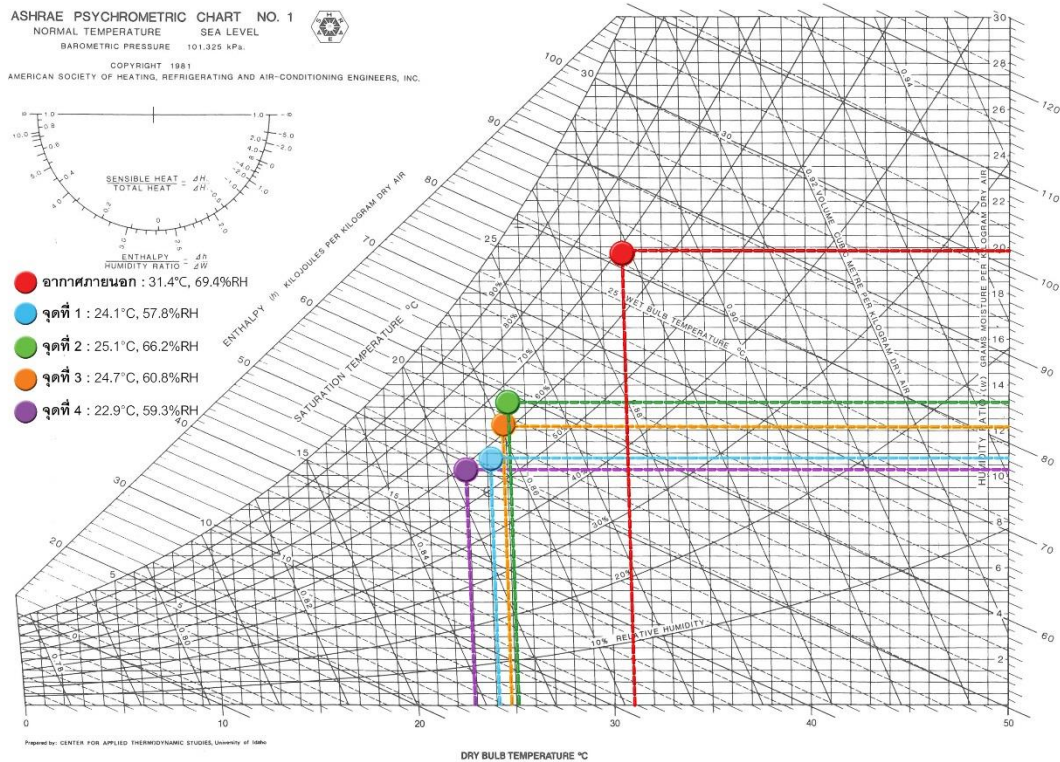
ภาพที่ 4.20 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 9.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 4.21 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 4.22 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 8.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 3



ภาพที่ 4.23 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 3

4.3.2 สภาวะนำสบายภายในอาคารกรณีศึกษา

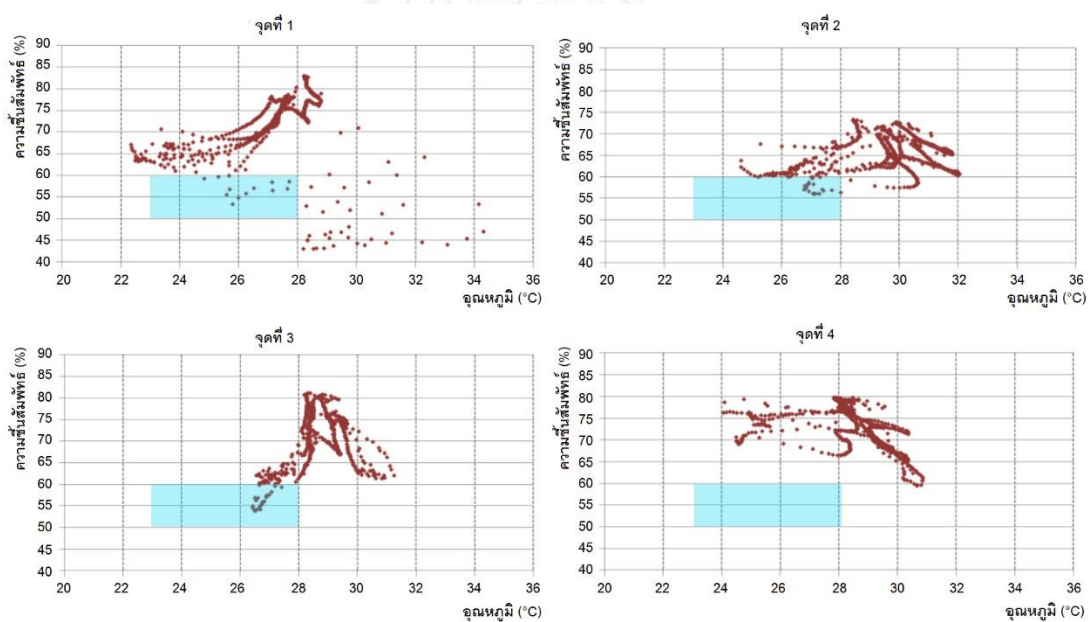
สำหรับเกณฑ์มาตรฐานของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รวมทั้งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นทาง American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.19 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

ตารางที่ 4.19 ค่ามาตรฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

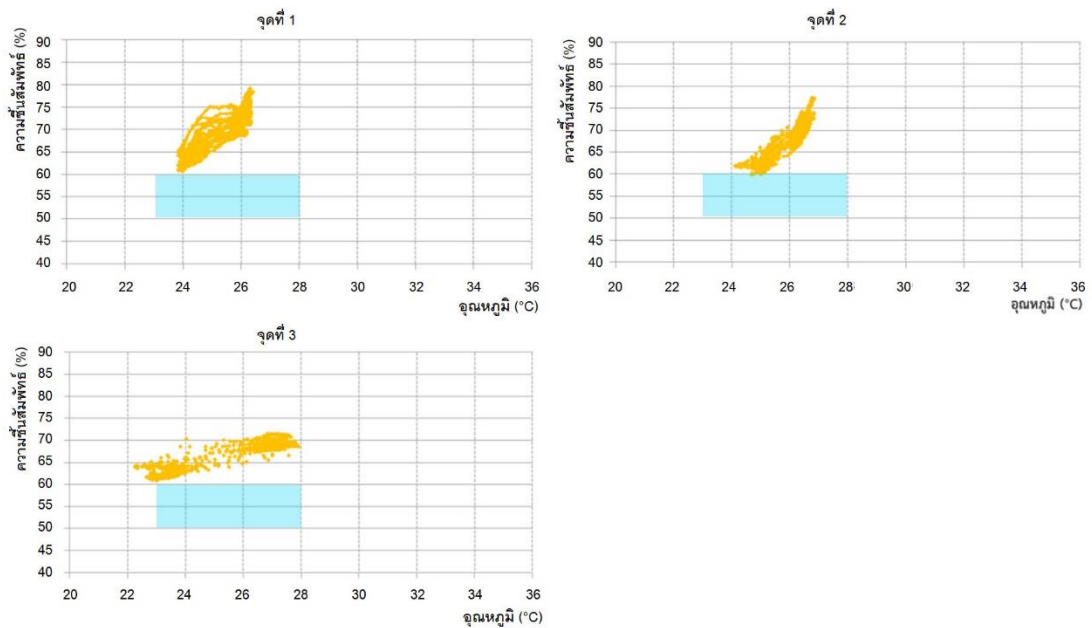
ปัจจัย	ค่ามาตรฐานที่กำหนด	แหล่งที่มา
อุณหภูมิ (°C)	23 - 26	ASHRAE 55-1992
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	30 - 60	ASHRAE 55-1992
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (PPM)	1,000	ASHRAE 62.1-2007

ดังนั้นจึงทำการค้นคว้าหาข้อมูลสภาวะนำสบายของอาคารในประเทศไทยเพิ่มเติม พบว่า Busch (1992) ได้ทำการศึกษาถึงสภาวะนำสบายโดยเปรียบเทียบระหว่างอาคารสำนักงานปรับอากาศและไม่ปรับอากาศในประเทศไทย โดยการแจกแบบสอบถามแก่พนักงานจำนวน 1,100 คน

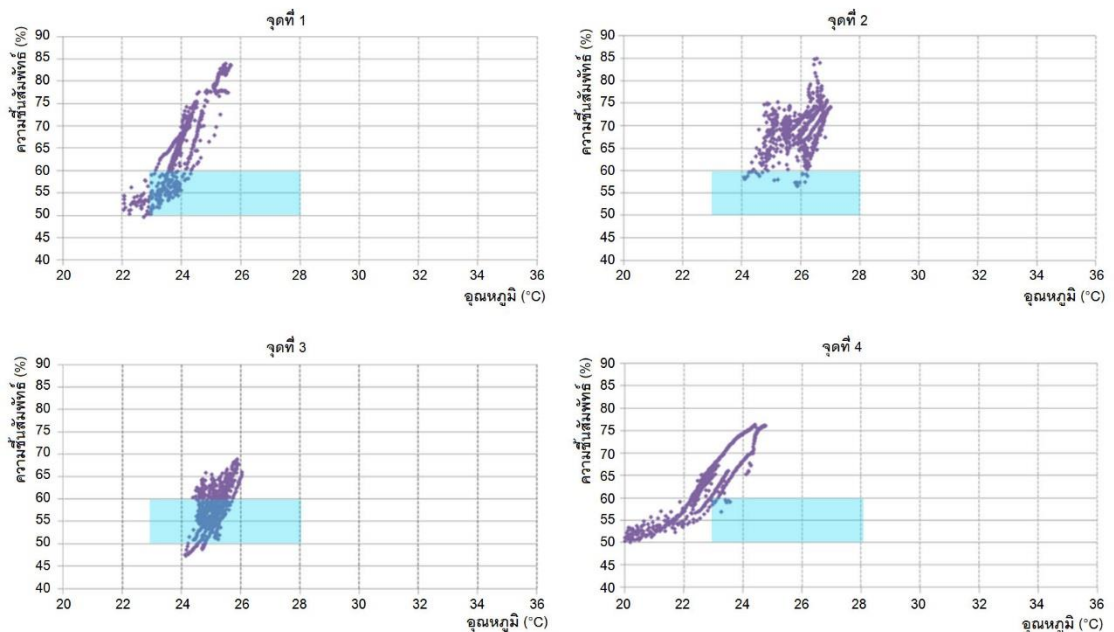
ได้ผลว่าสำหรับอาคารปรับอากาศนั้นอยู่ที่อุณหภูมิ 28 °C และเพิ่มขึ้นเป็น 31 °C สำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ ต่อมา Yamtraipat, Khedari, and Hirunlabh (2005) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสภาวะนำสบายในอาคารปรับอากาศโดยการใช้แบบสอบถามเช่นกัน พบว่าอุณหภูมิอยู่ที่ 26 °C และความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในช่วงระหว่าง 50 - 60 % และระบุว่าขอบเขตของสภาวะนำสบายสำหรับอาคารที่ไม่ปรับอากาศนั้นสามารถขยายออกไปได้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านมาในพื้นที่นั้นๆ โดยได้เสนอแนะไว้ว่า มีความจำเป็นอย่างมากในการที่จะสร้างมาตรฐานของสภาวะนำสบาย เพราะจะส่งผลต่อการลดปริมาณการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการพิจารณาของเขตสภาวะนำสบายในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดอุณหภูมิอยู่ที่ 23 – 28 °C และ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 50 – 60 % เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อประเมินสภาวะนำสบาย ภายในกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร ได้ผลดังภาพที่ 4.24 ถึงภาพที่ 4.26 โดยภายในกรอบสีฟ้าคือขอบเขตสภาวะนำสบายที่กำหนดไว้



ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 1



ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ 3

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละจุดที่ตรวจวัดพบว่าทั้ง 3 อาคาร มีปัญหาที่คล้ายคลึงกันคือเรื่องของปริมาณความชื้นภายในห้องที่มากเกินไป จากกราฟเมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิภายในพื้นที่ใช้งานจะเห็นได้ว่าทั้ง 3 อาคารมีช่วงอุณหภูมิ

อยู่ในเกณฑ์ แต่เมื่อพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์ร่วมด้วยทำให้จุดที่ตรวจวัดของทั้ง 3 มีช่วงที่อยู่ในเกณฑ์น้อยมาก โดยมีรายละเอียดแต่ละอาคาร ดังนี้

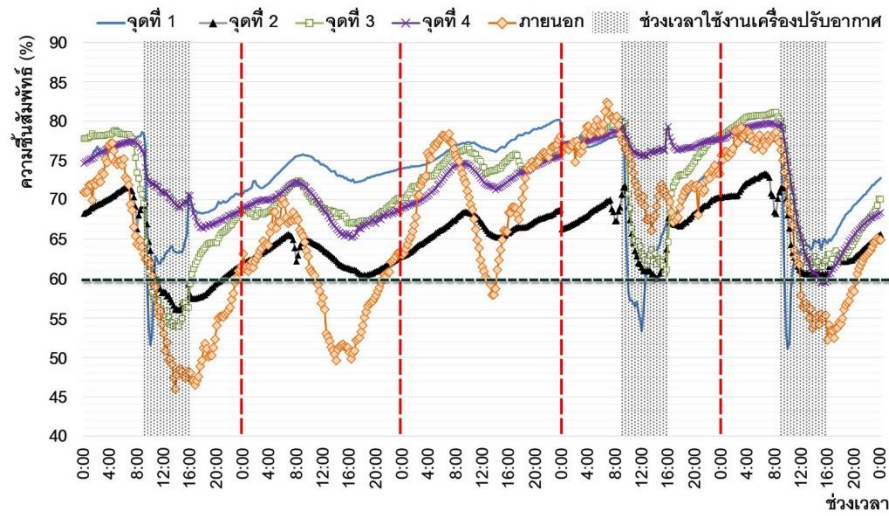
กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ 1, 2 และ 3 มีช่วงเวลาที่อยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายแต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจุดที่ 4 ไม่มีช่วงเวลาใดเลยที่อยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบาย

กรณีศึกษาที่ 2 จะเห็นได้ว่าทุกช่วงเวลาของทั้ง 3 จุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอยู่นอกเขตสภาวะน่าสบายทั้งหมด

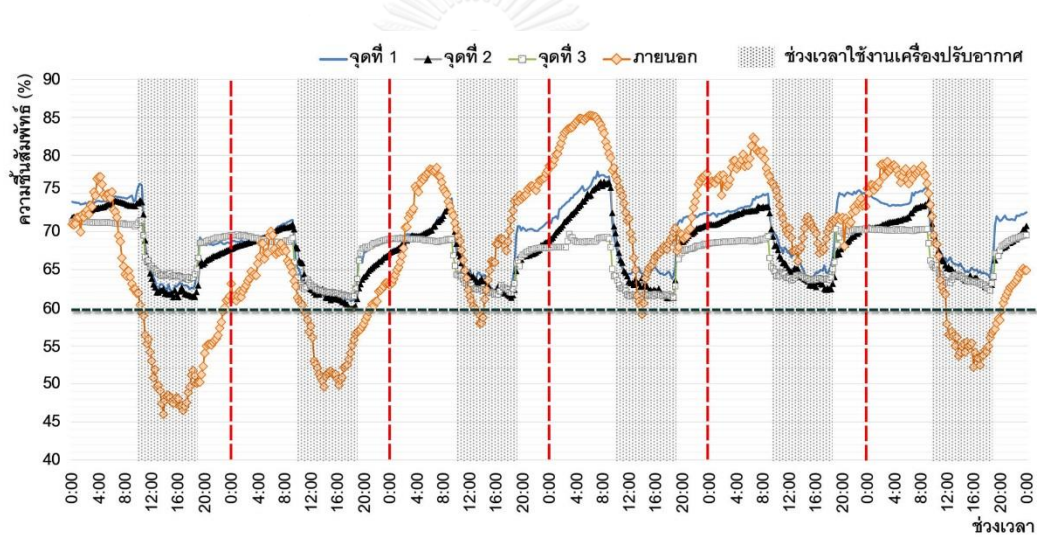
กรณีศึกษาที่ 3 มีช่วงเวลาที่อยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายมากที่สุดในกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร โดยจุดที่ 3 ถือว่ามีช่วงเวลาที่อยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายประมาณ 50 %

แม้ว่ากรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารมีลักษณะเป็นผนังมวลสารมาก ซึ่งจากการศึกษาของสรุณา ประวิตรางกูร (2543) ที่ได้ระบุไว้ว่าอาคารที่ปรับอากาศเวลากลางวันรวมทั้งอาคารที่ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ควรจะเลือกใช้ผนังที่มีมวลสารมาก สอดคล้องกับการศึกษาของณัฐกานต์ เกษประทุม (2543) ที่ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก และได้สรุปไว้ว่า อาคารไม่ปรับอากาศรวมถึงอาคารที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวันเหมาะกับการใช้ผนังมวลสารมาก แต่จากการสำรวจสภาพอาคารและการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารนั้น พบว่าสภาพอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและมีช่วงเวลาที่อยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

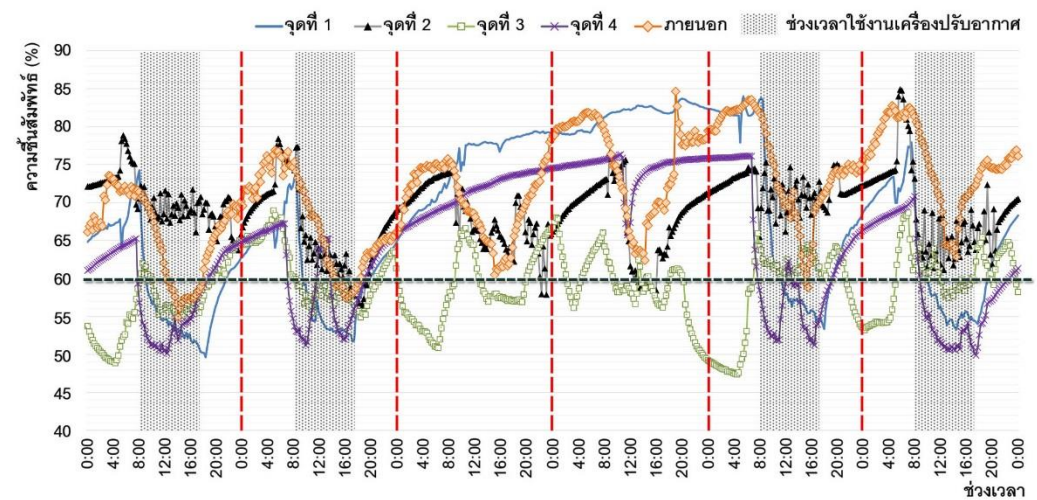
จากการวิเคราะห์ผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของทั้ง 3 อาคารพบว่าแม้ในช่วงเวลาที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศนั้นภายในอาคารโดยมากก็ไม่ได้อยู่ในสภาวะน่าสบาย เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของอาคาร ทั้งโครงสร้างอาคาร วัสดุอาคาร ความสูง และขนาดของห้องที่อยู่ภายในอาคาร หรือจากปัจจัยอื่นๆ โดยปัญหาหลักคือ เรื่องของปริมาณความชื้นภายในอาคารที่สูงจนเกินกว่าภาระของเครื่องปรับอากาศจะควบคุมได้ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยตัดข้อมูลช่วงที่ผลคลาดเคลื่อนออก จะได้ผลดังแผนภูมิที่ 4.4 ถึงแผนภูมิที่ 4.6 โดยเส้นประสีเขียวคือความชื้นสัมพัทธ์ที่มากที่สุดในเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 60 % และบริเวณแถบสีเทาคือช่วงเวลาที่ภายในอาคารใช้งานเครื่องปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกและภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกและภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกและภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3

จากกราฟพบว่าเมื่อเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศนั้น แม้ว่าปริมาณความชื้นภายในอาคารที่มีค่าสูงจะลดลงจากเดิมแต่ก็มีช่วงที่อยู่ในสภาวะน่าสบายเพียงส่วนน้อยเท่านั้น เนื่องจากเครื่องปรับอากาศไม่สามารถดึงความชื้นออกจากอากาศ เพื่อรักษาระดับความชื้นภายในห้องให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ สำหรับวิธีการควบคุมความชื้นภายในห้อง ศุภมาศ วิชัยสินธุ์ และ ทศพล เขตเจนการ (2555) ได้กล่าวไว้ว่าสำหรับอาคารที่มีปัญหาเรื่องความชื้น วิธีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นควบคู่กันนั้นสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการ Overcool and Reheat คือระบบปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้ต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่กำหนดเพื่อดึงความชื้นภายในห้องส่วนที่เกินออกด้วยการกลั่นตัวเป็นน้ำ แล้วจึงให้ความร้อนกลับแก่อากาศเพื่อให้ได้ระดับอุณหภูมิตามที่ต้องการ ซึ่งต้องใช้ระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่และต้องเสียพลังงานให้แก่เครื่องทำความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่สิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก อีกวิธีหนึ่งที่สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าคือ การแยกการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิออกจากกัน โดยใช้ระบบดูดความชื้น (Dehumidification System) เพื่อควบคุมความชื้นและระบบปรับอากาศเพื่อรับอุณหภูมิห้อง หากแต่เมื่อพิจารณาจากกราฟเวลาเปิดการใช้งานเครื่องปรับอากาศความชื้นภายในห้องก็จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามเดิม สอดคล้องกับ สุริยน ศิริธรรมปิติ (2542) ที่ได้สรุปไว้ว่าการควบคุมความชื้นของอากาศภายในอาคารอาจจะใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาระดับความชื้นภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ แต่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน เนื่องจากต้องเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งวัน หากหยุดใช้เครื่องปรับอากาศอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องจะสูงขึ้น ขณะที่ผนังยังมีอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ ดังนั้นการใช้ระบบดูดความชื้นแยกกับระบบปรับอากาศ โดยให้ระบบดูดความชื้นทำงานแม้ในช่วงเวลาที่เปิดการใช้งานเครื่องปรับอากาศนั้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการควบคุมความชื้นภายในพื้นที่ใช้งาน

4.4 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา




รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารมาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) โดยมีรายละเอียดแต่ละอาคารดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์

- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) = 14.83 W/m^2
- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) = 11.56 W/m^2

ซึ่งไม่เกินค่าที่ กฎกระทรวง (2552) ได้บัญญัติไว้ รายละเอียด ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

ทิศ	ส่วนผนังทึบ	ส่วนผนังกระจกใสหนา 6 มม.		รวมส่วนผนังทึบ และ ส่วนผนังกระจก		
	Q conduction	Q conduction	Q radiation	Q รวม (W)	พื้นที่ผนัง+กระจก (m ²)	OTTV (W / m ²)
	Q conduction (W)	Q conduction (W)	Q radiation (W)			
ตะวันตกเฉียงใต้ 						
	7,923.13	752.74	5,107.12	13,782.99	903.40	
ตะวันออกเฉียงใต้ 						
	9,355.08	1,144.54	7,956.43	18,456.04	1,141.10	
ตะวันตกเฉียงเหนือ 						
	8,602.37	1,641.22	9,001.99	19,245.58	1,157.20	
ตะวันออกเฉียงเหนือ 						
	6,934.78	336.27	1,917.41	9,188.46	889.90	
	32,815.36	3,874.76	23,982.96	60,673.07	4,091.60	14.83

ผนังหลังคา	Q conduction					RTTV (W / m ²)
	มุมหลังคา (°)	U (W / (m ² · °C))	พื้นที่หลังคา (m ²)	Tdeq	Q conduction (W)	
	27°	0.444	4,268	24.6	46,616.803	
	34°	0.91	245	25	5,573.750	
			4,513		52,190.55	11.56

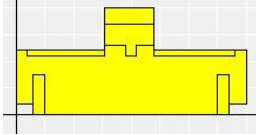
กรณีศึกษาที่ 2 : โอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) = 28.29 W/m²
- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) = 14.80 W/m²

ซึ่งค่า RTTV เกินค่าที่ กฎกระทรวง (2552) ได้บัญญัติไว้คือต้องไม่เกิน 12 W/m² สำหรับ
ห้างสรรพสินค้า รายละเอียด ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

ทิศ	ส่วนผนังทึบ		ส่วนผนังกระจกใสหนา 6 มม.		รวมส่วนผนังทึบ และ ส่วนผนังกระจก	
	Q conduction	Q conduction	Q radiation	Q รวม (W)	พื้นที่ผนัง+กระจก (m ²)	OTTV (W / m ²)
	(W)	(W)	(W)			
เหนือ						
	10,217.13	5,077.91	17,911.57	33,206.61	1,000.87	
ใต้						
	6,397.47	4,096.88	20,485.07	30,979.42	969.07	
ตะวันออก						
	6,503.78	805.19	3,446.83	10,755.79	474.70	
ตะวันตก						
	3,229.88	783.59	3,601.56	7,615.03	474.00	
	26,348.25	10,763.57	45,445.04	82,556.86	2,918.63	28.29

ผังหลังคา	Q conduction					RTTV (W / m ²)
	มุมหลังคา (°)	U (W / (m ² · °C))	พื้นที่หลังคา (m ²)	Tdeq	Q conduction (W)	
	0°	1.357	1,524	12.4	25,644.043	
	40°	0.91	815	12.1	8,973.965	
			2,339		34,618.01	14.80

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) = 25.34 W/m²
- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) = 14.74 W/m²

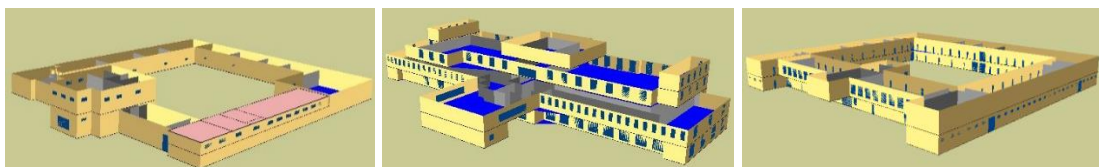
ซึ่งไม่เกินค่าที่ กฎกระทรวง (2552) ได้บัญญัติไว้ รายละเอียด ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

ทิศ	ส่วนผนังทึบ		ส่วนผนังกระจกใสหนา 6 มม.		รวมส่วนผนังทึบ และ ส่วนผนังกระจก		
	Q conduction	Q conduction	Q radiation	Q รวม (W)	พื้นที่ผนัง+กระจก (m ²)	OTTV (W / m ²)	
	(W)	(W)	(W)				
เหนือ							
	12,479.20	4,741.65	23,181.63	40,402.48	1,865.13		
ใต้							
	15,115.65	5,013.13	35,415.11	55,543.88	1,873.93		
ตะวันออก							
	14,489.00	3,933.38	25,409.72	43,832.10	1,767.98		
ตะวันตก							
	13,309.67	7,974.72	26,346.90	47,631.29	1,890.08		
	55,393.51	21,662.87	110,353.37	187,409.75	7,397.10	25.34	
ผนังหลังคา	Q conduction					RTTV (W / m ²)	
	มุมหลังคา (°)	U (W / (m ² · °C))	พื้นที่หลังคา (m ²)	Tdeq	Q conduction (W)		
	25°	0.91	5,366	16.2	79,105.572	14.74	

4.5 การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ป้อนข้อมูลสร้างแบบจำลองอาคารกรณีศึกษา (Base case) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.1 ดังภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 อาคารอ้างอิงที่ 1, 2 และ 3 ในโปรแกรม VisualDOE 4.1

แล้วนำไปตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับการใช้ไฟฟ้าจริงจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งส่งผลให้สามารถปรับค่าต่างๆในโปรแกรมให้มีความแม่นยำและลดข้อผิดพลาดในการสร้างอาคารอ้างอิง แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.5.1 การเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงาน

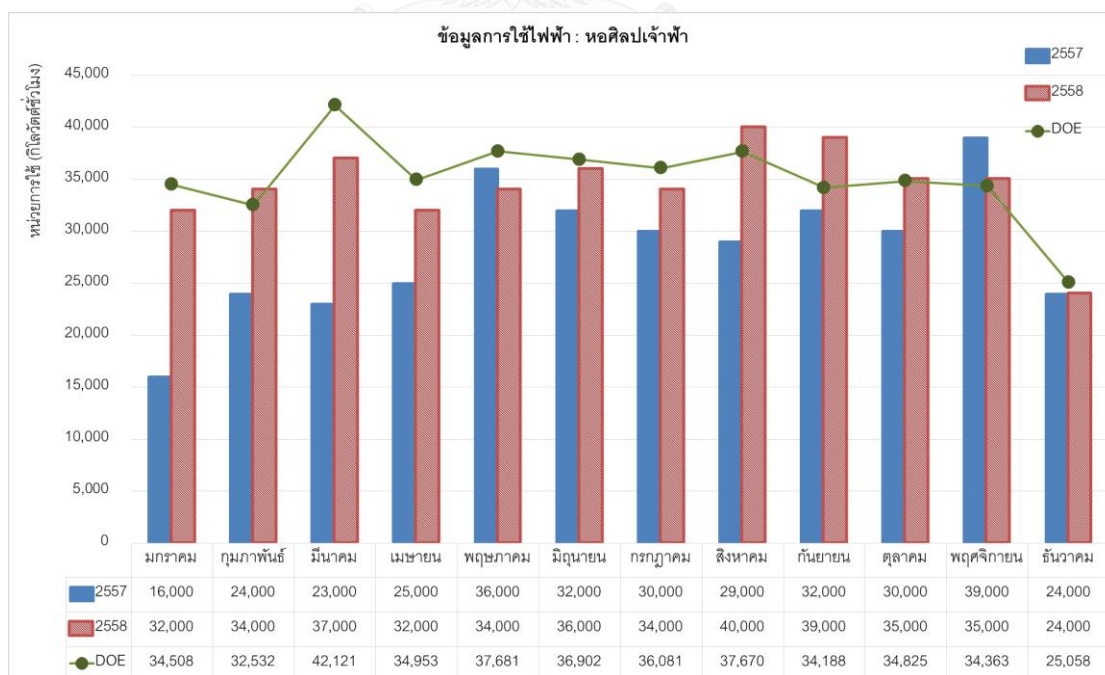
ภายหลังจากปรับค่าในโปรแกรม VisualDOE 4.1 ให้ใกล้เคียงอาคารจริงมากที่สุดแล้ว ได้ผลดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หอศิลป์

มีรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารจริงปี 2557 คือ 340,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารจริงปี 2558 คือ 412,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากการจำลอง คือ 420,882 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

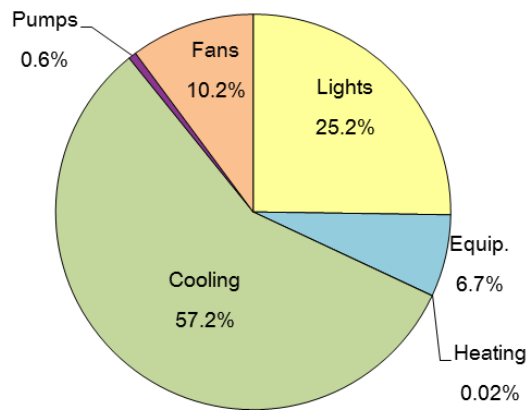
เมื่อนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากการจำลองเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าในปี พ.ศ.2558 พบว่าค่าจากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าการใช้พลังงานจริงในปี พ.ศ.2558 โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 2.11 % ดังแผนภูมิที่ 4.7



แผนภูมิที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมระหว่างใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริง และอาคารอ้างอิงจากโปรแกรม VisualDOE 4.1 ของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

มีสัดส่วนการใช้พลังงานดังแผนภูมิที่ 4.8 โดยระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดคือ 57.2% รองลงมาคือระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 25.2 % และระบบอื่นๆอีกรวม 17.6 %

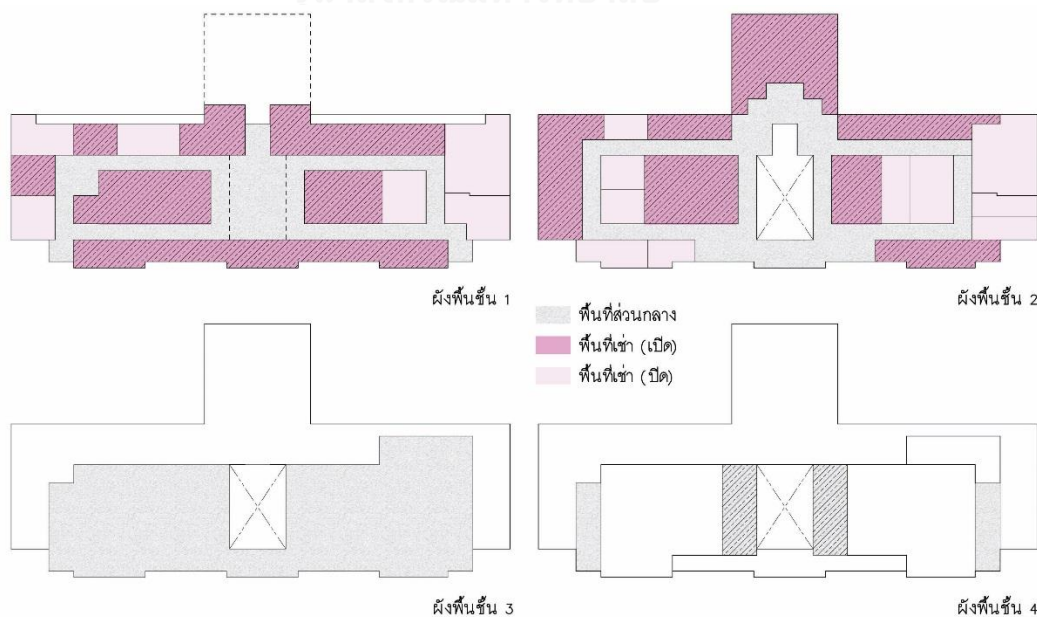
กรณีศึกษาที่ 1 : Total Electricity Energy (kWh/yr)



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 จากการจำลอง

กรณีศึกษาที่ 2 : โอ.พี.เพลส กรุงเทพมหานคร

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้งานอาคารจริง พบว่าในส่วนพื้นที่ให้เช่าของอาคารนั้นเปิดใช้งานไม่เต็มพื้นที่ ดังภาพที่ 4.28 ส่วนพื้นที่เช่าที่เปิดใช้งานคือพื้นที่สีชมพูเข้ม ส่วนพื้นที่สีชมพูอ่อนคือพื้นที่ที่ไม่เปิดใช้งาน ในส่วนของพื้นที่ส่วนกลางชั้น 3 ซึ่งเป็นห้องใหญ่นั้นเปิดใช้งานเป็นบางช่วงเวลา และพื้นที่ส่วนกลางชั้น 4 ปิดใช้งานตลอดเวลา โดยรวมแล้วคิดเป็นพื้นที่ใช้งานทั้งอาคารประมาณ 70 %

