

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียน
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPROACH TO ENERGY EFFICIENT EDUCATIONAL BUILDINGS
AT THE FACULTY OF ARCHITECTURE, CHULALONGKORN UNIVERSITY

Mr. Vasapol Teravanapanth



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

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร
	เรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
	มหาวิทยาลัย
โดย	นายวัศพล ธีรพนธ์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะจฤดี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะจฤดี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถนัย เศรษฐบุศ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาริณี รามสูต)

วัศพล ชีรวนพันธ์ : แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (AN APPROACH TO ENERGY EFFICIENT EDUCATIONAL BUILDINGS AT THE FACULTY OF ARCHITECTURE, CHULALONGKORN UNIVERSITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.พรรณฉลัท สุริโยธิน, 153 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบทางสถาปัตยกรรม สภาพอาคาร ระบบประกอบอาคาร และพื้นที่ใช้สอยภายใน รวมทั้งศึกษาและเสนอแนะแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการสำรวจและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร พบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV และ RTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ในขณะที่ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) และประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ (EER) อยู่ในเกณฑ์ ในทางกลับกัน ปริมาณอากาศรั่วซึมมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จึงกำหนดทางเลือกในการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ 8 องค์ประกอบ และสรุปทางเลือกที่เป็นไปได้ 12 ทางเลือก จากนั้นทำการจำลองทางเลือกต่างๆด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1.0

ผลการวิจัยสรุปแนวทางที่ดีที่สุด ซึ่งประกอบด้วย การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศในช่วงพักกลางวันและการเปิด-ปิดห้องเรียนตามเวลาการใช้งาน การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอนยื่น 60 ซม. การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED การเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสีเขียว การเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตายและการติดยางกันรั่วซึมบริเวณขอบประตูไม้บานเปิด การปูฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน การกรุผนังทับทุกด้านด้วยฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว โดยสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 25% มีค่าการลงทุน 6,302,520 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 9 เดือน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5773579125 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: EDUCATIONAL BUILDING / ENERGY CONSERVATION / ENERGY EFFICIENT / ELECTRICITY CONSUMPTION

VASAPOL TERAVANAPANTH: AN APPROACH TO ENERGY EFFICIENT EDUCATIONAL BUILDINGS AT THE FACULTY OF ARCHITECTURE, CHULALONGKORN UNIVERSITY. ADVISOR: ASSOC. PROF. PHANCHALATH SURIYOTHIN, 153 pp.

This study aims to study the architectural elements, building status, building systems and interior space usage as well as study and recommend approaches to reduce electricity consumption and increase the electricity efficiency of the educational buildings at the faculty of Architecture, Chulalongkorn University.

The survey and assess energy efficiency of the buildings have revealed that thermal transfer value of the buildings (OTTV and RTTV) are over the criteria while the efficiency of lighting system (LPD) and air-conditioning system (EER) are satisfactory. On the other hand, the infiltration rate is over the criteria. Therefore, 8 improvements are chosen and summarized into 12 possible alternatives. The alternatives are simulated with Visual DOE 4.1.0.

The results show the best approach including turning off the lights and air-conditioners during lunch hours as well as closing classrooms when they are not required, installing 60 cm of horizontal and vertical shading device, changing the light bulbs to LED bulbs, replacing all glass with green glass, replacing louver window with fixed window and installing sealing rubber at the wooden door edges, installing 2 inches of fiber glass above the ceiling and installing 2 inches of fiber glass on all sides of the wall. The approach can reduce electricity consumption about 25% with the investment worth 6,302,520 baht and a payback period of 4 years and 9 months.

Department: Architecture

Student's Signature

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

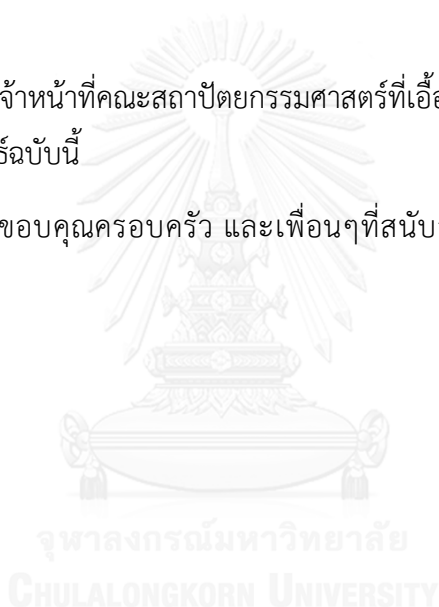
กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน ที่กรุณาให้คำแนะนำทั้งในช่วงการศึกษาและในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณผศ.ดร.อรรถนั เศรษฐบุตตร ผศ.ดร.วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์ และคณะอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ให้ความรู้ ประสบการณ์และคำแนะนำตลอดช่วงการศึกษา

ขอขอบคุณรศ.ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ ประธานกรรมการคณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ และผศ.ดร.ธาริณี รามสูต กรรมการจากภายนอก ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ข้อมูลอันเป็น ประโยชน์แก่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

และสุดท้าย ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนๆที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดช่วง การศึกษา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญแผนภูมิ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา.....	4
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การใช้พลังงานในอาคาร.....	6
2.2 ความร้อนในอาคาร	6
2.3 คุณสมบัติของเปลือกอาคาร.....	7
2.4 คุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างในปัจจุบัน.....	8
2.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร	10
2.6 ทฤษฎีการให้แสงสว่างและหลอดไฟฟ้า.....	13
2.7 ระบบปรับอากาศ.....	15

2.8 การรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิด.....	16
2.9 การบังแดดและอุปกรณ์บังแดด.....	17
2.10 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....	17
2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
3.1 การสำรวจรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ระบบประกอบอาคาร รูปแบบการใช้พื้นที่ภายใน อาคาร และการใช้พลังงานในอาคาร.....	22
3.2 การวิเคราะห์รูปแบบทางสถาปัตยกรรม ระบบประกอบอาคาร และลักษณะการใช้งาน และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด.....	23
3.3 การจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเปรียบเทียบกับ อาคารจริง.....	23
3.4 การศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ.....	24
3.5 การสรุปทางเลือกในการปรับปรุงอาคารจากการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ.....	25
3.6 การวิเคราะห์และสรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร.....	25
3.7 การเสนอแนะแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร.....	25
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	27
4.1 การสำรวจอาคาร.....	27
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ.....	27
4.1.2 การแบ่งพื้นที่ภายในอาคาร.....	28
4.1.3 เปลือกอาคาร.....	29
4.1.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....	30
4.1.5 ระบบปรับอากาศ.....	31
4.1.6 อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ.....	32
4.1.7 ช่องเปิดของอาคาร.....	33

4.1.8 รูปแบบการใช้อาคาร	36
4.1.9 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร	38
4.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับเกณฑ์	38
4.2.1 การคำนวณและเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา	38
4.2.2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบประกอบอาคาร	53
4.2.3 การวิเคราะห์ช่องเปิดและอัตราการรั่วซึมของอากาศ	54
4.3 ผลการจำลองการใช้พลังงาน	56
4.4 การปรับปรุงผนังกระจก ช่องเปิด และหน้าต่าง	58
4.5 การปรับปรุงผนังทึบภายในห้องที่ปรับอากาศด้านที่สัมผัสกับภายนอก	61
4.6 การปรับปรุงหลังคา	63
4.7 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	65
4.8 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ	67
4.9 การปรับปรุงช่องเปิดประตูและหน้าต่าง	67
4.10 การปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด	69
4.11 การปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน	73
4.12 การกำหนดและประเมินผลทางเลือกในการปรับปรุง	75
4.13 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	78
4.14 การสรุปทางเลือกในการปรับปรุง	79
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	81
5.1 สรุปผลการสำรวจอาคาร	81
5.2 สรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า	82
5.3 สรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนและหลังการปรับปรุง	82
5.4 เสนอแนะแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร	84

5.5 ข้อเสนอแนะ	85
รายการอ้างอิง	87
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก ผังพื้นที่ของอาคาร	90
ภาคผนวก ข ผลการสำรวจอาคาร.....	102
ภาคผนวก ค คุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง	133
ภาคผนวก ง รายละเอียดการคำนวณ OTTV และ RTTV	136
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	153



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของกระจก	9
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของฉนวน	10
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้ในอาคาร	14
ตารางที่ 2.4 ระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศชนิด fixed type (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2559)	16
ตารางที่ 2.5 ระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศชนิด Variable speed หรือ Inverter (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2559)	16
ตารางที่ 4.1 การแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร	29
ตารางที่ 4.2 วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคาร	30
ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในพื้นที่ใช้สอยต่างๆ	31
ตารางที่ 4.4 กำลังการทำความเย็นและประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ	32
ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ในพื้นที่ใช้สอยต่างๆ	33
ตารางที่ 4.6 ผลการสำรวจช่องเปิดประตูและหน้าต่าง	34
ตารางที่ 4.7 การใช้งานอาคารในลักษณะต่างๆ	37
ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติของเปลือกอาคาร	39
ตารางที่ 4.9 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศและพื้นที่ไม่ปรับอากาศในอาคาร	51
ตารางที่ 4.10 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 1	51
ตารางที่ 4.11 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 2	52
ตารางที่ 4.12 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของอาคารนารถ โทธิประสาท	52
ตารางที่ 4.13 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV โดยรวมของอาคารที่ศึกษา	52
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกับเกณฑ์ที่กำหนด	52
ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่า LPD และ EER ของอาคารกับเกณฑ์ที่กำหนด	53
ตารางที่ 4.16 การคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศเฉื่อย	55
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากอาคารจริงกับการใช้พลังงานจากโปรแกรม	56

ตารางที่ 4.18 คุณสมบัติของกระจก	58
ตารางที่ 4.19 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าการลงทุนของการปรับปรุงกระจก.....	60
ตารางที่ 4.20 การปรับปรุงผนังทึบ	62
ตารางที่ 4.21 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าการลงทุนของการปรับปรุงผนังทึบ	62
ตารางที่ 4.22 การปรับปรุงหลังคา	63
ตารางที่ 4.23 ผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของการปรับปรุงหลังคา.....	64
ตารางที่ 4.24 การเปรียบเทียบหลอดไฟฟ้าเดิมกับหลอด LED ทดแทน	65
ตารางที่ 4.25 กำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้า	66
ตารางที่ 4.26 การคำนวณค่าการลงทุนของการปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้า.....	66
ตารางที่ 4.27 การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ.....	67
ตารางที่ 4.28 การปรับปรุงช่องเปิดประตูและหน้าต่าง.....	68
ตารางที่ 4.29 ผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของการปรับปรุงช่องเปิดประตูและหน้าต่าง	68
ตารางที่ 4.30 ลักษณะของอุปกรณ์บังแดด.....	70
ตารางที่ 4.31 คุณสมบัติของอุปกรณ์บังแดด	72
ตารางที่ 4.32 ผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของการปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด.....	72
ตารางที่ 4.33 การปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน	74
ตารางที่ 4.34 ทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร	76
ตารางที่ 4.35 ผลการจำลองทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร	78
ตารางที่ 4.36 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	79
ตารางที่ 5.1 สรุปผลการสำรวจอาคารและเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด	82
ตารางที่ 5.2 สรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง	83
ตารางที่ 5.3 การเรียงลำดับการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ.....	84

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 อาคารที่ทำการศึกษา (สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558).....	3
ภาพที่ 3.1 โปรแกรม Visual DOE 4.1.0 และอาคารที่ทำการศึกษา.....	24
ภาพที่ 3.2 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย.....	26
ภาพที่ 4.1 อาคารที่ทำการศึกษา.....	27
ภาพที่ 4.2 ผังบริเวณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	28
ภาพที่ 4.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร.....	30
ภาพที่ 4.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร.....	32
ภาพที่ 4.5 ช่องเปิดภายในอาคาร.....	33
ภาพที่ 4.6 การใช้งานพื้นที่ในรูปแบบห้องเรียนบรรยายขนาดใหญ่ (329).....	36
ภาพที่ 4.7 การใช้งานพื้นที่ในรูปแบบห้องสตูดิโอ	37
ภาพที่ 4.8 ผังพื้นที่ชั้น 1	40
ภาพที่ 4.9 ผังพื้นที่ชั้น 2	41
ภาพที่ 4.10 ผังพื้นที่ชั้น 3.....	42
ภาพที่ 4.11 ผังพื้นที่ชั้น 4.....	43
ภาพที่ 4.12 ผังพื้นที่ชั้น 5.....	44
ภาพที่ 4.13 ผังพื้นที่ชั้น 6.....	45
ภาพที่ 4.14 ผังพื้นที่ชั้น 7.....	46
ภาพที่ 4.15 ผังพื้นที่ชั้น 8.....	47
ภาพที่ 4.16 ผังพื้นที่ชั้น 9.....	48
ภาพที่ 4.17 ผังพื้นที่ชั้น 10.....	49
ภาพที่ 4.18 ผังพื้นที่ชั้น 11.....	50
ภาพที่ 4.19 ช่องเปิดรูปแบบต่างๆของอาคาร.....	54
ภาพที่ 4.20 อุปกรณ์บังแดดในปัจจุบัน.....	69

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 1.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2558) ...	2
แผนภูมิที่ 1.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละปีงบประมาณของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558).....	2
แผนภูมิที่ 4.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของอาคารในปีพ.ศ. 2557.....	38
แผนภูมิที่ 4.2 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศในอาคาร	51
แผนภูมิที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกับเกณฑ์ที่กำหนด.....	53
แผนภูมิที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่า LPD และ EER ของอาคารกับเกณฑ์ที่กำหนด.....	54
แผนภูมิที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานจากอาคารจริงกับผลการใช้พลังงานจาก โปรแกรม.....	57
แผนภูมิที่ 4.6 สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารจากโปรแกรมจำลอง	57
แผนภูมิที่ 4.7 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกับเกณฑ์ของพพ.	57
แผนภูมิที่ 4.8 ค่าการถ่ายเทความร้อน และสัดส่วนของ T_{vis} และ SHGC ของกระจกชนิดต่างๆ.....	59
แผนภูมิที่ 4.9 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงกระจก	61
แผนภูมิที่ 4.10 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงผนังทึบ	63
แผนภูมิที่ 4.11 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงหลังคา.....	64
แผนภูมิที่ 4.12 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงช่องเปิด	68
แผนภูมิที่ 4.13 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด.....	73
แผนภูมิที่ 4.14 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงของการปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน	74
แผนภูมิที่ 4.15 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปี ของทางเลือก A1 A3 A5 และ A7.....	80
แผนภูมิที่ 5.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร	83

บทที่ 1

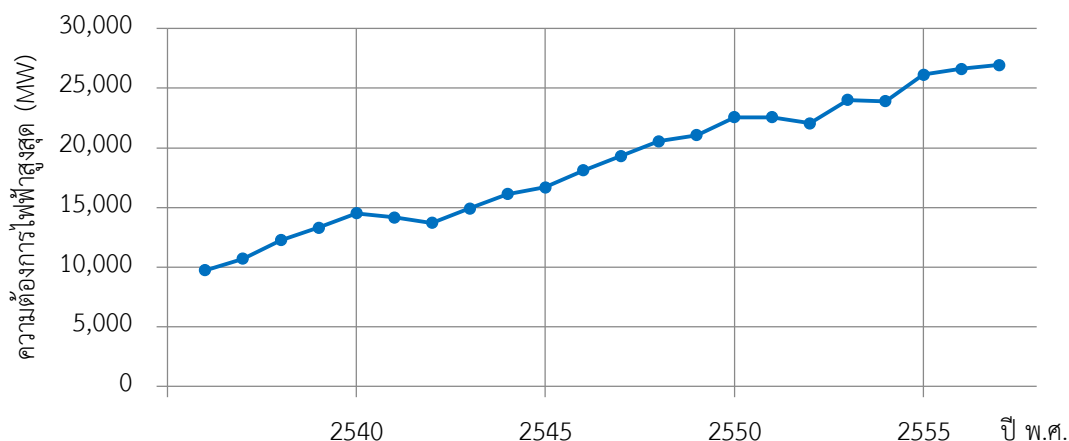
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นสถาบันอุดมศึกษาแห่งแรกของประเทศไทย ก่อตั้งขึ้นเมื่อปีพ.ศ. 2459 เป็นระยะเวลากว่า 100 ปี มีอาคารเรียนจำนวนมาก เพื่อรองรับจำนวนนิสิตที่เพิ่มขึ้น ในแต่ละปีต้องใช้งบประมาณเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าที่สูง จากการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีทั้งการก่อสร้างและต่อเติมอาคาร รวมถึงการติดตั้งระบบปรับอากาศ เพื่อให้มีความพร้อมในการรองรับการใช้งานที่มากขึ้น ส่งผลให้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีอัตราการใช้พลังงานและใช้งบประมาณค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ด้วยสภาพภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน อุณหภูมิและความชื้นในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น ด้วยเหตุดังกล่าว ทำให้การใช้ระบบธรรมชาติ (passive system) อาจไม่เพียงพอเหมือนในอดีต จึงจำเป็นต้องพิจารณาระบบเครื่องกล (active system) เพื่อปรับและควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย ส่งผลให้มีการนำระบบเครื่องกลมาใช้งานมากขึ้นและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นสูงขึ้น จากสถิติของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ประเทศไทยมีความต้องการใช้ไฟฟ้าและมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในแผนภูมิที่ 1.1 เช่นเดียวกับ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงขึ้น ดังแผนภูมิที่ 1.2 จากยกเว้นในปีงบประมาณพ.ศ. 2557 ซึ่งมีการปรับช่วงเวลาการเปิดภาคเรียน โดยภาคเรียนที่ 1 จากมิถุนายนถึงกันยายน เป็นสิงหาคมถึงพฤศจิกายน และภาคเรียนที่ 2 จากพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ เป็นมกราคมถึงเมษายน ทำให้มีการปิดภาคเรียนนานกว่าปีอื่นถึง 2 เดือน

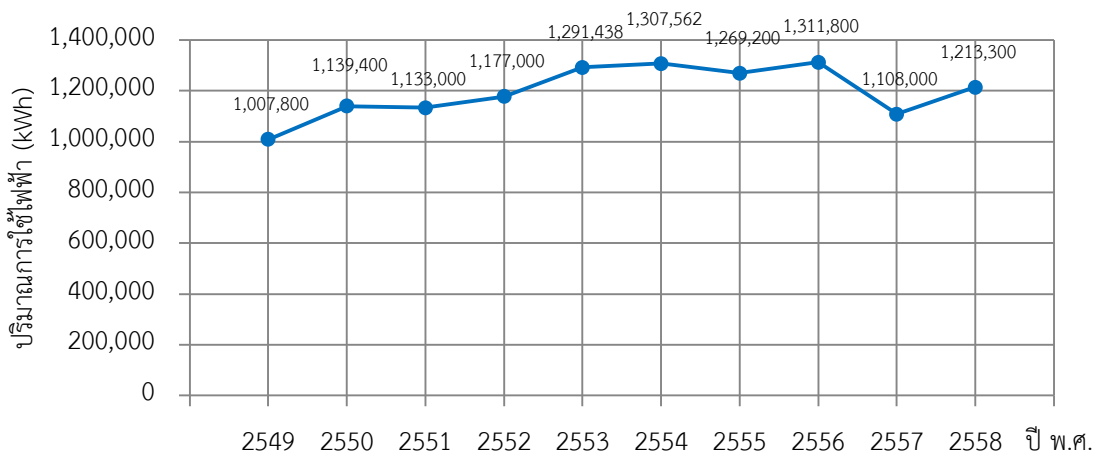
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ก่อตั้งขึ้นเมื่อปีพ.ศ. 2482 และได้มีการก่อสร้างอาคารสถาปัตยกรรม 1 ชั้นก่อน เป็นอาคารสูง 2 ชั้น แล้วเสร็จในปีพ.ศ. 2483 หลังจากนั้น คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจึงมีการเปิดสอนในหลายหลักสูตร และมีจำนวนนิสิตเข้าศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการปรับปรุงและต่อเติมอาคารในคณะได้แก่ อาคารสถาปัตยกรรม 2 อาคารเลิศ อุรัสยะนันท์ และอาคารโวมยากร แต่ยังไม่เพียงพอต่อกิจกรรมการเรียนการสอน จึงมีการก่อสร้างอาคารนารถโพธิประสาธเป็นอาคาร 11 ชั้นในปีพ.ศ. 2537



แผนภูมิที่ 1.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2558)

ปัจจุบัน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประกอบด้วย อาคารจำนวน 5 อาคาร ได้แก่ อาคารสถาปัตยกรรม 1 อาคารสถาปัตยกรรม 2 อาคารนารถ โภธิประสาธ อาคารโวม ยากร และอาคารเลิศ อูร์สยะนันท์ มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 27,300 ตารางเมตร มีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 40.59 kWh/m²/y (สรญา กังวาล, 2557) แต่ก็พบว่า ในปัจจุบันยังมีความต้องการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพิ่มเติม และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์กำลังดำเนินการก่อสร้างอาคารใหม่เพื่อรองรับการใช้งานเพิ่มเติมอีกด้วย จึงมีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกมาก

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มีการจัดการเรียนการสอนในหลากหลายรูปแบบ ประกอบด้วย การบรรยายกลุ่มใหญ่ การบรรยายกลุ่มเล็ก ปฏิบัติการสตูดิโอเขียนแบบ ปฏิบัติการสตูดิโอ อดุสหกรรม และปฏิบัติการมัลติมีเดีย (ดาริณา บุญสุตม์, 2556) ทำให้เกิดความซับซ้อนในการแบ่งพื้นที่ใช้สอยและพฤติกรรมการใช้อาคาร จึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการจัดการใช้พื้นที่ใช้สอยอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าอีกด้วย



แผนภูมิที่ 1.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละปีงบประมาณของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558)



ภาพที่ 1.1 อาคารที่ทำการศึกษา (สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558)

อาคารที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 3 อาคาร เชื่อมต่อกัน ได้แก่ อาคารสถาปัตยกรรม 1 อาคารสถาปัตยกรรม 2 และอาคารนารถ โทริประสาท ดังแสดงในภาพที่ 1.1 เป็นอาคารเรียนหลักของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สูง 11 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 20,240 ตารางเมตร มีลักษณะการใช้งานหลายรูปแบบ เช่น สำนักงาน ห้องพักอาจารย์ ห้องเรียนบรรยาย ห้องสตูดิโอ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบทางสถาปัตยกรรม สภาพอาคาร ระบบประกอบอาคาร และรูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์รูปแบบทางสถาปัตยกรรม สภาพอาคาร ระบบประกอบอาคาร และรูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

1.2.4 เพื่อเสนอแนะแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาารูปแบบทางสถาปัตยกรรม ในเรื่องสภาพแวดล้อมภายในอาคาร วัสดุก่อสร้างอาคาร ระบบเปลือกอาคาร และการแบ่งพื้นที่ภายในเท่านั้น

1.3.2 ศึกษาาระบบประกอบอาคาร เฉพาะด้านระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเท่านั้น

1.3.3 ศึกษาลักษณะการใช้อาคาร พฤติกรรมการใช้งาน และรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่านั้น

1.3.4 ศึกษาแนวทางการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในด้านสถาปัตยกรรม ระบบประกอบอาคาร และรูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคารเท่านั้น'

1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา

1.4.1 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารมีเพียงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนเท่านั้น ไม่มีข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือน ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากโปรแกรมและจากอาคารจริงได้

1.4.2 ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่มีการแยกสัดส่วนเป็นระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรมและจากอาคารจริงได้

1.4.3 ไม่สามารถควบคุมการใช้งานอาคารได้ โดยเฉพาะพื้นที่ห้องเรียนบรรยาย ห้องสตูดิโอ และพื้นที่ปรับอากาศอื่นๆ

1.4.4 ผลจากการจำลองอาจมีความคลาดเคลื่อนจากผลการใช้พลังงานจริง เนื่องจากไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ในการจำลองเป็นสภาพอากาศที่เขียนตั้งแต่ปีพ.ศ. 2542

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎี แนวคิดและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทต่างๆ

1.5.2 สำนักรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ระบบประกอบอาคาร และรูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร

1.5.2.1 รูปแบบทางสถาปัตยกรรม ได้แก่ ผนังของอาคาร คุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง และสัดส่วนของช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร

1.5.2.2 ระบบประกอบอาคาร ได้แก่ ชนิด จำนวน ขนาดและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ชนิด จำนวนและกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

1.5.2.3 รูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร ได้แก่ จำนวนผู้ใช้อาคาร ลักษณะการใช้พื้นที่ภายในอาคาร ช่วงเวลาการใช้งานและพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร

1.5.3 สำนักรูปแบบการใช้พลังงานในอาคาร โดยเก็บข้อมูลค่าไฟฟ้าย้อนหลังของอาคาร

1.5.4 วิเคราะห์รูปแบบทางสถาปัตยกรรม ระบบประกอบอาคาร และรูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

1.5.5 จำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารและเปรียบเทียบกับอาคารจริง

1.5.6 ศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ได้แก่ การปรับปรุงกระจก ฉนวนหีบ หลังคา การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ช่องเปิดประตูและหน้าต่าง อุปกรณ์บังแดด และรูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร

1.5.7 สรุปทางเลือกในการปรับปรุงอาคารจากการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ โดยวิเคราะห์ผลการจำลองในเชิงเทคนิคและค่าการลงทุน จากนั้นจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในทางเลือกการปรับปรุงอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Visual DOE 4.1.0)

1.5.8 วิเคราะห์และสรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยนำผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในทางเลือกการปรับปรุงต่างๆ มาวิเคราะห์และศึกษาผลการจำลองในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น โดยใช้รูปแบบของระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปี

1.5.9 เสนอแนะแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยนำแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ให้ผลทางเศรษฐศาสตร์ดีที่สุดมาเรียงลำดับการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆตามระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงรูปแบบทางสถาปัตยกรรม สภาพอาคาร ระบบประกอบอาคารและรูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร

1.6.2 ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและเข้าใจปัญหาการใช้พลังงานในอาคาร

1.6.3 ทราบวิธีการลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

1.6.4 ได้แนวทางการลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การใช้พลังงานในอาคาร

ในปัจจุบัน ปริมาณการใช้พลังงานของประเทศไทย มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปริมาณการใช้พลังงานในอาคารคิดเป็น 22% ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด (กระทรวงพลังงาน, 2554) ซึ่งการใช้พลังงานในอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนได้แก่

2.1.1 ระบบปรับอากาศ เป็นระบบที่ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย ด้วยสภาพอากาศในปัจจุบัน อุณหภูมิของอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้นจนการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติอาจไม่เพียงพอ จึงมีการใช้ระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารมากที่สุด

2.1.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง แสงสว่างเป็นปัจจัยสำคัญในการมองเห็น และส่งผลต่อความสามารถในการทำงานต่างๆ อีกทั้งส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานอีกด้วย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างจึงมีความจำเป็นและควรได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมตามรูปแบบการใช้งานต่างๆ

2.1.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ลิฟต์ บันไดเลื่อน ปั๊มน้ำ และอุปกรณ์ไฟฟ้าในสำนักงานต่างๆ โดยสัดส่วนและปริมาณการใช้พลังงานในอาคารจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ประเภทของอาคาร ตำแหน่งที่ตั้ง ลักษณะการออกแบบอาคาร ความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ช่วงเวลาและระยะเวลาการใช้งาน เป็นต้น

2.2 ความร้อนในอาคาร

ความร้อนในอาคารส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในอาคาร หากอาคารมีความร้อนมาก ส่งผลให้ระบบปรับอากาศทำงานหนัก และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย โดยความร้อนในอาคารมีที่มาดังนี้

2.2.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Internal heat gain) ได้แก่ ความร้อนซึ่งเกิดจากคน และความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในอาคาร

2.2.2 ความร้อนจากภายนอกอาคาร (External heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นภายนอกอาคารที่ถ่ายเทเข้ามาสู่อาคาร ซึ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนประกอบด้วย

2.2.2.1 การนำความร้อน (Conduction) เกิดขึ้นจากการที่โมเลกุลของสารที่อยู่ติดกัน มีการชนกัน และแลกเปลี่ยนพลังงานซึ่งกันและกัน เช่น การนำความร้อนผ่านผนังของหลังคาของ

อาคาร โดยอัตราการนำความร้อนผ่านวัสดุขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ผลต่างของอุณหภูมิ ความหนาพื้นที่หน้าตัด และคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ ดังสมการ

$$Q = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

โดย	Q	คือ อัตราการนำความร้อน มีหน่วยเป็น W
	k	คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Conductivity) มีหน่วยเป็น W/m.K
	A	คือ พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น m^2
	ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น K
	Δx	คือ ความหนา มีหน่วยเป็น m

2.2.2.2 การพาความร้อน (Convection) เกิดขึ้นโดยอาศัยของเหลวหรือแก๊ส เช่น อากาศ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหรือจากผิววัสดุซึ่งเกี่ยวข้องกับทิศทางและความเร็วลม

2.2.2.3 การแผ่รังสี (Radiation) อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอะตอมหรือโมเลกุล โดยไม่ต้องมีตัวกลาง เช่น การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มายังโลก

2.2.2.4 การเปลี่ยนสถานะ (Phase change) เกิดจากดูดหรือคายความร้อนแฝงของสสาร (Latent heat) เมื่อสสารมีการเปลี่ยนสถานะ

โดยกลไกการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผลต่อความร้อนที่เข้าสู่เปลือกอาคารโดยตรง ได้แก่ การนำความร้อนผ่านเปลือกอาคาร และการแผ่รังสีผ่านผนังของอาคารที่โปร่งแสง

2.3 คุณสมบัติของเปลือกอาคาร

จากกลไกการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารดังกล่าว นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติของเปลือกอาคารที่สำคัญ ดังนี้

2.3.1 การนำความร้อน (Conductivity) คือ ค่าที่บ่งบอกความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ ในรูป อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านระยะทางหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่างกันต่อพื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น W/m.K

โดยในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด จึงต้องคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวมและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดังสมการ

$$R_T = R_{in} + R_{out} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n}$$

โดย R_T คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($m^2 \cdot K/W$)

R_{in} คือ ค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากอากาศภายใน ($m^2 \cdot K/W$)

R_{out} คือ ค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากอากาศภายนอก ($m^2 \cdot K/W$)

Δx_i คือ ความหนาของวัสดุชั้นที่ i (m)

k_i คือ การนำความร้อนของวัสดุชั้นที่ i ($W/m \cdot K$)

และ
$$U = \frac{1}{R_T}$$

โดย U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ($W/m^2 \cdot K$)

2.3.2 ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) คือ ค่าที่บอกปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมวล 1 กิโลกรัม อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 เคลวิน มีหน่วยเป็น $kJ/kg \cdot K$

ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนเพียงค่าเดียวไม่สามารถบอกคุณสมบัติการหน่วงความร้อนของเปลือกอาคารได้เพียงพอ จึงต้องมีการคำนวณผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-Specific-Heat product, DSH) แทน ดังสมการ

$$DSH_T = \rho_1 c_{p1} \Delta x_1 + \rho_2 c_{p2} \Delta x_2 + \dots + \rho_n c_{pn} \Delta x_n$$

โดย DSH_T คือ ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะรวมของเปลือกอาคาร ($kJ/m^2 \cdot K$)

ρ_i คือ ความหนาแน่นของวัสดุชั้นที่ i (kg/m^3)

c_{pi} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุชั้นที่ i ($kJ/kg \cdot K$)

Δx_i คือ ความหนาของวัสดุชั้นที่ i (m)

2.3.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) คือค่าที่บ่งบอกสัดส่วนของปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านวัสดุโปร่งแสง มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หากวัสดุมีค่า SHGC น้อย แสดงว่าวัสดุนั้นยินยอมให้รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านได้น้อย ทำให้อาคารได้รับความร้อนน้อย เช่น กระจกสีใสหนา 3 มิลลิเมตรมีค่า SHGC เท่ากับ 0.88 เป็นต้น

2.4 คุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างในปัจจุบัน

2.4.1 คุณสมบัติของกระจก

กระจกเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้มากในปัจจุบันเนื่องจากทำให้ตัวอาคารดูสวยงามและยังนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้ แต่สำหรับประเทศไทย การใช้กระจกเป็นการนำความร้อนเข้ามาสู่อาคารเช่นกัน ดังนั้นการเลือกใช้กระจกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง กระจกที่นิยมใช้ในท้องตลาดสามารถ

แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิว (Uncoated single glazing) กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว (Reflective single glazing) และกระจกสองชั้น (Double glazing) ดังตารางที่ 2.1

2.4.1.1 กระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิว เป็นกระจกที่ยอมให้แสงสว่างและความร้อนผ่านเข้าสู่อาคารได้มาก แต่มีราคาถูก เช่น กระจกธรรมดาใส กระจกธรรมดาสีเขียว กระจกธรรมดาสีเทา กระจกธรรมดาสีฟ้า เป็นต้น

2.4.1.2 กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว เป็นกระจกที่มีคุณสมบัติการสะท้อนความร้อนดี และยอมให้แสงสว่างผ่านเข้าสู่อาคารน้อย และมีราคาสูง เช่น กระจกสะท้อนแสงเคลือบสแตนเลส กระจกสะท้อนแสงเคลือบไทเทเนียม กระจกสะท้อนแสงเคลือบซิลเวอร์ เป็นต้น

2.4.1.3 กระจกสองชั้น เกิดจากการนำกระจกสองชั้นมาประกบกัน โดยให้ช่องระหว่างกลางเป็นอากาศ แก๊สเฉื่อย หรือสุญญากาศ มีคุณสมบัติป้องกันการถ่ายเทความร้อนดี ป้องกันเสียงได้ดี มีการแผ่รังสีความร้อนต่ำ แต่ยอมให้แสงสว่างผ่านเข้าสู่อาคารได้มาก และมีราคาสูงมาก เช่น กระจกฉนวนกันความร้อน กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e เป็นต้น

ชนิดของกระจก	ความหนา (mm)	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ ตามองเห็น (τ_{vis})	SHGC
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว			
กระจกใส	6	0.88	0.73
กระจกสีเขียว	6	0.76	0.54
กระจกสีบรอนซ์	6	0.54	0.54
กระจกสีเทา	6	0.46	0.52
กระจกสีฟ้าอมเขียว	6	0.75	0.55
กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว			
กระจกใสเคลือบโลหะสแตนเลส 20%	6	0.20	0.28
กระจกใสเคลือบโลหะไทเทเนียม 20%	6	0.20	0.27
กระจกใสเคลือบโลหะไทเทเนียม 30%	6	0.30	0.35
กระจกสองชั้น			
กระจกใส - กระจกใส	24	0.78	0.60
กระจกเขียว - กระจกใส	24	0.68	0.41
กระจกใสเคลือบโลหะไทเทเนียม 30% - กระจกใส	24	0.27	0.25
กระจกใสเคลือบ low-e ($e = 0.2$) - กระจกใส	24	0.73	0.53

2.4.2 คุณสมบัติของฉนวน

วัสดุฉนวนเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีหน้าที่ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร โดยในปัจจุบันมีวัสดุฉนวนหลากหลายชนิด โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและราคาที่แตกต่างกัน โดยวัสดุฉนวนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ได้แก่

2.4.2.1 ฉนวนใยแก้วและใยหิน มีทั้งในรูปแบบม้วน แบบแผ่น และแบบท่อสำเร็จ มีราคาถูก มีความเป็นฉนวนขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ถ้ามีความหนาแน่นมาก จะมีความเป็นฉนวนมาก

