การปรับปรุงอาคารสำนักงานเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ : กรณีศึกษาอาคารอำนวยการองค์การเภสัชกรรม

นายยชนา เชาวนะกมล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Retrofitting office Building for energy efficiency : A Case study of Administration Building GPO

Mr. Yochana Chaowanakamol

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management

Inter-Department of Energy Technology and Management

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	การปรับปรุงอาคารสำนักงานเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ : กรณีศึกษาอาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม
โดย	นายยชนา เชาวนะกมล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยชนา เชาวนะกมล : การปรับปรุงอาคารสำนักงานเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ : กรณีศึกษาอาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม . (Retrofitting office Building for energy efficiency : A Case study of Administration Building GPO) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ธนิต จินดาวณิค

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษากรอบอาคารของอาคารสำนักงาน อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม ให้กรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนเป็นไปตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 (ปี พ.ศ.2550) รวมทั้งวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนของมาตรการทางการเงินและความคุ้มทุน วิธีการศึกษาการใช้วิธีการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Building Energy Code Software version 1.0.6 (BEC v.1.0.6) โดยรวบรวมข้อมูลกรอบอาคาร อุปกรณ์ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ จากการจำลองอาคารพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) เท่ากับ 34.102 W/m² ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดคือต่ำกว่า 50 W/m² ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) เท่ากับ 19.433 W/m² ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดคือ 15 W/m² มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (LPD) เท่ากับ 14.461 W/m² ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดคือ 14 W/m² ค่าการประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (EER) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดคือต่ำกว่า 3.22 W/W และค่าการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารเท่ากับ 813,300 kWh/Year ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือสูงกว่าอาคารอ้างอิง พลังงานที่ใช้ในอาคารส่วนใหญ่มาจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ คิดเป็นร้อยละ 76.75 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ทั้งนี้ถ้าต้องการลดการใช้พลังงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของอาคาร จำเป็นต้องปรับปรุงโดยการเปลี่ยนหลอดไฟเป็นแอลอีดี การติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดโพลิสไตรีนโฟมที่หลังคา และการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเฉพาะเครื่องที่ไม่ผ่านเกณฑ์ให้เป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นจะได้ค่า RTTV 13.605 W/m² ค่า LPD 6.627 W/m² ค่า EER มากกว่า 3.22 W/W มาตรการนี้ทำให้ค่า RTTV ลดลงร้อยละ 30 ซึ่งทำให้อาคารมีการใช้พลังงานรวมลดลงร้อยละ 29.66 โดยมีผลประหยัด 964,972 บาทต่อปี มีระยะเวลาคืนทุน 6 ปี 5 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

6187289220 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORD: RENOVATION BUILDING ENVELOPE OFFICE BUILDING ENERGY CONSERVATION.

Yochana Chaowanakamol : Retrofitting office Building for energy efficiency : A Case study of Administration Building GPO . Advisor: Assoc. Prof. Dr. Withaya Yongchareon Co-advisor: Assoc. Prof. THANIT CHINDAVANIG

This research aimed to study the building envelope of an office building, administration building GPO, to improve this office building to achieve energy efficiency, and to renovate the building envelope to follow the standard of the Energy Conservation Promotion Act (No.2) B.E. 2550 (2007). The study of the possibility of financial measures and cost effectiveness were included thermal insulation, lighting system equipment and air conditioning. The method of the study was a computer simulation via Building Energy Code Software version 1.0.6 Program. It was found that The OTTV of the building envelope was 34.102 W/m². The RTTV was 19.433 W/m². Maximum LPD was 14.461 W/m². The EER in Air-Conditioning system, Split type don't pass. Whole building energy consumption was 813,300 kWh/y. The result of simulation show that energy consumption of building essentially came from lighting system and air conditioning system about 76.75 percent of whole energy consumption. So, if the owner of building wants to decrease building's whole energy consumption, the energy conservation strategies needed to be considered as following improve building to install Polystyrene foam at the roof, replace fluorescent lights with LED lights and high efficiency split air conditioners. Then the new RTTV was 13.605 W/m². LPD was 6.627 W/m². EER was more than 3.22 W/W. All of these methods reduce RTTV by 30 percent. Finally, building's overall energy consumption will decrease by 29.66 percent and energy saving cost was 964,972 Baht/year. Payback period was 6 years and 5 months.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2019	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์ และคำแนะนำทางวิชาการจากอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ และรองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค ที่กรุณาให้ความรู้และชี้แนะในการทำสารนิพนธ์ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบและปรับปรุงสารนิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงให้เป็นประโยชน์ในการนำไปปฏิบัติงานได้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ องค์การเภสัชกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและแบบของอาคารอำนวยการ พร้อมทั้งราคาวัสดุและค่าแรงเพื่อใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ทำการทดสอบคุณสมบัติของกระจกอาคารอำนวยการ จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ยชนา เชาวนะกมล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

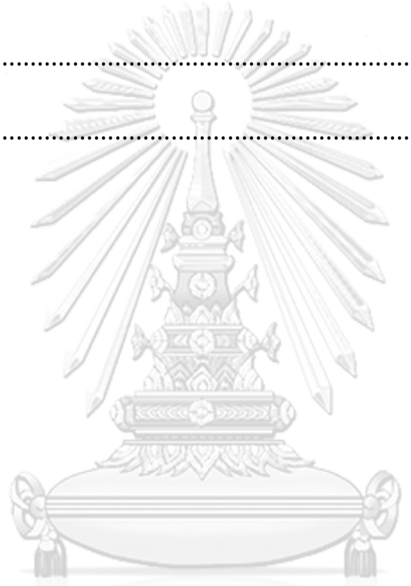
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

บรรณานุกรม 12

ประวัติผู้เขียน 82



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……ง
กิตติกรรมประกาศ……จ
สารบัญ……ฉ
สารบัญตาราง……ซ
สารบัญภาพ……ญ
บทที่ 1 บทนำ……1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา……1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา……2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา……2
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา……3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……5
2.1 ลักษณะและแบบอาคารกรณีศึกษา……5
2.2 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ……6
2.3 โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน BEC v.1.0.6……18
2.4 การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้ในการประเมินโครงการลงทุน……20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……23
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย……24
3.1 วิธีการวิจัย……24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย……26
บทที่ 4 ผลการวิจัย……29
4.1 วิเคราะห์ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา……29
4.2 คุณสมบัติ และราคาของวัสดุที่นำมาปรับปรุง……42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 สร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ……44
4.4 วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อน และจำลองการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง……46
4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์……48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ……59
5.1 สรุปผลการวิจัย……59
5.2 ข้อเสนอแนะ……61
บรรณานุกรม……62
ภาคผนวก……63
ภาคผนวก ก แบบแปลนอาคารของ อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม……64
ภาคผนวก ข ข้อมูลการสร้างแบบจำลองของอาคาร โดยใช้โปรแกรม BEC……72
ภาคผนวก ค การคำนวณค่าวัสดุ ค่าแรง ของวัสดุที่เลือกศึกษา……79
ประวัติผู้เขียน……82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 แสดงเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552……1
2 เกณฑ์ขั้นต่ำการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน……...7
3 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทสำนักงาน...14
4 ระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศชนิด Fixed type……....16
5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้ในอาคาร……...17
6 ค่ามาตรฐานความเข้มแสงตามมาตรฐานงานสำนักงาน (Lux)……....18
7 อัตราค่าไฟฟ้าของอัตราปกติของกิจการขนาดกลาง ปี 2561……...22
8 คุณสมบัติวัสดุผนังทึบ……....31
9 คุณสมบัติวัสดุผนังโปร่งแสง……..31
10 คุณสมบัติวัสดุหลังคา……32
11 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ของผนัง……..32
12 อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)……33
13 ผลสำรวจหลอดไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา……..34
14 อุปกรณ์เกี่ยวกับระบบปรับอากาศ……..36
15 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า……39
16 คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน……42
17 อุปกรณ์ปรับปรุงเกี่ยวกับแสงสว่าง……43
18 การเปรียบเทียบหลอดไฟแสงสว่างเดิมกับหลอดไฟแสงสว่างใหม่……...43
19 อุปกรณ์ปรับปรุงเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ……44
20 ผลการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรม BEC……..45
21 พลังงานไฟฟ้ารายปีจากโปรแกรมจำลองและการใช้งานจริง……45
22 ผลการประเมินการใช้พลังงานของอาคารก่อนการปรับปรุง……..46
23 ผลที่ได้จากการติดฉนวนกันความร้อน……...47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

24 ผลที่ได้จากการปรับปรุงหลอดไฟจากโปรแกรม BEC……..47
25 ผลที่ได้จากการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศจากโปรแกรม BEC……48
26 ผลการปรับปรุงแต่ละมาตรการ……48
27 ผลค่าใช้จ่ายทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 50 มม. (R1)……....49
28 ผลการคำนวณ NPV ทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 50 มม. (R1)……49
29 ผลค่าใช้จ่ายทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 75 มม. (R2)…… 50
30 ผลการคำนวณ NPV ทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 75 มม. (R2)……50
31 ผลค่าใช้จ่ายทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 100 มม. (R3)……...51
32 ผลการคำนวณ NPV ทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 100 มม. (R3)……...51
33 เปรียบเทียบผลการปรับปรุงในแต่ละมาตรการเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม……..52
34 ผลค่าใช้จ่ายการปรับปรุงหลอดไฟ LED ของอาคาร L1……....53
35 ผลการคำนวณ NPV การปรับปรุงหลอดไฟ LED ของอาคาร L1……..53
36 ผลค่าใช้จ่ายการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศของอาคาร A1……....55
37 ผลการคำนวณ NPV การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศของอาคาร A1……..55
38 ผลการปรับปรุงจากการติดตั้งฉนวน PS Foam, หลอด LED, เครื่องปรับอากาศใหม่……...56
39 ผลการคำนวณ NPV การปรับปรุงจากการติดตั้งฉนวน PS Foam, หลอด LED, เครื่องปรับอากาศใหม่……...56
40 ผลการปรับปรุงอาคารที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์ของกฎกระทรวง พ.ศ. 2552…….60
41 ผลการปรับปรุงอาคารที่ได้ในแต่ละเกณฑ์ เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงอาคาร……...60

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

1 อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม……..2
2 เกณฑ์การผ่านมาตรฐาน BEC……..8
3 คอนกรีตบล็อก……...10
4 แสดงตัวอย่างกระจกใส……..10
5 แสดงคุณสมบัติของกระจกตัดแสง……11
6 โครงสร้างฉนวนโพลิ สไตรีน……13
7 ผลวิเคราะห์การใช้พลังงานของโปรแกรม BEC……19
8 โปรแกรมจำลองอาคาร โปรแกรม Building Energy Code (BEC v.1.0.6)…….26
9 แคลมป์มิเตอร์……27
10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย……....28
11 ตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางของอาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม……29
12 ลักษณะภายนอกอาคารด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้……....30
13 ลักษณะภายนอกอาคารด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ……31
14 ลักษณะหลังคาภายนอกของอาคารกรณีศึกษา……..31
15 รูปแบบของโคมไฟภายในห้องทำงาน และห้องประชุม เป็นโคมไฟ
ฟลูออเรสเซนต์ และโคมไฟดาวน์ไลท์……35
16 รูปแบบของโคมไฟบริเวณโถงทางเดิน เป็นโคมไฟฟลูออเรสเซนต์……35
17 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และบัลลาสต์ LOW LOSS……35
18 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน……....39
19 ทำการวัดกระแสไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์……40
20 ทำการวัดกระแสไฟฟ้าของระบบควบคุมลิฟต์ 2 ตัว……....40
21 ทำการวัดกระแสไฟฟ้าของ Fan coil unit……....41
22 Nameplate Computer Room……...…..41
23 UPS Data center……...….41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกระทรวงพลังงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ประกาศกฎกระทรวงเรื่องการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้หน่วยงานของภาครัฐดำเนินมาตรการลดการใช้พลังงานในอาคารลงให้ได้มากกว่าร้อยละ 10 เพื่อเป็นตัวอย่างให้กับภาคเอกชน และภาคประชาชน ในการช่วยลดรายจ่ายค่าพลังงานของประเทศ

เนื่องจากอาคารสำนักงานของภาครัฐ ถูกออกแบบให้มีช่องเปิดจำนวนมากเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ หรือออกแบบพื้นที่เปิดโล่งเพื่อให้ลมพัดผ่าน แต่ปัญหาของอาคารเหล่านี้อยู่ที่กรอบอาคารที่มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ ทำให้ความร้อนเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ ก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศสูง และความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและมนุษย์ (โสพิศ ชัยชนะ 2559) [1]

กระทรวงพลังงานได้มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบกรอบอาคาร และระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร สำหรับอาคารสำนักงานที่จะก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลง ที่มีขนาดพื้นที่ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ได้ถูกกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของ BEC ไว้โดยกฎกระทรวงฯ พ.ศ.2552

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Table 1 แสดงเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552

เกณฑ์มาตรฐาน	ค่าที่กำหนด
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง	$\leq$ 50 W/m²
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา	$\leq$ 15 W/m²
ค่ากำลังส่องสว่างสูงสุด	$\leq$ 14 W/m²
ค่าประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศขนาดเล็ก	$>$ 3.22 W/W
การใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร	$\leq$ 795,465 kWh/year

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอาคารกรณีศึกษา คือ อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม เป็นอาคารที่ก่อสร้างเมื่อปี 2529 ในอดีตนั้นการออกแบบอาคารไม่ได้คำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารหรือกรอบอาคารที่มีส่วนช่วยในการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

Figure 1 อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม

เมื่อได้จำลองการใช้พลังงานพบว่าค่า OTTV เท่ากับ 34.102 W/m² ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่า RTTV เท่ากับ 19.442 W/m² ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ค่าLPD เท่ากับ 14.461 W/m² ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ค่า EER ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบางเครื่องไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และมีค่าการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารเท่ากับ 813,309 kWh/Year ผู้วิจัยจึงศึกษาความเป็นไปได้และประเมินมาตรการการปรับปรุงอาคารให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารสำนักงานเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อหามาตรการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานตามเกณฑ์ BEC ที่กระทรวงกำหนดไว้
2. เพื่อประเมินและสรุปผลแนวทางการปรับปรุงที่ประหยัดพลังงานและมีความเหมาะสมด้านการลงทุน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป BEC V1.06 ในการจำลองการใช้พลังงานในอาคารอำนวยการขององค์การเภสัชกรรม

2. ศึกษาการใช้พลังงานเฉพาะในส่วนของกรอบอาคาร อุปกรณ์แสงไฟประดิษฐ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศ
3. งานวิจัยนี้ไม่ทำการศึกษาปั๊มน้ำ
4. ศึกษาวิธีการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษาใช้วิธีการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC (Building Energy Code) โดยมีขั้นตอนต่าง ๆดังนี้

1. ศึกษากฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือ ขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 [2]

2. เก็บข้อมูลลักษณะของอาคารด้านกรอบอาคาร อุปกรณ์แสงไฟประดิษฐ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศ โดยรวบรวมแปลนอาคารที่มีอยู่ และทำการสำรวจอาคารโดยการสุ่มตรวจเพื่อวัดระยะโครงสร้างของอาคาร รวบรวมข้อมูลทางด้านวัสดุกรอบอาคาร นับจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ Nameplate ของอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยสุ่มเป็นประเภทและยี่ห้อ เพื่อจัดทำแบบอาคารเพิ่มเติมให้ตรงกับหน้างานจริง

3. เก็บข้อมูลวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมดที่จะนำมาปรับปรุงอาคาร ได้แก่ ฉนวนกันความร้อน กระเบื้องหลังคา หลอดไฟ LED และ เครื่องปรับอากาศแบบประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะค่าคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุกันความร้อน ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ LED และ ค่ากำลังไฟฟ้ากับความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบประสิทธิภาพสูง รวมทั้งราคาและค่าแรงติดตั้งจากบริษัทผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย

4. หาค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร ค่ากำลังฟ้าส่องสว่างสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ และค่าพลังงานรวมของอาคาร โดยใช้แปลนอาคารเป็นข้อมูลในการกรอกค่าต่าง ๆ ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Building Energy Code v1.0.6 เพื่อนำผลที่ได้มาประเมินค่าเทียบกับมาตรฐานของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2

5. เสนอแนะและศึกษามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในด้านการปรับปรุงกรอบอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และพลังงานโดยรวมของอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6. วิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการที่ได้จากการจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Building Energy Code v1.0.6 โดยแต่ละมาตรการต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2

7. ประเมินความคุ้มทุนทางการเงินและระยะเวลาคุ้มทุนของแต่ละมาตรการ

8. สรุปผลและเสนอแผนมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพ และมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เจ้าของอาคารทราบถึงการใช้พลังงานของอาคารก่อน และหลังการปรับปรุงอาคาร

2. สามารถตัดสินใจได้ว่าจะปรับปรุงกรอบอาคารอย่างไร ให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด

3. เป็นแนวทางสำหรับการปรับปรุงและออกแบบอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอาคารสำนักงาน อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ให้กรอบอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และพลังงานโดยรวมของอาคารเป็นไปตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 (ปี พ.ศ.2550) และศึกษาการจำลองสภาพอาคารในการใช้พลังงานของอาคารจากโปรแกรม BEC v.1.0.6 โดยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ลักษณะและแบบอาคารกรณีศึกษา

2.2 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550)

2.3 โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน BEC v.1.0.6

2.4 การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้ในการประเมินโครงการลงทุน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะและแบบอาคารกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้มีอาคารกรณีศึกษา คือ อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม ตั้งอยู่ที่ องค์การเภสัชกรรม สำนักงานใหญ่ จ. กรุงเทพฯ ก่อสร้างเมื่อปี 2529 เป็นอาคารประเภทสำนักงาน มีจำนวน 6 ชั้น มีเนื้อที่ประมาณ 11,488 ตร.ม. โดยลักษณะอาคารภายนอก ผนังเป็นอิฐบล็อกฉาบปูนทาสีและบางส่วนเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก กระจกเป็นชนิดกระจกใสติดฟิล์มกรองแสงและบางส่วนเป็นกระจกตัดแสง ลักษณะพื้นที่ใช้สอยภายในเป็นห้องทำงาน และห้องประชุม มีโถงลิฟต์ และห้องน้ำอยู่ภายในอาคาร มีบันไดขึ้นลงระหว่างชั้น

ในการวิเคราะห์การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษานั้นจะใช้ข้อมูลอ้างอิงจากแบบอาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม ดังนี้

- แบบสถาปัตยกรรม
- แบบวิศวกรมโครงสร้าง

- แบบวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล

เนื่องจากอาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรมเป็นอาคารของภาครัฐวิสาหกิจ จึงต้องปฏิบัติตามนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด เพื่อเป็นตัวอย่างให้กับภาคประชาชน และภาคเอกชนต่อไป

2.2 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550)

กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2552 [3]

กฎกระทรวงฯ ดังกล่าวเป็นการกำหนดประเภทของอาคารที่มีกิจกรรมเพื่อพาณิชกรรม หรือมีการใช้พลังงานจำนวนมากที่จะทำการก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารที่มีขนาดพื้นที่ของอาคารรวมกัน ทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องออกแบบอาคารเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน และกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเป็นแนวทาง ให้ผู้ที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารตามประเภทและขนาดดังกล่าวต้องออกแบบอาคารตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการที่กำหนด เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน โดยมี หลักการ เหตุผลและสาระสำคัญ ของกฎกระทรวงฯ ที่กำหนดไว้ สรุปได้ดังนี้

สาระสำคัญของกฎกระทรวงฯ มีข้อกำหนด ซึ่งแบ่งออกเป็นหมวดต่าง ๆ ได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หมวด 1 ประเภทและขนาดอาคาร

ข้อ 2 การก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารดังต่อไปนี้ หากมีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้น ในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ประกอบด้วย

(1) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล

(2) สถานศึกษา

(3) สำนักงาน

(4) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

(5) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(6) โรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(7) โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

(8) สถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

(9) ห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

หมวด 2 มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร

Table 2 เกณฑ์ขั้นต่ำการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน

<table>
<tr><th>เกณฑ์</th><th>ประเภทอาคาร</th><th>OTTV
(วัตต์/ตารางเมตร)</th><th>RTTV
(วัตต์/ตารางเมตร)</th></tr>
<tr><td>ระบบเปลือกอาคาร
OTTV/RTTV</td><td rowspan="5">สถานศึกษา สำนักงาน</td><td>≤50</td><td>≤15</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
LPD</td><td colspan="2">LPD
(วัตต์/ตารางเมตร)</td></tr>
<tr><td colspan="2">≤14</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ระบบปรับอากาศ A/C
System</td><td colspan="2">ขนาดเล็กไม่เกิน 12,000 วัตต์</td></tr>
<tr><td colspan="2">EER (W/W) > 3.22</td></tr>
<tr><td>การใช้พลังงานรวม
Whole Building Energy</td><td colspan="3">หากไม่สามารถออกแบบให้ทุกระบบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ให้พิจารณาตามเกณฑ์ การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร โดยอาคารต้องมีค่าการใช้พลังงานโดยรวม ต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงที่มีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และมีค่าของ ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ เป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบ</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การผ่านการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ให้พิจารณาจากเกณฑ์การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน BEC โดยแบ่งการผ่านเกณฑ์เป็น 2 ทางเลือก ทางเลือกที่ 1 คือการผ่านเกณฑ์ทุกระบบ หากผลการตรวจประเมินผ่านเกณฑ์ทุกระบบ ได้แก่ ระบบเปลือกอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ เป็นต้น ถือว่าอาคารนี้ผ่านเกณฑ์การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน แต่ถ้ามีบางระบบไม่ผ่านเกณฑ์ให้พิจารณาทางเลือกที่ 2 คือการผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อปี โดยนำค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ออกแบบมาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงตามกฎกระทรวง ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับจึงถือว่าเป็นการผ่านเกณฑ์การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้เช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Figure 2 เกณฑ์การผ่านมาตรฐาน BEC

วัสดุกรอบอาคาร

ผนังอาคารนั้นเปรียบเสมือนเป็นเกราะชั้นแรกที่ปกป้องตัวอาคารจากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ ความชื้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารอีกด้วย โดยเฉพาะการใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศ ดังนั้นการออกแบบระบบกรอบอาคาร และการเลือกวัสดุมาใช้เพื่อสร้างผนังอาคารจึงมีความสำคัญอย่างมาก

สำหรับผนังอาคารนั้นโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะหลัก ๆ ได้แก่ ผนังทึบ (Opaque wall) และผนังโปร่งใส (Transparent wall) หรือผนังกระจก (Glass wall) โดยผนังทั้งสองลักษณะนี้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดทั้งด้านกายภาพ และกระบวนการการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น

ผนังทึบ (Opaque Wall Material)