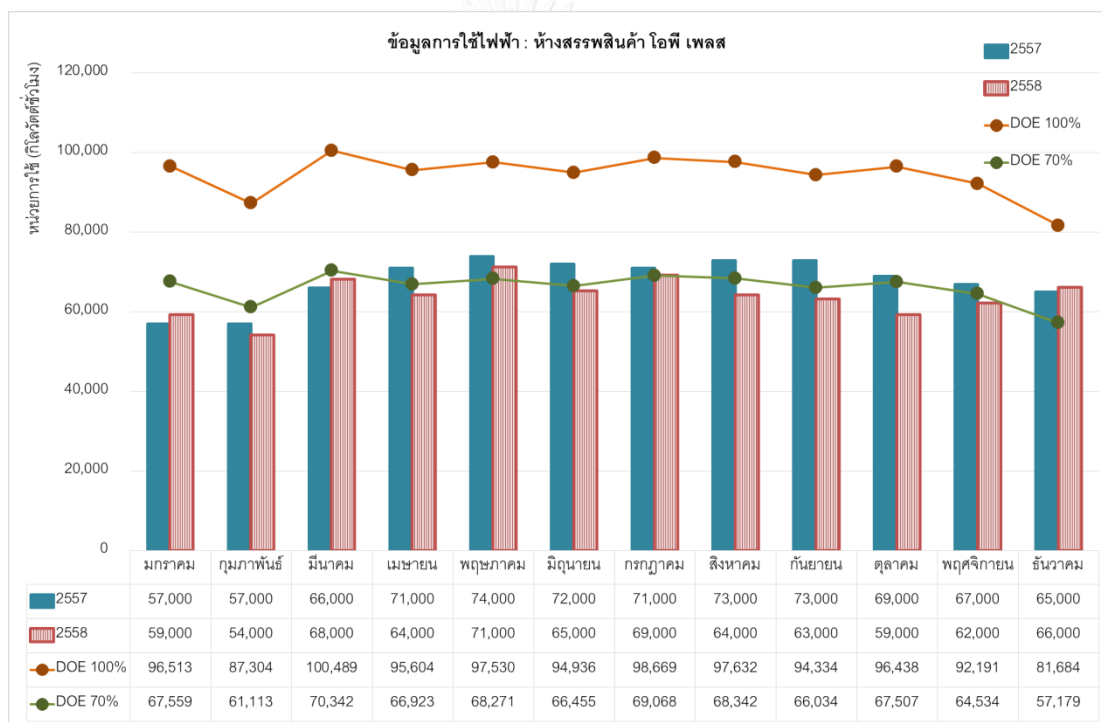


ภาพที่ 4.28 การแบ่งพื้นที่ใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 ในปัจจุบัน

มีรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารจริงปี 2557 คือ 815,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารจริงปี 2558 คือ 764,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากการจำลอง คือ 1,133,324 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หากคิดที่การใช้งาน 70% คือ 793,327 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

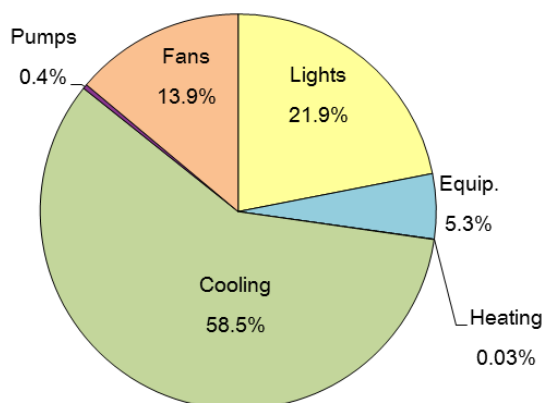
เมื่อนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากการจำลองเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าในปี พ.ศ.2558 พบว่าค่าจากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าการใช้พลังงานจริงในปี พ.ศ.2558 โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.7 % ดังแผนภูมิที่ 4.9



แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมระหว่างใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริง และอาคารอ้างอิงจากโปรแกรม VisualDOE 4.1 ของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

มีสัดส่วนการใช้พลังงาน ดังแผนภูมิที่ 4.10 โดยระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดคือ 58.5% รองลงมาคือระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 21.9 % และระบบอื่น ๆ รวม 19.6 %

กรณีศึกษาที่ 2 : Total Electricity Energy (kWh/yr)



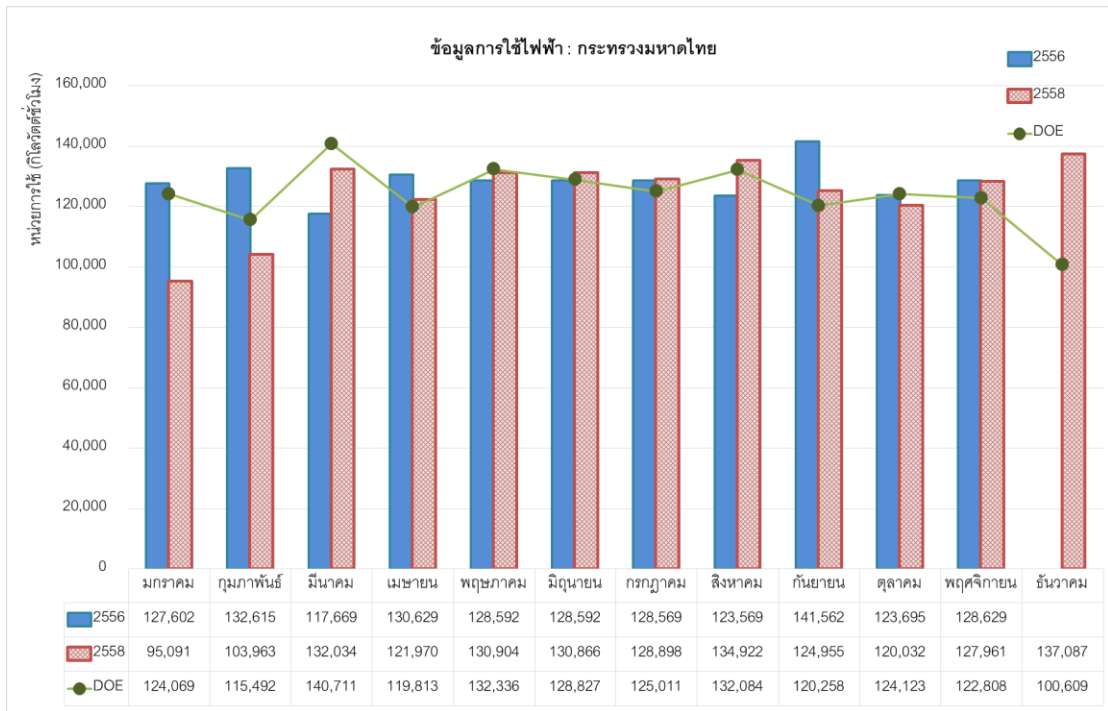
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาที่ 2 จากการจำลอง

กรณีศึกษาที่ 3 : อาคารกระทรวงมหาดไทย

มีรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารจริงปี 2556 คือ 1,411,723 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (ไม่รวมเดือนธันวาคมเนื่องจากปิดการใช้งานอาคาร)
- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารจริงปี 2557 มีข้อมูลไม่ครบเนื่องจากปิดการใช้งานอาคาร
- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารจริงปี 2558 คือ 1,488,683 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
- ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากการจำลอง คือ 1,486,141 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

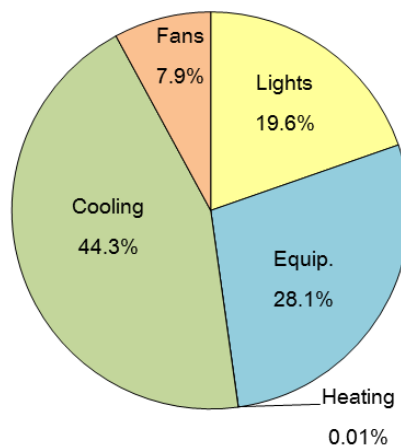
เมื่อนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากการจำลองเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าในปี พ.ศ.2558 พบว่าค่าจากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าการใช้พลังงานจริงในปี พ.ศ.2558 โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.17 % ดังแผนภูมิที่ 4.11



แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมระหว่างไบโเสรีค่าไฟฟ้าจริง และอาคาร อ้างอิงจากโปรแกรม VisualDOE 4.1 ของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

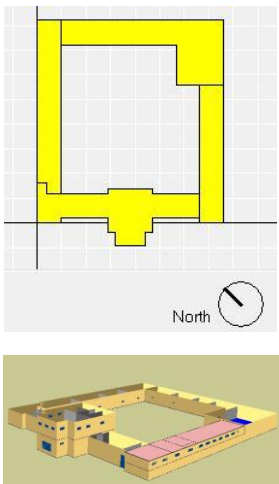
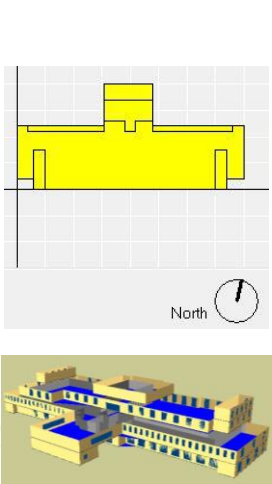
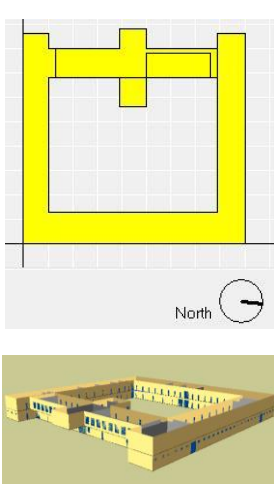
มีสัดส่วนการใช้พลังงานดังแผนภูมิที่ 4.12 โดยระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดคือ 44.3% รองลงมาคือระบบอุปกรณ์อาคาร 28.1 % ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 19.6 % และระบบอื่นๆ อีกรวม 8 %

อาคารกรณีมหาวิทยาลัย
กรณีศึกษาที่ 3 : Total Electricity Energy (kWh/yr)



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาที่ 3 จากการจำลอง โดยมีผลสรุปของทั้ง 3 อาคารกรณีศึกษา ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

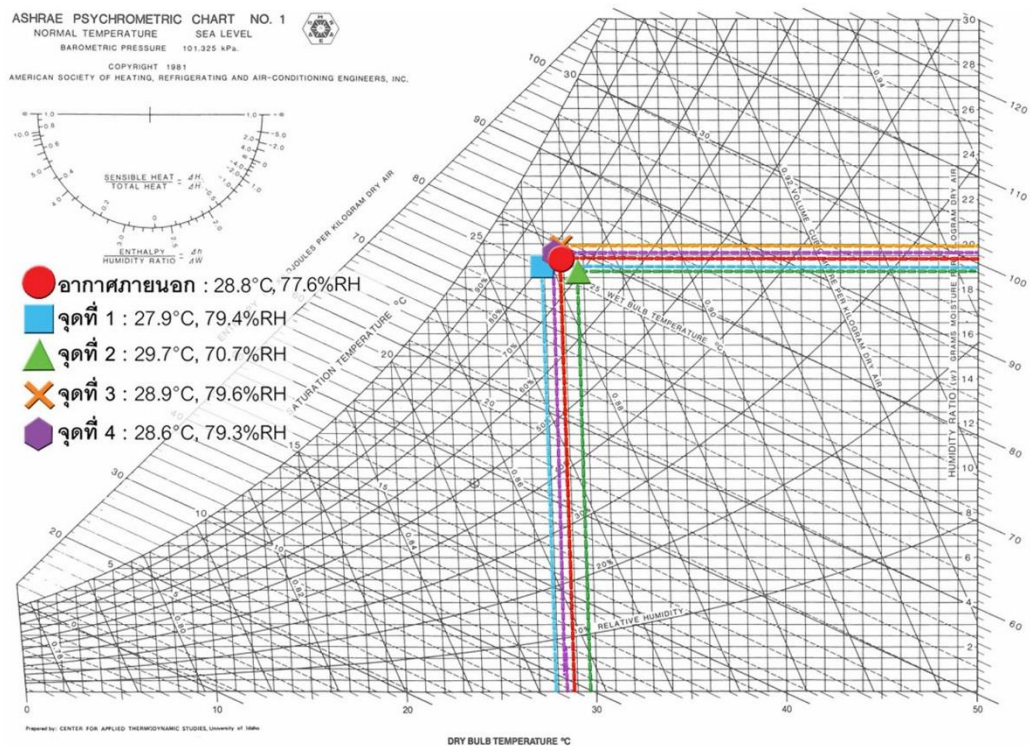
Detail	case 1	case 2	case 3
			
Front Azimuth (องศา)	228.00	168.00	83.00
พื้นที่อาคารรวม (m ²)	3,989.00	5,590.00	9,059.00
พื้นที่ส่วนปรับอากาศ (m ²)	3,252.00	5,035.50	6,763.00
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	81.52	90.08	74.66
พื้นที่ผนังทั้งหมด (m ²)	3,676.47	2,436.46	7,250.00
พื้นที่ส่วนช่องเปิด (m ²)	125.00	441.00	696.00
ค่า WWR (%)	3.40	18.10	9.60
Bill (2558)			
Total Electricity Energy (kWh/yr)	412,000	764,000.00 (คิดพื้นที่ใช้งาน 70 %)	1,488,683
EUI (kWh/m ² . yr)	103.28	246.45	164.33
Simulation			
Total Electricity Energy (kWh/yr)	420,881	1,183,935	1,482,315
EUI (kWh/m ² . yr)	105.51	223.98	163.63

4.5.2 การเปรียบเทียบด้านสภาพอากาศภายในอาคาร

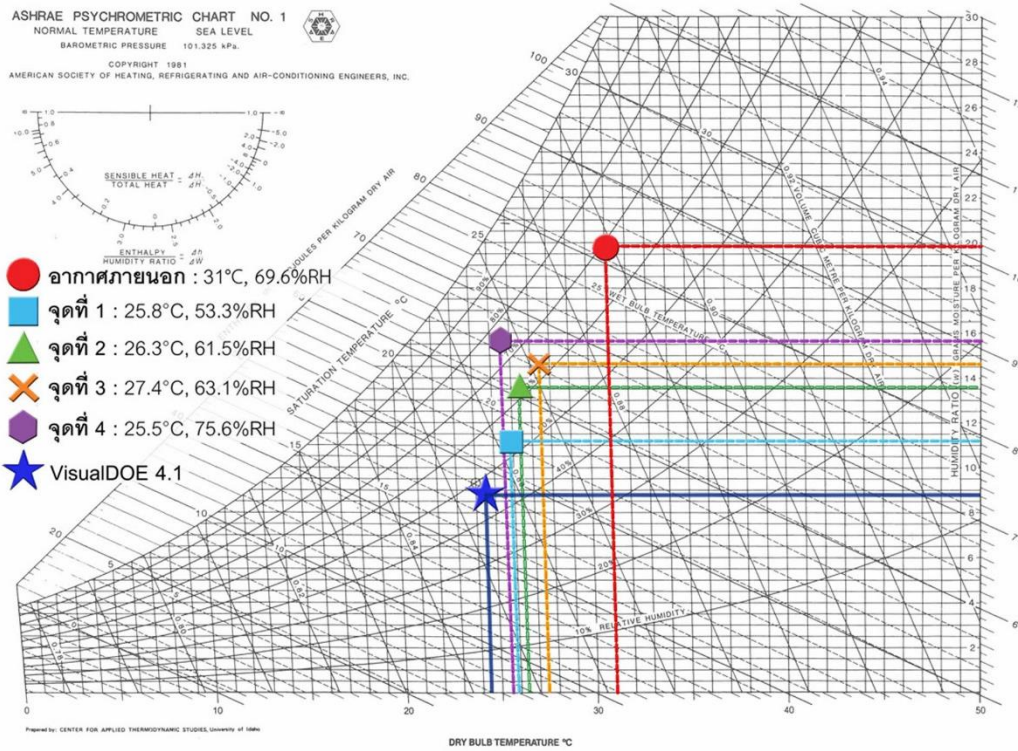
เพื่อวิเคราะห์สภาพอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร จึงนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในช่วงเวลาก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศคือ เวลา 9.00 น. ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 และเวลา 8.00 น. ในกรณีศึกษาที่ 3 และค่าที่วัดได้ภายหลังจากเปิดเครื่องปรับอากาศคือเวลา 12.00 น. จากการติดตั้งเครื่องมือมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองอาคารกรณีศึกษา

จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.1 ด้วยแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) ได้ผล ดังภาพที่ 4.29 ถึงภาพที่ 4.34 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทิศทางความแตกต่างระหว่างสภาพอากาศภายในและสภาพอากาศภายนอกก่อนและหลังเปิดเครื่องปรับอากาศนั้นมีความแตกต่างกัน ทั้ง 3 อาคาร โดยกรณีศึกษาที่ 1 ช่วงเวลาก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศนั้นภายในมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกับภายนอกมากและมีห้องจัดแสดงนิทรรศการถึง 3 ห้องที่มีความชื้นภายในอาคารสูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก

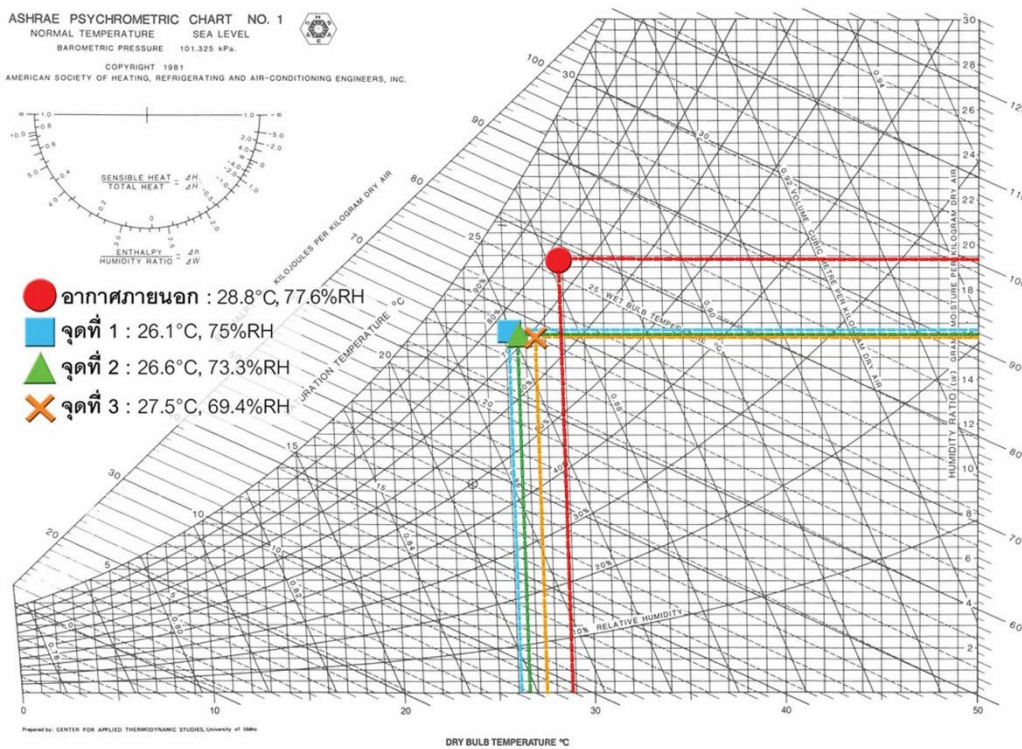
ส่วนภายหลังจากเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลา 12.00 น. นั้น ผลจากการจำลองพบว่าระบบปรับอากาศทั้ง 3 อาคารสามารถควบคุมสภาพอากาศภายในโบราณสถานทั้ง 3 อาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบายได้ แต่ผลที่วัดได้จริงระบบปรับอากาศของทั้ง 3 อาคารกลับไม่สามารถควบคุมสภาพอากาศภายในห้องให้อยู่ในสภาวะน่าสบายได้ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศไม่สามารถดึงความชื้นออกจากอากาศเพื่อรักษาระดับความชื้นภายในห้องให้ได้ตามต้องการ โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 1 หอศิลป์เจ้าฟ้าถือได้ว่าเป็นอาคารที่มีช่วงเวลาอยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายน้อยที่สุด



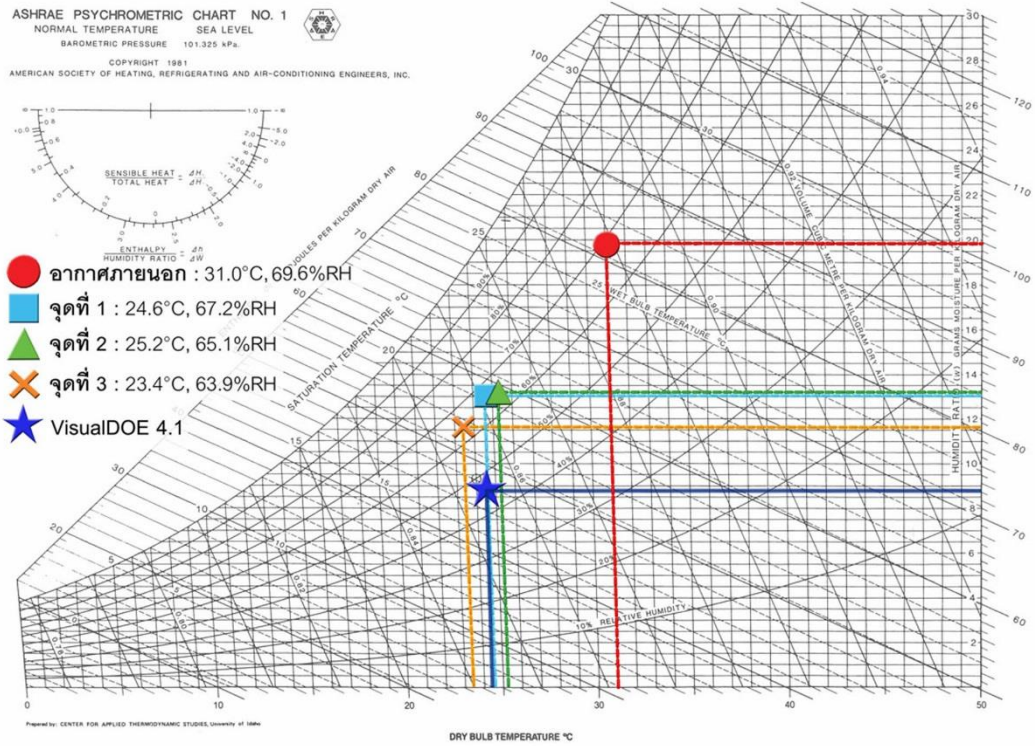
ภาพที่ 4.29 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 9.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 1



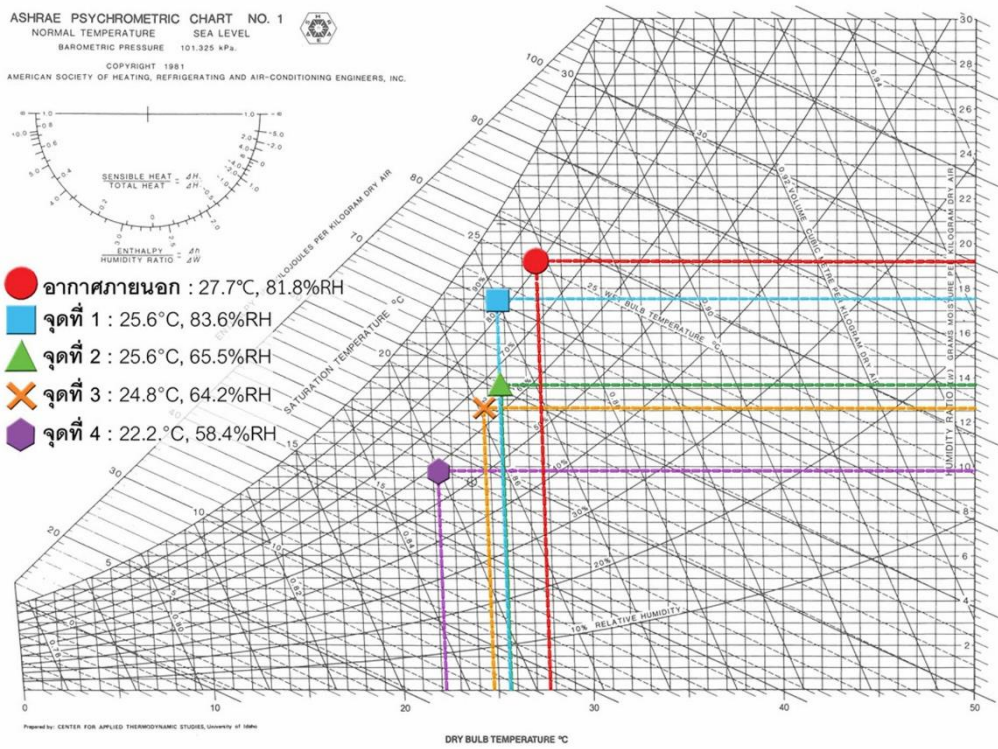
ภาพที่ 4.30 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 1



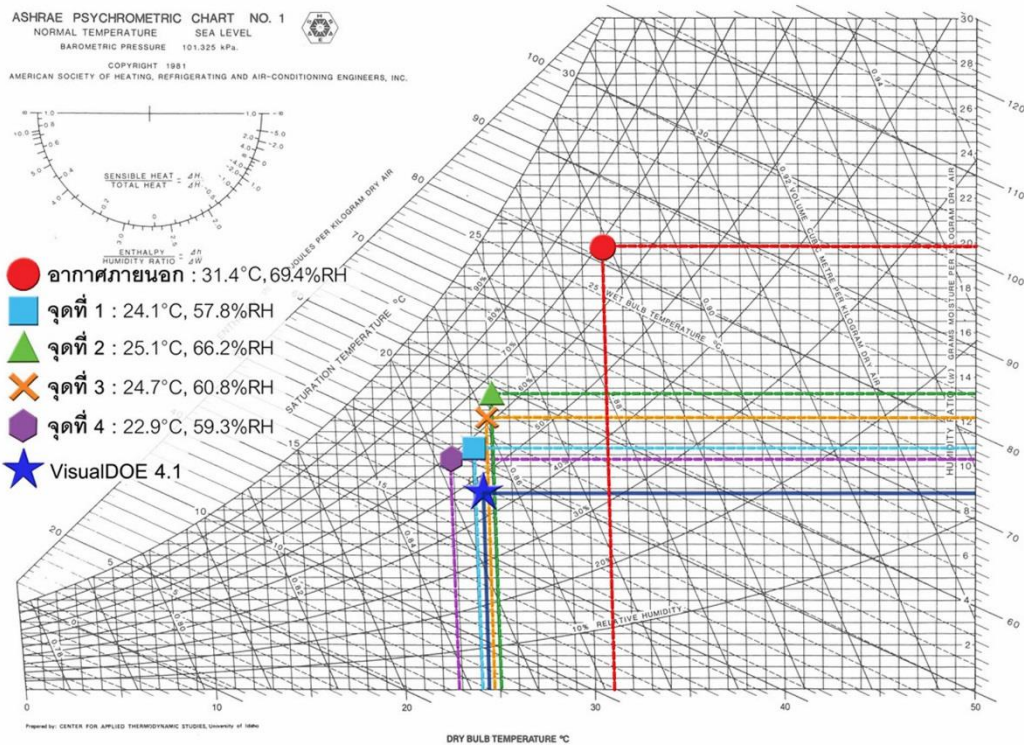
ภาพที่ 4.31 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 9.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 4.32 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 4.33 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 8.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 3



ภาพที่ 4.34 แผนภูมิไซโครเมตริกเวลา 12.00 น. ของกรณีศึกษาที่ 3

จากข้อมูลข้างต้นเห็นได้ชัดว่าโบราณสถานทั้ง 3 อาคารมีปัญหาในเรื่องความชื้นซึ่งจากการศึกษาของ ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัษฐิติ (2552) ที่ได้ระบุสาเหตุการเสื่อมสภาพของโบราณสถานไว้ว่าอาคารเก่าที่เป็นอาคารก่ออิฐฉาบปูนนั้น มักประสบปัญหาในเรื่องความชื้นจากดิน (Rising damp) ซึ่งผนังอาคารที่เป็นผนังรับน้ำหนักที่สัมผัสกับดินโดยตรงนั้นอาจเป็นสาเหตุหนึ่งในการนำความชื้นจากดินมาสู่บริเวณพื้นที่ใช้งานด้านบน ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้นี้ยังไม่สามารถระบุได้ว่าความชื้นจากดินนี้เป็นสาเหตุหลักหรือไม่ เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นอีก ยกตัวอย่างเช่น น้ำฝน การรั่วซึมของอากาศภายนอกจากการเปิดประตูอาคารทิ้งไว้ หรือจากช่องว่างระหว่างผนังก่ออิฐและวงกบช่องเปิดตึกใจ บุรณสมภพ (2539) ได้ระบุไว้ว่าเขตความสบายของมนุษย์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมทั้งหมดสี่ประการ คือ อุณหภูมิของอากาศ การเคลื่อนไหวของลม ความชื้น และการแผ่รังสี ขอบเขตของสภาวะน่าสบาย (Comfort zone) อาจแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะภูมิอากาศ สภาพแวดล้อมและความเคยชินที่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิของอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดและความชื้นหรือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญรองลงมา อุณหภูมิและความชื้นภายในพื้นที่ใช้งานที่สูงมากย่อมส่งผลโดยตรงต่อผู้ใช้งาน และก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายรวมทั้งส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้งานอาคารด้วย เพราะเชื้อโรคต่างๆ ส่วนใหญ่อาศัยอุณหภูมิและความชื้นสูงในการแพร่ขยายพันธุ์ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิและ

ความชื้น นอกจากจะทำให้มีอาคารมีสภาพอากาศภายในที่เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว ยังสามารถควบคุมหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และช่วยลดความเสียหายแก่วัสดุภายในอาคารอีกด้วย รวมทั้งช่วยยืดอายุโบราณสถานให้ยืนยาวต่อไปด้วย



บทที่ 5

แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

5.1 กำหนดขอบเขตแนวทางการปรับปรุง

การวิจัยในครั้งนี้กำหนดขอบเขตการปรับปรุงที่ระบบเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร คือ ผนังทึบ ส่วนช่องเปิด (ผนังโปร่งแสง) และส่วนหลังคา โดยต้องเป็นวิธีที่ไม่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของอาคารที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ และการเพิ่มการใช้งานระบบควบคุมความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศเทียบกับอาคารอ้างอิง ทั้งนี้การวิจัยไม่ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ในสถานการณ์จริง คือ สภาพแวดล้อมโดยรอบ อาคารข้างเคียง รวมทั้งภูมิสถาปัตยกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 วัสดุกรอบอาคารส่วนผนังทึบ

1. วัสดุก่อผนัง

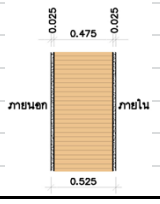
วัสดุก่อผนังเดิมของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร เป็นลักษณะของมวลอุดรภาพซึ่งมีความหนามาก และไม่สามารถกระทำการใดกับวัสดุก่อเดิมได้ โดยมีรายละเอียดความหนาผนังแต่ละอาคารดังนี้

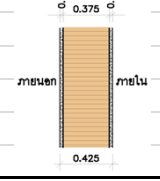
กรณีศึกษาที่ 1

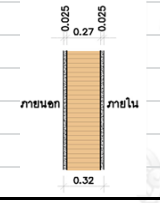
จากการเข้าสำรวจอาคารจริงและจากแบบสถาปัตยกรรมพบว่าความหนาของผนังชั้น 1 อยู่ที่ 52.5 ซม. และความหนาของผนังชั้น 2 อยู่ที่ 37.5 ซม. แต่เนื่องจากผนังภายนอกในบางส่วนบริเวณช่องเปิดอาคารเป็นบานไม้ทึบ ดังนั้นผนังด้านที่มีช่องเปิดเป็นประตูและหน้าต่างบานไม้ทึบจึงนำความหนาของผนังก่ออิฐและช่องเปิดมาคำนวณร่วมกัน ได้รายละเอียดความหนาส่วนผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 ดังตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 1

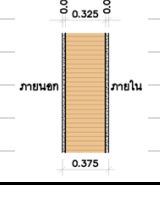
ชั้น 1 ผนังที่หนา 52.5, 42.5 และ 32 ซม.

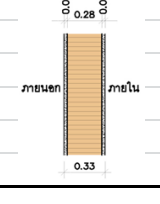
ผนังที่หนา 52.5 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบาไม่ฉาบ	0.473	0.4750	1.004
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	0.808

ผนังที่หนา 42.5 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบาไม่ฉาบ	0.473	0.3750	0.793
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	0.974


ผนังที่หนา 32 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบาไม่ฉาบ	0.473	0.2700	0.571
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	1.243

ชั้น 2 ผนังที่หนา 37.5, 33 และ 23 ซม.

ผนังที่หนา 37.5 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบาไม่ฉาบ	0.473	0.3250	0.687
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	1.086

ผนังที่หนา 33 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบาไม่ฉาบ	0.473	0.2800	0.592
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	1.212

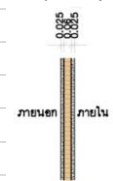
ตารางที่ 5.2 รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

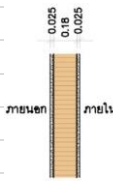
ผนังทึบหนา 23 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลฉนวน	0.473	0.1800	0.381
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
				R Total	0.614
				U (W / (m ² · °C))	1.629

กรณีศึกษาที่ 2

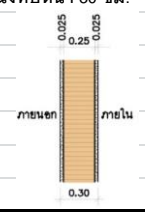
จากการเข้าสำรวจอาคารจริงและจากแบบสถาปัตยกรรมพบว่าความหนาของผนังอาคารทั้ง 4 ชั้นอยู่ที่ 60 ซม. 30 ซม. และ 11 ซม. บริเวณชั้น 1 ส่วนต่อเติมใหม่เพื่อใช้งานเป็นห้องเครื่อง แต่เนื่องจากผนังภายนอกในบางส่วนบริเวณช่องเปิดอาคารเป็นบานไม้ทึบ ดังนั้นผนังด้านที่มีช่องเปิดเป็นประตูและหน้าต่างบานไม้ทึบจึงนำความหนาของผนังก่ออิฐคือ 60 ซม. 30 ซม. และส่วนช่องเปิดมาคำนวณร่วมกัน ได้รายละเอียดความหนาส่วนผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาที่ 2 ดังตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4

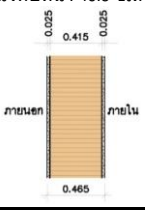
ตารางที่ 5.3 รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 2

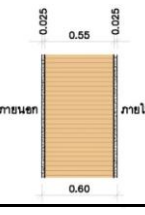
ผนังทึบหนา 11 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลฉนวน	0.473	0.0600	0.127
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
				R Total	0.360
				U (W / (m ² · °C))	2.776

ผนังทึบหนา 23 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลฉนวน	0.473	0.1800	0.381
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
				R Total	0.614
				U (W / (m ² · °C))	1.629

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 2 (ต่อ)

ผนังทึบหนา 30 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลฉนวน	0.473	0.2500	0.529
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	1.312

ผนังทึบหนา 46.5 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลฉนวน	0.473	0.4150	0.877
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	0.900

ผนังทึบหนา 60 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลฉนวน	0.473	0.5500	1.163
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	0.716

กรณีศึกษาที่ 3

จากการเข้าสำรวจอาคารจริงและจากแบบสถาปัตยกรรมพบว่าความหนาของผนังชั้น 1 อยู่ที่ 52 ซม. และความหนาของผนังชั้น 2 อยู่ที่ 35 ซม. แต่เนื่องจากผนังภายนอกในบางส่วนบริเวณช่องเปิดอาคารเป็นบานไม้ทึบ ดังนั้นผนังด้านที่มีช่องเปิดเป็นประตูและหน้าต่างบานไม้ทึบจึงนำความหนาของผนังก่ออิฐและช่องเปิดมาคำนวณร่วมกัน ได้รายละเอียดความหนาส่วนผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 รายละเอียดผนังที่อาคารกรณีศึกษาที่ 3
ชั้น 1 ผนังที่หนา 52, 40 ซม.