2.4.2.2 ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน โพลีเอทิลีน และโพลียูรีเทน มีในรูปแบบแผ่นและแบบพ่น มีราคาสูง มีความเป็นฉนวนดีมาก มีความคงทน ถ้ามีความหนาแน่นมาก จะมีความเป็นฉนวนมาก เช่นกัน

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของฉนวน

วัสดุ	k (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg.K)
ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 10 kg/m ³	0.046	10	0.96
ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 12 kg/m ³	0.042	12	0.96
ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 16 kg/m ³	0.038	16	0.96
ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 24 kg/m ³	0.035	24	0.96
โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 9 kg/m ³	0.047	9	1.21
โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 16 kg/m ³	0.037	16	1.21
โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 24-32 kg/m ³	0.035	24-32	1.21
โฟมโพลีเอทิลีน	0.029	45	1.21
โฟมโพลียูรีเทน	0.023-0.026	24-40	1.59

2.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

ในการประเมินประสิทธิภาพของเปลือกอาคารสามารถประเมินโดยคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเฉลี่ย ซึ่งแบ่งเป็น 2 ค่า ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (Roof Thermal Transfer value, RTTV)

2.5.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) เป็นค่าที่บอกถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของอาคาร ทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็น W/m^2 ดังสมการ

$$OTTV = \frac{A_{w1}OTTV_1 + A_{w2}OTTV_2 + \dots + A_{wn}OTTV_n}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wn}}$$

โดย A_{wi} คือ พื้นที่ผนังด้านที่ i ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่ผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็น m^2

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านที่ i มีหน่วยเป็น W/m^2

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

โดย $OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็น W/m^2

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ มีหน่วยเป็น $W/m^2.K$

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายในและภายนอกอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็น K

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็น $W/m^2.K$

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็น K

$SHGC$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็น W/m^2

โดยเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2550 และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมปีพ.ศ. 2551 ได้กำหนด OTTV สำหรับอาคารสำนักงานและสถานศึกษา ให้มี OTTV ไม่เกิน $50 W/m^2$ และ $45 W/m^2$ ตามลำดับ

2.5.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (RTTV) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา มีหน่วยเป็น W/m^2 ดังสมการ

$$RTTV = \frac{A_{r1}RTTV_1 + A_{r2}RTTV_2 + \dots + A_m RTTV_n}{A_{r1} + A_{r2} + \dots + A_m}$$

โดย A_{r_i} คือ พื้นที่หลังคาด้านที่ i ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็น m^2

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาด้านที่ i มีหน่วยเป็น W/m^2

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

โดย $RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา มีหน่วยเป็น W/m^2

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ มีหน่วยเป็น $W/m^2.K$

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายในและภายนอกอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็น K

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็น $W/m^2.K$

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็น K

$SHGC$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็น W/m^2

โดยเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2550 และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมปีพ.ศ. 2551 ได้กำหนด RTTV สำหรับอาคารสำนักงานและสถานศึกษา ให้มี RTTV ไม่เกิน $15 W/m^2$ และ $12 W/m^2$ ตามลำดับ

2.6 ทฤษฎีการให้แสงสว่างและหลอดไฟฟ้า

การคำนวณการให้แสงสว่างที่ใช้กันแพร่หลายมีอยู่ 2 วิธี คือ การคำนวณแบบลูเมน (Lumen method) และแบบจุดต่อจุด (Point by point method) ส่วนการคำนวณแบบวัดต่อตารางเมตร นั้นมีการใช้มากขึ้นเพราะใช้เวลาสั้นและเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก เช่น การส่องสว่างภายในพื้นที่ที่ไม่สำคัญ แต่ถ้าใช้กับพื้นที่ใหญ่มากก็อาจเกิดความผิดพลาดได้มาก การคำนวณแบบลูเมนใช้สำหรับกรณีที่ต้องการให้แสงสว่างสม่ำเสมอ โดยใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งพื้น ผนัง และเพดาน มาประกอบการพิจารณาด้วย ส่วนการคำนวณแบบจุดต่อจุดใช้สำหรับการส่องสว่างเน้นเป็นจุด หรือกรณีที่ต้องการคำนวณอย่างละเอียด (พรรณชลัท สุริโยธิน, 2547)

การคำนวณความส่องสว่างโดยการคำนวณแบบลูเมน เป็นดังสมการ

$$E_{av} = \frac{F \times n \times N \times UF \times MF}{A}$$

โดย	E_{av}	คือ ความส่องสว่างเฉลี่ย มีหน่วยเป็น lux
	F	คือ ปริมาณแสงของหลอดไฟฟ้า มีหน่วยเป็น lumen
	n	คือ จำนวนหลอดไฟฟ้าต่อดวงโคม
	N	คือ จำนวนดวงโคม
	UF	คือ ตัวประกอบการใช้งาน (Utilization factor)
	MF	คือ ตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance factor)
	A	คือ พื้นที่ มีหน่วยเป็น m^2

หลอดไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ซึ่งถูกคิดค้นมากกว่า 200 ปี สามารถแบ่งตามกลไกการกำเนิดแสงได้ 3 ประเภท คือ

2.6.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพต่ำเพียง 5-20 lm/W เท่านั้น และมีอายุการใช้งานสั้นไม่เกิน 4,000 ชั่วโมง แต่มีความถูกต้องของสีของแสงสูงมาก (CRI = 100) และมีราคาถูก ในปัจจุบัน หลอดอินแคนเดสเซนต์มีการใช้งานได้แก่ หลอดไส้ (หลอดทังสเตน) และหลอดทังสเตนฮาโลเจน

2.6.2 หลอดปล่อยประจุแก๊ส (Gas discharge lamp) เป็นหลอดที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูง มีอายุการใช้งานนาน มีหลายขนาดให้เลือกใช้งาน เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในอาคาร หลอดโซเดียมความดันสูง หลอดไอปรอทความดันสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานภายนอกอาคารและในพื้นที่กว้างๆ เป็นต้น

2.6.3 หลอด LED (Light-Emitting Diode lamp, LED lamp) เป็นหลอดที่เกิดจากการนำ ไดโอดเปล่งแสง (LED) มาเรียงกัน LED เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) 2 ชนิด ที่มีขั้วตรงข้ามกันมาเชื่อมต่อกัน เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะเกิดการถ่ายเทประจุระหว่างกันเกิดเป็นแสงสว่างขึ้น หลอด LED ในปัจจุบัน มีประสิทธิภาพสูงมากและมีอายุการใช้งานนานมาก และไม่ปล่อยรังสีอินฟราเรดและอัลตราไวโอเล็ตอีกด้วย

จะเห็นว่า หลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3 การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าอย่างถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้ในอาคาร

หลอดไฟฟ้า	ประสิทธิภาพ (lm/W)	ดัชนีความถูกต้องของสี, CRI	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	ราคา
หลอดไส้ (หลอดทังสเตน)	5 - 15	100	1,000 - 2,000	ถูก
หลอดทังสเตนฮาโลเจน	10 - 20	100	1,500 - 4,000	ถูก
หลอดฟลูออเรสเซนต์	50 - 100	70 - 90	6,000 - 20,000	ปานกลาง
หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์	40 - 80	70 - 90	6,000 - 20,000	ปานกลาง
หลอด LED	60 - 135	70 - 95	10,000 - 50,000	แพง

โดยเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2550 และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมปีพ.ศ. 2551 ได้กำหนดตัวแปรที่ใช้คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD) สำหรับอาคารสำนักงานและสถานศึกษา ให้มีค่าไม่เกิน 14.00 W/m² และ 12.50 W/m² ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณดังสมการ

$$LPD = \frac{LW + BW - NW}{A}$$

- โดย **LW** คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ มีหน่วยเป็น Watt
- BW** คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ มีหน่วยเป็น Watt
- NW** คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ ซึ่งถูกทดแทนด้วยแสงธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร มีหน่วยเป็น Watt
- A** คือ พื้นที่ที่พิจารณา มีหน่วยเป็น m²

2.7 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสูงที่สุด ดังนั้นการเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพดีจึงช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารได้ การวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสามารถพิจารณาใน 2 รูปแบบ คือ

2.7.1 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังความร้อนที่เครื่องปรับอากาศสามารถดึงออกจากอาคารได้ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้เพื่อดึงกำลังความร้อนดังกล่าว ดังสมการ

$$COP = \frac{Q}{W}$$

โดย Q คือ ชีตความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็น Watt

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศมีหน่วยเป็น Watt

2.7.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) เป็นอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในหน่วยบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h) ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้เพื่อทำความเย็นดังกล่าวในหน่วยวัตต์ (W) ดังนั้นอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานจึงมีหน่วยเป็น Btu/h/W ดังสมการ

$$EER = \frac{Q}{W}$$

โดย Q คือ ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็น Btu/h

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็น Watt

นอกจากนี้ EER และ COP ยังมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$EER = 3.412(COP)$$

เพื่อให้ผู้บริโภคทั่วไปเข้าใจได้ง่ายขึ้น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จึงมีการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเป็นเบอร์ต่างๆตั้งแต่เบอร์ 1 ถึง เบอร์ 5 แต่สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบ fixed type ไม่มีการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเบอร์ 1 และเบอร์ 2 เนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำมากในปัจจุบัน ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งเป็นค่า EER สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบ fixed type นอกจากเครื่องปรับอากาศชนิด fixed type แล้ว ในปัจจุบัน มีการพัฒนาเครื่องปรับอากาศชนิด Variable speed หรือ Inverter ซึ่งสามารถปรับกำลังการทำความเย็นได้ตามสภาพอากาศอีกด้วย จึงมีการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยใช้อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Seasonal Energy Efficiency Ratio, SEER) แทนดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศชนิด fixed type (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2559)

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Btu/h/W)		
	เบอร์ 3	เบอร์ 4	เบอร์ 5
ไม่เกิน 8,000 วัตต์ (ไม่เกิน 27,296 Btu/h)	10.60 - 10.99	11.00 - 11.59	≥ 11.60
8,000 ถึง 12,000 วัตต์ (27,296 ถึง 40,944 Btu/h)	9.60 - 10.59	10.60 - 10.99	≥ 11.00

ตารางที่ 2.5 ระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศชนิด Variable speed หรือ Inverter (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2559)

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Btu/h/W)				
	เบอร์ 1	เบอร์ 2	เบอร์ 3	เบอร์ 4	เบอร์ 5
ไม่เกิน 8,000 วัตต์ (ไม่เกิน 27,296 Btu/h)	12.00 - 12.59	12.60 - 13.39	13.40 - 14.19	14.20 - 14.99	≥ 15.00
8,000 ถึง 12,000 วัตต์ (27,296 ถึง 40,944 Btu/h)	11.00 - 11.69	11.70 - 12.39	12.40 - 13.19	13.20 - 13.99	≥ 14.00

นอกจากโครงการฉลากเบอร์ 5 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยแล้ว เกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2550 และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมปีพ.ศ. 2551 ได้กำหนดอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กให้มีค่ามากกว่า 11.00 Btu/h/W และ 10.10 Btu/h/W ตามลำดับ

2.8 การรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิด

การรั่วซึมของอากาศ คือ การไหลผ่านของอากาศภายนอกเข้าสู่อาคารที่ไม่สามารถควบคุมได้ผ่านรอยแยกที่ไม่ต้องการให้อากาศไหลผ่าน เช่น การรั่วซึมของอากาศผ่านรอยแยกของประตูหน้าต่าง เป็นต้น สำหรับพื้นที่ปรับอากาศ อากาศจากภายนอกซึ่งเป็นอากาศร้อนที่รั่วซึมเข้ามาภายในส่งผลให้เครื่องปรับอากาศต้องทำความเย็นมากขึ้น ทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นด้วย โดยอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิด ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิด ขนาดและวัสดุของช่องเปิด ความดันและอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร เช่น ประตูไม้บานเปิดมีปริมาณอากาศรั่วซึม 1.93 U/s-m (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550) โดยแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมปีพ.ศ. 2551 ได้กำหนดปริมาณอากาศรั่วซึมเฉลี่ยให้มีค่า

ต่ำกว่า 0.90 U/s-m นอกจากนี้การรั่วซึมของอากาศสามารถบอกด้วยอัตราการไหลเวียนของอากาศ (Air exchange rate) ดังสมการ

$$I = \frac{Q}{V}$$

โดย I คือ อัตราการไหลเวียนของอากาศ มีหน่วยเป็น air change/h
 Q คือ อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่อาคาร มีหน่วยเป็น m^3/h
 V คือ ปริมาตรของห้อง มีหน่วยเป็น m^3

2.9 การบังแดดและอุปกรณ์บังแดด

ประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลก สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีปริมาณความร้อนจากรังสีอาทิตย์มาก ดังนั้น การบังแดดและอุปกรณ์บังแดดจึงมีความสำคัญต่อการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยค่าที่บอกประสิทธิภาพของอุปกรณ์บังแดด คือ สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient, SC) ซึ่งบอกอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาด ทิศทาง และรูปร่างของอุปกรณ์บังแดด โดยอุปกรณ์บังแดดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์บังแดดแนวนอน (Horizontal shading device) และอุปกรณ์บังแดดแนวตั้ง (Vertical shading device)

ในปัจจุบัน นอกจากอุปกรณ์บังแดดมีหน้าที่ป้องกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์แล้ว ยังมีการออกแบบอุปกรณ์บังแดดให้มีรูปร่างหน้าต่างที่เป็นเอกลักษณ์แก่สถาปัตยกรรมอีกด้วย ดังนั้น การออกแบบอุปกรณ์บังแดดจึงควรคำนึงถึงความสามารถในการบังแดดและความสวยงามควบคู่กันด้วย

2.10 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ถือเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการตลอดช่วงอายุการใช้งาน และวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการอีกด้วย

2.10.1 ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period) คือ ระยะเวลาที่ทำให้ผลตอบแทนจากโครงการสามารถชดเชยค่าใช้จ่ายในการลงทุนตอนเริ่มโครงการได้พอดี โดยพิจารณามูลค่าการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรก ดังสมการ

$$PB = \frac{I_0}{ES}$$

โดย PB คือ ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย มีหน่วยเป็น ปี
 I_0 คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรก มีหน่วยเป็น บาท
 ES คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี มีหน่วยเป็น บาทต่อปี

2.10.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลรวมกระแสเงินสดจ่ายสุทธิและกระแสเงินสดรับสุทธิ โดยพิจารณามูลค่าการลงทุนในปีแรก ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี อัตราคิดลด (discount rate) และระยะเวลาที่พิจารณา ดังสมการ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+r)^t} - I_0$$

โดย NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีหน่วยเป็น บาท

ES_t คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ในปีที่ t มีหน่วยเป็น บาท

r คือ อัตราคิดลด

n คือ จำนวนปีที่พิจารณา มีหน่วยเป็น ปี

I_0 คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรก มีหน่วยเป็น บาท

ในการเลือกลงทุนในโครงการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นค่าที่บอกมูลค่าของโครงการเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่พิจารณา หากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่าโครงการไม่น่าลงทุน ในทางตรงข้าม หากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าโครงการสมควรที่จะลงทุน และเลือกโครงการที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิตั้งมากที่สุด

อัตราคิดลด คือ อัตราที่ใช้ในการคิดลดรายได้สุทธิในอนาคตในแต่ละปีกลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ นิยมใช้อัตราคิดลดเท่ากับ 12% หรือ 0.12

2.10.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) คือ อัตราลดค่า (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายสุทธิเท่ากับกระแสเงินสดรับสุทธิ ซึ่งเกิดจากการดำเนินการประหยัดพลังงานตลอดอายุโครงการ ดังสมการ

$$\sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} - I_0 = 0$$

โดย IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน

ES_t คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ในปีที่ t มีหน่วยเป็น บาท

n คือ จำนวนปีที่พิจารณา มีหน่วยเป็น ปี

I_0 คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรก มีหน่วยเป็น บาท

ในการเลือกลงทุนในโครงการ อัตราผลตอบแทนภายในเป็นค่าที่บอกอัตราผลตอบแทนของโครงการตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา หากอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าน้อยกว่าอัตราคิดลดที่ผู้ลงทุนใช้เป็นจุดตัดสินใจ แสดงว่าโครงการไม่น่าลงทุน ในทางตรงข้าม หากอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดที่ใช้เป็นจุดตัดสินใจ แสดงว่าโครงการสมควรที่จะลงทุน และเลือกโครงการที่มี

อัตราผลตอบแทนภายในมากที่สุด แต่หากผลของอัตราผลตอบแทนภายในและมูลค่าปัจจุบันสุทธิขัดแย้งกัน ให้ยึดผลของมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นหลัก

2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร พบว่ามีการศึกษาในหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

การศึกษาของโชติวิทย์ พงษ์เสริมผล (2539) ซึ่งศึกษาแนวทางการปรับปรุงหลังคาของอาคารรูปแบบต่างๆ ได้แก่ หลังคากระเบื้องลอนคู่ หลังคากระเบื้องซีเมนต์ หลังคาแผ่นโลหะ และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเปรียบเทียบการใส่ฉนวนเหนือฝ้าเพดานในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และพบว่าการใส่ฉนวนใยแก้วและใยหินเหนือฝ้าเพดานช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยการใส่ฉนวนหนึ่งนิ้วแรกจะช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเทียบกับนิ้วถัดไป และการใส่ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วเหนือฝ้าเพดานช่วยให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 26.1% ซึ่งมากกว่าฉนวนชนิดอื่น โดยมีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 3 ปี

ในลักษณะเดียวกัน กัญจน์ พิเชษฐศิลป์ (2545) ทำการศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังอาคาร เพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคารเช่นกัน โดยทำการศึกษาคุณสมบัติและความหนาของฉนวนชนิดต่างๆที่เหมาะสมสำหรับผนังอาคารทิศทางต่างๆเพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และพบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในอาคารช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ถึง 90% และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1 และ 2 นิ้ว อีกด้วย

การศึกษาของปริมลภา วสุวัต (2542) ซึ่งศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ โดยศึกษาคุณสมบัติของเปลือกอาคารทั้งผนังทึบ ผนังโปร่งแสง การรั่วไหลของอากาศผ่านช่องเปิด และการออกแบบการให้แสงสว่าง จากผลการศึกษาเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงเป็น 4 แนวทางซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 15.18% ถึง 16.12% โดยมีระยะเวลาคืนทุนตั้งแต่ 4.34 ถึง 6.32 ปี นอกจากนี้ยังเสนอแนะแนวทางอื่นๆเช่น การย้ายแหล่งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแหล่งความร้อนออกจากพื้นที่ปรับอากาศ และลดปริมาณการใช้งานเครื่องปรับอากาศอีกด้วย

ในขณะที่สุรพล เดชพล (2552) ทำการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการเช่นกัน แต่ศึกษาเพียงคุณสมบัติของเปลือกอาคารเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย การปรับปรุงกระจก ผนังทึบและหลังคา โดยเน้นการปรับปรุงที่รักษารูปแบบของอาคารเดิมไว้ และเสนอทางเลือกในการปรับปรุง 2 ทางเลือก ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ 11.31% และ 11.63% โดยมีระยะเวลาคืนทุน 11.9 ปี และ 12 ปี นอกจากนี้ยังเสนอแนะแนวทางอื่นๆที่สามารถทำได้

เช่น การลดการรั่วซึมของอากาศ การใช้ระบบการจัดการอาคาร (building management system) การปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การติดตั้งเซนเซอร์ และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการทำงาน โดยการปรับเปลี่ยนสำนักงานให้เป็นแบบ mobile office เป็นต้น

การศึกษาของศศิน วิบูลย์บัณฑิตยกิจ (2543) ซึ่งศึกษาผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ผ่านช่องเปิดต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ โดยเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศของช่องเปิดต่างๆ ได้แก่ ช่องเปิดบานเกล็ด ช่องเปิดบานเปิด ช่องเปิดบานเลื่อน และช่องเปิดบานติดตาย และพบว่า ช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ช่องเปิดบานเกล็ด และน้อยที่สุดคือ ช่องเปิดบานติดตาย โดยส่งผลให้มีการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศ 3,390 ตันชั่วโมง ต่อปีต่อตารางเมตร และ 178 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร ตามลำดับ

การศึกษาของกรุง กุลชาติ (2539) ซึ่งศึกษาแนวทางการจัดการใช้พื้นที่ภายในอาคารให้สามารถลดขนาดโดยรวมของเครื่องปรับอากาศ และลดภาระการทำความเย็น รวมทั้งลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร โดยใช้อาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอาคารกรณีศึกษา และพบว่า การจัดการการใช้พื้นที่ภายในอาคารโดยการหลีกเลี่ยงการใช้งานในเวลาที่เกิดภาระการทำความเย็นที่สูง จะสามารถลดภาระการทำความเย็นและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของสรุณา กังวาล (2557) ซึ่งศึกษาเกณฑ์มาตรฐานด้านการใช้พลังงานสำหรับมหาวิทยาลัย และเปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Benchmarking) โดยเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน ลักษณะอาคาร และจำนวนผู้ใช้อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาของอุไรชา เจียรนัยพานิชย์ (2555) ซึ่งศึกษาผลกระทบของรูปร่างและทิศทางของอาคารต่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับเปลือกอาคารต่างๆ ได้แก่ สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคารที่ 40% และ 60% กระจกของอาคาร 5 ชนิด ผนังอาคาร 3 ชนิด แผงบังแดด 5 รูปแบบ ได้แก่ ไม่มีแผงบังแดด แผงบังแดดแนวนอน 30 ซม. แผงบังแดดแนวนอน 60 ซม. แผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 30 ซม. และแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 60 ซม. และระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ

ในต่างประเทศก็มีการศึกษาเช่นกัน เช่น การศึกษาของ Katafygiotou and Serghides (2014) ซึ่งศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนต้นแบบซึ่งสรุปจากการสำรวจอาคารเรียนในประเทศไซปรัส โดยศึกษาในด้านเปลือกอาคารและระบบปรับอากาศ รวมถึงการใช้พลังงานทดแทน

การศึกษาของ Mysen, Berntsen, Nafstad, and Schild (2005) ซึ่งทำการศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้งานและระบบปรับอากาศต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเรียนในประเทศนอร์เวย์ โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเมื่อใช้ระบบปรับอากาศชนิดปริมาตรอากาศคงที่ (Constant air volume system, CAV) และระบบปรับอากาศชนิดปริมาตรอากาศแปรเปลี่ยน (Variable air volume system, VAV) โดยอาศัย CO₂ เซนเซอร์ และอินฟราเรดเซนเซอร์

จะเห็นว่า มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในหลายด้าน โดยมากเป็นการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในอาคารสำนักงาน ส่วนอาคารเรียนยังไม่มีการศึกษามากนัก นอกจากนี้ จึงควรมีการศึกษารองค้ประกอบต่างๆในการปรับปรุงร่วมกันทั้งในด้านกายภาพอาคาร ระบบอาคารและรูปแบบการใช้พื้นที่ในอาคาร เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบขององค์ประกอบด้านต่างๆ เปรียบเทียบกันอีกด้วย



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงจำลอง (Simulation research) โดยใช้เทคนิคการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียน โดยวิเคราะห์ผลเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เพื่อพิจารณาหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนที่เหมาะสมและเป็นไปได้มากที่สุด

3.1 การสำรวจรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ระบบประกอบอาคาร รูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร และการใช้พลังงานในอาคาร

ทำการสำรวจรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ระบบประกอบอาคาร รูปแบบการใช้งานและการใช้พลังงานในอาคาร ดังต่อไปนี้

3.1.1 รูปแบบทางสถาปัตยกรรม ได้แก่

3.1.1.1 ผังพื้นที่ของอาคาร

3.1.1.2 วัสดุก่อสร้าง ผนัง หลังคาและช่องเปิด

3.1.1.3 คุณสมบัติและสัดส่วนของช่องเปิด

3.1.1.4 จำนวน ขนาด และรูปแบบของประตูและหน้าต่าง

3.1.1.5 จำนวน ขนาด และรูปแบบของอุปกรณ์บังแดด

3.1.2 ระบบประกอบอาคาร ได้แก่

3.1.2.1 ชนิด จำนวน ขนาดและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

3.1.2.2 ชนิด จำนวนและกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง

3.1.2.3 ชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้าและช่วงเวลาใช้งานโดยประมาณของอุปกรณ์

ไฟฟ้าประเภทอื่น

3.1.3 รูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร ได้แก่

3.1.3.1 จำนวนผู้ใช้อาคารและลักษณะการใช้พื้นที่ภายในอาคาร

3.1.3.2 ช่วงเวลาการใช้พื้นที่

3.1.3.3 พฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร

3.1.4 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีและรายเดือน

3.2 การวิเคราะห์รูปแบบทางสถาปัตยกรรม ระบบประกอบอาคาร และลักษณะการใช้งาน และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

นำผลการสำรวจอาคารมาวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารในด้านต่างๆ ได้แก่

3.2.1 การประเมินประสิทธิภาพของเปลือกอาคาร ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (RTTV) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

3.2.2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบประกอบอาคาร ได้แก่ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (LPD) และสัดส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (EER)

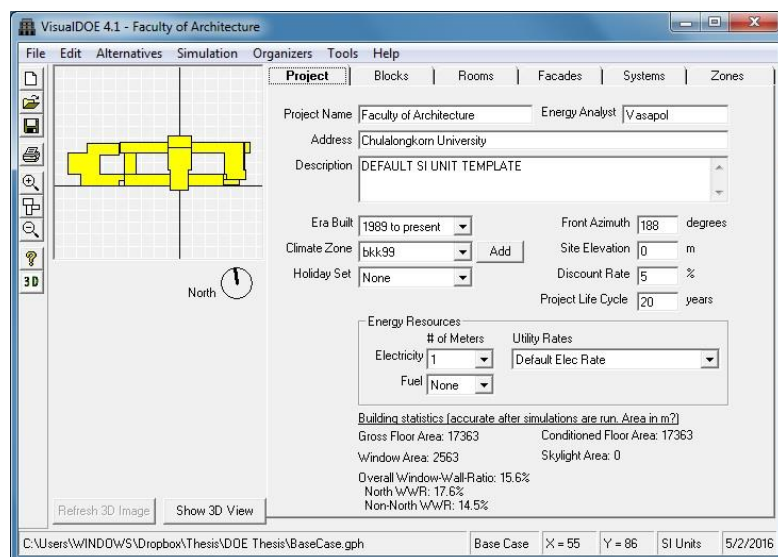
3.2.3 การประเมินอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิด

จากนั้น นำผลการประเมินมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ เกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2550 และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ปี พ.ศ. 2551

3.3 การจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเปรียบเทียบกับอาคารจริง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง คือ โปรแกรม Visual DOE 4.1.0 ซึ่งใช้ในการประเมินการใช้พลังงานในอาคารรูปแบบต่างๆ และศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนรูปแบบอาคารในแนวทางต่างๆ โดยนำผลการสำรวจอาคารมาจำลองและเปรียบเทียบผลการจำลองกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารจริง และนำแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้ามาจำลองเพื่อศึกษาผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในแนวทางต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.1 โดยข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการจำลอง คือ ไฟล์ bkk99.bin ซึ่งเป็นสภาพอากาศของกรุงเทพฯ เขียนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542

โปรแกรม Visual DOE 4.1.0 ประกอบด้วย ส่วนป้อนข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง สถานที่ตั้งของอาคาร สภาพภูมิอากาศ ข้อมูลวัสดุเปลือกอาคารทั้งผนังทึบ หลังคาและช่องเปิด ข้อมูลงานระบบทั้งระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ รวมถึงข้อมูลจำนวนผู้ใช้งาน ลักษณะการใช้งาน และช่วงเวลาการใช้งานในพื้นที่ใช้สอยต่างๆ ส่วนแสดงผล ซึ่งสามารถรายงานผลการใช้พลังงานของอาคารในรูปแบบของตัวเลขรายเดือน รายปี และในรูปแบบกราฟ และส่วนตรวจสอบความผิดปกติในโปรแกรม ซึ่งช่วยผู้ใช้โปรแกรมในการตรวจหาข้อมูลที่ผิดพลาดในโปรแกรมเพื่อทำการแก้ไขให้ถูกต้อง



ภาพที่ 3.1 โปรแกรม Visual DOE 4.1.0 และอาคารที่ทำการศึกษ

ถึงแม้การป้อนข้อมูลอาคารลงในโปรแกรมถูกต้องแล้ว แต่ผลการจำลองอาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง เนื่องจากข้อจำกัดในการป้อนข้อมูลที่ไม่เหมือนสภาพการใช้งานจริงทั้งหมด เช่น ช่วงเวลาการใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในแต่ละช่วงเวลา เป็นต้น นอกจากนี้ในการศึกษารั้งนี้ ไม่ได้มีการป้อนข้อมูลสภาพโดยรอบของอาคารที่ศึกษา เช่น อาคารข้างเคียง ต้นไม้บริเวณโดยรอบ เป็นต้น

3.4 การศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ

ทำการศึกษการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารได้แก่

3.4.1 การปรับปรุงกระจก ผนังทึบ หลังคา ช่องเปิดประตูและหน้าต่าง โดยศึกษาคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ทั้งในเชิงเทคนิคและด้านการลงทุน

3.4.2 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ โดยศึกษาคุณสมบัติของหลอดไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศ ทั้งในด้านประสิทธิภาพเชิงเทคนิคและด้านการลงทุน

3.4.3 การปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด โดยศึกษาอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอนทั้งในเชิงเทคนิคและด้านการลงทุน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดซึ่งเป็นรูปลักษณะของอาคารต่อไป

3.4.4 การปรับรูปแบบการใช้พื้นที่ภายในอาคาร โดยศึกษาและเปรียบเทียบรูปแบบการใช้งานในปัจจุบัน และศึกษารูปแบบการใช้งานที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

3.5 การสรุปทางเลือกในการปรับปรุงอาคารจากการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ

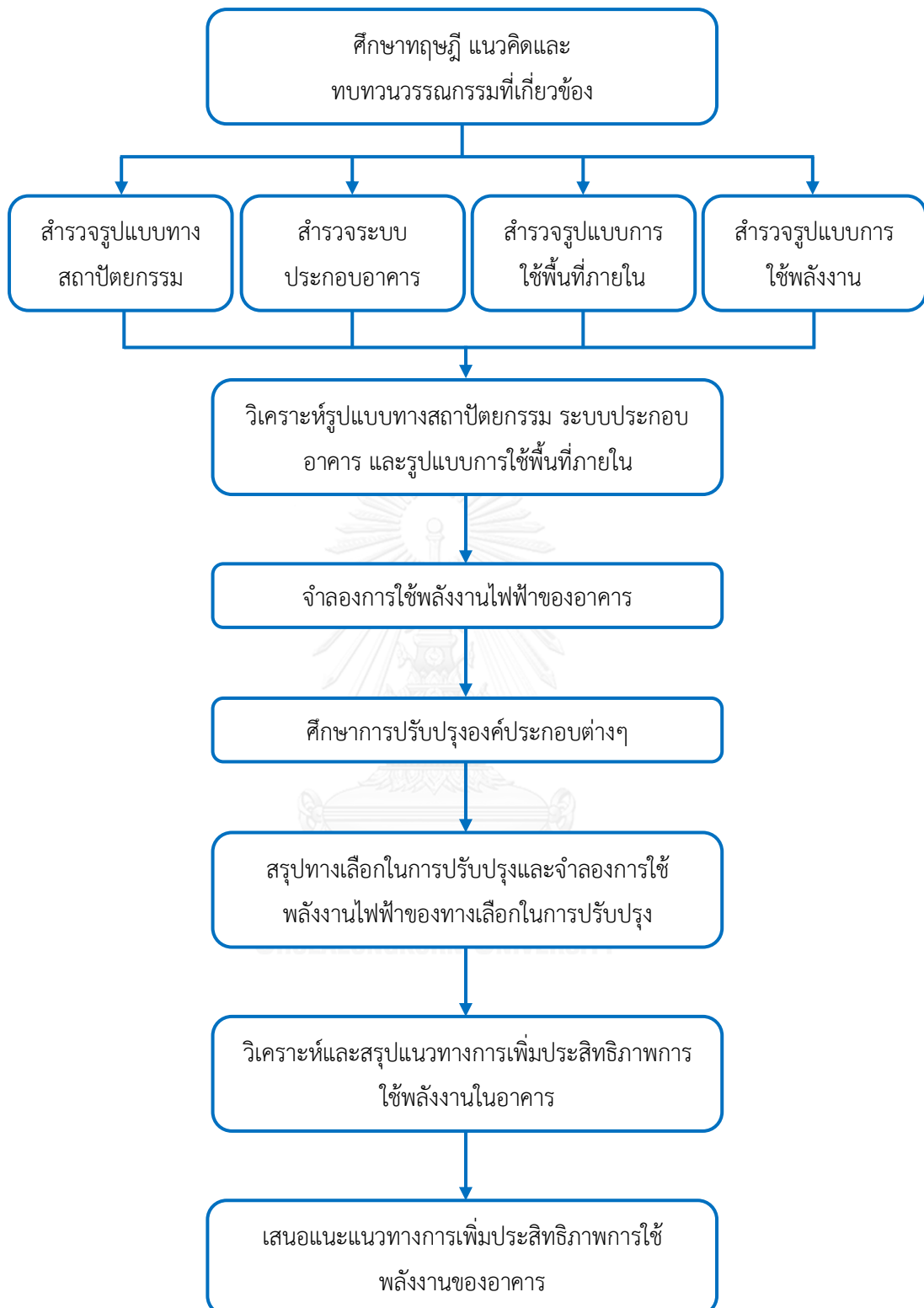
ทำการเลือกการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆที่เหมาะสม โดยวิเคราะห์ผลการจำลองในเชิงเทคนิคและค่าการลงทุน นำมาสรุปทางเลือกในการปรับปรุงอาคารที่เป็นไปได้ทั้งหมด จากนั้นจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร ในทางเลือกการปรับปรุงอาคารต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Visual DOE 4.1.0)

3.6 การวิเคราะห์และสรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

โดยนำผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในทางเลือกการปรับปรุงอาคารต่างๆ มาวิเคราะห์ ศึกษาผลการจำลองในเชิงเทคนิค และผลการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยใช้รูปแบบของระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปี และนำผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

3.7 การเสนอแนะแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

โดยนำแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ให้ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด มาเรียงลำดับการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ ตามระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย



ภาพที่ 3.2 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 การสำรวจอาคาร

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แบ่งกลุ่มอาคารเรียนออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่อยู่ในบริเวณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มี 3 อาคาร ซึ่งประกอบด้วย อาคารสถาปัตยกรรม 1 (ARC01) อาคารสถาปัตยกรรม 2 (ARC02) และอาคารนารถ โทธิประสาธ (ARC05) และกลุ่มที่อยู่บริเวณโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา มี 2 อาคาร คือ อาคารเลิศ อูร์สยะนันท์ (ARC03) และอาคารโวมยากร (ARC04) โดยมีพื้นที่รวมประมาณ 27,300 ตารางเมตร