ผนังที่มีมวลสาร (Mass Wall) หมายถึง ผนังที่มีมวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนังโดยการก่อหรือการหล่อเข้าด้วยกัน เช่น ผนังก่ออิฐมอญ ผนังก่อคอนกรีตบล็อก ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา และผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น

โดยชนิดของวัสดุผนังทึบที่ทำการศึกษามีดังนี้

คอนกรีตบล็อก (Concrete masonry unit) หรือภาษาทางตลาดจะเรียกว่า "อิฐบล็อก" จะถูกผลิตในลักษณะอุตสาหกรรมมากกว่าอิฐมอญ โดยมีทั้งชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกลวง (Hollow Concrete Block) และเป็นที่นิยมใช้มากเนื่องจากมีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย ไม่มีปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้างเนื่องจากช่างมีความเคยชินในการทำงานอยู่แล้ว อีกทั้งยังสามารถทำงานได้เร็วเพราะมีขนาดก้อนใหญ่กว่าอิฐมอญ และจากลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในนั้นเป็นฉนวนในการกันความร้อนที่ดี แต่ข้อเสียคือจะเปราะและแตกง่าย การตอกตะปูยึดพุกต้องทำที่ปูนก่อเสาเอ็นหรือคานเอ็น ซึ่งถ้าเป็นผนังฉาบปูนจะหาตำแหน่งยาก ส่วนผนังเซาะร่องหาจุดเจาะพุกไม่ยากเท่าไรหากเกิดน้ำรั่วเข้าผนัง น้ำจะซึมได้ดีกว่าอิฐมอญ

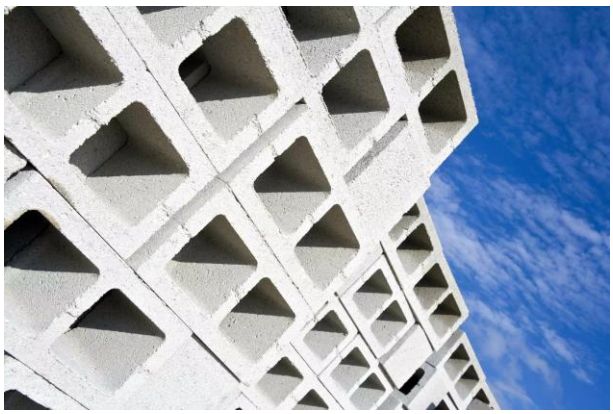


Figure 3 คอนกรีตบล็อก

https://ienergyguru.com/2015/09/concrete-masonry-unit/

ผนังโปร่งใส (Transparent wall) หรือผนังกระจก (Glass wall)

โดยชนิดของวัสดุผนังโปร่งใสที่ทำการศึกษามีดังนี้

1. กระจกใส (Clear Glass)

เป็นกระจกโปร่งใสที่มีผิวทั้งสองด้านเรียบสนิท ให้ภาพในการมองเห็นชัดเจน และมีราคาถูกที่สุด โดยที่กระจกชนิดนี้ยอมให้แสงผ่านเข้ามาสูง (ร้อยละ 88) จึงมีแสงสว่างกระจายเข้ามาภายในห้องเป็นจำนวนมาก และในขณะเดียวกันก็จะมีปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามามากด้วยเช่นกัน (ร้อยละ 83) ดังนั้นส่วนมากในการใช้งานจะใช้ประกอบกับวัสดุอื่น เช่น การติดฟิล์มกรองแสง การใช้อุปกรณ์บังแดดช่วย เป็นต้น หรือใช้งานในลักษณะของการกั้นพื้นที่ หรือกั้นห้องก็ได้

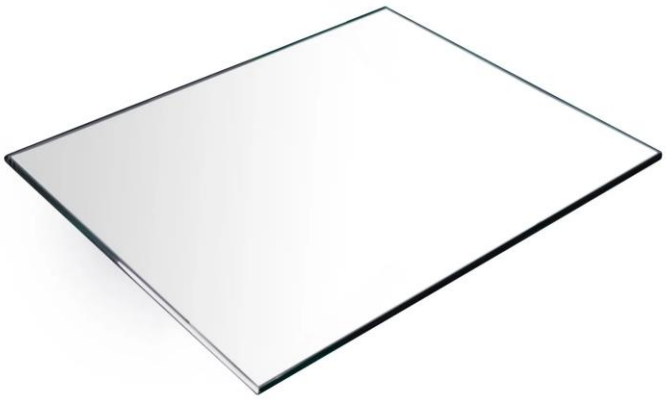


Figure 4 แสดงตัวอย่างกระจกใส

2. กระจกสีตัดแสง (Heat Absorbing Glass)

จากที่มีผู้ทดสอบกันมาหลายครั้งพบว่าปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารนั้น มาจากผนังส่วนที่โปร่งแสงมากกว่าผนังทึบแสงดังนั้นการที่กระจกต้องรับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นรังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) ซึ่งสามารถทะลุผ่านเข้าไปในอาคารได้ และเมื่อรังสีคลื่นสั้นกระทบกับวัสดุต่าง ๆภายในอาคาร เช่น พื้น ผนัง กระจก ฯลฯ ซึ่งดูดซับคลื่นรังสีเอาไว้แล้วเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) หรือพลังงานความร้อนซึ่งไม่สามารถทะลุผ่านวัสดุโปร่งแสงอย่างกระจกกลับออกมาภายนอกอาคารได้ ดังนั้นความร้อนดังกล่าวจึงสะสมอยู่ภายในอาคารและกลายเป็นส่วนหนึ่งของภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ค่อนข้างมาก

กระจกสีตัดแสง เป็นกระจกโปร่งใสที่สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยสีต่าง ๆ ที่เห็นนั้นเกิดจากการเติมออกไซด์ของโลหะ เช่น เหล็ก โคบอลต์ หรือซีลีเนียมลงในส่วนผสมของเนื้อกระจก จึงช่วยลดพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่จะผ่านเข้ามา ด้วยคุณสมบัติที่สามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์(รังสีคลื่นสั้น) ที่ส่องมากระทบชั้นผิวกระจกได้ประมาณร้อยละ 40-50 จึงมีส่วนช่วยในการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดความจ้าของแสงที่ส่องผ่านเข้ามา ทำให้ได้แสงที่นุ่มนวลสบายตาขึ้น โดยมีสีให้เลือกใช้หลายสี เช่น สีบรอนซ์ สีเขียว สีฟ้า ฯลฯ แต่สีที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในประเทศไทยจะเป็นสีเขียว

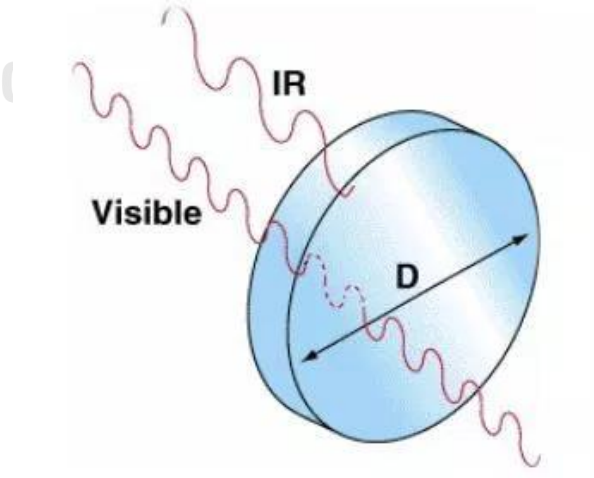


Figure 5 แสดงคุณสมบัติของกระจกตัดแสง

https://ienergyguru.com/2015/12/heat-absorbing-glass-2-2/

ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนโพลิ สไตรีน โฟม (Polystyrene Foam) ผลิตขึ้นมาใน 2 รูปแบบ คือ แบบโฟมอัดรีด (Extruded) และแบบโฟมหล่อ (Molded) โฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดรีด จะมีความหนาแน่นบรรจุมากกว่า มีรูปร่างที่คงที่มากกว่า และสามารถทนแรงกดและแรงดึงได้มากกว่าโฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อแบบ ความหนาแน่นของโฟมแบบอัดรีด โดยปกติอยู่ในช่วง 28.84 ถึง 41.65 kg/m3 มีสภาพนำความร้อนเท่ากับ 0.0017 W/m-K อย่างไรก็ตาม ถ้ามีอากาศแพร่กระจายในโฟมจะทำให้สภาพนำความร้อนเพิ่มขึ้นอีก 0.029 W/m-K แต่ปกติก็ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการใช้วัสดุนี้ สำหรับสภาพซึมเข้าไปได้ของไอน้ำของโฟมแบบนี้จะอยู่ระหว่าง 1.08 ถึง 1.62 perm-cm ส่วนการดูดซึมน้ำจะอยู่ในราว 0.5 ถึง 0.7 เปอร์เซ็นต์

สำหรับโพลิ สไตรีน โฟมแบบโฟมหล่อมีความหนาแน่นในช่วง 16.0 ถึง 24 kg/m³ และเนื่องจากผลของกระบวนการหล่อแบบ ความหนาแน่นที่ได้อาจมีการเบี่ยงเบนจากค่าความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสภาพนำความร้อนของวัสดุชนิดนี้จะเป็นสัดส่วนตรงกับความหนาแน่น และโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0.033 ถึง 0.037 W/m-k โดยค่านี้จะไม่เปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งาน ซึ่งจะเห็นว่าสภาพนำความร้อนของโฟมหล่อมีค่ามากกว่าแบบอัดรีด ทั้งนี้เนื่องจากโฟมหล่อมีอากาศในเซลล์ฉนวน ขณะที่แบบอัดรีดมีส่วนผสมของอากาศและก๊าซฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) ส่วนสภาพซึมเข้าไปได้ของไอน้ำฉนวนแบบโฟมหล่อมีค่าประมาณ 2.16 ถึง 5.4 perm – cm และสภาพการดูดซึมน้ำน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

คุณสมบัติอื่น ๆ ของฉนวนโพลิ สไตรีนจะไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิต และเนื่องจากโพลิ สไตรีนเป็นสารที่ลุกไหม้ได้จึงต้องมีเปลือกหุ้มที่ต้านทานเปลวไฟหุ้มอยู่ อย่างเช่นยิบซั่มบอร์ด นอกจากนี้ยังต้องป้องกันจากการกระทบแสงอุลตราไวโอเลตโดยตรงด้วย เพราะจะทำให้เป็นสีเหลืองและคุณสมบัติลดลง แต่การถูกแสงอุลตราไวโอเลตในช่วงสั้นไม่มีผลอะไรอุณหภูมิใช้งานสูงสุดของ โพลิ สไตรีนเท่ากับ 80 °C การใช้งานกับอุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะเป็นสาเหตุให้อ่อนตัวลงได้ อย่างไรก็ดีไม่มีผลกระทบเนื่องจากการทำงานเป็นวัฏจักรหรือสภาพอากาศหากใช้งานฉนวนในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดและโพลิ สไตรีนไม่ทำให้ฟังไจหรือแบคทีเรียเจริญเติบโต และไม่เป็นอาหารของสัตว์ต่าง ๆ ทั้งไม่มีกลิ่น และไม่เป็นสารกัดกร่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โพลิ สไตรีนโฟมแบบแผ่นอัด และแบบห่มใช้งานทั้งในอาคารที่พัก ทางพาณิชย์ และอุตสาหกรรม เมื่อใช้เป็นแผ่นหุ้มภายนอก อาจใช้หุ้มภายนอกอาคารทั้งหมด ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนผ่านโครงสร้างอาคารได้มาก โฟมพลาสติกแบบหุ้มจะช่วยเป็นปราการกันอากาศได้เป็นเยี่ยม อย่างไรก็ตาม ตัววัสดุโฟมจะไม่เป็นโครงสร้างที่สามารถยึดตะปูได้สำหรับการใช้ฉนวนโพลิ สไตรีนด้านอื่น ๆ สามารถใช้เป็นฉนวนฐานรากอาคาร ฉนวนแผ่นผนัง ฉนวนหลังคา และการประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมอื่น ๆ

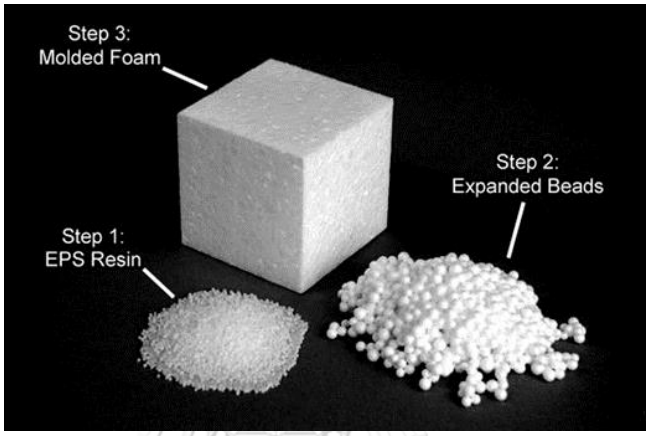


Figure 6 โครงสร้างฉนวนโพลิ สไตรีน

https://www.energyconceptgroup.com/ฉนวนโพลิสไตรีนโฟม-polystyrene-foam/

https://ienergyguru.com/2015/09/heat-transfer-through-the-building-envelope/

การคำนวณที่ใช้ในการปรับปรุงอาคารประหยัดพลังงานตามกฎกระทรวงฯ โดยการคำนวณและวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของอาคารนั้นจะใช้สูตรคำนวณตาม ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV)

$$OTTVi = (Uw)(1-WWR)(TDeq) + (Uf)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

OTTVi คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา (W/m^2)

Uw คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/(m^2.^oC)$)

Uf คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง (W/(m².°C))

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (ºC)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ºC)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ (W/m²)

Table 3 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทสำนักงาน

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m²)							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38
15	405.00	421.74	433.61	440.00	441.62	438.90	431.51	419.53
30	358.99	390.20	412.96	425.48	428.59	422.98	408.39	358.65
45	309.68	348.31	379.58	397.17	401.47	393.20	372.57	341.61
60	255.37	301.60	337.61	358.44	363.45	353.18	328.62	293.33
75	212.39	255.60	291.21	312.65	317.70	306.52	281.11	246.70
90	185.06	215.84	244.53	263.14	267.41	256.82	234.58	207.62

(**ที่มา:** ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ พ.ศ. 2552)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน (RTTVi) สามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$RTTVi = (Uf)(1 - SRR)(TDeq) + (Us)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR)$

RTTVi คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา (W/m^2)

Ur คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา ($W/(m^2.^oC)$)

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาด้านที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (^oC)

Us คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง ($W/(m^2.^oC)$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (^oC)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง และ/หรือหลังคาทึบ (W/m^2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสูงที่สุด ดังนั้นการเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพดีจึงช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารได้ การวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสามารถพิจารณาได้ดังนี้

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio, EER) เป็นอัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในหน่วยวัตต์ (W) ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้เพื่อทำความเย็นดังกล่าวในหน่วยวัตต์ (W) ดังนั้นอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานจึงมีหน่วยเป็น W/W ดังสมการ

$$\text{EER} = \frac{\phi}{P}$$

เมื่อ ϕ คือ ขีดความสามารถทำความเย็น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

P คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

เพื่อให้ผู้บริโภคเข้าใจง่ายขึ้น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จึงมีการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเป็นเบอร์ต่าง ๆ ตั้งแต่เบอร์ 1 ถึง เบอร์ 5 แต่สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบ Fixed type ไม่มีการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเบอร์ 1 และเบอร์ 2 เนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำมากในปัจจุบัน ดังตารางที่ ซึ่งเป็นค่า EER สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบ Fixed type

Table 4 ระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศชนิด Fixed type

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

ระบบแสงสว่าง

ระบบแสงสว่างเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานค่อนข้างสูง การปรับปรุงด้านพลังงานควรศึกษา และคำนึงถึงปัจจัยด้านอื่นมาพิจารณาประกอบในการเลือกใช้อุปกรณ์ ดังนี้

หลอด LED (Light-Emitting Diode lamp, LED lamp) เกิดจากการนำไดโอดเปล่งแสง (LED) มาเรียงกัน LED เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) 2 ชนิด ที่มีขั้วตรงกันข้ามกันมาเชื่อมต่อกัน เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะเกิดการถ่ายเทประจุระหว่างกันเกิดเป็นแสงสว่างขึ้น หลอด LED ในปัจจุบัน มีประสิทธิภาพสูงมาก และมีอายุการใช้งานนานมาก และไม่ปล่อยรังสีอินฟราเรด และอัลตราไวโอเลตอีกด้วย

จะเห็นว่า หลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ มีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน ดังตารางที่ การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าอย่างถูกต้อง และเหมาะสมกับการใช้งานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

Table 5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้ในอาคาร

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2550 และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมปี พ.ศ. 2551 ได้กำหนดตัวแปรที่ใช้คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD)

ค่าความเข้มแสงตามมาตรฐานสถานศึกษา (Lux) โดยกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร และการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549

Table 6 ค่ามาตรฐานความเข้มแสงตามมาตรฐานงานสำนักงาน (Lux)

ประเภทอาคาร	ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสง (Lux)
สำนักงาน	400 - 600

2.3 โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน BEC v.1.0.6

โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร Building Energy Code Software (BEC) เป็นโปรแกรมที่ประเมินการออกแบบอาคารว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎกระทรวงฯ หรือไม่ รวมทั้งยังช่วยผู้ออกแบบหรือเจ้าของอาคารในการกำหนดแบบอาคารให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน โดยนำค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นป้อนลงในโปรแกรม เช่น วัสดุก่อสร้าง กรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ เป็นต้น เพื่อใช้ในการตรวจและประเมินโดยมีขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม BEC เริ่มจากการตั้งชื่อของอาคารหรือโครงการ โดยโปรแกรมจะแบ่งกลุ่มประเภทของอาคารตามเกณฑ์ออกแบบตามกฎกระทรวงฯ เป็น 3 ประเภทได้แก่

1. อาคารสถานศึกษา อาคารสำนักงาน: Office & School
2. โรงมหรสพ สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน: Department Store
3. โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด: Hotel & Hospital

โครงสร้างของโปรแกรมประกอบด้วย

ฐานข้อมูล

- วัสดุกรอบอาคาร (ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง หลังคา)
- ส่วนประกอบของผนังอาคาร
- ส่วนของผนังอาคาร
- ผนังอาคารแต่ละทิศ
- อุปกรณ์ของระบบไฟฟ้าภายในอาคาร ได้แก่ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ

แบบจำลองอาคาร

- การสร้างแบบจำลองอาคาร (โซน)
- การป้อนข้อมูลอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับอาคาร

รายงานผลวิเคราะห์การใช้พลังงาน

- OTTV (W/m2) แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังในส่วนพื้นที่ปรับอากาศ
- RTTV (W/m2) แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาในส่วนพื้นที่ปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- COP แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ
- LPD (W/m2) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ส่องสว่างต่อพื้นที่
- EPD (W/m2) แสดงค่าพลังไฟฟ้าที่ใช้สาหรับอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อพื้นที่ (ค่าประมาณการ)
- OCCU (Head/m2) แสดงค่าความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารต่อพื้นที่ (ค่าประมาณการ)
- VENT (l/s/m2) แสดงอัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ (ค่าประมาณการ)
- Total Energy Consumption (kWh/Year) แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี

Figure 7 ผลวิเคราะห์การใช้พลังงานของโปรแกรม BEC

2.4 การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้ในการประเมินโครงการลงทุน

งานวิจัยมีการเลือกเปลี่ยนแปลงวัสดุฉนวนหลายขนาดเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับปรุงหลังคาของอาคารให้ผ่านเกณฑ์ของกฎกระทรวง กระบวนการที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อตัดสินใจเลือกวัสดุเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด ทางผู้วิจัยจึงเสนอเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ผลตอบแทนจากการลงทุน (Internal rate of return: IRR) และระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (Discount Payback Period: DPB) เพื่อหาความเหมาะสมในการลงทุน

2.4.1 มูลค่าในอนาคต (Future value)

เนื่องจากต้องมีการลงทุนในอนาคต เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ และค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาอุปกรณ์ จึงต้องคำนวนค่า Future value ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$F = P(1 + i)^n$$

เมื่อ P คือ มูลค่าเงินปัจจุบัน ; F คือ มูลค่าเงินในอนาคต ;

i คือ อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก (Nominal interest rate); n คือ อายุของโครงการ (ปี)

2.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะคำนวณหาผลต่างระหว่างงมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตตามอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ หรือต้นทุนเงินทุนกับต้นทุนเงินทุนเริ่มแรก สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$NPV = \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t}\right) - I_0$$

เมื่อ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

C_t คือ กระแสเงินสดสุทธิ(บาท)

I_0 คือ เงินจ่ายลงทุนครั้งแรก (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก (Nominal interest rate)

t คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n

n คือ อายุโครงการ (ปี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4.3 ผลตอบแทนจากการลงทุน (Internal rate of return: IRR)

เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนในโครงการ อัตราผลตอบแทนนี้จะเป็นอัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ หรือผลตอบแทนที่ได้รับเท่ากับเงินลงทุนครั้งแรก สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$I_0 - \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t} \right) = 0$$

เมื่อ C_t คือ กระแสเงินสดสุทธิ (บาท)

I_0 คือ เงินจ่ายลงทุนครั้งแรก (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก (Nominal interest rate)

t คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n

n คือ อายุโครงการ (ปี)

2.4.4 ระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (Discount Payback Period: DPB)

เป็นการประเมินระยะเวลาคืนทุนหรือจุดคุ้มทุน เพื่อช่วยในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกการปรับปรุงอาคารว่ามีความเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ ในการคิดระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดนั้นจะพิจารณาค่าของเงินในเวลาอนาคต ทำให้ทราบสภาพคล่องของโครงการ เงินลงทุนในงานวิจัยนี้คือค่าวัสดุและค่าแรงติดตั้ง ส่วนผลกำไรคือผลประหยัดที่ได้จากการปรับปรุง โดยคำนวณจากค่าไฟฟ้าที่คงที่

2.4.5 ค่าไฟฟ้า

อาคารสำนักงานขององค์การเภสัชกรรมเข้าข่ายการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามเกณฑ์ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง โดยการไฟฟ้านครหลวงได้กำหนดลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

Table 7 อัตราค่าไฟฟ้าของอัตราปกติของกิจการขนาดกลาง ปี 2561

แรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/kWh)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
3.1.1 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	175.70	3.1097	312.24
3.1.2 12-24 กิโลโวลต์	196.26	3.1471	312.24
3.1.3 ต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	221.50	3.1751	312.24

(ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง)