ผนังที่หนา 52 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบา	0.473	0.4700	0.994
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	0.815

ผนังที่หนา 40 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบา	0.473	0.3500	0.740
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	1.027

ชั้น 2 ผนังที่หนา 35, 25.5 ซม.

ผนังที่หนา 35 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบา	0.473	0.3000	0.634
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	1.152

ผนังที่หนา 25.5 ซม.		Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	-	-	0.044
	R 1	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R 2	อิฐมวลเบา	0.473	0.2050	0.433
	R 3	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.720	0.0250	0.035
	R in	ฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	-	-	0.120
					R Total
				U (W / (m ² · °C))	1.500

2. ฉนวนกันความร้อน

จากการศึกษาของ สฤกกา พงษ์สุวรรณ (2552) พบว่าปัจจัยสำคัญของฉนวนกันความร้อนที่ส่งผลต่อการลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้แก่ (1) ค่าการต้านทานความร้อน หรือค่าการนำความร้อน (2) ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน และ (3) มวลอุณหภาพ (Thermal mass) โดยสรุปว่า หลังคา ผนัง และพื้นอาคารคือองค์ประกอบของเปลือกอาคารที่จำเป็นต้องใช้ฉนวนกันความร้อน สำหรับเรื่องชนิดของฉนวนกันความร้อนที่จะเลือกใช้กับอาคารนั้น อภิขญา อธิคมบัณฑิตกุล และ อรรถน์ เศรษฐบุตร (2556) ได้สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนที่ไว้ว่าขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้งานอาคารในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากภาระการทำความเย็นมีส่วนทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด ซึ่งหากมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่ควรใช้ฉนวนใยแก้วเพื่อหน่วงความร้อนไว้ไม่ให้เข้ามาเป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศมากนัก ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 16 kg/m^3 ที่ความหนา 1 นิ้ว และ 2 นิ้ว ติดตั้งบริเวณผนังด้านในอาคาร

3. วัสดุกรุผนังด้านใน

เพื่อเก็บความเรียบร้อยของผนังด้านในอาคารภายหลังจากการใส่ฉนวนกันความร้อน โดยงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ แผ่นยิปซัมบอร์ดความหนา 9 มม.

เมื่อนำวัสดุต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันได้ทางเลือกสำหรับการปรับปรุงผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 ดังตารางที่ 5.6 และตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.6 แนวทางการปรับปรุงผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

Material	R (m ² · °C) / W	U (W / (m ² · °C))
กรณีศึกษาที่ 1		
ผนังทึบหนา 52.5 ซม. ของเดิม	1.238	0.808
ผนังหนา 52.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.893	0.528
ผนังหนา 52.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.551	0.392
ผนังทึบหนา 42.5 ซม. ของเดิม	1.026	0.974
ผนังหนา 42.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.681	0.595
ผนังหนา 42.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.339	0.427
ผนังทึบหนา 32 ซม. ของเดิม	0.804	1.243
ผนังหนา 32 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.459	0.685
ผนังหนา 32 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.117	0.472
ผนังทึบหนา 37.5 ซม. ของเดิม	0.921	1.086
ผนังหนา 37.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.576	0.635
ผนังหนา 37.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.234	0.448
ผนังทึบหนา 33 ซม. ของเดิม	0.825	1.212
ผนังหนา 33 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.480	0.675
ผนังหนา 33 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.138	0.468
ผนังทึบหนา 23 ซม. ของเดิม	0.614	1.629
ผนังหนา 23 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.269	0.788
ผนังหนา 23 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	1.927	0.519

Material	R (m ² · °C) / W	U (W / (m ² · °C))
กรณีศึกษาที่ 2		
ผนังทึบหนา 11 ซม. ของเดิม	0.360	2.776
ผนังหนา 11 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.015	0.985
ผนังหนา 11 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	1.673	0.598
ผนังทึบหนา 23 ซม. ของเดิม	0.614	1.629
ผนังหนา 23 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.269	0.788
ผนังหนา 23 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	1.927	0.519
ผนังทึบหนา 30 ซม. ของเดิม	0.762	1.312
ผนังหนา 30 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.417	0.706
ผนังหนา 30 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.075	0.482
ผนังทึบหนา 46.5 ซม. ของเดิม	1.111	0.900
ผนังหนา 46.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.766	0.566
ผนังหนา 46.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.424	0.413
ผนังทึบหนา 60 ซม. ของเดิม	1.396	0.716
ผนังหนา 60 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	2.051	0.487
ผนังหนา 60 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.709	0.369

ตารางที่ 5.7 แนวทางการปรับปรุงผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3 (ต่อ)

Material	R ($m^2 \cdot ^\circ C$) / W	U (W / ($m^2 \cdot ^\circ C$))
กรณีศึกษาที่ 3		
ผนังทึบหนา 52 ซม. ของเดิม	1.227	0.815
ผนังหนา 52 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.882	0.531
ผนังหนา 52 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.540	0.394
ผนังทึบหนา 40 ซม. ของเดิม	0.973	1.027
ผนังหนา 40 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.628	0.614
ผนังหนา 40 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.286	0.437
ผนังทึบหนา 35 ซม. ของเดิม	0.868	1.152
ผนังหนา 35 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.523	0.657
ผนังหนา 35 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.181	0.459
ผนังทึบหนา 25.5 ซม. ของเดิม	0.667	1.500
ผนังหนา 25.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.322	0.756
ผนังหนา 25.5 ซม. ของเดิม + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	1.980	0.505

5.1.2 วัสดุกรอบอาคารช่องแสง (ประตูและหน้าต่าง)

ในส่วนการปรับปรุงส่วนช่องเปิดนั้น สุรพล เดชพล (2552) ได้กล่าวไว้ว่ากระจกเป็นส่วนที่รับความร้อนเข้าสู่อาคารมากที่สุด เนื่องจากความร้อนสามารถผ่านทะลุเข้าสู่อาคารได้พร้อมๆกับแสงสว่าง ดังนั้นในการเลือกใช้กระจกจึงควรเลือกกระจกที่มีค่าการนำรังสีความร้อน (U-Value) เข้าสู่อาคารที่น้อยที่สุด แต่สำหรับกระจกที่ดีนั้นนอกจากจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ดีแล้ว ยังต้องมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาเพื่อการส่องสว่างภายในอาคารด้วย ดังนั้นในการเลือกใช้กระจกควรจะต้องประเมินจุดที่เหมาะสมระหว่างการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และค่าการรับแสงสว่างธรรมชาติ โดยมีรายละเอียดแต่ละอาคารดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1

ในปัจจุบันที่ใช้งานอาคารเป็นพิพิธภัณฑ์นั้นช่องเปิดอาคารทั้งชั้น 1 และชั้น 2 เป็นบานกรอบไม้ลูกฟักไม้ทึบเกือบทั้งหมด คงเหลือแต่ช่องแสงเหนือบานประตูที่เป็นลูกฟักกระจกใสหนา 6 มม. ประมาณ 1 บานต่อ 1 ห้องจัดแสดงนิทรรศการเท่านั้น ช่องเปิดใช้กระจกใสหนา 6 มม. ทำให้อาคารมีค่า อัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) เพียง 3.4 %เท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงไม่ปรับปรุงเกี่ยวกับช่องเปิดอาคาร

กรณีศึกษาที่ 2

ช่องเปิดอาคารเป็นลูกฟูกกระจกใสหนา 6 มม. ทั้งหมด และมีค่า WWR เท่ากับ 18.1 % ดังนั้นจึงศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการปรับปรุงช่องเปิดโดยการเปลี่ยนกระจก และจากการศึกษาของ ลลิตา บุญมี (2555) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับแนวคิด และทฤษฎีในการอนุรักษ์สถาปัตยกรรมได้สรุปไว้ว่า การรักษารูปแบบสถาปัตยกรรมภายนอกเป็นสิ่งที่สำคัญมากที่สุด ดังนั้นชนิดกระจกที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกอาคาร ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มกระจกสีและกระจกสะท้อนแสงจึงไม่นำมาพิจารณา เมื่อพิจารณาคุณสมบัติแล้วจึงเลือกกระจกหนวกันความร้อนใสเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (กระจกใส 6 มม. เคลือบ Low-E + AS 12 มม. เต็มก๊าชอาร์ทอน + กระจกใส 6 มม.) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value) = $1.54 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
- ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (Shading coefficient : SC) = 0.61
- ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible Light Transmittance : VT) = 0.73
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient : SHGC) = 0.53

กรณีศึกษาที่ 3

หน้าต่างเดิมโดยรอบอาคารชั้น 1 เป็นลูกฟูกไม้ มีช่องแสงกระจกใสหนา 6 มม. ด้านบนทั้งหมด ส่วนหน้าต่างชั้น 2 เป็นหน้าต่างลูกฟูกไม้ ช่องแสงเป็นบานเกล็ดไม้ ด้านหน้าอาคารติดตั้งหน้าต่างบานอลูมิเนียมลูกฟูกกระจกสีชา อาคารมีค่า อัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) เพียง 9.6 % เท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงไม่ปรับปรุงเกี่ยวกับช่องเปิดอาคาร

5.1.3 วัสดุฝ้าเพดาน

1. วัสดุหลังคาและฝ้าเพดาน

มีรายละเอียดแต่ละอาคารดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1

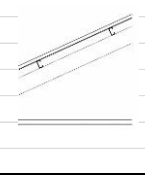
มีวัสดุหลังคา 2 ประเภท คือ

- โครงหลังคาไม้ กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด
- หลังคาเหล็กกรีดลอน (Metal sheet) ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด

รายละเอียด ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 รายละเอียดหลังคาของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

	Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	-	-	0.044
	R 1	0.395	0.0060	0.015
	R 2	-	-	0.430
	R 3	-	-	0.458
	R 4	0.282	0.0090	0.032
	R in	-	-	0.120
			R Total	1.099
			U (W / (m ² · °C))	0.910

	Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	-	-	0.044
	R 1	47.600	0.0040	0.000084
	R 2	0.029	0.0050	0.350
	R 3	-	-	0.350
	R 4	-	-	1.356
	R 5	0.282	0.0090	0.032
R in	-	-	0.120	
			R Total	2.251999
			U (W / (m ² · °C))	0.444

กรณีศึกษาที่ 2


มีวัสดุหลังคา 2 ประเภท คือ

- โครงหลังคาไม้ กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด
- หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด

รายละเอียด ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 รายละเอียดหลังคาของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

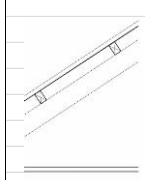
	Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	-	-	0.044
	R 1	0.395	0.0060	0.015
	R 2	-	-	0.430
	R 3	-	-	0.458
	R 4	0.282	0.0090	0.032
	R in	-	-	0.120
			R Total	1.099
			U (W / (m ² · °C))	0.910

	Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	-	-	0.044
	R 1	1.442	0.1200	0.083
	R 2	-	-	0.458
	R 3	0.282	0.0090	0.032
	R in	-	-	0.120
			R Total	0.737
			U (W / (m ² · °C))	1.357

กรณีศึกษาที่ 3

มีวัสดุหลังคา 1 ประเภท คือ โครงหลังคาไม้ กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ ฝ้า เพดานยิปซัมบอร์ด รายละเอียด ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 รายละเอียดหลังคาของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

	Material	K (W / (m · °C))	ความหนา (m.)	R (m ² · °C) / W
	R out	-	-	0.044
	R 1	0.395	0.0060	0.015
	R 2	-	-	0.430
	R 3	-	-	0.458
	R 4	0.282	0.0090	0.032
	R in	-	-	0.120
			R Total	1.099
			U (W / (m ² · °C))	0.910

2. คำนวณกันความร้อน

จากการศึกษาของ กวิน วิฑูรพงศ์ (2556) ที่ได้ระบุว่าอาคารที่ใช้งานในเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่เหมาะสมกับการใช้คำนวณกันความร้อนที่หลังคา ดังนั้นการศึกษาค้างนี้จึงเลือกใช้ ผนังเยแก้วความหนาแน่น 16 kg/m³ ที่ความหนา 1 นิ้ว, 2 นิ้ว และ 3 นิ้ว เมื่อนำวัสดุต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันได้ทางเลือกสำหรับการปรับปรุงผนังที่บของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 ดังตารางที่ 5.11 และ ตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.11 แนวทางการปรับปรุงฝ้าเพดานของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

Material	R (m ² · °C) / W	U (W / (m ² · °C))
กรณีศึกษาที่ 1		
หลังคาไม้		
ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. ของเดิม	<u>1.099</u>	<u>0.910</u>
ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. + ผนังเยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.757	0.569
ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. + ผนังเยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.415	0.414
ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. + ผนังเยแก้วหนา 3 นิ้ว	3.073	0.325
หลังคาเมทัลชีท		
ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. ของเดิม	<u>2.252</u>	<u>0.444</u>
ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. + ผนังเยแก้วหนา 1 นิ้ว	2.910	0.344
ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. + ผนังเยแก้วหนา 2 นิ้ว	3.568	0.280
ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. + ผนังเยแก้วหนา 3 นิ้ว	4.226	0.237

ตารางที่ 5.12 แนวทางการปรับปรุงฝ้าเพดานของอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3 (ต่อ)

Material	R ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$)	U ($\text{W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)
กรณีศึกษาที่ 2		
<u>หลังคาไม้</u>		
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. ของเดิม	1.099	0.910
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.757	0.569
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.415	0.414
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว	3.073	0.325
<u>หลังคา คสล.</u>		
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. ของเดิม	0.439	2.277
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.097	0.912
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	1.755	0.570
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว	2.413	0.414
กรณีศึกษาที่ 3		
<u>หลังคาไม้</u>		
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. ของเดิม	1.099	0.910
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว	1.757	0.569
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	2.415	0.414
ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. + ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว	3.073	0.325

5.1.4 ระบบแสงสว่างภายในอาคาร

ในปัจจุบันอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode : LED) สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์ในขณะที่ให้ปริมาณความสว่างที่เท่าๆกัน หลอด LED มีอายุการใช้งานหลอดที่ยาวนานถึง 50,000 ชั่วโมง และช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้การปรับปรุงระบบแสงสว่างภายในอาคารจะใช้วิธีการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมซึ่งทั้ง 3 อาคารกรณีศึกษาใช้งานอยู่ในปัจจุบันเป็นจำนวนมาก มีรายละเอียดแนวทางการปรับปรุงแต่ละอาคารกรณีศึกษาดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1

- เปลี่ยนหลอด LED ขนาด 20 วัตต์ ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม จำนวน 851 หลอด

- เปลี่ยนหลอด LED ขนาด 10 วัตต์ ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม
จำนวน 3 หลอด

กรณีศึกษาที่ 2

- เปลี่ยนหลอด LED ขนาด 20 วัตต์ ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม
จำนวน 230 หลอด
- เปลี่ยนหลอด LED ขนาด 10 วัตต์ ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม
จำนวน 37 หลอด
- เปลี่ยนหลอด LED ขนาด 7 วัตต์ ทดแทนหลอดฮาโลเจนเดิม
จำนวน 157 หลอด
- เปลี่ยนหลอด LED ขนาด 5 วัตต์ ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม
จำนวน 8 หลอด

กรณีศึกษาที่ 3

- เปลี่ยนหลอด LED ขนาด 20 วัตต์ ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม
จำนวน 974 หลอด
- เปลี่ยนหลอด LED ขนาด 10 วัตต์ ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม
จำนวน 27 หลอด

5.1.5 ระบบปรับอากาศภายในอาคาร

มีรายละเอียดแต่ละอาคารกรณีศึกษาดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1

สำหรับระบบปรับอากาศในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 นั้นใช้งานใน 2 ระบบ คือระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ กำลังการทำความเย็น 100 ตันจำนวน 2 เครื่องและระบบแยกส่วนในบริเวณห้องจัดนิทรรศการชั่วคราว ดังนั้นในการศึกษาคั้งนี้จึงแบ่งการปรับปรุงระบบปรับอากาศออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ
 - เพิ่มประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ
 - เปลี่ยนเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำทั้งหมด

2. เพิ่มค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio : EER) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

กรณีศึกษาที่ 2

ใช้งานใน 2 ระบบคือระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ กำลังการทำความเย็น 179.36 ตันจำนวน 1 เครื่องและกำลังการทำความเย็น 178.88 ตันจำนวน 1 เครื่อง และระบบแยกส่วนบริเวณบางพื้นที่ โดยเมื่อปี 2553 ได้ดำเนินการปรับปรุงระบบปรับอากาศโดยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศไปแล้ว ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จึงปรับปรุงระบบปรับอากาศทั้งหมด 2 ส่วนหลักคือ

1. เปลี่ยนระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ
2. เพิ่มค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio : EER) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

กรณีศึกษาที่ 3

ใช้ระบบแพ็คเกจยูนิตทั้งหมด กำลังการทำความเย็นรวมทั้งอาคารประมาณ 465 ตันความเย็น การศึกษารั้งนี้จึงปรับปรุงระบบปรับอากาศโดยการเปลี่ยนเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำทั้งหมด

5.1.6 สรุปรายละเอียดของแนวทางการปรับปรุง

มีรายละเอียดแต่ละอาคารกรณีศึกษาดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1

มีรายละเอียดแนวทางการปรับปรุง ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 1

องค์ประกอบอาคาร	แนวทางการเปลี่ยนวัสดุอาคารกรณีศึกษาที่ 1		
ผนังอาคาร	ปัจจุบัน	ชั้น 1 ผนังทึบหนา 52.5, 42.5 และ 32 ซม. ชั้น 2 ผนังทึบหนา 37.5, 33 และ 23 ซม.	
	แนวทางที่ 1	ชั้น 1 ผนังทึบหนา 52.5, 42.5 และ 32 ซม.	ฉนวนใยแก้วหนา 1"
		ชั้น 2 ผนังทึบหนา 37.5, 33 และ 23 ซม.	
	แนวทางที่ 2	ชั้น 1 ผนังทึบหนา 52.5, 42.5 และ 32 ซม.	ฉนวนใยแก้วหนา 2"
ชั้น 2 ผนังทึบหนา 37.5, 33 และ 23 ซม.			
ฝ้าเพดานชั้นหลังคา	ปัจจุบัน	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	
	แนวทางที่ 1	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 1"
	แนวทางที่ 2	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 2"
	แนวทางที่ 3	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 3"
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ปัจจุบัน	FLUORESCENT (WATT)	
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยนเป็น LED (WATT)	
ระบบปรับอากาศ	ปัจจุบัน	SPLIT+AIR COOLED	
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยน SPEC SPLIT TYPE	
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยน SPEC AIR COOLED	
	แนวทางที่ 3	เปลี่ยนเป็น WATER COOLED	

กรณีศึกษาที่ 2

มีรายละเอียดแนวทางการปรับปรุง ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 2

องค์ประกอบอาคาร	แนวทางการเปลี่ยนวัสดุอาคารกรณีศึกษาที่ 2		
ผนังอาคาร	ปัจจุบัน	ผนังทึบหนา 11, 23, 30, 46.5 และ 60 ซม.	
	แนวทางที่ 1	ผนังทึบหนา 11, 23, 30, 46.5 และ 60 ซม.	ฉนวนใยแก้วหนา 1"
	แนวทางที่ 2	ผนังทึบหนา 11, 23, 30, 46.5 และ 60 ซม.	ฉนวนใยแก้วหนา 2"
ช่องแสง	ปัจจุบัน	กระจกใส 6 มม.	
	แนวทางที่ 1	กระจก low e	
ฝ้าเพดานชั้นหลังคา	ปัจจุบัน	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	-
	แนวทางที่ 1	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 1"
	แนวทางที่ 2	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 2"
	แนวทางที่ 3	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 3"
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ปัจจุบัน	FLUORESCENT + HALOGEN (WATT)	
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยนเป็น LED (WATT)	
ระบบปรับอากาศ	ปัจจุบัน	SPLIT + AIR COOLED	
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยน SPEC SPLIT TYPE	
	แนวทางที่ 2	เปลี่ยนเป็น WATER COOLED	

กรณีศึกษาที่ 3

มีรายละเอียดแนวทางการปรับปรุง ดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 3

องค์ประกอบอาคาร	แนวทางการเปลี่ยนวัสดุอาคารกรณีศึกษาที่ 3		
ผนังอาคาร	ปัจจุบัน	ชั้น 1 ผนังทึบหนา 52, 40 ซม. ชั้น 2 ผนังทึบหนา 35,25.5 ซม.	
	แนวทางที่ 1	ชั้น 1 ผนังทึบหนา 52, 40 ซม. ชั้น 2 ผนังทึบหนา 35,25.5 ซม.	ฉนวนใยแก้วหนา 1"
	แนวทางที่ 2	ชั้น 1 ผนังทึบหนา 52, 40 ซม.	ฉนวนใยแก้วหนา 2"
		ชั้น 2 ผนังทึบหนา 35,25.5 ซม.	
ฝ้าเพดานชั้นหลังคา	ปัจจุบัน	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	-
	แนวทางที่ 1	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 1"
	แนวทางที่ 2	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 2"
	แนวทางที่ 3	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 3"
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ปัจจุบัน	FLUORESCENT (WATT)	
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยนเป็น LED (WATT)	
ระบบปรับอากาศ	ปัจจุบัน	AIR COOLED PACKAGE UNIT	
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยนเป็น WATER COOLED	

5.2 ผลการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา ที่ 1, 2 และ 3

นำอาคารอ้างอิงที่จำลองผ่านโปรแกรม VisualDOE 4.1 ที่ได้ปรับค่าต่างๆให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงแล้วเป็นอาคารมาตรฐาน แล้วจำลองแต่ละแนวทางที่คัดเลือกตามเกณฑ์ข้างต้นเพื่อเปรียบเทียบกัน ได้ผลการปรับปรุงโดยแยกตามแต่ละกรณีศึกษา ดังนี้

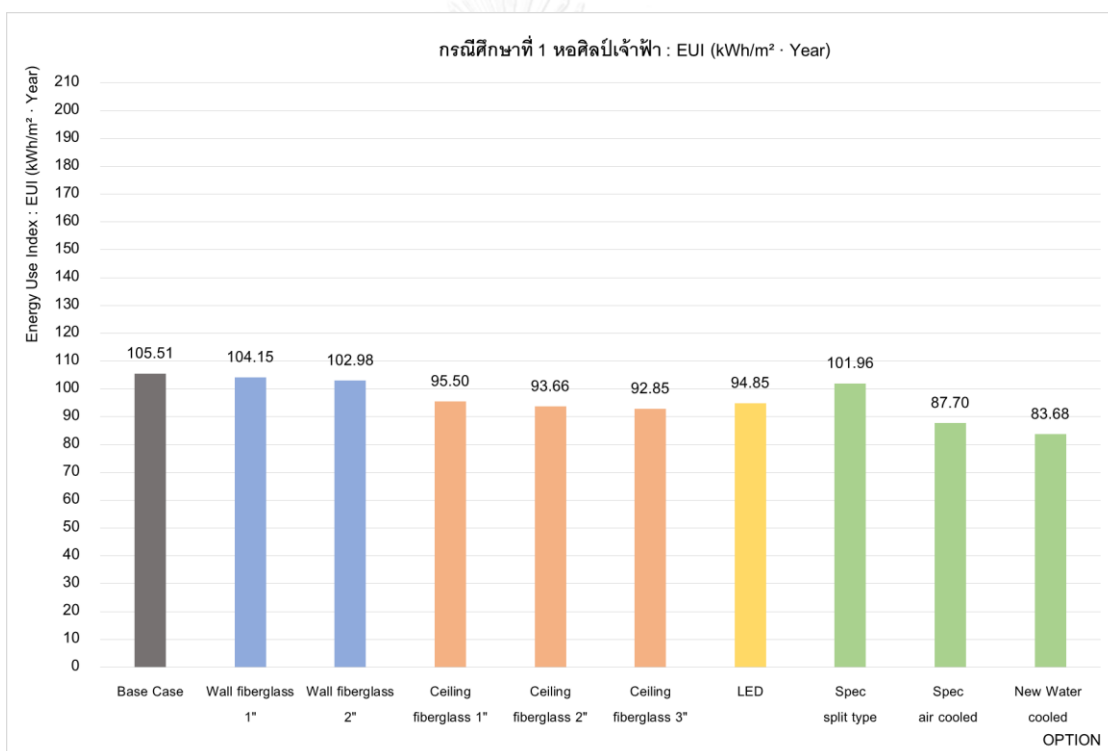
5.2.1 อาคารกรณีศึกษาที่ 1

ได้ผลการปรับปรุงโดยแยกตามหัวข้อดังนี้

1. การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{y}$) ในแต่ละแนวทาง
ได้ผลการปรับปรุง ดังตารางที่ 5.16 และ แผนภูมิที่ 5.1

ตารางที่ 5.16 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

No.	Alternative	Lights	Equip.	Heating	Cooling	Tower	Pumps	Fans	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Energy Use Index : EUI (kWh/m ² · Year)
-	Base Case	106,193	28,284	71	240,851	0	2,707	42,775	420,881	105.51
1	Wall fiberglass 1 inch	106,193	28,284	58	235,598	0	2,707	42,618	415,458	104.15
2	Wall fiberglass 2 inch	106,193	28,284	48	232,254	0	2,707	41,301	410,787	102.98
3	Ceiling fiberglass 1 inch	106,193	28,284	64	210,786	0	2,707	32,899	380,933	95.50
4	Ceiling fiberglass 2 inch	106,193	28,284	64	205,027	0	2,707	31,343	373,618	93.66
5	Ceiling fiberglass 3 inch	106,193	28,284	64	202,433	0	2,707	30,709	370,390	92.85
6	LED	75,701	28,284	80	230,543	0	2,707	41,061	378,376	94.85
7	Spec split type	106,193	28,284	71	226,698	0	2707	42,775	406,728	101.96
8	Spec air cooled	106,193	28,284	71	169,791	0	2,707	42,775	349,821	87.70
9	New Water cooled	106,193	28,284	71	147,988	5,665	2,807	42,775	333,783	83.68



แผนภูมิที่ 5.1 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

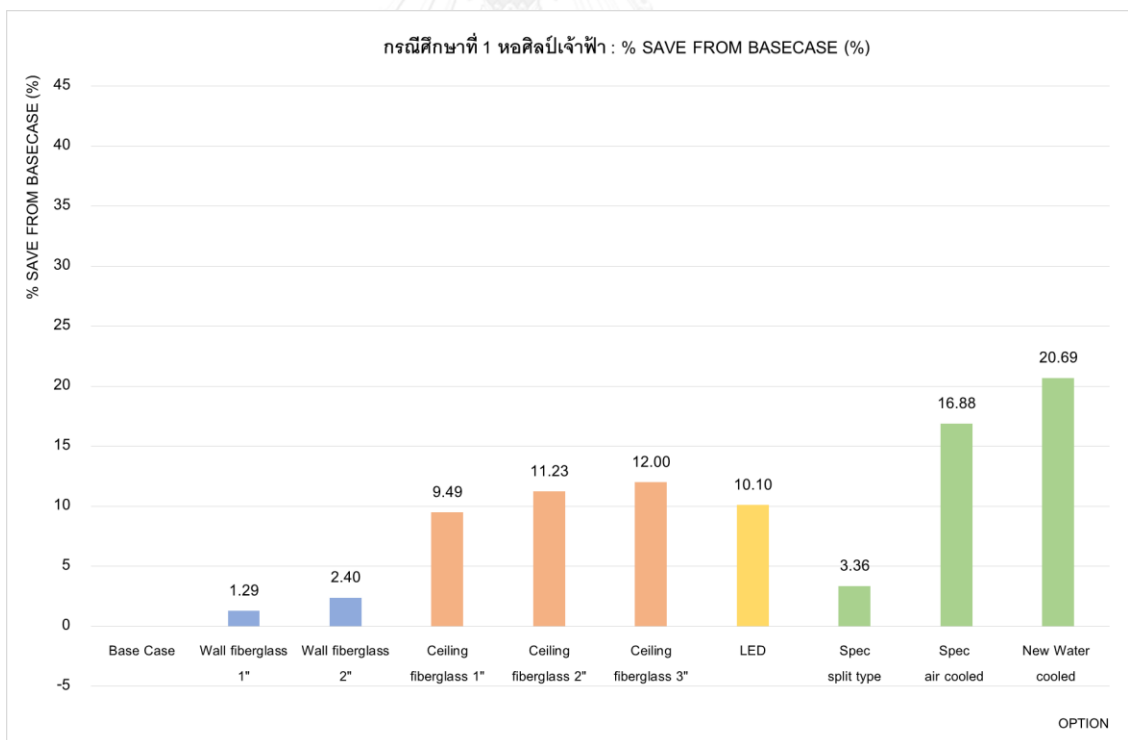
2. การเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%)

จากอาคารต้นแบบในแต่ละแนวทาง

เมื่อได้ผลการปรับปรุงตามค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแต่ละแนวทางการปรับปรุงแล้ว จึงนำผลที่ได้มาคำนวณอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เทียบกับอาคารอ้างอิง ได้ผลดังตารางที่ 5.17 และ แผนภูมิที่ 5.2

ตารางที่ 5.17 อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทาง
การปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

No.	Alternative	Energy Saving from Base Case (%)
-	Base Case	
1	Wall fiberglass 1 inch	1.29
2	Wall fiberglass 2 inch	2.40
3	Ceiling fiberglass 1 inch	9.49
4	Ceiling fiberglass 2 inch	11.23
5	Ceiling fiberglass 3 inch	12.00
6	LED	10.10
7	Spec split type	3.36
8	Spec air cooled	16.88
9	New Water cooled	20.69



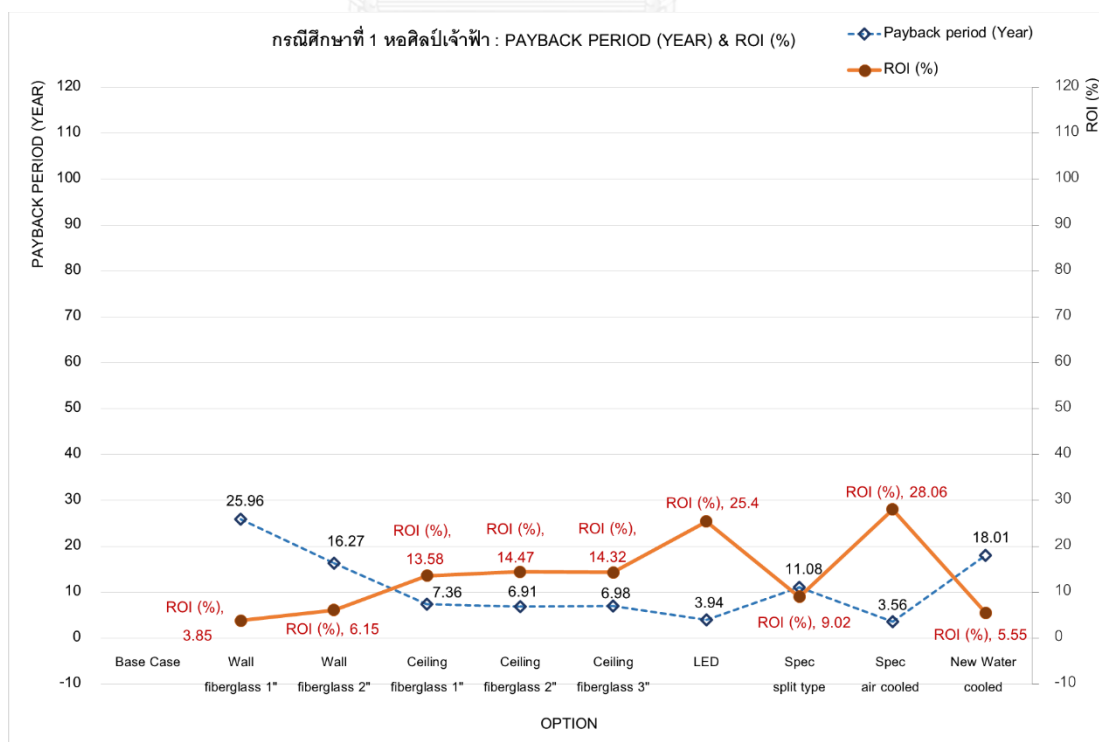
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทาง
การปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

3. การเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) และค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment: ROI) ในแต่ละแนวทาง

นำค่าที่ได้จากการจำลองผ่านโปรแกรม VisualDOE 4.1 มาคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) และค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) ในแต่ละแนวทาง โดยคิดค่าไฟฟ้าที่หน่วยละ 5.1 บาทอ้างอิงจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริงของอาคารกรณีศึกษา ได้ผลดังตารางที่ 5.18 และแผนภูมิที่ 5.3

ตารางที่ 5.18 PB และ ROI แต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

No.	Alternative	Initial cost (baht)	Saving (baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
-	Base Case				
1	Wall fiberglass 1 inch	717,865	27,657	25.96	3.85
2	Wall fiberglass 2 inch	837,608	51,479	16.27	6.15
3	Ceiling fiberglass 1 inch	1,499,722	203,735	7.36	13.58
4	Ceiling fiberglass 2 inch	1,665,712	241,041	6.91	14.47
5	Ceiling fiberglass 3 inch	1,797,618	257,504	6.98	14.32
6	LED	853,400	216,776	3.94	25.4
7	Spec split type	1,000,000	72,180	13.85	7.22
8	Spec air cooled	1,291,730	362,406	3.56	28.06
9	New Water cooled	8,000,000	444,200	18.01	5.55



แผนภูมิที่ 5.3 แสดง PB และ ROI ในแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