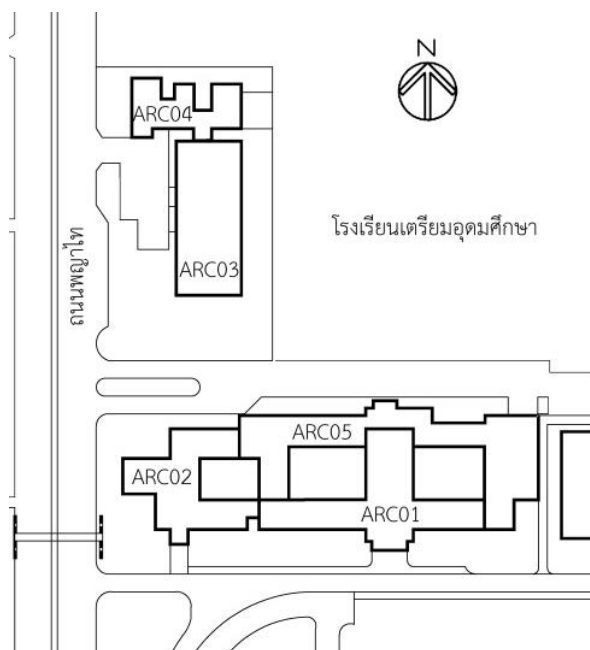
อาคารที่ทำการศึกษา ประกอบด้วยอาคาร 3 อาคารเชื่อมต่อกัน ได้แก่ อาคารสถาปัตยกรรม 1 อาคารสถาปัตยกรรม 2 และอาคารนารถ โทธิประสาธ ดังภาพที่ 4.1 เป็นอาคารเรียนหลักของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ตั้งอยู่ริมถนนพญาไท



ภาพที่ 4.1 อาคารที่ทำการศึกษา

ภาพรวมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (บนซ้าย) อาคารสถาปัตยกรรม 1 (บนขวา)
อาคารสถาปัตยกรรม 2 (ล่างซ้าย) และอาคารนารถ โทธิประสาธ (ล่างขวา)
(สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558)

อาคารสถาปัตยกรรม 1 เป็นอาคารที่ก่อสร้างเป็นอาคารแรกของคณะ เปิดใช้ในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2483 อาคารสถาปัตยกรรม 2 เปิดใช้ลำดับต่อมาในปีพ.ศ. 2512 ส่วนอาคารนารถ โพรธิประสาทเป็นอาคารที่ก่อสร้างลำดับสุดท้าย เปิดใช้ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2538 อาคารที่ ทำการศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมี 11 ชั้น ขนาดกว้าง 45 เมตร ยาว 145 เมตร วางตัวใน แนวตะวันออก-ตะวันตก ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ผังบริเวณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 การแบ่งพื้นที่ภายในอาคาร

จากการสำรวจ พบว่า อาคารมีพื้นที่ใช้สอยรวมประมาณ 20,240 ตารางเมตร ประกอบด้วย พื้นที่ปรับอากาศ 12,230 ตารางเมตร ซึ่งคิดเป็น 60.4% และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 8,010 ตารางเมตร คิดเป็น 39.6% พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ประกอบด้วย พื้นที่สำนักงาน 1,370.5 ตารางเมตร (6.8%) ห้องเรียนบรรยาย 2,412.9 ตารางเมตร (11.9%) ห้องสตูดิโอ 3,494.4 ตารางเมตร (17.3%) ห้องพัก อาจารย์ 1,755.8 ตารางเมตร (8.7%) ห้องสมุด 902.0 ตารางเมตร (4.5%) พื้นที่ปรับอากาศอื่นๆ เช่น ห้องประชุม ห้องวิจัย ห้องทำงานสำหรับนิสิต ร้านขายของ เป็นต้น รวม 2,294.8 ตารางเมตร (11.3%) ทางสัญจร 6,916.5 ตารางเมตร (34.2%) ห้องน้ำ 688.3 ตารางเมตร (2.4%) และพื้นที่ ไม่ปรับอากาศอื่นๆ เช่น ห้องเก็บของ ร้านถ่ายเอกสาร เป็นต้น รวม 402.5 ตารางเมตร (2.0%) ดัง แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

พื้นที่ใช้สอย		พื้นที่	
		(m ²)	(%)
พื้นที่ปรับอากาศ	สำนักงาน	1370.5	6.8
	ห้องเรียนบรรยาย	2,412.9	11.9
	ห้องสตูดิโอ	3,494.4	17.3
	ห้องพักอาจารย์	1,755.8	8.7
	ห้องสมุด	902.0	4.5
	พื้นที่ปรับอากาศอื่นๆ	2294.8	11.3
	รวม	12,230.4	60.4
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	ทางสัญจร	6,916.6	34.2
	ห้องน้ำ	688.3	3.4
	พื้นที่ไม่ปรับอากาศอื่นๆ	402.4	2.0
	รวม	8,007.3	39.6
รวมทั้งหมด		20,237.7	100.0

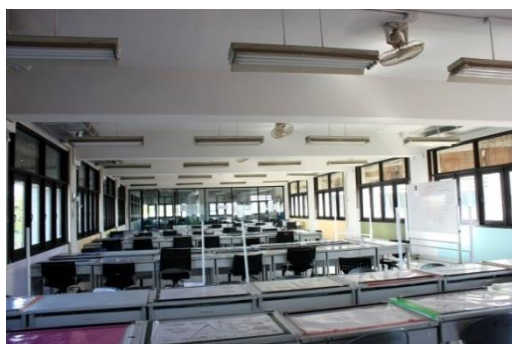
4.1.3 เปลือกอาคาร

ผนังทึบของอาคารประกอบด้วย W1 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีขาว W2 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีน้ำตาล W3 ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีขาว W4 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ W5 ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ W6 เสาคอนกรีตทาสีขาว+ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ และ W7 เสาคอนกรีตกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ+ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ ดังตารางที่ 4.2 หลังคาของอาคารได้แก่ R1 หลังคากระเบื้องลอนคู่สีอิฐมุมเอียงประมาณ 15 องศา R2 หลังคากระเบื้องลอนคู่สีอิฐมุมเอียงประมาณ 30 องศา และ R3 หลังคาเมทัลชีทมุมเอียงประมาณ 15 องศา และกระจกของอาคารเป็นกระจกสีใสธรรมดา หนา 6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคาร

วัสดุ	อาคารสถาปัตยกรรม 1 (3 ชั้น)	อาคารสถาปัตยกรรม 2 (3 ชั้น)	อาคารนารถ โปธิประสาธ (11 ชั้น)
ผนังทึบ	W1 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่น ฉาบปูนเรียบทาสีขาว	W2 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่น ฉาบปูนเรียบทาสีน้ำตาล อ่อน	- W1 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูน เรียบทาสีขาว - W3 ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูน เรียบทาสีขาว - W4 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นกรู กระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ - W5 ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นกรู กระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ - W6 เสาคอนกรีตทาสีขาว+ผนัง ก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ - W7 เสาคอนกรีตกรูกระเบื้อง เซรามิกกึ่งเคลือบ+ผนังก่ออิฐครึ่ง แผ่นฉาบปูนเรียบ
หลังคา	R1 หลังคากระเบื้องลอน คู่สีอิฐมูมเอียง 15 องศา	R1 หลังคากระเบื้อง ลอนคู่สีอิฐมูมเอียง 15 องศา	- R2 หลังคากระเบื้องลอนคู่สีอิฐ มูมเอียง 30 องศา - R3 หลังคาเมทัลชีทมูมเอียง 15 องศา
กระจก	G0 กระจกสีใส	G0 กระจกสีใส	G0 กระจกสีใส

4.1.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง



ภาพที่ 4.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร
ห้องสตูดิโอ 504 (ซ้าย) และห้องประชุม 116 (ขวา)

จากการสำรวจหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน พบว่า หลอดไฟฟ้าที่ใช้ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ หลอด LED และหลอดฮาโลเจน มีค่า กำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (LPD) เฉลี่ยทั้งอาคารเท่ากับ 10.02 W/m^2 และมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง สูงสุดแบ่งตามพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในพื้นที่ใช้สอยต่างๆ

พื้นที่ใช้สอย		พื้นที่		กำลังไฟฟ้าส่องสว่าง สูงสุด (W/m^2)
		(m^2)	(%)	
พื้นที่ปรับอากาศ	สำนักงาน	1370.5	6.8	14.27
	ห้องเรียนบรรยาย	2,412.9	11.9	14.34
	ห้องสตูดิโอ	3,494.4	17.3	13.73
	ห้องพักอาจารย์	1,755.8	8.7	18.19
	ห้องสมุด	902.0	4.5	5.18
	พื้นที่ปรับอากาศอื่นๆ	2294.8	11.3	12.31
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	ทางสัญจร	6,916.6	34.2	3.56
	ห้องน้ำ	688.3	3.4	11.41
	พื้นที่ไม่ปรับอากาศอื่นๆ	402.4	2.0	9.21
รวมทั้งหมด		20,237.7	100.0	10.02

4.1.5 ระบบปรับอากาศ

จากการสำรวจพบว่า ระบบปรับอากาศของอาคารเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) และระบบปรับอากาศแบบชุด (Package) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศทั้งหมด 358 เครื่อง ซึ่งมีกำลังการทำงานตั้งแต่ 9,000 บีทียูต่อชั่วโมง ถึง 200,000 บีทียูต่อชั่วโมง มีกำลังการทำงานรวม 11,033,500 บีทียูต่อชั่วโมง คิดเป็น 919.5 ตันความเย็น และมีอัตราส่วนพื้นที่ต่อตันความเย็นเฉลี่ยเป็น 13.30 ตารางเมตรต่อตันความเย็น เป็นเครื่องปรับอากาศที่มีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ย (EER) ตั้งแต่ 7.83 Btu/h/W ถึง 13.87 Btu/h/W โดยมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 10.31 Btu/h/W ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 กำลังการทำความเย็นและประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ

พื้นที่ใช้สอย ที่มีการปรับอากาศ	พื้นที่		กำลังการทำ ความเย็นรวม (Ton)	อัตราส่วนพื้นที่ ต่อตันความเย็น (m ² /Ton)	EER เฉลี่ย (Btu/h/W)
	(m ²)	(%)			
สำนักงาน	1370.5	6.8	98.0	13.98	9.97
ห้องเรียนบรรยาย	2,412.9	11.9	237.0	10.18	10.37
ห้องสตูดิโอ	3,494.4	17.3	273.0	12.80	10.77
ห้องพักอาจารย์	1,755.8	8.7	100.9	17.41	9.58
ห้องสมุด	902.0	4.5	41.6	21.66	10.93
พื้นที่ปรับอากาศอื่นๆ	2294.8	11.3	169.0	13.58	10.05
รวม	12,230.4	60.4	919.5	13.30	10.31

4.1.6 อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

จากการสำรวจ พบว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร ประกอบด้วย อุปกรณ์สำนักงานและ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียนการสอน เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร ตู้เย็น เครื่องฉาย โพรเจคเตอร์ เครื่องขยายเสียง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีเครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบเครื่องกล ได้แก่ มอเตอร์ลิฟต์และปั้มน้ำ จากการคำนวณพบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) เฉลี่ย ทั้งอาคารมีค่าเท่ากับ 9.52 W/m² โดยแบ่งตามพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 4.5 นอกจากนี้ยังพบว่ามี การใช้คอมพิวเตอร์พกพา ซึ่งไม่ทราบสัดส่วนการใช้งานอีกด้วย



ภาพที่ 4.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร
ห้องเรียนบรรยาย 307 (ซ้าย) และสำนักงาน 1105 (ขวา)

ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ในพื้นที่ใช้สอยต่างๆ

พื้นที่ใช้สอย		พื้นที่		ค่ากำลังไฟฟ้าของ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m ²)
		(m ²)	(%)	
พื้นที่ปรับอากาศ	สำนักงาน	1370.5	6.8	34.19
	ห้องเรียนบรรยาย	2,412.9	11.9	10.73
	ห้องสตูดิโอ	3,494.4	17.3	1.67
	ห้องพักอาจารย์	1,755.8	8.7	8.89
	ห้องสมุด	902.0	4.5	9.48
	พื้นที่ปรับอากาศอื่นๆ	2294.8	11.3	7.64
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	ทางสัญจร	6,916.6	34.2	0.13
	ห้องน้ำ	688.3	3.4	0.00
	พื้นที่ไม่ปรับอากาศอื่นๆ	402.4	2.0	177.34
รวมทั้งหมด		20,237.7	100.0	9.52

4.1.7 ช่องเปิดของอาคาร

จากการสำรวจ พบว่า ช่องเปิดประตูและหน้าต่างของอาคาร ประกอบด้วย ประตูไม้บานเปิด ประตูอลูมิเนียมบานเลื่อน ส่วนหน้าต่างเป็นหน้าต่างไม้บานเปิด หน้าต่างอลูมิเนียมบานเปิด หน้าต่างอลูมิเนียมบานเลื่อน และหน้าต่างบานเกล็ด ดังตารางที่ 4.6

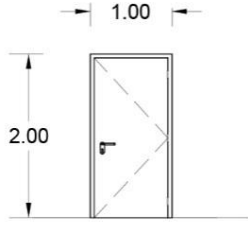
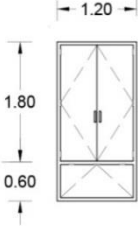
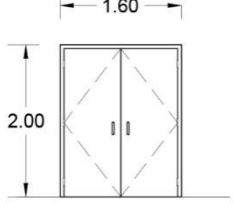
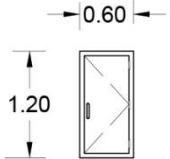
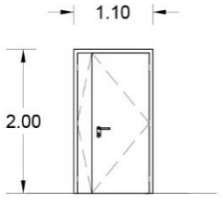
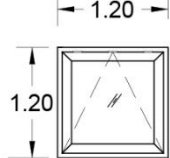
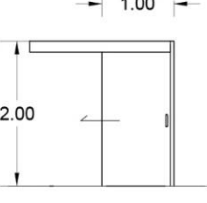
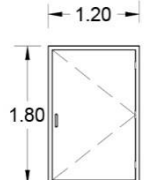
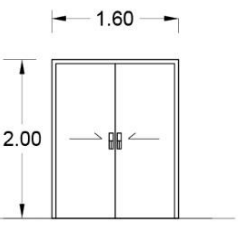
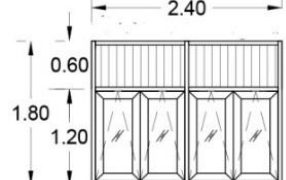
นอกจากนี้ จากการสำรวจยังพบอีกว่า ช่องเปิดของอาคารมีสภาพทรุดโทรม เช่น ไม่สามารถปิดประตูได้สนิท ไม่สามารถเปิดหน้าต่างได้ เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลให้มีอัตราการรั่วซึมของอากาศสูง สิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศ อีกทั้งยังไม่เปิดเพื่อระบายอากาศในเวลาที่ไม่มีการใช้งาน



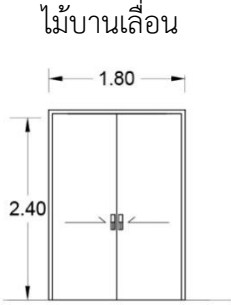

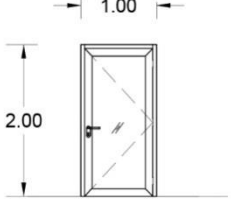
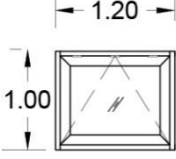
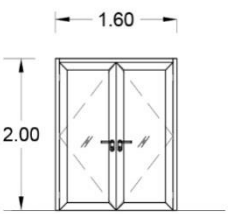
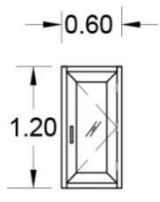
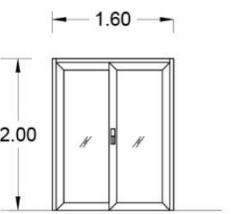
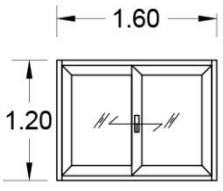
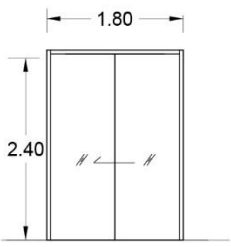
ภาพที่ 4.5 ช่องเปิดภายในอาคาร

อาคารสถาปัตยกรรม 1 ชั้น 3 (ซ้าย) และห้องสตูดิโอ 905 (ขวา)

ตารางที่ 4.6 ผลการสำรวจช่องเปิดประตูและหน้าต่าง

ช่องเปิดประตู	วัสดุและชนิด	ช่องเปิดหน้าต่าง	วัสดุและชนิด
O1	ไม้บานเปิด 	O11	ไม้บานเปิดบานรั้ง  ไม้บานกระทุ้ง
O2	ไม้บานเปิด 	O12	ไม้บานเปิดบานรั้ง 
O3	ไม้บานเปิด 	O13	ไม้บานกระทุ้ง 
O4	ไม้บานเลื่อน 	O14	ไม้บานเปิดบานรั้ง 
O5	ไม้บานเลื่อน 	O15	วงกบอลูมิเนียม บานเกล็ดกระจกปรับมุมแนวตั้ง  อลูมิเนียมบานกระทุ้ง

ตารางที่ 4.6 ผลการสำรวจช่องเปิดประตูและหน้าต่าง (ต่อ)

ช่องเปิดประตู	วัสดุและชนิด	ช่องเปิดหน้าต่าง	วัสดุและชนิด
○6	ไม้บานเลื่อน 	○16	อลูมิเนียมบานเปิด 
○7	อลูมิเนียมบานเปิด 	○17	อลูมิเนียมบานกระทุ้ง 
○8	อลูมิเนียมบานเปิด 	○18	อลูมิเนียมบานเปิด 
○9	อลูมิเนียมบานเลื่อน 	○19	อลูมิเนียมบานเลื่อน 
○10	อลูมิเนียมบานเลื่อน 		

4.1.8 รูปแบบการใช้อาคาร

จากการสำรวจ พบว่า อาคารมีรูปแบบการใช้งานที่หลากหลาย ดังนี้

4.1.8.1 สำนักงาน ประกอบด้วย พื้นที่หน่วยงานฝ่ายต่างๆ สำนักภาควิชา มีการใช้งานตลอดทุกวันจันทร์ถึงศุกร์ ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 18:00 น. นอกจากนี้ ในบางพื้นที่ยังมีการใช้งานล่วงเวลาในวันเสาร์อีกด้วย

4.1.8.2 ห้องเรียนบรรยาย ประกอบด้วย ห้องบรรยายที่มีขนาดเล็กสำหรับ 16 คน ถึงห้องบรรยายขนาดใหญ่สำหรับ 168 คน มีการใช้งานทุกวันจันทร์ถึงศุกร์ในช่วงเปิดภาคการศึกษา ตั้งแต่เวลา 9:00 น. ถึง 16:00 น. และในบางพื้นที่อาจมีการใช้งานในช่วงค่ำตั้งแต่ 18:00 น. ถึง 21:00 น. และในวันเสาร์เวลา 9:00 น.ถึง 16:00 น. สำหรับนิสิตภาคนอกเวลาราชการ โดยมีการใช้งานในช่วงเช้าเป็นหลัก นอกจากนี้ ห้องเรียนบรรยายที่มีขนาดเล็กยังใช้เพื่อการเรียนการสอนประเภทสตูดิโออีกด้วย



ภาพที่ 4.6 การใช้งานพื้นที่ในรูปแบบห้องเรียนบรรยายขนาดใหญ่ (329)

4.1.8.3 ห้องสตูดิโอ ประกอบด้วย ห้องสตูดิโอขนาดเล็กพื้นที่ประมาณ 29 ตารางเมตร ถึงห้องสตูดิโอขนาดใหญ่มีพื้นที่ประมาณ 341 ตารางเมตร สำหรับ 100 คน โดยปกติจะมีการใช้งานในวันจันทร์ถึงศุกร์เท่านั้น มีการใช้งานมากในวันอังคาร พฤหัสบดีและศุกร์ในช่วงบ่าย มีลักษณะการใช้งานเป็นการตรวจแบบเป็นกลุ่มย่อย 8-12 คน นอกจากนี้ยังมีห้องสตูดิโอ DO ซึ่งปิดหน้าต่างทั้งหมดและติดตั้งเครื่องฉายโปรเจคเตอร์ขนาดใหญ่หลายเครื่อง เพื่อใช้ในการนำเสนอผลงานแบบกลุ่มใหญ่ในบางครั้งคราวนอกจากการตรวจแบบกลุ่มย่อยอีกด้วย



ภาพที่ 4.7 การใช้งานพื้นที่ในรูปแบบห้องสตูดิโอ
ห้องสตูดิโอ 605 (ชาย) และห้องสตูดิโอ DO (220) (ขวา)

ตารางที่ 4.7 การใช้งานอาคารในลักษณะต่างๆ

การใช้งานพื้นที่	วัน	8.00 - 9.00	9.00 - 10.00	10.00 - 11.00	11.00 - 12.00	12.00 - 13.00	13.00 - 14.00	14.00 - 15.00	15.00 - 16.00	16.00 - 17.00	17.00 - 18.00	18.00 - 19.00	19.00 - 20.00	20.00 - 21.00	21.00 - 22.00	
		สำนักงาน	จันทร์-ศุกร์	—————											- - - - -	
เสาร์	- - - - -		—————													
ห้องเรียน บรรยาย	จันทร์-ศุกร์	- - - - -	—————									- - - - -				
	เสาร์	- - - - -	—————													
ห้องสตูดิโอ	จันทร์-ศุกร์	- - - - -					—————									

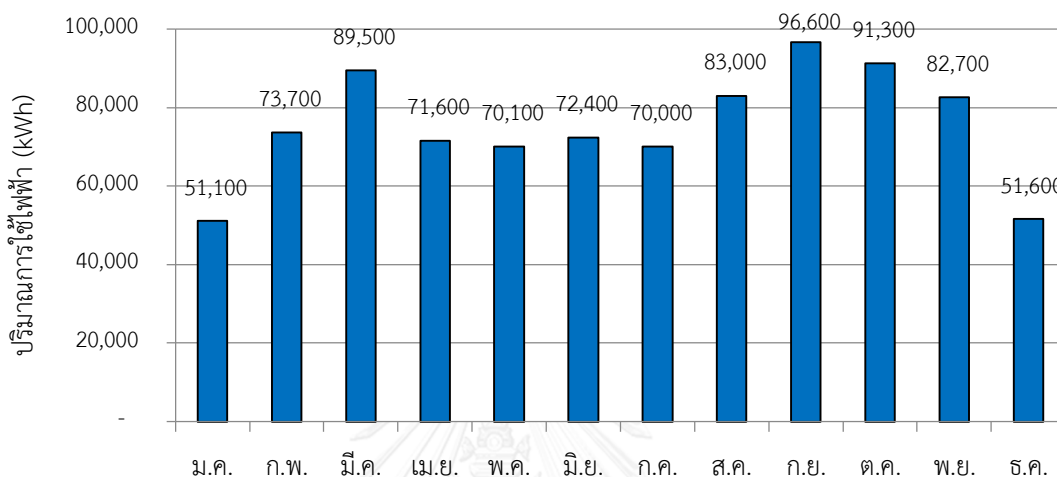
————— มีการใช้งานเป็นส่วนใหญ่

- - - - - มีการใช้งานบางส่วน

■ เวลาพักกลางวัน

4.1.9 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

จากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร ของสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2558) ในปีพ.ศ. 2557 เดือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ เดือนกันยายน และเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ เดือนมกราคม ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.1



แผนภูมิที่ 4.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของอาคารในปีพ.ศ. 2557

4.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับเกณฑ์

4.2.1 การคำนวณและเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา

จากผลการสำรวจอาคาร คุณสมบัติของเปลือกอาคารต่างๆ เป็นดังตารางที่ 4.8 โดยผนังทึบของอาคารเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสี ผนังก่ออิฐฉาบปูนกรุกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ และเสาคอนกรีต+ผนังก่ออิฐฉาบปูน มีค่า U-value ตั้งแต่ $1.33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ถึง $3.93 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ กระฉกที่ใช้เป็นกระฉกธรรมชาติสีใสหนา 6 มิลลิเมตร มีค่า U-value เท่ากับ $5.74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และ SHGC เท่ากับ 0.82 และหลังคาของอาคารเป็นหลังคากระเบื้องลอนคู่และหลังคาเมทัลชีท มีค่า U-value ตั้งแต่ $0.30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ถึง $1.42 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

ในการคำนวณ OTTV จะคำนวณเฉพาะพื้นที่ปรับอากาศเท่านั้น ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.8 ถึง 4.18 โดยสามารถแบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 12,230.4 ตารางเมตร คิดเป็น 60.4% และไม่ปรับอากาศ 8,007.3 ตารางเมตร คิดเป็น 39.6% ดังตารางที่ 4.9

จากนั้นคำนวณ OTTV พบว่า OTTV ของอาคารรวมมีค่าเท่ากับ 83.43 W/m^2 โดยมีค่ามากที่สุดไนทิศตะวันออก และน้อยที่สุดในทิศเหนือ และอาคารทั้ง 3 อาคารมีค่า OTTV ที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 4.10-4.13 ส่วน RTTV ของอาคารรวมมีค่าเท่ากับ 42.59 W/m^2

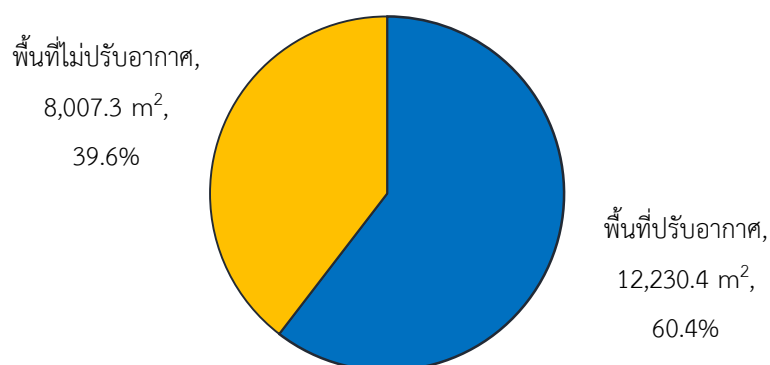
เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด 2 เกณฑ์ ได้แก่ เกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปีพ.ศ. 2550 และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) พ.ศ. 2551 พบว่า อาคารมีค่า OTTV และ RTTV สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทั้งสองเกณฑ์ ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติของเปลือกอาคาร

เปลือกอาคาร	วัสดุและคุณสมบัติ	
ผนังทึบ	W1	ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีขาว $U = 2.89 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 268.6 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
	W2	ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีน้ำตาลอ่อน $U = 2.89 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 268.6 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
	W3	ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีขาว $U = 3.93 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 134.3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
	W4	ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ $U = 2.11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 369.6 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
	W5	ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ $U = 2.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 221.76 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
	W6	เสาคอนกรีตทาสีขาว + ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ $U = 1.66 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 1238.3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
	W7	เสาคอนกรีตกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ + ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ $U = 1.33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 1322.3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
หลังคา	R1	หลังคากระเบื้องลอนคู่มุงเอียง 15 องศา + ช่องอากาศ + ฝ้ายิปซัมบอร์ด $U = 1.40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 19.85 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
	R2	หลังคากระเบื้องลอนคู่มุงเอียง 30 องศา + ช่องอากาศ + ฝ้ายิปซัมบอร์ด $U = 1.42 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 19.85 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
	R3	หลังคาเมทัลชีทมุงเอียง 15 องศา + ฉนวนโพลีเอทีลิน + ฝ้ายิปซัมบอร์ด $U = 0.30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{DSH} = 4.87 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$
กระจก	G0	กระจกธรรมดาใสหนา 6 มิลลิเมตร (G0) $U = 5.74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{SHGC} = 0.82$, $\tau_{\text{vis}} = 0.88$

ตารางที่ 4.9 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศและพื้นที่ไม่ปรับอากาศในอาคาร

ชั้นที่	พื้นที่ปรับอากาศ (m ²)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (m ²)	รวม (m ²)
1	1,274.3	2,230.0	3,504.3
2	2,374.2	1,071.2	3,445.4
3	1,934.5	983.1	2,917.6
4	1,379.9	540.6	1,920.5
5	887.7	352.6	1,240.3
6	879.8	360.5	1,240.3
7	886.6	353.7	1,240.3
8	697.4	542.9	1,240.3
9	603.3	637.0	1,240.3
10	644.7	479.5	1,124.2
11	668.0	456.2	1,124.2
รวม	12,230.4	8,007.3	2,0237.7
ร้อยละ	60.4	39.6	100.0



แผนภูมิที่ 4.2 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศในอาคาร

ตารางที่ 4.10 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 1

ตัวแปร	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
Window-to-wall ratio (WWR)	-	19.8%	34.0%	22.1%
WWR เฉลี่ย	28.9%			
OTTV (W/m ²)	-	66.98	86.83	67.55
Overall OTTV (W/m ²)	79.07			
RTTV (W/m ²)	46.01			

ตารางที่ 4.11 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 2

ตัวแปร	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
Window-to-wall ratio (WWR)	27.4%	0.0%	23.1%	8.4%
WWR เฉลี่ย	18.2%			
OTTV (W/m^2)	68.20	38.38	72.89	44.44
Overall OTTV (W/m^2)	62.04			
RTTV (W/m^2)	46.25			

ตารางที่ 4.12 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของอาคารนารถ โพรซิประสาท

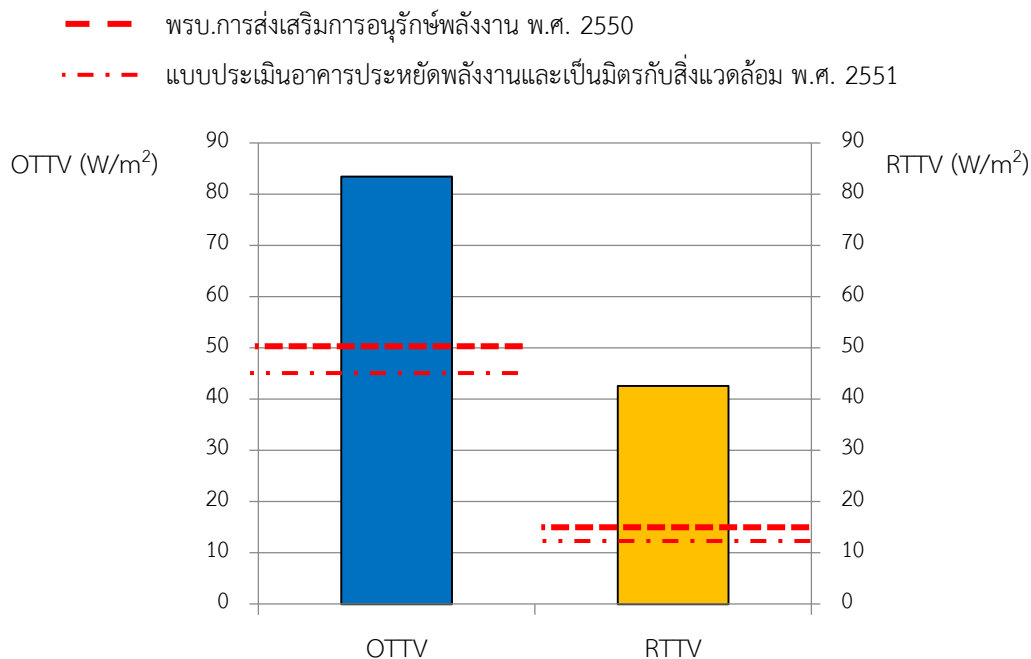
ตัวแปร	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
Window-to-wall ratio (WWR)	32.0%	39.6%	37.0%	36.8%
WWR เฉลี่ย	35.3%			
OTTV (W/m^2)	74.56	105.06	95.54	95.32
Overall OTTV (W/m^2)	88.11			
RTTV (W/m^2)	36.47			

ตารางที่ 4.13 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV โดยรวมของอาคารที่ศึกษา

ตัวแปร	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
Window-to-wall ratio (WWR)	31.8%	33.4%	34.0%	27.1%
WWR เฉลี่ย	32.1%			
OTTV (W/m^2)	74.19	93.69	89.58	77.52
Overall OTTV (W/m^2)	83.43			
RTTV (W/m^2)	42.59			

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกับเกณฑ์ที่กำหนด

	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)
อาคารที่ศึกษา (ค่าเฉลี่ยรวมทุกอาคาร)	83.43	42.59
พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550	< 50.00	< 15.00
แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2551	< 45.00	< 12.00



แผนภูมิที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกับเกณฑ์ที่กำหนด

4.2.2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบประกอบอาคาร

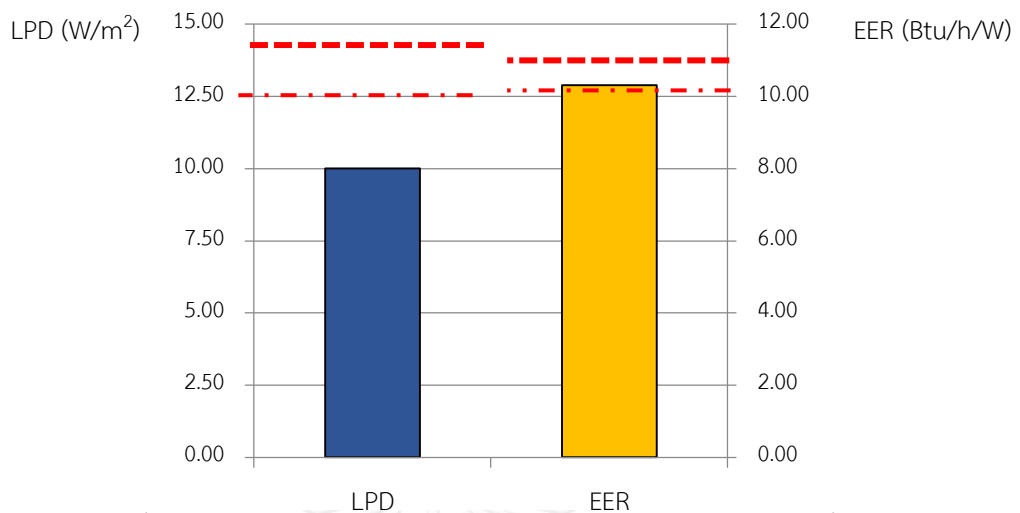
จากผลการสำรวจอาคาร พบว่า ค่า LPD เฉลี่ยของทั้งอาคารมีค่าเท่ากับ 10.02 W/m^2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ พบว่า อาคารมีค่า LPD ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทั้งสองเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 เนื่องจากเป็นอาคารมหาวิทยาลัย มีพื้นที่ใช้สอยหลักเป็นห้องเรียนและสำนักงาน มีสัดส่วนของพื้นที่ทางสัญจรมากเมื่อเทียบกับอาคารสำนักงาน จึงมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่ำกว่า

ส่วนผลการสำรวจระบบปรับอากาศ พบว่า ค่า EER เฉลี่ยของระบบปรับอากาศมีค่า 10.31 Btu/h/W เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ทั้งสอง พบว่า ค่า EER ของอาคารมีค่าสูงกว่าแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่ยังต่ำกว่าเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ดังตารางที่ 4.15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศอยู่ในเกณฑ์ดี

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่า LPD และ EER ของอาคารกับเกณฑ์ที่กำหนด

	LPD (W/m^2)	EER (Btu/h/W)
อาคารที่ศึกษา (ค่าเฉลี่ยรวมทุกอาคาร)	10.02	10.31
พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550	< 14.00	> 11.00
แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2551	< 12.50	> 10.10

- — พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550
- · · · · แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2551



แผนภูมิที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่า LPD และ EER ของอาคารกับเกณฑ์ที่กำหนด