เนื่องจากการคำนวณค่าทางพลังงานของโปรแกรม BEC ver1.06 จะเป็นการคำนวณพลังงานรวมในรอบปี เนื่องจากโปรแกรมไม่ได้แสดงค่า Peak Demand จึงไม่สามารถนำมาคำนวณตามอัตราค่าไฟฟ้าของอัตราปกติได้ เพราะฉะนั้นทางผู้วิจัยจะใช้ค่าเฉลี่ยของการคิดค่าไฟ โดยค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 4 บาท/หน่วย รวมค่า Power factor ค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ และภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานรัฐวิสาหกิจ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารให้ผ่านเกณฑ์ของ BEC ตามกฎกระทรวงฯ พบว่า พลังงานส่วนใหญ่ภายในอาคารภาครัฐ ถูกใช้ไปกับเครื่องปรับอากาศ จากองค์ประกอบทางเปลือกอาคารที่มีความต้านทานความร้อนไม่ดีพอ (ดลยา ศิริปรุ 2548) [4] นอกจากนี้ยังมีตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของอาคารปรับอากาศ คือ ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม การออกแบบรูปทรงอาคาร หลังคาอาคาร การรั่วซึมของอากาศ พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า หลอดไฟ ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (กัมปนาท กระภูชัย 2546) [5] ดังนั้นจึงต้องหามาตรการต่าง ๆ มาปรับปรุงตัวแปรดังกล่าว เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง โดยงานวิจัยนี้จะใช้มาตรการที่ใช้เงินลงทุนปรับปรุงอาคาร โดยศึกษาผ่านโปรแกรม Building Energy Code (BEC) Ver 1.0.6 จำลองอาคารก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุงโดยยึดเกณฑ์มาตรฐานอาคารอ้างอิงของ BEC เป็นหลัก โดยเกณฑ์ในการปรับปรุงเปลือกอาคาร คือ สามารถลดความร้อนเข้าสู่กรอบอาคาร เช่นการเพิ่มค่าความเป็นฉนวนให้กับวัสดุเปลือกอาคาร และการลดพื้นที่ช่องเปิดให้กับอาคาร (นุศรา มานะ 2555) [6] โดยผนังที่มีผลรวมของค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุดจะเป็นผนังที่มีมวลสารมาก และถ้าเป็นรูปแบบอาคารที่มีพื้นที่ผนังน้อยจะช่วยลดภาระการทำความเย็นได้มาก (สรญา ประวิตะรางกูร 2543) [7] โดยส่วนมาก Scenario ที่ใช้ปรับปรุงมากที่สุดคือ ฉนวนหลังคา และScenario ที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือการเปลี่ยนกระจกพร้อมกับติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่กรอบอาคาร (K.G. Droutsa 2017) [8] ซึ่งการเลือกใช้ชนิดกระจกต้องพิจารณาอัตราส่วน WWR ของอาคารด้วยจึงจะคุ้มค่าในการลงทุน (สวิชญา ดาวประกายมงคล 2552) [9] กรณีมีงบลงทุนน้อย มาตรการทาสีที่กรอบอาคาร และการติดฟิล์มที่กระจกเดิม ก็สามารถทำให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรอบอาคารได้ ส่วนเกณฑ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องทำให้ผ่านมาตรฐาน จะใช้มาตรการการเปลี่ยนเป็นหลอด LED และมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศชนิด Fixed Speed เป็นเครื่องใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อผ่านเกณฑ์ทุกมาตรการแล้ว สามารถลดพลังงานรวมของอาคารที่ปรับปรุงให้น้อยกว่าอาคารอ้างอิงของ BEC หลังจากทำการจำลองการใช้พลังงานแต่ละมาตรการแล้ว จะทำการเปรียบเทียบแต่ละมาตรการโดยพิจารณาจากค่าผลประหยัด Life Cycle Cost และความเหมาะสมในการลงทุนมากที่สุด (อรวิชญ์ รัศมีดารา 2560) [10] โดยแนวทางการปรับปรุงอาคารของผู้วิจัยอาจจะได้ผลการประหยัดแตกต่างกับกรณีศึกษาอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านของตัวอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม เพื่อให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกฎกระทรวงฯ และศึกษาแบบจำลองอาคารจากโปรแกรม BEC v1.0.6 โดยมีวิธีการดังนี้

3.1 วิธีการวิจัย

3.1.1 เก็บข้อมูลลักษณะอาคารกรณีศึกษา

ลักษณะทางกายภาพ

ที่ตั้งอาคาร ประกอบด้วย ตำแหน่งของอาคาร ทิศของอาคาร

ลักษณะอาคาร ประกอบด้วย แบบแปลนอาคาร พื้นที่ใช้สอย วัสดุกรอบอาคาร หลังคา ความสูง พื้นที่หน้าต่าง

ลักษณะการใช้งานของอาคาร ประกอบด้วย ประเภทการใช้งานของแต่ละพื้นที่ เช่น ห้องทำงาน ห้องประชุม

ข้อมูลทางการใช้ไฟฟ้าของอาคาร

ข้อมูลระบบแสงสว่าง ประกอบด้วย ชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ

ข้อมูลระบบปรับอากาศ ประกอบด้วย ชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย ชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์

3.1.2 เก็บข้อมูลวัสดุกรอบอาคาร

ข้อมูลวัสดุกรอบอาคาร

รวบรวมข้อมูลวัสดุกรอบอาคาร ด้านค่าคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุที่ใช้ ราคาวัสดุ จากบริษัทผู้ผลิต หรือผู้แทนจำหน่าย และเอกสารที่เผยแพร่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

- ฉนวนกันความร้อน จากราคาวัสดุก่อสร้าง บริษัท วันสต๊อกโฮม
- เครื่องปรับอากาศ จาก บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักงบประมาณ
- ราคาหลอดไฟแอลอีดี จาก บริษัท Phillips

ข้อมูลราคาค่าแรงค่าก่อสร้าง

รวบรวมข้อมูลราคาค่าแรงค่าก่อสร้างของแต่ละวัสดุ โดยศึกษาจากเอกสารที่เผยแพร่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

- แนวทาง วิธีปฏิบัติ และรายละเอียดประกอบการถอดแบบ คำนวณราคากลางงานก่อสร้าง โดย คณะกรรมการราคากลางและขึ้นทะเบียนผู้ประกอบการ คณะอนุกรรมการราคากลางงานก่อสร้าง ตุลาคม 2560

3.1.3 สร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ

สร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Building Energy Code Software version 1.0.6 (BEC v.1.0.6) เป็นกรณีฐานประกอบด้วย

- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร
- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร
- ค่ากำลังส่องสว่างสูงสุด
- ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ
- ปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคาร

3.1.4 วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อน

วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเทียบกับค่ามาตรฐานของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และกำหนดแนวทางการปรับปรุง เช่น หลังคา การเปลี่ยนหลอดไฟ และเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

3.1.5 จำลองการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ทำการจำลองค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร และจำลองการใช้พลังงานหลังปรับปรุงอาคารโดยโปรแกรม BEC v.1.0.6 แล้วทำการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อน และการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร

3.1.6 เสนอแนะ และศึกษามาตรการอนุรักษ์พลังงานของอาคาร

เสนอแนะ และศึกษามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในด้านการปรับปรุงกรอบอาคาร แล้วพิจารณาความคุ้มทุนทางการเงิน เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบสำหรับแต่ละมาตรการ

3.1.7 ประเมินความคุ้มทุนทางการเงิน และระยะเวลาคุ้มทุน

ประเมินความคุ้มทุนทางการเงิน โดยเลือกมาตรการที่มีความเหมาะสมทางการเงิน โดยหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และหาระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (DPB) ของแต่ละมาตรการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.8 สรุปผล

สรุปผลและเสนอแผนมาตรการอนุรักษ์พลังงานของอาคารกรณีศึกษา ที่สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร และการใช้พลังงานให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีความเหมาะสมและคุ้มค่าในด้านการลงทุนมากที่สุด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่

3.2.1 โปรแกรม Building Energy Code v.1.0.6 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ผลการจำลองพลังงานของอาคาร โดยใช้สมการการวิเคราะห์ตามประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

Figure 8 โปรแกรมจำลองอาคาร โปรแกรม Building Energy Code (BEC v.1.0.6)

โดยรายละเอียดข้อมูลที่ต้องระบุลงในโปรแกรมมีดังนี้

ข้อมูลอาคาร

- ชื่ออาคาร
- ประเภทของอาคาร
- ตำแหน่งจังหวัดที่ตั้งอาคาร

ข้อมูล Database ที่ใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน

- Envelope ได้แก่

  Material รายละเอียดวัสดุกรอบอาคาร ผนังทึบ และผนังโปร่งแสง

  Component of Section รายละเอียดส่วนประกอบผนังทึบ และผนังโปร่งแสง

  Section of wall รายละเอียดของพื้นที่ผนังแต่ละชนิด

  Wall รายละเอียดของตำแหน่งผนัง ทิศ และแผงบังแดด

  Lighting System ได้แก่ รายละเอียดของชุดโคมไฟ, กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ

  A/C System ได้แก่ รายละเอียดของระบบปรับอากาศ, ประเภทและกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

Building Model คือการระบุรายละเอียดของแต่ละโซน

- Exterior Wall พื้นที่ผนังภายนอกของอาคาร
- Lighting Equipment รายละเอียดจำนวนโคมไฟ
- A/C System รายละเอียดของระบบปรับอากาศในแต่ละ Zone

Report คือผลที่ได้จากการจำลองอาคาร

- Envelope System คือค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังด้านนอกอาคาร (OTTV), ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)
- Lighting System คือ ค่ากำลังส่องสว่างสูงสุด
- A/C System คือ การประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบปรับอากาศ
- Whole Building Energy คือ ปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 เครื่องมือตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

Figure 9 แคลมป์มิเตอร์

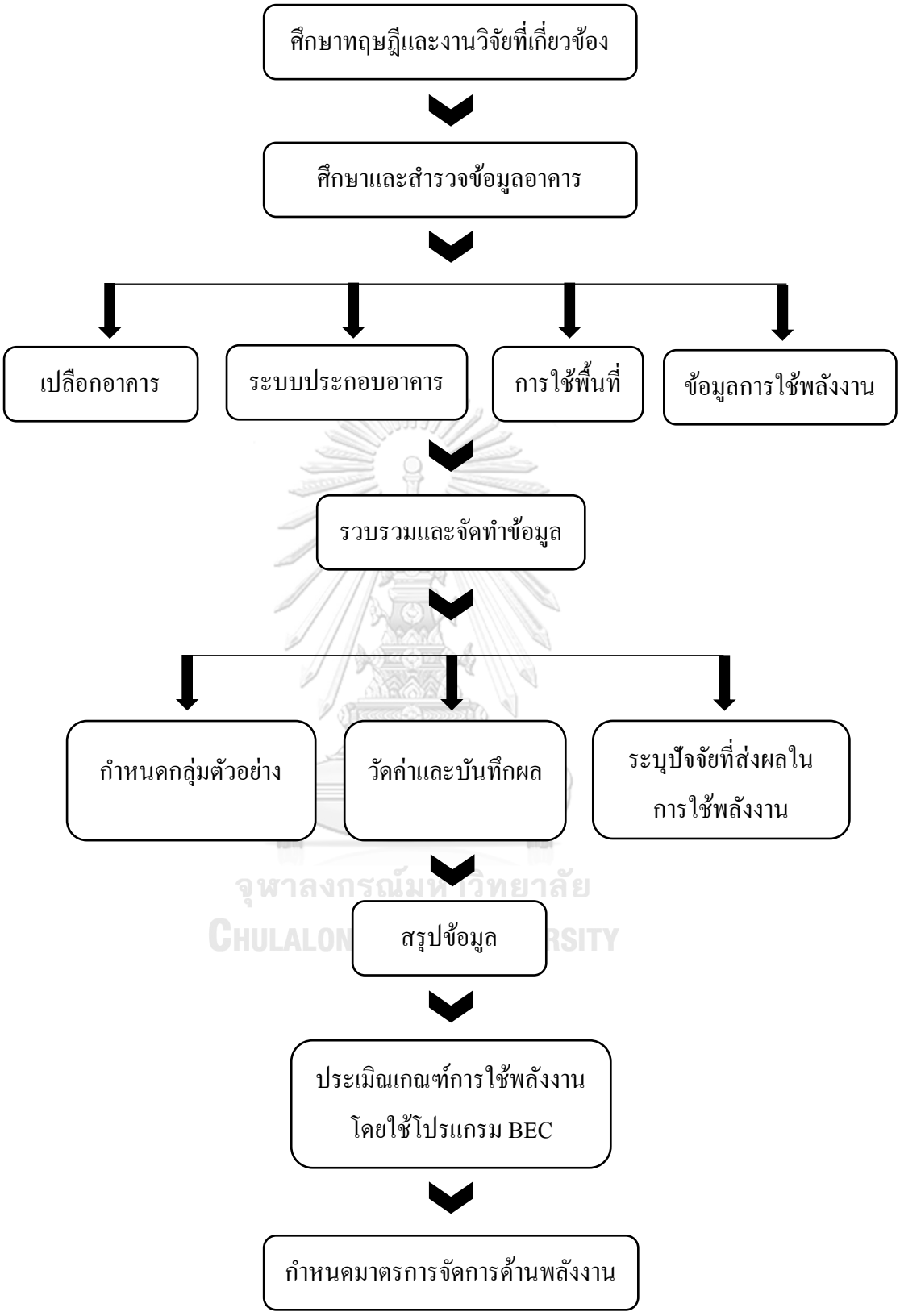


Figure 10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา

4.1.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

ข้อมูลทางกายภาพ

ที่ตั้ง อาคารอำนวยการ ตั้งอยู่ที่ 75/1 ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ ตำแหน่ง และทิศของอาคารแสดงดังรูปที่ 11

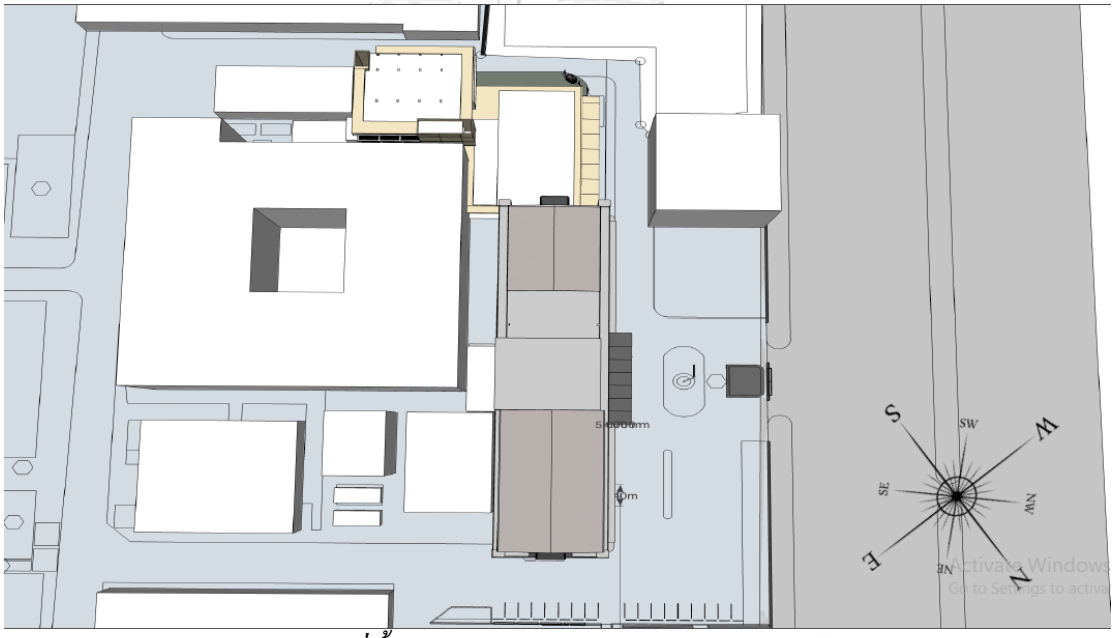


Figure 11 ตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางของอาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม

ลักษณะอาคารและการใช้งาน

อาคารกรณีศึกษา เป็นอาคารประเภทสำนักงาน มีพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมดประมาณ 11,488 ตารางเมตร เป็นอาคารประเภทอาคารขนาดใหญ่พิเศษ ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นห้องทำงานและห้องประชุม มีทั้งหมด 6 ชั้น พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ปรับอากาศ ยกเว้นโถงทางเดินและห้องน้ำ

ข้อมูลวัสดุกรอบอาคาร

รายละเอียดประกอบอาคาร

ผนังทึบ : เป็นคอนกรีตบล็อก ฉาบเรียบทั้งด้านในและด้านนอกอาคาร ประกอบด้วย
คอนกรีตบล็อกความหนา 7 เซนติเมตร และปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย) 1.5
เซนติเมตร

ผนังโปร่งแสง : กระจกติดฟิลม์กรองแสง ขนาด 6 มิลลิเมตร และมีค่า SHGC = 0.56
กระจกตัดแสงสีชาดำ ขนาด 6 มิลลิเมตร และมีค่า SHGC = 0.624
Ocean Green Float Glass ขนาด 5 มิลลิเมตร และมีค่า SHGC = 0.64

หลังคา 1 : เป็นแผ่นโลหะเมทัลชีท ความหนา 0.5 มิลลิเมตร
โฟมโพลีเอทีลีน ความหนา 4 มิลลิเมตร
เว้นช่องว่างอากาศระยะ 3.3 เมตร
ฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร

หลังคา 2 : เป็นแผ่นโลหะเมทัลชีท ความหนา 0.5 มิลลิเมตร
เว้นช่องว่างอากาศระยะ 1.38 เมตร
ฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มิลลิเมตร
ฝ้าเพดานไม้อัด หนา 10 มิลลิเมตร

หลังคา 3 : คอนกรีตสแลบ 25 เซนติเมตร
เว้นช่องว่างอากาศระยะ 0.77 เมตร
ฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร

<u>ลักษณะภายนอกของอาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ก) (ข)

Figure 12 ลักษณะภายนอกอาคารด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้
(ก) ด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ข) ด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้

(ค) (ง)

Figure 13 ลักษณะภายนอกอาคารด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

(ค) ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ง) ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

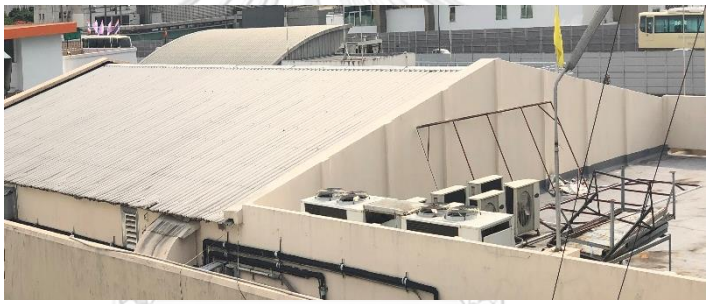


Figure 14 ลักษณะหลังคาภายนอกของอาคารกรณีศึกษา

โดยมีรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุกรอบอาคารดังตาราง ที่ 8 – 10

Table 8 คุณสมบัติวัสดุผนังทึบ

วัสดุผนังทึบ	ความหนา (m)	K-Value (W/mK)	Density (kg/m³)	Specific Heat (kJ/kgK)
คอนกรีตบล็อก	0.07	0.546	2210	0.92
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84

Table 9 คุณสมบัติวัสดุผนังโปร่งแสง

วัสดุผนังโปร่งแสง	ความหนา (m)	U-Value (W/mK)	SHGC
กระจกติดฟิลม์กรองแสง	0.006	5.34	0.56
กระจกตัดแสงสีชาดำ	0.006	5.22	0.624
Ocean Green Float Glass	0.005	5.77	0.64

Table 10 คุณสมบัติวัสดุหลังคา

วัสดุหลังคา	ความหนา (m)	K-Value (W/mK)	Density (kg/m³)	Specific Heat (kJ/kgK)
เมทัลชีท	0.0005	47.6	7840	0.5
คอนกรีตสแลบ	0.25	1.442	2400	0.92
โฟมโพลีเอทีลีน	0.004	0.029	45	1.21
แผ่นยิปซั่มบอร์ดอลูมิเนียมฟอยล์	0.009 และ0.012	0.322	745	1.09
ไม้อัด	0.01	0.213	900	1.21

ผนังในแต่ละทิศของอาคารพบว่า ผนังทุกทิศจะมีแผงบังแดดเป็นคอนกรีตแนวนอนตลอดความกว้างของอาคาร และแนวตั้งที่มุมตึกของอาคาร

Table 11 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ของผนัง

ทิศของผนัง	แผงบังแดด	ขนาดของผนังโปร่งแสง	ค่า SC ของแผงบังแดด
ตะวันตกเฉียงเหนือ	SC.1	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.414127
	SC.2	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.4 ม.	0.315935
	SC.3	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.4 ม.	0.301227
	SC.4	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.372565
	SC.5	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.352926
	SC.6	กว้าง 1.9 ม. x สูง 1.75 ม.	0.384804
	SC.7	กว้าง 1.9 ม. x สูง 1.75 ม.	0.421091
	SC.8	กว้าง 3.2 ม. x สูง 1.75 ม.	0.415253
	SC.9	กว้าง 1.72 ม. x สูง 1.75 ม.	0.422285
	SC.10	กว้าง 4 ม. x สูง 1.75 ม.	0.413246
	SC.11	กว้าง 3.6 ม. x สูง 2.2 ม.	0.481863
	SC.12	กว้าง 3.6 ม. x สูง 2.2 ม.	0.40196
	SC.13	กว้าง 7.6 ม. x สูง 2 ม.	0.873101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 11 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ของผนัง (ต่อ)

ตะวันออกเฉียงใต้	SC.1	กว้าง 2.66 ม. x สูง 1.8 ม.	0.326254
	SC.2	กว้าง 3.2 ม. x สูง 1.75 ม.	0.358851
	SC.3	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.358288
	SC.4	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.319374
	SC.5	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.324504
	SC.6	กว้าง 1.83 ม. x สูง 1.8 ม.	0.370607
	SC.7	กว้าง 3.6 ม. x สูง 2 ม.	0.757064
	SC.8	กว้าง 7.6 ม. x สูง 2 ม.	0.870418
ตะวันตกเฉียงใต้	SC.1	กว้าง 0.73 ม. x สูง 0.95 ม.	0.669647
	SC.2	กว้าง 0.73 ม. x สูง 1.81 ม.	0.254214
	SC.3	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.344466
	SC.4	กว้าง 3.4 ม. x สูง 2.2 ม.	0.408062
ตะวันออกเฉียงเหนือ	SC.1	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.442851
	SC.2	กว้าง 3.6 ม. x สูง 1.75 ม.	0.378094
	SC.3	กว้าง 0.73 ม. x สูง 0.95 ม.	0.181931

Table 12 อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)

ทิศของผนัง	WWR
ตะวันตกเฉียงเหนือ	0.36
ตะวันออกเฉียงใต้	0.26
ตะวันตกเฉียงใต้	0.07
ตะวันออกเฉียงเหนือ	0.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร

- ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

จากการสำรวจพบว่า ภายในห้องทำงาน และห้องประชุม ส่วนใหญ่ใช้หลอดไฟเป็นแบบหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 36 วัตต์ และโคมไฟชนิดดาวน์ไลท์ ส่วนในบริเวณโถงทางเดิน และห้องน้ำเป็นหลอดไฟเป็นแบบหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 18 วัตต์ และโคมไฟชนิดดาวน์ไลท์ มีจำนวนทั้งหมด 3,448 หลอด โดยมีรายละเอียดดังตารางนี้

Table 13 ผลสำรวจหลอดไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา

ลำดับ	ชนิดหลอดไฟ	ขนาดวัตต์ต่อโคม	จำนวนโคมไฟ (โคม)	กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)
1	ฟลูออเรสเซนต์ T8 4 x 36 วัตต์	หลอดไฟ 4 x 36, บัลลาสต์ 4 x 6 168 วัตต์	22	3,696
2	ฟลูออเรสเซนต์ T8 3 x 36 วัตต์	หลอดไฟ 3 x 36, บัลลาสต์ 3 x 6 126 วัตต์	222	27,972
3	ฟลูออเรสเซนต์ T8 2 x 36 วัตต์	หลอดไฟ 2 x 36, บัลลาสต์ 2 x 6 84 วัตต์	750	63,000
4	ฟลูออเรสเซนต์ T8 1 x 36 วัตต์	หลอดไฟ 1 x 36, บัลลาสต์ 1 x 6 42 วัตต์	299	12,558
5	ฟลูออเรสเซนต์ T8 2 x 18 วัตต์	หลอดไฟ 2 x 18, บัลลาสต์ 2 x 6 48 วัตต์	137	6,576
6	ฟลูออเรสเซนต์ T8 1 x 18 วัตต์	หลอดไฟ 1 x 18, บัลลาสต์ 1 x 6 24 วัตต์	3	72
7	ดาวน์ไลท์ 50 วัตต์	หลอดไฟ 50 วัตต์	135	6,750
8	ดาวน์ไลท์ 40 วัตต์	หลอดไฟ 40 วัตต์	24	960
9	ดาวน์ไลท์ 32 วัตต์	หลอดไฟ 32 วัตต์	1	32
10	ดาวน์ไลท์ 18 วัตต์	หลอดไฟ 18 วัตต์	36	648
11	ดาวน์ไลท์ 13 วัตต์	หลอดไฟ 13 วัตต์	54	702
12	ดาวน์ไลท์ 8 วัตต์	หลอดไฟ 8 วัตต์	8	64
13	ดาวน์ไลท์ 2 x 26 วัตต์	หลอดไฟ 2 x 26, 52 วัตต์	162	8,424
14	ดาวน์ไลท์ 150 วัตต์	หลอดไฟ 150 วัตต์	9	1,350
15	ดาวน์ไลท์ 26 วัตต์	หลอดไฟ 26 วัตต์	23	598
16	LED 20 วัตต์	หลอด 20 วัตต์	4	80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บริเวณห้องทำงานและห้องประชุมเป็นโคมไฟฟลูออเรสเซนต์ และโคมไฟดาวน์ไลท์

Figure 15 รูปแบบของโคมไฟภายในห้องทำงาน และห้องประชุม เป็นโคมไฟฟลูออเรสเซนต์ และโคมไฟดาวน์ไลท์

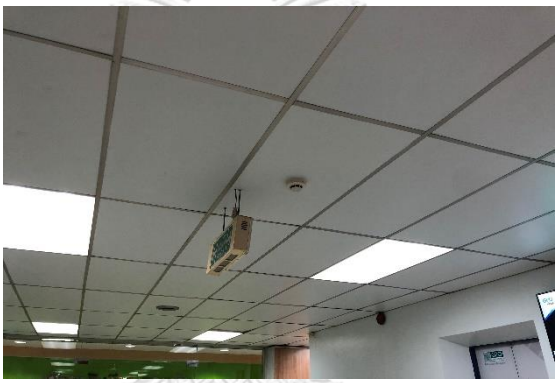


Figure 16 รูปแบบของโคมไฟบริเวณโถงทางเดิน เป็นโคมไฟฟลูออเรสเซนต์

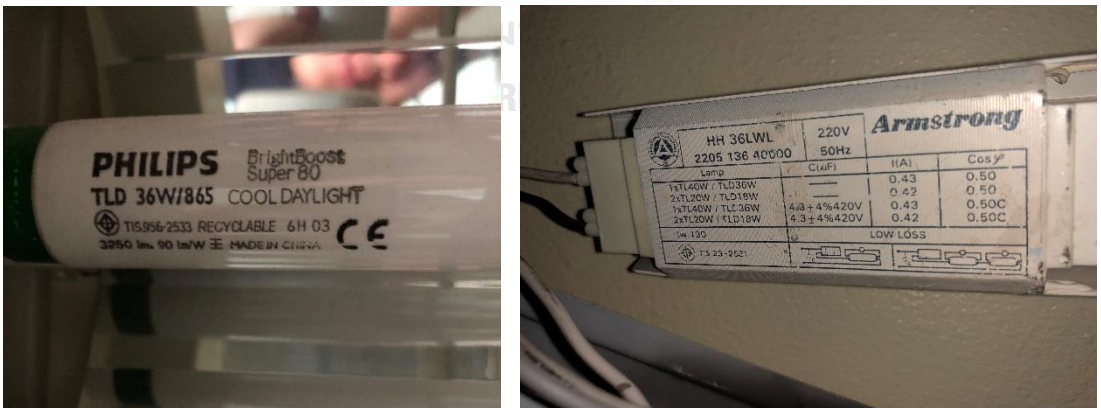


Figure 17 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และบัลลาสต์ LOW LOSS

- ระบบปรับอากาศ

จากการสำรวจพบว่า ระบบปรับอากาศภายในอาคาร เป็นแบบแยกส่วน (Split type air condition) ตั้งแต่ขนาด 10,000 ถึงขนาด 220,000 Btu/hr จำนวน 185 เครื่อง ซึ่งมีพื้นที่ใช้งานตั้งแต่ชั้น 1 ถึงชั้น 6 โดยจะเปิดเฉพาะวันจันทร์ - ศุกร์ เวลา 7.00 – 17.00 น.

Table 14 อุปกรณ์เกี่ยวกับระบบปรับอากาศ

ลำดับ	ชนิด	ขนาด (kBtu/Hr)	Power Input (kW)	เกณฑ์
1	Split type 1 เฟส	10.657	0.97	Failed
2	Split type 1 เฟส	12.265	1.1	Passed
3	Split type 1 เฟส	12.5	1.26	Failed
4	Split type 1 เฟส	12.6	1.2	Failed
5	Split type 1 เฟส	12.76	1.141	Passed
6	Split type 1 เฟส	13.03	1.147	Passed
7	Split type 1 เฟส	13.059	1.095	Passed
8	Split type 1 เฟส	13.307	1.071	Passed
9	Split type 1 เฟส	15	1.246	Passed
10	Split type 1 เฟส	16	1.677	Failed
11	Split type 1 เฟส	16.5	2.42	Failed
12	Split type 1 เฟส	17.227	1.553	Passed
13	Split type 1 เฟส	18	2.2528	Failed
14	Split type 1 เฟส	18.216	2.024	Failed
15	Split type 1 เฟส	18.353	1.71	Failed
16	Split type 1 เฟส	18.4	1.8	Failed
17	Split type 1 เฟส	18.408	1.56	Passed
18	Split type 1 เฟส	18.675	2.075	Failed
19	Split type 1 เฟส	19	1.762	Failed
20	Split type 1 เฟส	19.069	1.5747	Passed
21	Split type 1 เฟส	19.259	1.7568	Failed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 14 อุปกรณ์เกี่ยวกับระบบปรับอากาศ (ต่อ)

22	Split type 1 เฟส	20.64	1.89	Failed
23	Split type 1 เฟส	21.973	2	Failed
24	Split type 1 เฟส	24	3.417	Failed
25	Split type 1 เฟส	24.905	2.147	Passed
26	Split type 1 เฟส	25	2.125	Passed
27	Split type 1 เฟส	25.25	2.598	Failed
28	Split type 1 เฟส	25.573	2.65	Failed
29	Split type 1 เฟส	25.6	2.51	Failed
30	Split type 1 เฟส	25.609	2.276	Passed
31	Split type 1 เฟส	25.8	3.278	Failed
32	Split type 1 เฟส	25.9	2.655	Failed
33	Split type 1 เฟส	25.948	1.877	Passed
34	Split type 1 เฟส	26	1.986	Passed
35	Split type 1 เฟส	26.11	2.2481	Passed
36	Split type 1 เฟส	26.176	2.46	Failed
37	Split type 1 เฟส	26.296	2.2247	Passed
38	Split type 1 เฟส	26.401	2.351	Passed
39	Split type 1 เฟส	28.275	2.93	Failed
40	Split type 1 เฟส	29	3.22	Failed
41	Split type 1 เฟส	30.092	2.546	Passed
42	Split type 1 เฟส	30.513	2.626	Passed
43	Split type 1 เฟส	33.253	2.813	Passed
44	Split type 1 เฟส	33.4	4.268	Failed
45	Split type 1 เฟส	35.3	4.224	Failed
46	Split type 3 เฟส	35.3	2.014	Passed
47	Split type 1 เฟส	36	3.981	Failed
48	Split type 3 เฟส	36	3.75	Failed
49	Split type 1 เฟส	36.02	3.22	Passed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 14 อุปกรณ์เกี่ยวกับระบบปรับอากาศ *(ต่อ)*

50	Split type 1 เฟส	36.065	3.32	Failed
51	Split type 3 เฟส	37.83	4.509	Failed
52	Split type 3 เฟส	37.943	3.543	Failed
53	Split type 3 เฟส	38	3.95	Failed
54	Split type 1 เฟส	38.158	3.228	Passed
55	Split type 3 เฟส	38.3	2.508	Passed
56	Split type 1 เฟส	38.631	3.2892	Passed
57	Split type 1 เฟส	38.7	4.84	Failed
58	Split type 1 เฟส	39.4	3.98	Failed
59	Split type 1 เฟส	40.539	3.4538	Passed
60	Split type 1 เฟส	44.235	4.584	N/A
61	Split type 3 เฟส	45	4.385	N/A
62	Split type 3 เฟส	48	4.602	N/A
63	Split type 3 เฟส	49.3	4.242	N/A
64	Split type 3 เฟส	56.2	5.594	N/A
65	Split type 3 เฟส	57.736	5.983	N/A
66	Split type 3 เฟส	60	6.161	N/A
67	Split type 3 เฟส	68.592	7.108	N/A
68	Split type 3 เฟส	120	11.13	N/A
69	Split type 3 เฟส	129.8	11.772	N/A
70	Split type 3 เฟส	220	22	N/A

หมายเหตุ N/A คือ ยังไม่มีเกณฑ์การประเมิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Figure 18 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

- อุปกรณ์ไฟฟ้า

จากการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร พบว่ามีหลายประเภท จึงได้เลือกเฉพาะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานอย่างต่อเนื่อง โดยมีรายละเอียดดังตารางนี้

Table 15 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	Electric Power Required (Watt)	จำนวน (เครื่อง)
1	คอมพิวเตอร์	34	429
2	ระบบควบคุมลิฟต์ตัวที่ 1	68	1
3	ระบบควบคุมลิฟต์ตัวที่ 2	72	1
4	CRAC System	528	2
5	AHU 1	2,200	2
6	AHU 2	1,500	10
7	FCU 14,000 Btu/h	56	15
8	FCU 20,000 Btu/h	100	40
9	FCU 26,000 Btu/h	174	52
10	FCU 39,000 Btu/h	192	50
11	FCU 43,000 Btu/h	240	1
12	FCU 54,000 Btu/h	253	7
13	FCU 68,000 Btu/h	348	4
14	UPS Data Center	18,718	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทำการสุ่มวัดค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร โดยใช้ แคลมป์มิเตอร์

Figure 19 ทำการวัดกระแสไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์

P = IV x Power factor = 0.17 x 220 x 0.91 = 34 W

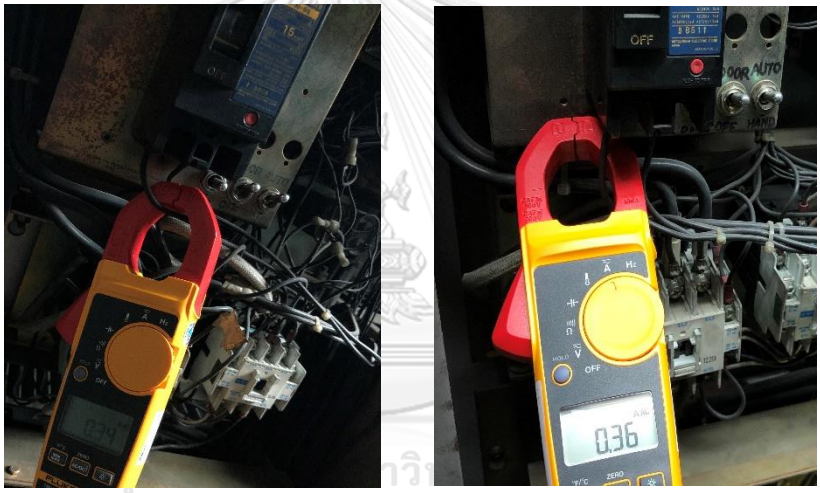


Figure 20 ทำการวัดกระแสไฟฟ้าของระบบควบคุมลิฟต์ 2 ตัว

ลิฟต์ 1 ; P = IV x Power factor = 0.34 x 220 x 0.91 = 68 W

ลิฟต์ 2 ; P = IV x Power factor = 0.36 x 220 x 0.91 = 72 W

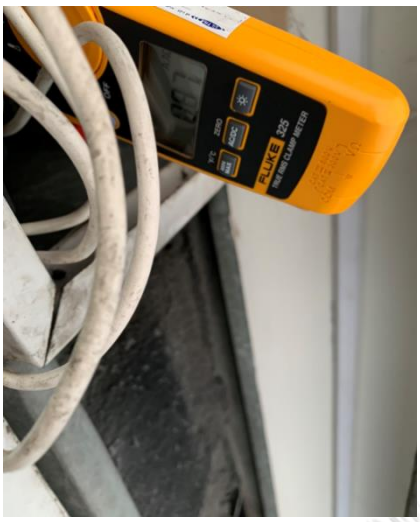


Figure 21 ทำการวัดกระแสไฟฟ้าของ Fan coil unit

ขนาด 26,000 Btu/h

P = IV x Power factor

P = 0.87 x 220 x 0.91 = 174 W

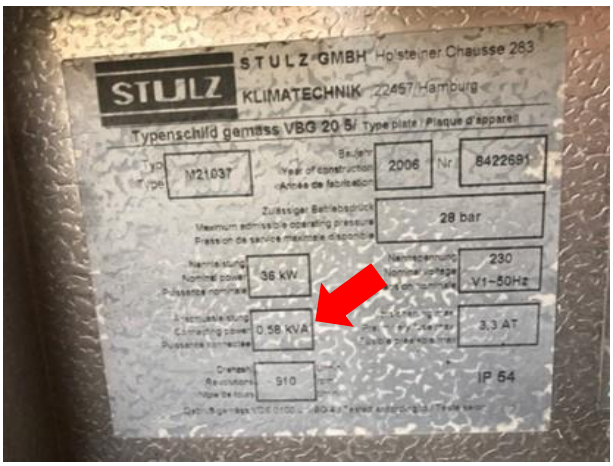


Figure 22 Nameplate Computer Room Air Conditioning, CRAC System

P = S x pf = 580 x 0.91 = 528 W

Modular UPS system - Technical data

NUMBER OF MODULES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
POWER [kVA]	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
REDUNDANT CONFIGURATION	N+x											
ELECTRICAL SPECIFICATION - INPUT												
Nominal voltage [V]	(3ph + N) 400 V -25% + 20% (up to -50% at 70% Pn)											
Input frequency [Hz]	50/60 Hz ± 10%											
Input power factor / THDI [1]	0.99 / < 3%											
ELECTRICAL SPECIFICATION - OUTPUT												
Output voltage [V]	(3ph + N) 400 V ± 1% (380/415 configurable)											
Output frequency [Hz]	50/60 Hz											
Automatic bypass	Nominal output voltage ±15% (configurable from 8% to 15%) Nominal output frequence ±1 Hz (configurable from 0,5 to 5 Hz)											
Overload [2]	125% for 10', 150% for 60"											
Crest factor	3:1											
Voltage distortion	± 1%											
MODULE												
Power [kVA]	20											
Power [3] [kW]	18											
Battery charging current [A]	1.2 - 5											
Efficiency (on-line mode)	up to 96%											
Efficiency (eco mode)	up to 98%											
Weight [kg]	30											

Activate Window

Figure 23 UPS Data center

Number of modules = 6

Battery charging current = 1.2 A

Power input = 6 x $\sqrt{3}$ x 1.2 x 400 x 0.99 $\approx$ 5 kW

<u>ชั่วโมงการใช้งานจริง</u>

5kW x 24 ชั่วโมง x 365 วัน = 43,800 kWh/y

<u>ชั่วโมงการใช้งานในโปรแกรม</u>

X x 9 ชั่วโมง x 260 วัน = 43,800 kWh/y

X = 18.718 kW

4.2 คุณสมบัติ และราคาของวัสดุที่นำมาปรับปรุง

วัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง ได้แก่ ฉนวนกันความร้อน หลอดไฟ LED และเครื่องปรับอากาศ โดยสำรวจจากวัสดุที่มีขายในท้องตลาด และนิยมใช้ในงานก่อสร้างอาคารของ องค์การเภสัชกรรม

4.2.1 ฉนวนกันความร้อน

จะพิจารณาจากประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อน และสภาพการนำความร้อนของวัสดุ ฉนวนกันความร้อนที่ดีต้องมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ โดยคำนึงถึงราคา งบประมาณ และความจำเป็นในแต่ละพื้นที่ โดยฉนวนที่เลือกมาใช้ในการปรับปรุงนั้นจะเป็นฉนวนชนิดโฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene Foam : PS) โดยจะติดตั้งใต้แผ่นกระเบื้องหลังคา โดยมีรายละเอียดในด้านคุณสมบัติดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 16 คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

ลำดับ	ประเภท	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าการนำความร้อน (W/mK)	ความหนา (mm)
1	Polystyrene Foam	16	0.037	50
2	Polystyrene Foam	16	0.037	75
3	Polystyrene Foam	16	0.037	100

4.2.3 หลอดไฟแอลอีดี

ปัจจุบันหลอด LED เป็นที่นิยมมาก เพราะเป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพ และให้แสงสว่างสูง และปล่อยความร้อนออกมาต่ำเมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการประหยัดไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ จากผลสำรวจอาคารกรณีศึกษาพบว่าโคมไฟของอาคารนั้นมีสภาพดีและยังใช้งานได้ปกติ จึงพิจารณาการปรับปรุงเฉพาะการเปลี่ยนหลอดไฟแทนการเปลี่ยนโคมไฟ

Table 17 อุปกรณ์ปรับปรุงเกี่ยวกับแสงสว่าง

ลำดับ	ชนิดหลอดไฟ	วัตต์	อายุ (ชั่วโมง)	ฟลักซ์ (ลูเมน)	จำนวน (หลอด)
1	LED Tube	9	50,000	1,050	277
2	LED Tube	18	50,000	2,500	2553
3	LED Bulb High Lumen	14.5	10,000	1,800	36
4	LED Bulb High Lumen	33	10,000	4,000	279
5	Essential LED Bulb	5	8,000	540	8
6	Essential LED Bulb	9	8,000	950	54
7	Master LED PAR	20	25,000	1,850	9
หมายเหตุ ข้อมูลจาก Catalog Philips Price List 2018 - 2019					รวม 3,216

Table 18 การเปรียบเทียบหลอดไฟแสงสว่างเดิมกับหลอดไฟแสงสว่างใหม่

ลำดับ	หลอดไฟเดิม			หลอดไฟใหม่		
	ประเภท	ฟลักซ์ (ลูเมน)	วัตต์	ประเภท	ฟลักซ์ (ลูเมน)	วัตต์
1	Fluorescent T8	1,030	18	LED Tube	1,050	9
2	Fluorescent T8	2,600	36	LED Tube	2,500	18
3	Halogen	500	50	LED Bulb	4,000	33
4	Compact FL	3,600	52	LED Bulb	4,000	33
5	หลอดไส้	1,380	150	LED PAR	1,850	20
6	Downlight	1,040	18	LED Bulb	1,800	14.5
7	Downlight	760	13	LED Bulb	950	9
8	Downlight	400	8	LED Bulb	540	5
9	Compact FL	1,984	32	LED Bulb	1,800	14.5
10	Compact FL	1,800	26	LED Bulb	1,800	14.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.4 เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศได้มีการพัฒนาระบบให้มีการประหยัดพลังงานมากขึ้น จากผลสำรวจอาคารกรณีศึกษาพบว่า เครื่องปรับอากาศของอาคารนั้น บางเครื่องไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินและมีสภาพเก่าเนื่องจากใช้งานมาหลายปี มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้เป็นระบบที่มีค่าประสิทธิภาพสูง เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศลง

Table 19 อุปกรณ์ปรับปรุงเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ

ลำดับ	ชนิด	ขนาด (kBtu/Hr)	Power Input (kW)	EER (W/W)	จำนวน (เครื่อง)
1	Split type 1 เฟส	13.294	1.095	3.56	10
2	Split type 1 เฟส	19.083	1.559	3.59	55
3	Split type 1 เฟส	25.237	2.072	3.57	22
4	Split type 1 เฟส	28.286	2.391	3.47	2
5	Split type 1 เฟส	30.355	2.579	3.45	2
6	Split type 1 เฟส	33.408	2.824	3.47	2
7	Split type 1 เฟส	36.828	3.121	3.46	12
8	Split type 3 เฟส	36.815	3.112	3.47	9
9	Split type 1 เฟส	40.254	3.42	3.45	2
10	Split type 3 เฟส	40.24	3.39	3.48	2
หมายเหตุ ข้อมูลจาก Catalog Tasaki FULE-B SERIES					รวม 118

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 สร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ

การจำลองสภาพอาคารของอาคารกรณีศึกษา เพื่อใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC เมื่อนำผลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลกรอบอาคาร ส่วนประกอบของผนังทึบ และผนังโปร่งแสง ส่วนประกอบของหลังคา และการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ นำมาจำลองสภาพอาคารในโปรแกรม BEC แล้วทำการวิเคราะห์ค่า OTTV และ RTTV ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

Table 20 ผลการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรม BEC

ทิศของผนังภายนอก	U-Value (W/m²°C)		WWR	SHGC	OTTV (W/m²)
	ผนังทึบ	กระจก			
ตะวันตกเฉียงเหนือ	2.994	5.22	0.36	0.624	31.65
ตะวันออกเฉียงใต้	2.994	5.22	0.26	0.624	37.96
ตะวันตกเฉียงใต้	2.994	5.22	0.07	0.624	43.84
ตะวันออกเฉียงเหนือ	2.994	5.22	0.11	0.624	40.48
เฉลี่ย					34.102
	U-Value (W/m²°C)				RTTV (W/m²)
หลังคา	1.328				19.442
เฉลี่ย					19.442