4. การพิจารณาแนวทางที่มีประสิทธิภาพร่วมกัน

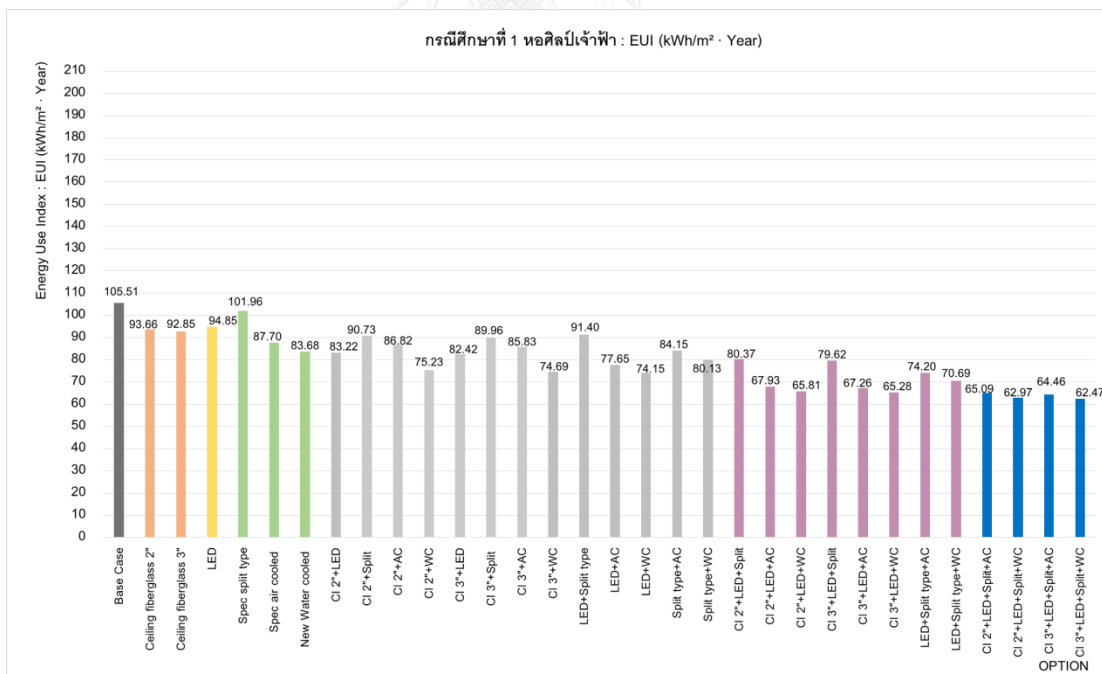
จากแผนภูมิข้างต้น เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานรวม อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ ร่วมกับระยะเวลาการคืนทุนและค่าผลตอบแทนจากการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมด 9 แนวทาง พบว่า แนวทางที่ 1 และ 2 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 1 และ 2 นิ้ว ที่บริเวณผนังภายในสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากอาคารมาตรฐานได้เพียงแค่ 1.29% และ 2.40% รวมทั้งมีระยะเวลาการคืนทุนที่ยาวนานคือ 25.96 และ 16.27 ปี สำหรับแนวทางที่ 3 การใส่ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานชั้นหลังคา มีระยะเวลาการคืนทุนที่ 7.36 ปี ในขณะที่สามารถประหยัดพลังงานได้น้อยกว่าแนวทางที่ 4 และ 5 คือการใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว กับ 3 นิ้ว ที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่น้อยกว่าคือ 6.91 และ 6.98 ปี ดังนั้นในการพิจารณาแนวทางการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพร่วมกันจึงตัดแนวทางที่ 1, 2 และ 3 ออก คงเหลือแนวทางที่มีประสิทธิภาพจำนวน 6 แนวทาง เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันจะได้แนวทางการปรับปรุงทั้งหมด 31 แนวทาง มีรายละเอียดดังตารางที่ 5.19 ถึงตารางที่ 5.20 และแผนภูมิที่ 5.4 ถึงแผนภูมิที่ 5.6

ตารางที่ 5.19 ผลที่ได้จากแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

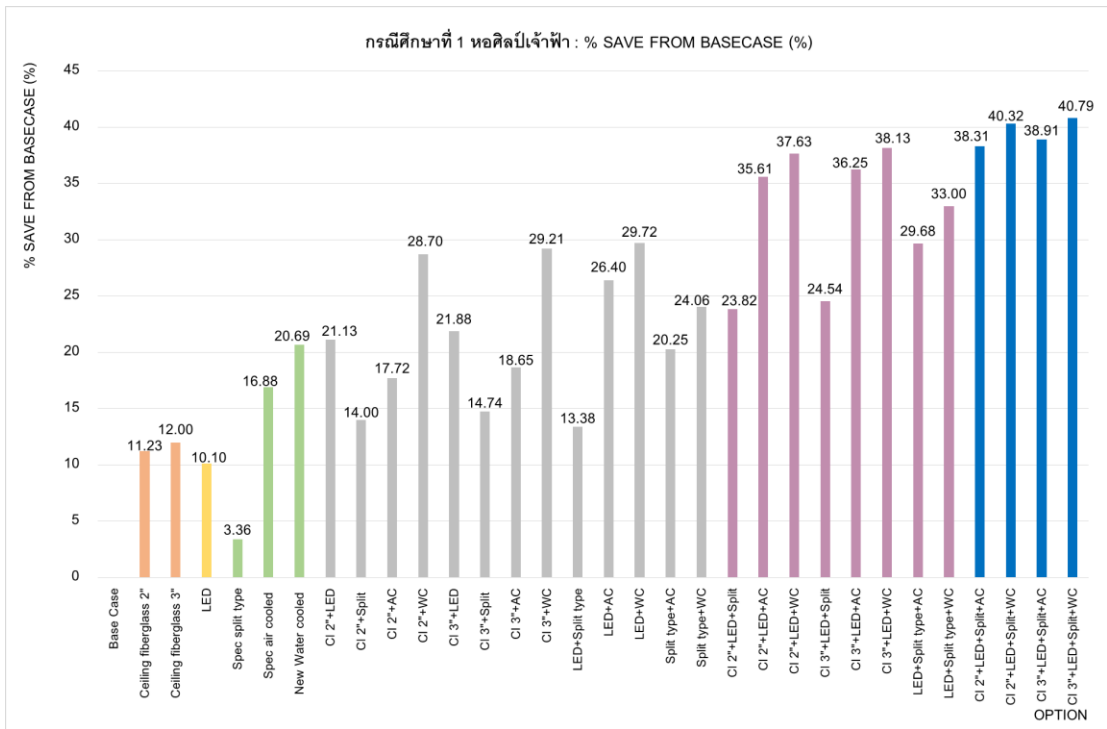
No.	Alternative	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Energy Use Index : EUI (kWh/m ² · Year)	Energy Saving from Base Case (%)	Initial cost (baht)	Saving (baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
-	Base Case	420,881	105.51					
1	Ceiling fiberglass 2"	373,618	93.66	11.23	1,665,712	241,041	6.91	14.47
2	Ceiling fiberglass 3"	370,390	92.85	12.00	1,797,618	257,504	6.98	14.32
3	LED	378,376	94.85	10.10	853,400	216,776	3.94	25.4
4	Spec split type	406,728	101.96	3.36	800,000	72,180	11.08	9.02
5	Spec air cooled	349,821	87.70	16.88	1,291,730	362,406	3.56	28.06
6	New Water cooled	333,783	83.68	20.69	8,000,000	444,200	18.01	5.55
7	CI 2"+LED	331,946	83.22	21.13	2,519,112	453,569	5.55	18.01
8	CI 2"+Split	361,940	90.73	14.00	2,465,712	300,599	8.20	12.19
9	CI 2"+AC	346,312	86.82	17.72	2,957,442	380,302	7.78	12.86
10	CI 2"+WC	300,103	75.23	28.70	9,665,712	615,968	15.69	6.37
11	CI 3"+LED	328,786	82.42	21.88	2,651,018	469,685	5.64	17.72
12	CI 3"+Split	358,848	89.96	14.74	2,597,618	316,368	8.21	12.18
13	CI 3"+AC	342,387	85.83	18.65	3,089,348	400,319	7.72	12.96
14	CI 3"+WC	297,933	74.69	29.21	9,797,618	627,035	15.63	6.40
15	LED+Split type	364,578	91.40	13.38	1,653,400	287,145	5.76	17.37
16	LED+AC	309,763	77.65	26.40	2,145,130	566,702	3.79	26.42
17	LED+WC	295,775	74.15	29.72	8,853,400	638,041	13.88	7.21
18	Split type+AC	335,668	84.15	20.25	2,091,730	434,586	4.81	20.78
19	Split type+WC	319,630	80.13	24.06	8,800,000	516,380	17.04	5.87

ตารางที่ 5.20 ผลที่ได้จากแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

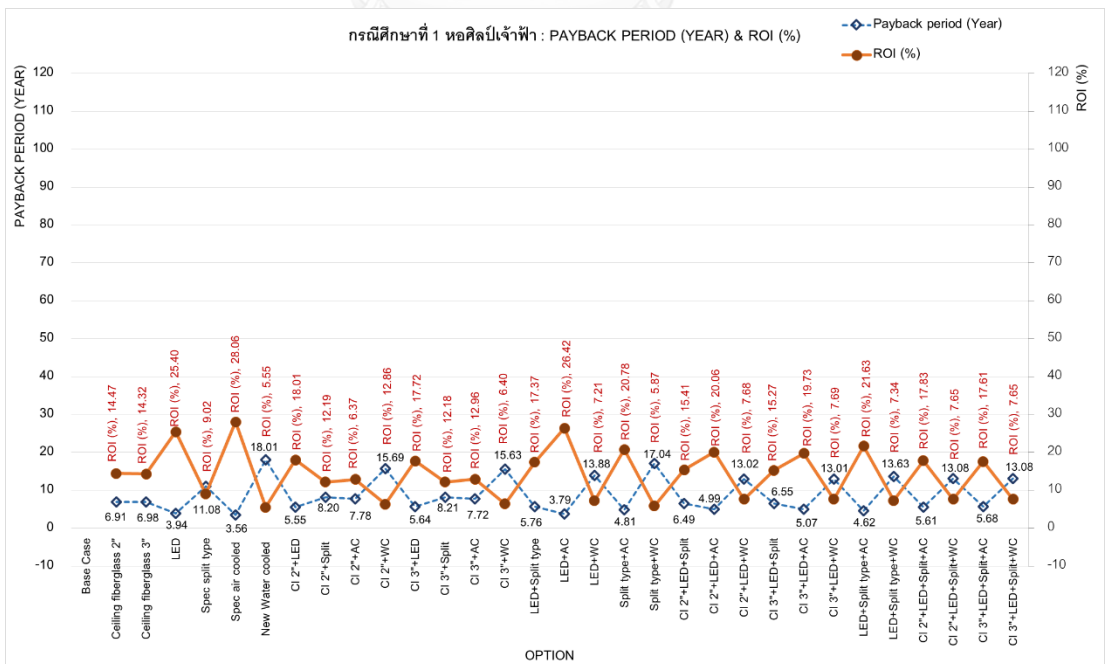
No.	Alternative	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Energy Use Index : EUI (kWh/m ² · Year)	Energy Saving from Base Case (%)	Initial cost (baht)	Saving (baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
20	CI 2"+LED+Split	320,609	80.37	23.82	3,319,112	511,387	6.49	15.41
21	CI 2"+LED+AC	270,990	67.93	35.61	3,810,842	764,444	4.99	20.06
22	CI 2"+LED+WC	262,517	65.81	37.63	10,519,112	807,656	13.02	7.68
23	CI 3"+LED+Split	317,587	79.62	24.54	3,451,018	526,799	6.55	15.27
24	CI 3"+LED+AC	268,319	67.26	36.25	3,942,748	778,066	5.07	19.73
25	CI 3"+LED+WC	260,383	65.28	38.13	10,651,018	818,540	13.01	7.69
26	LED+Split type+AC	295,964	74.20	29.68	2,945,130	637,077	4.62	21.63
27	LED+Split type+WC	281,977	70.69	33.00	9,653,400	708,410	13.63	7.34
28	CI 2"+LED+Split+AC	259,654	65.09	38.31	4,610,842	822,258	5.61	17.83
29	CI 2"+LED+Split+WC	251,181	62.97	40.32	11,319,112	865,470	13.08	7.65
30	CI 3"+LED+Split+AC	257,120	64.46	38.91	4,742,748	835,181	5.68	17.61
31	CI 3"+LED+Split+WC	249,183	62.47	40.79	11,451,018	875,660	13.08	7.65



แผนภูมิที่ 5.4 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 1



แผนภูมิที่ 5.5 แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 1



แผนภูมิที่ 5.6 แสดง PB และ ROI ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

จากการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ารวมและอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ และระยะเวลาการคืนทุนร่วมกัน พบว่าแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและคุ้มค่าต่อการลงทุนคือแนวทางที่ 21 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วบนฝ้าเพดานชั้นหลังคา + การเปลี่ยนใช้หลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม + เพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบปรับอากาศคือระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ สามารถประหยัดพลังงานจากเดิมได้ 35.61 % และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 4.99 ปี หากเปลี่ยนเป็นฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วในแนวทางที่ 24 จะสามารถประหยัดพลังงานได้เพิ่มขึ้น 0.64 % แต่มีระยะเวลาการคืนทุนที่นานขึ้นอีก 0.08 ปี ในขณะที่เดียวกันหากเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในบริเวณห้องจัดนิทรรศการชั่วคราวตามแนวทางที่ 28 และ 30 จะมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นอีก 2.7 % และ 2.66 % ตามลำดับ แต่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ยาวนานขึ้นคือ 5.61 ปี และ 5.68 ปี

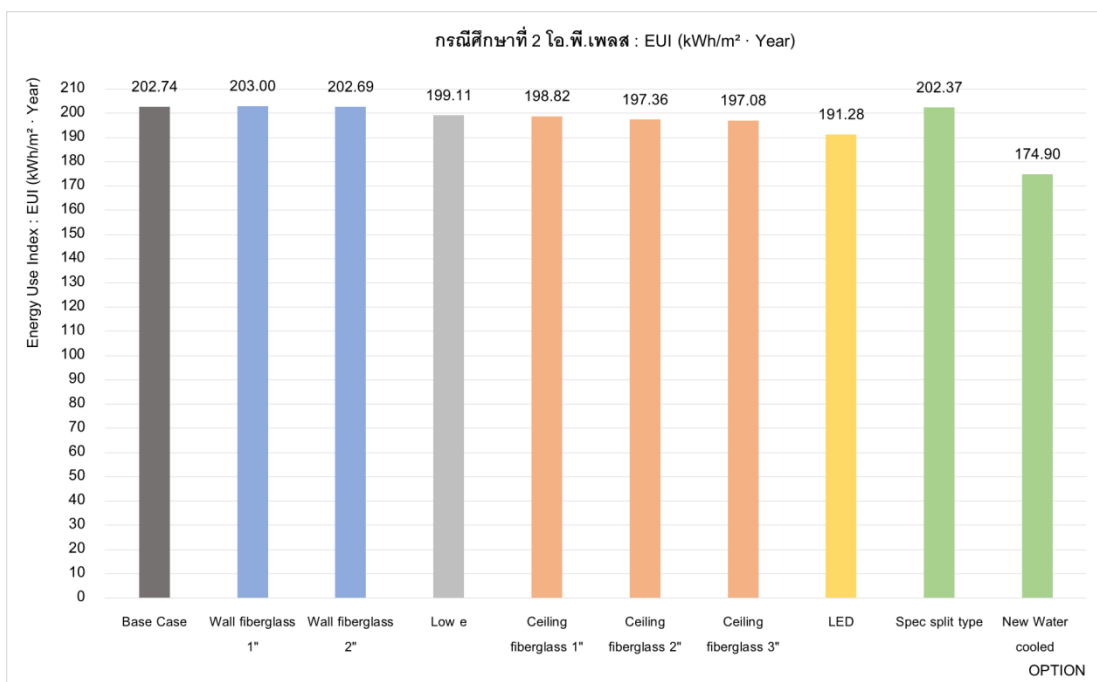
5.2.2 อาคารกรณีศึกษาที่ 2

ได้ผลการปรับปรุงโดยแยกตามหัวข้อดังนี้

1. การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{y}$) ในแต่ละแนวทาง
ได้ผลการปรับปรุงดังตารางที่ 5.21 และแผนภูมิที่ 5.7

ตารางที่ 5.21 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

No.	Alternative	Lights	Equip.	Heating	Cooling	Tower	Pumps	Fans	Total Electricity Energy ($\text{kWh} \cdot \text{Year}$)	Energy Use Index : EUI ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{Year}$)
-	Base Case	250,979	58,770	305	651,927	0	4,107	167,227	1,133,315	202.74
1	Wall fiberglass 1 inch	250,979	58,770	222	650,709	0	4,107	170,009	1,134,796	203.00
2	Wall fiberglass 2 inch	250,979	58,770	205	650,273	0	4,107	168,704	1,133,038	202.69
3	Low e	250,979	58,770	238	649,974	0	4,107	148,970	1,113,038	199.11
4	Ceiling fiberglass 1 inch	250,979	58,770	304	649,868	0	4,107	147,381	1,111,409	198.82
5	Ceiling fiberglass 2 inch	250,979	58,770	277	649,012	0	4,107	140,097	1,103,242	197.36
6	Ceiling fiberglass 3 inch	250,979	58,770	277	648,813	0	4,107	138,722	1,101,668	197.08
7	LED	191,267	58,770	327	650,792	0	4,107	163,992	1,069,255	191.28
8	Spec split type	250,979	58,770	305	649,840	0	4,107	167,227	1,131,228	202.37
9	New Water cooled	250,979	58,770	305	478,173	18,123	4,107	167,227	977,684	174.90



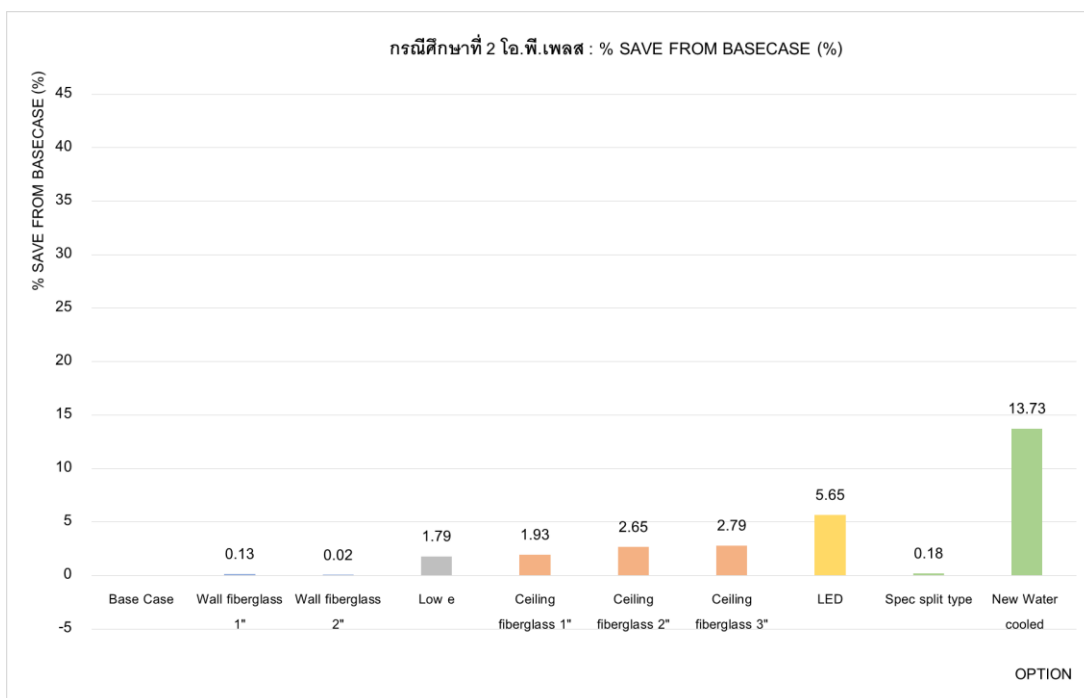
แผนภูมิที่ 5.7 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

2. การเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) จากอาคารต้นแบบในแต่ละแนวทาง

เมื่อได้ผลการปรับปรุงตามค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแต่ละแนวทางการปรับปรุงแล้ว จึงนำผลที่ได้มาคำนวณอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เทียบกับอาคารอ้างอิง ได้ผล ดังตารางที่ 5.22 และแผนภูมิที่ 5.8

ตารางที่ 5.22 อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

No.	Alternative	Energy Saving from Base Case (%)
-	Base Case	
1	Wall fiberglass 1 inch	-0.13
2	Wall fiberglass 2 inch	0.02
3	Low e	1.79
4	Ceiling fiberglass 1 inch	1.93
5	Ceiling fiberglass 2 inch	2.65
6	Ceiling fiberglass 3 inch	2.79
7	LED	5.65
8	Spec split type	0.18
9	New Water cooled	13.73



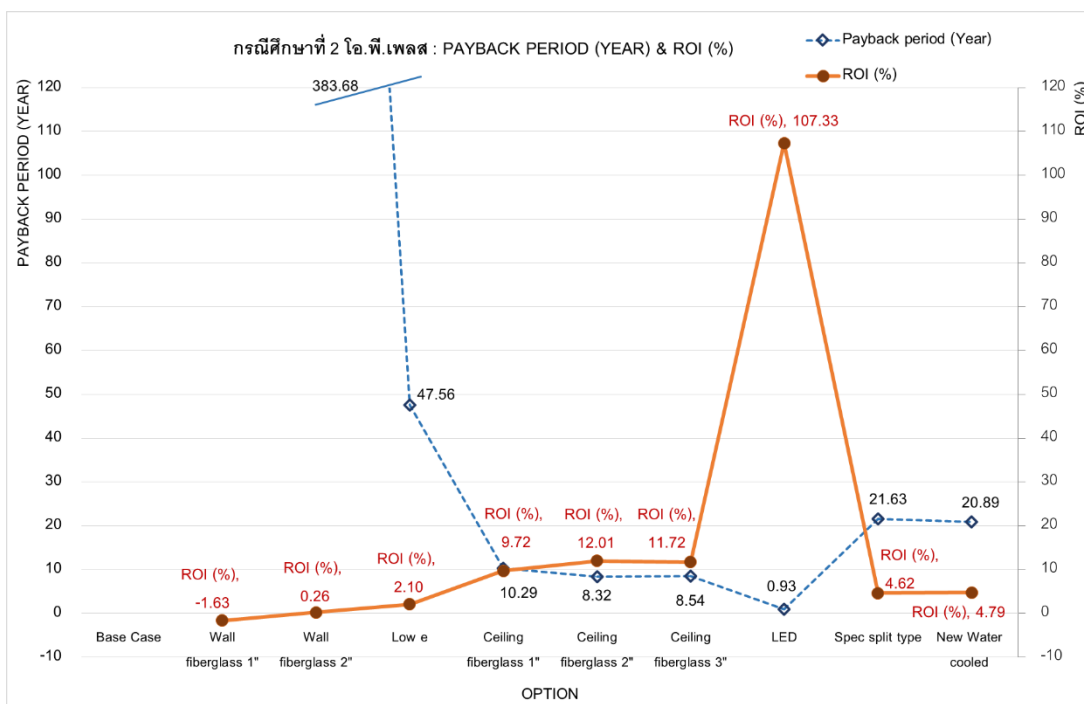
แผนภูมิที่ 5.8 แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

3. การเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) และค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment: ROI) ในแต่ละแนวทาง

นำค่าที่ได้จากการจำลองผ่านโปรแกรม VisualDOE 4.1 มาคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) และค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) ในแต่ละแนวทาง โดยคิดค่าไฟที่หน่วยละ 4.43 บาทอ้างอิงจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริงของอาคารกรณีศึกษา ได้ผลดังตารางที่ 5.23 และ แผนภูมิที่ 5.9

ตารางที่ 5.23 PB และ ROI แต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

No.	Alternative	Initial cost (baht)	Saving (baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
-	Base Case				
1	Wall fiberglass 1 inch	403,509	-6,561	-61.50	-1.63
2	Wall fiberglass 2 inch	470,815	1,227	383.68	0.26
3	Low e	4,272,232	89,827	47.56	2.10
4	Ceiling fiberglass 1 inch	998,322	97,044	10.29	9.72
5	Ceiling fiberglass 2 inch	1,108,817	133,223	8.32	12.01
6	Ceiling fiberglass 3 inch	1,196,623	140,196	8.54	11.72
7	LED	264,400	283,786	0.93	107.33
8	Spec split type	200,000	9,245	21.63	4.62
9	New Water cooled	14,400,000	689,445	20.89	4.79



แผนภูมิที่ 5.9 แสดง PB และ ROI แต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

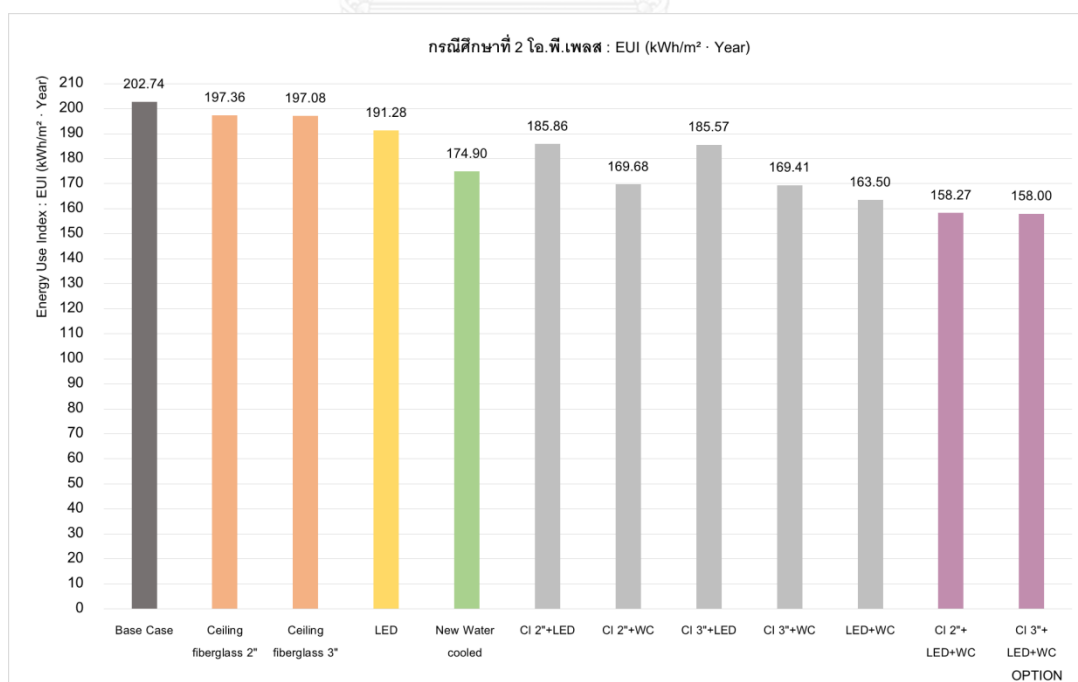
4. การพิจารณาแนวทางที่มีประสิทธิภาพพร้อมกัน

จากแผนภูมิข้างต้น เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานรวม อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ ร่วมกับระยะเวลาการคืนทุนและค่าผลตอบแทนจากการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมด 9 แนวทาง พบว่า แนวทางที่ 1 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วบริเวณผนังด้านในอาคารไม่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ส่วนแนวทางที่ 2 คือการใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ถือได้ว่ามีประสิทธิภาพน้อยมาก และมีระยะเวลาการคืนทุนที่ 383.68 ปี เนื่องจากผนังเดิมเป็นผนังมวลอุณหภาพซึ่งช่วยป้องกันความร้อนภายนอกและหน่วงความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีอยู่แล้ว ส่วนแนวทางที่ 3 การเปลี่ยนวัสดุช่องเปิดจากกระจกใสหนา 6 มม. เป็นกระจกฉนวนกันความร้อนใสเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (กระจกใส 6 มม. เคลือบ Low-E + AS 12 มม. เติมหีทซาร์กอน + กระจกใส 6 มม. สามารถประหยัดพลังงานได้เพียงแค่ 1.79% ในขณะที่มีระยะเวลาการคืนทุนนานถึง 47.56 ปี ส่วนแนวทางที่ 4 การใส่ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานชั้นหลังคา มีระยะเวลาการคืนทุนที่ 10.29 ปี ในขณะที่สามารถประหยัดพลังงานได้น้อยกว่าแนวทางที่ 5 และ 6 คือการใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว กับ 3 นิ้ว ที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่น้อยกว่าคือ 8.32 และ 8.54 ปี และสำหรับแนวทางที่ 8 การเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่วัสดุปรับอากาศแบบแยกส่วนสามารถประหยัดพลังงานได้เพียง 0.18% ในขณะที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่

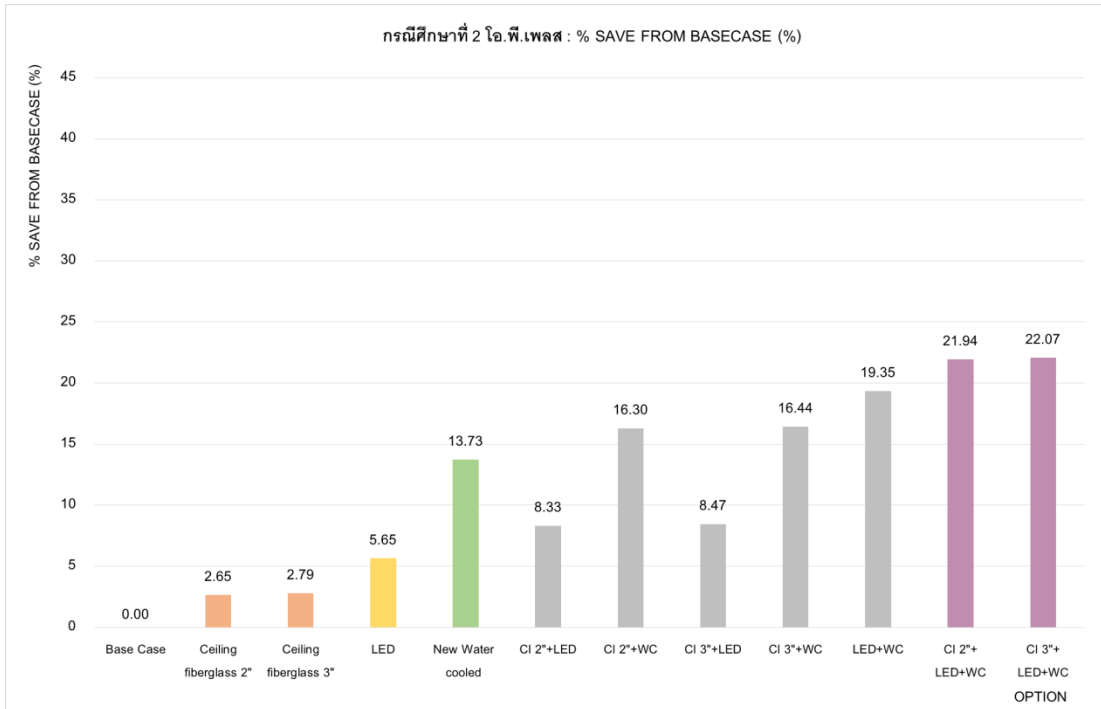
21.63 ปี ซึ่งแตกต่างจากการเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ 20.89 ปี แต่สามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 13.73% ดังนั้นในการพิจารณาแนวทางการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพพร้อมกันจึงตัดแนวทางที่ 1, 2, 3, 4 และ 8 ออก คงเหลือแนวทางที่มีประสิทธิภาพจำนวน 4 แนวทาง เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันจะได้แนวทางการปรับปรุงร่วมกันทั้งหมด 11 แนวทาง มีรายละเอียดดังตารางที่ 5.24 และแผนภูมิที่ 5.10 ถึงแผนภูมิที่ 5.12

ตารางที่ 5.24 ผลที่ได้จากแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

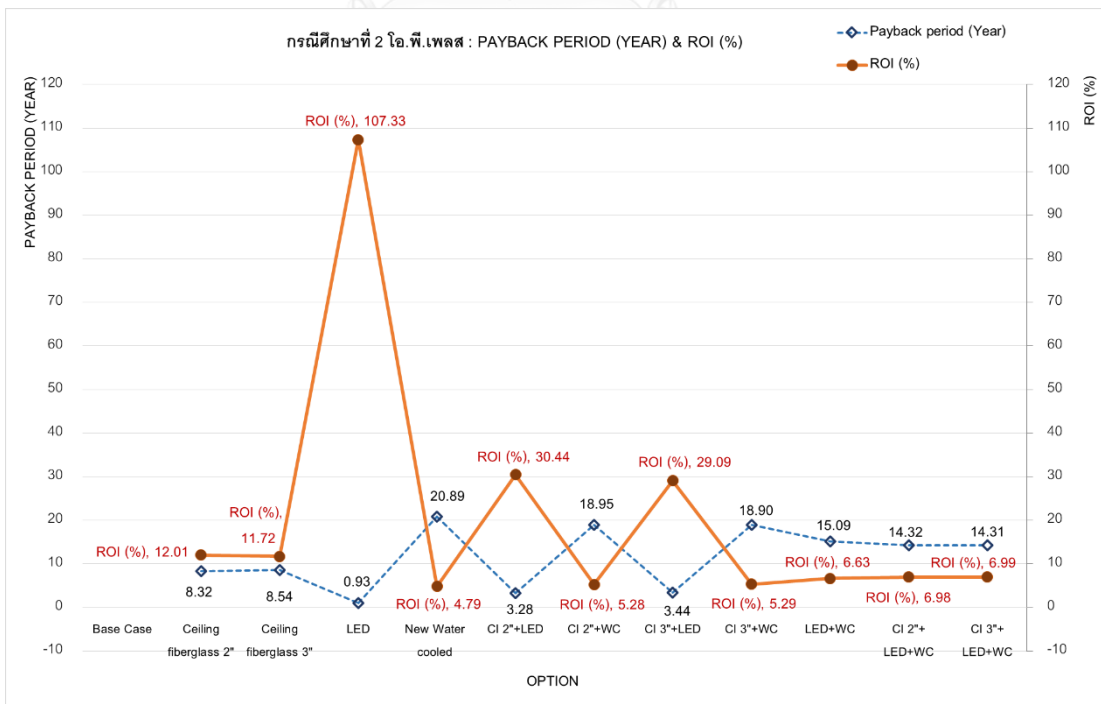
No.	Alternative	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Energy Use Index : EUI (kWh/m ² · Year)	Energy Saving from Base Case (%)	Initial cost (baht)	Saving (baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
-	Base Case	1,133,315	202.74					
1	Ceiling fiberglass 2"	1,103,242	197.36	2.65	1,108,817	133,223	8.32	12.01
2	Ceiling fiberglass 3"	1,101,668	197.08	2.79	1,196,623	140,196	8.54	11.72
3	LED	1,069,255	191.28	5.65	264,400	283,786	0.93	107.33
4	New Water cooled	977,684	174.90	13.73	14,400,000	689,445	20.89	4.79
5	CI 2"+LED	1,038,946	185.86	8.33	1,373,217	418,055	3.28	30.44
6	CI 2"+WC	948,533	169.68	16.30	15,508,817	818,584	18.95	5.28
7	CI 3"+LED	1,037,362	185.57	8.47	1,461,023	425,072	3.44	29.09
8	CI 3"+WC	947,022	169.41	16.44	15,596,623	825,278	18.90	5.29
9	LED+WC	913,977	163.50	19.35	14,664,400	971,667	15.09	6.63
10	CI 2"+LED+WC	884,702	158.27	21.94	15,773,217	1,101,356	14.32	6.98
11	CI 3"+LED+WC	883,197	158.00	22.07	15,861,023	1,108,023	14.31	6.99