4.2.3 การวิเคราะห์ช่องเปิดและอัตราการรั่วซึมของอากาศ

จากผลการสำรวจพบว่า อาคารมีช่องเปิดจำนวนมาก ซึ่งประกอบด้วย ประตูไม้บานเปิด ประตูอลูมิเนียมบานเลื่อน ส่วนหน้าต่างเป็นหน้าต่างไม้บานเปิด หน้าต่างอลูมิเนียมบานเปิด หน้าต่างอลูมิเนียมบานเลื่อน และหน้าต่างบานเกล็ด จากนั้นนำไปคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยจากช่องเปิดของห้องปรับอากาศตามแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของ พพ. พบว่า อัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 L/s-m ดังตารางที่ 4.16 และนำไปเปรียบเทียบกับแบบประเมินพบว่า อาคารมีอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 4.19 ช่องเปิดรูปแบบต่างๆของอาคาร
 หน้าต่างอลูมิเนียมบานกระทุ้งและบานเกล็ดกระจกปรับมุมแนวตั้ง (ซ้าย)
 หน้าต่างไม้บานกระทุ้ง (กลาง) และประตูไม้บานเปิด (ขวา)

ตารางที่ 4.16 การคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ย

ช่องเปิด	วัสดุและชนิด	จำนวน (ชุด)	ปริมาณ อากาศรั่วซึม (V_s -m)	ความยาว เส้นรอยรั่ว (m)	ปริมาณอากาศ รั่วซึมรวม (V_s)	
ประตู	O1	ไม้บานเปิด	8	1.93	6.0	92.64
	O2	ไม้บานเปิด	60	1.93	9.2	1,065.36
	O3	ไม้บานเปิด	12	1.93	8.2	189.91
	O4	ไม้บานเลื่อน	7	1.00	6.0	42.00
	O5	ไม้บานเลื่อน	5	1.00	10.0	50.00
	O6	ไม้บานเลื่อน	1	1.00	10.8	10.80
	O7	อลูมิเนียมบานเปิด	10	1.93	6.0	115.80
	O8	อลูมิเนียมบานเปิด	17	1.93	9.2	301.85
	O9	อลูมิเนียมบานเลื่อน	6	0.72	9.2	39.74
	O10	อลูมิเนียมบานเลื่อน	1	0.72	10.8	7.78
หน้าต่าง	O11	ไม้บานเปิดบานรั้ง ไม้บานกระทุ้ง	75	0.87 0.65	6.0 3.6	567.00
	O12	ไม้บานเปิดบานรั้ง	140	0.87	3.6	438.48
	O13	ไม้บานเปิดบานรั้ง	55	0.87	6.0	287.10
	O14	ไม้บานกระทุ้ง	41	0.65	4.8	127.92
	O15	อลูมิเนียมบานกระทุ้ง บานเกล็ดกระจก	88	0.65 1.60	14.4 7.2	1,837.44
	O16	อลูมิเนียมบานเปิด	111	0.73	14.4	1,166.83
	O17	อลูมิเนียมบานเปิด	112	0.73	3.6	294.34
	O18	อลูมิเนียมบานกระทุ้ง	16	0.65	4.4	45.76
	O19	อลูมิเนียมบานเลื่อน	24	0.72	7.6	131.33
รวม				6,989.6	6,812.08	
ปริมาณอากาศรั่วซึมเฉลี่ยของอาคาร (V_s -m)				0.97		
ปริมาณอากาศรั่วซึมเฉลี่ยตามเกณฑ์ของพพ. (V_s -m)				< 0.90		

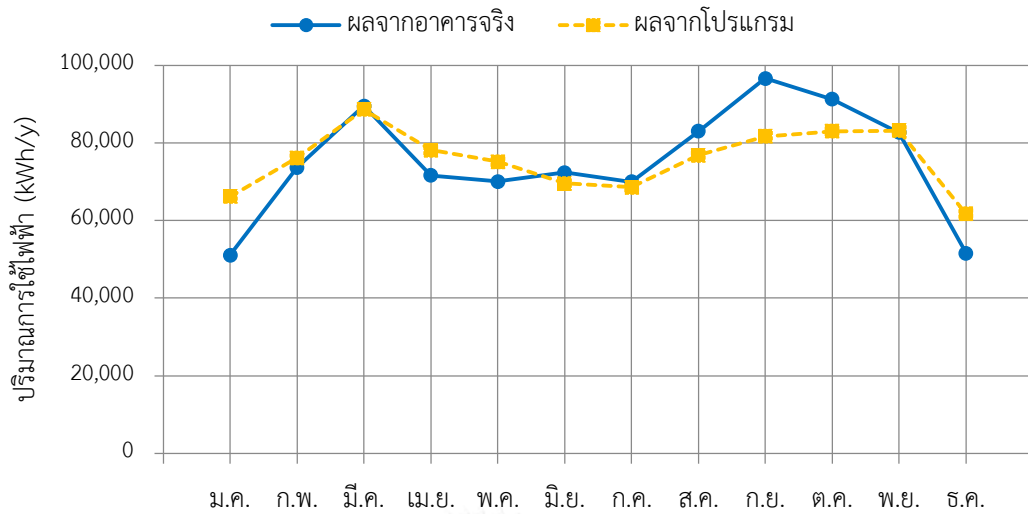
4.3 ผลการจำลองการใช้พลังงาน

เมื่อนำผลการสำรวจอาคารไปจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1.0 พบว่า ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดปีมีค่า 909,004 kWh/y ในขณะที่ค่าการใช้พลังงานจริงของอาคารเป็น 903,600 kWh/y ดังแสดงในตารางที่ 4.17 จะเห็นว่า ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความแตกต่างกันเพียง 0.6% ซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้น ลักษณะข้อมูลที่ป้อนลงในโปรแกรมจึงสามารถใช้จำลองลักษณะของอาคารจริงได้ ถึงแม้ผลการจำลองการใช้พลังงานรายเดือนจะมีความแตกต่างจากการผลจากอาคารจริงอยู่บ้าง เช่น เดือนกันยายน มีการใช้พลังงานในอาคารจริงมากกว่าผลจากโปรแกรม อาจส่งผลจากการใช้อาคารมากกว่าปกติในช่วงกิจกรรมรับน้อง แต่โดยรวมมีทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.5

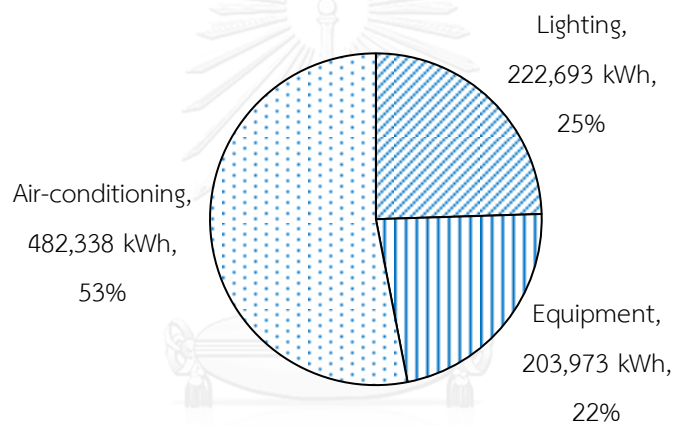
สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ระบบปรับอากาศ คิดเป็น 53% ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 25% และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ คิดเป็น 22% ดังแผนภูมิที่ 4.6 และนำสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาสัดส่วนการใช้พลังงานสำหรับอาคารสถาบันการศึกษาและอาคารสำนักงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552) พบว่า มีความใกล้เคียงกัน โดยอาคารที่ศึกษามีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่างมากกว่าผลการศึกษาของพพ.เล็กน้อย ดังแผนภูมิที่ 4.7

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากอาคารจริงกับการใช้พลังงานจากโปรแกรม

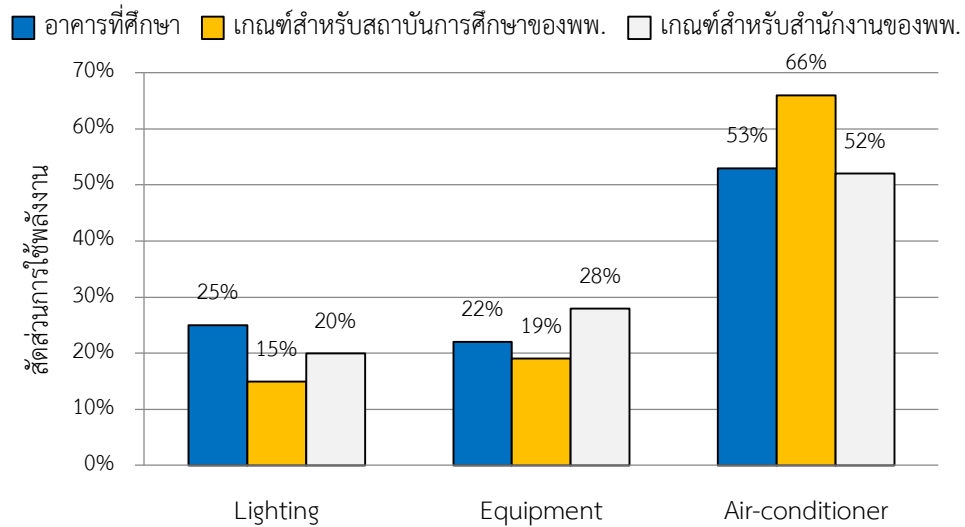
เดือน	ผลการใช้พลังงานในอาคารจริง(kWh)	ผลการใช้พลังงานจากโปรแกรม (kWh)
มกราคม	51,100	66,215
กุมภาพันธ์	73,700	76,170
มีนาคม	89,500	88,645
เมษายน	71,600	78,148
พฤษภาคม	70,100	75,213
มิถุนายน	72,400	69,574
กรกฎาคม	70,000	68,605
สิงหาคม	83,000	76,809
กันยายน	96,600	81,700
ตุลาคม	91,300	83,005
พฤศจิกายน	82,700	83,157
ธันวาคม	51,600	61,763
รวม	903,600	909,004
	ผลต่าง	0.6%



แผนภูมิที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานจากอาคารจริงกับผลการใช้พลังงานจากโปรแกรม



แผนภูมิที่ 4.6 สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารจากโปรแกรมจำลอง



แผนภูมิที่ 4.7 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกับเกณฑ์ของพพ.

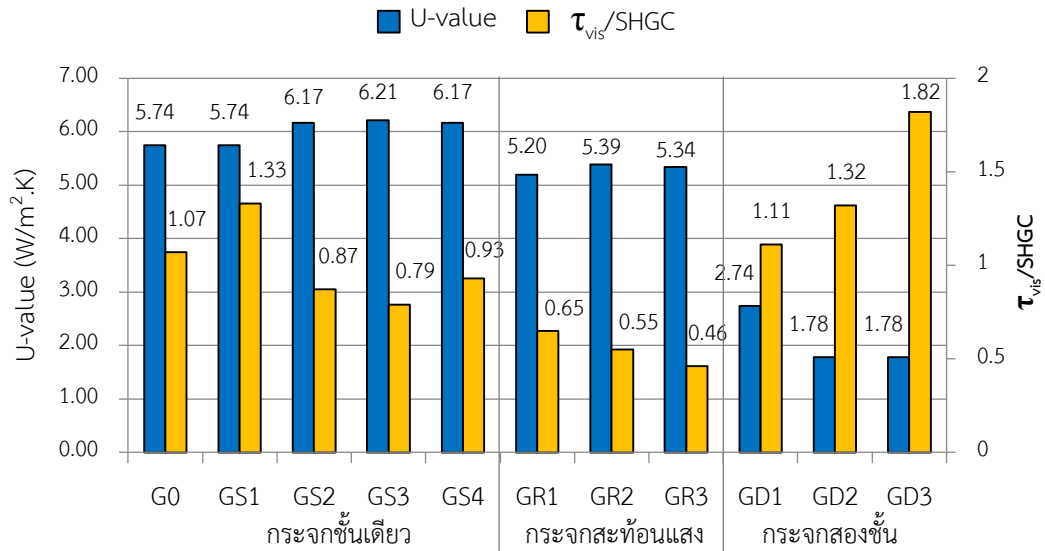
4.4 การปรับปรุงผนังกระจก ช่องเปิด และหน้าต่าง

ในการพิจารณาตัวเลือกในการปรับปรุงผนังกระจก จำเป็นต้องประเมินจุดที่เหมาะสมระหว่างการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารกับแสงสว่างที่ได้รับ โดยพิจารณาสัดส่วนของ τ_{vis} และ SHGC ซึ่งหากสัดส่วนนี้มีค่ามาก แสดงว่าเป็นกระจกที่ยอมให้แสงสว่างผ่านได้ดีในขณะที่ยอมให้ความร้อนแผ่เข้าสู่อาคารน้อย จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการใช้แสงธรรมชาติ เช่น ห้องเรียน จากการสำรวจวัสดุผนังกระจกที่นิยมใช้ในท้องตลาดและนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ในปัจจุบันกระจกของอาคารมีพื้นที่ทั้งหมด 2,554.2 ตารางเมตร โดยเป็นกระจกธรรมดาสีใสน้ำ 6 มิลลิเมตร มีค่า U-value เท่ากับ $5.74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และค่า SHGC เท่ากับ 0.82 ส่งผลให้ความร้อนผ่านช่องเปิดมากหากเทียบกับกระจกชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 4.18 คุณสมบัติของกระจก

ชนิดของกระจก		τ_{vis}	SHGC	U-value ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	τ_{vis}/SHGC
G0	กระจกใส 6 มม. (Base case)	0.88	0.82	5.74	1.07
GS1	กระจกสีเขียว 6 มม.	0.72	0.54	5.74	1.33
GS2	กระจกสีบรอนซ์ 6 มม.	0.53	0.61	6.17	0.87
GS3	กระจกสีเทา 6 มม.	0.44	0.56	6.21	0.79
GS4	กระจกสีฟ้า 6 มม.	0.57	0.61	6.17	0.93
GR1	กระจกสะท้อนแสงสีเงิน 6 มม.	0.20	0.31	5.20	0.65
GR2	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว 6 มม.	0.16	0.29	5.39	0.55
GR3	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า 6 มม.	0.13	0.28	5.34	0.46
GD1	กระจกฉนวนกันความร้อน (กระจกใส 6 มม. + ช่องอากาศ 12 มม. + กระจกใส 6 มม.)	0.78	0.70	2.74	1.11
GD2	กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e (กระจกใสเคลือบ low-e 6 มม. + ช่องอากาศ 12 มม. + กระจกใส 6 มม.)	0.74	0.56	1.78	1.32
GD3	กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e (กระจกสีเขียวเคลือบ low-e 6 มม. + ช่องอากาศ 12 มม. + กระจกใส 6 มม.)	0.62	0.34	1.78	1.82



แผนภูมิที่ 4.8 ค่าการถ่ายเทความร้อน และสัดส่วนของ τ_{vis} และ SHGC ของกระจกชนิดต่างๆ

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของ τ_{vis} และ SHGC ดังแผนภูมิที่ 4.8 พบว่า กระจกกลุ่มที่มีสัดส่วนของ τ_{vis} ต่อ SHGC สูง ได้แก่ กลุ่มกระจกสองชั้น และกลุ่มกระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิว ส่วนกระจกกลุ่มกระจกสะท้อนแสงชั้นเดียวเป็นกลุ่มที่มีสัดส่วนนี้ต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อน (U-value) ดังแผนภูมิที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า กระจกแต่ละกลุ่มมีค่า U-value แตกต่างกัน โดยกลุ่มกระจกสองชั้น มีค่า U-value ต่ำที่สุดโดยมีค่าตั้งแต่ 1.78 W/m².K ถึง 2.74 W/m².K อันดับที่สองคือกลุ่มกระจกสะท้อนแสง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 5.20 W/m².K ถึง 5.39 W/m².K ส่วนกระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิวเป็นกลุ่มที่มีค่า U-value สูงที่สุด ตั้งแต่ 5.74 W/m².K ถึง 6.21 W/m².K

ผนังอาคารส่วนที่เป็นกระจกถือว่าเป็นส่วนที่รับความร้อนสู่พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคารมากที่สุด เพราะความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะสามารถผ่านเข้าสู่ภายในอาคารโดยตรง ดังนั้น การเลือกผนังกระจกจึงควรเลือกกระจกที่มีประสิทธิภาพดี คือ มีค่า U-value และ SHGC ต่ำ แต่กระจกที่มีค่า SHGC ต่ำ ส่วนใหญ่จะเป็นกระจกที่ทึบแสง มีค่า τ_{vis} ต่ำ ทำให้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารได้น้อยลงเช่นกัน

เมื่อนำการปรับปรุงกระจกชนิดต่างๆมาจำลองเพื่อศึกษาผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร พบว่า กระจกที่ทำให้ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงมากที่สุด คือ กระจกกลุ่มกระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว ซึ่งลดลงตั้งแต่ 9.3% ถึง 9.7% จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารในปัจจุบันเนื่องจากเป็นกระจกกลุ่มที่ยอมให้แสงและความร้อนผ่านเข้าสู่อาคารน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.19 ส่วนกระจกกลุ่มกระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิวและกลุ่มกระจกสองชั้นให้ผลที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารตั้งแต่ 2.2% ถึง 8.9% ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.9

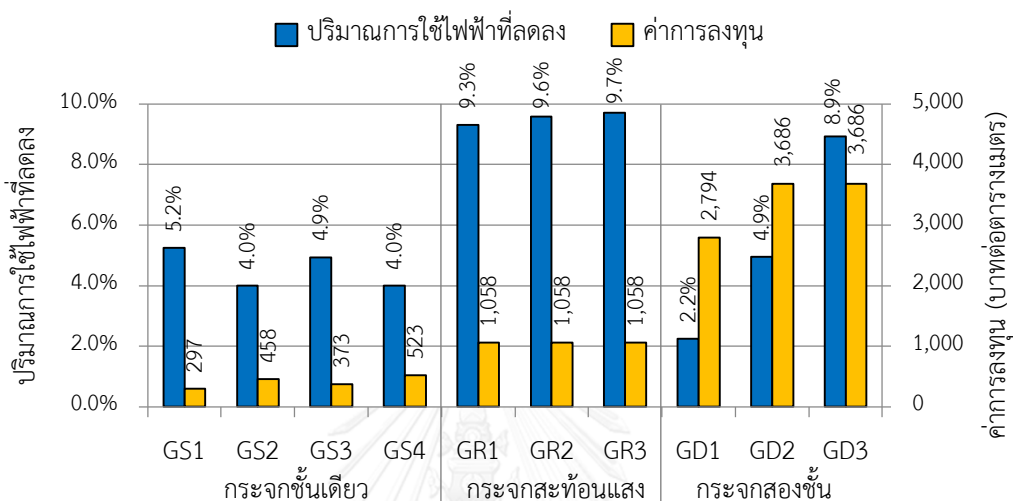
ในด้านมูลค่าการลงทุน กระจกกลุ่มต่างๆมีมูลค่าแตกต่างกัน โดยกลุ่มกระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิวเป็นกลุ่มที่มีราคาต่ำที่สุด มีราคาตั้งแต่ 297 บาทต่อตารางเมตร ถึง 523 บาทต่อตารางเมตร กระจกกลุ่มกระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว มีราคาที่สูงกว่ากลุ่มกระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิว โดยมีราคา 1,058 บาทต่อตารางเมตร ส่วนกระจกกลุ่มกระจกสองชั้นเป็นกลุ่มที่มีราคาสูงที่สุด โดยมีราคาตั้งแต่ 2,794 บาทต่อตารางเมตร ถึง 3,686 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งสูงกว่ากระจกกลุ่มกระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิวประมาณ 5.3 ถึง 12.4 เท่า

ตารางที่ 4.19 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าการลงทุนของการปรับปรุงกระจก

การปรับปรุง		ค่าการลงทุน (บาทต่อ ตารางเมตร)	ปริมาณการ ใช้ไฟฟ้า (kWh/y)	ปริมาณการ ใช้ไฟฟ้าที่ ลดลง (%)
G0	กระจกใส (Base case)	-	909,004	-
GS1	กระจกสีเขียว	297	861,354	5.2
GS2	กระจกสีบรอนซ์	458	872,593	4.0
GS3	กระจกสีเทา	373	864,148	4.9
GS4	กระจกสีฟ้า	523	872,593	4.0
GR1	กระจกสะท้อนแสงสีเงิน	1,058	824,401	9.3
GR2	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	1,058	821,952	9.6
GR3	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า	1,058	820,655	9.7
GD1	กระจกฉนวนกันความร้อน (กระจกใส 6 มม. + ช่องอากาศ 12 มม. + กระจกใส 6 มม.)	2,794*	888,635	2.2
GD2	กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e (กระจกใสเคลือบ low-e 6 มม. + ช่อง อากาศ 12 มม. + กระจกใส 6 มม.)	3,686*	864,022	4.9
GD3	กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e (กระจกสีเขียวเคลือบ low-e 6 มม. + ช่อง อากาศ 12 มม. + กระจกใส 6 มม.)	3,686*	827,810	8.9

*หมายเหตุ ค่าการลงทุนของกระจกฉนวนกันความร้อนไม่ได้รวมการปรับเปลี่ยนวงกบของช่องเปิด

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สัดส่วนของ τ_{vis} ต่อ SHGC ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ราคาค่าลงทุน กระจกที่เลือกเพื่อนำไปเป็นทางเลือกในการปรับปรุงต่อไป จึงได้แก่ GS1 กระจกธรรมดาสีเขียวหนา 6 มม. GR1 กระจกสะท้อนแสงสีเงินหนา 6 มม. และ GD3 กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e หนา 24 มม. (กระจกเขียว low-e + กระจกใส) ซึ่งเป็นตัวแทนของกระจกในแต่ละกลุ่ม



แผนภูมิที่ 4.9 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงกระจก

4.5 การปรับปรุงผนังทึบภายในห้องที่ปรับอากาศด้านที่สัมผัสกับภายนอก

ผนังทึบเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร โดยผนังทึบด้านที่สัมผัสกับภายนอกเป็นส่วนที่ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง จึงส่งผลต่อความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ส่วนผนังทึบภายในไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงเพิ่มเติม ผนังทึบที่สัมผัสกับภายนอกของอาคารประกอบด้วย W1 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีขาว W2 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีน้ำตาลอ่อน W3 ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีขาว W4 ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ W5 ผนังก่ออิฐฉาบปูนกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ W6 เสาคอนกรีตทาสีขาว+ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ W7 และเสาคอนกรีตกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ+ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ ซึ่งคิดเป็นผนังทึบที่ต้องปรับปรุงคิดเป็นพื้นที่ 5,395.4 ตารางเมตร ดังนั้นทางเลือกที่เป็นไปได้ คือ การกรูผนังภายในด้วยวัสดุฉนวนชนิดต่างๆ และหาค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 4.20

ผนังทึบของอาคารในปัจจุบัน ซึ่งไม่มีการกรูฉนวนใดๆ (WA0) มีค่า U-value มากที่สุด โดยมีค่าตั้งแต่ $1.33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ถึง $3.93 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ การเพิ่มฉนวนทุกชนิด ทำให้ค่า U-value ของผนังทึบลดลง โดยการปรับปรุงที่ทำให้ U-value มีค่าต่ำที่สุด คือ WA5 การพ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว ซึ่งมีค่าตั้งแต่ $0.26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ถึง $0.29 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

ตารางที่ 4.20 การปรับปรุงผนังทึบ

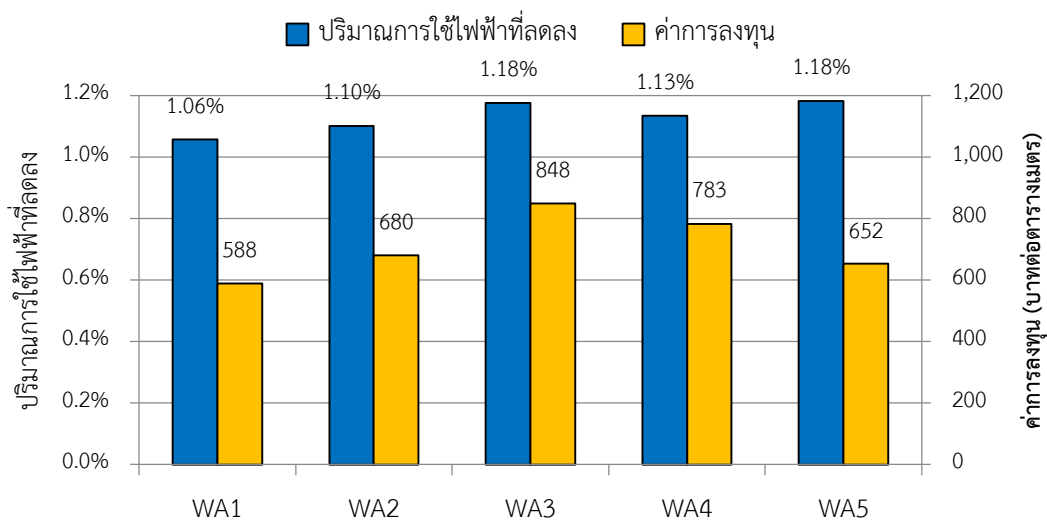
การปรับปรุง		U-value (W/m ² .K)						
		W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
WA0	ไม่มีฉนวนใดๆ (Base case)	2.89	2.89	3.93	2.11	2.86	1.66	1.33
WA1	กรุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว + ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.55	0.55	0.58	0.51	0.55	0.48	0.46
WA2	กรุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว + ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.40	0.40	0.41	0.38	0.39	0.35	0.34
WA3	พ่นฉนวนโพลีเอทิลีน 3 นิ้ว + ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.34	0.34	0.35	0.32	0.34	0.31	0.30
WA4	พ่นฉนวนโพลีสไตรีน 3 นิ้ว + ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.40	0.40	0.41	0.38	0.39	0.35	0.34
WA5	พ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว + ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.28	0.28	0.29	0.27	0.28	0.27	0.26

จากนั้นนำการปรับปรุงผนังทึบมาจำลองการใช้พลังงานได้ผลดังตารางที่ 4.21 พบว่า การเพิ่มฉนวนแต่ละชนิดส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงใกล้เคียงกันโดย WA5 การพ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงมากที่สุด คิดเป็น 1.18% ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผนังทึบที่มีค่า U-value ต่ำกว่า ส่งผลให้มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า

ตารางที่ 4.21 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าการลงทุนของการปรับปรุงผนังทึบ

การปรับปรุง		ค่าการลงทุน (บาทต่อตาราง เมตร)	ปริมาณการ ใช้ไฟฟ้า (kWh/y)	ปริมาณการใช้ ไฟฟ้าที่ลดลง (%)
WA0	ไม่มีฉนวนใดๆ (Base case)	-	909,004	-
WA1	กรุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว+ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	588	899,396	1.06
WA2	กรุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว+ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	680	898,992	1.10
WA3	พ่นฉนวนโพลีเอทิลีน 3 นิ้ว+ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	848	898,313	1.18
WA4	พ่นฉนวนโพลีสไตรีน 3 นิ้ว+ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	783	898,697	1.13
WA5	พ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว+ยิปซัมบอร์ด 12 มม.	652	898,253	1.18

จากการพิจารณาในด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและราคาค่าลงทุน จึงเลือกการปรับปรุง WA1 การกรุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ซึ่งเป็นการปรับปรุงที่มีราคาค่าลงทุนต่ำที่สุด และ การปรับปรุง WA5 การพ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงมากที่สุด เพื่อนำไปเป็นทางเลือกในการปรับปรุงต่อไป



แผนภูมิที่ 4.10 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงผนังทึบ

4.6 การปรับปรุงหลังคา

หลังคาเป็นเปลือกอาคารอีกส่วนหนึ่งที่ได้รับความร้อนจากภายนอก หลังคาของอาคารมีพื้นที่ทั้งหมด 2,254.1 ตารางเมตร โดยประกอบด้วยหลังคากระเบื้องลอนคู่สีอิฐ มีช่องอากาศและฝ้ายิปซัมบอร์ดมมูมเอียง 15 องศา (R1) และหลังคากระเบื้องลอนคู่สีอิฐ มีช่องอากาศและฝ้ายิปซัมบอร์ดมมูมเอียง 30 องศา (R2) พื้นที่รวม 2,101.1 ตารางเมตร โดยมีค่า U-value เท่ากับ $1.40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และ $1.42 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ตามลำดับ และหลังคาเมทัลชีท มีฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว และฝ้ายิปซัมบอร์ดมมูมเอียง 15 องศา มีพื้นที่ 153 ตารางเมตร มีค่า U-value เท่ากับ $0.30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ จากการสำรวจพบว่า ฝ้าเพดานในปัจจุบันถือว่ามีสภาพดี ไม่จำเป็นต้องมีการซ่อมแซม

ตารางที่ 4.22 การปรับปรุงหลังคา

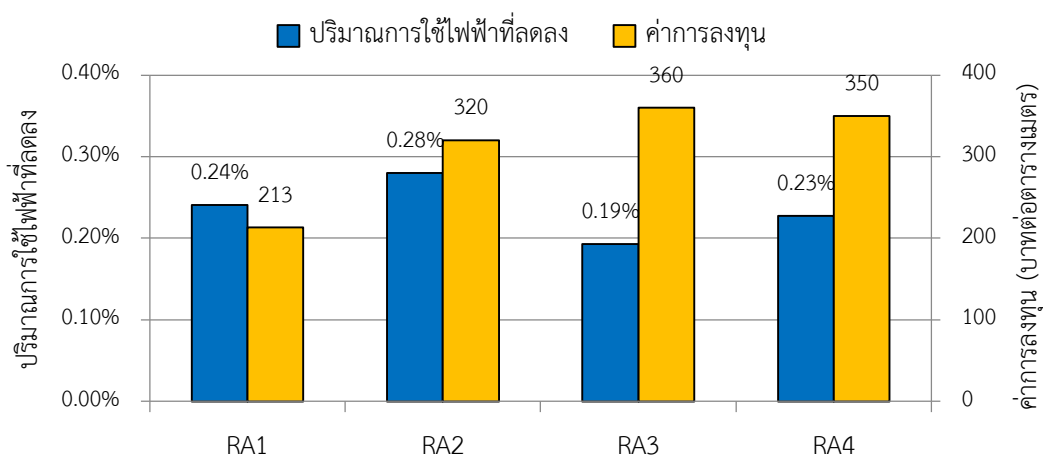
การปรับปรุง		U-value ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	
		R1	R2
RA0	ไม่มีฉนวน (Base case)	1.40	1.42
RA1	ปูฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.46	0.46
RA2	ปูฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.35	0.35
RA3	ปูฉนวนโพลีเอทิลีน 30 มม.	0.57	0.58
RA4	ปูฉนวนโพลียูรีเทน 30 มม.	0.52	0.53

ดังนั้นการปรับปรุงที่สามารถทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพดี คือ การปูแผ่นฉนวนบนฝ้าเพดาน เฉพาะพื้นที่หลังคากระเบื้องลอนคู่เท่านั้น โดยทำการเลือกแผ่นฉนวนชนิดต่างๆ และทำการถ่ายเทความร้อน ดังตารางที่ 4.23 พบว่า หลังคาเดิมของอาคารซึ่งไม่มีการปูฉนวนใดๆ มีค่า U-value มากที่สุด การปูฉนวนชนิดต่างๆทำให้ค่า U-value ของหลังคาลดลง การปรับปรุงที่ทำให้ค่า U-value ต่ำที่สุด คือ การปรับปรุง RA2 การปูฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว

ตารางที่ 4.23 ผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของการปรับปรุงหลังคา

การปรับปรุง		ค่าการลงทุน (บาทต่อตาราง เมตร)	ปริมาณการใช้ ไฟฟ้า (kWh/y)	ปริมาณการใช้ ไฟฟ้าที่ลดลง (%)
RA0	ไม่มีฉนวน (Base case)	-	909,004	-
RA1	ปูฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	213	906,816	0.24
RA2	ปูฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	320	906,458	0.28
RA3	ปูฉนวนโพลีเอทิลีน 30 มม.	360	907,253	0.19
RA4	ปูฉนวนโพลียูรีเทน 30 มม.	350	906,938	0.23

จากนั้นนำการปรับปรุงหลังคามาลงจำลองการใช้พลังงาน พบว่า การปูฉนวนแต่ละชนิดทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารลดลงใกล้เคียงกันมาก ไม่ถือว่ามีค่าแตกต่าง ดังแผนภูมิที่ 4.11 ส่วนในด้านราคาการลงทุน การปรับปรุง RA1 การปูฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว มีค่าการลงทุนต่ำที่สุด และการปรับปรุง RA3 การปูฉนวนโพลียูรีเทน 30 มิลลิเมตร มีค่าการลงทุนมากที่สุด ดังตารางที่ 4.23 จากการศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้าและราคาการลงทุน จึงเลือกการปรับปรุง RA1 การปูฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ซึ่งมีค่าการลงทุนต่ำที่สุด เพื่อนำไปเป็นทางเลือกในการปรับปรุงต่อไป



แผนภูมิที่ 4.11 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงหลังคา

4.7 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ในปัจจุบัน อาคารมีการใช้งานหลอดไฟฟ้าหลายชนิด ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ หลอดฮาโลเจน และหลอด LED โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์มากที่สุด อีกทั้งปัจจุบัน หลอด LED มีราคาลดลง มีประสิทธิภาพสูง เมื่อเทียบกับหลอดไฟฟ้าเดิม ดังตารางที่ 4.24 นอกจากนี้ยังสามารถใช้แทนหลอดไฟฟ้าเดิมได้ทันที

ตารางที่ 4.24 การเปรียบเทียบหลอดไฟฟ้าเดิมกับหลอด LED ทดแทน

ชนิดหลอดไฟฟ้าเดิม	หลอดไฟฟ้าเดิม		หลอด LED ทดแทน	
	กำลังไฟฟ้า (W)	ปริมาณแสง (lm)	กำลังไฟฟ้า (W)	ปริมาณแสง (lm)
หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8	36	3,000	20	2,000
	18	1,800	10	1,000
หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ (Non-integrated)	26	1,800	18	1,800
	18	1,200	14	1,400
หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ (Integrated) E27	20	1,250	14	1,400
	15	900	10.5	1,050
หลอดฮาโลเจน AR111	100	1,500	21	1,350
หลอดฮาโลเจน PAR38	50	600	10	610

หากทำการปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าทั้งหมด ให้เป็นหลอด LED ทดแทน (L1) จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดลดลงจาก 10.02 W/m^2 เหลือเพียง 4.92 W/m^2 โดยแบ่งตามพื้นที่ได้ดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 กำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้า

พื้นที่ใช้สอย		พื้นที่		ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (W/m ²)	
		(m ²)	(%)	ก่อนปรับเปลี่ยน	หลังปรับเปลี่ยน
พื้นที่ปรับอากาศ	สำนักงาน	1370.5	6.8	14.27	7.52
	ห้องเรียนบรรยาย	2,412.9	11.9	14.34	6.67
	ห้องสตูดิโอ	3,494.4	17.3	13.73	6.89
	ห้องพักอาจารย์	1,755.8	8.7	18.19	8.89
	ห้องสมุด	902.0	4.5	5.18	2.00
	พื้นที่ปรับอากาศอื่นๆ	2294.8	11.3	12.31	5.99
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	ทางสัญจร	6,916.6	34.2	3.56	1.80
	ห้องน้ำ	688.3	3.4	11.41	5.47
	พื้นที่ไม่ปรับอากาศอื่นๆ	402.4	2.0	9.21	4.60
รวมทั้งหมด		20,237.7	100.0	10.02	4.92

เมื่อนำไปจำลองผลการใช้พลังงาน พบว่า การปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงจาก 909,004 kWh/y เหลือเพียง 778,539 kWh/y ซึ่งคิดเป็น 14.4% ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน โดยมีค่าการลงทุนเพียง 1,410,929 บาท ซึ่งคำนวณจากราคาของหลอด LED ในท้องตลาด ดังแสดงในตารางที่ 4.26 จึงควรนำไปเป็นทางเลือกในการปรับปรุงต่อไป

ตารางที่ 4.26 การคำนวณค่าการลงทุนของการปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้า