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม BEC v.1.0.6 เทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ได้จาก WATTHOUR METER พบว่าปริมาณที่จำลองได้จากโปรแกรม BEC มีค่าสูงกว่าการใช้งานจริง คิดเป็นร้อยละ 1.765 ดังตารางที่ 21

Table 21 พลังงานไฟฟ้ารายปีจากโปรแกรมจำลองและการใช้งานจริง

รายการ	BEC v.1.0.6		ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง (kWh/year)
	ปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)	คิดเป็น (%)	
ระบบปรับอากาศ	305,428.56	37.55	
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	318,830.90	39.20	
ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า	189,049.42	23.24	
รวม	813,309		799,200
ค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าการใช้งานจริง	สูงกว่า 14,109 kWh คิดเป็น 1.765%		

หมายเหตุ: ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง ได้จาก WATTHOUR METER รวมของอาคาร ซึ่งไม่สามารถแยกการใช้งานในแต่ละระบบได้ เนื่องจากอาคารไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าแยกแต่ละระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จะเห็นได้ว่าผลการทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารก่อนปรับปรุง ที่ได้จากโปรแกรม BEC v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่กระทรวงพลังงานแนะนำให้ใช้เพื่อประเมินอาคารเทียบกับเกณฑ์ตามกฎหมายและใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นหลัก มีความใกล้เคียงกับการใช้พลังงานจริงของอาคาร จึงได้ทำการศึกษา และเปรียบเทียบผลประหยัด และระยะคืนทุนของแนวทางปรับปรุงผ่านทางโปรแกรมจำลองแทนการปรับปรุงจริง

Table 22 ผลการประเมินการใช้พลังงานของอาคารก่อนการปรับปรุง

List	ค่าที่ได้	เกณฑ์	Status
OTTV (W/m^2)	34.102	$\leq$50	Passed
RTTV (W/m^2)	19.442	$\leq$15	Failed
LPD (W/m^2)	14.461	$\leq$14	Failed
EER (W/W)	บางเครื่อง $\leq$3.22	ทุกเครื่อง >3.22	Failed
Total Energy (kWh/year)	813,309	$\leq$795,465	Failed

4.4 วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อน และจำลองการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

ผลจากการจำลองอาคารโดยโปรแกรม BEC นั้นจะเห็นได้ว่า ค่า OTTV มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ผลการประเมินค่า RTTV, LPD, EER และ Total Energy มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน การหาแนวทางการปรับปรุงจึงเน้นปรับปรุงในส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพื่อทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนกรอบอาคาร และค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารลดลง โดยแนวทางการปรับปรุงนั้นจะเลือกวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาต่ำ เช่น ฉนวนกันความร้อน และหลังคามุงกระเบื้องชนิดกันความร้อน เป็นต้น การเปลี่ยนหลอดจากหลอด T8 เป็นหลอด LED จะทำให้มีการใช้พลังงานในส่วนของระบบไฟฟ้าส่องสว่างลดลง และการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นแบบประสิทธิภาพสูงแทนเครื่องเก่าที่ไม่ผ่านเกณฑ์ จะทำให้มีการใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศลดลง แล้วจำลองอาคารด้วยโปรแกรม BEC วิเคราะห์ค่ากรอบอาคาร และการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ หลังการปรับปรุงอีกครั้ง ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) การติดตั้งฉนวนกันความร้อน โดยติดตั้งบริเวณใต้กระเบื้องมุงหลังคาเดิม เพื่อลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระเบื้องหลังคาเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศใต้หลังคา โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิด PS Foam

Table 23 ผลที่ได้จากการติดฉนวนกันความร้อน

ที่	ชนิดฉนวนกันความร้อน	RTTV หลังปรับปรุง (W/m^2)	RTTV ที่ลดลง (W/m^2)	การใช้พลังงานของอาคาร (kWh/year)	พลังงานของอาคารที่ลดลง (kWh/year)
R1	PS Foam หนาแน่น 16 หนา 50 มม. (2”)	13.605	5.836	807,621	5,688
R2	PS Foam หนาแน่น 16 หนา 75 มม. (3”)	12.819	6.623	806,854	6,455
R3	PS Foam หนาแน่น 16 หนา 100 มม. (4”)	12.333	7.109	806,381	6,928

2) สำหรับการปรับปรุงในระบบไฟฟ้าส่องสว่าง จะเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์เดิม เป็นหลอด LED ทั้งหมด ซึ่งมีผลดังนี้

Table 24 ผลที่ได้จากการปรับปรุงหลอดไฟจากโปรแกรม BEC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่	ชนิดหลอดไฟ	ค่ากำลังส่องสว่างหลังปรับปรุง (W/m^2)	ค่ากำลังส่องสว่างที่ลดลง (W/m^2)	การใช้พลังงานของอาคาร (kWh/year)	พลังงานของอาคารที่ลดลง (kWh/year)
L1	LED	6.627	7.834	601,057	212,252

3) สำหรับการปรับปรุงในระบบปรับอากาศ โดยการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนให้เป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง เฉพาะเครื่องที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งมีผลดังนี้

Table 25 ผลที่ได้จากการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศจากโปรแกรม BEC

ที่	ชนิดเครื่องปรับอากาศ	EER(W/W)	การใช้พลังงานของอาคาร (kWh/year)	พลังงานของอาคารที่ลดลง (kWh/year)
A1	Split type	>3.22 ทุกเครื่อง	785,853	27,456

4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนั้น สามารถทำได้โดยติดตั้งฉนวนใต้กระเบื้องหลังคาเดิม เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคารสูงที่สุด ในการพิจารณาผลการปรับปรุงนั้นจะดูความคุ้มค่าของการลงทุน โดยวิเคราะห์จากเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ NPV IRR และDPB

การคำนวณกำหนดให้ใช้ค่าดังนี้

1) Interest Rate อัตราดอกเบี้ยเงินฝากของธนาคาร ซึ่งมีดอกเบี้ยที่ร้อยละ 0.125
2) การปรับปรุงอาคารจะคำนวณอายุของโครงการ 20 ปี

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากโปรแกรม BEC พบว่า การปรับปรุงกรอบอาคารโดยการติดฉนวนใต้กระเบื้องมุงหลังคาเดิมสามารถทำให้ค่า RTTV ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อทำการเปรียบเทียบมาตรการ ได้ทำการติดตั้งฉนวนใต้หลังคาด้วยความหนาต่างกัน 3 ขนาด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การพิจารณามาตรการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสมนั้น จะพิจารณาจากมาตรการที่มีค่า NPV IRR และ DPB เพื่อดูความเหมาะสมของการลงทุน โดยนำมาตรการดังกล่าวมาจำลองสภาพอาคารหลังการปรับปรุง เพื่อดูผลประหยัดค่าไฟฟ้าของอาคาร โดยมีผลการปรับปรุงตามมาตรการที่แสดงเป็นรหัสในตารางที่ 4.19 ดังนี้

Table 26 ผลการปรับปรุงแต่ละมาตรการ

รหัส	รายการปรับปรุง	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าของอาคารหลังการปรับปรุง (บาท/ปี)
R1	PS Foam หนาแน่น 16 หนา 50 มม.	48,883	3,230,484
R2	PS Foam หนาแน่น 16 หนา 75 มม.	64,975	3,227,416
R3	PS Foam หนาแน่น 16 หนา 100 มม.	81,066	3,225,524

Table 27 ผลค่าใช้จ่ายทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 50 มม. (R1)

การปรับปรุง	ค่าไฟฟ้าของอาคาร (บาท/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	เงินลงทุน (บาท)
ทางเลือกที่ 1 R1	3,230,484	22,752	48,883

Table 28 ผลการคำนวณ NPV ทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 50 มม. (R1)

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาท)	กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)
0	48883		-48883
1		22752	22752
2		22752	22752
3		22752	22752
4		22752	22752
5		22752	22752
6		22752	22752
7		22752	22752
8		22752	22752
9		22752	22752
10		22752	22752
11		22752	22752
12		22752	22752
13		22752	22752
14		22752	22752
15		22752	22752
16		22752	22752
17		22752	22752
18		22752	22752
19		22752	22752
20		22752	22752

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 400,238.96 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 46.52 และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 1 เดือน

Table 29 ผลค่าใช้จ่ายทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 75 มม. (R2)

การปรับปรุง	ค่าไฟฟ้าของอาคาร (บาท/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	เงินลงทุน (บาท)
ทางเลือกที่ 2 R2	3,227,416	25,820	64,975

Table 30 ผลการคำนวณ NPV ทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 75 มม. (R2)

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาท)	กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)
0	64975		-64975
1		25820	25820
2		25820	25820
3		25820	25820
4		25820	25820
5		25820	25820
6		25820	25820
7		25820	25820
8		25820	25820
9		25820	25820
10		25820	25820
11		25820	25820
12		25820	25820
13		25820	25820
14		25820	25820
15		25820	25820
16		25820	25820
17		25820	25820

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 30 ผลการคำนวณ NPV ทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 75 มม. (R2) (ต่อ)

18		25820	25820
19		25820	25820
20		25820	25820

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 444,708.94 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 39.69 และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 5 เดือน

Table 31 ผลค่าใช้จ่ายทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 100 มม. (R3)

การปรับปรุง	ค่าไฟฟ้าของอาคาร (บาท/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	เงินลงทุน (บาท)
ทางเลือกที่ 3 R3	3,225,524	27,712	81,066

Table 32 ผลการคำนวณ NPV ทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 100 มม. (R3)

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาท)	กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)
0	81066		-81066
1		27712	27712
2		27712	27712
3		27712	27712
4		27712	27712
5		27712	27712
6		27712	27712
7		27712	27712
8		27712	27712
9		27712	27712
10		27712	27712
11		27712	27712

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 32 ผลการคำนวณ NPV ทางเลือกการปรับปรุงหลังคาของอาคาร โดยติดตั้งฉนวน PS Foam ความหนาแน่น 16 หนา 100 มม. (R3) (ต่อ)

12		27712	27712
13		27712	27712
14		27712	27712
15		27712	27712
16		27712	27712
17		27712	27712
18		27712	27712
19		27712	27712
20		27712	27712

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 465,965.81 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 34.09 และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 9 เดือน

Table 33 เปรียบเทียบผลการปรับปรุงในแต่ละมาตรการเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม

มาตรการ	R1	R2	R3
ค่าไฟฟ้าของอาคารหลังปรับปรุง (บาท/ปี)	3,230,484	3,227,416	3,225,524
เงินลงทุน (บาท)	48,883	64,975	81,066
ผลประหยัด (บาท/ปี)	22,752	25,820	27,712
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV (บาท)	400,238.96	444,708.94	465,965.81
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	46.52	39.69	34.09
ระยะเวลาคืนทุน (DPB)	2 ปี 1 เดือน	2 ปี 5 เดือน	2 ปี 9 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการคำนวณค่าทางการเงิน โครงการนี้จะพิจารณามาตรการที่ใช้เงินลงทุนต่ำ คืนทุนเร็ว และได้ผลตอบแทนสูง ผู้วิจัยจึงทำการเลือกมาตรการติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิด PS Foam ความหนาแน่น 16 kg/m³ หนา 50 มม. ใต้กระเบื้องหลังคาเดิม (R1) เพราะใช้เงินลงทุนต่ำ ให้ผลตอบแทน (IRR) สูงกว่ามาตรการอื่น และมีการคืนทุน (DPB) ที่เร็วที่สุด สำหรับทางเลือกอื่นที่มี NPV ที่มากกว่า แต่ต้องลงทุนสูงกว่าเกือบสองเท่า ได้ผลตอบแทนไม่ถึงสองเท่า

นอกจากนี้จะต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ระบบแสงสว่าง และระบบปรับอากาศเพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกระบบ จะช่วยทำให้การใช้พลังงานรวมลดลงอีกด้วย โดยมีผลการปรับปรุงตามมาตรการที่แสดงในตารางที่ 34, 35, 36 และ 37 ดังนี้

Table 34 ผลค่าใช้จ่ายการปรับปรุงหลอดไฟ LED ของอาคาร L1

การปรับปรุง	ค่าไฟฟ้าของอาคาร (บาท/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	เงินลงทุน (บาท)
L1	2,404,228	849,008	1,223,065

Table 35 ผลการคำนวณ NPV การปรับปรุงหลอดไฟ LED ของอาคาร L1

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าเปลี่ยนหลอดไฟ (บาท)	ผลประหยัด (บาท)	กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)
0	1,223,065			-1223065
1			849008	849008
2			849008	849008
3			849008	849008
4		326,504	849008	522504
5			849008	849008
6			849008	849008
7			849008	849008
8		324,877	849008	524131
9		8,899	849008	840109
10			849008	849008

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Table 35 ผลการคำนวณ NPV การปรับปรุงหลอดไฟ LED ของอาคาร L1 (ต่อ)

11			849008	849008
12		323,258	849008	525750
13			849008	849008
14			849008	849008
15			849008	849008
16		321,646	849008	527362
17		846,956	849008	2052
18			849008	849008
19			849008	849008
20		320,043	849008	528965

หมายเหตุ : เนื่องจากหลอด LED มีอายุไม่ถึง 20 ปี จึงต้องคิดค่าหลอดใหม่ตามอายุของหลอดแต่ละประเภท ได้แก่ LED Bulb, LED PAR และ LED Tube อายุ 3 ปี 8 ปี และ 16 ปี ตามลำดับ

ลงทุนหลอด LED Bulb มูลค่า 328,140 บาท เพื่อเปลี่ยนหลอดในปีที่ 4, 8, 12, 16 และ 20 ต้องคิดมูลค่าในอนาคต เนื่องจากหลอด LED มีมูลค่าถูกลง จึงใช้สูตรการคำนวณ Present value กำหนดให้ i (อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก) = 0.125% สามารถคำนวณได้จากสมการ

ปีที่ 4 ; P = F / $(1+i)^n$ = 328,140 / $(1+0.00125)^{4}$ = 326,504 บาท

ปีที่ 8 ; P = F / $(1+i)^n$ = 328,140 / $(1+0.00125)^{8}$ = 324,877 บาท

ปีที่ 12 ; P = F / $(1+i)^n$ = 328,140 / $(1+0.00125)^{12}$ = 323,258 บาท

ปีที่ 16 ; P = F / $(1+i)^n$ = 328,140 / $(1+0.00125)^{16}$ = 321,646 บาท

ปีที่ 20 ; P = F / $(1+i)^n$ = 328,140 / $(1+0.00125)^{20}$ = 320,043 บาท

ลงทุนเปลี่ยนหลอด LED PAR มูลค่า 9,000 บาท คิดมูลค่าในปีที่ 9 และ 17 ดังนี้

ปีที่ 9 ; P = F / $(1+i)^n$ = 9,000 / $(1+0.00125)^{9}$ = 8,899 บาท

ปีที่ 17 ; P = F / $(1+i)^n$ = 9,000 / $(1+0.00125)^{17}$ = 8,811 บาท

เปลี่ยนหลอด LED Tube มูลค่า 856,135 บาท คิดมูลค่าในปีที่ 17 ดังนี้

ปีที่ 17 ; P = F / $(1+i)^n$ = 856,135 / $(1+0.00125)^{17}$ = 838,145 บาท

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 13,105,901.95 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 66.76 และมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 7 เดือน

Table 36 ผลค่าใช้จ่ายการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศของอาคาร A1

การปรับปรุง	ค่าไฟฟ้าของอาคาร (บาท/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	เงินลงทุน (บาท)
A1	3,143,412	109,824	4,207,000

Table 37 ผลการคำนวณ NPV การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศของอาคาร A1

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาท)	กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)
0	4,207,000		-4207000
1		109824	109824
2		109824	109824
3		109824	109824
4		109824	109824
5		109824	109824
6		109824	109824
7		109824	109824
8		109824	109824
9		109824	109824
10		109824	109824
11		109824	109824
12		109824	109824
13		109824	109824
14		109824	109824
15		109824	109824
16		109824	109824
17		109824	109824
18		109824	109824
19		109824	109824
20		109824	109824

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) -2,039,086.42 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ -5.52 และมีระยะเวลาคืนทุน 38 ปี 3 เดือน

เมื่อพิจารณามาตรการการปรับปรุงกรอบอาคาร ค่า RTTV ให้ผ่านเกณฑ์ มีความเหมาะสมในการลงทุนมากที่สุด พบว่า ทางเลือกที่ 1 มีการปรับปรุงโดยการติดฉนวนกันความร้อน PS Foam ความหนาแน่น 16 kg/m³ หนา 50 มม. ใต้กระเบื้องหลังคาเดิม (R1) จะได้ค่า RTTV 13.605 W/m² เมื่อได้ทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับปรุงหลังคาแล้วนำมารวมกับมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟเป็น LED (L1) และเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง (A1) จะได้ค่าในตารางที่ 38

Table 38 ผลการปรับปรุงจากการติดตั้งฉนวน PS Foam, หลอด LED, เครื่องปรับอากาศใหม่

การปรับปรุง	ค่าไฟฟ้าของอาคาร (บาท/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	เงินลงทุน (บาท)
R1L1A1	2,288,264	964,972	5,478,948

Table 39 ผลการคำนวณ NPV การปรับปรุงจากการติดตั้งฉนวน PS Foam, หลอด LED, เครื่องปรับอากาศใหม่

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าเปลี่ยนหลอดไฟ (บาท)	ผลประหยัด (บาท)	กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow)
0	5,478,948			-5478948
1			964972	964972
2			964972	964972
3			964972	964972
4		326,504	964972	638468
5			964972	964972
6			964972	964972
7			964972	964972
8		324,877	964972	640095
9		8,899	964972	956073
10			964972	964972
11			964972	964972

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 39 ผลการคำนวณ NPV การปรับปรุงจากการติดตั้งฉนวน PS Foam, หลอด LED, เครื่องปรับอากาศใหม่ (ต่อ)

12		323,258	964972	641714
13			964972	964972
14			964972	964972
15			964972	964972
16		321,646	964972	643326
17		846,956	964972	118016
18			964972	964972
19			964972	964972
20		320,043	964972	644929

หมายเหตุ : เนื่องจากหลอด LED มีอายุไม่ถึง 20 ปี จึงต้องคิดค่าหลอดใหม่ตามอายุของหลอดแต่ละประเภท ได้แก่ LED Bulb, LED PAR และ LED Tube อายุ 3 ปี 8 ปี และ 16 ปี ตามลำดับ

อธิบายตารางที่ 39 เงินลงทุนเริ่มต้นของโครงการมีมูลค่า 5,478,948 บาท หลังจากลงทุนไป 1 ปี ได้ผลการประหยัดค่าไฟฟ้าเป็นจำนวนเงิน 964,972 บาท คงที่ตลอดอายุโครงการ 20 ปี เนื่องจากเป็น Nominal Interest Rate หรืออัตราดอกเบี้ยเงินฝาก จึงทำให้ในปีที่ไม่มีการเปลี่ยนหลอดไฟ มี Net Cash Flow 964,972 บาท ต่อมามีการลงทุนเปลี่ยนหลอด LED เนื่องจากหมดอายุการใช้งาน ในปีที่ 4 8 9 12 16 17 และ20 ซึ่งมีมูลค่าที่แสดงไว้ในตาราง ทำให้มี Net Cash Flow ลดลงในปีที่ 4 8 9 12 16 17 และ20 จากนั้นนำค่า Net Cash Flow ในแต่ละปีมาคำนวณค่า NPV IRR และDPB โดยใช้อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก 0.125% มีสูตรการคำนวณดังนี้

NPV = $\left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t}\right) - I_0$

$= ((\frac{964,972}{(1+0.00125)^1}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^2}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^3}) + (\frac{638,468}{(1+0.00125)^4})$
$+ (\frac{964,972}{(1+0.00125)^5}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^6}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^7}) + (\frac{640,095}{(1+0.00125)^8})$
$+ (\frac{956,073}{(1+0.00125)^9}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^{10}}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^{11}}) + (\frac{641,714}{(1+0.00125)^{12}})$
$+ (\frac{964,972}{(1+0.00125)^{13}}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^{14}}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^{15}}) + (\frac{643,326}{(1+0.00125)^{16}})$
$+ (\frac{118,016}{(1+0.00125)^{17}}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^{18}}) + (\frac{964,972}{(1+0.00125)^{19}}) + (\frac{644,929}{(1+0.00125)^{20}}))$

- 5,478,948 = 16,618,083.45 - 5,478,948 = 11,139,135.45

$I_0 = \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t}\right)$

$5,478,948 = ((\frac{964,972}{(1+i)^1}) + (\frac{964,972}{(1+i)^2}) + (\frac{964,972}{(1+i)^3}) + (\frac{638,468}{(1+i)^4}) + (\frac{964,972}{(1+i)^5}) + (\frac{964,972}{(1+i)^6})$
$+ (\frac{964,972}{(1+i)^7}) + (\frac{640,095}{(1+i)^8}) + (\frac{956,073}{(1+i)^9}) + (\frac{964,972}{(1+i)^{10}}) + (\frac{964,972}{(1+i)^{11}}) + (\frac{641,714}{(1+i)^{12}})$
$+ (\frac{964,972}{(1+i)^{13}}) + (\frac{964,972}{(1+i)^{14}}) + (\frac{964,972}{(1+i)^{15}}) + (\frac{643,326}{(1+i)^{16}}) + (\frac{118,016}{(1+i)^{17}}) + (\frac{964,972}{(1+i)^{18}})$
$+ (\frac{964,972}{(1+i)^{19}}) + (\frac{644,929}{(1+i)^{20}}))$

i = 15.25%

DPB = I_0 ÷ ค่าเฉลี่ยของ $\sum_{t=1}^{n} C_t$

= 5,478,948 ÷ ((964,972+964,972+964,972+638,468+964,972+964,972+964,972+640,095
+956,073+964,972+964,972+641,714+964,972+964,972+964,972+643,326+118,016
+964,972+964,972+644,929) ÷ 20) = 6.5

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 11,139,135.45 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 15.25 และมีระยะเวลาคืนทุน 6 ปี 5 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิด PS Foam ความหนาแน่น 16 kg/m³ หนา 50 มม. ใต้กระเบื้องหลังคาเดิม (R1) มีความเหมาะสมในการลงทุนมากที่สุด เพราะใช้เงินลงทุนต่ำ ให้ผลตอบแทน (IRR) สูงกว่ามาตรการอื่น และมีการคืนทุน (DPB) ที่เร็วที่สุด สำหรับทางเลือกอื่นที่มี NPV ที่มากกว่า แต่ต้องลงทุนสูงกว่าเกือบสองเท่า ได้ผลตอบแทนไม่ถึงสองเท่า

เมื่อได้ทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับปรุงหลังคาแล้วนำมารวมกับมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟเป็น LED (L1) และเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง (A1) ผลการวิจัยพบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 964,972 บาท/ปี เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนจะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 11,139,135.45 บาท มีผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) ร้อยละ 15.25 และมีระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (DPB) 6 ปี 5 เดือน