แผนภูมิที่ 5.10 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 2



แผนภูมิที่ 5.11 แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 2



แผนภูมิที่ 5.12 แสดง PB และ ROI ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 2

จากการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ารวมและอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ และระยะเวลาการคืนทุนร่วมกัน พบว่าแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและคุ้มค่าต่อการลงทุนคือแนวทางที่ 5 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วที่ผนังภายใน + การเปลี่ยนใช้หลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม สามารถประหยัดพลังงานจากเดิมได้ 8.33 % และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 3.28 ปี ถ้าหากเพิ่มความหนาฉนวนเป็น 3 นิ้วในแนวทางที่ 7 จะสามารถประหยัดพลังงานจากเดิมได้ 8.47 % และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 3.44 ปี สำหรับการเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ แม้จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากแต่ก็มีระยะเวลาการคืนทุนที่ยาวนาน ดังเช่นแนวทางที่ 10 และ 11 จะมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเท่ากับ 21.94% และ 22.07% ตามลำดับ ในขณะที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ยาวนานขึ้นกว่าเดิมคือ 14.32 ปี และ 14.31 ปี

5.2.3 อาคารกรณีศึกษาที่ 3

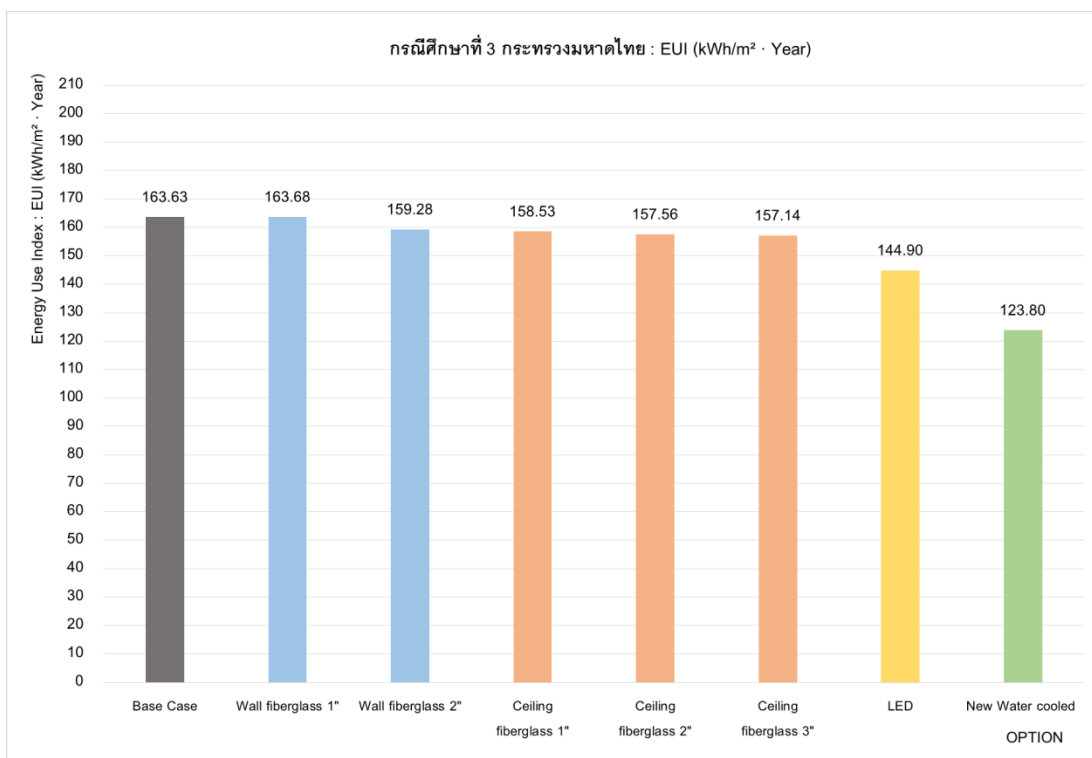
ได้ผลการปรับปรุงโดยแยกตามหัวข้อดังนี้

1. การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร (kWh/m².y) ในแต่ละแนวทาง

ได้ผลการปรับปรุงดังตารางที่ 5.25 และ แผนภูมิที่ 5.13

ตารางที่ 5.25 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

No.	Alternative	Lights	Equip.	Heating	Cooling	Tower	Pumps	Fans	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Energy Use Index : EUI (kWh/m ² · Year)
-	Base Case	291,153	417,080	210	656,663	0	0	117,209	1,482,315	163.63
1	Wall fiberglass 1 inch	291,153	417,080	226	655,965	0	0	118,386	1,482,810	163.68
2	Wall fiberglass 2 inch	291,153	417,080	208	627,990	0	0	106,500	1,442,931	159.28
3	Ceiling fiberglass 1 inch	291,153	417,080	215	623,632	0	0	104,077	1,436,157	158.53
4	Ceiling fiberglass 2 inch	291,153	417,080	221	616,838	0	0	102,006	1,427,298	157.56
5	Ceiling fiberglass 3 inch	291,153	417,080	223	613,870	0	0	101,167	1,423,493	157.14
6	LED	167,275	417,080	176	616,134	0	0	112,021	1,312,686	144.90
7	New Water cooled	291,153	417,080	16	267,598	22,302	12,597	110,741	1,121,487	123.80



แผนภูมิที่ 5.13 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

2. การเปรียบเทียบอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%)

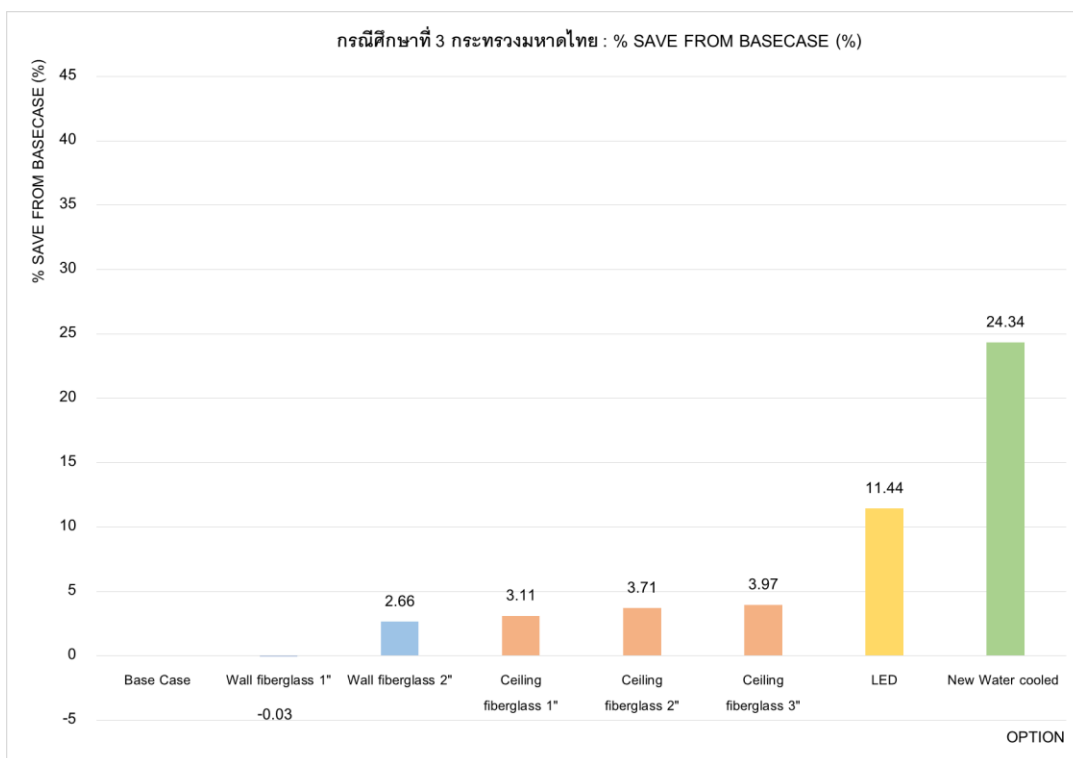
จากอาคารต้นแบบในแต่ละแนวทาง

เมื่อได้ผลการปรับปรุงตามค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแต่ละแนวทางการปรับปรุงแล้ว จึงนำผลที่ได้มาคำนวณอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เทียบกับอาคารอ้างอิง ได้ผลอาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3 ดังตารางที่ 5.26 และแผนภูมิที่ 5.14

ตารางที่ 5.26 อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%)

ในแต่ละแนวทางปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

No.	Alternative	Energy Saving from Base Case (%)
-	Base Case	
1	Wall fiberglass 1 inch	-0.03
2	Wall fiberglass 2 inch	2.66
3	Ceiling fiberglass 1 inch	3.11
4	Ceiling fiberglass 2 inch	3.71
5	Ceiling fiberglass 3 inch	3.97
6	LED	11.44
7	New Water cooled	24.34



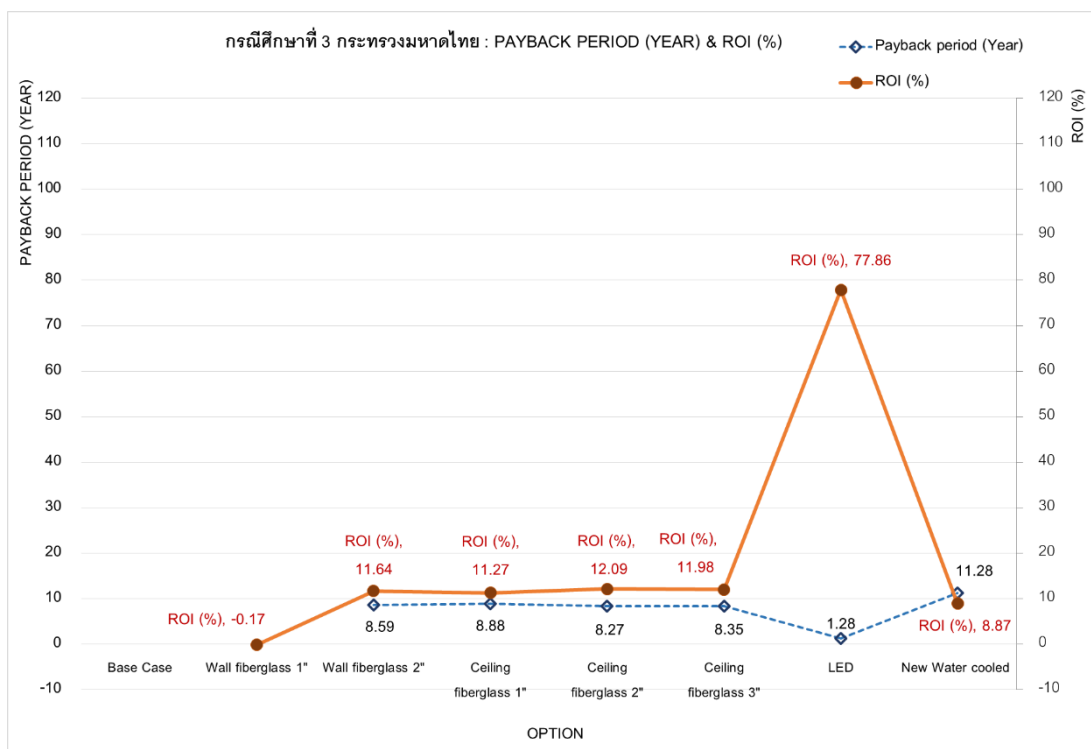
แผนภูมิที่ 5.14 แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

3. การเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) และค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment: ROI) ในแต่ละแนวทาง

นำค่าที่ได้จากการจำลองผ่านโปรแกรม VisualDOE 4.1 มาคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) และค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) ในแต่ละแนวทาง โดยคิดค่าไฟที่หน่วยละ 4.57 บาทอ้างอิงจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าจริงของอาคารกรณีศึกษา ได้ผลดังตารางที่ 5.27 และแผนภูมิที่ 5.15

ตารางที่ 5.27 PB และ ROI แต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

No.	Alternative	Initial cost (baht)	Saving (baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
-	Base Case				
1	Wall fiberglass 1 inch	1,324,948	-2,262.15	-585.70	-0.17
2	Wall fiberglass 2 inch	1,545,954	179,985	8.59	11.64
3	Ceiling fiberglass 1 inch	1,872,289	210,942	8.88	11.27
4	Ceiling fiberglass 2 inch	2,079,516	251,428	8.27	12.09
5	Ceiling fiberglass 3 inch	2,244,191	268,817	8.35	11.98
6	LED	995,600	775,205	1.28	77.86
7	New Water cooled	18,600,000	1,648,984	11.28	8.87



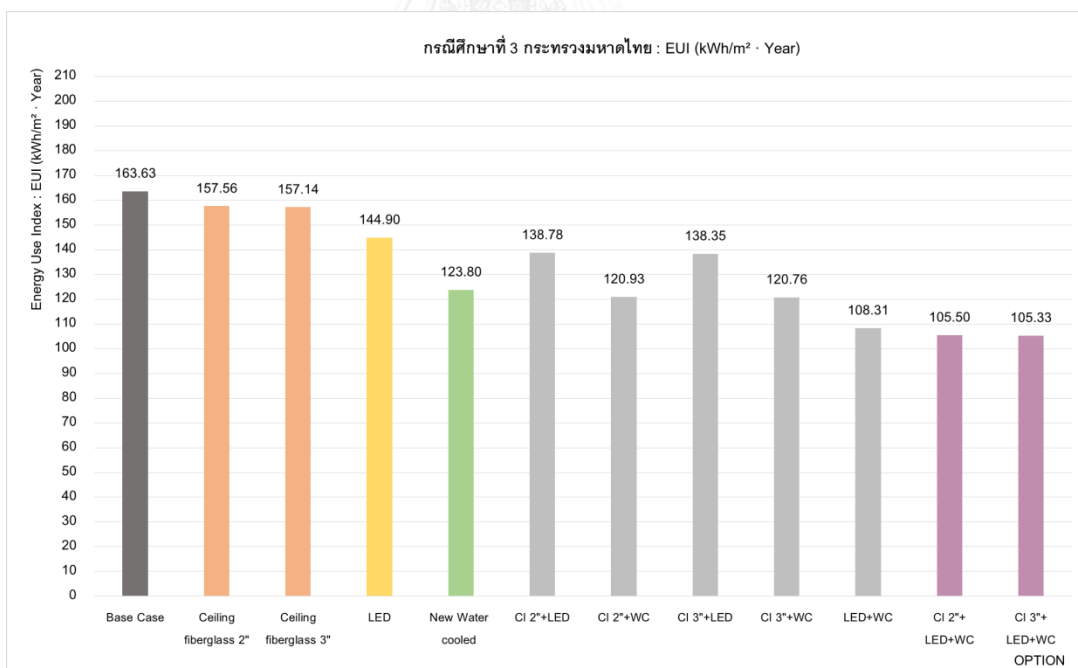
แผนภูมิที่ 5.15 แสดง PB และ ROI ในแต่ละแนวทางการปรับปรุงของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

4. การพิจารณาแนวทางที่มีประสิทธิภาพร่วมกัน

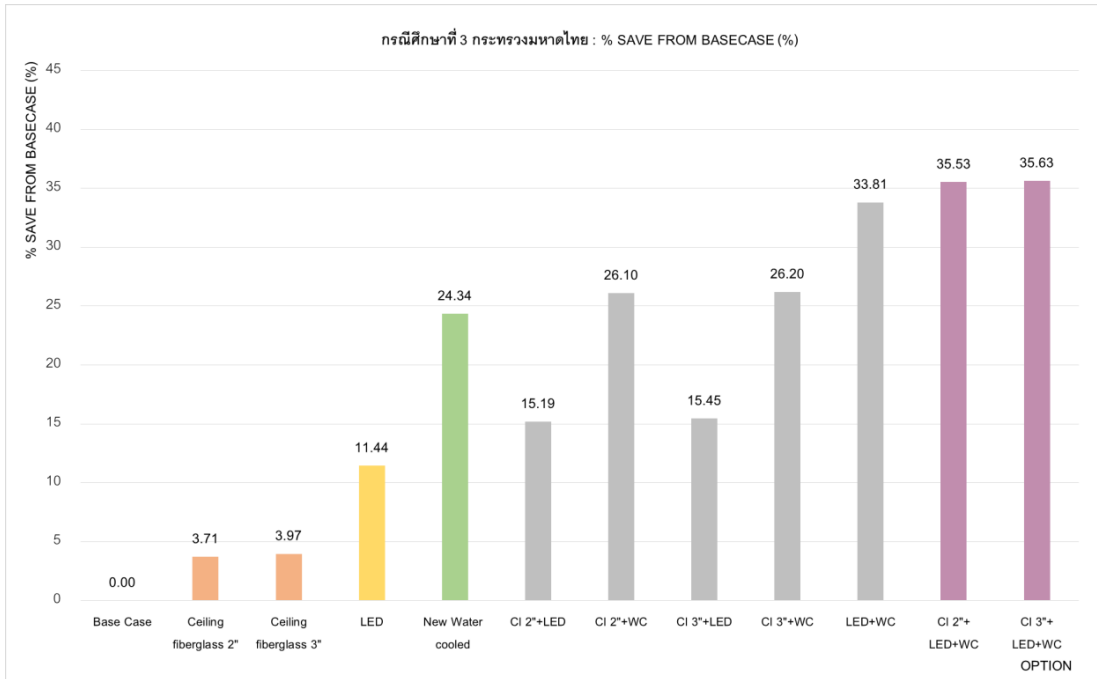
จากแผนภูมิข้างต้น เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานรวม อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ ร่วมกับระยะเวลาการคืนทุนและค่าผลตอบแทนจากการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมด 7 แนวทาง พบว่า พบว่าแนวทางที่ 1 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว บริเวณผนังด้านในอาคารไม่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ส่วนแนวทางที่ 2 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ที่ถือได้ว่ามีประสิทธิภาพน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแนวทางการปรับปรุงทั้งหมด ส่วนแนวทางที่ 3 การใส่ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานชั้นหลังคามีระยะเวลาการคืนทุนที่ 8.88 ปี ในขณะที่สามารถประหยัดพลังงานได้น้อยกว่าแนวทางที่ 5 และ 6 คือการใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว กับ 3 นิ้ว ที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่น้อยกว่าคือ 8.27 และ 8.35 ปี ดังนั้นในการพิจารณาแนวทางการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพร่วมกันจึงตัดแนวทางที่ 1, 2 และ 3 ออก คงเหลือแนวทางที่มีประสิทธิภาพจำนวน 4 แนวทาง เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันจะได้แนวทางการปรับปรุงร่วมกันทั้งหมด 11 แนวทาง มีรายละเอียดดังตารางที่ 5.28 และแผนภูมิที่ 5.16 ถึงแผนภูมิที่ 5.18

ตารางที่ 5.28 ผลที่ได้จากแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

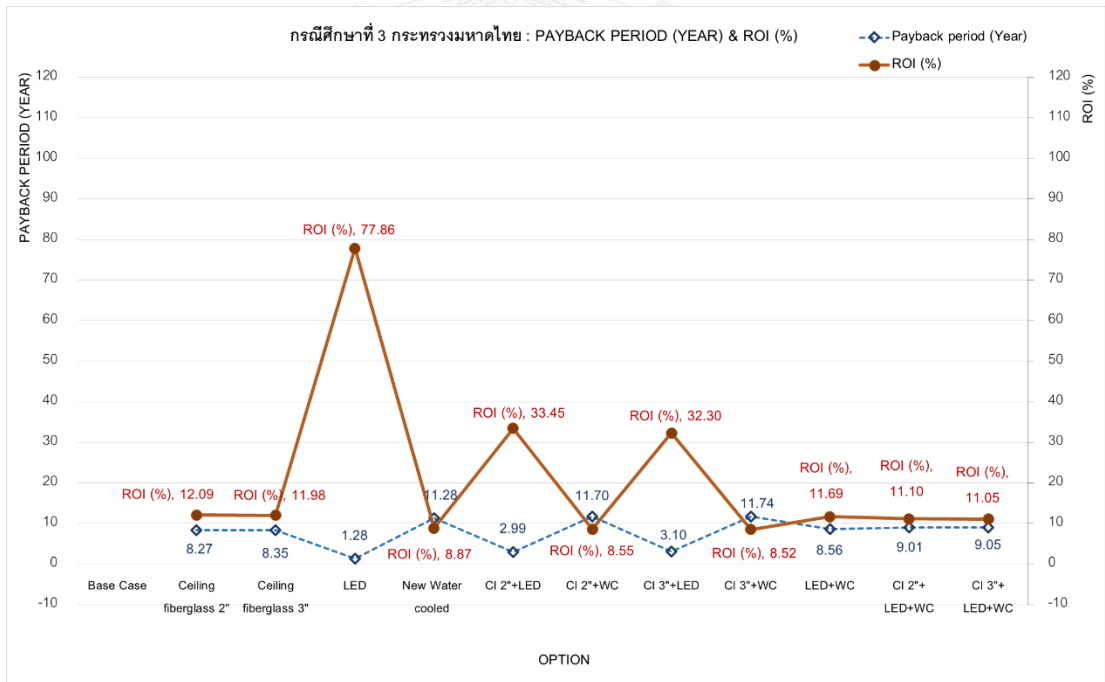
No.	Alternative	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Energy Use Index : EUI (kWh/m ² · Year)	Energy Saving from Base Case (%)	Initial cost (baht)	Saving (baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
-	Base Case	1,482,315	163.63					
1	Ceiling fiberglass 2"	1,427,298	157.56	3.71	2,079,516	251,428	8.27	12.09
2	Ceiling fiberglass 3"	1,423,493	157.14	3.97	2,244,191	268,817	8.35	11.98
3	LED	1,312,686	144.90	11.44	995,600	775,205	1.28	77.86
4	New Water cooled	1,121,487	123.80	24.34	18,600,000	1,648,984	11.28	8.87
5	CI 2"+LED	1,257,212	138.78	15.19	3,075,116	1,028,721	2.99	33.45
6	CI 2"+WC	1,095,498	120.93	26.10	20,679,516	1,767,754	11.70	8.55
7	CI 3"+LED	1,253,343	138.35	15.45	3,239,791	1,046,402	3.10	32.30
8	CI 3"+WC	1,093,935	120.76	26.20	20,844,191	1,774,897	11.74	8.52
9	LED+WC	981,203	108.31	33.81	19,595,600	2,290,082	8.56	11.69
10	CI 2"+LED+WC	955,686	105.50	35.53	21,675,116	2,406,695	9.01	11.10
11	CI 3"+LED+WC	954,150	105.33	35.63	21,839,791	2,413,714	9.05	11.05



แผนภูมิที่ 5.16 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมด
ของอาคารกรณีศึกษาที่ 3



แผนภูมิที่ 5.17 แสดงอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 3



แผนภูมิที่ 5.18 แสดง PB และ ROI ของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษาที่ 3

จากการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ารวมและอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ และระยะเวลาการคืนทุนร่วมกัน พบว่าแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและคุ้มค่าต่อการลงทุนคือ แนวทางที่ 5 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วที่ผนังภายใน + การเปลี่ยนใช้หลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม สามารถประหยัดพลังงานจากเดิมได้ 15.19 % และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 2.99 ปี ถ้าหากเพิ่มความหนาฉนวนเป็น 3 นิ้วในแนวทางที่ 7 จะสามารถประหยัดพลังงานจากเดิมได้ 15.45 % และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 3.10 ปี สำหรับการเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากแต่ก็มีระยะเวลาการคืนทุนที่ยาวนาน ดังเช่นแนวทางที่ 10 และ 11 จะมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเท่ากับ 35.53% และ 35.63% ตามลำดับ ในขณะที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ยาวนานขึ้นคือ 9.01 ปี และ 9.05 ปี

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาเรื่องความชื้นภายในกรณีศึกษา ที่ 1, 2 และ 3

วิธีการควบคุมความชื้นภายในห้องมีหลากหลายวิธี โดยวิธีที่ได้ผลดีวิธีหนึ่ง คือ การใช้เครื่องดูดความชื้น เครื่องดูดความชื้นโดยทั่วไปจะทำงานที่อุณหภูมิระหว่าง 3 - 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 20 - 95% ภายในตัวเครื่องจะมีเซนเซอร์สำหรับวัดความชื้น เมื่อมีค่าความชื้นสูงกว่าระดับความชื้นที่ต้องการควบคุมเครื่องดูดความชื้นจะทำงาน และหยุดการทำงานเมื่อความชื้นภายในห้องอยู่ในระดับที่ต้องการ ถ้าจะให้ใช้งานได้ประสิทธิภาพดีควรใช้กับห้องที่เป็นห้องปิด เพราะหากมีอากาศภายนอกเพิ่มเติมเข้ามาภายในห้องตลอดเวลา เครื่องดูดความชื้นก็อาจจะควบคุมระดับความชื้นไม่ได้ตามต้องการ เครื่องดูดความชื้นที่ใช้งานทั่วไปในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักดังนี้

1. เครื่องดูดความชื้นแบบทั่วไป หรือแบบคอมเพรสเซอร์ (Portable/Compressor Dehumidifier)

เครื่องดูดความชื้นแบบทั่วไป ดังภาพที่ 5.1 เดินเครื่องด้วยการใช้ไฟฟ้าเหมือนเครื่องใช้ไฟฟ้าปกติ โดยคอมเพรสเซอร์เป็นส่วนที่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด ทำการดูดความชื้นออกจากอากาศได้โดยการดูดอากาศในห้องเข้าเครื่องลดความชื้น อากาศจะผ่านคอยล์เย็นที่เย็นจัดส่งผลให้อากาศที่ดูดเข้ามากลั่นตัวเป็นน้ำ ซึ่งเครื่องจะกำจัดน้ำทิ้งไปนอกห้อง



ภาพที่ 5.1 เครื่องลดความชื้นแบบทั่วไปขนาด 50, 160 และ 350 ลิตร
ที่มา : บริษัท โพลดิ่ง เกท จำกัด (2559)

ส่วนอากาศที่ผ่านคอยล์เย็นมาแล้วจะแห้งและเย็น จะมีระบบทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและปล่อยออกจากเครื่องให้หมุนเวียนในห้องทำให้อากาศในห้องทั้งหมดมีความชื้นลดลง หรืออากาศมีความแห้งขึ้น เครื่องดูดความชื้นชนิดนี้กำจัดความชื้นออกจากอากาศในลักษณะของน้ำทิ้ง (Condensate) ดังนั้นห้องที่ติดตั้งต้องสามารถระบายน้ำทิ้งได้หรือต้องมีเจ้าหน้าที่คอยดูแลทิ้งน้ำจากถังน้ำทิ้งเมื่อน้ำเต็มถึง เหมาะกับห้องปรับอากาศทั่วไปที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 22 – 27 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นได้ตั้งแต่ 30 – 350 ลิตรต่อวัน โดยทั่วไปเครื่องดูดความชื้นชนิดนี้ไม่ทำงานตลอดเวลาที่เปิดเครื่อง คือจะหยุดทำงานเมื่อสภาพอากาศภายในมีความชื้นที่พอเหมาะ และเมื่อความชื้นเพิ่มมากขึ้นเครื่องก็จะทำงานอีกครั้งหนึ่ง โดยภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงเครื่องจะทำงานประมาณ 12 นาที (ปราโมช เวียงชัย ,Products Manager, Folding gate Co.,Ltd, 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เครื่องดูดความชื้นชนิดกักเก็บดูดความชื้น (Desiccant Wheel)

เครื่องดูดความชื้นชนิดกักเก็บดูดความชื้น ดังภาพที่ 5.2 เป็นเครื่องที่ใช้สารดูดความชื้น เช่น ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) หรือ ซิลิกาเจล (Silica Gel)



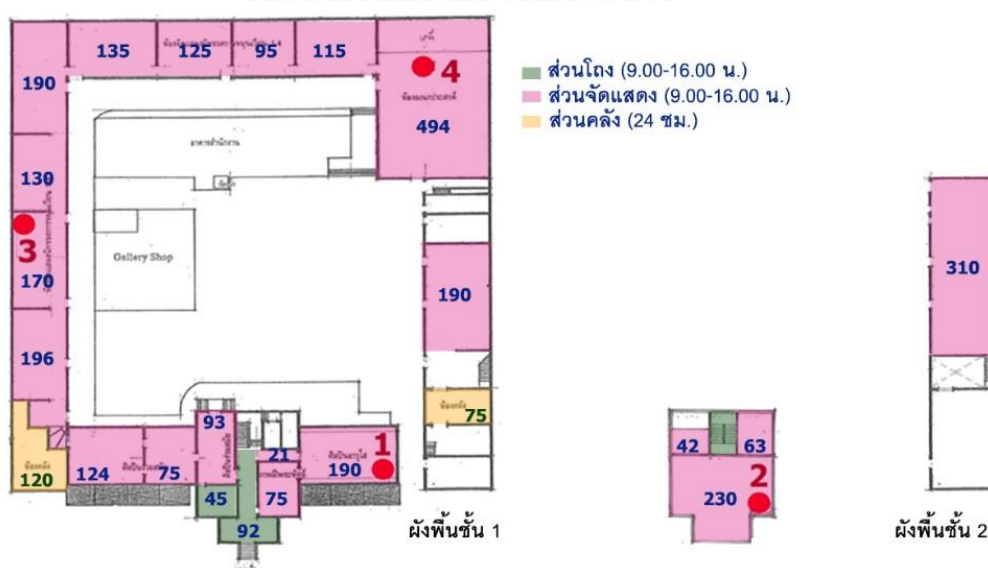
ภาพที่ 5.2 เครื่องดูดความชื้น และส่วนประกอบของระบบดูดความชื้นชนิดกักเก็บดูดความชื้น

ที่มา : บริษัท โพลดิ่ง เกท จำกัด (2559) และ

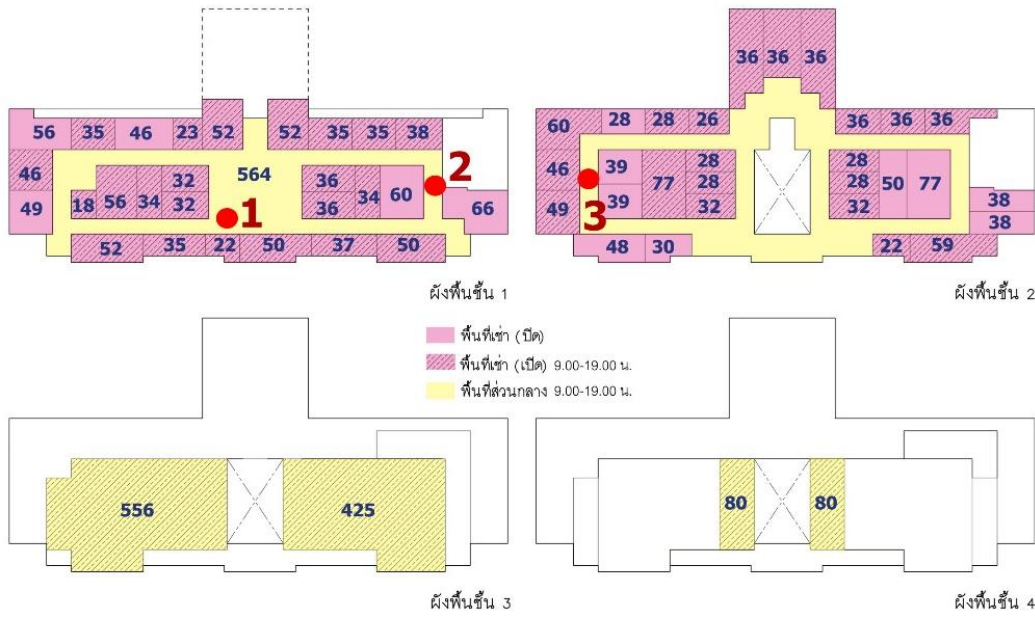
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2559)

หลักการทำงานจะเริ่มจากกงล้อถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เพื่อไล่ความชื้นออกจากอากาศ ส่วนเครื่องดูดความชื้นโดยสารดูดความชื้นแบบหมุนจะใช้ฮีตเตอร์ (Heater) ในการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเพื่อไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ซึ่งใช้พลังงานสูงมากและทำให้อากาศแห้งที่ส่งกลับสู่ห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก ประมาณ 15-20 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิห้อง ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมีภาระการทำงานที่มากขึ้น จึงต้องใช้พลังงานเป็นอย่างมากในการปรับสภาวะภายในห้อง การใช้เครื่องลดความชื้นชนิดนี้ต้องได้รับการคำนวณอย่างละเอียด และเหมาะสมกับห้องปรับอากาศทั่วไปที่มีระดับอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นได้ต่ำกว่าเครื่องดูดความชื้นแบบคอมเพรสเซอร์ และสามารถออกแบบใช้งานได้กับพื้นที่ห้องทุกขนาด โดยที่ไม่มีข้อจำกัดของพื้นที่ขนาดใหญ่

จากการพิจารณาคูณสมบัติในหลายๆด้านการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้เครื่องดูดความชื้นแบบทั่วไป หรือแบบคอมเพรสเซอร์เพื่อแก้ไขปัญหาความชื้นภายในอาคาร แบ่งแนวทางการศึกษาออกเป็น 2 แนวทางคือ (1.) เปิดเฉพาะช่วงเวลาที่ใช้งานอาคาร และ (2.) เปิดตลอด 24 ชั่วโมง โดยคำนวณขนาดของเครื่องลดความชื้นที่เหมาะสมจากขนาดของพื้นที่ใช้งาน รวมถึงปริมาณของอากาศภายในพื้นที่ใช้งานของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารอย่างละเอียด คิดเวลาการทำงานของเครื่องลดความชื้นเท่ากับ 12 นาทีต่อระยะเวลา 1 ชั่วโมง ในการพิจารณาแนวทางการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพร่วมกันจะตัดแนวทางที่ไม่มีประสิทธิภาพออกโดยอาคารกรณีศึกษาที่ 1 จะได้แนวทางการปรับปรุงร่วมกันทั้งหมด 31 แนวทาง ส่วนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 จะได้แนวทางการปรับปรุงร่วมกันทั้งหมด 11 แนวทาง ได้ผลดังภาพที่ 5.3 ถึงภาพที่ 5.5 และตารางที่ 5.29



ภาพที่ 5.3 การวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ที่ใช้สอยแต่ละห้องภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1