หลอด LED ทดแทน	ราคาต่อหลอด (บาท)	จำนวน (หลอด)	ราคารวม (บาท)
หลอด LED T8 20 W	269	4,105	1,099,403
หลอด LED T8 10 W	189	821	155,169
หลอด LED E27 18 W	329	60	19,740
หลอด LED E27 14 W	259	171	40,404
หลอด LED E27 10.5 W	199	163	25,273
หลอด LED AR111 21 W	600	6	3,600
หลอด LED PAR38 10 W	800	100	56,000
รวม		5,426	1,439,480

4.8 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ

ในปัจจุบัน เครื่องปรับอากาศของอาคารส่วนมากมีประสิทธิภาพที่ต่ำ โดยมี EER เฉลี่ยเท่ากับ 10.31 Btu/h/W ซึ่งผ่านเกณฑ์ของแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หากทำการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มี EER ต่ำกว่า 11.00 Btu/h/W ให้เป็นเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพดีตามโครงการฉลากเบอร์ 5 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (AC1) ดังตารางที่ 4.27 จะทำให้ค่า EER เฉลี่ยของระบบปรับอากาศมีค่า 11.67 Btu/h/W โดยมีค่าการลงทุน 6,793,500 บาท เมื่อนำไปจำลอง พบว่า การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศนี้ทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจาก 909,004 kWh/y เหลือ 866,089 kWh/y ซึ่งคิดเป็น 4.7% ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน จึงสามารถนำไปเป็นทางเลือกในการปรับปรุงได้

ตารางที่ 4.27 การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ

กำลังทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเดิม (Btu/h)	กำลังทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศใหม่ (Btu/h)	EER ของเครื่องปรับอากาศใหม่ (Btu/h/W)	ราคาต่อเครื่อง (บาท)	จำนวน (เครื่อง)	ราคารวม (บาท)
< 15,000	13,000	12.02	22,900	31	709,900
15,000 - 22,000	18,000	11.92	28,900	34	982,600
22,000 - 27,000	25,000	12.41	34,900	63	2,198,700
27,000 - 33,000	30,000	11.23	40,900	40	1,636,000
33,000 - 38,000	36,000	12.49	46,900	27	1,266,300
รวม				195	6,793,500

4.9 การปรับปรุงช่องเปิดประตูและหน้าต่าง

ในปัจจุบัน อาคารมีช่องเปิดประตูและหน้าต่างเป็นจำนวนมากทั้งช่องเปิดบานไม้และบานอลูมิเนียม โดยมากมีสภาพทรุดโทรมจึงควรมีการปรับปรุง นอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานแล้วยังเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเนื่องจากสามารถลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้อีกด้วย จากผลการคำนวณปริมาณอากาศรั่วซึม จะเห็นว่า ช่องเปิดที่ทำให้ปริมาณอากาศรั่วซึมเฉลี่ยมีค่ามาก คือ หน้าต่างอลูมิเนียมบานเกล็ด และประตูไม้บานเปิด จึงนำเสนอการปรับปรุง ได้แก่ OA1 การปรับเปลี่ยนกระจกของหน้าต่างอลูมิเนียมบานเกล็ดเป็นบานติดตาย OA2 การติดยางกันรั่วซึมตามขอบประตูไม้บานเปิด และ OA3 การปรับปรุงทั้ง 2 ส่วน ซึ่งการปรับปรุงทั้ง 3 ทำให้ปริมาณอากาศรั่วซึมเฉลี่ยลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.28

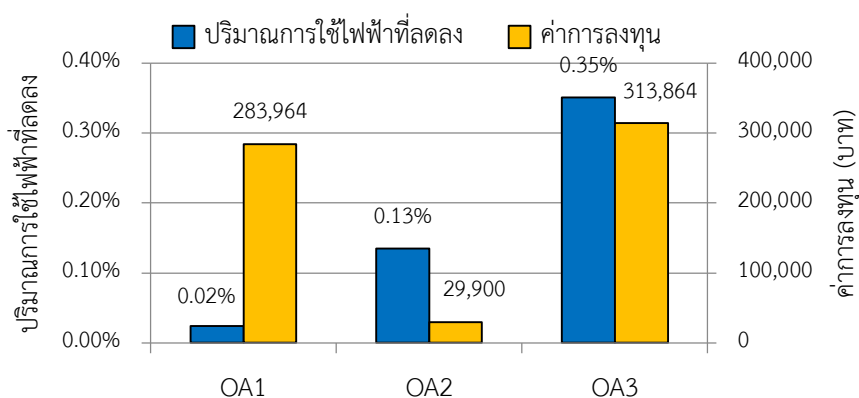
ตารางที่ 4.28 การปรับปรุงช่องเปิดประตูและหน้าต่าง

การปรับปรุง		ปริมาณอากาศรั่วซึมเฉลี่ย (l/s-m)
OA0	ไม่มีการปรับปรุง	0.97
OA1	ปรับเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตาย	0.92
OA2	ติดยางกันรั่วซึมตามขอบประตูไม้บานเปิด	0.90
OA3	- ปรับเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตาย - ติดยางกันรั่วซึมตามขอบประตูไม้บานเปิด	0.86

เมื่อนำไปจำลองผลการใช้พลังงาน พบว่า การปรับเปลี่ยนช่องเปิดประตูและหน้าต่างส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.29 จะเห็นว่า การปรับปรุงทั้ง 2 ส่วน ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารลดลงมากที่สุด โดยลดลงจาก 909,004 kWh/y เหลือ 905,817 kWh/y คิดเป็น 0.35% ซึ่งมีค่าน้อย ด้วยค่าการลงทุนที่ต่ำเช่นกัน จึงเลือกการปรับปรุง OA3 เพื่อนำไปเป็นทางเลือกในการปรับปรุงต่อไป

ตารางที่ 4.29 ผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของการปรับปรุงช่องเปิดประตูและหน้าต่าง

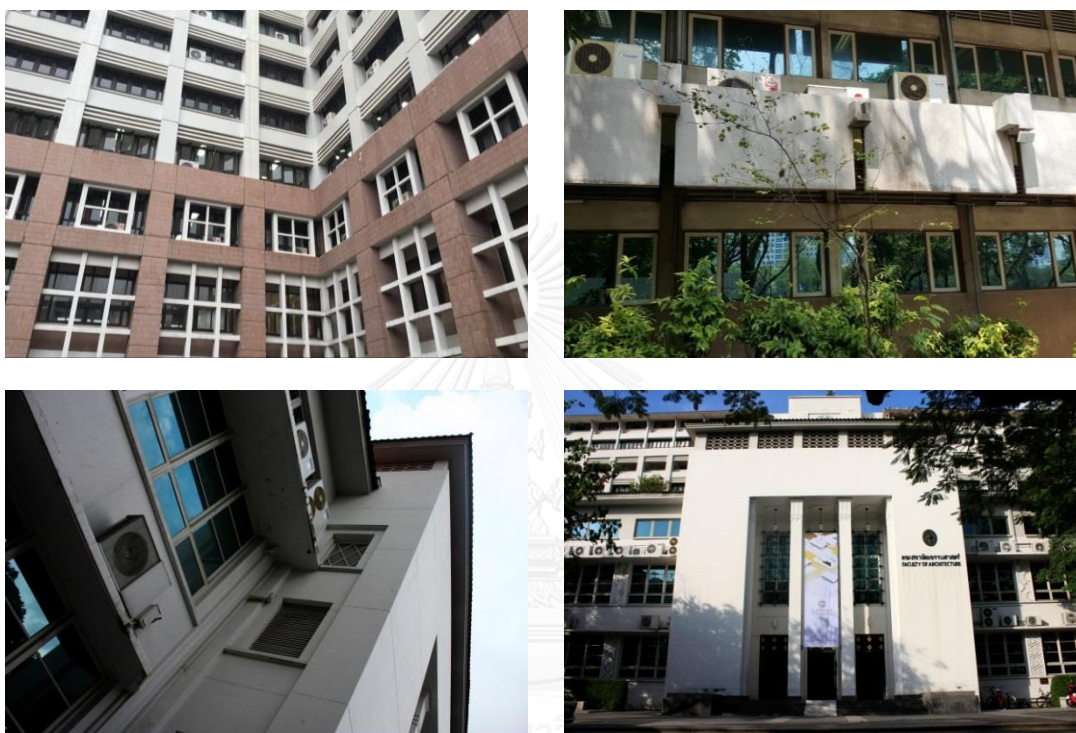
การปรับปรุง	ค่าการลงทุน (บาท)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/y)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (%)
OA0	-	909,004	-
OA1	283,964	908,784	0.00
OA2	29,900	907,777	0.13
OA3	313,864	905,817	0.35



แผนภูมิที่ 4.12 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงช่องเปิด

4.10 การปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด

จากการสำรวจ พบว่า อุปกรณ์บังแดดหน้าต่างของอาคารในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ ดังภาพที่ 4.17 ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอน ดังตารางที่ 4.30 โดยมีสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) เฉลี่ยในทิศทางต่างๆ คำนวณตามกฎกระทรวง ดังตารางที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์บังแดดเดิมมีประสิทธิภาพที่ดี



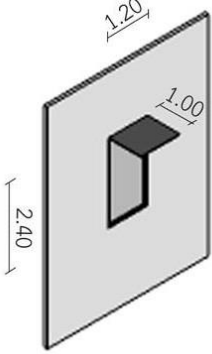
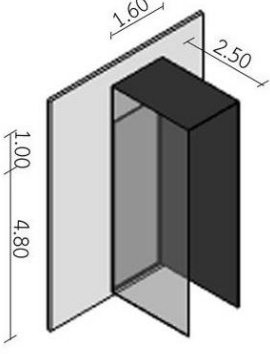
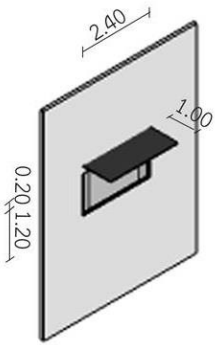
ภาพที่ 4.20 อุปกรณ์บังแดดในปัจจุบัน

อาคารนารถ โพรธิประสาท (บนซ้าย) อาคารสถาปัตยกรรม 2 (บนขวา)

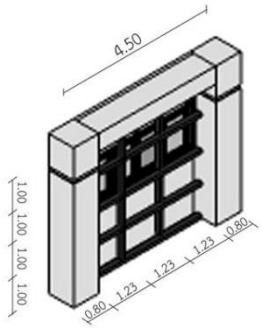
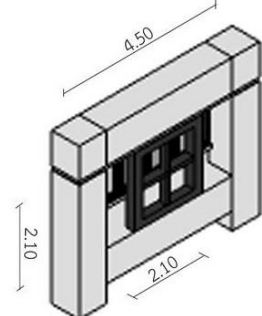
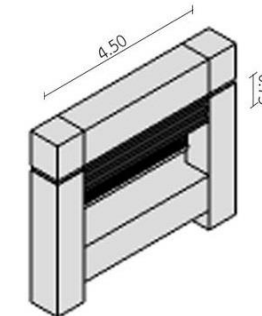
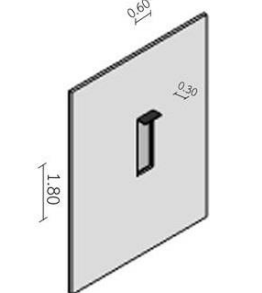
อาคารสถาปัตยกรรม 1 (ล่างซ้ายและล่างขวา)

เนื่องจากพบว่า พื้นที่หน้าต่างกระจกที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด 228.2 ตารางเมตร จึงนำเสนอ การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดเพิ่มเติมให้พื้นที่หน้าต่างส่วนนี้ ซึ่งได้แก่ SH1 การติดตั้งแผงบังแดดแนวนอน ยาว 30 เซนติเมตร SH2 การติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนยาว 60 เซนติเมตร SH3 การติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้งยาว 30 เซนติเมตร และ SH4 การติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง ยาว 60 เซนติเมตร ด้วยวัสดุอะลูมิเนียมคอมโพสิต ดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.30 ลักษณะของอุปกรณ์บังแดด

อุปกรณ์บังแดด		อาคาร	พื้นที่กระจก (m ²)
SD0	ไม่มีแผงบังแดด	ARC01 ARC03	228.2
SD1	แผงบังแดดแนวนอน 	ARC01	222.0
SD2	แผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 	ARC01	23.0
SD3	แผงบังแดดแนวนอน 	ARC02 ARC03	296.3

ตารางที่ 4.30 ลักษณะของอุปกรณ์บังแดด

	อุปกรณ์บังแดด	อาคาร	พื้นที่กระจก (m ²)
SD4	<p>แผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง</p> 	ARC03	230.8
SD5	<p>แผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง</p> 	ARC03	171.2
SD6	<p>แผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง</p> 	ARC03	938.9
SD7	<p>แผงบังแดดแนวนอน</p> 	ARC03	158.2

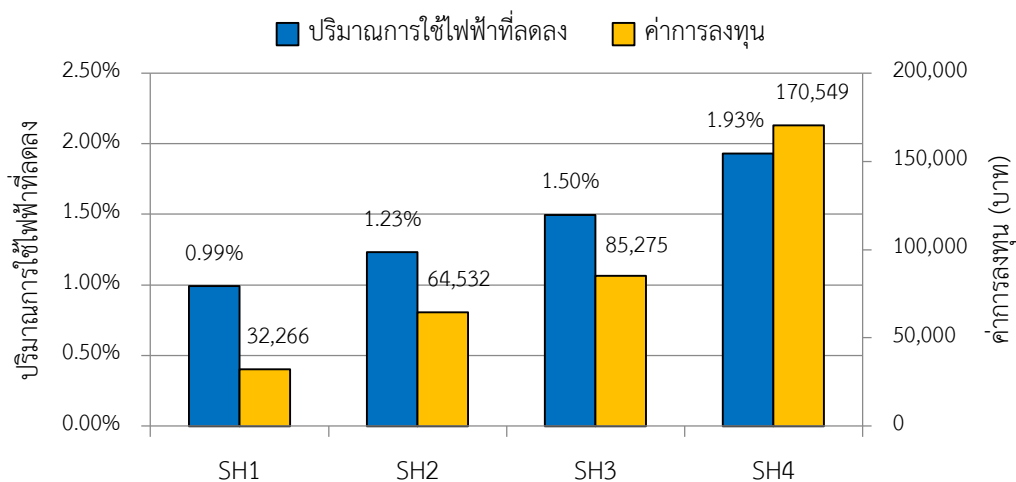
ตารางที่ 4.31 คุณสมบัติของอุปกรณ์บังแดด

อุปกรณ์บังแดด	พื้นที่หน้าต่างกระจก (m ²)	สัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)			
		ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
SD0	176.4	1.00	1.00	1.00	1.00
SD1	222.0	0.92	0.82	0.77	0.82
SD2	23.0	0.86	0.72	0.58	0.72
SD3	343.8	0.94	0.81	0.75	0.81
SD4	230.8	0.90	0.83	0.73	0.83
SD5	171.2	0.89	0.81	0.70	0.81
SD6	938.9	0.89	0.83	0.73	0.83
SD7	158.2	0.93	0.89	0.84	0.89
รวม	2,268.6	0.91	0.84	0.76	0.86

เมื่อนำไปจำลองผลการใช้พลังงาน พบว่า การติดตั้งแผงบังแดดส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.32 จะเห็นว่า การติดตั้งแผงบังแดดทั้ง 4 รูปแบบทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารลดลงตั้งแต่ 0.99% ถึง 1.93% ดังแผนภูมิที่ 4.13 โดยมีค่าการลงทุนตั้งแต่ 32,266 บาท ถึง 170,549 บาท ซึ่งการปรับปรุง SH4 การติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้งยาว 60 เซนติเมตร ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารลดลงมากที่สุด ด้วยค่าการลงทุนที่ไม่สูง จึงนำไปเป็นทางเลือกในการปรับปรุงต่อไป

ตารางที่ 4.32 ผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของการปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด

การปรับปรุง		ค่าการลงทุน (บาท)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/y)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (%)
SH0	ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดเพิ่มเติม	-	909,004	-
SH1	ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 30 ซม.	32,266	899,985	0.99
SH2	ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 60 ซม.	64,532	897,813	1.23
SH3	ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 30 ซม.	85,275	895,396	1.50
SH4	ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 60 ซม.	170,549	891,453	1.93



แผนภูมิที่ 4.13 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด

4.11 การปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน

จากการสำรวจรูปแบบการใช้งานอาคาร พบว่า

- อาคารขาดระบบการจัดการเปิด-ปิดห้องต่างๆ ทำให้เกิดการใช้งานที่ไม่เหมาะสม เช่น การใช้งานห้องสตูดิโอขนาดใหญ่ขณะที่มีผู้ใช้งานจำนวนน้อยมาก

- มีการใช้งานพื้นที่เดียวกันในหลายลักษณะ เช่น การใช้ห้องสตูดิโอในการตรวจแบบกลุ่มย่อย และการนำเสนอานกลุ่มใหญ่ และการใช้งานห้องสตูดิโอกลุ่มย่อยอาจมีเวลาเริ่มและเลิกตรวจแบบไม่พร้อมกัน ส่งผลให้มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศในพื้นที่กว้างเกินจำเป็น เป็นต้น

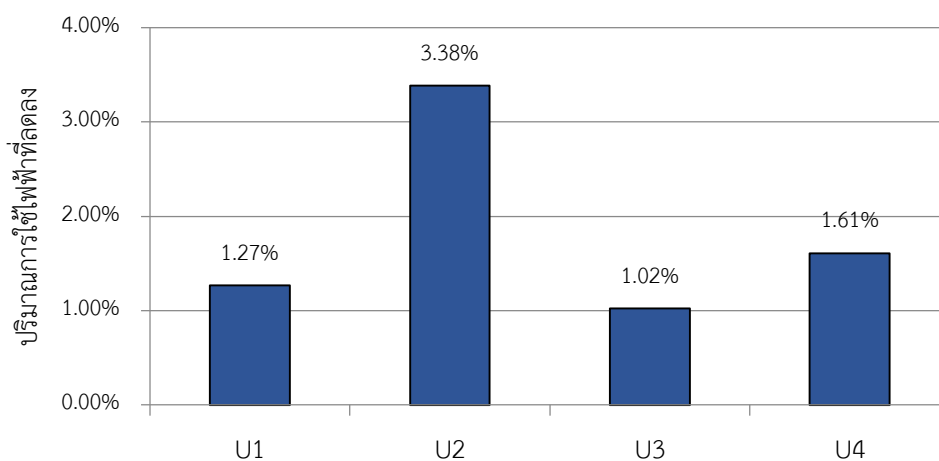
- ผู้ใช้อาคารไม่ให้ความสนใจกับการประหยัดพลังงานของอาคาร เช่น ไม่ปิดไฟและเครื่องปรับอากาศเมื่อไม่มีการใช้งาน

ดังนั้น จึงเสนอการปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานในอาคารที่น่าสนใจและสามารถนำไปปรับใช้ได้แก่ U1 การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงานในช่วงเวลาพักกลางวัน U2 การเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน คือ เวลา 8.00 น. ถึง 12.00 น. ในช่วงเช้า และ 13.00 น. ถึง 17.00 น. ในช่วงบ่าย U3 การแบ่งห้องสตูดิโอขนาดใหญ่ทั้งหมดในชั้น 5-7 ได้แก่ ห้องสตูดิโอ 504 505 604 605 704 และ 705 ซึ่งไม่มีการแบ่งเป็นห้องขนาดเล็ก ให้เป็นห้องสตูดิโอขนาดเล็ก ขนาดประมาณ 80 ตารางเมตร และ U4 การปิดช่องเปิดของห้องสตูดิโอทั้งหมด เพื่อให้สามารถใช้ในการนำเสนอในลักษณะเดียวกับห้องสตูดิโอ DO

ตารางที่ 4.33 การปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน

การปรับเปลี่ยน		ปริมาณการใช้ ไฟฟ้า (kWh/y)	ปริมาณการใช้ ไฟฟ้าที่ลดลง (%)
U0	ไม่มีการปรับเปลี่ยน	909,004	-
U1	การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงานในช่วงเวลาพักกลางวัน	897,499	1.27
U2	การเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน	878,252	3.38
U3	การแบ่งห้องสตูดิโอขนาดใหญ่เป็นห้องสตูดิโอขนาดเล็ก	899,727	1.02
U4	การปิดช่องเปิดของห้องสตูดิโอทั้งหมดเพื่อใช้งานในลักษณะเดียวกับห้อง DO	894,369	1.61

เมื่อนำการปรับเปลี่ยนรูปแบบต่างๆไปจำลองพบว่า การปรับเปลี่ยนรูปแบบต่างๆส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารลดลงทั้งหมด ดังตารางที่ 4.33 โดยการเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน (U2) ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารลดลงมากที่สุด ดังแผนภูมิที่ 4.14 ทั้งนี้การแบ่งห้องสตูดิโอขนาดใหญ่เป็นห้องสตูดิโอขนาดเล็ก (U3) และการปิดช่องเปิดของห้องสตูดิโอเพื่อใช้งานในลักษณะเดียวกับห้องสตูดิโอ DO (U4) เป็นเพียงการปรับเปลี่ยนเพื่อนำเสนอเท่านั้น ไม่ได้ศึกษามูลค่าการก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องศึกษาความต้องการของผู้ใช้งานต่อไป การปรับเปลี่ยน U1 และ U2 เป็นการปรับเปลี่ยนที่สามารถนำไปใช้ได้ทันที จึงเลือกนำไปเป็นแนวทางการปรับปรุงต่อไป



แผนภูมิที่ 4.14 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงของการปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน

4.12 การกำหนดและประมวลผลทางเลือกในการปรับปรุง

จากการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงและค่าการลงทุนของการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย 8 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การปรับปรุงผนังกระจก (G) ได้แก่
 - GS1 กระจกธรรมดาสีเขียวหนา 6 มม.
 - GR1 กระจกสะท้อนแสงสีเงินหนา 6 มม.
 - GD3 กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e หนา 24 มม.
 2. การปรับปรุงผนังทึบ (WA) ได้แก่
 - WA1 การกรุฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว
 - WA5 การพ่นฉนวนโพลียูรีเทนหนา 3 นิ้ว
 3. การปรับปรุงหลังคา (RA) คือ RA1 การปูฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว
 4. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (L) คือ L1 การปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าให้เป็นหลอด LED
 5. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ (AC) ได้แก่
 - AC0 ไม่ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ
 - AC1 ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพดี
 6. การปรับปรุงช่องเปิดประตูและหน้าต่าง (OA) คือ OA3 การปรับเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตายและติดยางกันรั่วซึมตามขอบประตูไม้บานเปิด
 7. การปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด (SH) คือ SH4 ติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 60 ซม.
 8. การปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน (U) คือ
 - U1 การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงานในช่วงเวลาพักกลางวัน
 - U2 การเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน
- จึงสามารถจัดกลุ่มทางเลือกในการปรับปรุงอาคารได้ 12 ทางเลือก ดังแสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร

ทางเลือก	การปรับปรุง	
A1	GS1 กระจกสีเขียว WA1 กรุณนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ACO ไม่ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ	RA1 ปูฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว L1 ปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าให้เป็นหลอด LED
A2	GS1 กระจกสีเขียว WA1 กรุณนวนใยแก้ว 2 นิ้ว AC1 ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพดี	OA3 การปรับเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตายและติดยางกันรั่วซึมตามขอบประตูไม้บานเปิด SH4 ติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 60 ซม.
A3	GS1 กระจกสีเขียว WA5 พ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว ACO ไม่ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ	U1&U2 การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงาน
A4	GS1 กระจกสีเขียว WA5 พ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว AC1 ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพดี	ในช่วงเวลาพักกลางวันและการเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน
A5	GR1 กระจกสะท้อนแสงสีเงิน WA1 กรุณนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ACO ไม่ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ	
A6	GR1 กระจกสะท้อนแสงสีเงิน WA1 กรุณนวนใยแก้ว 2 นิ้ว AC1 ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพดี	
A7	GR1 กระจกสะท้อนแสงสีเงิน WA5 พ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว ACO ไม่ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ	
A8	GR1 กระจกสะท้อนแสงสีเงิน WA5 พ่นฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว AC1 ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพดี	

ตารางที่ 4.34 ทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร (ต่อ)

ทางเลือก	การปรับปรุง	
A9	GD3 กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e WA1 กระจกฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ACO ไม่ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ	RA1 ปูฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว L1 ปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าให้เป็นหลอด LED
A10	GD3 กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e WA1 กระจกฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว AC1 ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพดี	OA3 การปรับเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตายและติดยางกันรั่วซึมตามขอบประตูไม้บานเปิด SH4 ติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 60 ซม.
A11	GD3 กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e WA5 ฟันฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว ACO ไม่ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ	U1&U2 การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงาน
A12	GD3 กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e WA5 ฟันฉนวนโพลียูรีเทน 3 นิ้ว AC1 ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพดี	ในช่วงเวลาพักกลางวันและการเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน

เมื่อนำไปจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่า ทางเลือกในการปรับปรุงส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานในอาคารลดลงตั้งแต่ 24.73% ถึง 32.49% ซึ่งทางเลือกที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงมากที่สุด คือ ทางเลือก A8 และทางเลือกที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงน้อยที่สุด คือ ทางเลือก A1 ดังแสดงในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 ผลการจำลองทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร

ทางเลือก	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/y)	ค่าไฟฟ้า (บาทต่อปี)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาทต่อปี)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (%)
Base Case	909,004	5,394,030	-	-
A1	683,012	4,052,993	1,341,037	24.73%
A2	650,503	3,860,085	1,533,945	28.44%
A3	682,817	4,051,836	1,342,194	24.86%
A4	650,391	3,859,420	1,534,610	28.45%
A5	646,126	3,834,112	1,559,918	28.92%
A6	616,388	3,657,646	1,736,383	32.19%
A7	643,060	3,815,918	1,578,112	29.26%
A8	613,697	3,641,678	1,752,352	32.49%
A9	647,895	3,844,609	1,549,421	28.72%
A10	617,664	3,665,218	1,728,812	32.05%
A11	644,890	3,826,777	1,567,252	29.06%
A12	614,999	3,649,404	1,744,626	32.34%

4.13 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ใช้วิธีวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์อย่างง่าย โดยพิจารณาผลใน 3 รูปแบบ ได้แก่

1. ค่าไฟฟ้าที่ลดลงในแต่ละปีเมื่อเทียบกับอาคารก่อนการปรับปรุง
2. ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย
3. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปี

จากผลการทดลอง พบว่า ทางเลือกในการปรับปรุงทั้ง 12 ทางเลือก ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารลดลงตั้งแต่ 24.73% ถึง 32.49% โดยมีค่าการลงทุน 6,302,520 บาท ถึง 22,097,509 บาท ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย 4.72 ปี ถึง 12.67 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปี ตั้งแต่ -5,691,825 บาท ถึง 5,186,030 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปี ตั้งแต่ 7.58% ถึง 23.50% ดังแสดงในตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ทางเลือก	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาทต่อปี)	มูลค่าการลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืน ทุนอย่างง่าย (ปี)	มูลค่าปัจจุบัน สุทธิ 20 ปี (บาท)	อัตราผลตอบแทน ภายใน 20 ปี (%)
A1	1,341,037	6,302,520	4.72	5,100,805	23.50%
A2	1,533,945	13,096,020	8.54	646,468	12.78%
A3	1,342,194	6,647,826	4.96	4,848,333	22.44%
A4	1,534,610	13,441,326	8.76	343,518	12.41%
A5	1,559,918	8,246,266	5.29	5,186,030	21.10%
A6	1,736,383	15,039,766	8.66	543,273	12.57%
A7	1,578,112	8,591,572	5.44	5,024,420	20.51%
A8	1,752,352	15,385,072	8.78	363,720	12.38%
A9	1,549,421	14,958,704	9.65	-891,859	11.03%
A10	1,728,812	21,752,204	12.58	-5,511,028	7.66%
A11	1,567,252	15,304,009	9.76	-1,056,388	10.88%
A12	1,744,626	22,097,509	12.67	-5,691,825	7.58%

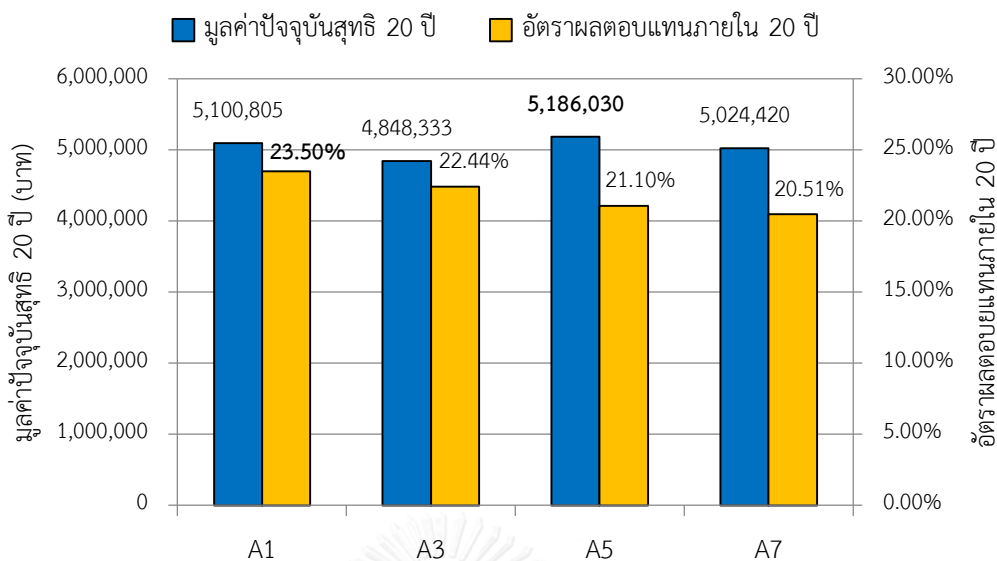


ทางเลือกที่ให้ผลแย่ที่สุด

ทางเลือกที่ให้ผลดีที่สุด

4.14 การสรุปทางเลือกในการปรับปรุง

จากผลการจำลองการใช้พลังงานและผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกในการปรับปรุงต่างๆ นำมาสรุปทางเลือกในการปรับปรุง โดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปีและอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปี หากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปีมีค่าน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าเป็นทางเลือกที่ไม่คุ้มค่าในการลงทุน ทำให้ทางเลือก A9 ถึง A12 ไม่น่าลงทุน และหากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปีมีค่ามาก แสดงว่าเป็นทางเลือกที่ให้ผลตอบแทนตลอด 20 ปีมาก จึงน่าลงทุน ในทำนองเดียวกัน หากอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปีมีค่ามาก แสดงว่าเป็นทางเลือกที่น่าลงทุนเช่นกัน ทำให้ทางเลือก A2 A4 A6 และ A8 ไม่น่าลงทุน ดังนั้น ทางเลือกที่น่าลงทุน ได้แก่ ทางเลือก A1 A3 A5 และ A7



แผนภูมิที่ 4.15 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปี
ของทางเลือก A1 A3 A5 และ A7

จากนั้นทำการเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดโดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปีและอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปี ดังแผนภูมิที่ 4.15 โดยจะเห็นว่า ทางเลือก A5 เป็นทางเลือกที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปีมากที่สุด ส่วนทางเลือก A1 เป็นทางเลือกที่มีอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปีสูงที่สุดและมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปีเป็นอันดับสอง อีกทั้งยังมีมูลค่าการลงทุนต่ำที่สุด และระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดอีกด้วย จึงสามารถกำหนดทางเลือกที่ดีที่สุด คือ

ทางเลือก A1 มีการปรับปรุง ดังนี้

1. GS1 กระจกธรรมดาสีเขียวหนา 6 มม.
2. WA1 การกรูนวนนโยแก้วหนา 2 นิ้ว
3. R1 การปูนวนนโยแก้วหนา 2 นิ้ว
4. L1 การปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าทั้งหมดเป็นหลอด LED ทดแทน
5. AC0 ไม่มีการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ
6. OA3 การปรับเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตายและติดยางกันรั่วซึมตาม

ขอบประตูไม้บานเปิด

7. SH4 ติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้ง 60 ซม.
8. U1&U2 การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงานในช่วงเวลาพัก

กลางวันและการเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน

ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 24.7% เงินลงทุน 6,302,520 บาท ระยะเวลาคืนทุน 4.72 ปี

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการสำรวจอาคาร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แบ่งกลุ่มอาคารเรียนออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่อยู่ในบริเวณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มี 3 อาคาร ซึ่งประกอบด้วย อาคารสถาปัตยกรรม 1 อาคารสถาปัตยกรรม 2 และอาคารนารถ โภธิประสาธ และกลุ่มที่อยู่ในบริเวณโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา มี 2 อาคาร คือ อาคารเลิศ อูร์สยะนันท์ และอาคารโวมยากร โดยมีพื้นที่รวมประมาณ 27,300 ตารางเมตร

อาคารที่ทำการศึกษา ประกอบด้วยอาคาร 3 อาคารเชื่อมต่อกัน ได้แก่ อาคารสถาปัตยกรรม 1 อาคารสถาปัตยกรรม 2 และอาคารนารถ โภธิประสาธ เป็นอาคารเรียนหลักของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มีพื้นที่ใช้สอยรวมประมาณ 20,240 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 12,230 ตารางเมตร คิดเป็น 60.4% และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 8,010 ตารางเมตร คิดเป็น 39.6% มีค่าการส่งผ่านความร้อนที่เปลือกอาคาร OTTV เท่ากับ 83.43 W/m^2 และ RTTV เท่ากับ 42.59 W/m^2 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550 และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2551

ในด้านประสิทธิภาพของระบบประกอบอาคาร อาคารมีกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (LPD) เท่ากับ 10.02 W/m^2 ถือว่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทั้ง 2 เกณฑ์ และมีสัดส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของระบบปรับอากาศเท่ากับ 10.31 Btu/h/W ซึ่งผ่านเกณฑ์แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานแต่ไม่ผ่านเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

ส่วนช่องเปิดประตูและหน้าต่างของอาคาร ประกอบด้วย ประตูหน้าต่างบานไม้ และอลูมิเนียม มีปริมาณอากาศรั่วซึมเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 L/s-m ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของพพ. ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการสำรวจอาคารและเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

	OTTV (W/m ²)	RTTV (W/m ²)	LPD (W/m ²)	EER (Btu/h/W)	ปริมาณอากาศ รั่วซึม (l/s-m)
พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์ พลังงานพ.ศ. 2550	< 50.0	< 15.0	< 14.0	> 11.00	-
แบบประเมินอาคารประหยัด พลังงานและเป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อมพ.ศ. 2551	< 45.0	< 12.0	< 12.5	> 10.10	< 0.90
อาคารที่ศึกษา	83.43	42.59	10.02	10.31	0.97

5.2 สรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากผลการศึกษาทางเลือกในการปรับปรุงต่างๆ นำมาสรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ

ทางเลือก A1 มีการปรับปรุง ดังนี้

1. GS1 กระจกธรรมดาสีเขียวหนา 6 มม.
2. WA1 การกรุผนังทับทุกด้านด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว
3. RA1 การปูฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน
4. L1 การปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าทั้งหมดเป็นหลอด LED
5. OA3 การปรับเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตายและติดยกกันรั่วซึมตามขอบประตูไม้บานเปิด
6. SH4 ติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนและแนวตั้งยื่น 60 ซม.
7. U1 และ U2 การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงานในช่วงเวลาพักกลางวันและการเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน

ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 24.7% เงินลงทุน 6,302,520 บาท ระยะเวลาคืนทุน 4.72 ปี