สรุปจะได้ค่า RTTV 13.605 W/m², LPD 6.627 W/m², EER ของเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องมากกว่า 3.22 W/W และการใช้พลังงานรวมของอาคาร 572,066 kWh/year ทำให้ผลการปรับปรุงอาคารที่ได้ผ่านเกณฑ์ของกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ในตารางที่ 40 และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงอาคารจะมีค่าลดลงในตารางที่ 41 ผลประโยชน์ที่ได้ทำให้อาคารมีค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้า 2,288,264 บาท/ปี ซึ่งใช้เงินลงทุน 5,478,948 บาท

Table 40 ผลการปรับปรุงอาคารที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์ของกฎกระทรวง พ.ศ. 2552

List	ค่าที่ได้	เกณฑ์	Status
OTTV (W/m²)	34.102	≤50	Passed
RTTV (W/m²)	13.605	≤15	Passed
LPD (W/m²)	6.627	≤14	Passed
EER (W/W)	ทุกเครื่อง >3.22	ทุกเครื่อง >3.22	Passed
Total Energy (kWh/year)	572,066	≤795,465	Passed

Table 41 ผลการปรับปรุงอาคารที่ได้ในแต่ละเกณฑ์ เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงอาคาร

List	ก่อน	หลัง	%ลดลง
OTTV (W/m²)	34.102	34.102	0
RTTV (W/m²)	19.433	13.605	30.00
LPD (W/m²)	14.461	6.627	54.17
Total Energy (kWh/year)	813,300	572,066	29.66
EER (W/W)	บางเครื่อง ≤3.22	ทุกเครื่อง >3.22	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงาน อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม เพื่อให้เป็นอาคารประหยัดพลังงาน ได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงเฉพาะกรอบอาคารเดิมที่มีผลในการลดค่า RTTV ทั้งนี้ถ้าต้องการลดปริมาณการใช้พลังงานรวมทั้งหมดของอาคารลง สามารถปรับปรุงโดยการลดหรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ให้ใช้พลังงานน้อยลงและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ส่วนการลดการรั่วซึมของห้องปรับอากาศก็จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้เช่นกัน จึงควรศึกษาแนวทางเหล่านี้ร่วมกับกรอบอาคาร เพื่อให้การใช้พลังงานของอาคารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2) ถ้าอาคารมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะทำให้ลดค่า Peak หรือค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าลง มีผลทำให้ค่าไฟฟ้าลดลงด้วย

3) ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ข้อมูลด้านราคาค่าวัสดุ และค่าแรงของกระเบื้องมุงหลังคาฉนวนกันความร้อน หลอดไฟ LED และเครื่องปรับอากาศ มาจากราคากลางที่ใช้ในองค์การเภสัชกรรม และบริษัทผู้ผลิตโดยตรง การจะนำข้อมูลไปใช้อาจจะต้องพิจารณาราคาของวัสดุ และค่าแรงในแต่ละพื้นที่ก่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. ชัยชนะ, โ., แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน, in สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย. 2559, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือการตรวจสอบการออกแบบและก่อสร้างอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. 2561; แนวทางการตรวจสอบการออกแบบและก่อสร้างอาคาร เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับเจ้าพนักงานท้องถิ่น ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร]. Available from: http://bec.dede.go.th/becdb/.
3. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรผู้ตรวจประเมินค่าอนุรักษ์พลังงาน[*Online*]. 2562; มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน]. Available from: https://www.thaienergyauditor.org/attachments/view/?attach_id=224034.
4. ศิริปรุ, ด., แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา, in สถาปัตยกรรมศาสตร์ 2548, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. กระภูชัย, ก., แนวทางการสร้างแบบประเมินอาคารปรับอากาศ เพื่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น, in สถาปัตยกรรม. 2546, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
6. มานะ, น., ผลกระทบของการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศต่อการใช้พลังงาน การทำความเย็นในอาคารที่มีการติดตั้งฉนวนชนิดต่าง ๆ, in สถาปัตยกรรมศาสตร์ 2555, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
7. ประวิตรางกูร, ส., อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและภาระการปรับอากาศในการออกแบบอาคาร, in สถาปัตยกรรมศาสตร์. 2543, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. Droutsa, K.G., *Benchmarking Energy Use of Existing Hellenic Non-Residential Buildings.* International Conference on Sustainable Synergies from Buildings to the Urban Scale, SBE16, 2017.
9. ดาวประกายมงคล, ส., แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคาร, in เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
10. รัศมีดารา, อ., การปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา อาคารสำนักงาน ท.*101* การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, in เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย 2560, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

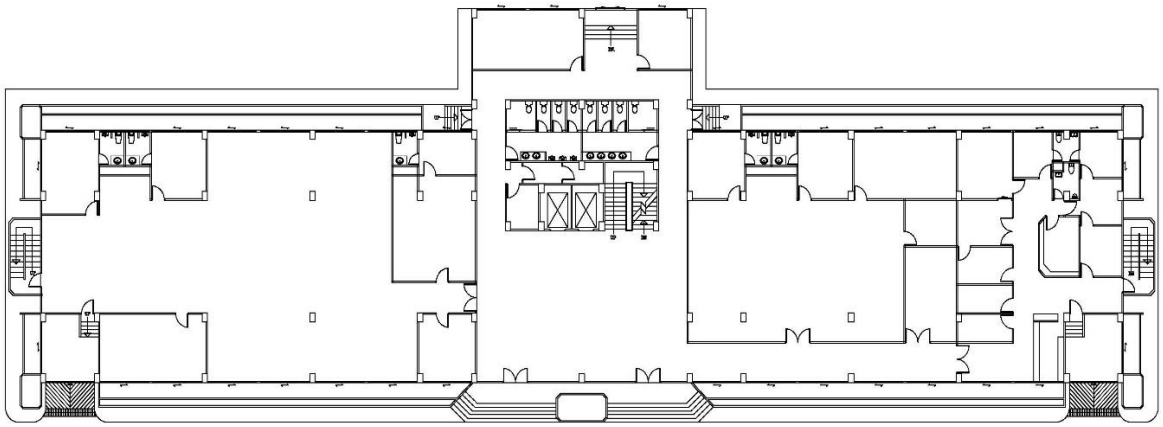
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

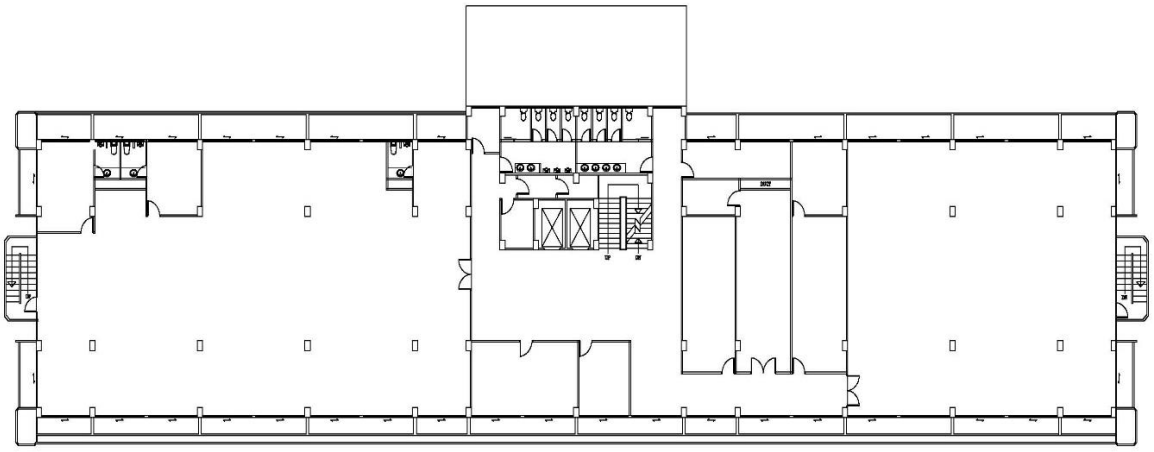
ภาคผนวก ก.

แบบแปลนอาคารของ อาคารอำนวยการ องค์การเภสัชกรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

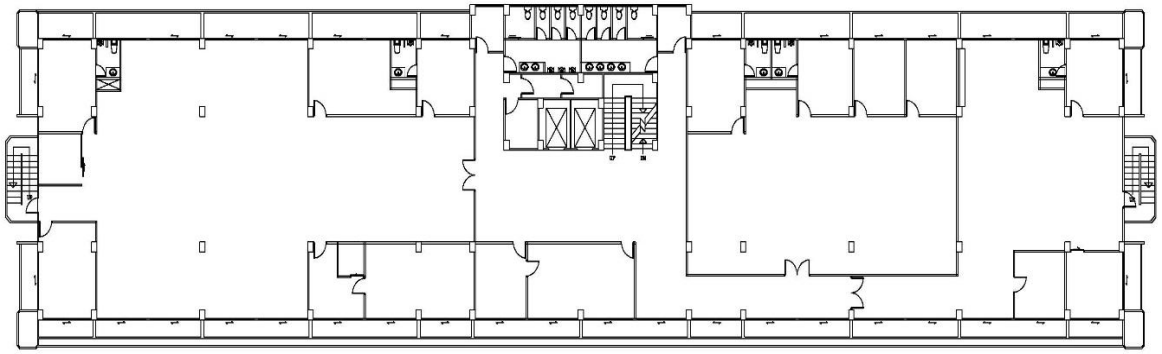


รูปที่ ก.1 แปลนพื้นชั้น 1

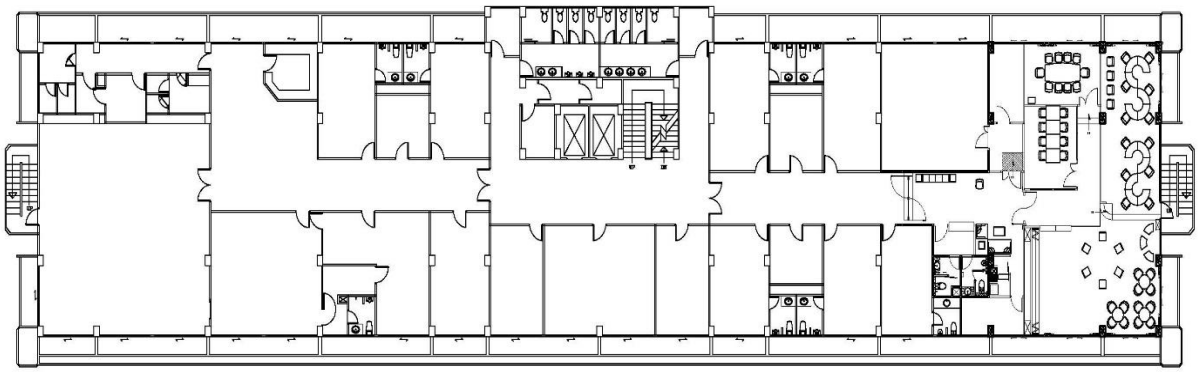


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

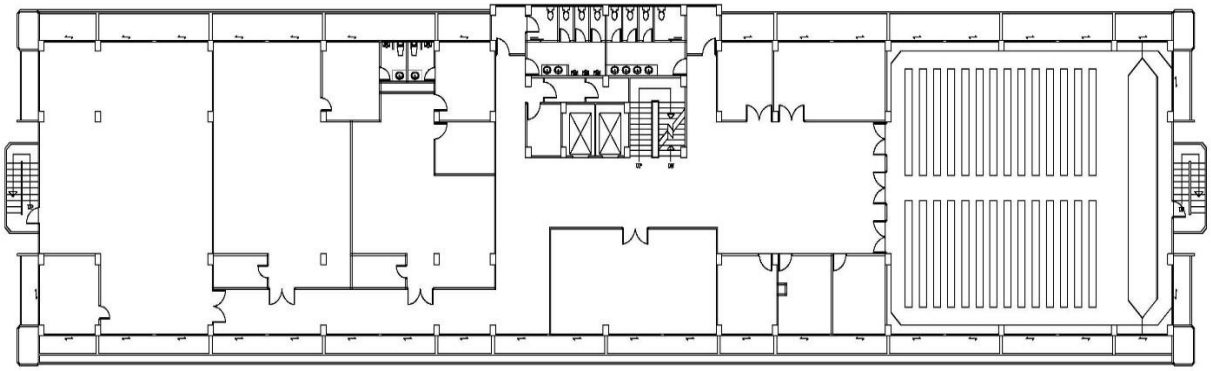
รูปที่ ก.2 แปลนพื้นชั้น 2



รูปที่ ก.3 แปลนพื้นชั้น 3

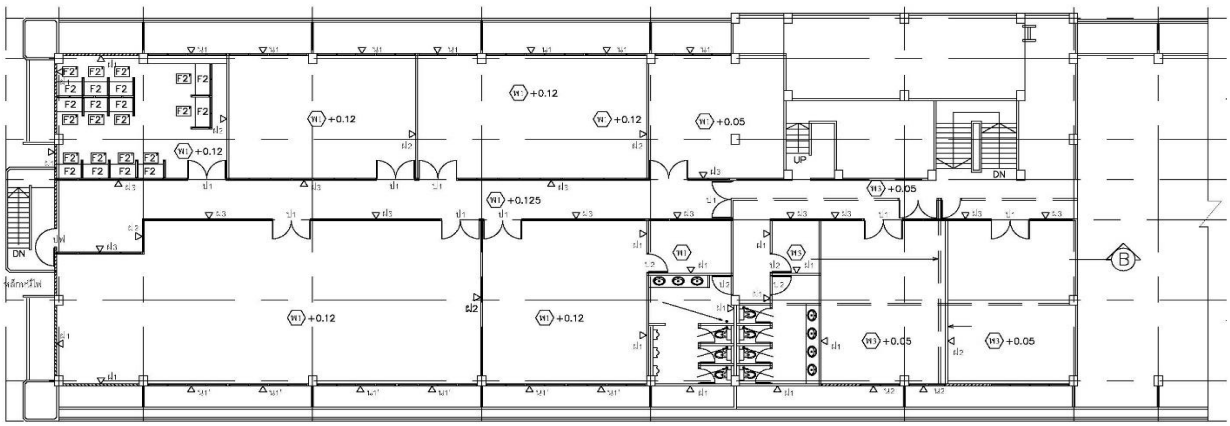


รูปที่ ก.4 แปลนพื้นชั้น 4

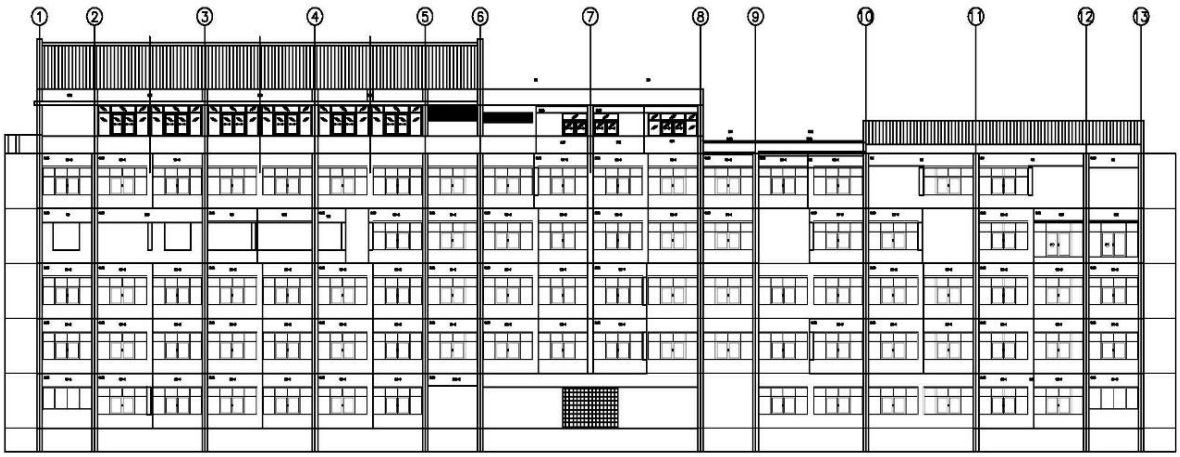


รูปที่ ก.5 แปลนพื้นชั้น 5

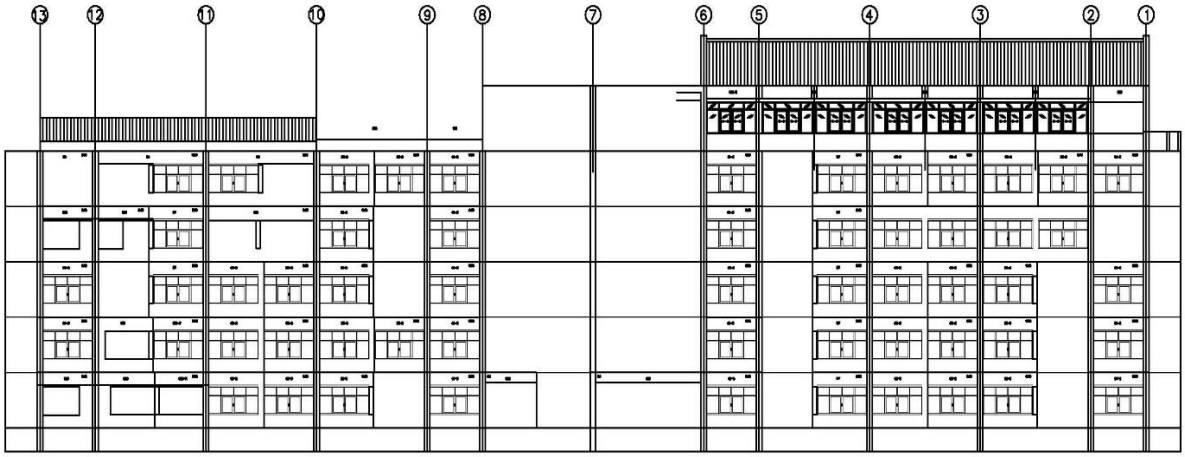
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