ภาพที่ 5.4 การวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ใช้สอยแต่ละห้องภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 5.5 การวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ใช้สอยแต่ละห้องภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3

ตารางที่ 5.29 รายละเอียดการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายใน
อาคารกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3

เครื่องลดความชื้นแบบทั่วไป			
รายละเอียด	หอศิลป์เจ้าฟ้า	ไอทีเพลส	กระทรวงมหาดไทย
จำนวนเครื่อง (เครื่อง)	38	73	186
เงินลงทุน (บาท)	4,300,500	2,984,700	5,739,500
จำนวนวัตต์	111,870	91,440	186,980
กรณีเปิดเฉพาะเวลาใช้งาน			
จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี (ชั่วโมง)	1,853	3,245	2,117
จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี (ชั่วโมง) (ภายใน 1 ชั่วโมงเครื่องทำงาน 12 นาที)	370.6	649	423.4
จำนวนหน่วยค่าไฟต่อปี (kWh · Year)	41,459	59,345	79,167
ค่าไฟ/หน่วย (บาท)	5.10	4.43	4.57
ค่าไฟที่เพิ่มต่อปี (บาท)	211,441	262,896	361,795
กรณีเปิดตลอด 24 ชม.			
จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี (ชั่วโมง)	8,760	8,760	8,760
จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี (ชั่วโมง) (ภายใน 1 ชั่วโมงเครื่องทำงาน 12 นาที)	1,752	1,752	1,752
จำนวนหน่วยค่าไฟต่อปี (kWh · Year)	195,996	160,203	327,589
ค่าไฟ/หน่วย (บาท)	5.10	4.43	4.57
ค่าไฟที่เพิ่มต่อปี (บาท)	999,581	709,699	1,497,082

มีรายละเอียดแต่ละอาคารดังนี้

5.3.1 อาคารกรณีศึกษาที่ 1

มีแนวทางรวมทั้งหมด 95 แนวทาง ดังตารางที่ 5.30 ถึงตารางที่ 5.33 และแผนภูมิที่ 5.19 ถึงแผนภูมิที่ 5.24

ตารางที่ 5.30 ผลที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1

No.	Option	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	Energy Saving from Base Case (%)	Dehumidification System							
					Open 9 am - 4 pm				Open whole day			
					Electricity Energy (kWh · Year)	Energy increased from option (%)	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	Electricity Energy (kWh · Year)	Energy increased from option (%)	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)
-	Base Case	420,881			41,459	9.85	462,340		195,996	46.57	616,877	
1	Ceiling fiberglass 2"	373,618	47,263	11.23	41,459	11.10	415,077	5,804	195,996	52.46	569,614	
2	Ceiling fiberglass 3"	370,390	50,491	12.00	41,459	11.19	411,849	9,032	195,996	52.92	566,386	
3	LED	378,376	42,505	10.10	41,459	10.96	419,835	1,046	195,996	51.80	574,372	
4	Spec Split type	406,728	14,153	3.36	41,459	10.19	448,187		195,996	48.19	602,724	
5	Spec Air cooled	349,821	71,060	16.88	41,459	11.85	391,280	29,601	195,996	56.03	545,817	
6	New Water cooled	333,783	87,098	20.69	41,459	12.42	375,242	45,639	195,996	58.72	529,779	

ตารางที่ 5.31 ผลที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

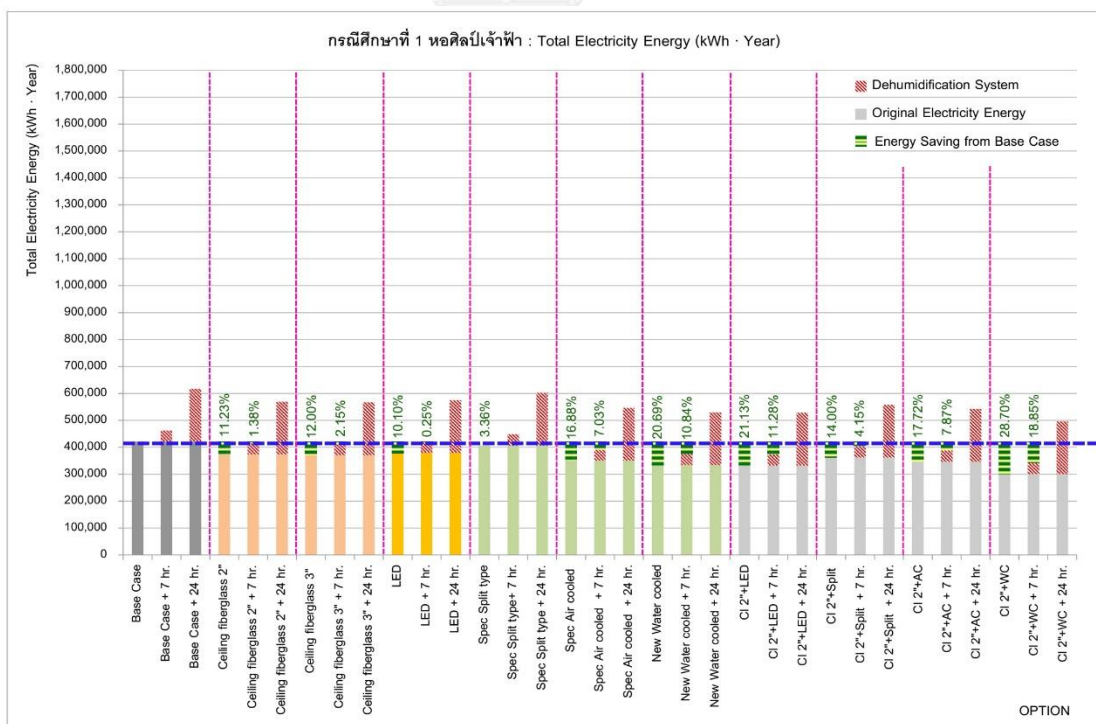
No.	Option	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	Energy Saving from Base Case (%)	Dehumidification System							
					Open 9 am - 4 pm				Open whole day			
					Electricity Energy (kWh · Year)	Energy increased from option (%)	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	Electricity Energy (kWh · Year)	Energy increased from option (%)	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)
7	CI 2*+LED	331,946	88,935	21.13	41,459	12.49	373,405	47,476	195,996	59.04	527,942	
8	CI 2*+Split	361,940	58,941	14.00	41,459	11.45	403,399	17,482	195,996	54.15	557,936	
9	CI 2*+AC	346,312	74,569	17.72	41,459	11.97	387,771	33,110	195,996	56.60	542,308	
10	CI 2*+WC	300,103	120,778	28.70	41,459	13.81	341,562	79,319	195,996	65.31	496,099	
11	CI 3*+LED	328,786	92,095	21.88	41,459	12.61	370,245	50,636	195,996	59.61	524,782	
12	CI 3*+Split	358,848	62,033	14.74	41,459	11.55	400,307	20,574	195,996	54.62	554,844	
13	CI 3*+AC	342,387	78,494	18.65	41,459	12.11	383,846	37,035	195,996	57.24	538,383	
14	CI 3*+WC	297,933	122,948	29.21	41,459	13.92	339,392	81,489	195,996	65.79	493,929	
15	LED+Split type	364,578	56,303	13.38	41,459	11.37	406,037	14,844	195,996	53.76	560,574	
16	LED+AC	309,763	111,118	26.40	41,459	13.38	351,222	69,659	195,996	63.27	505,759	
17	LED+WC	295,775	125,106	29.72	41,459	14.02	337,234	83,647	195,996	66.27	491,771	
18	Split type+AC	335,668	85,213	20.25	41,459	12.35	377,127	43,754	195,996	58.39	531,664	
19	Split type+WC	319,630	101,251	24.06	41,459	12.97	361,089	59,792	195,996	61.32	515,626	
20	CI 2*+LED+Split	320,609	100,272	23.82	41,459	12.93	362,068	58,813	195,996	61.13	516,605	
21	CI 2*+LED+AC	270,990	149,891	35.61	41,459	15.30	312,449	108,432	195,996	72.33	466,986	
22	CI 2*+LED+WC	262,517	158,364	37.63	41,459	15.79	303,976	116,905	195,996	74.66	458,513	
23	CI 3*+LED+Split	317,587	103,294	24.54	41,459	13.05	359,046	61,835	195,996	61.71	513,583	
24	CI 3*+LED+AC	268,319	152,562	36.25	41,459	15.45	309,778	111,103	195,996	73.05	464,315	
25	CI 3*+LED+WC	260,383	160,498	38.13	41,459	15.92	301,842	119,039	195,996	75.27	456,379	
26	LED+Split type+AC	295,964	124,917	29.68	41,459	14.01	337,423	83,458	195,996	66.22	491,960	
27	LED+Split type+WC	281,977	138,904	33.00	41,459	14.70	323,436	97,445	195,996	69.51	477,973	
28	CI 2*+LED+Split+AC	259,654	161,227	38.31	41,459	15.97	301,113	119,768	195,996	75.48	455,650	
29	CI 2*+LED+Split+WC	251,181	169,700	40.32	41,459	16.51	292,640	128,241	195,996	78.03	447,177	
30	CI 3*+LED+Split+AC	257,120	163,761	38.91	41,459	16.12	298,579	122,302	195,996	76.23	453,116	
31	CI 3*+LED+Split+WC	249,183	171,698	40.79	41,459	16.64	290,642	130,239	195,996	78.66	445,179	

ตารางที่ 5.32 PB และ ROI ที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1

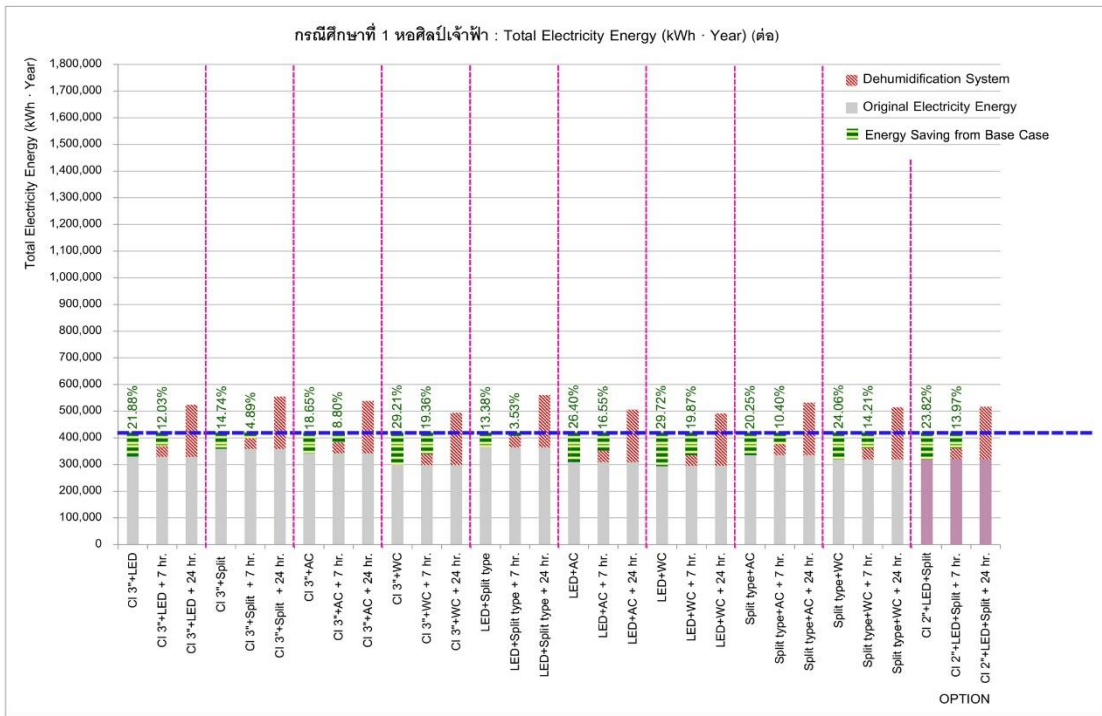
No.	Option	Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	Dehumidification System								
						Open 9 am - 4 pm				Open whole day				
						Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	
-	Base Case					4,300,500				4,300,500				
1	Ceiling fiberglass 2"	1,665,712	241,041	6.91	14.47	5,966,212	29,600	201.56	0.50	5,966,212				
2	Ceiling fiberglass 3"	1,797,618	257,504	6.98	14.32	6,098,118	46,063	132.39	0.76	6,098,118				
3	LED	853,400	216,776	3.94	25.4	5,153,900	5,334	966.15	0.10	5,153,900				
4	Spec Split type	800,000	72,180	11.08	9.02	5,100,500				5,100,500				
5	Spec Air cooled	1,291,730	362,406	3.56	28.06	5,592,230	150,965	37.04	2.70	5,592,230				
6	New Water cooled	8,000,000	444,200	18.01	5.55	12,300,500	232,759	52.85	1.89	12,300,500				
7	CI 2*+LED	2,519,112	453,569	5.55	18.01	6,819,612	242,127	28.17	3.55	6,819,612				
8	CI 2*+Split	2,465,712	300,599	8.20	12.19	6,766,212	89,158	75.89	1.32	6,766,212				
9	CI 2*+AC	2,957,442	380,302	7.78	12.86	7,257,942	168,861	42.98	2.33	7,257,942				
10	CI 2*+WC	9,665,712	615,968	15.69	6.37	13,966,212	404,527	34.52	2.90	13,966,212				
11	CI 3*+LED	2,651,018	469,685	5.64	17.72	6,951,518	258,243	26.92	3.71	6,951,518				
12	CI 3*+Split	2,597,618	316,368	8.21	12.18	6,898,118	104,927	65.74	1.52	6,898,118				
13	CI 3*+AC	3,089,348	400,319	7.72	12.96	7,389,848	188,878	39.12	2.56	7,389,848				
14	CI 3*+WC	9,797,618	627,035	15.63	6.40	14,098,118	415,594	33.92	2.95	14,098,118				

ตารางที่ 5.33 PB และ ROI ที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

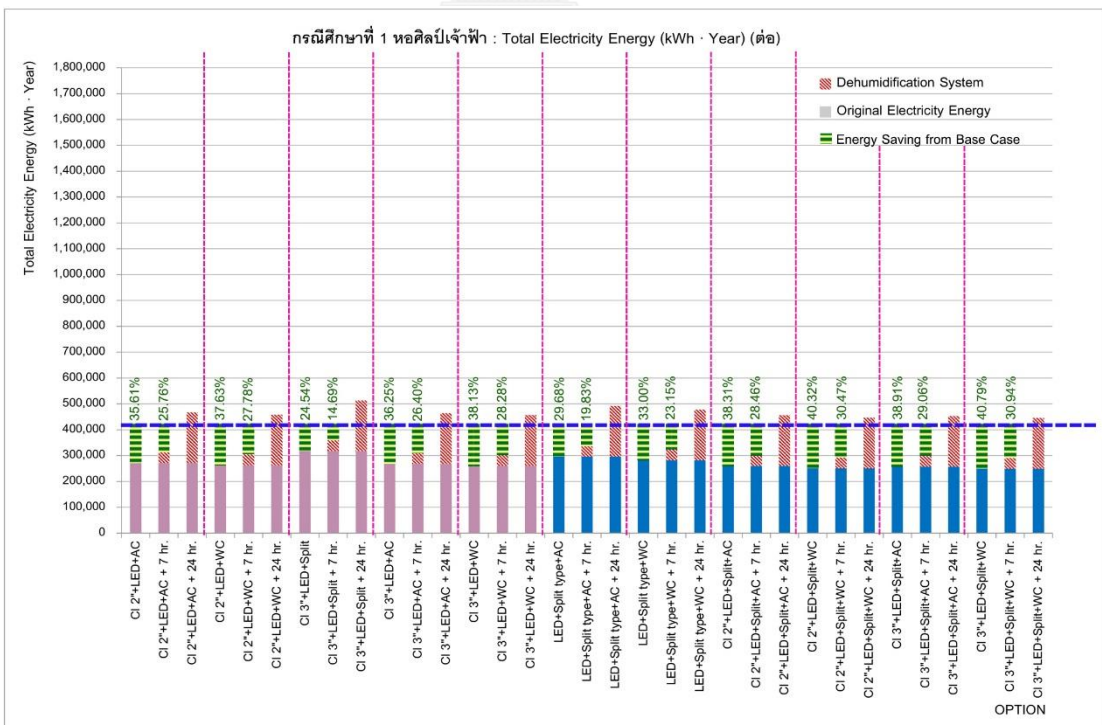
No.	Option	Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	Dehumidification System							
						Open 9 am - 4 pm				Open whole day			
						Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
15	LED+Split type	1,653,400	287,145	5.76	17.37	5,953,900	75,704	78.65	1.27	5,953,900			
16	LED+AC	2,145,130	566,702	3.79	26.42	6,445,630	355,261	18.14	5.51	6,445,630			
17	LED+WC	8,853,400	638,041	13.88	7.21	13,153,900	426,600	30.83	3.24	13,153,900			
18	Split type+AC	2,091,730	434,586	4.81	20.78	6,392,230	223,145	28.65	3.49	6,392,230			
19	Split type+WC	8,800,000	516,380	17.04	5.87	13,100,500	304,939	42.96	2.33	13,100,500			
20	CI 2"+LED+Split	3,319,112	511,387	6.49	15.41	7,619,612	299,946	25.40	3.94	7,619,612			
21	CI 2"+LED+AC	3,810,842	764,444	4.99	20.06	8,111,342	553,003	14.67	6.82	8,111,342			
22	CI 2"+LED+WC	10,519,112	807,656	13.02	7.68	14,819,612	596,215	24.86	4.02	14,819,612			
23	CI 3"+LED+Split	3,451,018	526,799	6.55	15.27	7,751,518	315,358	24.58	4.07	7,751,518			
24	CI 3"+LED+AC	3,942,748	778,066	5.07	19.73	8,243,248	566,625	14.55	6.87	8,243,248			
25	CI 3"+LED+WC	10,651,018	818,540	13.01	7.69	14,951,518	607,099	24.63	4.06	14,951,518			
26	LED+Split type+AC	2,945,130	637,077	4.62	21.63	7,245,630	425,636	17.02	5.87	7,245,630			
27	LED+Split type+WC	9,653,400	708,410	13.63	7.34	13,953,900	496,969	28.08	3.56	13,953,900			
28	CI 2"+LED+Split+AC	4,610,842	822,258	5.61	17.83	8,911,342	610,817	14.59	6.85	8,911,342			
29	CI 2"+LED+Split+WC	11,319,112	865,470	13.08	7.65	15,619,612	654,029	23.88	4.19	15,619,612			
30	CI 3"+LED+Split+AC	4,742,748	835,181	5.68	17.61	9,043,248	623,740	14.50	6.90	9,043,248			
31	CI 3"+LED+Split+WC	11,451,018	875,660	13.08	7.65	15,751,518	664,219	23.71	4.22	15,751,518			



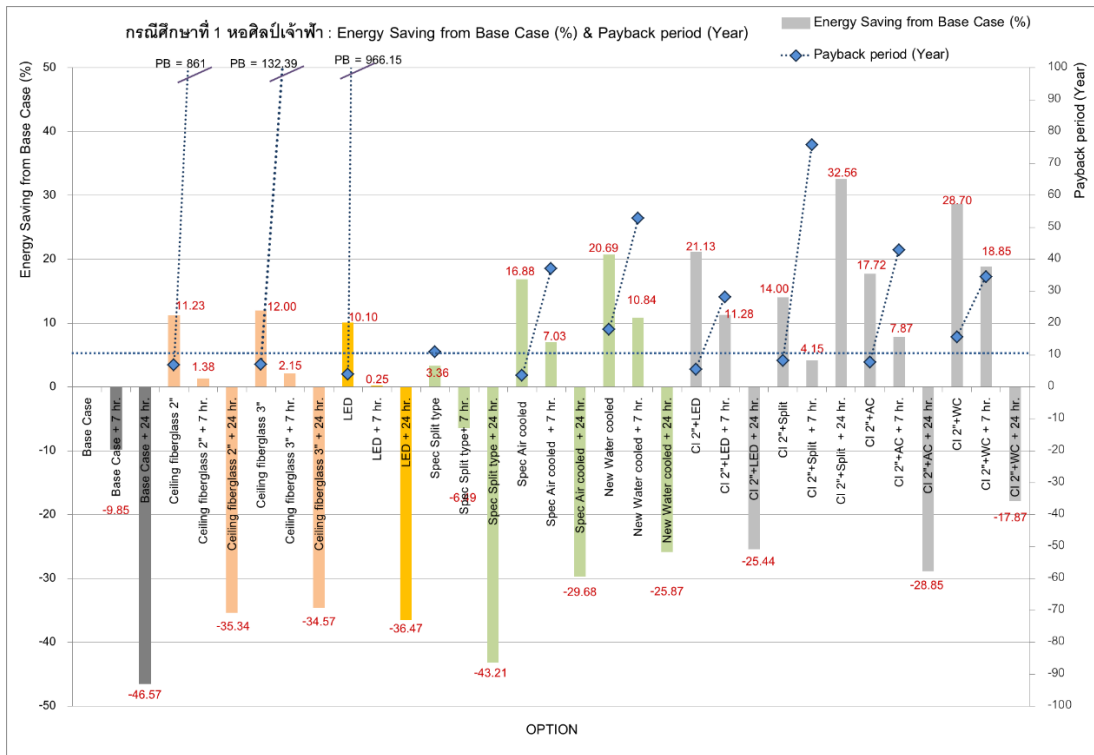
แผนภูมิที่ 5.19 แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุง ร่วมกับการแก้ไขปัญหาค่าความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 1



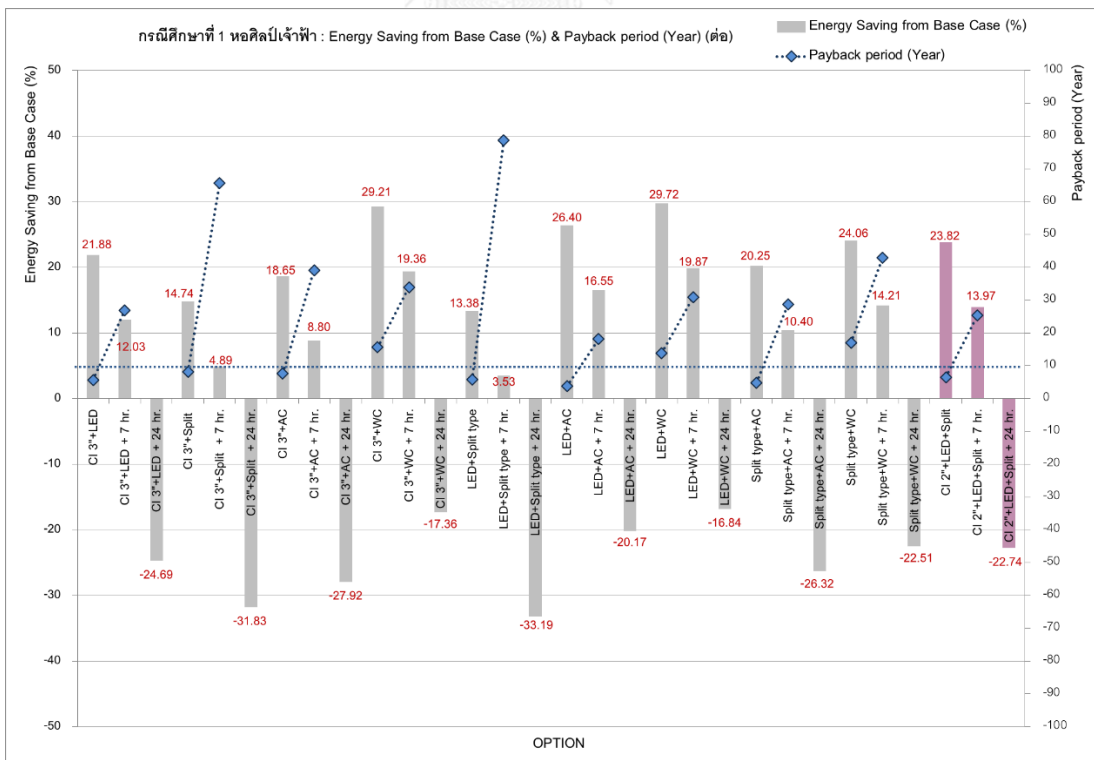
แผนภูมิที่ 5.20 แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุง ร่วมกับการแก้ไขปัญหาค่าความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)



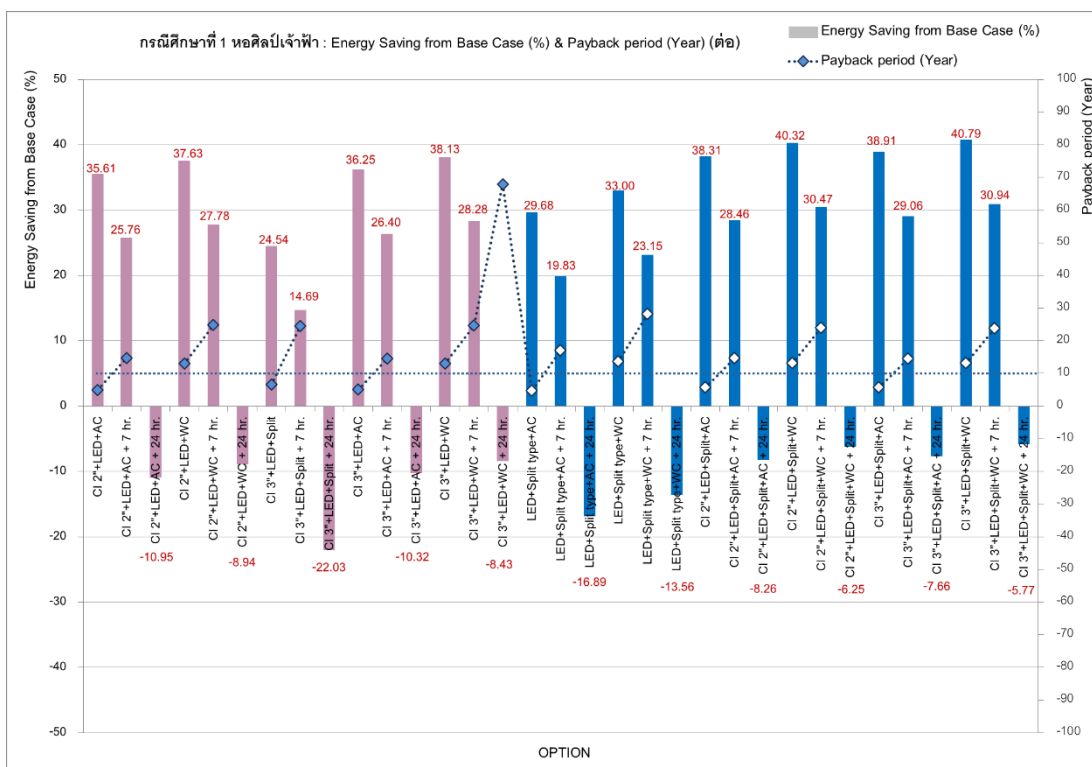
แผนภูมิที่ 5.21 แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุง ร่วมกับการแก้ไขปัญหาค่าความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)



แผนภูมิที่ 5.22 แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 1



แผนภูมิที่ 5.23 แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)



แผนภูมิที่ 5.24 แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

จากแผนภูมิข้างต้นพบว่าเมื่อใช้งานเครื่องดูดความชื้น

- รูปแบบที่ 1 ใช้งานเฉพาะช่วงเวลาที่เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศคือตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 9.85 – 16.64 %
- รูปแบบที่ 2 คือใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 46.57 – 78.66 %

โดยแนวทางที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานมากที่สุดคือแนวทางที่ 31 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานชั้นหลังคา + การเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม + การเปลี่ยนจากระบบปรับอากาศจากเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ + เพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในบริเวณพื้นที่จัดนิทรรศการชั่วคราว การใช้ทั้ง 4 แนวทางร่วมกันมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุดคือ 40.79 % จากอาคารอ้างอิง (Base case) และเมื่อใช้งานเครื่องดูดความชื้นรูปแบบที่ 1 ร่วมด้วยประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานจะลดลงเหลือ 30.94% และ 12.85 % ตามลำดับ ส่วนการใช้งานเครื่องดูดความชื้นรูปแบบที่ 2 ไม่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน

สำหรับแนวทางเดิมที่มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์คือแนวทาง การปรับปรุงที่ 21,24,28 และ 30 ที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ 4.99, 5.07, 5.61 และ 5.68 ปีนั้น เมื่อใช้ งานเครื่องลดความชื้นเฉพาะเวลาใช้งานเครื่องปรับอากาศระยะเวลาการคืนทุนจะเพิ่มขึ้นเป็น 14.67, 14.55, 14.59 และ 14.50 ปี และหากใช้งาน 24 ชั่วโมงไม่มีประสิทธิภาพในการประหยัด พลังงานทั้ง 4 แนวทาง ซึ่งเครื่องลดความชื้นนั้นมีอายุการใช้งานเครื่องอยู่ที่ 5-10 ปีเท่านั้น ดังนั้น การใช้งานเครื่องลดความชื้นในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 นี้จึงถือได้ว่าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

5.3.2 อาคารกรณีศึกษาที่ 2

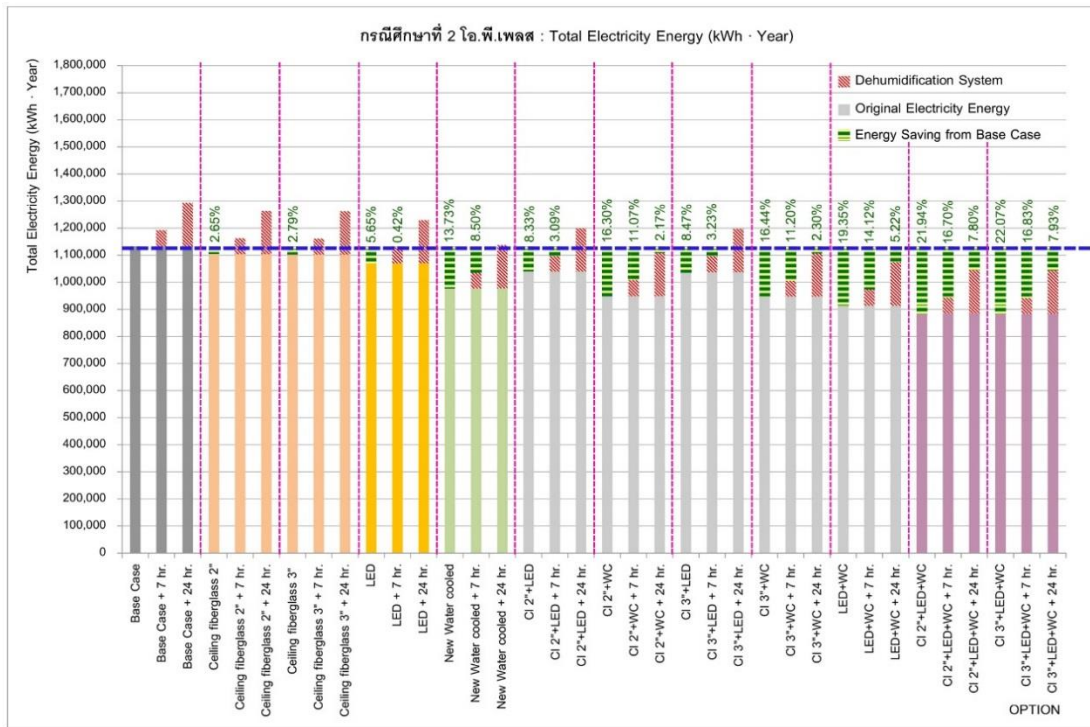
มีแนวทางรวมทั้งหมด 35 แนวทาง ได้ผลดังตารางที่ 5.34 ถึงตารางที่ 5.35 และแผนภูมิที่ 5.25 ถึงแผนภูมิที่ 5.26

ตารางที่ 5.34 ผลที่ได้จากการใช้งานเครื่องลดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2

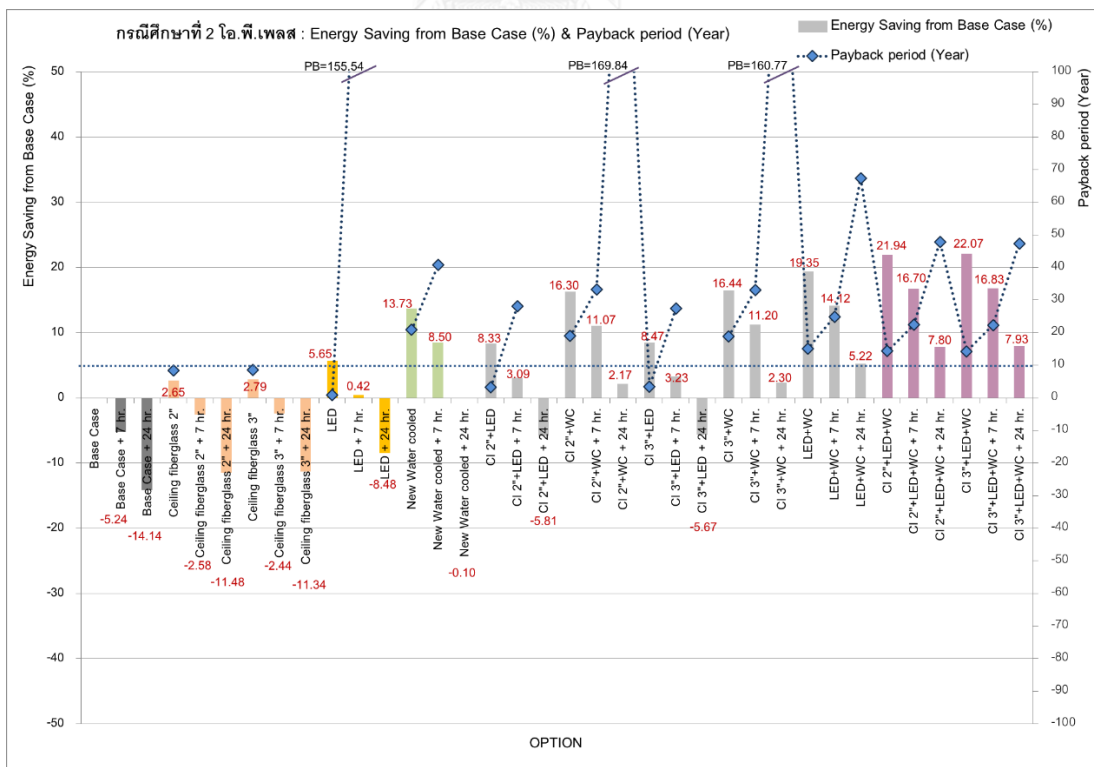
No.	Option	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	Energy Saving from Base Case (%)	Dehumidification System								
					Open 10 am - 7 pm				Open whole day				
					Electricity Energy (kWh · Year)	Energy increased from option (%)	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	Electricity Energy (kWh · Year)	Energy increased from option (%)	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	
-	Base Case	1,133,315			59,345	5.24	1,192,660			160,203	14.14	1,293,518	
1	Ceiling fiberglass 2"	1,103,242	30,073	2.65	59,345	5.38	1,162,587			160,203	14.52	1,263,445	
2	Ceiling fiberglass 3"	1,101,668	31,647	2.79	59,345	5.39	1,161,013			160,203	14.54	1,261,871	
3	LED	1,069,255	64,060	5.65	59,345	5.55	1,128,600	4,715		160,203	14.98	1,229,458	
4	New Water cooled	977,684	155,631	13.73	59,345	6.07	1,037,029	96,286		160,203	16.39	1,137,887	
5	CI 2"+LED	1,038,946	94,369	8.33	59,345	5.71	1,098,291	35,024		160,203	15.42	1,199,149	
6	CI 2"+WC	948,533	184,782	16.30	59,345	6.26	1,007,878	125,437		160,203	16.89	1,108,736	24,579
7	CI 3"+LED	1,037,362	95,953	8.47	59,345	5.72	1,096,707	36,608		160,203	15.44	1,197,565	
8	CI 3"+WC	947,022	186,293	16.44	59,345	6.27	1,006,367	126,948		160,203	16.92	1,107,225	26,090
9	LED+WC	913,977	219,338	19.35	59,345	6.49	973,322	159,993		160,203	17.53	1,074,180	59,135
10	CI 2"+LED+WC	884,702	248,613	21.94	59,345	6.71	944,047	189,268		160,203	18.11	1,044,905	88,410
11	CI 3"+LED+WC	883,197	250,118	22.07	59,345	6.72	942,542	190,773		160,203	18.14	1,043,400	89,915