5.3 สรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนและหลังการปรับปรุง

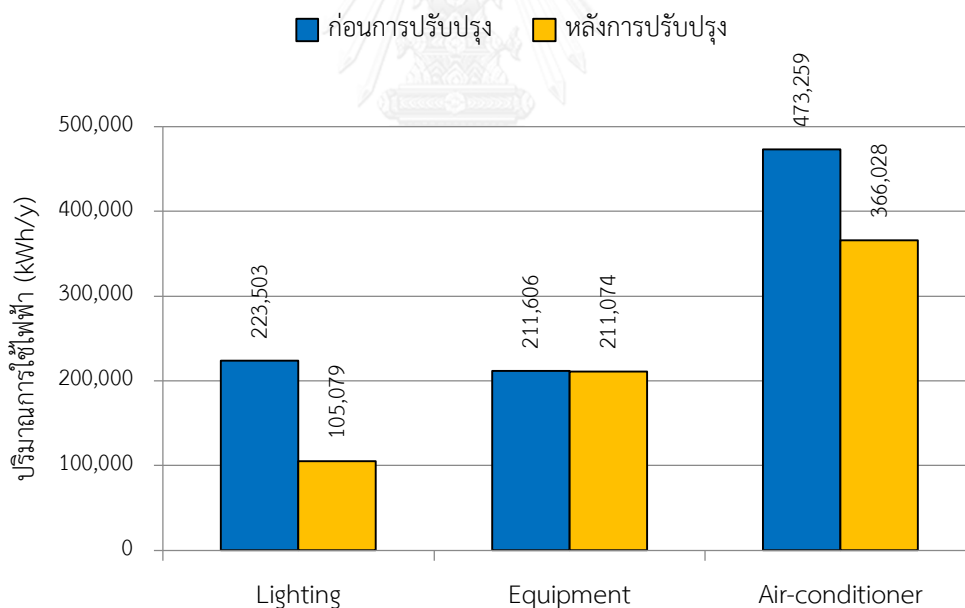
จากแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร นำมาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร OTTV และ RTTV ประสิทธิภาพของระบบประกอบอาคาร LPD และ EER และอัตราการรั่วซึมของอากาศ เพื่อเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 5.2 พบว่า อาคารหลังการปรับปรุงมีค่า OTTV และ RTTV ผ่านเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แต่ไม่ผ่านเกณฑ์ของแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมพ.ศ. 2551

มิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่วน LPD ของอาคารลดลงจากเดิม 50.8% และอาคารหลังการปรับปรุงมีค่าปริมาณอากาศรั่วซึมผ่านเกณฑ์ของแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 5.2 สรุปประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง

	OTTV (W/m ²)	RTTV (W/m ²)	LPD (W/m ²)	EER (Btu/h/W)	ปริมาณอากาศ รั่วซึม (l/s-m)
ก่อนการปรับปรุง	83.43	42.59	10.02	10.31	0.97
หลังการปรับปรุง	46.20	14.16	4.92	10.31	0.86

เมื่อนำผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารหลังการปรับปรุง มาศึกษาผลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยแบ่งตามสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่า สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร ลดลงจาก 223,503 kWh/y เหลือ 105,079 kWh/y ซึ่งลดลง 53% จากเดิม ส่วนระบบปรับอากาศลดลง 107,231 kWh/y คิดเป็น 23% ดังแผนภูมิที่ 5.1



แผนภูมิที่ 5.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร

5.4 เสนอแนะแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

จากทางเลือกการปรับปรุงดังกล่าว นำการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆของทางเลือกมาเรียงลำดับความคุ้มค่า โดยพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การเรียงลำดับการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ

การปรับปรุง	มูลค่าการลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาทต่อปี)	ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (ปี)	อันดับ
GS1	2,702,344	502,034	5.38	4
WA1	3,172,495	57,014	55.64	7
RA1	447,534	12,984	34.47	6
L1	1,439,480	774,179	1.86	3
OA3	313,864	18,912	16.60	5
SH4	170,548	104,148	1.64	2
U1&U2	-	250,753	-	1

จากผลการเรียงลำดับ พบว่า การปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆสามารถเรียงลำดับความคุ้มค่าและเสนอเป็นแนวทาง ดังนี้

1. U1&U2 การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงานในช่วงเวลาพักกลางวัน และการเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน ซึ่งสามารถทำได้โดยไม่ต้องลงทุน
2. SH4 การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนและแนวตั้ง ยื่น 60 ซม.
3. L1 การปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าทั้งหมดเป็นหลอด LED
4. GS1 การปรับเปลี่ยนผนังกระจกเป็นกระจกธรรมดา สีเขียวหนา 6 มม.
5. OA3 การปรับเปลี่ยนกระจกบานเกล็ดเป็นบานติดตายและติดยางกันรั่วซึมตามขอบประตู ไม้บานเปิด
6. RA1 การปูฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน
7. WA1 การกรุผนังทึบทุกด้านด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว

ในการนำไปปรับใช้ในอาคาร การปิดไฟและเครื่องปรับอากาศพื้นที่ส่วนสำนักงานในช่วงเวลาพักกลางวัน และการเปิด-ปิดห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอตามตารางการใช้งาน เป็นแนวทางที่สามารถทำได้ทันที เนื่องจากเป็นแนวทางที่ไม่ต้องลงทุน ซึ่งสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 250,753 บาทต่อปี

ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด อาจมีการออกแบบให้มีลักษณะที่เหมาะสมและกลมกลืนกับสถาปัตยกรรม อาจทำให้มูลค่าการลงทุนหรือผลการลดการใช้พลังงานในอาคารแตกต่างจากการศึกษาได้

จากผลการศึกษาแนวทางการลดการใช้พลังงานโดยรวม นำมาเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ปริมลภา วสุวัต (2542) และสุรพล เดชพล (2552) ซึ่งศึกษาคุณสมบัติของเปลือกอาคารในการลดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ พบว่า อาคารเรียนมีช่วงเวลาการใช้งานที่น้อยกว่า ทำให้การปรับปรุงเปลือกอาคารส่งผลการลดการใช้พลังงานได้น้อยกว่า ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนนานกว่า เช่น การปรับปรุงผนังทึบและการปรับปรุงหลังคาของอาคาร แต่ในปัจจุบัน หลอด LED มีราคาลดลง และมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งทำให้ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารลดลงได้มาก และระยะเวลาคืนทุนที่สั้น

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 ข้อเสนอแนะจากการสำรวจอาคาร

5.5.1.1 เนื่องจากอาคารมีอายุพอสมควร จากการสำรวจพบว่า อาคารมีสภาพทรุดโทรมในหลายองค์ประกอบ เช่น ช่องเปิดประตูและหน้าต่าง ซิลิโคนยึดบริเวณบานกรอบหน้าต่าง สุขภัณฑ์ ระบบสุขาภิบาลและหลังคาของอาคาร ควรได้รับการบำรุงรักษา

5.5.1.2 เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าหลายครั้ง ทำให้ระบบไฟฟ้าภายในอาคารไม่เป็นระเบียบ ซึ่งยากต่อการบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพอีกด้วย จึงควรทำการเดินสายไฟใหม่ให้เป็นระเบียบ อาจมีการแยกมิเตอร์ไฟฟ้าแบ่งเป็นชั้น เพื่อให้ดูแลรักษาได้ง่าย สามารถควบคุมการใช้งานให้เป็นระเบียบ ซึ่งทำให้ไม่สิ้นเปลืองการใช้พลังงานอีกด้วย

5.5.1.3 พื้นที่ห้องเรียนบรรยายและห้องสตูดิโอมีเพียงพอต่อความต้องการใช้งาน แต่ต้องมีการจัดการใช้พื้นที่อาคารที่ดีและเหมาะสม

5.5.1.4 ผู้ใช้อาคารไม่ให้ความสนใจกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร อาจเกิดจากผู้ใช้งานที่มีจำนวนมากและมีความหลากหลาย จึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมการใช้อาคารเพิ่มเติม เช่น การติดตั้งตัวรับสัญญาณแสงเพื่อควบคุมการเปิด-ปิด หลอดไฟฟ้าบริเวณที่ไม่ได้มีการใช้งานหรือในบริเวณที่มีแสงธรรมชาติเพียงพอ การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวเพื่อควบคุมการเปิด-ปิด หลอดไฟฟ้าบริเวณทางสัญจร เป็นต้น

5.5.1.5 จากการสำรวจ พบว่า นิสิต รวมถึงอาจารย์มีแนวโน้มใช้คอมพิวเตอร์พกพา ของตัวเองมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งยังมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการสอนโดยนำ เทคโนโลยีมาใช้มากขึ้น อาจส่งผลให้อาคารมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นในอนาคต หาก มีการปรับปรุงอาคารเดิมหรือก่อสร้างอาคารใหม่ ควรติดตั้งเต้ารับให้มีความเพียงพอต่อการใช้งานที่ เพิ่มขึ้นด้วย

5.5.2 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารอื่นๆที่สามารถทำได้

5.5.2.1 การติดตั้งระบบการจัดการอาคาร (BMS) เพื่อช่วยจัดการและควบคุมการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารจากส่วนกลาง

5.5.2.2 การติดตั้งระบบอัตโนมัติ เช่น ตัวรับสัญญาณแสงเพื่อควบคุมการเปิด-ปิด หลอดไฟฟ้าบริเวณที่ไม่ได้มีการใช้งาน หรือในบริเวณที่มีแสงธรรมชาติเพียงพอ การติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจจับการเคลื่อนไหวเพื่อควบคุมการเปิด-ปิด หลอดไฟฟ้าบริเวณทางสัญจร เป็นต้น

5.5.2.3 การแยกวงจรไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก เพื่อให้มีการควบคุม แบบเฉพาะที่และมีความเจาะจงมากขึ้น ซึ่งช่วยลดการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ใหญ่

5.5.2.4 จากการสำรวจพบว่า ในบางพื้นที่ระดับความสว่างไม่เหมาะสมในการใช้ งาน เช่น มีตเกินไป จึงควรทำการศึกษาค่าความส่องสว่างในพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารเรียนให้ได้ค่า ตามเกณฑ์มาตรฐาน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2550). คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัย (อาคารสาธารณะ). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2552). เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในสำนักงาน (ในกรณีปรับปรุงอาคารเดิม).
- กระทรวงพลังงาน. (2554). แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573).
- กรุง กุลชาติ. (2539). การจัดการการใช้พื้นที่ภายในอาคารเพื่อลดภาระการทำความเย็น : กรณีศึกษา อาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัญจน์ พิเชษฐศิลป์. (2545). แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2558). ความต้องการไฟฟ้าของระบบ. from http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&layout=edit&id=353&Itemid=200
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2559). เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5. from http://labelno5.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=341&lang=th
- โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล. (2539). การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดารีนา บุญสุตม์. (2556). ลักษณะและการใช้ห้องเรียนปฏิบัติการ สดุดิโอ ด้านศิลปะ และการออกแบบในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ปริมลาภ วสุวัต. (2542). กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ : กรณีศึกษาอาคารกองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศ ดอนเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรรณชลัท สุริโยธิน. (2547). วัสดุและการก่อสร้าง : หลอดไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ. (2543). อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงาน ในอาคารปรับ อากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรม ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สรญา กังวาล. (2557). การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย : กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรม ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). ข้อมูลกายภาพพื้นฐาน. from <http://www.prm.chula.ac.th/building.html>
- สุรพล เดชพล. (2552). แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน ราชการ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุไรชา เจียรนัยพานิชย์. (2555). ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อ ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007. วิทยานิพนธ์ ปริญญา มหาบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

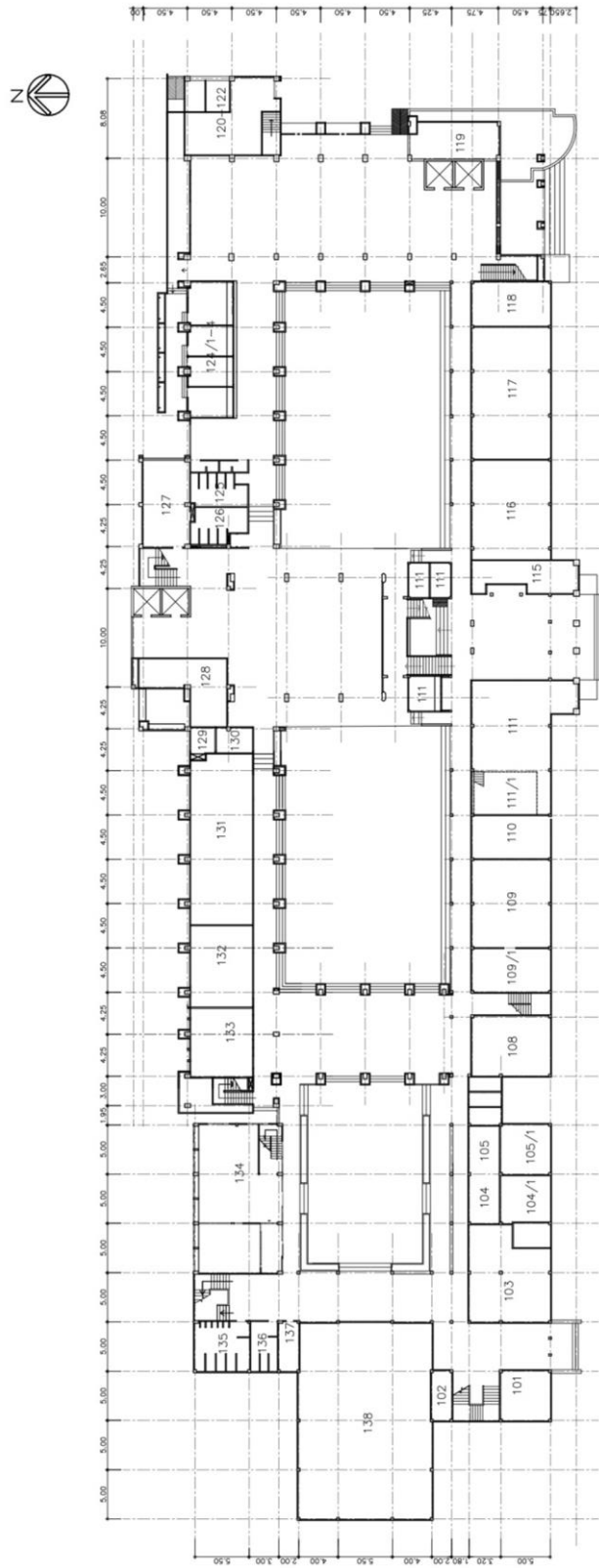
- Katafygiotou, M. C., & Serghides, D. K. (2014). Analysis of structural elements and energy consumption of school building stock in Cyprus: Energy simulations and upgrade scenarios of a typical school. *Energy and Buildings*, 72, 8-16.
- Mysen, M., Berntsen, S., Nafstad, P., & Schild, P. G. (2005). Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools. *Energy and Buildings*, 37, 1234-1240.



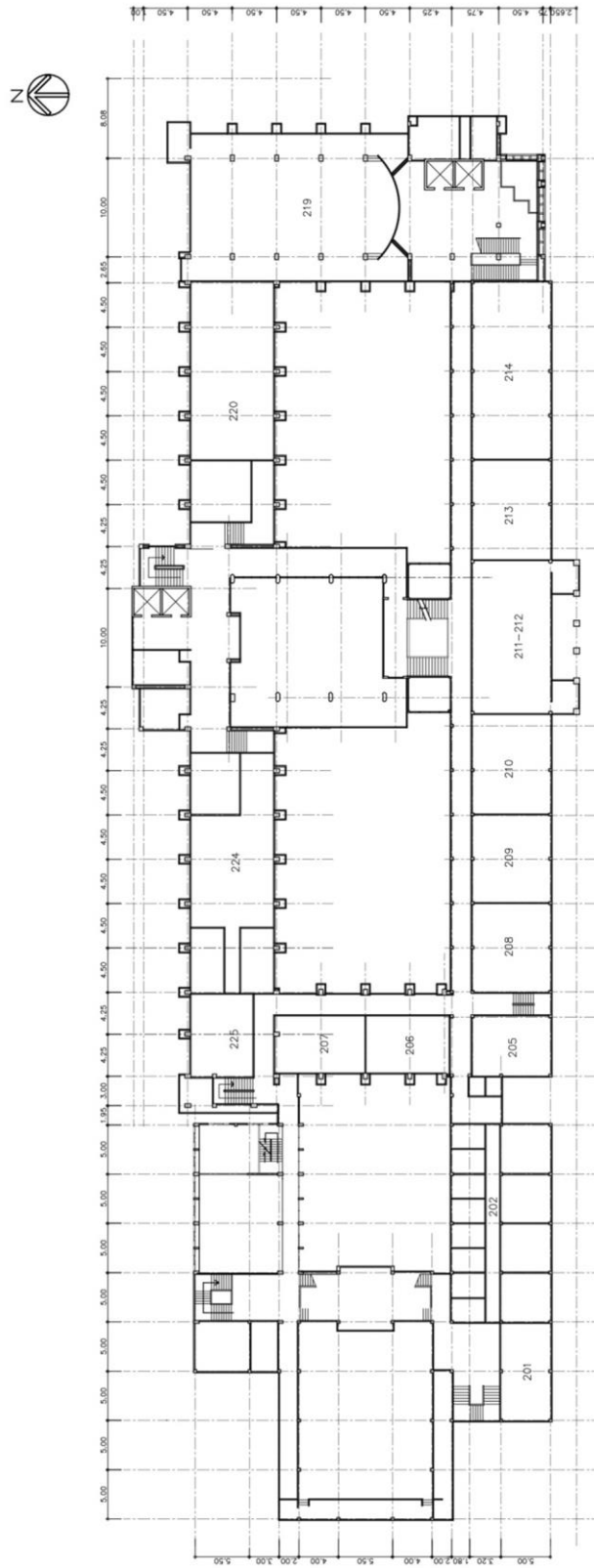
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

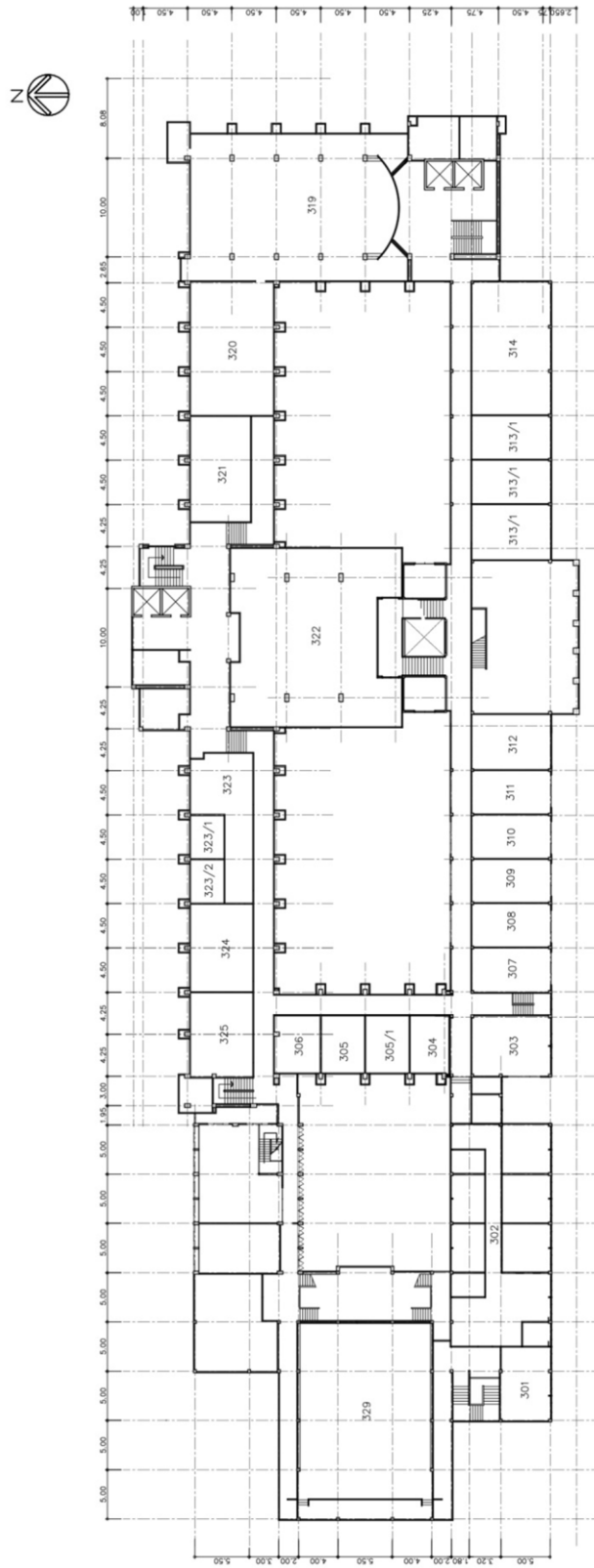




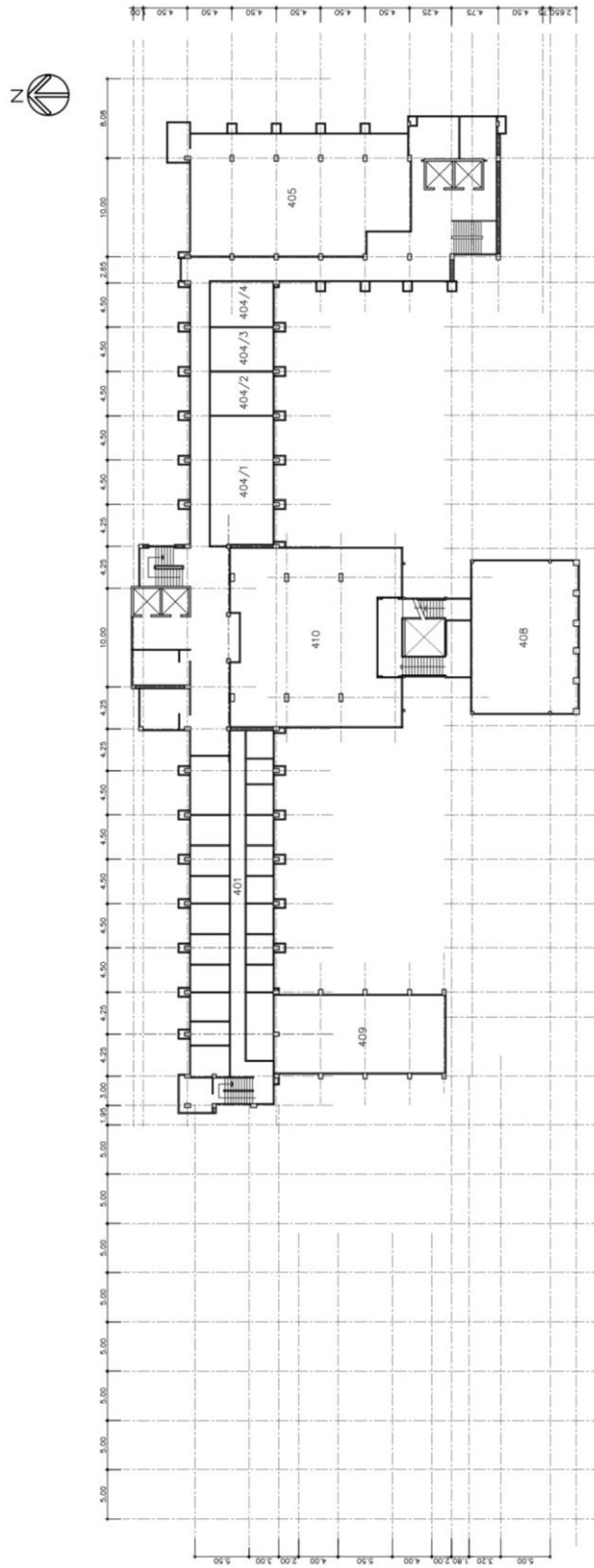
ผังพื้นที่ชั้น 1



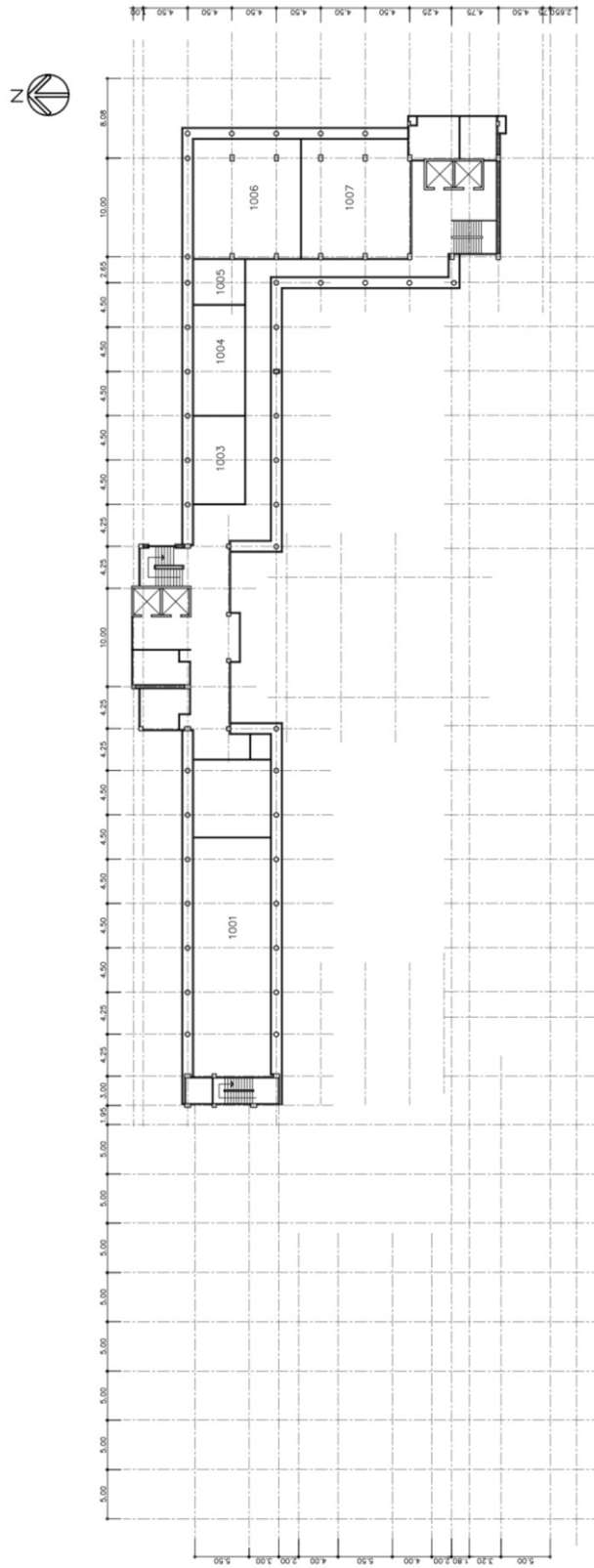
ผังพื้นที่ชั้น 2



ผังพื้นที่ชั้น 3



ผังพื้นที่ชั้น 4



ผังพื้นที่ชั้น 10



ตารางที่ ข-1 ผลการสำรวจการแบ่งพื้นที่ภายใน

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ใช้สอย		
			พื้นที่ปรับอากาศ (ม ²)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ม ²)	
1	101	ร้านค้า	25.0		
	102	ร้านพิมพ์		17.5	
	103	สำนักงาน	80.0		
	104	สำนักงาน	30.0		
	104/1	ห้องรองคณบดี	25.0		
	105/1	ห้องคณบดี	25.0		
	108	สำนักงาน	48.0		
	109	สำนักงาน	36.0		
	109/1	สำนักงาน	72.0		
	110	สำนักงาน	36.0		
	111/1	สำนักงาน	36.0		
	111	ห้อง SCG	81.9		
	112	ร้านถ่ายเอกสาร		16.0	
	113	ห้องเก็บของ		8.0	
	114	ห้องเก็บของ		8.0	
	115	หอเกียรติยศ	32.3		
	116	ห้องประชุม	81.6		
	117	ห้องอาหารอาจารย์	108.0		
	118	สำนักงาน	36.0		
	119	ร้านค้าคณะ	31.5		
	120	ห้องเก็บของ		49.5	
	128	สำนักงาน	69.1		
	129	ห้องเก็บของ	20.2		
	130	ห้องเก็บของ	27.6		
	131	ห้องกิจการนิสิต	102.4		
	132	ห้องอาหารบุคลากร	58.5		
	133-133/1	ห้องเก็บของ		40.6	
	134	ห้องนิทรรศการ	260.0		
			ทางสัญจร		1,989.7
			ห้องน้ำ		52.9
		รวม	1,274.3	2,230.0	

ตารางที่ ข-1 ผลการสำรวจการแบ่งพื้นที่ภายใน (ต่อ)

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ใช้สอย		
			พื้นที่ปรับอากาศ (m ²)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (m ²)	
2	201	ห้องประชุม	50.0		
	202	ห้องวิจัย	200.0		
	205	ห้องเรียนบรรยาย	48.0		
	206	ห้องเรียนบรรยาย	54.0		
	207	ห้องเรียนบรรยาย	54.0		
	208	ห้องเรียนบรรยาย	72.0		
	209	ห้องเรียนบรรยาย	72.0		
	210	ห้องเรียนบรรยาย	81.6		
	211-212	ห้องเรียนบรรยาย	144.6		
	213	ห้องเรียนบรรยาย	81.6		
	214	ห้องเรียนบรรยาย	144.0		
	219	ห้องเรียนบรรยาย	340.9		
	220	ห้องสตูดิโอ	153.0		
	221	ห้องสมุด	267.0		
	224	สำนักงาน	202.5		
	225	สำนักงาน	59.5		
	226	ร้านค้าอุปกรณ์	49.5		
	329	ห้องเรียนบรรยาย	300.0		
			ห้องเก็บของ		35.1
			ทางสัญจร		962.0
		ห้องน้ำ		74.1	
		รวม	2,374.2	1,071.2	
3	301	ห้องประชุม	50.0		
	302	สำนักงาน	202.5		
	303	ห้องเรียนบรรยาย	48.0		
	304	ห้อง SCG	27.0		
	305/1	ห้องเรียนบรรยาย	27.0		
	305/2	ห้องเรียนบรรยาย	27.0		
	306	ห้องเรียนบรรยาย	27.0		
	307	ห้องเรียนบรรยาย	36.0		
	308	ห้องเรียนบรรยาย	36.0		

ตารางที่ ข-1 ผลการสำรวจการแบ่งพื้นที่ภายใน (ต่อ)

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ใช้สอย	
			พื้นที่ปรับอากาศ (m ²)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (m ²)
	309	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	
	310	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	
	311	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	
	312	ห้องเรียนบรรยาย	45.6	
	313/1	ห้องเรียนบรรยาย	45.6	
	313/2	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	
	313/3	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	
	314	ห้องเรียนบรรยาย	108.0	
	319	ห้องเรียนบรรยาย	340.9	
	320	ห้องสตูดิโอ	141.0	
	321	ห้องพักอาจารย์	86.0	
	322	ห้องสมุด	317.5	
	323	สำนักงาน	59.1	
	323/1	ห้องพักอาจารย์	20.3	
	323/2	ห้องถ่ายเอกสาร		20.3
	324	ห้องประชุม	55.0	
	325	ห้องเก็บงานนิสิต	55.0	
		ห้องเก็บของ		23.2
		ทางสัญจร		865.5
		ห้องน้ำ		74.1
	รวม	1,934.5	983.1	
4	401	ห้องพักอาจารย์	293.3	
	404/1	ห้องสตูดิโอ	86.1	
	404/2	ห้องสตูดิโอ	29.3	
	404/3	ห้องสตูดิโอ	29.3	
	404/4	ห้องสตูดิโอ	29.3	
	405	ห้องสตูดิโอ	270.5	
	408	ห้องอเนกประสงค์	171.6	
	409	สำนักงาน	153.0	
	410	ห้องสมุด	317.5	
		ทางสัญจร		471.0

ตารางที่ ข-1 ผลการสำรวจการแบ่งพื้นที่ภายใน (ต่อ)

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ใช้สอย	
			พื้นที่ปรับอากาศ (ม ²)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ม ²)
		ห้องน้ำ		69.6
		รวม	1,379.9	540.6
5	501	ห้องพักอาจารย์	306.0	
	504	ห้องสตูดิโอ	240.8	
	505	ห้องสตูดิโอ	340.9	
		ทางสัญจร		283.0
		ห้องน้ำ		69.6
		รวม	887.7	352.6
6	601	ห้องพักอาจารย์และสำนักงาน	317.3	
	604	ห้องสตูดิโอ	221.6	
	605	ห้องสตูดิโอ	340.9	
		ทางสัญจร		290.9
		ห้องน้ำ		69.6
		รวม	879.8	360.5
7	701	ห้องพักอาจารย์และสำนักงาน	317.3	
	704	ห้องสตูดิโอ	228.4	
	705	ห้องสตูดิโอ	340.9	
		ทางสัญจร		284.1
		ห้องน้ำ		69.6
		รวม	886.6	353.7
8	801	ห้องพักอาจารย์และสำนักงาน	306.0	
	804/1	ห้องสตูดิโอ	39.4	
	804/2	ห้องสตูดิโอ	58.5	
	804/3	ห้องสตูดิโอ	72.7	
	804/4	ห้องสตูดิโอ	65.0	
	805	ห้องสตูดิโอ	155.8	
		ทางสัญจร		473.3
		ห้องน้ำ		69.6
		รวม	697.4	542.9
9	901/1	ห้องทำงานนิสิต	27.6	
	901/2	ห้องทำงานนิสิต	43.1	

ตารางที่ ข-1 ผลการสำรวจการแบ่งพื้นที่ภายใน (ต่อ)

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ใช้สอย	
			พื้นที่ปรับอากาศ (ม ²)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ม ²)
	901/3	ห้องทำงานนิสิต	43.1	
	901/4	ห้องคอมพิวเตอร์	99.1	
	904/1	ห้องสตูดิโอ	59.6	
	904/2	ห้องสตูดิโอ	20.3	
	904/3	ห้องสตูดิโอ	40.5	
	905	ห้องสตูดิโอ	270.0	
		ทางสัญจร		567.4
		ห้องน้ำ		69.6
		รวม	603.3	637.0
10	1001	สำนักงาน	250.8	
	1002	ห้องเก็บของ		5.0
	1003	ห้องทำงานนิสิต	47.7	
	1004	ห้องพักอาจารย์	59.6	
	1005	ห้องทำงานนิสิต	26.0	
	1006	ห้องสตูดิโอ	130.3	
	1007	ห้องสตูดิโอ	130.3	
		ทางสัญจร		404.9
		ห้องน้ำ		69.6
		รวม	644.7	479.5
11	1101/1	ห้องทำงานนิสิต	24.7	
	1101/2	ห้องทำงานนิสิต	24.7	
	1101/3	ห้องทำงานนิสิต	26.1	
	1101/4	ห้องทำงานนิสิต	26.1	
	1101/5	ห้องทำงานนิสิต	52.2	
	1102-1103	ห้องเครื่อง		75.2
	1104-1105	ห้องวิจัย	514.2	
	1106	ห้องเครื่อง		56.2
		ทางสัญจร		324.8
		รวม	668.0	456.2
รวมพื้นที่ใช้สอย			12,230.4	8,007.3
รวมพื้นที่ทั้งหมด			20,237.7	

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้ของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
1	101	25.0	1xCFL 20 W	20	0	20	8	160	6.40
	102	17.5	1xFL 36 W	36	5	41	6	306	17.49
			1xLED 10 W	10	0	10	6		
	103	80.0	2xCFL 20 W	20	0	20	23	920	11.50
	104	30.0	2xCFL 20 W	20	0	20	8	320	10.67
	104/1	25.0	2xCFL 20 W	20	0	20	4	324	12.96
			1xFL 36 W	36	5	41	4		
	105/1	25.0	2xFL 36 W	36	36	41	5	410	16.40
	108	48.0	3xFL 36 W	36	36	41	4	492	10.25
	109	36.0	2xFL 36 W	36	36	41	10	820	22.78
	109/1	72.0	4xFL 36 W	36	36	41	8	1312	18.22
	110	36.0	4xFL 36 W	36	36	41	4	656	18.22
111/1	36.0	1xCFL 15 W	15	15	15	4	175	4.86	
		1xFL 18 W	18	5	23	5			
111	ห้อง SCG	81.9	1xCFL 15 W	15	0	15	16	840	10.26
			1xHL 50 W	50	0	50	8		
			1xLED 20 W	20	0	20	10		
112	ห้องถ่ายเอกสาร	16.0	1xFL 36 W	36	5	41	2	82	5.13

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
113	ห้องเก็บของ	8.0	1xFL 36 W	36	5	41	1	41	5.13
114	ห้องเก็บของ	8.0	1xFL 36 W	36	5	41	1	41	5.13
115	หอเกียรติยศ	32.3	1xCFL 15 W	15	0	15	14	210	6.50
116	ห้องประชุม	81.6	1xCFL 15 W	15	0	15	29	435	5.33
117	ห้องอาหารอาจารย์	108.0	2xFL 36 W	36	5	41	15	1230	11.39
118	สำนักงาน	36.0	2xFL 36 W 1xCFL 15 W	36 15	5 0	41 15	5 4	470	13.06
119	ร้านค้าคณะ	31.5	1xCFL 20 W 1xLED 6 W 1xLED 20 W	20 6 20	0 0 0	20 6 20	6 4 6	264	8.38
120	ห้องเก็บของ	49.5	1xFL 36 W	36	5	41	2	82	1.66
128	สำนักงาน	69.1	1xFL 36 W	36	5	41	8	328	4.75
129	ห้องเก็บของ	20.2	2xFL 36 W	36	5	41	2	164	8.12
130	ห้องเก็บของ	27.6	3xFL 36 W	36	5	41	3	369	13.36
131	ห้องกิจการนิสิต	102.4	3xFL 36 W	36	5	41	8	984	9.61
132	ห้องอาหารบุคลากร	58.5	3xFL 36 W	36	5	41	6	738	12.62
133-133/1	ห้องเก็บของ	40.6	3xFL 36 W	36	5	41	4	492	12.11

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
134	ห้องนิทรรศการ	260.0	3xCFL 20 W	20	0	20	12	2220	8.54
			1xHL 50 W	50	0	50	30		
1989.7	ทางสัญจร	1989.7	1xCFL 20 W	20	0	20	8	9103	4.58
			1xLED 13 W	13	0	13	103		
			1xFL 36 W	36	5	41	86		
			1xFL 18 W	18	5	23	10		
			2xFL 36 W	36	5	41	43		
			2xFL 18 W	18	5	23	7		
52.9	ห้องน้ำ	52.9	1xCFL 15 W	15	0	15	12	360	6.81
			2xCFL 15 W	15	0	15	6		
201	ห้องประชุม	50.0	3xFL 36 W	36	5	41	6	738	14.76
			2xFL 36 W	36	5	41	24		
202	ห้องวิจัย	200.0	3xFL 36 W	36	5	41	8	2952	14.76
			2xFL 36 W	36	5	41	6		
205	ห้องเรียน	48.0	2xFL 36 W	36	5	41	6	492	10.25
			3xFL 36 W	36	5	41	8		
206	ห้องเรียน	54.0	3xFL 36 W	36	5	41	8	984	18.22
			2xFL 36 W	36	5	41	8		
207	ห้องเรียน	54.0	3xFL 36 W	36	5	41	8	984	18.22
			2xFL 36 W	36	5	41	8		
208	ห้องเรียน	72.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	1066	14.81
			1xFL 36 W	36	5	41	10		

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
209	ห้องเรียน	72.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	1066	14.81
			1xFL 36 W	36	5	41	10		
210	ห้องเรียน	81.6	2xFL 36 W	36	5	41	8	1066	13.06
			1xFL 36 W	36	5	41	10		
211-212	ห้องเรียน	144.6	2xCFL 26 W	26	5	31	30	2706	18.71
			1xHL 100 W	100	0	100	6		
			1xFL 36 W	36	5	41	6		
213	ห้องเรียน	81.6	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	8.04
214	ห้องเรียน	144.0	2xFL 36 W	36	5	41	16	1312	9.11
219	ห้องเรียน	340.9	1xFL 36 W	36	5	41	80	3280	9.62
220	ห้องสตูดิโอ	153.0	1xLED 14 W	14	0	14	63	1054.8	6.89
			LED strip	4.8	0	4.8	36		
221	ห้องสมุด	267.0	3xFL 36 W	36	5	41	28	3444	12.90
224	สำนักงาน	202.5	3xFL 36 W	36	5	41	20	2460	12.15
225	สำนักงาน	59.5	3xFL 36 W	36	5	41	8	984	16.54
226	ร้านค้าอุปกรณ์	49.5	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	13.25

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)	
3	329	300.0	1xFL 36 W	36	5	41	68	6248	20.83	
			1xFL 18 W	18	5	23	12			
			1xHL 50 W	50	0	50	62			
			1xLED 14 W	14	0	14	6			
		ห้องเก็บของ	35.1	1xFL 36 W	36	5	41	3	123	3.50
		ทางสัญจร	962.0	1xFL 36 W	36	5	41	4	3466.2	3.60
	2xFL 36 W			36	5	41	20			
	3xFL 36 W			36	5	41	8			
	1xFL 18 W			18	5	23	6			
	2xFL 18 W			18	5	23	5			
1xCFL 15 W	15			0	15	11				
	ห้องน้ำ	74.1	1xLED 5 W	5	0	5	6	1817	24.53	
LED strip			4.8	0	4.8	8				
	ห้องประชุม	50.0	1xFL 36 W	36	5	41	6	738	14.76	
	สำนักงาน	202.5	1xCFL 15 W	15	0	15	20	2460	12.15	
			3xFL 36 W	36	5	41	6			
			2xFL 36 W	36	5	41	30			

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
303	ห้องเรียน	48.0	2xCFL 15 W	15	5	20	12	972	20.25
			1xFL 36 W	36	5	41	12		
304	ห้อง SCG	27.0	2xFL 36 W	36	5	41	4	492	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	4		
305/1	ห้องเรียน	27.0	2xFL 36 W	36	5	41	4	492	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	4		
305/2	ห้องเรียน	27.0	2xFL 36 W	36	5	41	4	492	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	4		
306	ห้องเรียน	27.0	2xFL 36 W	36	5	41	4	492	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	4		
307	ห้องเรียน	36.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	8		
308	ห้องเรียน	36.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	8		
309	ห้องเรียน	36.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	8		
310	ห้องเรียน	36.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	8		
311	ห้องเรียน	36.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	8		
312	ห้องเรียน	45.6	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	14.39
			1xFL 36 W	36	5	41	8		
313/1	ห้องเรียน	45.6	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	14.39
			1xFL 36 W	36	5	41	8		
313/2	ห้องเรียน	36.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	18.22
			1xFL 36 W	36	5	41	8		

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (ม ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
	313/3	36.0	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	18.22
	314	108.0	2xFL 36 W	36	5	41	20	1640	15.19
	319	340.9	1xFL 36 W	36	5	41	80	3280	9.62
	320	141.0	2xFL 36 W	36	5	41	20	1640	11.63
	321	86.0	3xFL 36 W	36	5	41	8	984	11.44
	322	317.5	3xFL 36 W	36	5	41	36	246	0.77
	323	59.1	2xFL 36 W	36	5	41	8	656	11.11
	323/1	20.3	3xFL 36 W	36	5	41	2	82	4.05
	323/2	20.3	2xFL 36 W	36	5	41	1	984	48.59
	324	55.0	3xFL 36 W	36	5	41	8	984	17.89
	325	55.0	3xFL 36 W	36	5	41	8	4428	80.51
	ห้องเก็บของ	23.2	1xFL 36 W	36	5	41	2	82	3.53
	ทางสัญจร	865.5	1xFL 36 W 2xFL 36 W 1xFL 18 W 2xFL 18 W	36 36 18 18	5 5 5 5	41 41 23 23	1 17 29 2	2194	2.53

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)	
4	ห้องนำ	74.1	1xFL 18 W	18	5	23	8	983	13.27	
			2xFL 18 W	18	5	23	4			
			1xFL 36 W	36	5	41	15			
			3xFL 36 W	36	5	41	47			
			3xFL 36 W	36	5	41	9			
	404/1	ห้องสตูดิโอ	86.1	3xFL 36 W	36	5	41	3	369	12.62
	404/2	ห้องสตูดิโอ	29.3	3xFL 36 W	36	5	41	3	369	12.62
	404/3	ห้องสตูดิโอ	29.3	3xFL 36 W	36	5	41	3	369	12.62
	404/4	ห้องสตูดิโอ	29.3	3xFL 36 W	36	5	41	3	369	12.62
	405	ห้องสตูดิโอ	270.5	3xFL 36 W 3xFL 18 W	36 18	5 5	41 23	28 10	4134	15.28
408	ห้องอเนกประสงค์	171.6	3xFL 36 W	36	5	41	16	1968	11.47	
409	สำนักงาน	153.0	3xFL 36 W	36	5	41	16	1968	12.86	
410	ห้องสมุด	317.5	2xFL 36 W	36	5	41	12	984	3.10	
	ทางสัญจร	471.0	1xFL 18 W 2xFL 18 W 1xCFL 15 W	18 18 15	5 5 0	23 23 15	10 10 10	840	1.78	

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
5	ห้องน้ำ	69.6	1xFL 18 W 2xFL 18 W 1xFL 36 W	18 18 36	5 5 5	23 23 41	6 8 4	670	9.63
	501 ห้องพักอาจารย์	306.0	3xFL 36 W	36	5	41	47	5781	18.89
	504 ห้องสตูดิโอ	240.8	3xFL 36 W	36	5	41	22	2706	11.24
	505 ห้องสตูดิโอ	340.9	3xFL 36 W 3xFL 18 W	36 18	5 5	41 23	28 20	4824	14.15
	ทางสัญจร	283.0	1xFL 18 W 2xFL 18 W	18 18	5 5	23 23	10 10	690	2.44
6	ห้องน้ำ	69.6	1xFL 18 W 2xFL 18 W 1xFL 36 W	18 18 36	5 5 5	23 23 41	6 8 4	670	9.63
	601 ห้องพักอาจารย์และสำนักงาน	317.3	3xFL 36 W	36	5	41	47	5781	18.22
	604 ห้องสตูดิโอ	221.6	3xFL 36 W	36	5	41	22	2706	12.21
	605 ห้องสตูดิโอ	340.9	3xFL 36 W 3xFL 18 W	36 18	5 5	41 23	28 20	4824	14.15
	ทางสัญจร	290.9	1xFL 18 W 2xFL 18 W	18 18	5 5	23 23	10 10	690	2.37

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
7	ห้องน้ำ	69.6	1xFL 18 W	18	5	23	6	670	9.63
			2xFL 18 W	18	5	23	8		
	ห้องพักอาจารย์และสำนักงาน	317.3	1xFL 36 W	36	5	41	4	5781	18.22
			3xFL 36 W	36	5	41	47		
			3xFL 36 W	36	5	41	34		
ห้องสตูดิโอ	340.9	1xFL 28 W	28	5	33	70	3010	8.83	
		1xCFL 20 W	20	0	20	35			
ทางสัญจร	284.1	1xFL 18 W	18	5	23	10	690	2.43	
		2xFL 18 W	18	5	23	10			
8	ห้องน้ำ	69.6	1xFL 18 W	18	5	23	6	670	9.63
			2xFL 18 W	18	5	23	8		
	ห้องพักอาจารย์และสำนักงาน	306.0	1xFL 36 W	36	5	41	4	5781	18.89
			3xFL 36 W	36	5	41	47		
			3xFL 36 W	36	5	41	3		
ห้องสตูดิโอ	58.5	1xFL 36 W	36	5	41	6	738	12.62	
		3xFL 36 W	36	5	41	9			
ห้องสตูดิโอ	65.0	1xFL 36 W	36	5	41	6	876	13.48	
		3xFL 18 W	18	5	23	2			

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
9	805	155.8	3xFL 36 W 3xFL 18 W	36 18	5 5	41 23	14 6	2136	13.71
		473.3	1xFL 18 W 2xFL 18 W 3xFL 18 W 1xLED 6 W	18 18 18 6	5 5 5 0	23 23 23 6	10 10 10 17	1482	3.13
		69.6	1xFL 18 W 2xFL 18 W 1xFL 36 W	18 18 36	5 5 5	23 23 41	6 8 4	670	9.63
	901/1	27.6	3xFL 36 W	36	5	41	4	492	17.81
	901/2	43.1	3xFL 36 W	36	5	41	6	738	17.14
	901/3	43.1	3xFL 36 W	36	5	41	6	738	17.14
	901/4	99.1	3xFL 36 W	36	5	41	12	1476	14.89
	904/1	59.6	3xFL 36 W	36	5	41	6	738	12.38
	904/2	20.3	3xFL 36 W	36	5	41	2	246	12.15
	904/3	40.5	3xFL 36 W	36	5	41	4	492	12.15
905	270.0	3xFL 36 W 3xFL 18 W	36 18	5 5	41 23	40 10	5610	20.78	

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
	ทางสัญจร	567.4	1xFL 18 W	18	5	23	19	3186	5.62
			2xFL 18 W	18	5	23	10		
			3xFL 18 W	18	5	23	10		
	ห้องน้ำ	69.6	3xFL 36 W	36	5	41	13	670	9.63
			1xFL 18 W	18	5	23	6		
			2xFL 18 W	18	5	23	8		
10	1001	250.8	1xFL 36 W	36	5	41	45	5535	22.07
	1002	5.0	3xFL 18 W	18	5	23	1	23	4.60
	1003	47.7	3xFL 36 W	36	5	41	8	984	20.63
	1004	59.6	3xFL 36 W	36	5	41	10	1230	20.63
	1005	26.0	2xFL 36 W	36	5	41	4	328	12.63
	ห้องสตูดิโอ	130.3	3xFL 36 W	36	5	41	15	2190	16.81
			3xFL 18 W	18	5	23	5		
	ห้องสตูดิโอ	130.3	3xFL 36 W	36	5	41	15	2190	16.81
			3xFL 18 W	18	5	23	5		

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
11	ทางสัญจร	404.9	1xFL 18 W	18	5	23	10	1182	2.92
			2xFL 18 W	18	5	23	10		
			1xFL 36 W	36	5	41	12		
	ห้องน้ำ	69.6	1xFL 18 W	18	5	23	6	670	9.63
			2xFL 18 W	18	5	23	8		
	ห้องทำงานนิสิต	24.7	1xFL 36 W	36	5	41	4	492	19.96
			3xFL 36 W	36	5	41	4		
			3xFL 36 W	36	5	41	4		
			3xFL 36 W	36	5	41	4		
			3xFL 36 W	36	5	41	4		
ห้องทำงานนิสิต	26.1	3xFL 36 W	36	5	41	4	492	18.85	
		3xFL 36 W	36	5	41	4			
		3xFL 36 W	36	5	41	4			
ห้องทำงานนิสิต	52.2	3xFL 36 W	36	5	41	8	984	18.85	
		3xFL 36 W	36	5	41	8			
1102-1103	ห้องเครื่อง	75.2	1xFL 36 W	36	5	41	8	328	4.36
1104-1105	ห้องวิจัย	514.2	1xFL 36 W	36	5	41	15	1988	3.87
			2xFL 36 W	36	5	41	14		
			1xCFL 15 W	15	0	15	15		
1106	ห้องเครื่อง	56.2	1xFL 36 W	36	5	41	6	246	4.37

ตารางที่ ข-2 ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m ²)
	ทางสัญจร	324.8	1xFL 18 W 2xFL 18 W 1xFL 36 W	18 18 36	5 5 5	23 23 41	6 10 12	1090	3.36
รวม		20,237.7						202,843	10.02



ตารางที่ ข-3 ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ (m ²)	ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	EPD (W/m ²)
1	101	ร้านค้า	25.0	-	-	-	0.00
	102	ร้านพิมพ์	17.5	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	5 3	450 1,000	300.00
	103	สำนักงาน	80.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	11 5	450 100	68.13
	104	สำนักงาน	30.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์ ตู้เย็น	1 1 1	450 100 120	22.33
	104/1	ห้องรองคณบดี	25.0	คอมพิวเตอรื	2	450	36.00
	105/1	ห้องคณบดี	25.0	-	-	-	0.00
	108	สำนักงาน	48.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	5 2	450 100	51.04
	109	สำนักงาน	36.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	5 5	450 100	76.39
	109/1	สำนักงาน	72.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	10 10	450 100	76.39
	110	สำนักงาน	36.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	4 4	450 100	61.11
	111/1	สำนักงาน	36.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	4 4	450 100	61.11
	111	ห้อง SCG	81.9	-	-	-	0.00
	112	ร้านถ่ายเอกสาร	16.0	เครื่องถ่ายเอกสาร	3	1,500	281.25
	113	ห้องเก็บของ	8.0	-	-	-	0.00
	114	ห้องเก็บของ	8.0	-	-	-	0.00
	115	หอเกียรติยศ	32.3	-	-	-	0.00
	116	ห้องประชุม	81.6	โพรเจคเตอรื	1	650	7.97
	117	ห้องอาหารอาจารย์	108.0	ตู้เย็น	1	120	1.11
118	สำนักงาน	36.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์ ตู้เย็น	1 1 1	450 100 120	18.61	

ตารางที่ ข-3 ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า (ต่อ)

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ (m ²)	ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	EPD (W/m ²)
	119	ร้านค้าคณะ	31.5	คอมพิวเตอร์	1	450	21.27
				เครื่องพิมพ์	1	100	
				ตู้เย็น	1	120	
	120	ห้องเก็บของ	49.5	-	-	-	0.00
	128	สำนักงาน	69.1	คอมพิวเตอร์	5	450	35.44
				เครื่องพิมพ์	2	100	
	129	ห้องเก็บของ	20.2	-	-	-	0.00
	130	ห้องเก็บของ	27.6	-	-	-	0.00
	131	ห้องกิจการนิสิต	102.4	-	-	-	0.00
	132	ห้องอาหารบุคลากร	58.5	-	-	-	0.00
	133-133/1	ห้องเก็บของ	40.6	-	-	-	0.00
134	ห้องนิทรรศการ	260.0	-	-	-	0.00	
	ทางสัญจร	1989.7	Fan	18	50	0.45	
	ห้องน้ำ	52.9	-	-	-	0.00	
2	201	ห้องประชุม	50.0	โปรเจคเตอร์	1	650	13.00
	202	ห้องวิจัย	200.0	คอมพิวเตอร์	20	450	51.00
			เครื่องพิมพ์	12	100		
	205	ห้องเรียนบรรยาย	48.0	โปรเจคเตอร์	1	4	13.54
	206	ห้องเรียนบรรยาย	54.0	โปรเจคเตอร์	1	4	12.04
	207	ห้องเรียนบรรยาย	54.0	โปรเจคเตอร์	1	4	12.04
	208	ห้องเรียนบรรยาย	72.0	โปรเจคเตอร์	1	4	9.03
	209	ห้องเรียนบรรยาย	72.0	โปรเจคเตอร์	1	4	9.03
	210	ห้องเรียนบรรยาย	81.6	โปรเจคเตอร์	1	4	7.97
	211-212	ห้องเรียนบรรยาย	144.6	โปรเจคเตอร์	1	4	4.50
	213	ห้องเรียนบรรยาย	81.6	โปรเจคเตอร์	1	4	7.97
	214	ห้องเรียนบรรยาย	144.0	โปรเจคเตอร์	1	4	4.51
	219	ห้องเรียนบรรยาย	340.9	โปรเจคเตอร์	1	4	1.91
	220	ห้องสตูดิโอ	153.0	โปรเจคเตอร์	4	5	16.99
	221	ห้องสมุด	267.0	คอมพิวเตอร์	6	450	9.55
	224	สำนักงาน	202.5	คอมพิวเตอร์	5	450	13.43
				เครื่องพิมพ์	3	100	

ตารางที่ ข-3 ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า (ต่อ)

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ (m ²)	ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	EPD (W/m ²)
	225	สำนักงาน	59.5	คอมพิวเตอร์	2	450	45.38
				เครื่องพิมพ์	2	100	
				ตู้เย็น	1	120	
				เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,000	
	226	ร้านค้าอุปกรณ์	49.5	เครื่องพิมพ์	2	100	4.04
	329	ห้องเรียนบรรยาย	300.0	โพรเจคเตอร์	1	650	0.00
	ห้องเก็บของ	35.1	-	-	-	0.00	
	ทางสัญจร	962.0	-	-	-	0.00	
	ห้องน้ำ	74.1	-	-	-	0.00	
3	301	ห้องประชุม	50.0	-	-	-	0.00
	302	สำนักงาน	202.5	คอมพิวเตอร์	9	450	22.96
				เครื่องพิมพ์	6	100	
	303	ห้องเรียนบรรยาย	48.0	โพรเจคเตอร์	1	650	13.54
	304	ห้อง SCG	27.0	โพรเจคเตอร์	1	650	24.07
	305/1	ห้องเรียนบรรยาย	27.0	โพรเจคเตอร์	1	650	24.07
	305/2	ห้องเรียนบรรยาย	27.0	โพรเจคเตอร์	1	650	24.07
	306	ห้องเรียนบรรยาย	27.0	โพรเจคเตอร์	1	650	24.07
	307	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	โพรเจคเตอร์	1	650	18.06
	308	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	โพรเจคเตอร์	1	650	18.06
	309	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	โพรเจคเตอร์	1	650	18.06
	310	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	โพรเจคเตอร์	1	650	18.06
	311	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	โพรเจคเตอร์	1	650	18.06
	312	ห้องเรียนบรรยาย	45.6	โพรเจคเตอร์	1	650	14.25
	313/1	ห้องเรียนบรรยาย	45.6	โพรเจคเตอร์	1	650	14.25
	313/2	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	โพรเจคเตอร์	1	650	18.06
	313/3	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	โพรเจคเตอร์	1	650	18.06
	314	ห้องเรียนบรรยาย	108.0	โพรเจคเตอร์	1	650	6.02
319	ห้องเรียนบรรยาย	340.9	โพรเจคเตอร์	1	650	1.91	
320	ห้องสตูดิโอ	141.0	-	-	-	0.00	
321	ห้องพักอาจารย์	86.0	-	-	-	0.00	
322	ห้องสมุด	317.5	เครื่องถ่ายเอกสาร	4	1,500	18.90	

ตารางที่ ข-3 ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า (ต่อ)

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ (m ²)	ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	EPD (W/m ²)
	323	สำนักงาน	59.1	คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์	5 5	450 100	46.56
	323/1	ห้องพักอาจารย์	20.3	-	-	-	0.00
	323/2	ห้องถ่ายเอกสาร	20.3	ตู้เย็น เครื่องถ่ายเอกสาร	1 1	120 1,500	80.00
	324	ห้องประชุม	55.0	โปรเจคเตอร์	1	650	11.82
	325	ห้องเก็บงานนิสิต	55.0	-	-	-	0.00
		ห้องเก็บของ	23.2	-	-	-	0.00
		ทางสัญจร	865.5	-	-	-	0.00
		ห้องน้ำ	74.1	-	-	-	0.00
4	401	ห้องพักอาจารย์	293.3	คอมพิวเตอร์	7	450	10.74
	404/1	ห้องสตูดิโอ	86.1	-	-	-	0.00
	404/2	ห้องสตูดิโอ	29.3	-	-	-	0.00
	404/3	ห้องสตูดิโอ	29.3	-	-	-	0.00
	404/4	ห้องสตูดิโอ	29.3	-	-	-	0.00
	405	ห้องสตูดิโอ	270.5	-	-	-	0.00
	408	ห้องอเนกประสงค์	171.6	-	-	-	0.00
	409	สำนักงาน	153.0	คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์	10 10	450 100	35.95
	410	ห้องสมุด	317.5	-	-	-	0.00
		ทางสัญจร	471.0	-	-	-	0.00
		ห้องน้ำ	69.6	-	-	-	0.00
5	501	ห้องพักอาจารย์	306.0	คอมพิวเตอร์	7	450	10.29
	504	ห้องสตูดิโอ	240.8	-	-	-	0.00
	505	ห้องสตูดิโอ	340.9	-	-	-	0.00
		ทางสัญจร	283.0	-	-	-	0.00
		ห้องน้ำ	69.6	-	-	-	0.00
6	601	ห้องพักอาจารย์ และสำนักงาน	317.3	คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์	8 6	450 100	13.24
	604	ห้องสตูดิโอ	221.6	-	-	-	0.00
	605	ห้องสตูดิโอ	340.9	-	-	-	0.00

ตารางที่ ข-3 ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	EPD (W/m ²)	
	ทางสัญจร	290.9	-	-	-	0.00	
	ห้องน้ำ	69.6	-	-	-	0.00	
7	701	ห้องพักอาจารย์ และสำนักงาน	317.3	คอมพิวเตอรื	7	450	9.93
	704	ห้องสตูดิโอ	228.4	-	-	-	0.00
	705	ห้องสตูดิโอ	340.9	-	-	-	0.00
		ทางสัญจร	284.1	-	-	-	0.00
		ห้องน้ำ	69.6	-	-	-	0.00
8	801	ห้องพักอาจารย์ และสำนักงาน	306.0	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	8 6	450 100	13.73
	804/1	ห้องสตูดิโอ	39.4	โปรเจคเตอรื	1	650	16.51
	804/2	ห้องสตูดิโอ	58.5	โปรเจคเตอรื	1	650	11.11
	804/3	ห้องสตูดิโอ	72.7	โปรเจคเตอรื	1	650	8.94
	804/4	ห้องสตูดิโอ	65.0	โปรเจคเตอรื	1	650	10.00
	805	ห้องสตูดิโอ	155.8	-	-	-	0.00
		ทางสัญจร	473.3	-	-	-	0.00
		ห้องน้ำ	69.6	-	-	-	0.00
9	901/1	ห้องทำงานนิสิต	27.6	-	-	-	0.00
	901/2	ห้องทำงานนิสิต	43.1	-	-	-	0.00
	901/3	ห้องทำงานนิสิต	43.1	-	-	-	0.00
	901/4	ห้องคอมพิวเตอรื	99.1	คอมพิวเตอรื โปรเจคเตอรื	20 1	450 650	97.35
	904/1	ห้องสตูดิโอ	59.6	-	-	-	0.00
	904/2	ห้องสตูดิโอ	20.3	-	-	-	0.00
	904/3	ห้องสตูดิโอ	40.5	โปรเจคเตอรื	1	650	16.05
	905	ห้องสตูดิโอ	270.0	-	-	-	0.00
		ทางสัญจร	567.4	-	-	-	0.00
		ห้องน้ำ	69.6	-	-	-	0.00
10	1001	สำนักงาน	250.8	คอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์	8 6	450 100	16.75
	1002	ห้องเก็บของ	5.0	-	-	-	0.00

ตารางที่ ข-3 ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า (ต่อ)

ชั้น	ห้อง		พื้นที่ (m ²)	ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	EPD (W/m ²)
	1003	ห้องทำงานนิสิต	47.7	-	-	-	0.00
	1004	ห้องพักอาจารย์	59.6	-	-	-	0.00
	1005	ห้องทำงานนิสิต	26.0	-	-	-	0.00
	1006	ห้องสตูดิโอ	130.3	-	-	-	0.00
	1007	ห้องสตูดิโอ	130.3	-	-	-	0.00
		ทางสัญจร	404.9	-	-	-	0.00
		ห้องน้ำ	69.6	-	-	-	0.00
11	1101/1	ห้องทำงานนิสิต	24.7	-	-	-	0.00
	1101/2	ห้องทำงานนิสิต	24.7	-	-	-	0.00
	1101/3	ห้องทำงานนิสิต	26.1	-	-	-	0.00
	1101/4	ห้องทำงานนิสิต	26.1	-	-	-	0.00
	1101/5	ห้องทำงานนิสิต	52.2	-	-	-	0.00
	1102-1103	ห้องเครื่อง	75.2	มอเตอร์ลิฟต์	2	15,000	399.00
	1104-1105	ห้องวิจัย	514.2	คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์	6 6	450 100	6.42
	1106	ห้องเครื่อง	56.2	มอเตอร์ลิฟต์	2	15,000	533.33
		ทางสัญจร	324.8	-	-	-	0.00
รวม			20,237.7			195,720	9.67

ตารางที่ ข-4 ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ขนาดของ เครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	EER (Btu/h/W)	จำนวน (เครื่อง)	กำลังการทำ ความเย็นรวม (Btu/h)	
1	101	ร้านค้า	25.0	28,000	9.79	1	28,000
	103	สำนักงาน	80.0	35,000	13.35	2	70,000
	104	สำนักงาน	30.0	12,000	9.74	1	12,000
	104/1	ห้องรองคณบดี	25.0	28,000	9.79	1	28,000
	105/1	ห้องคณบดี	25.0	28,000	9.79	1	28,000
	108	สำนักงาน	48.0	28,000	11.57	1	28,000
	109	สำนักงาน	36.0	28,000	9.43	1	28,000
	109/1	สำนักงาน	72.0	28,000	9.43	2	56,000
	110	สำนักงาน	36.0	28,000	9.43	1	28,000
	111/1	สำนักงาน	36.0	36,000	10.23	1	36,000
	111	ห้อง SCG	81.9	38,000 12,000	13.39 9.74	1 1	50,000
	115	หอเกียรติยศ	32.3	24,000	9.83	1	24,000
	116	ห้องประชุม	81.6	32,000	9.63	2	64,000
	117	ห้องอาหารอาจารย์	108.0	32,000	9.63	3	96,000
	118	สำนักงาน	36.0	32,000	9.63	1	32,000
	119	ร้านค้าคณะ	31.5	18,000 36,000	11.61 11.25	1 1	54,000
	128	สำนักงาน	69.1	12,000	9.74	1	12,000
	131	ห้องกิจการนิสิต	102.4	22,000 36,000	10.00 10.23	2 1	80,000
	132	ห้องอาหารบุคลากร	58.5	24,000	9.83	1	24,000
134	ห้องนิทรรศการ	260.0	36,000 30,000	9.51 11.56	5 4	300,000	
2	201	ห้องประชุม	50.0	28,000	9.79	2	56,000
	202	ห้องวิจัย	200.0	42,000	13.65	4	168,000
	205	ห้องเรียนบรรยาย	48.0	40,000	11.27	1	40,000
	206	ห้องเรียนบรรยาย	54.0	28,000 16,000	12.01 8.66	1 1	44,000

ตารางที่ ข-4 ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ขนาดของ เครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	EER (Btu/h/W)	จำนวน (เครื่อง)	กำลังการทำ ความเย็นรวม (Btu/h)	
	207	ห้องเรียนบรรยาย	54.0	28,000 36,000	12.01 11.21	1 1	64,000
	208	ห้องเรียนบรรยาย	72.0	40,000	11.43	2	80,000
	209	ห้องเรียนบรรยาย	72.0	34,000	11.47	2	68,000
	210	ห้องเรียนบรรยาย	81.6	34,000	11.47	2	68,000
	211 - 212	ห้องเรียนบรรยาย	144.6	84,000	10.00	2	168,000
	213	ห้องเรียนบรรยาย	81.6	37,300	11.73	2	74,600
	214	ห้องเรียนบรรยาย	144.0	37,300	11.73	4	149,200
	219	ห้องเรียนบรรยาย	340.9	200,000	10.00	2	400,000
	220	ห้องสตูดิโอ	153.0	26,000	11.87	6	156,000
	221	ห้องสมุด	267.0	37,360	11.15	5	186,800
	224	สำนักงาน	202.5	18,300	11.69	6	160,300
				25,500 12,500	7.83 8.88	1 2	
	225	สำนักงาน	59.5	33,000	7.89	2	66,000
	226	ร้านค้าอุปกรณ์	49.5	9,000	9.98	1	33,000
24,000				10.96	1		
329	ห้องเรียนบรรยาย	300.0	200,000	10.00	2	400,000	
3	301	ห้องประชุม	50.0	18,000	9.13	1	18,000
	302	สำนักงาน	202.5	18,000	9.13	3	171,000
				12,000	9.92	1	
				33,000	11.54	1	
				36,000	11.21	2	
	303	ห้องเรียนบรรยาย	48.0	36,000	10.70	2	72,000
	304	ห้อง SCG	27.0	28,000	11.78	1	28,000
	305/1	ห้องเรียนบรรยาย	27.0	28,000	11.78	1	28,000
305/2	ห้องเรียนบรรยาย	27.0	28,000	11.78	1	28,000	
306	ห้องเรียนบรรยาย	27.0	28,000	11.78	1	28,000	
307	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	28,300	10.00	2	56,600	

ตารางที่ ข-4 ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ขนาดของ เครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	EER (Btu/h/W)	จำนวน (เครื่อง)	กำลังการทำ ความเย็นรวม (Btu/h)	
	308	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	28,300	10.00	2	56,600
	309	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	28,300	10.00	2	56,600
	310	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	28,300	10.00	1	46,600
				18,300	11.69	1	
	311	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	28,300	10.00	2	56,600
	312	ห้องเรียนบรรยาย	45.6	28,300	10.00	2	56,600
	313/1	ห้องเรียนบรรยาย	45.6	28,300	10.00	1	54,400
				26,100	10.88	1	
	313/2	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	28,300	10.00	1	54,400
				26,100	10.88	1	
	313/3	ห้องเรียนบรรยาย	36.0	28,300	10.00	1	54,400
				26,100	10.88	1	
	314	ห้องเรียนบรรยาย	108.0	26,000	9.53	3	162,000
				28,000	10.97	3	
	319	ห้องเรียนบรรยาย	340.9	200,000	10.00	2	400,000
	320	ห้องสตูดิโอ	141.0	26,000	11.87	4	104,000
	321	ห้องพักอาจารย์	86.0	26,000	11.87	2	52,000
	322	ห้องสมุด	317.5	37,360	11.15	5	186,800
	323	สำนักงาน	59.1	33,000	11.54	1	45,500
12,500				9.47	1		
323/1	ห้องพักอาจารย์	20.3	12,500	9.47	1	12,500	
324	ห้องประชุม	55.0	25,800	8.60	2	51,600	
325	ห้องเก็บงานนิสิต	55.0	28,000	11.78	1	64,000	
			36,000	9.09	1		
4	401	ห้องพักอาจารย์	18,000	10.23	2	288,000	
			36,000	11.02	7		
	404/1	ห้องสตูดิโอ	86.1	18,900	11.85	3	56,700
	404/2	ห้องสตูดิโอ	29.3	18,900	11.85	1	18,900
	404/3	ห้องสตูดิโอ	29.3	18,900	11.85	1	18,900
404/4	ห้องสตูดิโอ	29.3	18,900	11.85	1	18,900	

ตารางที่ ข-4 ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ขนาดของ เครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	EER (Btu/h/W)	จำนวน (เครื่อง)	กำลังการทำ ความเย็นรวม (Btu/h)	
	405	ห้องสตูดิโอ	270.5	26,000	11.10	9	234,000
	408	ห้องอเนกประสงค์	171.6	30,000	9.18	4	120,000
	409	สำนักงาน	153.0	25,000 18,000	9.88 9.98	4 8	244,000
	410	ห้องสมุด	317.5	36,000 18,000	11.02 9.51	2 3	126,000
5	501	ห้องพักอาจารย์	12,000	9.40	3	193,200	
			18,000	10.23	3		
			25,800	8.38	4		
	504	ห้องสตูดิโอ	240.8	30,000	11.33	10	300,000
505	ห้องสตูดิโอ	340.9	30,000	11.33	10	300,000	
6	601	ห้องพักอาจารย์ และสำนักงาน	12,500	8.48	5	182,300	
			13,000	11.17	2		
			16,000	9.09	2		
			18,000	10.23	2		
	25,800	8.38	1				
604	ห้องสตูดิโอ	221.6	30,000	11.33	10	300,000	
605	ห้องสตูดิโอ	340.9	30,000	11.33	10	300,000	
7	701	ห้องพักอาจารย์ และสำนักงาน	18,000	10.23	2	202,800	
			25,000	9.12	4		
			33,400	8.43	2		
704	ห้องสตูดิโอ	228.4	30,000	11.47	9	270,000	
705	ห้องสตูดิโอ	340.9	26,000	11.16	9	234,000	
8	801	ห้องพักอาจารย์ และสำนักงาน	12,000	8.52	7	173,400	
			28,000	10.52	2		
			33,400	7.83	1		
	804/1	ห้องสตูดิโอ	39.4	36,000	9.09	1	36,000
	804/2	ห้องสตูดิโอ	58.5	36,000	9.09	2	72,000
804/3	ห้องสตูดิโอ	72.7	25,800	9.42	2	51,600	
804/4	ห้องสตูดิโอ	65.0	25,800	9.42	2	51,600	

ตารางที่ ข-4 ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (m ²)	ขนาดของ เครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	EER (Btu/h/W)	จำนวน (เครื่อง)	กำลังการทำ ความเย็นรวม (Btu/h)	
	805	ห้องสตูดิโอ	155.8	25,800	9.42	4	103,200
9	901/1	ห้องทำงานนิสิต	27.6	25,800	9.42	1	25,800
	901/2	ห้องทำงานนิสิต	43.1	25,800	9.42	2	51,600
	901/3	ห้องทำงานนิสิต	43.1	25,800	9.42	2	51,600
	901/4	ห้องคอมพิวเตอร์	99.1	25,800	9.42	3	77,400
	904/1	ห้องสตูดิโอ	59.6	18,000	10.23	1	54,000
				36,000	9.09	1	
	904/2	ห้องสตูดิโอ	20.3	18,000	10.23	1	18,000
	904/3	ห้องสตูดิโอ	40.5	18,000	10.23	3	54,000
905	ห้องสตูดิโอ	270.0	26,000	11.33	10	260,000	
10	1001	สำนักงาน	250.8	12,500	9.47	7	187,500
			25,000	9.12	4		
	1003	ห้องทำงานนิสิต	47.7	18,000	10.23	2	36,000
	1004	ห้องพักอาจารย์	59.6	25,000	9.12	2	50,000
	1005	ห้องทำงานนิสิต	26.0	18,000	10.23	1	18,000
	1006	ห้องสตูดิโอ	130.3	33,000	8.33	4	132,000
1007	ห้องสตูดิโอ	130.3	33,000	8.33	4	132,000	
11	1101/1	ห้องทำงานนิสิต	24.7	25,000	9.63	1	25,000
	1101/2	ห้องทำงานนิสิต	24.7	25,000	9.63	1	25,000
	1101/3	ห้องทำงานนิสิต	26.1	25,000	9.63	1	25,000
	1101/4	ห้องทำงานนิสิต	26.1	25,000	9.63	1	25,000
	1101/5	ห้องทำงานนิสิต	52.2	25,000	9.63	2	50,000
	1104 - 1105	ห้องวิจัย	514.2	18,000	9.74	2	436,000
24,000				9.24	8		
32,000				9.70	2		
รวม		12,230.4					1,1033,500



ตารางที่ ค-1 คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ

ลำดับ	วัสดุ	k (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg.K)
1	แผ่นอิพซิมบอร์ด	0.191	880	1.09
2	แผ่นใยแก้ว	0.033	24	0.96
3	โฟมโพลีสไตรีน แบบขยายตัว	0.035	16	1.21
4	โฟมโพลียูรีเทน	0.024	24	1.59
5	โฟมโพลีเอทิลีน	0.029	45	1.21
6	กระดาดอัด	0.086	400	1.38
7	แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01
8	แผ่นกระจก	1.053	2,512	0.88
9	โลหะผสมอลูมิเนียมแบบธรรมดา	211	2,672	0.896
10	อิฐ	0.807	1,760	0.837
11	บล็อกคอนกรีต	1.020	1,370	0.92
12	หินทราย	1.298	2,000	0.79
13	หินแกรนิต	2.927	2,640	0.79
14	หินอ่อน	1.298	2,640	0.80
15	กระเบื้องหลังคา	0.836	1,890	1.00
16	ไม้เนื้ออ่อน	0.125	608	1.30
17	ไม้เนื้อแข็ง	0.138	702	1.30
18	ไม้อัด	0.138	528	1.21
19	ไม้อัดซีพบอร์ด	0.144	800	1.30

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ ค-2 คุณสมบัติของกระจกชนิดต่างๆ

ลำดับ	ชนิดของกระจก	ความหนา (mm)	τ_{vis}	SHGC	U-value (W/m ² .K)
1	กระจกสีใส	3	0.91	0.88	5.81
2	กระจกสีใส	6	0.88	0.82	5.74
3	กระจกสีใส	12	0.86	0.74	5.70
4	กระจกสีเขียว	6	0.72	0.54	5.74
5	กระจกสีฟ้า	6	0.54	0.61	6.19
6	กระจกสีเทา	6	0.14	0.51	6.31
7	กระจกสะท้อนแสงสีเงิน 108	6	0.10	0.21	4.78
8	กระจกสะท้อนแสงสีเงิน 114	6	0.14	0.26	4.93
9	กระจกสะท้อนแสงสีเงิน 120	6	0.20	0.31	5.20
10	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว 208	6	0.07	0.22	4.85
11	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว 214	6	0.10	0.24	5.05
12	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว 220	6	0.16	0.29	5.39
13	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า 508	6	0.05	0.22	4.88
14	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า 514	6	0.11	0.26	5.21
15	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า 520	6	0.13	0.28	5.34
16	กระจกอินซูลัท (ใส 6 มม. + A/S 6 มม. + ใส 6 มม.)	18	0.78	0.70	3.52
17	กระจกอินซูลัท (ใส 6 มม. + A/S 12 มม. + ใส 6 มม.)	24	0.78	0.70	3.14
18	กระจกอินซูลัท (ใส 6 มม. + Ar 6 มม. + ใส 6 มม.)	18	0.78	0.70	3.28
19	กระจกอินซูลัท (ใส 6 มม. + Ar 12 มม. + ใส 6 มม.)	24	0.78	0.70	2.98
20	กระจกอินซูลัทเคลือบ low-e (ใสเคลือบ low-e 6 มม. + A/S 12 มม. + ใส 6 มม.)	24	0.74	0.56	1.90

ที่มา: บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซ็นทรัล จำกัด และ บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)



ตารางที่ ง-1 คุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร

วัสดุเปลือกอาคาร		α	ΣR (m ² .K/W)	U-value (W/m ² .K)	DSH (kJ/m ² .K)
W1	ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีขาว หนา 20 ซม.	0.3	0.345	2.89	268.6
W2	ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีน้ำตาลอ่อน หนา 20 ซม.	0.5	0.345	2.89	268.6
W3	ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบทาสีขาว หนา 10 ซม.	0.3	0.255	3.93	134.3
W4	ผนังก่ออิฐเต็มแผ่นกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบสีน้ำตาล หนา 25 ซม.	0.7	0.474	2.11	347.6
W5	ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบสีน้ำตาล หนา 15 ซม.	0.7	0.350	2.86	208.6
W6	เสาคอนกรีตทาสีขาว หนา 50 ซม. + ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม.	0.3	0.601	1.66	1238.3
W7	เสาคอนกรีตกรูกระเบื้องเซรามิกกึ่งเคลือบ หนา 55 ซม. + ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม.	0.7	0.749	1.33	1322.3
R1	หลังคากระเบื้องลอนคู่สีอิฐ มุมเอียง 15 องศา หนา 6 มม. + ช่องอากาศ + ฝ้ายิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.	0.7	0.71	1.40	19.85
R2	หลังคากระเบื้องลอนคู่สีอิฐ มุมเอียง 30 องศา หนา 6 มม. + ช่องอากาศ + ฝ้ายิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.	0.7	0.70	1.42	19.85
R3	หลังคาเมทัลชีทสีเงิน มุมเอียง 15 องศา หนา 5 มม. + ฉนวนโพลียูรีเทน หนา 3 นิ้ว + ฝ้ายิปซัมบอร์ด 12 มม.	0.3	3.37	0.30	4.87

ตารางที่ ง-2 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 1 ในทิศต่างๆ

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)	
เหนือ	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	7.49				0.0	
	W2	0.0	2.89	0.5	268.6	10.12				0.0	
	W3	0.0	3.93	0.3	134.3	8.69				0.0	
	W4	0.0	2.11	0.7	347.6	12.35				0.0	
	W5	0.0	2.86	0.7	208.6	13.32				0.0	
	W6	0.0	1.66	0.3	1238.3	7.10				0.0	
	W7	0.0	1.33	0.7	1322.3	12.20				0.0	
	G0	0.0	5.74			5.00	0.82	1.00	185.06	0.0	
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.92	185.06	0.0	
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.86	185.06	0.0	
	G3	0.0	5.74			5.00	0.82	0.94	185.06	0.0	
	G4	0.0	5.74			5.00	0.82	0.90	185.06	0.0	
	G5	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	185.06	0.0	
	G6	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	185.06	0.0	
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.93	185.06	0.0	
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.92	185.06	0.0	
	รวม	0.0								0.0	
	OTTV	-									
	ตะวันออก	W1	192.2	2.89	0.3	268.6	9.30				5166
W2		0.0	2.89	0.5	268.6	13.28				0.0	
W3		0.0	3.93	0.3	134.3	10.65				0.0	
W4		0.0	2.11	0.7	347.6	16.22				0.0	
W5		0.0	2.86	0.7	208.6	17.88				0.0	
W6		0.0	1.66	0.3	1238.3	8.60				0.0	
W7		0.0	1.33	0.7	1322.3	15.80				0.0	
G0		47.5	5.74			5.00	0.82	1.00	244.53	10888	
G1		0.0	5.74			5.00	0.82	0.82	244.53	0.0	
G2		0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	244.53	0.0	
G3		0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	244.53	0.0	
G4		0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	244.53	0.0	
G5		0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	244.53	0.0	

ตารางที่ ง-2 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 1 ในทิศต่างๆ (ต่อ)

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)	
	G6	0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	244.53	0.0	
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	244.53	0.0	
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	244.53	0.0	
	รวม	239.7									16054
	OTTV	66.98	W/m²								
ใต้	W1	588.4	2.89	0.3	268.6	9.20				15644	
	W2	0.0	2.89	0.5	268.6	13.01				0.0	
	W3	0.0	3.93	0.3	134.3	10.62				0.0	
	W4	0.0	2.11	0.7	347.6	16.21				0.0	
	W5	0.0	2.86	0.7	208.6	17.69				0.0	
	W6	0.0	1.66	0.3	1238.3	8.60				0.0	
	W7	0.0	1.33	0.7	1322.3	15.90				0.0	
	G0	57.6	5.74			5.00	0.82	1.00	267.41	14283	
	G1	222.0	5.74			5.00	0.82	0.77	267.41	43854	
	G2	23.0	5.74			5.00	0.82	0.58	267.41	3585	
	G3	0.0	5.74			5.00	0.82	0.75	267.41	0.0	
	G4	0.0	5.74			5.00	0.82	0.73	267.41	0.0	
	G5	0.0	5.74			5.00	0.82	0.70	267.41	0.0	
	G6	0.0	5.74			5.00	0.82	0.70	267.41	0.0	
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.84	267.41	0.0	
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.68	267.41	0.0	
	รวม	891.0									77366
	OTTV	86.83	W/m²								
	ตะวันตก	W1	271.3	2.89	0.3	268.6	8.30				6508
W2		0.0	2.89	0.5	268.6	11.48				0.0	
W3		0.0	3.93	0.3	134.3	9.69				0.0	
W4		0.0	2.11	0.7	347.6	14.26				0.0	
W5		0.0	2.86	0.7	208.6	15.41				0.0	
W6		0.0	1.66	0.3	1238.3	7.90				0.0	
W7		0.0	1.33	0.7	1322.3	14.10				0.0	
G0		77.0	5.74			5.00	0.82	1.00	234.58	17021	

ตารางที่ ง-2 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 1 ในทิศต่างๆ (ต่อ)

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.82	234.58	0.0
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	234.58	0.0
	G3	0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	234.58	0.0
	G4	0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	234.58	0.0
	G5	0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	234.58	0.0
	G6	0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	234.58	0.0
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	234.58	0.0
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	234.58	0.0
	รวม	348.3								23529
	OTTV	67.55	W/m ²							

ตารางที่ ง-3 รายละเอียดการคำนวณ OTTV รวมของอาคารสถาปัตยกรรม 1

ทิศ	พื้นที่ผนัง (m ²)	OTTV (W/m ²)	Q (W)
เหนือ	0.0	-	0.0
ตะวันออก	239.7	66.98	16,054
ใต้	891.0	86.83	77,366
ตะวันตก	348.3	67.55	23,529
รวม	1,479.0		116,949
OTTV	79.07	W/m ²	

ตารางที่ ง-4 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 2 ในทิศต่างๆ

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)
เหนือ	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	7.49				0.0
	W2	106.7	2.89	0.5	268.6	10.12				3121
	W3	0.0	3.93	0.3	134.3	8.69				0.0
	W4	0.0	2.11	0.7	347.6	12.35				0.0
	W5	0.0	2.86	0.7	208.6	13.32				0.0
	W6	0.0	1.66	0.3	1238.3	7.10				0.0
	W7	0.0	1.33	0.7	1322.3	12.20				0.0
	G0	0.0	5.74			5.00	0.82	1.00	185.06	0.0
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.92	185.06	0.0
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.86	185.06	0.0

ตารางที่ ง-4 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 2 ในทิศต่างๆ (ต่อ)

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)	
	G3	40.3	5.74			5.00	0.82	0.94	185.06	6905	
	G4	0.0	5.74			5.00	0.82	0.90	185.06	0.0	
	G5	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	185.06	0.0	
	G6	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	185.06	0.0	
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.93	185.06	0.0	
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.92	185.06	0.0	
	รวม	147.0									10026
	OTTV	68.20	W/m²								
ตะวันออก	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	9.30				0.0	
	W2	63.0	2.89	0.5	268.6	13.28				2418	
	W3	0.0	3.93	0.3	134.3	10.65				0.0	
	W4	0.0	2.11	0.7	347.6	16.22				0.0	
	W5	0.0	2.86	0.7	208.6	17.88				0.0	
	W6	0.0	1.66	0.3	1238.3	8.60				0.0	
	W7	0.0	1.33	0.7	1322.3	15.80				0.0	
	G0	0.0	5.74			5.00	0.82	1.00	244.53	0.0	
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.82	244.53	0.0	
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	244.53	0.0	
	G3	0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	244.53	0.0	
	G4	0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	244.53	0.0	
	G5	0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	244.53	0.0	
	G6	0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	244.53	0.0	
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	244.53	0.0	
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	244.53	0.0	
	รวม	63.0									2418
	OTTV	38.38	W/m²								
ใต้	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	9.20				0.0	
	W2	347.0	2.89	0.5	268.6	13.01				13047	
	W3	0.0	3.93	0.3	134.3	10.62				0.0	
	W4	0.0	2.11	0.7	347.6	16.21				0.0	
	W5	0.0	2.86	0.7	208.6	17.69				0.0	

ตารางที่ ง-4 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 2 ในทิศต่างๆ (ต่อ)

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)
	W6	0.0	1.66	0.3	1238.3	8.60				0.0
	W7	0.0	1.33	0.7	1322.3	15.90				0.0
	G0	0.0	5.74			5.00	0.82	1.00	267.41	0.0
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.77	267.41	0.0
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.58	267.41	0.0
	G3	83.5	5.74			5.00	0.82	0.75	267.41	16129
	G4	0.0	5.74			5.00	0.82	0.73	267.41	0.0
	G5	0.0	5.74			5.00	0.82	0.70	267.41	0.0
	G6	0.0	5.74			5.00	0.82	0.70	267.41	0.0
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.84	267.41	0.0
	G8	21.0	5.74			5.00	0.82	0.68	267.41	3734
	รวม	451.5								
OTTV	72.89	W/m²								
ตะวันตก	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	8.30				0.0
	W2	228.9	2.89	0.5	268.6	11.48				7594
	W3	0.0	3.93	0.3	134.3	9.69				0.0
	W4	0.0	2.11	0.7	347.6	14.26				0.0
	W5	0.0	2.86	0.7	208.6	15.41				0.0
	W6	0.0	1.66	0.3	1238.3	7.90				0.0
	W7	0.0	1.33	0.7	1322.3	14.10				0.0
	G0	0.0	5.74			5.00	0.82	1.00	234.58	0.0
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.82	234.58	0.0
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	234.58	0.0
	G3	0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	234.58	0.0
	G4	0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	234.58	0.0
	G5	0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	234.58	0.0
	G6	0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	234.58	0.0
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	234.58	0.0
	G8	21.0	5.74			5.00	0.82	0.72	234.58	3511
	รวม	249.9								
OTTV	44.44	W/m²								

ตารางที่ ง-5 รายละเอียดการคำนวณ OTTV รวมของอาคารสถาปัตยกรรม 2

ทิศ	พื้นที่ผนัง (m ²)	OTTV (W/m ²)	Q (W)
เหนือ	147.0	68.20	10,026
ตะวันออก	63.0	38.38	2,418
ใต้	451.5	72.89	32,990
ตะวันตก	249.9	44.44	11,105
รวม	911.4		56,539
OTTV	62.04	W/m²	

ตารางที่ ง-6 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารนารถ โภธิประสาทในทิศต่างๆ

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)
เหนือ	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	7.49				0.0
	W2	0.0	2.89	0.5	268.6	10.12				0.0
	W3	845.9	3.93	0.3	134.3	8.69				28889
	W4	30.9	2.11	0.7	347.6	12.35				805
	W5	419.8	2.86	0.7	208.6	13.32				15992
	W6	178.5	1.66	0.3	1238.3	7.10				2104
	W7	126.6	1.33	0.7	1322.3	12.20				2054
	G0	46.1	5.74			5.00	0.82	1.00	185.06	8319
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.92	185.06	0.0
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.86	185.06	0.0
	G3	90.4	5.74			5.00	0.82	0.94	185.06	15490
	G4	115.6	5.74			5.00	0.82	0.90	185.06	19106
	G5	62.1	5.74			5.00	0.82	0.89	185.06	10169
	G6	344.3	5.74			5.00	0.82	0.89	185.06	56381
	G7	96.7	5.74			5.00	0.82	0.93	185.06	16422
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.92	185.06	0.0
	รวม	2356.9								175731
	OTTV	74.56	W/m²							
ตะวันออก	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	9.30				0.0
	W2	0.0	2.89	0.5	268.6	13.28				0.0
	W3	269.6	3.93	0.3	134.3	10.65				11284
	W4	37.8	2.11	0.7	347.6	16.22				1294
	W5	117.8	2.86	0.7	208.6	17.88				6024

ตารางที่ ง-6 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารนารถ โพรธิประสาทในทศตต่างๆ (ต่อ)

ทศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)
	W6	67.2	1.66	0.3	1238.3	8.60				959
	W7	32.5	1.33	0.7	1322.3	15.80				683
	G0	113.4	5.74			5.00	0.82	1.00	244.53	25993
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.82	244.53	0.0
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	244.53	0.0
	G3	43.2	5.74			5.00	0.82	0.81	244.53	8256
	G4	0.0	5.74			5.00	0.82	0.83	244.53	0.0
	G5	32.4	5.74			5.00	0.82	0.81	244.53	6192
	G6	129.6	5.74			5.00	0.82	0.83	244.53	25288
	G7	25.9	5.74			5.00	0.82	0.89	244.53	5365
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	244.53	0.0
	รวม	869.4								
OTTV	105.06	W/m²								
ใต้	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	9.20				0.0
	W2	0.0	2.89	0.5	268.6	13.01				0.0
	W3	586.4	3.93	0.3	134.3	10.62				24474
	W4	18.9	2.11	0.7	347.6	16.21				646
	W5	203.8	2.86	0.7	208.6	17.69				10311
	W6	173.6	1.66	0.3	1238.3	8.60				2478
	W7	72.2	1.33	0.7	1322.3	15.90				1527
	G0	54.6	5.74			5.00	0.82	1.00	267.41	13540
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.77	267.41	0.0
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.58	267.41	0.0
	G3	13.0	5.74			5.00	0.82	0.75	267.41	2511
	G4	51.8	5.74			5.00	0.82	0.73	267.41	9778
	G5	76.7	5.74			5.00	0.82	0.70	267.41	13974
	G6	387.2	5.74			5.00	0.82	0.70	267.41	73092
	G7	35.6	5.74			5.00	0.82	0.84	267.41	7579
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.68	267.41	0.0
รวม	1673.8									159910
OTTV	95.54	W/m²								

ตารางที่ ง-6 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารนารด โพรธิประสาทในทศต่งๆ (ต่อ)

ทศ	ชนดของ ผนัง	พ้ท	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)	
ตวงวันตก	W1	0.0	2.89	0.3	268.6	8.30				0.0	
	W2	0.0	2.89	0.5	268.6	11.48				0.0	
	W3	163.7	3.93	0.3	134.3	9.69				6234	
	W4	0.0	2.11	0.7	347.6	14.26				0.0	
	W5	159.9	2.86	0.7	208.6	15.41				7047	
	W6	47.6	1.66	0.3	1238.3	7.90				624	
	W7	45.4	1.33	0.7	1322.3	14.10				851	
	G0	75.6	5.74			5.00	0.82	1.00	234.58	1671 2	
	G1	0.0	5.74			5.00	0.82	0.82	234.58	0.0	
	G2	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	234.58	0.0	
	G3	25.9	5.74			5.00	0.82	0.81	234.58	4779	
	G4	63.4	5.74			5.00	0.82	0.83	234.58	1194 2	
	G5	0.0	5.74			5.00	0.82	0.81	234.58	0.0	
	G6	77.8	5.74			5.00	0.82	0.83	234.58	1465 4	
	G7	0.0	5.74			5.00	0.82	0.89	234.58	0.0	
	G8	0.0	5.74			5.00	0.82	0.72	234.58	0.0	
	รวม	659.3									62843
	OTTV	95.32	W/m²								

ตารางที่ ง-7 รายละเอียดการคำนวณ OTTV รวมของอาคารนารด โพรธิประสาท

ทศ	พ้ทที่ผนัง (m ²)	OTTV (W/m ²)	Q (W)
เหนือ	2,356.9	74.56	175,731
ตวงวันออก	869.4	105.06	91,338
ใต้	1,673.8	95.54	159,910
ตวงวันตก	659.3	95.32	62,843
รวม	5,559.4	489,822	
OTTV	88.11	W/m²	

ตารางที่ ง-8 รายละเอียดการคำนวณ OTTV รวมของอาคารทั้งสามอาคารรวมกัน

ทิศ	อาคาร	พื้นที่ผนัง (m ²)	OTTV (W/m ²)	Q (W)
เหนือ	ARC01	0.0	-	0.0
	ARC02	147.0	68.20	10,026
	ARC05	2,356.9	744.56	175,731
	รวม	2,503.9		185,757
	OTTV	74.19	W/m²	
ตะวันออก	ARC01	239.7	66.98	16,054
	ARC02	63.0	38.38	2,418
	ARC05	869.4	105.06	91,338
	รวม	1,172.1		109,810
	OTTV	93.69	W/m²	
ใต้	ARC01	891.0	86.83	77,366
	ARC02	451.5	72.89	32,910
	ARC05	1,673.8	95.54	159,910
	รวม	3,016.3		270,186
	OTTV	89.58	W/m²	
ตะวันตก	ARC01	348.3	67.55	23,529
	ARC02	249.9	44.44	11,105
	ARC05	659.3	95.32	62,843
	รวม	1,257.5		97,477
	OTTV	77.52	W/m²	
รวม		7,949.8		663,320
OTTV	83.43	W/m²		

ตารางที่ ง-9 รายละเอียดการคำนวณ RTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 1

ทิศ	ชนิดของ หลังคา	มุมเอียง (องศา)	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq (K)	Q (W)
เหนือ	R1	15	242.8	1.40	0.7	19.85	31.34	10653
	R2	30	0.0	1.42	0.7	19.85	28.34	0.0
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	15.80	0.0
ตะวันออก	R1	15	189.0	1.40	0.7	19.85	33.14	8769
	R2	30	0.0	1.42	0.7	19.85	31.94	0.0
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	16.40	0.0
ใต้	R1	15	367.6	1.40	0.7	19.85	33.64	17312
	R2	30	0.0	1.42	0.7	19.85	32.84	0.0
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	16.60	0.0
ตะวันตก	R1	15	189.0	1.40	0.7	19.85	33.04	8742
	R2	30	0.0	1.42	0.7	19.85	31.61	0.0
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	16.40	0.0
รวม	988.4			45476				
RTTV	46.01 W/m²							

ตารางที่ ง-10 รายละเอียดการคำนวณ RTTV ของอาคารสถาปัตยกรรม 2

ทิศ	ชนิดของ หลังคา	มุมเอียง (องศา)	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq (K)	Q (W)
เหนือ	R1	15	50.0	1.40	0.7	19.85	31.34	2194
	R2	30	0.0	1.42	0.7	19.85	28.34	0.0
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	15.80	0.0
ตะวันออก	R1	15	88.8	1.40	0.7	19.85	33.14	4120
	R2	30	0.0	1.42	0.7	19.85	31.94	0.0
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	16.40	0.0
ใต้	R1	15	125.0	1.40	0.7	19.85	33.64	5887
	R2	30	0.0	1.42	0.7	19.85	32.84	0.0
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	16.60	0.0
ตะวันตก	R1	15	181.3	1.40	0.7	19.85	33.04	8386
	R2	30	0.0	1.42	0.7	19.85	31.61	0.0
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	16.40	0.0
รวม	445.1			20587				
RTTV	46.25 W/m²							

ตารางที่ ง-11 รายละเอียดการคำนวณ RTTV ของอาคารนารถ โพรธิประสาท

ทิศ	ชนิดของ หลังคา	มุมเอียง (องศา)	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq (K)	Q (W)
เหนือ	R1	15	0.0	1.40	0.7	19.85	31.34	0.0
	R2	30	248.5	1.42	0.7	19.85	28.34	10000
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	15.80	0.0
ตะวันออก	R1	15	0.0	1.40	0.7	19.85	33.14	0.0
	R2	30	139.1	1.42	0.7	19.85	31.94	6309
	R3	15	76.5	0.30	0.3	4.87	16.40	376
ใต้	R1	15	0.0	1.40	0.7	19.85	33.64	0.0
	R2	30	168.3	1.42	0.7	19.85	32.84	7848
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	16.60	0.0
ตะวันตก	R1	15	0.0	1.40	0.7	19.85	33.04	0.0
	R2	30	111.9	1.42	0.7	19.85	31.61	5023
	R3	15	76.5	0.30	0.3	4.87	16.40	376
รวม	820.8			29932				
RTTV	36.47 W/m²							

ตารางที่ ง-12 รายละเอียดการคำนวณ RTTV รวมของอาคารทั้งสามอาคารรวมกัน

อาคาร	พื้นที่หลังคา (m ²)	RTTV (W/m ²)	Q (W)
ARC01	988.2	46.01	45,476
ARC02	445.1	46.25	20,587
ARC05	820.8	36.47	29,932
รวม	2254.1		95,995
RTTV	42.59	W/m²	

ตารางที่ ง-13 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารทั้งสามอาคารหลังการปรับปรุง

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)	
เหนือ	W1	0.0	0.54	0.3	280.2	7.49				0.0	
	W2	106.7	0.54	0.5	280.2	10.12				583	
	W3	845.9	0.57	0.3	145.9	8.69				4190	
	W4	30.9	0.51	0.7	359.2	12.35				195	
	W5	419.8	0.54	0.7	220.2	13.32				3020	
	W6	178.5	0.48	0.3	1249.9	7.10				608	
	W7	126.6	0.45	0.7	1333.9	12.20				695	
	G0	0.0	5.74			5.00	0.54	1.00	185.06	0.0	
	G0-SH	46.1	5.74			5.00	0.54	0.86	185.06	5285	
	G1	0.0	5.74			5.00	0.54	0.92	185.06	0.0	
	G2	0.0	5.74			5.00	0.54	0.86	185.06	0.0	
	G3	130.7	5.74			5.00	0.54	0.94	185.06	16029	
	G4	115.6	5.74			5.00	0.54	0.90	185.06	13715	
	G5	62.1	5.74			5.00	0.54	0.89	185.06	7305	
	G6	344.3	5.74			5.00	0.54	0.89	185.06	40503	
	G7	96.7	5.74			5.00	0.54	0.93	185.06	11762	
	G8	0.0	5.74			5.00	0.54	0.92	185.06	0.0	
	รวม	2503.9								103890	
	OTTV	41.49	W/m²								
ตะวันออก	W1	192.2	0.54	0.3	280.2	9.30				965	
	W2	63.0	0.54	0.5	280.2	13.28				452	
	W3	269.6	0.57	0.3	145.9	10.65				1637	
	W4	37.8	0.51	0.7	359.2	16.22				313	
	W5	117.8	0.54	0.7	220.2	17.88				1137	
	W6	67.2	0.48	0.3	1249.9	8.60				277	
	W7	32.5	0.45	0.7	1333.9	15.80				231	
	G0	113.4	5.74			5.00	0.54	1.00	244.53	18229	
	G0-SH	47.5	5.74			5.00	0.54	0.77	244.53	6193	
	G1	0.0	5.74			5.00	0.54	0.82	244.53	0.0	
	G2	0.0	5.74			5.00	0.54	0.72	244.53	0.0	
	G3	43.2	5.74			5.00	0.54	0.81	244.53	5860	

ตารางที่ ง-13 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารทั้งสามอาคารในหลังการปรับปรุง (ต่อ)

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)	
	G4	0.0	5.74			5.00	0.54	0.83	244.53	0.0	
	G5	32.4	5.74			5.00	0.54	0.81	244.53	4395	
	G6	129.6	5.74			5.00	0.54	0.83	244.53	17923	
	G7	25.9	5.74			5.00	0.54	0.89	244.53	3787	
	G8	0.0	5.74			5.00	0.54	0.72	244.53	0.0	
	รวม	1172.1									61399
	OTTV	52.38	W/m²								
ใต้	W1	588.4	0.54	0.3	280.2	9.20				2923	
	W2	347.0	0.54	0.5	280.2	13.01				2438	
	W3	586.4	0.57	0.3	145.9	10.62				3550	
	W4	18.9	0.51	0.7	359.2	16.21				156	
	W5	203.8	0.54	0.7	220.2	17.69				1947	
	W6	173.6	0.48	0.3	1249.9	8.60				717	
	W7	72.2	0.45	0.7	1333.9	15.90				517	
	G0	54.6	5.74			5.00	0.54	1.00	267.41	9451	
	G0-SH	57.6	5.74			5.00	0.54	0.60	267.41	6644	
	G1	222.0	5.74			5.00	0.54	0.77	267.41	31055	
	G2	23.0	5.74			5.00	0.54	0.58	267.41	2586	
	G3	96.5	5.74			5.00	0.54	0.75	267.41	13221	
	G4	51.8	5.74			5.00	0.54	0.73	267.41	6947	
	G5	76.7	5.74			5.00	0.54	0.70	267.41	9954	
	G6	387.2	5.74			5.00	0.54	0.70	267.41	50251	
	G7	35.6	5.74			5.00	0.54	0.84	267.41	5340	
	G8	21.0	5.74			5.00	0.54	0.68	267.41	2665	
	รวม	3016.3									150362
	OTTV	49.85	W/m²								
ตะวันตก	W1	271.3	0.54	0.3	280.2	8.30				1216	
	W2	228.9	0.54	0.5	280.2	11.48				1419	
	W3	163.7	0.57	0.3	145.9	9.69				904	
	W4	0.0	0.51	0.7	359.2	14.26				0.0	
	W5	159.9	0.54	0.7	220.2	15.41				1331	

ตารางที่ ง-13 รายละเอียดการคำนวณ OTTV ของอาคารทั้งสามอาคารหลังการปรับปรุง (ต่อ)

ทิศ	ชนิดของผนัง	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq ΔT (K)	SHGC	SC	ESR (W/m ²)	Q (W)
	W6	47.6	0.48	0.3	1249.9	7.90				180
	W7	45.4	0.45	0.7	1333.9	14.10				288
	G0	75.6	5.74			5.00	0.54	1.00	234.58	11746
	G0-SH	77.0	5.74			5.00	0.54	0.77	234.58	9720
	G1	0.0	5.74			5.00	0.54	0.82	234.58	0.0
	G2	0.0	5.74			5.00	0.54	0.72	234.58	0.0
	G3	25.9	5.74			5.00	0.54	0.81	234.58	3401
	G4	63.4	5.74			5.00	0.54	0.83	234.58	8485
	G5	0.0	5.74			5.00	0.54	0.81	234.58	0.0
	G6	77.8	5.74			5.00	0.54	0.83	234.58	10413
	G7	0.0	5.74			5.00	0.54	0.89	234.58	0.0
	G8	21.0	5.74			5.00	0.54	0.72	234.58	2518
	รวม	1257.5								51621
	OTTV	41.05	W/m²							

ตารางที่ ง-14 รายละเอียดการคำนวณ OTTV รวมของอาคารทั้งสามอาคารหลังการปรับปรุง

ทิศ	พื้นที่ผนัง (m ²)	OTTV (W/m ²)	Q (W)
เหนือ	2,503.9	41.49	103,890
ตะวันออก	1,172.1	52.38	61,399
ใต้	3,016.3	49.85	150,362
ตะวันตก	1,257.5	41.05	51,621
รวม	7,949.8		367,272
OTTV	46.20	W/m²	

ตารางที่ ง-15 รายละเอียดการคำนวณ RTTV รวมของอาคารทั้งสามอาคารหลังการปรับปรุง

ทิศ	ชนิดของหลังคา	มุมเอียง (องศา)	พื้นที่ (m ²)	U-value (W/m ² .K)	α	DSH (kJ/m ² .K)	TDeq (K)	Q (W)
เหนือ	R1	15	292.8	0.46	0.7	21.02	31.34	4221
	R2	30	248.5	0.46	0.7	21.02	28.34	3240
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	15.80	0.0
ตะวันออก	R1	15	277.8	0.46	0.7	21.02	33.14	4235
	R2	30	139.1	0.46	0.7	21.02	31.94	2044
	R3	15	76.5	0.30	0.3	4.87	16.40	376
ใต้	R1	15	492.6	0.46	0.7	21.02	33.64	7623
	R2	30	168.3	0.46	0.7	21.02	32.84	2542
	R3	15	0.0	0.30	0.3	4.87	16.60	0.0
ตะวันตก	R1	15	370.3	0.46	0.7	21.02	33.04	5628
	R2	30	111.9	0.46	0.7	21.02	31.61	1627
	R3	15	76.5	0.30	0.3	4.87	16.40	376
รวม	2,254.1			31,912				
RTTV	14.16 W/m ²							

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวัศพล อีรวนพันธุ์ เกิดเมื่อวันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2536 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเซนต์คาเบรียล ระดับปริญญาบัณฑิตจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีพ.ศ. 2556 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตยกรรม (Innovative Design in Ecological Architecture) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2557

ในด้านการทำงาน มีความสนใจในการทำงานด้านการออกแบบการให้แสงสว่าง (Lighting Design) ปัจจุบันทำงานที่บริษัท โบ สไตเบอร์ ไลท์ติ้ง ดีไซน์ จำกัด (Bo Steiber Lighting Design)