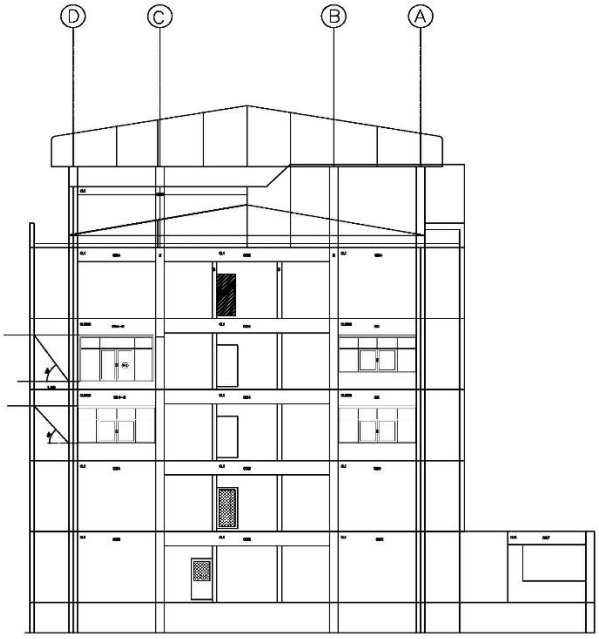
รูปที่ ก.6 แปลนพื้นชั้น 6



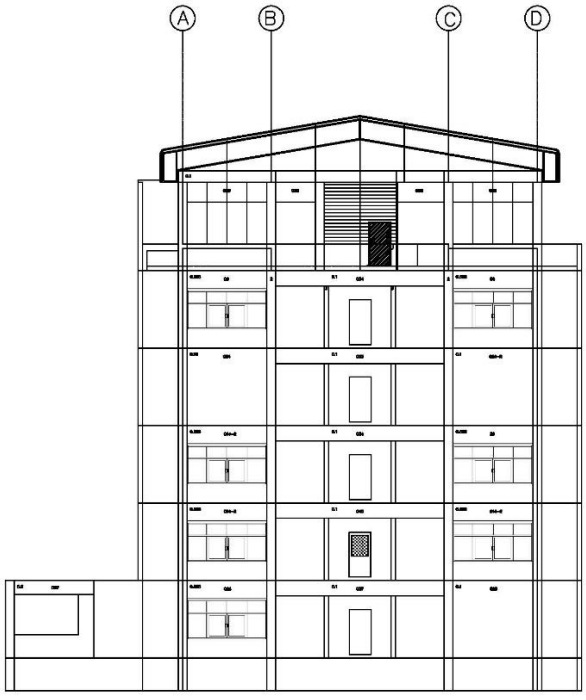
รูปที่ ก.7 รูปด้าน 1



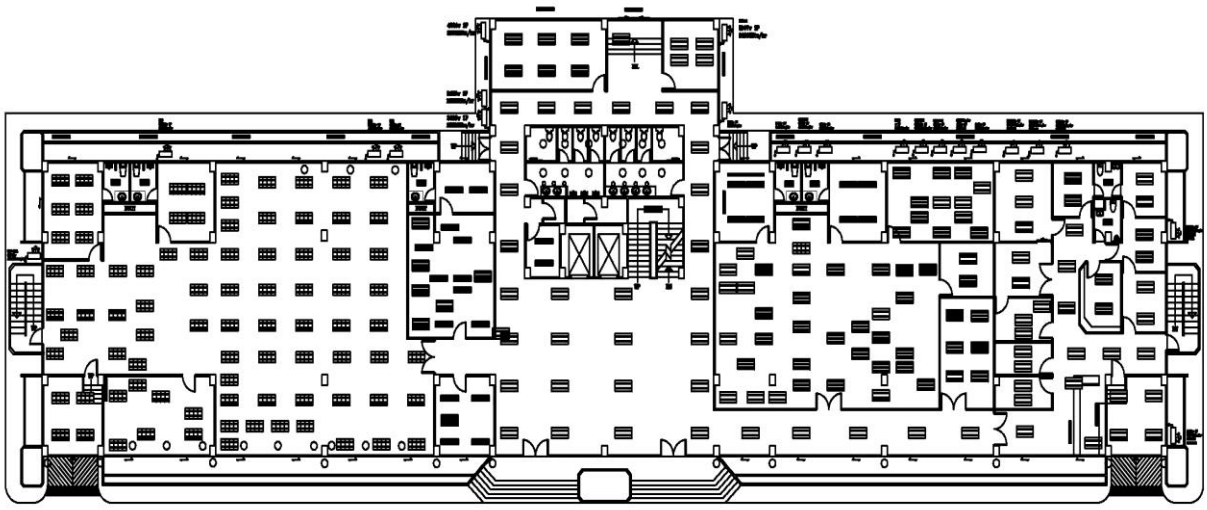
รูปที่ ก.8 รูปด้าน 2



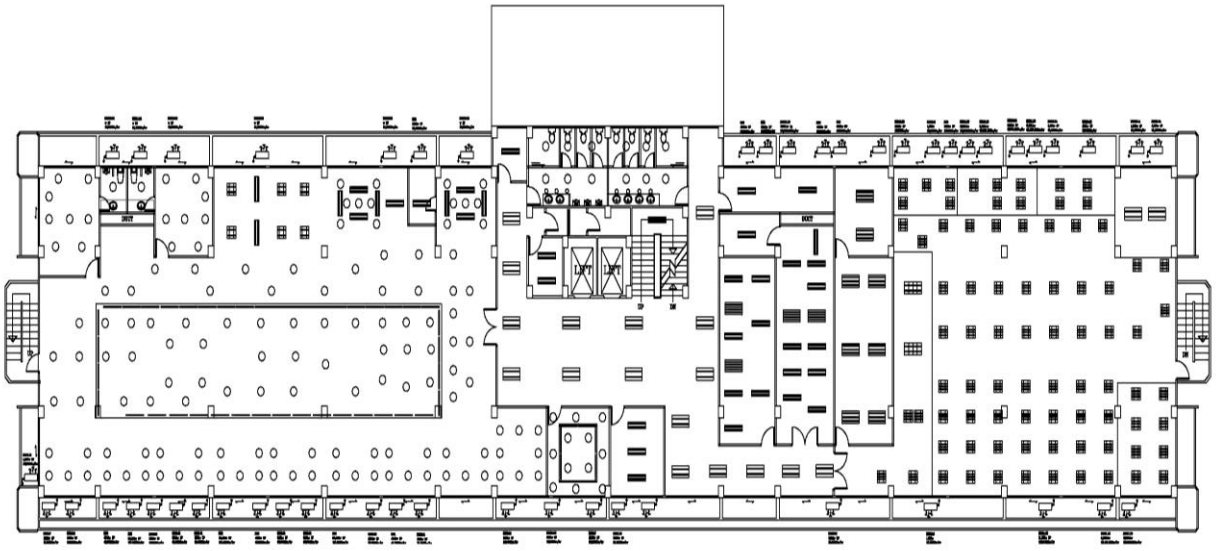
รูปที่ ก.9 รูปด้าน 3



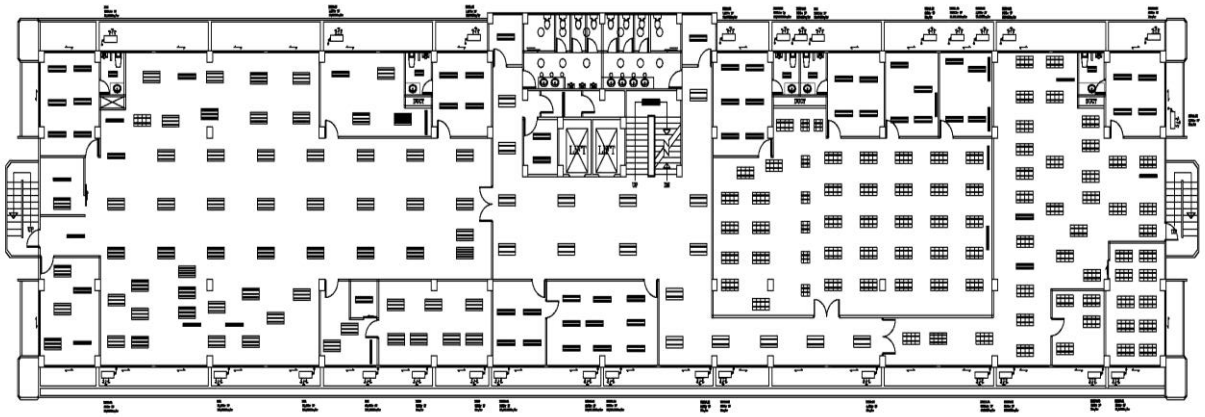
รูปที่ ก.10 รูปด้าน 4



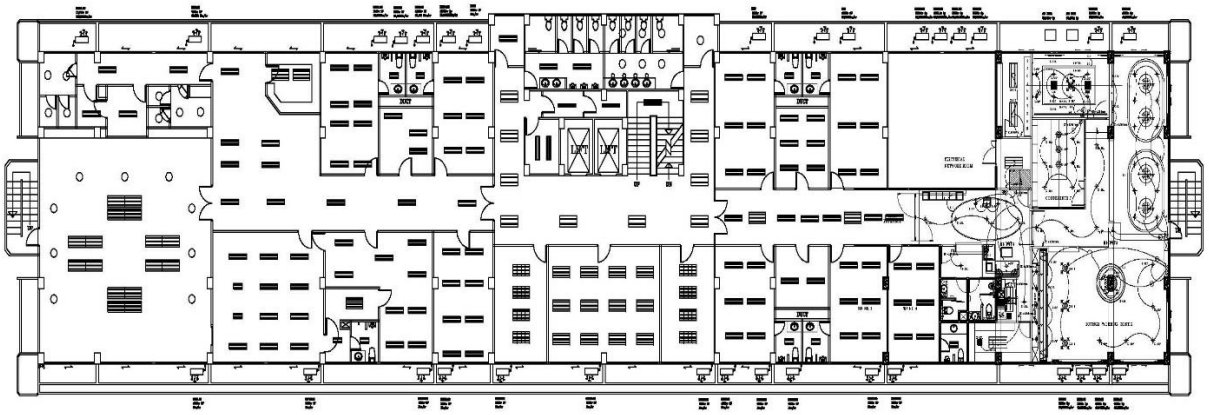
รูปที่ ก.11 แบบระบบไฟฟ้าส่องสว่างและปรับอากาศ ชั้น 1



รูปที่ ก.12 แบบระบบไฟฟ้าส่องสว่างและปรับอากาศ ชั้น 2

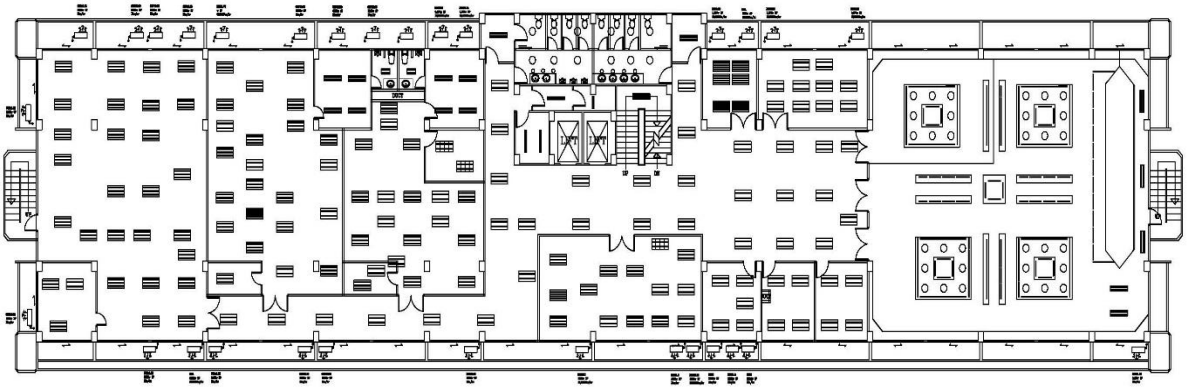


รูปที่ ก.13 แบบระบบไฟฟ้าส่องสว่างและปรับอากาศ ชั้น 3

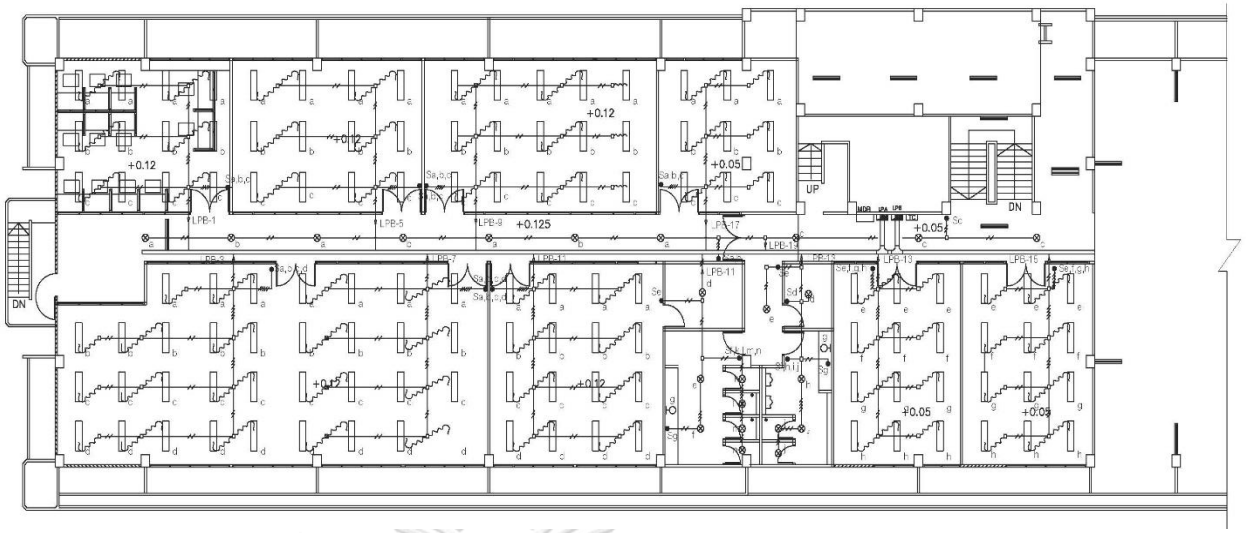


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

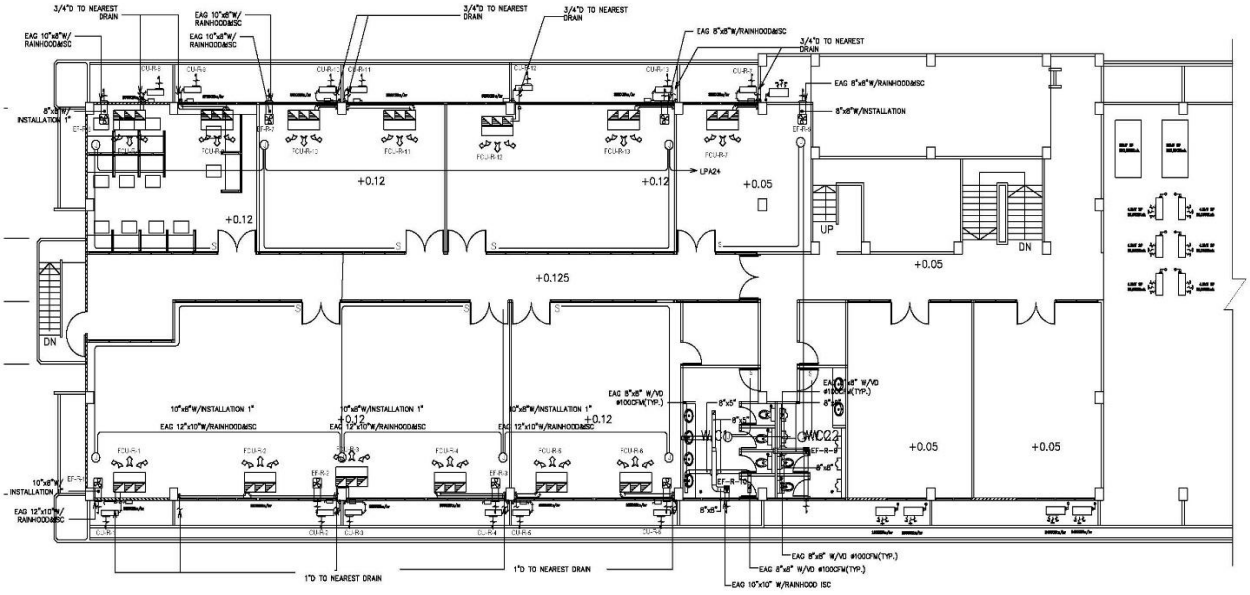
รูปที่ ก.14 แบบระบบไฟฟ้าส่องสว่างและปรับอากาศ ชั้น 4



รูปที่ ก.15 แบบระบบไฟฟ้าส่องสว่างและปรับอากาศ ชั้น 5



รูปที่ ก.16 แบบระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ชั้น 6

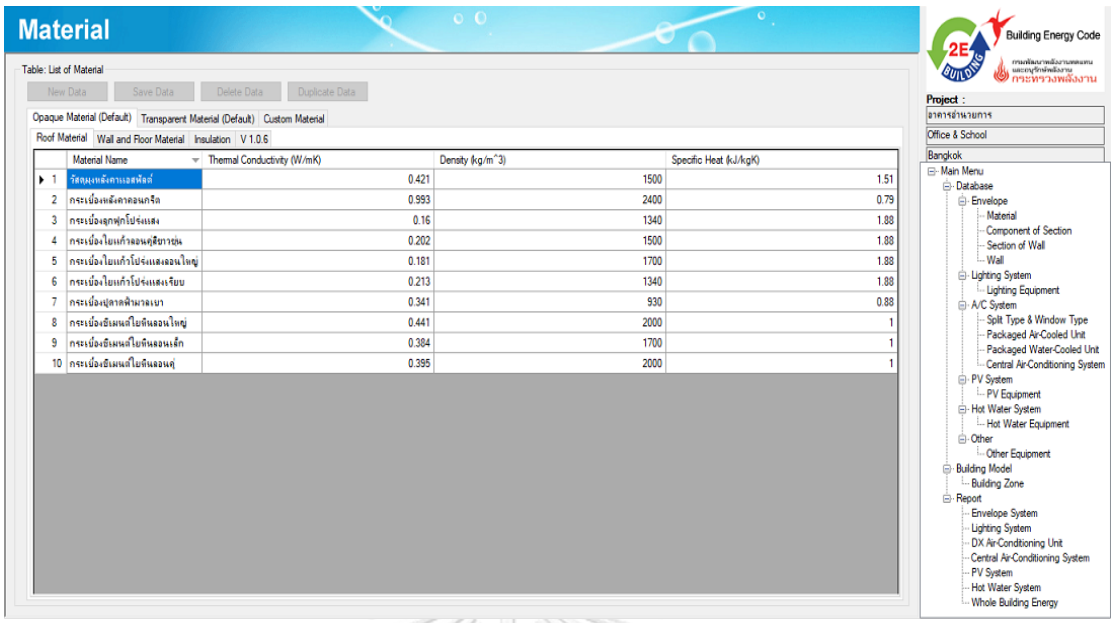


รูปที่ ก.17 แบบระบบปรับอากาศ ชั้น 6

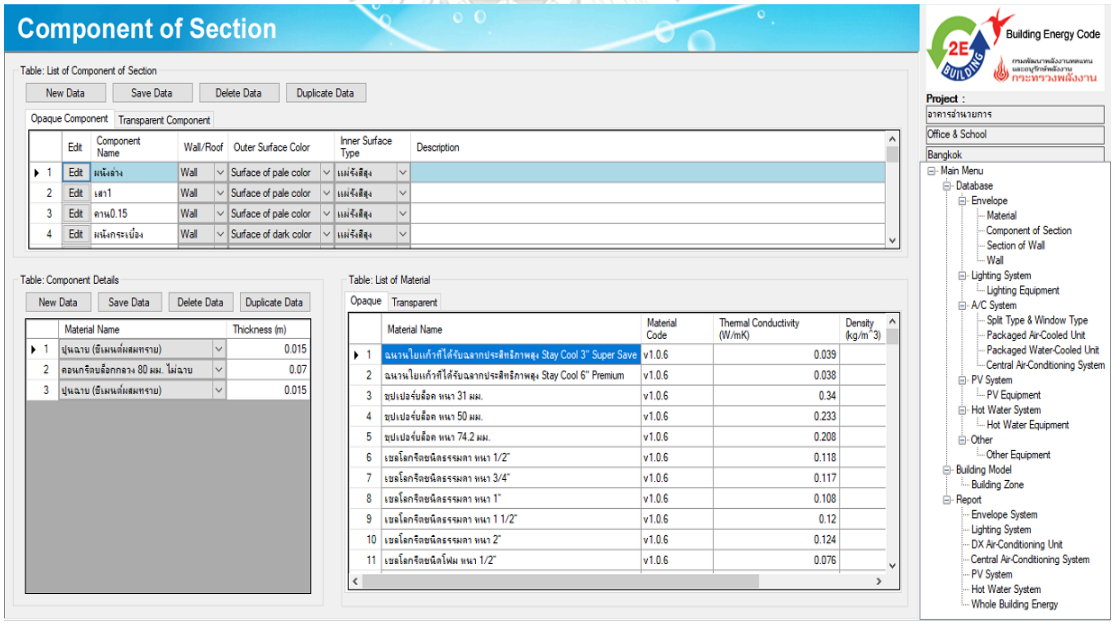
ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการสร้างแบบจำลองของอาคารโดยใช้โปรแกรม BEC

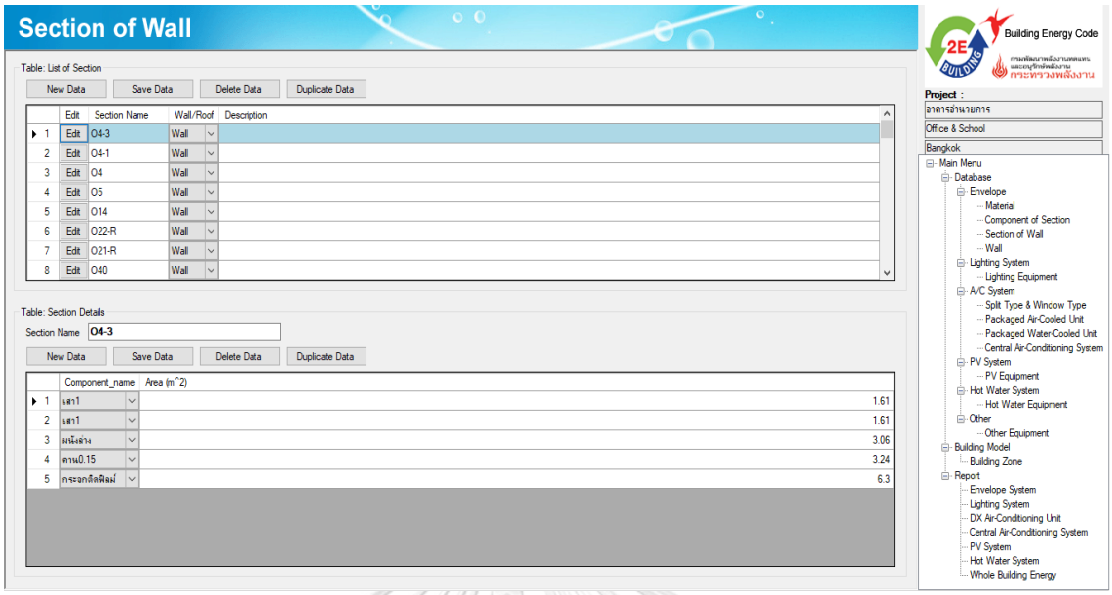
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