ตารางที่ 5.35 PB และ ROI ที่ได้จากการใช้งานเครื่องลดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 2

No.	Option	Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	Dehumidification System							
						Open 10 am - 7 pm				Open whole day			
						Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
-	Base Case					2,984,700				2,984,700			
1	Ceiling fiberglass 2"	1,108,817	133,223	8.32	12.01	4,093,517				4,093,517			
2	Ceiling fiberglass 3"	1,196,623	140,196	8.54	11.72	4,181,323				4,181,323			
3	LED	264,400	283,786	0.93	107.33	3,249,100	20,889	155.54	0.64	3,249,100			
4	New Water cooled	14,400,000	689,445	20.89	4.79	17,384,700	426,549	40.76	2.45	17,384,700			
5	CI 2"+LED	1,373,217	418,055	3.28	30.44	4,357,917	155,158	28.09	3.56	4,357,917			
6	CI 2"+WC	15,508,817	818,584	18.95	5.28	18,493,517	555,688	33.28	3.00	18,493,517	108,886	169.84	0.59
7	CI 3"+LED	1,461,023	425,072	3.44	29.09	4,445,723	162,175	27.41	3.65	4,445,723			
8	CI 3"+WC	15,596,623	825,278	18.90	5.29	18,581,323	562,382	33.04	3.03	18,581,323	115,579	160.77	0.62
9	LED+WC	14,664,400	971,667	15.09	6.63	17,649,100	708,771	24.90	4.02	17,649,100	261,969	67.37	1.48
10	CI 2"+LED+WC	15,773,217	1,101,356	14.32	6.98	18,757,917	838,459	22.37	4.47	18,757,917	391,657	47.89	2.09
11	CI 3"+LED+WC	15,861,023	1,108,023	14.31	6.99	18,845,723	845,126	22.30	4.48	18,845,723	398,324	47.31	2.11



แผนภูมิที่ 5.25 แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุง ร่วมกับการแก้ไขปัญหาความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 2



แผนภูมิที่ 5.26 แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับ ระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 2

จากแผนภูมิข้างต้นพบว่าเมื่อใช้งานเครื่องดูดความชื้น

- รูปแบบที่ 1 คือใช้งานเฉพาะช่วงเวลาที่เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศคือตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึงเวลา 19.00 น. จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 5.24 – 6.72 %
- รูปแบบที่ 2 คือใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 14.14 – 18.14 %

โดยแนวทางที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานมากที่สุดคือแนวทางที่ 11 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานชั้นหลังคา + การเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจนเดิม + การเปลี่ยนจากระบบปรับอากาศจากเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ การใช้ทั้ง 3 แนวทางร่วมกันมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุดคือ 22.07 % จากอาคารอ้างอิง (Base case) และเมื่อใช้งานเครื่องลดความชื้นทั้ง 2 รูปแบบร่วมด้วย ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานจะลดลงเหลือ 16.83 และ 7.93 % ตามลำดับ

ส่วนแนวทางเดิมที่มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์คือแนวทางการปรับปรุงที่ 5, 7, 10 และ 11 ที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ 3.28, 3.44, 14.32 และ 14.31 ปีนั้น เมื่อใช้งานเครื่องดูดความชื้นเฉพาะเวลาใช้งานเครื่องปรับอากาศระยะเวลาการคืนทุนจะเพิ่มขึ้นเป็น 28.09, 27.41, 22.37 และ 22.30 ปี และหากใช้งาน 24 ชั่วโมงจะเพิ่มขึ้นเป็น 47.89 และ 47.31 ปี ในแนวทางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ ส่วนแนวทางที่ 5 และ 7 ไม่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ซึ่งเครื่องดูดความชื้นนั้นมีอายุการใช้งานเครื่องอยู่ที่ 5 - 10 ปีเท่านั้น ดังนั้นการใช้งานเครื่องดูดความชื้นในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 นี้จึงถือได้ว่าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

5.3.3 อาคารกรณีศึกษาที่ 3

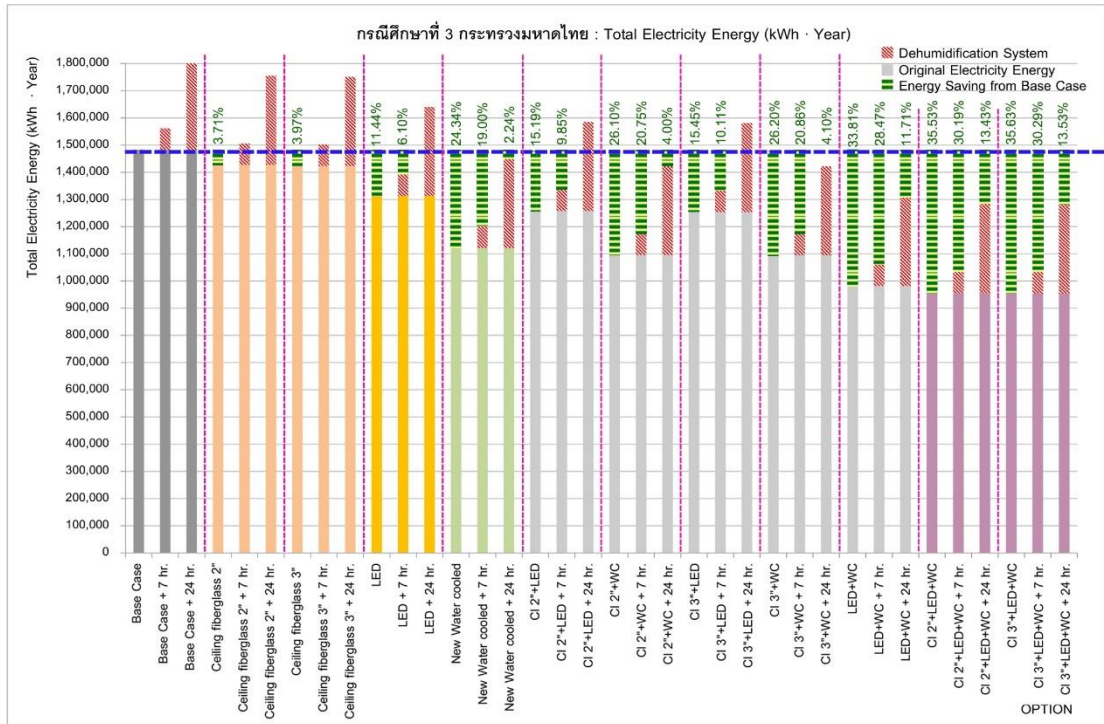
มีแนวทางทั้งหมด 35 แนวทาง ได้ผลดังตารางที่ 5.36 ถึงตารางที่ 5.37 และแผนภูมิที่ 5.27 ถึงแผนภูมิที่ 5.28

ตารางที่ 5.36 ผลที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3

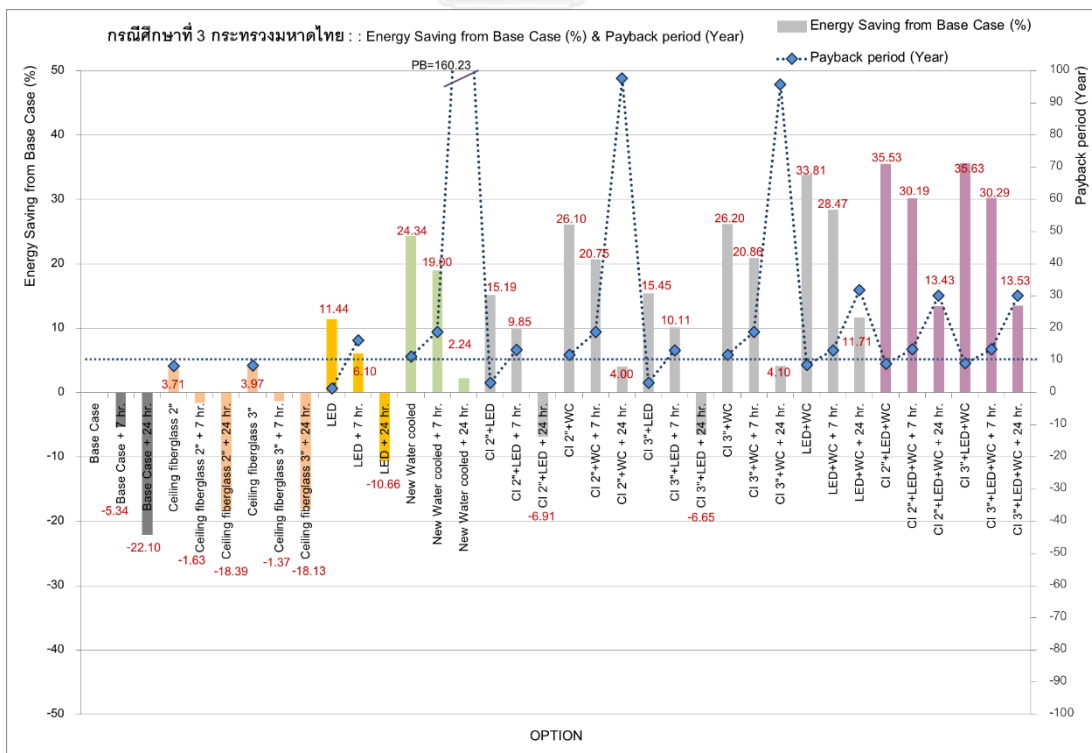
No.	Option	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	Energy Saving from Base Case (%)	Dehumidification System							
					Open 8.30 am - 4.30 pm				Open whole day			
					Electricity Energy (kWh · Year)	Energy increased from option (%)	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)	Electricity Energy (kWh · Year)	Energy increased from option (%)	Total Electricity Energy (kWh · Year)	Electricity Energy Save from Base case (kWh · Year)
-	Base Case	1,482,315			79,167	5.34	1,561,482		327,589	22.10	1,809,904	
1	Ceiling fiberglass 2"	1,427,298	55,017	3.71	79,167	5.55	1,506,465		327,589	22.95	1,754,887	
2	Ceiling fiberglass 3"	1,423,493	58,822	3.97	79,167	5.56	1,502,660		327,589	23.01	1,751,082	
3	LED	1,312,686	169,629	11.44	79,167	6.03	1,391,853	90,462	327,589	24.96	1,640,275	
4	New Water cooled	1,121,487	360,828	24.34	79,167	7.06	1,200,654	281,661	327,589	29.21	1,449,076	33,239
5	CI 2"+LED	1,257,212	225,103	15.19	79,167	6.30	1,336,379	145,936	327,589	26.06	1,584,801	
6	CI 2"+WC	1,095,498	386,817	26.10	79,167	7.23	1,174,665	307,650	327,589	29.90	1,423,087	59,228
7	CI 3"+LED	1,253,343	228,972	15.45	79,167	6.32	1,332,510	149,805	327,589	26.14	1,580,932	
8	CI 3"+WC	1,093,935	388,380	26.20	79,167	7.24	1,173,102	309,213	327,589	29.95	1,421,524	60,791
9	LED+WC	981,203	501,112	33.81	79,167	8.07	1,060,370	421,945	327,589	33.39	1,308,792	173,523
10	CI 2"+LED+WC	955,686	526,629	35.53	79,167	8.28	1,034,853	447,462	327,589	34.28	1,263,275	199,040
11	CI 3"+LED+WC	954,150	528,165	35.63	79,167	8.30	1,033,317	448,998	327,589	34.33	1,281,739	200,576

ตารางที่ 5.37 PB และ ROI ที่ได้จากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3

No.	Option	Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	Dehumidification System							
						Open 8.30 am - 4.30 pm				Open whole day			
						Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)	Initial cost (Baht)	Saving (Baht)	Payback period (Year)	ROI (%)
-	Base Case					5,739,500				5,739,500			
1	Ceiling fiberglass 2"	2,079,516	251,428	8.27	12.09	7,819,016				7,819,016			
2	Ceiling fiberglass 3"	2,244,191	268,817	8.35	11.98	7,983,691				7,983,691			
3	LED	995,600	775,205	1.28	77.86	6,735,100	413,410	16.29	6.14	6,735,100			
4	New Water cooled	18,600,000	1,648,984	11.28	8.87	24,339,500	1,287,189	18.91	5.29	24,339,500	151,902,413	160.23	0.62
5	CI 2"+LED	3,075,116	1,028,721	2.99	33.45	8,814,616	666,926	13.22	7.57	8,814,616			
6	CI 2"+WC	20,679,516	1,767,754	11.70	8.55	26,419,016	1,405,959	18.79	5.32	26,419,016	270,672,143	97.61	1.02
7	CI 3"+LED	3,239,791	1,046,402	3.10	32.30	8,979,291	684,607	13.12	7.62	8,979,291			
8	CI 3"+WC	20,844,191	1,774,897	11.74	8.52	26,583,691	1,413,102	18.81	5.32	26,583,691	277,815,053	95.69	1.05
9	LED+WC	19,595,600	2,290,082	8.56	11.69	25,335,100	1,928,287	13.14	7.61	25,335,100	793,000,293	31.95	3.13
10	CI 2"+LED+WC	21,675,116	2,406,695	9.01	11.10	27,414,616	2,044,900	13.41	7.46	27,414,616	909,612,983	30.14	3.32
11	CI 3"+LED+WC	21,839,791	2,413,714	9.05	11.05	27,579,291	2,051,919	13.44	7.44	27,579,291	916,632,503	30.09	3.32



แผนภูมิที่ 5.27 แสดงสรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุงร่วมกับการแก้ไข
ปัญหาความชื้นของอาคารกรณีศึกษาที่ 3



แผนภูมิที่ 5.28 แสดงสรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) เปรียบเทียบกับ
ระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ของแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาที่ 3

จากแผนภูมิข้างต้นพบว่าเมื่อใช้งานเครื่องดูดความชื้น

- รูปแบบที่ 1 คือใช้งานเฉพาะช่วงเวลาที่เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศคือตั้งแต่เวลา 8.30 น. ถึงเวลา 16.30 น. จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 5.34 – 8.30 %
- รูปแบบที่ 2 คือใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงพบว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 22.10 – 34.33 %

โดยแนวทางที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานมากที่สุดคือแนวทางที่ 11 การใส่ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานชั้นหลังคา + การเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิม + การเปลี่ยนจากระบบปรับอากาศจากเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ การใช้ทั้ง 3 แนวทางร่วมกันมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุดคือ 35.63 % จากอาคารอ้างอิง (Base case) และเมื่อใช้งานเครื่องดูดความชื้นทั้ง 2 รูปแบบร่วมด้วยจะประหยัดได้ 30.29 และ 13.53 % ตามลำดับ

ส่วนแนวทางเดิมที่มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์คือแนวทางการปรับปรุงที่ 5, 7, 10 และ 11 ที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ 2.99, 3.10, 9.01 และ 9.05 ปีนั้น เมื่อใช้งานเครื่องดูดความชื้นเฉพาะเวลาใช้งานเครื่องปรับอากาศระยะเวลาการคืนทุนจะเพิ่มขึ้นเป็น 13.22, 13.12, 13.41 และ 13.44 ปี และหากใช้งาน 24 ชั่วโมงจะเพิ่มขึ้นเป็น 30.14 และ 30.0 ปี ในแนวทางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ ซึ่งเครื่องดูดความชื้นนั้นมีอายุการใช้งานเครื่องอยู่ที่ 5 - 10 ปีเท่านั้น ดังนั้นการใช้งานเครื่องดูดความชื้นในอาคารกรณีศึกษาที่ 3 นี้จึงถือได้ว่าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

ผลการจำลองแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 พบว่าแนวทางที่มีประสิทธิภาพคือ แนวทางการใส่ฉนวนหนา 2 และ 3 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานชั้นหลังคา ซึ่งสอดคล้องกับ ดลยา ศิริปฐ (2548) ที่ศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการปรับปรุงการออกแบบอาคารภาครัฐเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และพบว่าผนังและหลังคาที่ติดตั้งฉนวนใยแก้ว 2 และ 3 นิ้วมีศักยภาพในด้านการประหยัดพลังงาน แต่สำหรับอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารกลับพบว่าแนวทางการใส่ฉนวนที่บริเวณผนังอาคารนั้นไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรเนื่องจากผนังอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารที่มีลักษณะเป็นผนังมวลอุณหภูมามีคุณสมบัติช่วยในการป้องกันความร้อนจากภายนอก และช่วยหน่วงความร้อนที่จะเข้ามาสู่ภายในอาคารได้ดีอยู่แล้ว ส่วนแนวทางการ

เปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 และ 3 และแนวทางการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจนเดิมในกรณีศึกษาที่ 2 ถือได้ว่ามีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและมีความคุ้มค่า ส่วนการเปลี่ยนจากระบบเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำของทั้ง 3 อาคารนั้นมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุดแต่มีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนาน คือ 18.01, 20.89 และ 11.28 ปีตามลำดับ ส่วนแนวทางในการแก้ไขปัญหาสภาพอากาศภายในอาคารด้วยการใช้เครื่องดูดความชื้นทั้งการเดินเครื่องเฉพาะเวลาใช้งานอาคารและการเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมงนั้น ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนทั้ง 3 อาคาร



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 การศึกษารวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นรวมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารกรณีศึกษา และส่วนที่ 2 การจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE 4.1 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวทางในการปรับปรุงอาคารในรูปแบบต่างๆว่าส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างไร รวมถึงเป็นแนวทางที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่ จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1 ปัญหาของอาคารกรณีศึกษา

โบราณสถานที่คัดเลือกมาเป็นอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารมีลักษณะการใช้สอยที่แตกต่างกัน คือ ใช้งานเป็นพิพิธภัณฑ์ ห้างสรรพสินค้า และอาคารสำนักงาน โดยทั้ง 3 อาคารใช้งานในช่วงเวลากลางวันเป็นหลัก จากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) พบว่าอาคารกรณีศึกษาที่ 1 และ 3 มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ทางกฎกระทรวง (พ.ศ. 2552) ได้กำหนดไว้ แต่อาคารกรณีศึกษาที่ 2 นั้นมีค่า RTTV เกินค่ามาตรฐาน และแม้ว่ากรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารมีลักษณะเป็นผนังมวลสารมาก ซึ่งจากการศึกษาของ สรญา ประวิตรางกูร (2543) ที่ได้ระบุว่าอาคารที่ปรับอากาศเวลากลางวันรวมทั้งอาคารที่ปรับอากาศตลอด 24 ชม. ควรใช้ผนังที่มีมวลสารมากสอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฐกานต์ เกษประทุม (2543) ที่ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมากและได้สรุปไว้ว่า อาคารไม่ปรับอากาศรวมถึงอาคารที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวันเหมาะกับการใช้ผนังมวลสารมาก แต่จากการดำเนินการสำรวจและติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อวัดค่าตัวแปร อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งภายใน และภายนอกอาคารกรณีศึกษา พบว่าสภาพอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคารไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและมีช่วงเวลาที่อยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม้ในช่วงเวลาที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศนั้นภายในอาคารโดยมากก็ไม่ได้อยู่ในสภาวะน่าสบาย อาจเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของอาคาร ทั้งโครงสร้างอาคาร วัสดุอาคาร ความสูง และขนาดของห้องที่อยู่ในภายในอาคาร หรือจากปัจจัยอื่นๆ โดยปัญหาหลักของทั้ง 3 อาคารคือ ปัญหาเรื่องของปริมาณความชื้นภายในอาคารที่สูงจนเกินกว่าภาระของเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานอยู่จะควบคุมได้

โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 1 หอศิลป์เจ้าฟ้าถือได้ว่าเป็นโบราณสถานที่มีช่วงเวลาอยู่ในสภาวะนำสลายน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปิ่นรัชฎ์ กาญจนษัฐติ (2552) ที่ได้ระบุสาเหตุการเสื่อมสภาพของโบราณสถานไว้ว่าอาคารเก่าที่เป็นอาคารก่ออิฐฉาบปูนนั้น มักประสบปัญหาในเรื่องความชื้นจากดิน (Rising damp) ผนังอาคารที่เป็นผนังรับน้ำหนักที่สัมผัสกับดินโดยตรงนั้น อาจเป็นสาเหตุหนึ่งในการนำความชื้นจากดินมาสู่บริเวณพื้นที่ใช้งานด้านบน ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ยังไม่สามารถระบุได้ว่าความชื้นจากดินนี้เป็นสาเหตุหลักหรือไม่ เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นอีกยกตัวอย่างเช่น น้ำฝน การรั่วซึมของอากาศภายนอกจากการเปิดประตูอาคารทิ้งไว้ หรือจากช่องว่างระหว่างผนังก่ออิฐและวงกบช่องเปิด ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการประหยัดพลังงานจึงควรหาวิธีการแก้ไขปัญหาสภาพอากาศภายในอาคารที่มีความชื้นสูงควบคู่ไปด้วย

6.2 ผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

มีรายละเอียดดังนี้

6.2.1 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

แบ่งแนวทางการปรับปรุงออกเป็น 3 เรื่องหลัก คือจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าแนวทางการปรับปรุงโดยการใส่ฉนวนใยแก้วที่บริเวณผนังอาคาร และฝ้าเพดานชั้นหลังคา รวมทั้งการเปลี่ยนกระจกบริเวณช่องแสงถือได้ว่าเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน จึงนำทั้ง 3 แนวทางนี้มาศึกษา ร่วมกับการปรับปรุงงานระบบอาคารเพิ่มเติม

(1.) องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม

- วัสดุกรอบอาคารส่วนผนังทึบ

ใส่ฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังด้านในอาคาร โดยเลือกใช้ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 16 kg/m^3 ที่ความหนา 1 นิ้ว และ 2 นิ้ว และเก็บความเรียบร้อยด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ดความหนา 9 มม.

- วัสดุกรอบอาคารช่องแสง (ประตูและหน้าต่าง)

จากการศึกษาพบว่ากรณีศึกษาที่ 1 และ 3 มีค่าอัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) เพียง 3.4 และ 9.6 เท่านั้น แต่สำหรับอาคารกรณีศึกษาที่ 2 นั้นมีค่า WWR เท่ากับ 18.1 จึงศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการปรับปรุงช่องเปิดโดยการเปลี่ยนกระจกโดยเลือกกระจกฉนวนกันความร้อนสี่ใสเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (กระจกใส 6 มม. เคลือบ Low-E + AS 12 มม. เติมหีทซาร์กอน + กระจกใส 6 มม.) เฉพาะกรณีศึกษาที่ 2 เท่านั้น

- วัสดุฝ้าเพดานชั้นหลังคา

ใส่ฉนวนกันความร้อนบริเวณเหนือฝ้าเพดานชั้นหลังคา โดยเลือกใช้ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 16 kg/m^3 ที่ความหนา 1 นิ้ว , 2 นิ้ว และ 3 นิ้ว

(2.) แนวทางการปรับปรุงระบบแสงสว่างภายในอาคาร

ใช้แนวทางการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอาคารกรณีศึกษาที่ 1 และ 3 และแนวทางการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจนเดิมในอาคารกรณีศึกษาที่ 2

(3.) แนวทางการปรับปรุงระบบปรับอากาศภายในอาคาร

แบ่งออกเป็น 2 แนวทางหลักคือ

- กรณีศึกษาที่ 1

1. เพิ่มประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเดิมและเปลี่ยนเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำทั้งหมด
2. เพิ่มค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

- กรณีศึกษาที่ 2

1. เปลี่ยนระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเดิมเป็น ระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ
2. เพิ่มค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

- กรณีศึกษาที่ 3

เปลี่ยนระบบแพ็คเกจยูนิตเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร

แนวทางการปรับปรุง				กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3
ผนังอาคาร	ปัจจุบัน	ผนังเดิม				
	แนวทางที่ 1	ผนังเดิม	ฉนวนใยแก้วหนา 1"	✓	✓	✓
	แนวทางที่ 2	ผนังเดิม	ฉนวนใยแก้วหนา 2"	✓	✓	✓
ฝ้าเพดานชั้นหลังคา	ปัจจุบัน	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.				
	แนวทางที่ 1	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 1"	✓	✓	✓
	แนวทางที่ 2	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 2"	✓	✓	✓
	แนวทางที่ 3	ยิปซัมบอร์ด 9 มม.	ฉนวนใยแก้วหนา 3"	✓	✓	✓
ช่องแสง	ปัจจุบัน	กระจกใส 6 มม.				
	แนวทางที่ 1	กระจก low e			✓	
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ปัจจุบัน	FLUORESCENT (+ HALOGEN)				
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยนเป็น LED		✓	✓	✓
ระบบปรับอากาศ	ปัจจุบัน	SPLIT+AIRCOOLED				
	แนวทางที่ 1	เปลี่ยน SPEC SPLIT TYPE		✓	✓	
	แนวทางที่ 2	เปลี่ยน SPEC AIR COOLED		✓		
	แนวทางที่ 3	เปลี่ยนเป็น WATER COOLED		✓	✓	✓

6.2.2 สรุปผลแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

แบ่งออกเป็น 2 ด้านดังนี้

(1.) ด้านพลังงาน

จากการจำลองแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.1 พบว่าการใส่ฉนวนใยแก้วหนา 1 และ 2 นิ้ว ที่บริเวณผนังภายในไม่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน เพราะความร้อนผ่านเข้ามาได้ไม่มากนัก เนื่องจากผนังเดิมเป็นผนังมวลคุณภาพซึ่งช่วยป้องกันความร้อนภายนอกและหน่วงความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคารได้คืออยู่แล้ว ส่วนการใส่ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานชั้นหลังคา มีผลต่อการประหยัดพลังงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับการใส่ฉนวนหนา 2 และ 3 นิ้วที่บริเวณฝ้าเพดานซึ่งมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานที่ใกล้เคียงกัน วิธีลดความร้อนภายในอาคารจะเห็นผลได้ชัดเจน เช่นแนวทางการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจนเดิม ถือได้ว่ามีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ส่วนการเปลี่ยนจากระบบเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำของทั้ง 3 อาคารนั้นมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุดทั้ง 3 อาคาร โดยมีรายละเอียดแต่ละอาคารดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 แนวทางการเปลี่ยนระบบปรับอากาศจากระบบเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุดคือ 20.69 % ส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศสามารถประหยัดพลังงานได้ 16.88 % แนวทางที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือแนวทางการใส่ฉนวนใยแก้ว หนา 2 และ 3 นิ้วบริเวณเหนือฝ้าเพดานชั้นหลังคาสามารถประหยัดพลังงานได้ 11.23 – 12.00 % และการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมสามารถประหยัดพลังงานได้ 10.10 %

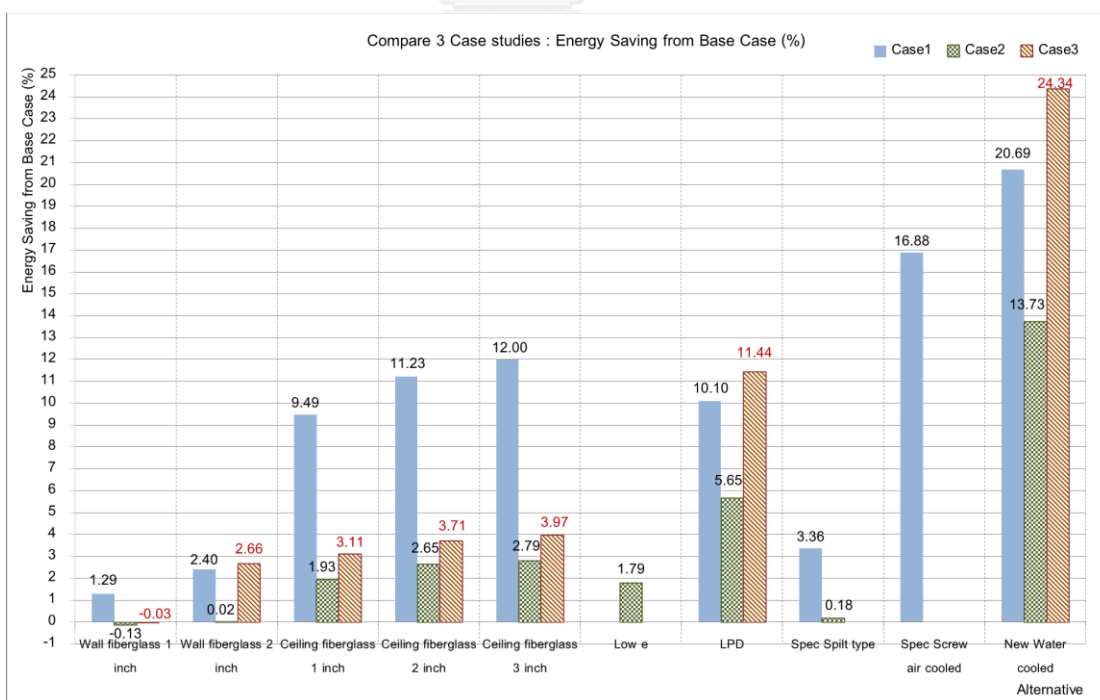
กรณีศึกษาที่ 2 แนวทางการเปลี่ยนระบบปรับอากาศจากระบบเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุดคือ 13.73 % ส่วนแนวทางที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจนเดิมสามารถประหยัดพลังงานได้ 5.65 % และแนวทางการใส่ฉนวนใยแก้ว หนา 2 และ 3 นิ้วบริเวณเหนือฝ้าเพดานชั้นหลังคาสามารถประหยัดพลังงานได้ 2.65 – 2.79 %

กรณีศึกษาที่ 3 แนวทางการเปลี่ยนระบบปรับอากาศจากระบบเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุดคือ 24.34 % ส่วนแนวทางที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมสามารถประหยัดพลังงานได้ 11.44 % และแนวทางการใส่ฉนวนใยแก้ว หนา 2 และ 3 นิ้วบริเวณเหนือฝ้าเพดานชั้นหลังคาสามารถประหยัดพลังงานได้ 3.71 – 3.97 %

รายละเอียดแสดงในตารางที่ 6.2 และแผนภูมิที่ 6.1

ตารางที่ 6.2 สรุปพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทาง
ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร

Alternative		Energy Saving from Base Case (%)		
		หอศิลป์ เจ้าฟ้า	ไอ. พี. เฟลต	กระทรวงมหาดไทย
Architecture				
Wall	fiberglass 1 inch	1.29		
	fiberglass 2 inch	2.40	0.02	2.66
Ceiling	fiberglass 1 inch	9.49	1.93	3.11
	fiberglass 2 inch	11.23	2.65	3.71
	fiberglass 3 inch	12.00	2.79	3.97
Opening	Low e		1.79	
Lighting				
LPD		10.10	5.65	11.44
Air Conditioning				
Spilt type		3.36	0.18	
Screw air cooled		16.88		
Water cooled		20.69	13.73	24.34



แผนภูมิที่ 6.1 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ในแต่ละแนวทางการปรับปรุง
ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร

(2) ด้านเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาแนวทางทั้งหมดพบว่าแนวทางการเปลี่ยนจากระบบเดิมเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำของทั้ง 3 อาคารนั้นมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุดแต่ต้องใช้งบลงทุนเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 18.01 ปีและ 20.89 ปีสำหรับอาคารกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 แต่กรณีศึกษาที่ 3 จะมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 11.28 ปี โดยมีรายละเอียดแต่ละอาคารดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 3.56 ปี แต่ในการคำนวณเงินลงทุนนั้นใช้ระบบการเดินท่อของเดิม เปลี่ยนเฉพาะเครื่องทำความเย็น (CHILLER) เท่านั้น ซึ่งหากดำเนินการจริงเงินลงทุนอาจมีปริมาณที่สูงกว่าเดิม และแนวทางการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมมีระยะเวลาคืนทุนใกล้เคียงกันที่ 3.94 ปี

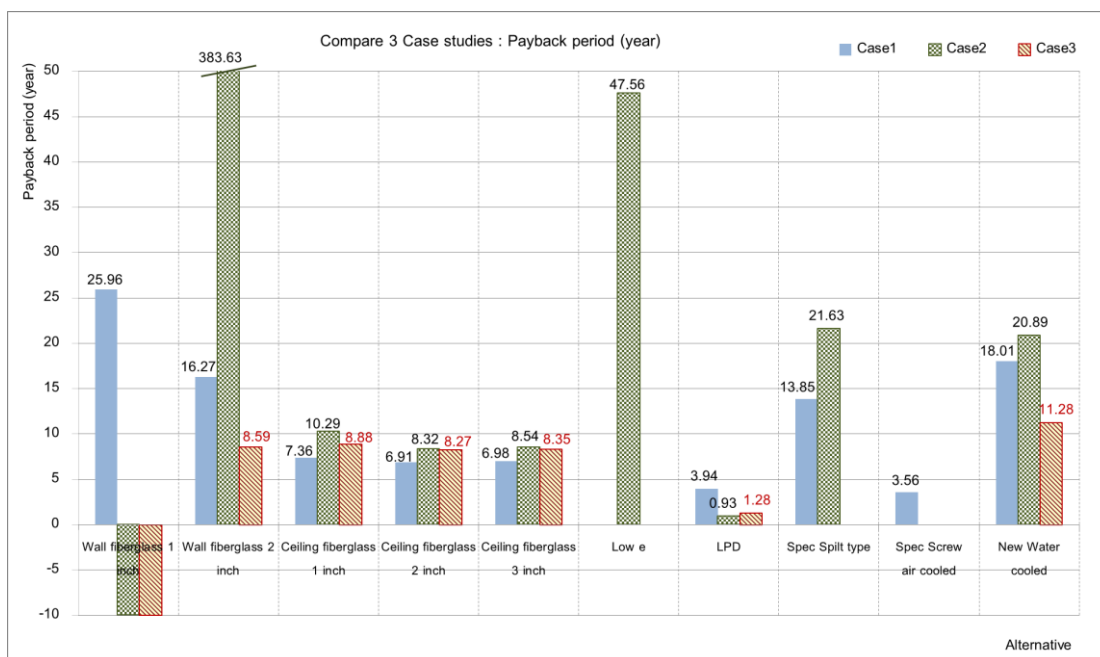
กรณีศึกษาที่ 2 แนวทางการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจนเดิม มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 1.28 ปี

กรณีศึกษาที่ 3 แนวทางการเปลี่ยนหลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 0.93 ปี

รายละเอียดแสดงในตารางที่ 6.3 และแผนภูมิที่ 6.2

ตารางที่ 6.3 สรุประยะเวลาคืนทุน (ปี) แต่ละแนวทางของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร

Alternative		Payback period (year)		
		หอศิลป์ เจ้าฟ้า	ไอ. พี. เพลส	กระทรวงมหาดไทย
Architecture				
Wall	fiberglass 1 inch	25.96	-	-
	fiberglass 2 inch	16.27	383.68	8.59
Ceiling	fiberglass 1 inch	7.36	10.29	8.88
	fiberglass 2 inch	6.91	8.32	8.27
	fiberglass 3 inch	6.98	8.54	8.35
Opening	Low e		47.56	
Lighting				
LPD		3.94	0.93	1.28
Air Conditioning				
Spilt type		13.85	21.63	
Screw air cooled		3.56		
Water cooled		18.01	20.89	11.28



แผนภูมิที่ 6.2 แสดงระยะเวลาการคืนทุน (ปี) ในแต่ละแนวทางการปรับปรุง
ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร

6.3 การพิจารณาแนวทางที่มีประสิทธิภาพพร้อมกันกับการแก้ไขปัญหาความชื้น

ในการพิจารณาแนวทางการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพพร้อมกันจะตัดแนวทางที่ไม่มีประสิทธิภาพออก โดยจะพิจารณาร่วมกับการใช้งานเครื่องดูดความชื้นเพื่อแก้ไขปัญหาความชื้นภายในอาคาร โดยแบ่งศึกษาเป็น 2 แนวทางคือ เปิดเฉพาะเวลาใช้งานอาคารและเปิดตลอด 24 ชั่วโมง อาคารกรณีศึกษาที่ 1 มีแนวทางรวมทั้งหมด 95 แนวทาง ส่วนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 จะได้แนวทางการปรับปรุงร่วมกันทั้งหมดอาคารละ 35 แนวทาง ได้ผลการคำนวณดังนี้

รูปแบบที่ 1 คือใช้งานเฉพาะช่วงเวลาที่เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศพบว่า

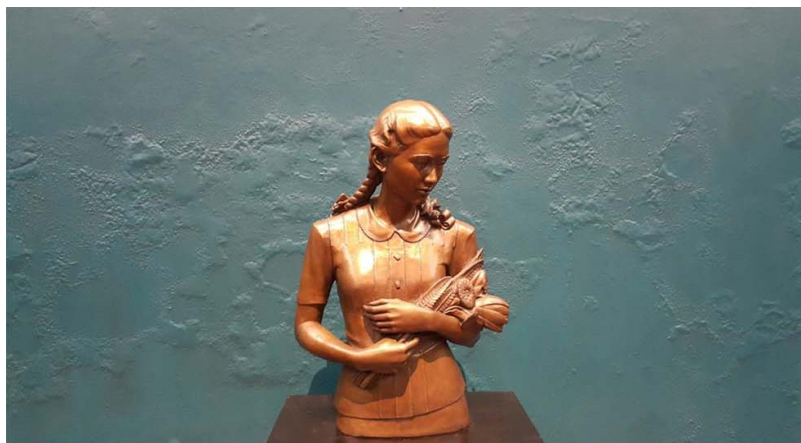
- **กรณีศึกษาที่ 1** ใช้งานเฉพาะช่วงเวลาที่เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศคือตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทาง ตั้งแต่ 9.85 – 16.64 %
- **กรณีศึกษาที่ 2** ใช้งานเฉพาะช่วงเวลาที่เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศคือตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึงเวลา 19.00 น. จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทาง ตั้งแต่ 5.24 – 6.72 %
- **กรณีศึกษาที่ 3** ใช้งานเฉพาะช่วงเวลาที่เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศคือตั้งแต่เวลา 8.30 น. ถึงเวลา 16.30 น. จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทาง ตั้งแต่ 5.34 – 8.30 %

รูปแบบที่ 2 คือใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงพบว่า

- **กรณีศึกษาที่ 1** พบว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 46.57 – 78.66 %
- **กรณีศึกษาที่ 2** พบว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 14.14 – 18.14 %
- **กรณีศึกษาที่ 3** พบว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแต่ละแนวทางตั้งแต่ 22.10 – 34.33 %

เมื่อคำนวณทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติม พบว่าทั้งแนวทางที่ 1 คือเปิดเฉพาะเวลาใช้งานอาคาร และแนวทางที่ 2 คือเปิดตลอด 24 ชั่วโมงของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากระยะเวลาการคืนทุนของแต่ละแนวทางจะมีค่าอยู่ที่ 10 ปีขึ้นไป ในขณะที่เครื่องดูดความชื้นแบบทั่วไป หรือแบบคอมเพรสเซอร์นั้น มีอายุการใช้งานเครื่องเพียงแค่ 5 - 10 ปี เท่านั้น

จากการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าโบราณสถานที่น่าสนใจมาเป็นกรณีศึกษาทั้ง 3 อาคาร สามารถประหยัดพลังงานได้ถ้าหากว่าสภาพอากาศภายในอาคารไม่มีปัญหาในเรื่องของความชื้น เพราะเมื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาคความชื้นก็จะส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้งานเครื่องดูดความชื้นเพื่อช่วยรีดความชื้นภายในอาคารออก ซึ่งมีค่าการใช้งานและการบำรุงรักษา (Operation and Maintenance) สูงมาก ซึ่งปัญหาเรื่องความชื้นนั้นถือเป็นปัญหาสำคัญที่ควรหาทางแก้ไขโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้งานเป็นพิพิธภัณฑ์ เพราะอาคารที่ใช้งานเป็นพิพิธภัณฑ์นั้นสภาพอากาศภายในพื้นที่ใช้งานจะส่งผลต่อผลงานที่จัดแสดงโดยตรง ดังภาพที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าผนังอาคารส่วนหนึ่งเสียหายเนื่องจากความชื้น



ภาพที่ 6.1 สภาพปัญหาภายใน พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์ ปัจจุบัน

จากการศึกษาของ Camuffo, Bernardi, Sturaro, and Valentino (2002) พบว่าความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่ใช้งานเป็นพิพิธภัณฑ์นั้น เป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญมากที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับโบราณสถาน ซึ่งภายหลัง Mueller (2013) ได้ระบุว่าสภาพอากาศที่เหมาะสมกับอาคารที่มีการใช้งานเป็นพิพิธภัณฑ์นั้น อุณหภูมิภายในที่เหมาะสมคือ 21 °C โดยต้องไม่มีความผันผวนมากไปกว่า ± 3 °C ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมคือ 55 % โดยต้องไม่มีความผันผวนมากไปกว่า ± 5 % ดังนั้นหากต้องการให้ไม่มีความผันผวนทางหอดูดาวจำเป็นต้องดำเนินการเปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งวิธีดังกล่าวย่อมส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นในปริมาณมาก เมื่อเทียบกับแนวทางการเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็นระบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงก็จะมีระยะเวลาการคืนทุนที่ยาวนานกว่าเดิม สำหรับเกณฑ์มาตรฐานการประเมินอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพิพิธภัณฑ์นั้นทาง ASHRAE (2011) ก็ได้แบ่งเกณฑ์การประเมินเป็น 5 ระดับ ตามระดับความเสี่ยงต่อความเสียหายของชิ้นงานจัดแสดง ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับพิพิธภัณฑ์ตามมาตรฐาน (ASHRAE, 2011)

Type	Set Point or Annual Average	Maximum Fluctuations and Gradients in Controlled Spaces			Collection Risks and Benefits
		Class of Control	Short Fluctuations plus Space Gradients	Seasonal Adjustments in System Set Point	
General Museums, Art Galleries, Libraries, and Archives	50% rh (or historic annual average for permanent collections)	AA Precision control, no seasonal changes, with system failure fallback	$\pm 5\%$ rh, ± 2 K	Relative humidity no change Up 5 K; down 5 K	No risk of mechanical damage to most artifacts and paintings. Some metals and minerals may degrade if 50% rh exceeds a critical relative humidity. Chemically unstable objects unusable within decades.
All reading and retrieval rooms, rooms for storing chemically stable collections, especially if mechanically medium to high vulnerability.	Temperature set between 15 and 25°C Note: Rooms intended for loan exhibitions must handle set point specified in loan agreement, typically 50% rh, 21°C, but sometimes 55% or 60% rh.	A Precision control, some gradients or seasonal changes, not both, with system failure fallback	$\pm 5\%$ rh, ± 2 K	Up 10% rh, down 10% rh Up 5 K; down 10 K	Small risk of mechanical damage to high-vulnerability artifacts; no mechanical risk to most artifacts, paintings, photographs, and books. Chemically unstable objects unusable within decades.
		B Precision control, some gradients plus winter temperature setback	$\pm 10\%$ rh, ± 2 K	RH no change Up 5 K; down 10 K	
		C Prevent all high-risk extremes	$\pm 10\%$ rh, ± 5 K	Up 10%, down 10% rh Up 10 K, but not above 30°C	Moderate risk of mechanical damage to high-vulnerability artifacts; tiny risk to most paintings, most photographs, some artifacts, some books; no risk to many artifacts and most books. Chemically unstable objects unusable within decades, less if routinely at 30°C, but cold winter periods double life.
		D Prevent dampness	Within 25 to 75% rh year-round Temperature rarely over 30°C, usually below 25°C	Reliably below 75% rh	High risk of mechanical damage to high-vulnerability artifacts; moderate risk to most paintings, most photographs, some artifacts, some books; tiny risk to many artifacts and most books. Chemically unstable objects unusable within decades, less if routinely at 30°C, but cold winter periods double life.

โดยหากค่าความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่ใช้งานเป็นไปตามตารางในระดับ AA ชิ้นงานจัดแสดงถือว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพ เว้นแต่ประเภทชิ้นงานที่มี

ส่วนผสมของโลหะและแร่ธาตุซึ่งอาจเสื่อมสภาพได้หากค่าความชื้นสัมพัทธ์เกินกว่าที่กำหนดไว้ และจะเริ่มมีความเสียหายมากขึ้นเรื่อยๆเมื่ออยู่ในระดับ A ถึงระดับ D จากการศึกษารายงาน การศึกษาโบราณสถานที่ยื่นทะเบียนในกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2554 ของกองนโยบายและ แผนงาน สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร พบว่ามีโบราณสถานที่มีลักษณะโครงสร้างแบบผนังรับ น้ำหนักที่ยื่นทะเบียนและใช้งานเป็นพิพิธภัณฑสถานในปัจจุบันอยู่จำนวนหนึ่ง ดังตารางที่ 6.5 และ ภาพที่ 6.2 ถึงภาพที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 โบราณสถานที่ยื่นทะเบียนและใช้งานเป็นพิพิธภัณฑสถานในปัจจุบัน

ลำดับที่	รายชื่อ	ที่ตั้ง		ประกาศราชกิจจานุเบกษา	
		แขวง	เขต		
90	โรงกษาปณ์ (หอศิลป์เจ้าฟ้า)	ชนะสงคราม	พระนคร	เล่ม 95 ตอน 98	19 กันยายน 2521
104	วังเทวะเวสม์	วัดสามพระยา	พระนคร	เล่ม 104 ตอน 18	1 กุมภาพันธ์ 2530
121	พระตำหนักสวนจิตรลดา วังปารุสกวัน	ดุสิต	ดุสิต	เล่ม 106 ตอน 26	14 กุมภาพันธ์ 2532
				เล่ม 117 ตอน 104ง	9 ตุลาคม 2543
128	กรมโยธาธิการ (อาคารหลังเก่า)	บ้านบาตร	ป้อมปราบศัตรูพ่าย	เล่ม 112 ตอน 59ง	25 กรกฎาคม 2538
168	วังบางขุนพรหม (ธนาคารแห่งประเทศไทย)	บางขุนพรหม	พระนคร	เล่ม 118 ตอน 113ง	14 พฤศจิกายน 2544
185	กระทรวงพาณิชย์	พระบรมมหาราชวัง	พระนคร	เล่ม 122 ตอน 126ง	7 พฤศจิกายน 2548



ภาพที่ 6.2 พิพิธภัณฑสถานธนาคารแห่งประเทศไทย วังบางขุนพรหม และวังเทวะเวสม์ ในปัจจุบัน

ที่มา : ธนาคารแห่งประเทศไทย (2559)



ภาพที่ 6.3 พิพิธภัณฑสถานตำรวจ วังปารุสกวัน ในปัจจุบัน

ที่มา : พิพิธภัณฑสถานตำรวจ วังปารุสกวัน (2559)



ภาพที่ 6.4 พิพิธภัณฑสถานพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว ในปัจจุบัน
ที่มา : พิพิธภัณฑสถานพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว (2559)



ภาพที่ 6.5 พิพิธภัณฑสถานการเรียนรู้แห่งชาติ (มิวเซียมสยาม) ในปัจจุบัน
ที่มา : สถาบันพิพิธภัณฑสถานการเรียนรู้แห่งชาติ (2559)

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่ามีโครงการบูรณะโบราณสถานแล้วเปลี่ยนประโยชน์ใช้สอยเป็นพิพิธภัณฑสถานแบบประเทศทางตะวันตกกันมากขึ้น แต่จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าอาคารเก่าที่มีโครงสร้างในแบบผนังรับน้ำหนักที่ได้รับอิทธิพลจากประเทศทางตะวันตกซึ่งมีภูมิอากาศแตกต่างจากประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นนั้น มีปัญหาในเรื่องของความชื้น เนื่องจากการจัดแสดงนิทรรศการภายในอาคารโดยมากจัดแสดงในพื้นที่ปิดและใช้งานเครื่องปรับอากาศวิธีแก้ไขปัญหาคือการใช้เครื่องดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อปรับปรุงสภาพอากาศภายในห้องจัดแสดงให้มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ แต่ก็นำมาซึ่งการใช้พลังงานที่มากขึ้นเช่นกัน แต่หากปรับปรุงอาคารให้ประหยัดพลังงานได้แล้วก็สามารถนำจำนวนเงินที่ประหยัดได้นั้นมาจัดสรรเป็นงบประมาณเพื่อไปดูแลอาคารทางด้านอื่นต่อไปได้ การพิจารณาแนวทางการใช้งานอาคารในรูปแบบการใช้งานที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ และทำให้อากาศภายในเกิดการหมุนเวียนมากขึ้น จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำหนดประโยชน์ใช้สอยใหม่สำหรับโบราณสถานที่มีโครงสร้างแบบผนังรับน้ำหนัก

6.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทั้งหมดมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการศึกษาเพิ่มเติมจำนวน 3 หัวข้อดังนี้

6.4.1 การศึกษาเพิ่มเติมเพื่อระบุที่มาของความชื้น

แม้ว่าจากการศึกษาจะพบว่าอาคารกรณีศึกษามีปัญหาในเรื่องความชื้นภายในอาคาร จากการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นระหว่างอากาศภายนอกและภายในอาคารพบว่า มีบางช่วงเวลาที่อากาศภายในมีปริมาณความชื้นสูงกว่าอากาศภายนอก แม้ว่าจากการศึกษาของ ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัฐติ (2552) ที่ได้ระบุสาเหตุการเสื่อมสภาพของโบราณสถานไว้ว่าอาคารเก่าที่เป็นอาคารก่ออิฐฉาบปูนนั้น มักประสบปัญหาในเรื่องความชื้นจากดิน (Rising damp) ส่งผลให้เกิดคราบเกลือและผนังปูนแตกกร้าว แต่ในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่สามารถระบุได้ถึงที่มาของความชื้นภายในอาคารได้ เพราะการที่เปิดประตูหรือหน้าต่างทิ้งไว้ตลอดเวลา หรือแม้แต่ช่องว่างระหว่างผนังทึบและวงกบหน้าต่างก็อาจส่งผลให้ความชื้นจากอากาศภายนอกรั่วซึมเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งถือเป็นการเพิ่มเติมปริมาณความชื้นให้แก่ภายในอาคารเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่ง ดังนั้นจึงควรดำเนินการตรวจวัดปริมาณความชื้นในผนังที่ระดับความสูงต่างๆกันเพิ่มเติม รวมทั้งดำเนินการตรวจสอบอัตราการรั่วซึมของอากาศด้วยวิธีทางวิศวกรรม เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดความชื้นภายในอาคารที่แท้จริงต่อไป

6.4.2 การศึกษาแนวทางการตัดความชื้นร่วมกับระบบทางวิศวกรรม

การควบคุมความชื้นของอากาศภายในอาคารอาจจะใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาระดับความชื้นภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้แต่ต้องใช้ระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งถือได้ว่าสิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก และอีกแนวทางหนึ่งคือใช้ระบบลดความชื้น (Dehumidification System) ร่วมกับระบบปรับอากาศเพื่อช่วยเรื่องการควบคุมความชื้นและช่วยลดภาระของระบบปรับอากาศ จากการศึกษพบว่าต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนค่อนข้างมากเช่นกัน แต่การบูรณะอาคารโบราณสถานในปัจจุบันนั้น ส่วนหนึ่งได้มีการแก้ปัญหาในส่วนความชื้นจากดินด้วยวิธีสร้างทางระบายอากาศ เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการระเหยของความชื้นบริเวณผนังและใต้พื้นออก โดยพยายามหลีกเลี่ยงการที่จะทำให้โครงสร้างของโบราณสถานเกิดการบอบช้ำ และพยายามคงสภาพวัสดุอาคารดั้งเดิมไว้ วิธีดำเนินการตัดลดความชื้นจะกระทำโดยการอัดน้ำยาป้องกันความชื้นเข้าไปในผนังของโบราณสถาน โดยในบางอาคารจะเพิ่มช่องระบายอากาศบริเวณฐานอาคารเพื่อช่วยระบายความชื้น การใช้วิธีการตัดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบลดความชื้นจึงเป็นแนวทางที่ควรศึกษาต่อไป

6.4.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds : VOCs) เพื่อประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารเพิ่มเติม

สำหรับการติดตั้งเครื่องมือเพื่อประเมินสภาพอากาศภายในอาคารของทั้ง 3 กรณีศึกษาในการวิจัยครั้งนี้เน้นวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์เป็นหลัก โดยได้ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มเติมภายในอาคารกรณีศึกษาที่ 3 อาคารกระทรวงมหาดไทยที่ใช้งานในลักษณะของสำนักงาน ยังไม่ได้ศึกษาในเรื่องของปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย หรือสาร VOCs ที่สะสมภายในอาคารซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรค Sick building syndrome สาร VOCs เป็นกลุ่มสารประกอบเคมีอินทรีย์ที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้องทำให้เกิดการฟุ้งกระจายและรื้อซึม การได้รับสัมผัสที่ความเข้มข้นต่ำก่อให้เกิดการระคายเคืองตา จมูก คอ หรือมีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน สาร VOCs บางกลุ่มมีแนวโน้มว่าเป็นสารก่อมะเร็ง สาร VOCs เกิดได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น การรื้อซึมของมลพิษจากอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร (พัชราวดี สุวรรณธาดา, 2557) วัสดุก่อสร้างบางประเภท คน กิจกรรม หรือแม้แต่อุปกรณ์อาคารต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันกำลังเป็นปัญหาที่กำลังได้รับความสนใจจากองค์กรที่เกี่ยวข้องทางด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องตรวจวัดเพื่อประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารเพิ่มเติม

ภาคผนวก

รายละเอียดการคำนวณจำนวนเครื่องดูดความชื้นแบบคอมเพรสเซอร์ภายในอาคาร

คุณสมบัติของเครื่องดูดความชื้น

ชนิดเครื่องดูดความชื้น	ขนาดพื้นที่ใช้งาน (ตารางเมตร)	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์)	ราคา (บาท)
A	30	760	18,900
B	50	920	26,900
C	80	1,100	38,900
D	120	1,480	49,900
E	150	2,600	129,000
F	180	2,400	139,000
G	200	4,200	159,000
H	300	5,730	189,000

มีรายละเอียดดังนี้แต่ละอาคารดังนี้

1. อาคารกรณีศึกษาที่ 1 : พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ หอศิลป์

ส่วนจัดแสดง เปิดเวลา 9.00-16.00 น.				
พื้นที่ (ตารางเมตร)	จำนวน (ห้อง)	พื้นที่รวม (ตารางเมตร)	ปริมาตรอากาศ ภายในห้อง (ลูกบาศก์เมตร)	ชนิดเครื่องดูด ความชื้น
21	1	21	126	B
42	1	42	252	C
63	1	63	378	D
75	2	150	900	(E)X2
93	1	93	558	G
95	1	95	570	G
115	1	115	690	DX2
124	1	124	744	DX2
125	1	125	750	DX2
130	1	130	780	DX2
135	1	135	810	H
170	1	170	1,020	FX2
190	1	190	570	G
190	2	380	2,280	(GX2)X2
196	1	196	1,176	GX2
230	1	230	1,380	E,H
310	1	310	930	H
494	1	494	2,964	GX5
ส่วนโถง เปิดเวลา 9.00-16.00 น.				
45	1	45	270	D
92	1	92	552	F
ส่วนคลัง เปิด 24 ชั่วโมง				
75	1	75	225	C
120	1	120	720	DX2

2. อาคารกรณีศึกษาที่ 2 : โอ. พี.เพลส

พื้นที่เช่าเปิดเวลา 9.00-19.00 น. (ปัจจุบันเปิดใช้งาน)				
พื้นที่ (ตารางเมตร)	จำนวน (ห้อง)	พื้นที่รวม (ตารางเมตร)	ปริมาตรอากาศ ภายในห้อง (ลูกบาศก์เมตร)	ชนิดเครื่องดูด ความชื้น
18	1	18	54	A
22	2	44	132	(A)X2
23	1	23	69	A
26	1	26	78	A
28	5	140	420	(A)X5
32	4	128	384	(A)X4
34	2	68	204	(A)X2
35	4	140	420	(A)X4
36	8	288	864	(A)X8
37	1	37	111	B
38	1	38	114	B
46	2	92	276	(B)X2
49	1	49	147	B
50	2	100	300	(B)X2
52	3	156	468	(B)X3
56	1	56	168	AX2
59	1	59	177	AX2
60	1	60	180	AX2
77	1	77	231	C
พื้นที่เช่าเปิดเวลา 9.00-19.00 น. (ปัจจุบันปิดใช้งาน)				
28	1	28	84	A
30	1	30	90	A
38	2	76	228	(B)X2
39	2	78	234	(B)X2
46	1	46	138	B
48	1	48	144	B
49	1	49	147	B
50	1	50	150	B
56	1	56	168	AX2
60	1	60	180	AX2
66	1	66	198	AX2
77	1	77	231	C
พื้นที่ส่วนกลาง 9.00-19.00 น.				
564	1	564	1,692	FX3
628	1	628	1,884	GX3
556	1	556	1,668	HX2
425	1	425	1,275	GX2
80	2	160	480	(C)x2

3. อาคารกรณีศึกษาที่ 3 : กระทรวงมหาดไทย

สำนักงาน 8.30-16.30 น.				
พื้นที่ (ตารางเมตร)	จำนวน (ห้อง)	พื้นที่รวม (ตารางเมตร)	ปริมาตรอากาศ ภายในห้อง (ลูกบาศก์เมตร)	ชนิดเครื่องดูด ความชื้น
7	3	21	109	(A)X3
8	6	48	248	(A)X6
9	5	45	233	(A)X5
10	4	40	207	(A)X4
11	4	44	228	(A)X4
12	5	60	311	(A)X5
14	1	14	72	(A)X1
15	5	75	388	(A)X5
16	16	256	1,325	(A)X16
17	3	51	264	(A)X3
18	11	198	1,025	(A)X11
19	6	114	590	(A)X6
20	6	120	621	(A)X6
21	4	84	435	(A)X4
22	2	44	228	(B)X2
23	3	69	357	(B)X3
25	12	300	1,553	(B)X12
26	2	52	269	(B)X2
27	2	54	279	(B)X2
28	2	56	290	(B)X2
29	1	29	150	B
30	3	90	466	(B)X3
31	1	31	160	B
32	3	96	497	(AX2)X3
33	9	297	1,537	(AX2)X9
35	3	105	543	(AX2)X3
36	1	36	186	AX2
37	1	37	191	AX2
40	1	40	207	C
44	1	44	228	C
45	1	45	233	C
46	1	46	238	C
48	3	144	745	(C)X3
50	3	150	776	(C)X3
51	1	51	264	C
52	2	104	538	(C)X2
54	2	108	559	(BX2)X2
55	3	165	854	(BX2)X3
58	2	116	600	(BX2)X2
65	2	130	673	(D)X2
70	2	140	725	(D)X2
77	1	77	398	D
81	1	81	419	E
84	1	84	435	E
93	1	93	481	E
106	1	106	549	F
110	1	110	569	F
115	2	230	1,190	(G)X2
140	2	280	1,449	(DX2)X2
185	2	370	1,915	(G,D)X2
230	1	230	1,190	GX2
60	1	60	23,909	AX2
66	1	66	26,299	AX2
77	1	77	30,683	C

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

แก้วกนก สุดจริง และ ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2555). การควบคุมความชื้นในอาคารโดยผนังอาคาร.

วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 11(52-61).

กฎกระทรวง. (2552). กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และ

วิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552. ราชกิจจานุเบกษา,

เล่มที่ 126(ตอนที่ 12 ก).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). เครื่องวัดความชื้น

และส่วนประกอบของระบบวัดความชื้นชนิดกึ่งอัตโนมัติ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www2.dede.go.th/> [5 เมษายน 2559].

กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2558). ข้อมูลสภาพอากาศ

ของกรุงเทพมหานคร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.tmd.go.th/index.php/>

[15 พฤศจิกายน 2558].

กวิณ วิฑูรพงศ์. (2556). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสีป้องกันความร้อนผสมอนุภาคซิลิกา กับ

วิธีการป้องกันความร้อนอื่น ๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ,

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กองนโยบายและแผนงาน สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร. (2558). รายงานการศึกษาโบราณ

สถานที่ขึ้นทะเบียนในกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2554. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

http://cpd.bangkok.go.th:90/web2/strategy/DATA54/AN_BKK54.pdf/

[7 พฤษภาคม 2558].

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://fmectt.lecturer.eng.chula.ac.th/> [20 พฤษภาคม 2559].

ณัฐกานต์ เกษประทุม. (2543). พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรม

ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดลยา ศิริปัฐ. (2548). แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัด

พลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา.

- วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตริ้งใจ บุญสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน.
กรุงเทพมหานคร: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2559). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.bot.or.th/>
[5 มิถุนายน 2559].
- บริษัท โฟลด์ติ้ง เกท จำกัด. (2559). รายละเอียดเครื่องดูดความชื้น. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
<http://modernkool.com/> [5 เมษายน 2559].
- ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัฐิ. (2552). การอนุรักษ์มรดกสถาปัตยกรรมและชุมชน กรุงเทพมหานคร:
โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พระราชบัญญัติโบราณสถาน โบราณวัตถุศิลปวัตถุ และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ (ฉบับที่ 2).
(2535). ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 109 (ตอนที่ 38).
- พัชรราวดี สุวรรณธาดา. (2557). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ.
ในโครงการเพิ่มศักยภาพบุคลากร สสภ. ด้านการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง,
25 มีนาคม 2557 ณ โรงแรมหลุยส์ แทเวิร์น กรุงเทพมหานคร.
- พิพิธภัณฑ์ตำรวจ วังปารุสกวัน. (2559). รูปถ่ายพิพิธภัณฑ์ตำรวจ วังปารุสกวันในปัจจุบัน.
[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.policemuseum.police.go.th/> [5 มิถุนายน 2559].
- พิพิธภัณฑ์พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว. (2559). รูปถ่ายพิพิธภัณฑ์พระบาทสมเด็จพระ
ปกเกล้าเจ้าอยู่หัว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
<http://kpi2.kpi.ac.th/kingprajadhipokmuseum/index.php/> [5 มิถุนายน 2559].
- ภัทร์ สีสัมพรโรจน์. (2545). แนวทางการอนุรักษ์โบราณสถานเพื่อใช้ประโยชน์ใหม่ กรณีศึกษา :
พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติหอศิลป์ พิพิธภัณฑ์ธนาคารแห่งประเทศไทย และพิพิธภัณฑ์
พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต,
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลลิตา บุญมี. (2555). แนวทางการปรับปรุงสถาปัตยกรรมสมัยใหม่ กลุ่มอาคารราชดำเนิน :
กรณีศึกษา อาคารนิทรรศน์รัตนโกสินทร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต,
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ศานิส ยี่โกษา. (2553). แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารศาลากลาง
ด้วยการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ,
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภมาศ วิชัยสินธุ์ และ ทศพล เขตเจนการ. (2555). การปรับปรุงแบบจำลองในการทำนาย
ประสิทธิผลของกระบวนการดูดความชื้นอากาศ. ใน การประชุมวิชาการเครือข่าย
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, หน้า 169-170. 24-27 ตุลาคม 2555
ณ โรงแรมดุสิต ไฮส์แลนด์ รีสอร์ท จังหวัดเชียงใหม่.
- สถาบันพิพิธภัณฑ์การเรียนรู้แห่งชาติ. (2559). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
<https://www.museumsiam.org/> [5 มิถุนายน 2559].
- สรญา ประวิตรางกูร. (2543). อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและการ
การปรับอากาศในการออกแบบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ,
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สฤกกา พงษ์สุวรรณ. (2552). แนวทางการใช้ฉนวนเชิงบูรณาการสำหรับอาคารในภูมิภาคร้อนชื้น.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรม
ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุดตาภา ใจแสน และ อรรถน ศรีธรรมบุตร. (2556). การวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากขั้นตอน
การรีไซเคิลอาคารและการทำลายอาคาร. วารสารโครงการประชุมวิชาการประจำปี 2556,
95-100.
- สุรพล เดชพล. (2552). แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร
สำนักงานราชการกรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรียน ศิริธรรมปิติ. (2542). ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมในโบราณสถาน : กรณีศึกษา
พระอุโบสถ วัดกำแพง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิขญา อธิคมบัณฑิตกุล และ อรรถน ศรีธรรมบุตร. (2556). การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนหลังคาทั่วไป. วารสารโครงการ
ประชุมวิชาการ ประจำปี 2556 3-9.

ภาษาอังกฤษ

- Air-conditioner-selection.com. (2559). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.air-conditioner-selection.com/comfort-zone-air-conditioner-sizing.html/> [20 พฤษภาคม 2559].
- ASHRAE. (2011). Museums, galleries, archives, and libraries. In: Heating, Ventilating, and Air-conditioning Applications (Chapter 23). Atlanta : American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers Inc.
- Balocco, C., & Grazzini, G. (2007). Plant refurbishment in historical buildings turned into museum. *Energy and Buildings* 39, 693-701.
- Bellia, L., d' Ambrosio Alfano, F. R., Giordano, J., Lanniello, E., & Riccio, G. (2015). Energy requalification of a historical building: A case study. *Energy and Buildings* 95, 184-189.
- Berardinis, P. D., Rotilio, M., Marchionni, C., & Friedman, A. (2014). Improving the energy-efficiency of historic masonry buildings. A case study: A minor centre in the Abruzzo region, Italy. *Energy and Buildings* 80, 415-423.
- Busch, J. F. (1992). A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. *Energy and Buildings*, 18, 235-249.
- Buvik, K., Andersen, G., & Tangen, S. (2014). Ambitious renovation of a historical school building in cold climate. *Energy Procedia* 48, 1442-1448.
- Camuffo, D., Bernardi, A., Sturaro, G., & Valentino, A. (2002). The microclimate inside the Pollaiolo and Botticelli rooms in the Uffizi Gallery, Florence. *Journal of Cultural Heritage*, 3, 155-161.
- Harrestrup, M., & Svendsen, S. (2015). Full-scale test of an old heritage multi-storey building undergoing energy retrofitting with focus on internal insulation and moisture. *Buildings and Environment*, 85, 123-133.
- Lourenco, P. B., Luso, E., & Almeida, M. G. (2006). Defects and moisture problems in buildings from historical city centres: a case study in Portugal. *Buildings and Environment*, 41, 223-234.

- Moschella, A., Salwemi, A., Lo, F. A., Sanfilippo, G., Detommaso, M., & Privitera, A. (2013). Historic buildings in Mediterranean area and solar thermal technologies: architectural integration vs preservation criteria. *Energy Procedia* 42, 416-425.
- Mueller, H. F. O. (2013). Energy efficient museum buildings. *Renewable Energy*, 49, 232-236.
- Papadopoulos, A. M., Avgelis, A., & Anastaselos, D. (2008). Low energy cooling of the White Tower, functioning as a contemporary museum. *Buildings and Environment* 40, 1377-1386.
- Rani, P. (2015). The Impact of Adaptive Reusing Heritage Building as A Assessed by the Indoor Air Quality Case study : UNESCO World Heritage Site Penang. . *Social and Behavioral Sciences* 179, 297-307.
- Santoli, L. D. (2015). Guidelines on energy efficiency of cultural heritage. *Energy and Buildings* 86, 534-540.
- Yamtraipat, N., Khedari, J., & Hirunlabh, J. (2005). Thermal comfort standards for air conditioned buildings in hot and humid Thailand considering additional factors of acclimatization and education level. *Solar Energy*, 78, 504-517.
- Zagorskas, J., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Burinskiene, M., Blumberga, A., & Blumberga, D. (2014). Thermal insulation alternatives of historic brick buildings in Baltic Sea Region. *Energy and Buildings* 78, 35-42.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิรุลยา ลีรุ่งเรืองพันธ์ จบการศึกษาระดับประถมศึกษาจาก โรงเรียนราชวินิต ระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนราชวินิต มัธยม และระดับปริญญาตรีจาก คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโท ที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตยกรรม

ประวัติการทำงาน ในปี พ.ศ. 2552 ทำงานเป็นสถาปนิก / ดีไซน์เนอร์ บริษัท วนวิทย์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด ต่อมาตั้งแต่ พ.ศ. 2553 - พ.ศ.2557 ทำงานเป็นสถาปนิก บริษัท กุฎาคาร จำกัด และตั้งแต่ พ.ศ. 2557 จนถึงปัจจุบันเป็นเจ้าหน้าที่แผนกวางแผนโครงการ บริษัท ทีซีซี แลนด์ จำกัด