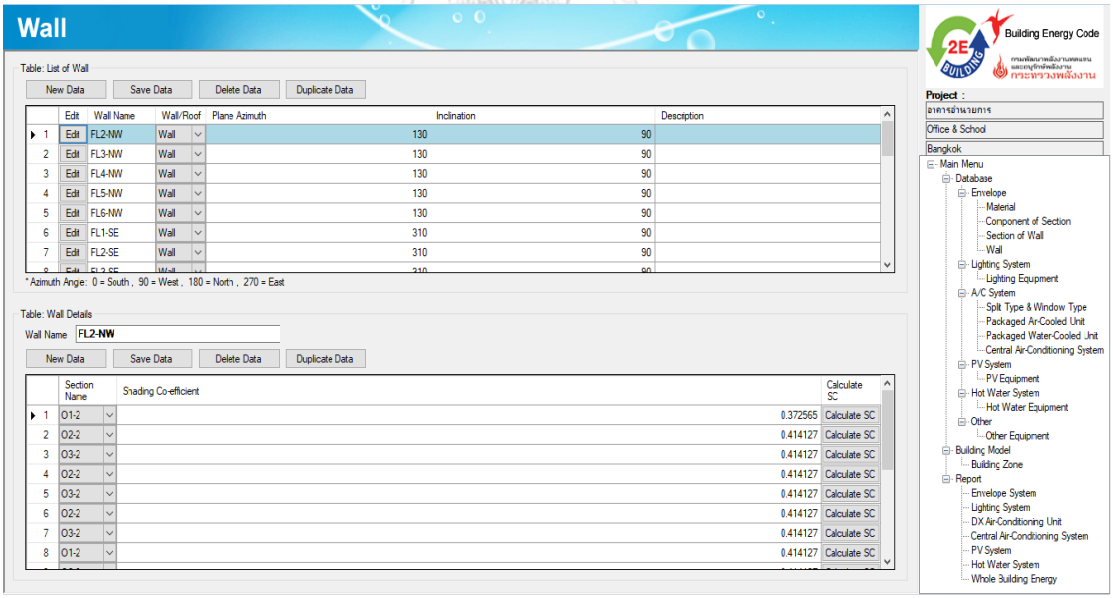
รูปที่ ข.1 ข้อมูลรายละเอียดวัสดุ



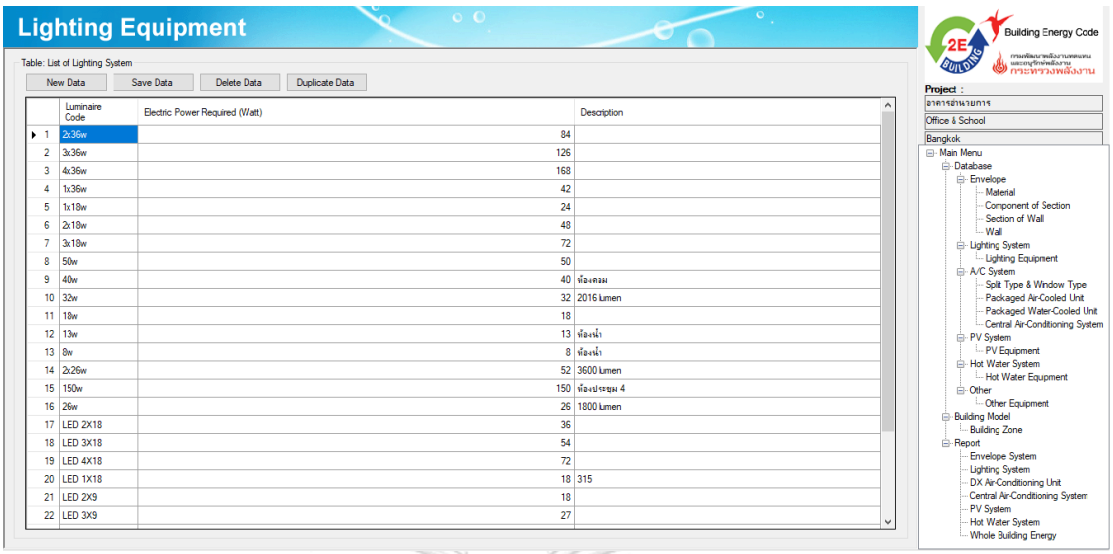
รูปที่ ข.2 ส่วนประกอบของผนัง



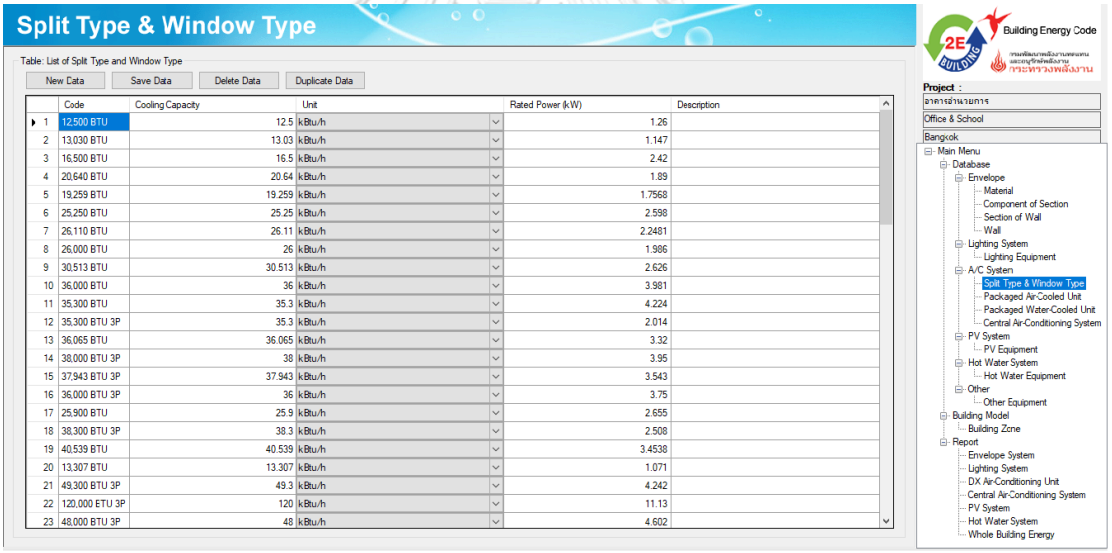
รูปที่ ข.3 รายละเอียดของผนังอาคาร



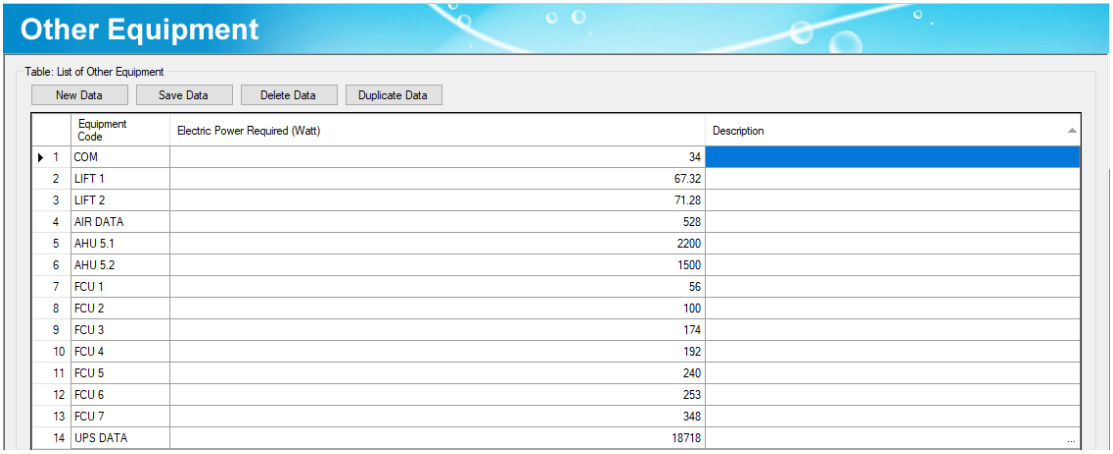
รูปที่ ข.4 รายละเอียดผนังแต่ละด้าน



รูปที่ ข.5 ข้อมูลของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

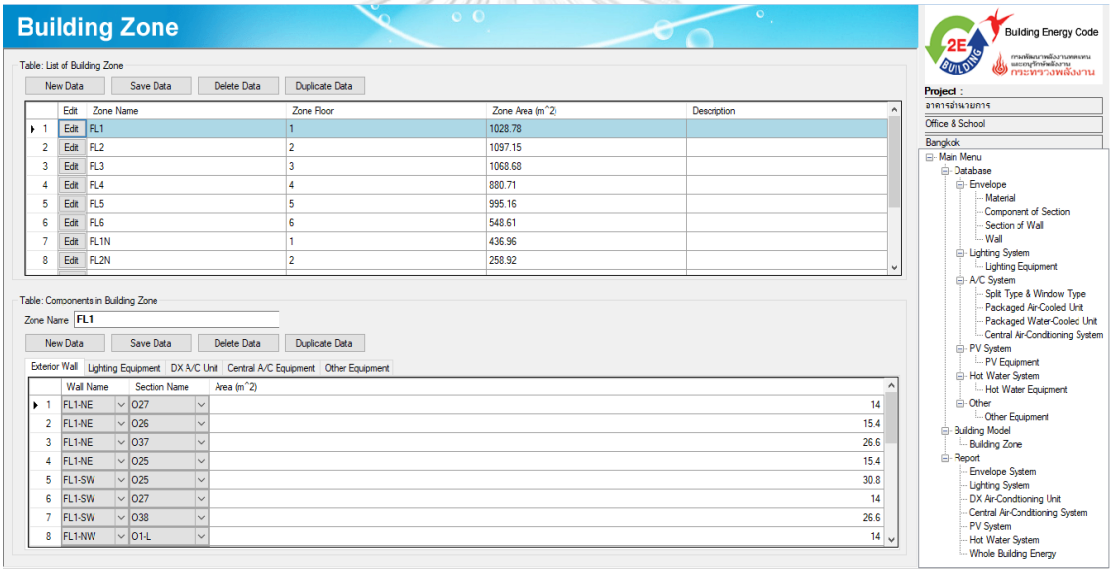


รูปที่ ข.6 ข้อมูลของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน



	Equipment Code	Electric Power Required (Watt)	Description
1	COM	34	
2	LIFT 1	67.32	
3	LIFT 2	71.28	
4	AIR DATA	528	
5	AHU 5.1	2200	
6	AHU 5.2	1500	
7	FCU 1	56	
8	FCU 2	100	
9	FCU 3	174	
10	FCU 4	192	
11	FCU 5	240	
12	FCU 6	253	
13	FCU 7	348	
14	UPS DATA	18718	

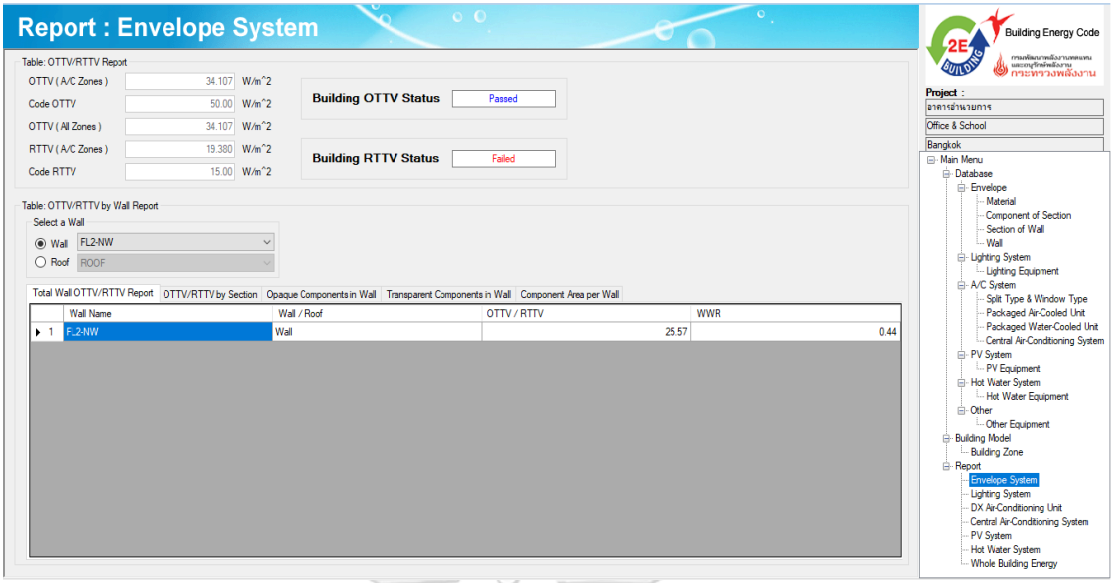
รูปที่ ข.7 ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร



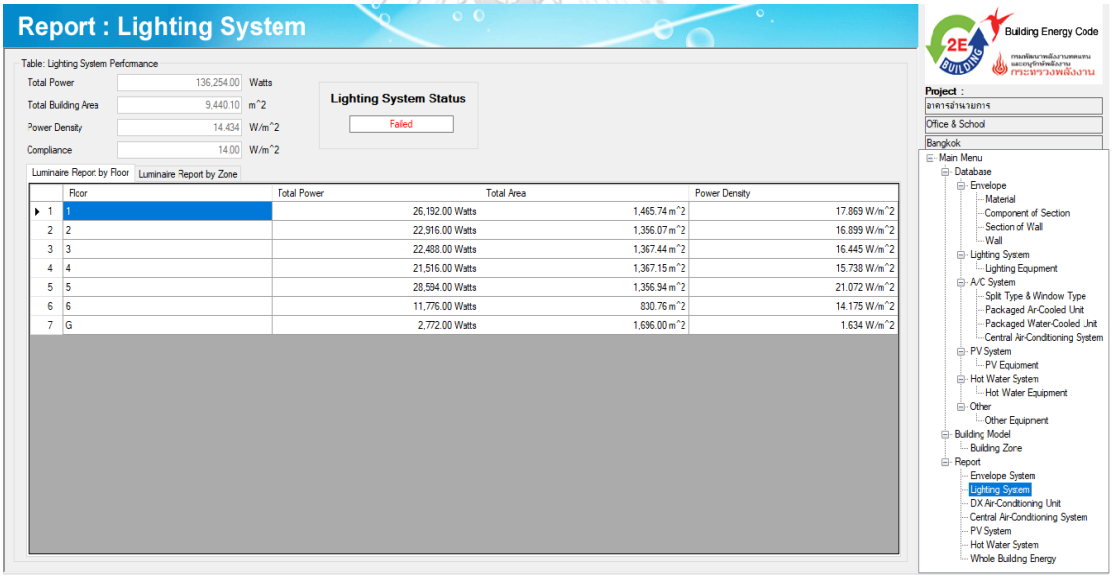
	Edit	Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m^2)	Description
1	Edit	FL1	1	1028.78	
2	Edit	FL2	2	1097.15	
3	Edit	FL3	3	1068.68	
4	Edit	FL4	4	880.71	
5	Edit	FL5	5	995.16	
6	Edit	FL6	6	548.61	
7	Edit	FL1N	1	436.96	
8	Edit	FL2N	2	258.92	

	Wall Name	Section Name	Area (m^2)
1	FL1-NE	O27	14
2	FL1-NE	O26	15.4
3	FL1-NE	O37	26.6
4	FL1-NE	O25	15.4
5	FL1-SW	O25	30.8
6	FL1-SW	O27	14
7	FL1-SW	O38	26.6
8	FL1-NW	O1-L	14

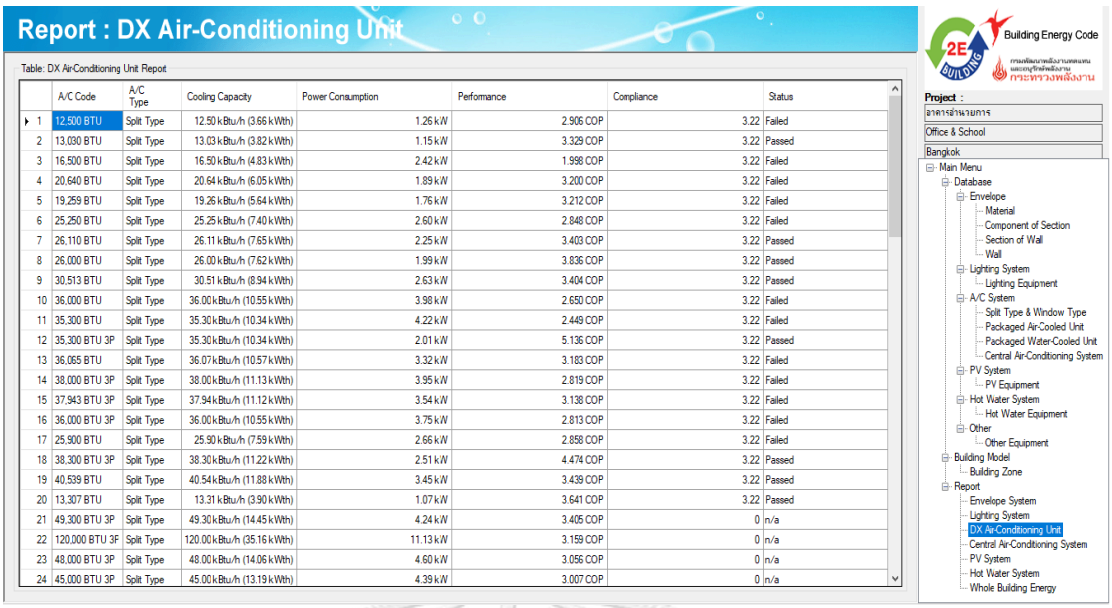
รูปที่ ข.8 ข้อมูลในแต่ละโซนของอาคาร



รูปที่ ข.9 รายงานผลการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร

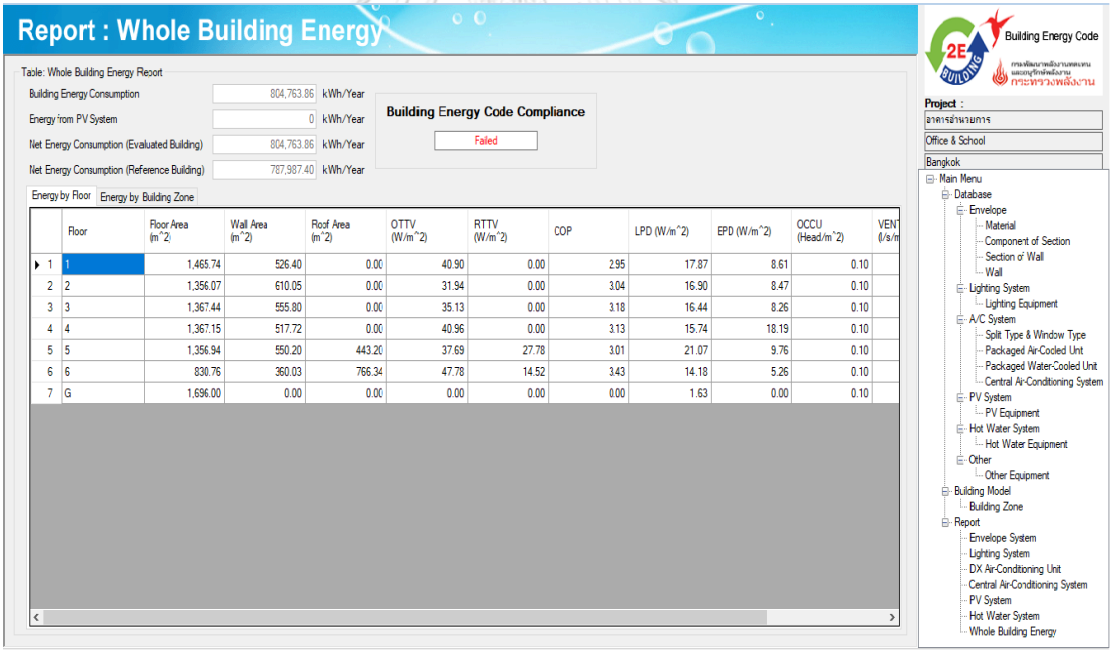


รูปที่ ข.10 รายงานผลค่าการส่องสว่างสูงสุดเฉลี่ย



	A/C Code	A/C Type	Cooling Capacity	Power Consumption	Performance	Compliance	Status
1	12,500 BTU	Split Type	12.50 kBtu/h (3.66 kWth)	1.26 kW	2.906 COP	3.22	Failed
2	13,030 BTU	Split Type	13.03 kBtu/h (3.82 kWth)	1.15 kW	3.329 COP	3.22	Passed
3	16,500 BTU	Split Type	16.50 kBtu/h (4.83 kWth)	2.42 kW	1.998 COP	3.22	Failed
4	20,640 BTU	Split Type	20.64 kBtu/h (6.05 kWth)	1.89 kW	3.200 COP	3.22	Failed
5	19,259 BTU	Split Type	19.26 kBtu/h (5.64 kWth)	1.76 kW	3.212 COP	3.22	Failed
6	25,250 BTU	Split Type	25.25 kBtu/h (7.40 kWth)	2.60 kW	2.848 COP	3.22	Failed
7	26,110 BTU	Split Type	26.11 kBtu/h (7.65 kWth)	2.25 kW	3.403 COP	3.22	Passed
8	26,000 BTU	Split Type	26.00 kBtu/h (7.62 kWth)	1.99 kW	3.836 COP	3.22	Passed
9	30,513 BTU	Split Type	30.51 kBtu/h (8.94 kWth)	2.63 kW	3.404 COP	3.22	Passed
10	36,000 BTU	Split Type	36.00 kBtu/h (10.55 kWth)	3.98 kW	2.650 COP	3.22	Failed
11	35,300 BTU	Split Type	35.30 kBtu/h (10.34 kWth)	4.22 kW	2.449 COP	3.22	Failed
12	35,300 BTU 3P	Split Type	35.30 kBtu/h (10.34 kWth)	2.01 kW	5.136 COP	3.22	Passed
13	36,065 BTU	Split Type	36.07 kBtu/h (10.57 kWth)	3.32 kW	3.183 COP	3.22	Failed
14	38,000 BTU 3P	Split Type	38.00 kBtu/h (11.13 kWth)	3.95 kW	2.819 COP	3.22	Failed
15	37,943 BTU 3P	Split Type	37.94 kBtu/h (11.12 kWth)	3.54 kW	3.138 COP	3.22	Failed
16	36,000 BTU 3P	Split Type	36.00 kBtu/h (10.55 kWth)	3.75 kW	2.813 COP	3.22	Failed
17	25,900 BTU	Split Type	25.90 kBtu/h (7.59 kWth)	2.66 kW	2.858 COP	3.22	Failed
18	38,300 BTU 3P	Split Type	38.30 kBtu/h (11.22 kWth)	2.51 kW	4.474 COP	3.22	Passed
19	40,539 BTU	Split Type	40.54 kBtu/h (11.88 kWth)	3.45 kW	3.439 COP	3.22	Passed
20	13,307 BTU	Split Type	13.31 kBtu/h (3.90 kWth)	1.07 kW	3.641 COP	3.22	Passed
21	49,300 BTU 3P	Split Type	49.30 kBtu/h (14.45 kWth)	4.24 kW	3.405 COP	0	n/a
22	120,000 BTU 3P	Split Type	120.00 kBtu/h (35.16 kWth)	11.13 kW	3.159 COP	0	n/a
23	48,000 BTU 3P	Split Type	48.00 kBtu/h (14.06 kWth)	4.60 kW	3.056 COP	0	n/a
24	45,000 BTU 3P	Split Type	45.00 kBtu/h (13.19 kWth)	4.39 kW	3.007 COP	0	n/a

รูปที่ ข.11 รายงานผลค่าการประเมินศักยภาพด้านพลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน



	Floor	Floor Area (m^2)	Wall Area (m^2)	Roof Area (m^2)	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)	COP	LPD (W/m^2)	EPD (W/m^2)	OCCU (Head/m^2)	VENT (l/s/m
1	1	1,465.74	526.40	0.00	40.90	0.00	2.95	17.87	8.61	0.10	
2	2	1,356.07	610.05	0.00	31.94	0.00	3.04	16.90	8.47	0.10	
3	3	1,367.44	555.80	0.00	35.13	0.00	3.18	16.44	8.26	0.10	
4	4	1,367.15	517.72	0.00	40.96	0.00	3.13	15.74	18.19	0.10	
5	5	1,356.94	550.20	443.20	37.69	27.78	3.01	21.07	9.76	0.10	
6	6	830.76	360.03	766.34	47.78	14.52	3.43	14.18	5.26	0.10	
7	G	1,696.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63	0.00	0.10	

รูปที่ ข.12 รายงานผลการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร

ภาคผนวก ค.

การคำนวณค่าวัสดุ ค่าแรง ของวัสดุที่เลือกศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณค่าวัสดุ ค่าแรง ของวัสดุที่เลือกศึกษา และคำนวณการลงทุน

ในส่วนของการคำนวณมูลค่าการปรับปรุงนั้น จะประกอบด้วยค่าวัสดุ ค่าแรงติดตั้ง และค่ารื้อถอนในกรณีที่มีการรื้อถอน มีรายละเอียดตามตารางดังนี้

ตารางที่ ค.1 ราคาวัสดุและค่าแรงของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงอาคาร

ลำดับ	รายละเอียดวัสดุ	หน่วย	ราคา (บาท)		แหล่งที่มา
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง	
	ฉนวนกันความร้อน				
1	PS Foam 16 กก.ลบ.ม. 2 นิ้ว	แผ่น	69.36	50	บริษัท วันสต๊อกโฮม
2	PS Foam 16 กก.ลบ.ม. 3 นิ้ว	แผ่น	104.04	50	บริษัท วันสต๊อกโฮม
3	PS Foam 16 กก.ลบ.ม. 4 นิ้ว	แผ่น	138.72	50	บริษัท วันสต๊อกโฮม
	หลอดไฟ LED				
1	LED Tube 18 วัตต์	หลอด	315	-	บริษัท Philips
2	LED Tube 9 วัตต์	หลอด	220	-	บริษัท Philips
3	LED Bulb High Lumen 14.5 วัตต์	หลอด	360	-	บริษัท Philips
4	LED Bulb High Lumen 33 วัตต์	หลอด	1,100	-	บริษัท Philips
5	Essential LED Bulb 5 วัตต์	หลอด	90	-	บริษัท Philips
6	Essential LED Bulb 9 วัตต์	หลอด	140	-	บริษัท Philips
7	Master LED PAR 20 วัตต์	หลอด	1,000	-	บริษัท Philips

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.1 ราคาวัสดุและค่าแรงของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงอาคาร (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียดวัสดุ	หน่วย	ราคา (บาท)		แหล่งที่มา
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง	
	<u>เครื่องปรับอากาศ</u>				
1	13,000 บีทียู	เครื่อง	23,000 (รวมค่าแรง)		บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักงบประมาณ
2	20,000 บีทียู	เครื่อง	30,600 (รวมค่าแรง)		บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักงบประมาณ
3	26,000 บีทียู	เครื่อง	36,000 (รวมค่าแรง)		บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักงบประมาณ
4	30,000 บีทียู	เครื่อง	40,200 (รวมค่าแรง)		บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักงบประมาณ
5	32,000 บีทียู	เครื่อง	42,300 (รวมค่าแรง)		บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักงบประมาณ
6	36,000 บีทียู	เครื่อง	47,000 (รวมค่าแรง)		บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักงบประมาณ
7	40,000 บีทียู	เครื่อง	51,200 (รวมค่าแรง)		บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักงบประมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นาย ยชนา เชาวนะกมล
วัน เดือน ปี เกิด	16 กรกฎาคม 2531
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	นวมินทร์ 32 ถนน นวมินทร์ แขวง นวมินทร์ เขต บึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY