การจัดทำสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา
กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาววริศรา ทัศนสุวรรณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INVERSE MODELING FOR ENERGY CONSUMPTION PREDICTION IN HIGHER EDUCATIONAL BUILDINGS: A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY

Miss Varisara Tasanasuwan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดทำสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นางสาววริศรา ทัศนสุวรรณ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

วริศรา ทัศนสุวรรณ : การจัดทำสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (INVERSE MODELING FOR ENERGY CONSUMPTION PREDICTION IN HIGHER EDUCATIONAL BUILDINGS: A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร, 197 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา และจัดทำแบบจำลองประเภท Inverse modeling เพื่อทำนายการใช้พลังงานในอาคารด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการวิจัยประกอบด้วยการสำรวจอาคารและการเก็บรวบรวมปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยพิจารณาจากข้อมูลที่สามารถเก็บรวบรวมได้ในช่วงปี พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2560 และศึกษาจากกลุ่มอาคารกรณีศึกษาอาคารเรียน และอาคารสำนักงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์สมการจำลอง ได้แก่ ข้อมูลกายภาพอาคาร การใช้พลังงานของระบบประกอบอาคารและอุปกรณ์ไฟฟ้า ผู้ใช้งานและระยะเวลาการใช้งานอาคาร และสภาพอากาศ ผลการศึกษา พบว่า มี 11 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียนและอาคารสำนักงานในมหาวิทยาลัย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย ขนาดพื้นที่ส่วนเรียนบรรยาย ขนาดพื้นที่ส่วนสตูดิโอ ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่เฉลี่ย (LPD) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่เฉลี่ย (EPD) จำนวนนักเรียนต่อวัน ชั่วโมงทำการของสำนักงานต่อเดือน ชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน และชั่วโมงสตูดิโอต่อเดือน โดยสมการแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มประเภทอาคาร ได้แก่ อาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ อาคารเรียนรวม อาคารเรียนและสำนักงาน และอาคารสำนักงานทั่วไป สมการจำลองการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภทมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.86 0.78 0.25 และ 0.99 ตามลำดับ ($p < 0.05$) จากการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ พบว่า สมการจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 3,696.95 kWh 4,618.76 kWh 22,774.30 kWh และ 6,284.83 kWh ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (CV-RMSE) เท่ากับร้อยละ 4.93 12.22 27.82 และ 6.81 ตามลำดับ และมีค่าคลาดเคลื่อนจากความเอนเอียงเฉลี่ย (MBE) เท่ากับ 18.27 kWh - 2.84 kWh 1.52 kWh และ - 50.00 kWh ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้พลังงานจริง จึงสามารถนำสมการจำลองไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดการด้านพลังงานในอาคารเรียนและอาคารสำนักงานในสถาบันอุดมศึกษาได้

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

6073335025 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS: INVERSE MODELING / ENERGY CONSUMPTION PREDICTION / HIGHER EDUCATIONAL BUILDINGS / MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS / BUILDING ENERGY MANAGEMENT

VARISARA TASANASUWAN: INVERSE MODELING FOR ENERGY CONSUMPTION PREDICTION IN HIGHER EDUCATIONAL BUILDINGS: A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY. ADVISOR: ASSOC. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 197 pp.

The purpose of this research was to study the relationship between relative factors impacting on energy consumption in educational buildings and to develop Inverse Modeling for building energy consumption using multiple regression analysis in order to improve energy efficiency and management in higher educational buildings. Case studies of lecture and office buildings in Chulalongkorn University were specifically selected. The research collected 24-month related factors from the available data in 2016 – 2017. By surveying and investigating on provided building data, the factors which were used to analyze include architectural data, building system, occupancy, operation hours, and climate. The results showed that 11 factors impacting on building energy consumption were average temperature, lecture room, studio area, air-conditioned area, cooling power density, lighting power density (LPD), equipment power density (EPD), the number of students per day, office hours per month, lecture hours per month and studio hours per month. The building energy consumption models were divided into 4 categories following the building types which are educational studio, lecture building, lecture & office building and office building. The correlation coefficient of the selected models were 0.89, 0.78, 0.25, and 0.99 respectively. ($p < 0.05$) Several statistical errors were tested and showed that the root mean square error (RMSE) of selected models were 3,696.95 kWh 4,618.76 kWh 22,774.30 kWh and 6,284.83 kWh, respectively. The co-efficient of variation of RMSE (CV-RMSE) of selected models were 4.93% 12.22% 27.82% and 6.81%, respectively. The mean bias error (MBE) of selected models were 18.27 kWh - 2.84 kWh 1.52 kWh and - 50.00 kWh, respectively. The result of this research can be applied to building energy management in educational buildings to improve energy efficiency in the future.

Department: Architecture Student's Signature .....
Field of Study: Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้เสนอแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

อนึ่ง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการอนุเคราะห์ข้อมูลอาคารจากคณะและหน่วยงานต่างๆ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สำนักบริหารระบบกายภาพทุกท่านที่มีส่วนผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ นายบรรพต ทัศนสุวรรณ (บิดา) ด้วยความเคารพรักและอาลัยยิ่ง และนางยวนใจ ทัศนสุวรรณ (มารดา) ผู้ซึ่งสนับสนุนและคอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา รวมถึงพี่น้องและเพื่อนร่วมรุ่นทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย 4

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย 4

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 รูปแบบการใช้พลังงานและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร 6

2.2 การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร 7

2.2.1 แนวทางการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร 8

2.2.2 ขั้นตอนในการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร 11

2.3 การปรับเทียบผลการจำลองการใช้พลังงาน 20

2.3.1 Forward Modeling 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.3.2 Backward Modeling 20
2.4 การตรวจวัดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน 21
2.4.1 Measurement & Verification 21
2.4.2 การตรวจวัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 23
2.4.3 มาตรฐานการตรวจพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตาม IPMVP 24
2.5 ประเภทอาคารและการใช้พลังงานในมหาวิทยาลัย 26
2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารด้วยการวิเคราะห์สมการแบบถดถอย 29
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร 31
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 37
3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 37
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย 39
3.3 ประชากรเป้าหมาย 39
3.4 การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง 40
3.5 การเก็บรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย 40
3.6 การคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการถดถอยพหุคูณ 41
3.7 การจัดทำแบบจำลองใช้พลังงานแบบ Inverse Modeling 42
3.7.1 เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล 42
3.7.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณด้วย SPSS 42
3.7.3 ตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนาย 43
3.7.4 การทดสอบความแม่นยำของสมการทำนาย 44
3.8 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร (Sensitivity) 44
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล 45
4.1 ข้อมูลพื้นฐานของอาคาร 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.1.1 อาคารสถาปัตยกรรม 1 และอาคารนารถ โพธิประสาท 46
4.1.2 อาคารพินิตประชานารถ 47
4.2.3 อาคารจุฬาพัฒน์ 13 48
4.2.4 อาคารบรมราชกุมารี 49
4.2.5 อาคารเกษม อุทยานิน (รัฐศาสตร์ 60 ปี) 50
4.2.6 อาคารจุฬาพัฒน์ 1 51
4.2.7 อาคารจามจุรี 5 52
4.2 ปัจจัยและลักษณะการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา 53
4.2.1 กรณีศึกษาอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ: อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 53
4.2.2 กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม: อาคารพินิตประชานารถ 56
4.2.3 กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม: อาคารจุฬาพัฒน์ 13 58
4.2.4 กรณีศึกษาอาคารเรียนและสำนักงาน: อาคารเกษม อุทยานิน (รัฐศาสตร์ 60 ปี) 61
4.2.5 กรณีศึกษาอาคารเรียนและสำนักงาน: อาคารบรมราชกุมารี 64
4.2.6 กรณีศึกษาอาคารสำนักงาน: อาคารจุฬาพัฒน์ 1 66
4.2.7 กรณีศึกษาอาคารสำนักงาน: อาคารจามจุรี 5 68
4.2.8 ปัจจัยด้านสภาพอากาศ 69
4.3 การคัดเลือกตัวแปรและการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ 70
4.3.1 กลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ กรณีศึกษา อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 70
4.3.2 กลุ่มอาคารเรียนรวม กรณีศึกษา อาคารพินิจประชานารถ และอาคารจุฬาพัฒน์ 13 74
4.3.3 กลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน กรณีศึกษา อาคารบรมราชกุมารี และอาคารเกษม อุทยานิน 80
4.3.4 กลุ่มอาคารสำนักงานทั่วไป กรณีศึกษา อาคารจุฬาพัฒน์ 1 และอาคารจามจุรี 5 87
4.4 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยแบบจำลอง Inverse Modeling 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.4.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร (Sensitivity)..... 94
4.4.2 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการสตูดิโอ 95
4.4.3 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม..... 96
4.4.4 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน 99
4.4.5 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 101
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 102
5.1 สรุปผลการสำรวจและเก็บข้อมูลอาคาร 102
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา 105
5.2.1 สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ..... 105
5.2.2 สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม..... 106
5.2.3 สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน..... 107
5.2.4 สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานทั่วไป..... 107
5.3 สรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองการใช้พลังงาน..... 109
5.3.1 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการสตูดิโอ..... 109
5.3.2 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม 109
5.3.3 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน..... 110
5.3.4 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 110
5.4 ข้อเสนอแนะ..... 111
5.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย..... 111
5.4.2 การศึกษาวิจัยในอนาคต..... 112
รายการอ้างอิง..... 114
ภาคผนวก..... 117
ภาคผนวก ก ตัวอย่างผลการสำรวจระบบปรับอากาศ..... 118

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาคผนวก ข ตัวอย่างผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 136

ภาคผนวก ค ตัวอย่างผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า 166

ภาคผนวก ง ตัวอย่างการสำรวจลักษณะการใช้งานอาคาร 184

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 197

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 วิธีการประเมินการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร 10
ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบรูปแบบการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร 18
ตารางที่ 3 รายละเอียดตัวแปรในการเก็บข้อมูล 40
ตารางที่ 4 กลุ่มอาคารเรียนจำนวน 5 อาคาร 45
ตารางที่ 5 กลุ่มอาคารสำนักงานจำนวน 2 อาคาร 46
ตารางที่ 6 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารพินิตประชานารถ 57
ตารางที่ 7 ชั่วโมงเรียนสะสม และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวันของอาคารพินิตประชานารถ 58
ตารางที่ 8 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารจุฬาพัฒน์ 13 60
ตารางที่ 9 ชั่วโมงเรียนสะสม และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวันของอาคารจุฬาพัฒน์ 13 61
ตารางที่ 10 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารเกษม อุทยานิน 62
ตารางที่ 11 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารเกษม อุทยานิน 63
ตารางที่ 12 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารบรมราชกุมารี 65
ตารางที่ 13 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารบรมราชกุมารี 66
ตารางที่ 14 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ 70
ตารางที่ 15 Model Summary Details ของกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ 70
ตารางที่ 16 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของสมการของกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ ... 71
ตารางที่ 17 Linear relationship Test Result ของกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ 71
ตารางที่ 18 การทดสอบความแม่นยำของสมการของกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ 73
ตารางที่ 19 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม 74
ตารางที่ 20 สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลของอาคารเรียนรวม 75
ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's Correlation) 75
ตารางที่ 22 Model Summary Details ของกลุ่มอาคารเรียนรวม 76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของสมการของกลุ่มอาคารเรียนรวม 77
ตารางที่ 24 Linear relationship Test Result ของกลุ่มอาคารเรียนรวม 77
ตารางที่ 25 การตรวจสอบความแม่นยำของสมการของกลุ่มอาคารเรียนรวม 78
ตารางที่ 26 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน 81
ตารางที่ 27 สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน..... 82
ตารางที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน..... 82
ตารางที่ 29 Model Summary Details ของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน 83
ตารางที่ 30 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของสมการของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน..... 84
ตารางที่ 31 Linear relationship Test Result ของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน 84
ตารางที่ 32 การทดสอบความแม่นยำของสมการ 85
ตารางที่ 33 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 88
ตารางที่ 34 สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลของอาคารสำนักงาน 88
ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอาคารสำนักงาน 89
ตารางที่ 36 Model Summary Details ของอาคารสำนักงาน..... 90
ตารางที่ 37 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของสมการของอาคารสำนักงาน 90
ตารางที่ 38 Linear relationship Test Result ของอาคารสำนักงาน 91
ตารางที่ 39 การทดสอบความแม่นยำของสมการของอาคารสำนักงาน..... 91
ตารางที่ 40 สรุปรายละเอียดปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารจากการเก็บข้อมูล 104
ตารางที่ 41 สรุปรายละเอียดตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในสมการถดถอย..... 108

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ามาตรฐานอ้างอิงการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม PRISM 13

รูปที่ 2 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ามาตรฐานการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธี Change-Point regression ด้วยโปรแกรม EModel 14

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 27

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงในอาคารมหาวิทยาลัย และการใช้พลังงานตามมาตรฐาน NCM 28

รูปที่ 5 ขั้นตอนที่ใช้ในการวิจัยพัฒนาวิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่มด้านการใช้พลังงานในอาคาร 33

รูปที่ 6 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 38

รูปที่ 7 ผังพื้นชั้น 3 สถาปัตยกรรม 1 และอาคารนารถ โพธิประสาท 46

รูปที่ 8 ผังพื้นชั้น 11 ของอาคารพินิตประชานารถ 47

รูปที่ 9 ผังพื้นชั้น 8 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 13 48

รูปที่ 10 ผังพื้นชั้น 10 ของอาคารบรมราชกุมารี 49

รูปที่ 11 ผังพื้นชั้น 8 ของอาคารเกษม อุทยานิน 50

รูปที่ 12 ผังพื้นชั้น 3 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 1 51

รูปที่ 13 ผังพื้นชั้น 4 ของอาคารจามจุรี 5 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 1 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ซ้าย) 47
แผนภูมิที่ 2 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ขวา) 47
แผนภูมิที่ 3 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารพินิตประชานารถ (ซ้าย) 48
แผนภูมิที่ 4 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารอาคารพินิตประชานารถ (ขวา) 48
แผนภูมิที่ 5 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารจุฬาพัฒน์ 13 (ซ้าย) 49
แผนภูมิที่ 6 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารจุฬาพัฒน์ 13 (ขวา) 49
แผนภูมิที่ 7 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารบรมราชกุมารี (ซ้าย) 50
แผนภูมิที่ 8 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารบรมราชกุมารี (ขวา) 50
แผนภูมิที่ 9 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารเกษม อุทยานิน (ซ้าย) 51
แผนภูมิที่ 10 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารเกษม อุทยานิน (ขวา) 51
แผนภูมิที่ 11 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารจุฬาพัฒน์ 1 (ซ้าย) 52
แผนภูมิที่ 12 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารจุฬาพัฒน์ 1 (ขวา) 52
แผนภูมิที่ 13 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารจามจุรี 5 (ซ้าย) 53
แผนภูมิที่ 14 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารจามจุรี 5 (ขวา) 53
แผนภูมิที่ 15 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 54
แผนภูมิที่ 16 ชั่วโมงการใช้งานอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 55
แผนภูมิที่ 17 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารพินิตประชานารถ
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 56
แผนภูมิที่ 18 ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายสะสมในแต่ละช่วงเวลา
อาคารพินิตประชานารถ 58
แผนภูมิที่ 19 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจุฬาพัฒน์ 13
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 59
แผนภูมิที่ 20 ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายสะสมในแต่ละช่วงเวลา อาคารจุฬาพัฒน์ 13 60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 21 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารเกษม อุทยานิน
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 61

แผนภูมิที่ 22 ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายสะสมในแต่ละช่วงเวลา อาคารเกษม อทยานิน 63

แผนภูมิที่ 23 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารบรมราชกุมารี
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 64

แผนภูมิที่ 24 ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายสะสมในแต่ละช่วงเวลา อาคารบรมราชกุมารี 66

แผนภูมิที่ 25 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจุฬาพัฒน์ 1
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 67

แผนภูมิที่ 26 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจามจุรี 5
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 68

แผนภูมิที่ 27 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกอาคารประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 69

แผนภูมิที่ 28 การกระจายตัวของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการจำลอง 73

แผนภูมิที่ 29 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 73

แผนภูมิที่ 30 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
กลุ่มอาคารเรียนรวม 79

แผนภูมิที่ 31 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารพินิจประชานารถ 79

แผนภูมิที่ 32 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารจุฬาพัฒน์ 13 80

แผนภูมิที่ 33 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารพินิจประชานารถ 80

แผนภูมิที่ 34 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารจุฬาพัฒน์ 13 80

แผนภูมิที่ 35 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
กลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 36 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารบรมราชกุมารี 86
แผนภูมิที่ 37 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารเกษม อุทยานิน 87
แผนภูมิที่ 38 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารบรมราชกุมารี (ซ้าย) 87
แผนภูมิที่ 39 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารเกษม อุทยานิน (ขวา) 87
แผนภูมิที่ 40 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารจุฬาพัฒน์ 1 92
แผนภูมิที่ 41 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารจามจุรี 5 92
แผนภูมิที่ 42 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
กลุ่มอาคารสำนักงาน 93
แผนภูมิที่ 43 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารจุฬาพัฒน์ 1 (ซ้าย) 93
แผนภูมิที่ 44 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย
อาคารจามจุรี 5 (ขวา) 93
แผนภูมิที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่ากำลังไฟฟ้า LPD
อาคารเรียนประเภทต่างๆ 94
แผนภูมิที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่ากำลังไฟฟ้า EPD
อาคารเรียนประเภทต่างๆ 95
แผนภูมิที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า LPD และ EPD 96
แผนภูมิที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า EPD ในอาคารเรียนรวม
ประจำปี พ.ศ. 2563 97
แผนภูมิที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า EER ในอาคารเรียนรวม 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า LPD ในอาคารเรียนและสำนักงาน ประจำปี พ.ศ. 2563..... 100

แผนภูมิที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า EPD ในอาคารเรียนและสำนักงาน ประจำปี พ.ศ. 2563..... 101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงระยะเวลาเกือบ 30 ปีที่ผ่านมา การใช้พลังงานในประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และความต้องการด้านพลังงานของประเทศไทยที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี (International Energy Agency, 2015) ซึ่งการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศเกิดจาก 3 ภาคส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม ภาคการคมนาคม และภาคอาคารและสิ่งปลูกสร้าง (ASEAN Centre for Energy, 2011) จากข้อมูลสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยปี 2559 พบว่ามีการใช้พลังงานในภาคธุรกิจการค้าและที่อยู่อาศัยสูงถึงร้อยละ 21.6 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) ทั้งนี้ การสร้างแหล่งผลิตพลังงาน เช่น โรงไฟฟ้า หรือเขื่อนผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นใช้งบประมาณมาก สร้างภาระแก่ประเทศในการลงทุนเพื่อจัดหาพลังงานทั้งในประเทศและนอกประเทศ รวมถึงสร้างผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมจากการผลิตพลังงานจากโรงไฟฟ้า และหากปริมาณความต้องการพลังงานยังคงสูงขึ้นถึงระดับที่ไม่สามารถจัดหาแหล่งผลิตพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ ความเสียหายจากการขาดแคลนพลังงานจะเกิดขึ้นทันที

ปัจจุบัน ประเทศไทยตระหนักถึงความสำคัญของการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รัฐบาลออกกฎระเบียบเพื่อควบคุมการใช้พลังงาน และรณรงค์ให้ประชาชนมีจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งการอนุรักษ์พลังงานในอาคารเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับการส่งเสริมให้เกิดขึ้นในหน่วยงานและองค์กรต่างๆมาโดยตลอด เนื่องจากภาคอาคารสิ่งปลูกสร้างเป็นภาคส่วนที่มีแนวโน้มในการอนุรักษ์พลังงานได้มากหากประสบผลสำเร็จ จะเห็นได้จากพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 พระราชกฤษฎีกา กำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 และกฎกระทรวงในเรื่องการจัดการพลังงานอาคารควบคุม ซึ่งกำหนดหลักเกณฑ์และการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2550 เพื่อควบคุมการใช้พลังงานให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยประเภทของอาคารที่อยู่ในขอบเขตของการควบคุม ได้แก่ สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงาน อาคารชุด อาคารชุมนุมคน โรงมหรสพ โรงแรม สถานบริการ และศูนย์การค้า (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556)

มหาวิทยาลัยเป็นองค์กรที่ให้ความสำคัญในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร เนื่องจากมหาวิทยาลัยเป็นสถานที่ที่มีลักษณะคล้ายกับเมืองขนาดย่อม ประกอบด้วย กลุ่มอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาธารณะที่มีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน และมีผู้ใช้งานอาคารสถานที่เป็นจำนวนมากเกือบตลอดทั้งปี ทั้งนิสิตนักศึกษา คณาจารย์ บุคลากร และบุคคลทั่วไป มหาวิทยาลัยไม่ได้มีเพียงกิจกรรมเพื่อการศึกษาและการวิจัยสำหรับนิสิตหรือคณาจารย์เท่านั้น แต่ยังมีกิจกรรมสาธารณะสำหรับบุคคลภายนอก ดังนั้น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษาจึงมีความสำคัญมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการกำหนดวิสัยทัศน์ที่จะพัฒนามหาวิทยาลัยเพื่อมุ่งไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนตั้งแต่ในปีพ.ศ. 2555 ต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน โดยมุ่งเน้นในด้านการอนุรักษ์พลังงาน และสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีภายในมหาวิทยาลัย (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555) อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีลักษณะกิจกรรมการใช้สอยพื้นที่หลากหลาย ซึ่งสามารถแบ่งประเภทอาคารออกเป็นทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่ อาคารสำนักงาน อาคารเรียนรวม อาคารปฏิบัติการสตูดิโอ อาคารปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ หอพักนิสิต และอาคารอเนกประสงค์ เนื่องจากการใช้งานในแต่ละอาคารที่แตกต่างกัน จึงควรจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัยแต่ละประเภท เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารที่มีรูปแบบการใช้งานคล้ายคลึงกัน และเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการการใช้พลังงานในอาคาร โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานที่แตกต่างกันในอาคารแต่ละหลัง เช่น พื้นที่ปรับอากาศ จำนวนผู้ใช้งานอาคาร จำนวนวัน และเวลาทำการที่แตกต่างกัน เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การจัดทำแบบจำลองด้านการใช้พลังงานโดยทั่วไปนั้น สามารถพบได้ 2 รูปแบบ คือ Forward modeling และ Inverse modeling (ASHRAE, 2001) ซึ่งมาตรฐานและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าการทำ Forward modeling หรือการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น มีความซับซ้อนมากกว่าการทำ Inverse modeling ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานจากข้อมูลในปีที่ผ่านมา เนื่องจากการทำ Forward modeling ต้องการข้อมูลในการจำลองที่มีความละเอียดสูงในระดับรายชั่วโมง และใช้เวลาในการจัดทำค่อนข้างมากซึ่งบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการอาคารของมหาวิทยาลัยไม่สามารถทำได้ จึงต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการจัดทำ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการพลังงานที่มากขึ้น ในขณะที่ความแม่นยำของผลการจำลองที่ได้ของแบบจำลองทั้ง 2 ประเภท มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าความถูกต้องของข้อมูลอยู่ที่ระดับปานกลาง (ASHRAE, 2001) (Efficiency Valuation Organization, 2014) นอกจากนี้รูปแบบการเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยยังคงมีความละเอียดของข้อมูลอยู่ที่ระดับรายเดือน ซึ่งเพียงพอต่อการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานด้วยวิธี Inverse modeling

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัยด้วยวิธี Inverse modeling ซึ่งสอดคล้องกับการดำเนินการและฐานข้อมูลของมหาวิทยาลัย เพื่อส่งเสริมการจัดการด้านพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานภายใน

อาคารของมหาวิทยาลัยให้มีมาตรฐาน และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารมาวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางการปรับปรุง และควบคุมปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 สมมติฐานของการวิจัย

การจำลองการใช้พลังงานสำหรับอาคารในมหาวิทยาลัยด้วยวิธี Inverse Modeling สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย และทรัพยากรบุคคล ทราบถึงศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย รวมถึงแนวทางในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และรูปแบบการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย

1.3.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานประเภท Inverse Modeling สำหรับอาคารในมหาวิทยาลัยที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานที่แตกต่างกัน

1.3.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย

1.3.4 เพื่อเสนอแนะแนวทางในการลดการใช้พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาเฉพาะอาคารในส่วนการศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยคัดเลือกจากอาคารที่เป็นอาคารสาธารณะที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก และคาดว่าจะมีการใช้พลังงานปริมาณมาก ได้แก่ อาคารประเภทสำนักงาน (Office) และอาคารเรียน (Lecture building)

1.4.2 ศึกษาเฉพาะอาคารที่มีข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าครบถ้วนสมบูรณ์ ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลาทั้งหมด 24 เดือน

1.4.3 พิจารณาข้อมูลที่เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการอาคารสามารถเก็บได้จริง โดยไม่ต้องทำการตรวจวัดแบบละเอียด (Detailed Audit)

1.4.4 ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร ได้แก่ ข้อมูลกายภาพอาคาร ผู้ใช้งานและระยะเวลาการใช้งานอาคาร การใช้พลังงานของระบบประกอบอาคารและอุปกรณ์ไฟฟ้า และสภาพอากาศ

1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานจากการทำนายการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองการใช้พลังงาน (Inverse Modeling)

1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล มีอุปสรรคด้านความสมบูรณ์ของข้อมูล อาคารมีรูปแบบการเก็บข้อมูลที่หลากหลายไปจนถึงไม่เคยมีการบันทึกข้อมูลระบบประกอบอาคารต่างๆ ทำให้ต้องมีการเดินสำรวจ นอกจากนี้ เนื่องการระยะเวลาอันจำกัดในการเก็บรวบรวมข้อมูล จึงต้องคัดเลือกจากอาคารกรณีศึกษาซึ่งยินยอมให้เข้าสำรวจอาคารและมีการเก็บบันทึกข้อมูลตามเป้าหมายของการวิจัยอย่างครบถ้วนเท่านั้น

1.5.2 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อาคารส่วนใหญ่มีเพียงข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งอาคารแบบรายเดือน โดยไม่มีการแยกมิเตอร์ไฟฟ้าตามระบบประกอบอาคารต่างๆ และพบว่า การใช้ไฟฟ้าในหลายอาคารที่มีความผิดปกติที่ไม่สามารถอธิบายได้ เนื่องจากผู้ดูแลอาคารไม่ได้มีการจดบันทึกข้อมูลไว้อย่างเป็นระบบ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ปัจจัยให้มีความละเอียดเท่าที่ควร

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยประกอบด้วยระเบียบวิธีการศึกษา ดังต่อไปนี้

1.6.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.6.2 การศึกษาวิจัยนำร่อง

1.6.3 การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคารในมหาวิทยาลัย

1.6.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ และการรายงานผล

1.6.4.1 จัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธี Inverse modeling

1.6.4.2 ตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองการใช้พลังงาน

1.6.4.3 ศึกษาแนวทางการลดการใช้พลังงานในอาคาร

1.6.4.4 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะแนวทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และรูปแบบการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย

1.7.2 ได้แบบจำลองการใช้พลังงาน (Inverse Modeling) และสามารถนำแบบจำลองการใช้พลังงานสำหรับอาคารในมหาวิทยาลัยไปใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.7.3 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารในมหาวิทยาลัย

1.7.4 ทราบถึงศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย และแนวทางในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

1.7.5 ได้รับแนวทางการลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมนี้มุ่งเน้นเพื่อสืบค้นแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา โดยจากการทบทวนวรรณกรรม สามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 รูปแบบการใช้พลังงานและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

2.2 การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร

2.3 การปรับเทียบผลการจำลองการใช้พลังงาน

2.4 การตรวจวัดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน

2.5 ประเภทอาคารและการใช้พลังงานในมหาวิทยาลัย

2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารด้วยการวิเคราะห์สมการแบบถดถอย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร

2.1 รูปแบบการใช้พลังงานและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

จากการทบทวนวรรณกรรม การใช้พลังงานในอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ **ระบบปรับอากาศ** เป็นระบบที่ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย ซึ่งสภาพอากาศในปัจจุบัน อุณหภูมิของอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้นจนการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติอาจไม่เพียงพอ จึงมีการใช้ระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง แสงสว่างเป็นปัจจัยสำคัญในการมองเห็น และส่งผลต่อความสามารถในการทำงาน อีกทั้งส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ระบบไฟฟ้าแสงสว่างจึงมีความจำเป็นและควรได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมตามรูปแบบการใช้งาน

อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ลิฟต์ บันไดเลื่อน ปั๊มน้ำ และอุปกรณ์ไฟฟ้าในสำนักงาน โดยสัดส่วนและปริมาณการใช้พลังงานในอาคารจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นประเภทของอาคาร ตำแหน่งที่ตั้ง ลักษณะการออกแบบอาคาร ความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ช่วงเวลา และระยะเวลาการใช้งาน เป็นต้น

จากการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ พบว่า การใช้พลังงานในอาคารมีกลุ่มตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน คือ ตัวแปรในกลุ่มที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศ เป็นตัว

แปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อกลุ่มตัวอาคารและระบบอาคาร และกลุ่มผู้ใช้อาคารและการใช้งาน โดยที่ปัจจัยทั้งหมดจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร (สไบทิพย์ บุญยงค์, 2551) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ดังต่อไปนี้

2.1.1 กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย

2.1.1.1 องค์ประกอบด้านดินฟ้าอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และสภาพท้องฟ้า โดยมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแบ่งวงจรเวลาแบบกลางวัน - กลางคืน และวงจรแบบฤดูกาล

2.1.1.2 องค์ประกอบด้านที่ตั้ง ได้แก่ พืชพรรณ น้ำ เนินดิน สภาพแวดล้อมเฉพาะ (microclimate)

2.1.2 กลุ่มตัวแปรด้านอาคารและระบบอาคาร ประกอบด้วย

2.1.2.1 องค์ประกอบด้านอาคาร หมายถึง รูปร่างและรูปทรงอาคาร ตำแหน่งที่ตั้งส่วนประกอบของเปลือกอาคาร ค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านเปลือกอาคาร (U value) ตำแหน่งการติดตั้งฉนวน สีของผนังคุณสมบัติของวัสดุหน้าต่างและการควบคุมแสงอาทิตย์ เป็นต้น

2.1.2.2 องค์ประกอบด้านระบบอาคาร หมายถึง ระบบหรือเครื่องกลที่ใช้ในอาคารเพื่อสร้างสภาวะสบาย

2.1.3 กลุ่มตัวแปรด้านผู้ใช้อาคารและการใช้งาน ประกอบด้วย ประเภทผู้ใช้อาคาร รูปแบบการใช้งานหรือลักษณะของกิจกรรมต่างๆ ความสบายที่ผู้ใช้อาคารต้องการตลอดจนการใช้งานและการควบคุมระบบภายในอาคาร

2.2 การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร

การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร หมายถึง กระบวนการวางแผนการใช้พลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการใช้ให้น้อยและสุดไปจนถึงการงดใช้ ตราบเท่าที่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของอาคาร และก่อผลเสียทางสุขภาพของผู้ใช้อาคาร โดยประสิทธิภาพ (Efficiency) ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1) Efficient purchasing 2) Efficient equipment และ 3) Efficient operation (Herzog, 1997)

2.2.1 แนวทางการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

จากการศึกษาของ W. Chung (2011) และการศึกษาของ Gao and Malkawi (2014) สามารถจำแนกวิธีการประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคาร ออกได้ทั้งหมด 8 ประเภท ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 การประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (Simple normalization) เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารอย่างง่าย แต่มีขอบเขตที่จำกัดที่อาจประเมินจากพื้นที่อาคารหรือจำนวนชั่วโมงปฏิบัติการ เป็นต้น และมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง

2.2.1.2 วิธีการประเมินแบบให้คะแนน (Points-based rating systems) เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ด้วยเปรียบเทียบมาตรฐานจากเกณฑ์ต่างๆ เช่น เกณฑ์ LEED ที่อ้างอิงการให้คะแนนจากมาตรฐาน ASHRAE 90.1

2.2.1.3 การประเมินผ่านแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Model-based method/ Simulation) เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ที่ส่วนใหญ่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบ การศึกษา หรืองานวิจัย เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วป้อนเข้าสู่โปรแกรม เพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าการใช้พลังงานจริงกับค่าที่ได้จากการจำลอง

2.2.1.4 วิธีการประเมินแบบลำดับขั้นจากการชี้วัดการใช้งาน (Hierarchal and end-use metrics)เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร จากการตรวจสอบและคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร

2.2.1.5 วิธีการประเมินแบบ Ordinary least square (OLS) เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ที่ขยายขอบเขตจากการประเมินด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ และช่วยในการทำนายหรือการประมาณค่าการใช้พลังงานจากการวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis) ซึ่งการประเมินวิธีนี้มีความซับซ้อนขึ้นจากวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และยังสามารถใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานอ้างอิงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1.6 การประเมินแบบ Data development analysis เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ที่ต้องการกลุ่มตัวอย่างของข้อมูลขนาดใหญ่ มีการวิเคราะห์ปัจจัยหลายรูปแบบเพื่อหาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลประเภทเดียวกัน อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ค่อยเหมาะสมกับการใช้พลังงาน ส่วนมากมักใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของโรงงาน

2.2.1.7 การประเมินแบบ Stochastic frontier analysis เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ที่เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลภายในหน่วยงาน โดยที่ไม่สามารถเผยแพร่ข้อมูลได้ จึงไม่เป็นที่นิยม และมีวิธีการประเมินจากการแยกตัวแปรที่มีข้อบกพร่องออกเพื่อเพิ่มความแม่นยำของการวิเคราะห์

2.2.1.8 การประเมินแบบ Artificial neutral network application เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ที่พัฒนาจากการเก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลเดิม โดยขยายกลุ่มตัวอย่างให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และใช้ข้อมูลเดิมเป็นฐานข้อมูลสำหรับประเมินต่อไป

จากการศึกษา พบว่า วิธี OLS เป็นวิธีการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารที่เป็นที่นิยมอย่างมาก และถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับสากล โดยร้อยละ 95 ของวิธี OLS นิยมใช้ตัวแปรเป็นค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (EUI) ส่วนวิธีการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Simulation model-based approaches) นิยมใช้จำลองประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานอาคาร เพื่อการปรับปรุงในอนาคตภายหลังจากการตรวจวัด (Gao & Malkawi, 2014) ทั้งนี้ การประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานด้วยวิธีการทำแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มักเกิดขึ้นภายหลังขั้นตอนการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธีการทางสถิติ

อย่างไรก็ตาม เกณฑ์การเปรียบเทียบนั้นไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้โดยทั่วไปได้ทุกประเภท เนื่องจากขึ้นอยู่กับประเภทของผลลัพธ์ที่เกณฑ์นั้นใช้ จากวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธีการดังกล่าว สามารถเปรียบเทียบรายละเอียดของวิธีการแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 1 วิธีการประเมินการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร

วิธีการประเมิน	รายละเอียด	กลุ่มตัวอย่าง	ข้อดี	ข้อเสีย
Statistical analysis/ Simple normalization	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน (EUI) ของกลุ่มตัวอย่าง	ขนาดใหญ่	ค่าใช้จ่ายไม่สูง วิธีการไม่ยุ่งยาก เก็บข้อมูลจากอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน	ข้อมูลอาจไม่ครบถ้วน มีขอบเขตจากัด
Points-based rating system	เปรียบเทียบประสิทธิภาพค่าการใช้พลังงานกับค่าเกณฑ์มาตรฐานเดิมที่มีอยู่	-	เป็นการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่มีอยู่	อาจมีความแตกต่างกับอาคารจริง
Simulation model-based benchmarking	เปรียบเทียบจากค่ากลางหรือค่าเกณฑ์ในอุดมคติจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	-	ใช้ในการออกแบบงานวิจัย เปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นได้	ผลจริงกับผลจำลองอาจแตกต่างกันมาก ต้องมีความชำนาญ
Hierarchal and end-use metric	ประเมินแบบลำดับขั้นจากการชี้วัดการใช้งาน โดยการเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นๆ	ขนาดใหญ่	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปัจจัย	มีความซับซ้อนในการประเมิน
Ordinary least square/ OLS	ขยายขอบเขตจากการประเมินด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ และทำนายหรือการประมาณค่าได้จากการวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis)	ขนาดใหญ่	ขยายขอบเขตการประเมิน เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้	มีความซับซ้อนในการประเมิน
Data development analysis	เปรียบเทียบข้อมูลภายในหน่วยงาน และมีวิธีการประเมินจากการแยกตัวแปรที่มีข้อบกพร่องออกทาให้เพิ่มความแม่นยำของการวิเคราะห์ได้	ขนาดไม่ใหญ่มาก	เปรียบเทียบภายในองค์กร/ หน่วยงาน	ไม่เป็นที่นิยมเผยแพร่ไม่ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Stochastic frontier analysis	วิเคราะห์ปัจจัยหลายรูปแบบเพื่อหาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลประเภทเดียวกัน	ขนาดใหญ่	-	ไม่เหมาะกับการใช้พลังงาน
Artificial neutral network	พัฒนาจากการเก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลเดิม โดยขยายกลุ่มตัวอย่างให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และเพื่อใช้ข้อมูลเป็นฐานข้อมูลสำหรับประเมินต่อไป	ขนาดใหญ่มาก	Application ใหม่ทันสมัย	ซับซ้อน ฐานข้อมูลกว้างมาก

2.2.2 ขั้นตอนในการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร

การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management – BEM) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน คือ 2A และ 3C ตามการศึกษาของ Energy Systems Laboratory, Texas A&M University (ESL, 2003) ซึ่งได้กำหนดวิธีการดำเนินการของ BEM ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 Audits (Energy and Indoor Condition Audit) คือ การตรวจวัดและตรวจสอบสภาพอาคาร รวมไปถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ด้วยวิธีการสำรวจ จดบันทึก สอบถามหรือการวัดค่าการใช้พลังงานแบบต่างๆ

2.2.2.1.1 Walk - Through Audit

ประกอบด้วย การเดินตรวจอาคารในระยะสั้น เพื่อหาส่วนที่อาคารมีปัญหาชัดเจน สามารถทำการปรับปรุงได้ง่าย ด้วยความรวดเร็วและประหยัด การตรวจวัดพลังงานประเภทนี้ เรียกว่า การดูแลรักษาตามปกติ หรือ Operation and Maintenance (O&M) (Krati, 2000) ได้แก่ การวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคาร การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไซด์ รวมทั้งการตรวจหาจุดเสียหายหรือรอยรั่วต่างๆ ซึ่งการทำตรวจวัดพลังงานเช่นนี้จะทำให้พบปัญหาและหาทางแก้ได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องทำการตรวจวัดพลังงานแบบอื่นที่ใช้เวลาและงบประมาณในการจัดทำที่สูงกว่า

2.2.2.1.2 Utility Cost Analysis

หลังจากทำ Walk-through audit หากไม่พบจุดเสียหายในอาคารผู้จัดการพลังงานจะเก็บรวบรวมบิลค่าพลังงานรายเดือน เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงาน หรือค่าความต้องการพลังงานสูงสุด รวมถึงอิทธิพลจากสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงาน ซึ่งการวิเคราะห์บิลค่าไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (kWh/m^2.yr) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน หรือนำไปจัดทำเป็นดัชนีการใช้พลังงาน ตัวอย่างเช่น การจัดทำฐานข้อมูล BEPS (Building Energy Performance Standards) ของอาคารแต่ละประเภทในประเทศสหรัฐอเมริกา ประโยชน์ของการตรวจวิเคราะห์บิลค่าไฟฟ้า คือ ผู้จัดการพลังงานสามารถตัดสินใจเลือกรูปแบบการเลือกซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าได้

2.2.2.1.3 Standard Energy Audit

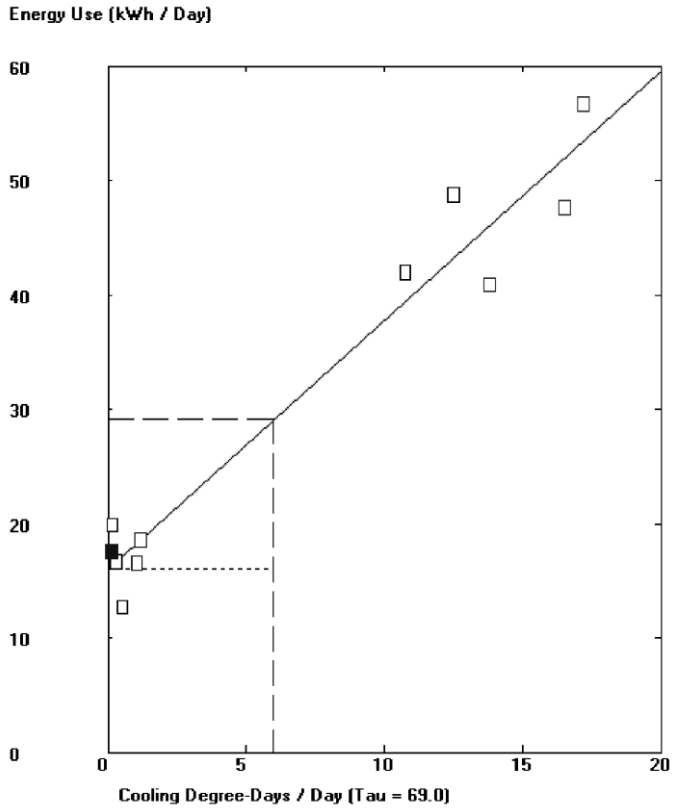
การตรวจวัดมาตรฐาน มีจุดประสงค์เพื่อหาค่ามาตรฐานอ้างอิง (baseline) การใช้พลังงานของแต่ละอาคาร เพื่อนำมาคาดคะเนการประหยัดพลังงาน (saving) หากอาคารจะทำการปรับปรุงเพื่อให้ประหยัดพลังงาน การคำนวณผลประหยัดความซับซ้อน เนื่องจากเมื่ออาคารได้รับการปรับปรุงไปแล้ว จะไม่สามารถทราบถึงค่าไฟฟ้าที่น่าจะเป็น หากอาคารไม่ได้รับการปรับปรุง เปรียบเสมือนการนำค่าไฟฟ้าหลังการปรับปรุงไปเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าของอาคารที่ไม่มีอยู่จริง ส่วนการนำค่าไฟฟ้าหลังงานปรับปรุงไปหักออกจากค่าไฟฟ้าของปีก่อนหน้าจึงไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากสภาพอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละปี ซึ่งค่าการประหยัดพลังงานมีผลต่อการเรียกเก็บค่าบริหารของผู้จัดการพลังงาน ในกรณีที่ผู้จัดการพลังงานทำสัญญาพลังงานที่คิดส่วนแบ่งค่าจ้างตามสัดส่วนองค่าการประหยัดพลังงานที่คำนวณได้ จึงต้องมีการจัดทำค่ามาตรฐานอ้างอิงการใช้พลังงาน

ในส่วนของวิธีคิดค่ามาตรฐานอ้างอิงการใช้พลังงานในอาคารก่อนการปรับปรุง ได้มีนักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Princeton พัฒนาวิธีหาค่ามาตรฐานอ้างอิงด้วยวิธีการทางสถิติในรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น (Simple linear regression) และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อว่า PRISM หรือ PRInceton Scorekeeping Method (Fels, 1986) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่ามาตรฐานอ้างอิงการใช้พลังงานต่อวัน จากข้อมูลบิลค่าไฟฟ้ารายเดือนและอุณหภูมิอากาศภายนอกมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งอธิบายได้ด้วยสมการ ดังแสดงในสมการ (2.1)

Energy Use (kWh/day) = (a x D) + Base Energy use (kWh/day) *(2.1)*

สมการดังกล่าว คือ สมการเส้นตรงที่อยู่ในรูปของ y = ax + b ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่ง a เท่ากับค่าความชันของสมการเส้นตรงจากการคำนวณของโปรแกรม PRISM ส่วนค่า CDD (Cooling Degree-Days/day) คืออุณหภูมิอากาศที่สูงกว่า

อุณหภูมิจุดสมดุล (Balance-Point Temperature) หรืออุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่อาคารยังไม่ต้องใช้เครื่องปรับอากาศ ส่วน Base Energy Use คือค่าพลังงานไฟฟ้าที่อาคารใช้ในส่วนอื่นโดยไม่ใช่เพื่อการปรับอากาศ ได้แก่ แสงสว่าง ลิฟต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 1 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ามาตรฐานอ้างอิงการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม PRISM
ที่มา: Srechthaputra, Haberl, and Claridge (2001)

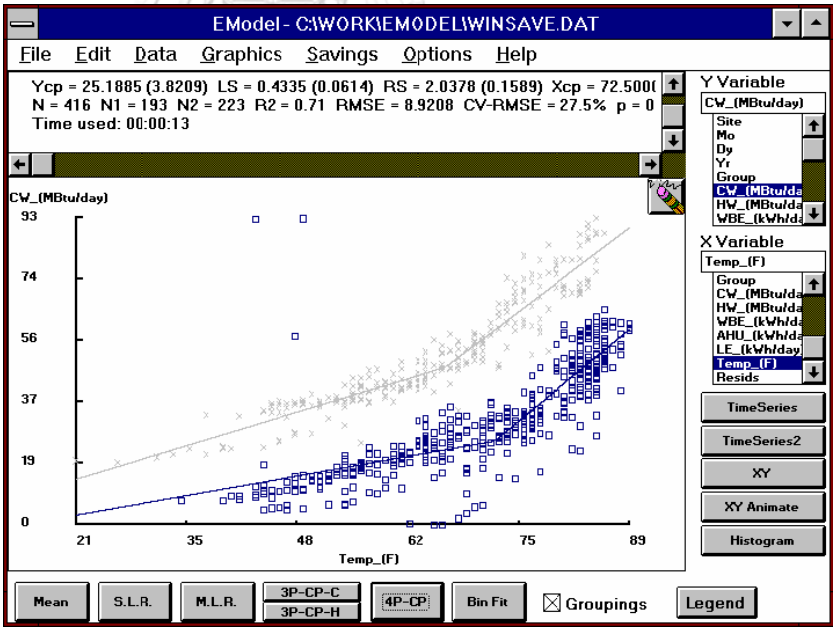
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2.1.4 Detailed Energy Audit

การตรวจวัดแบบละเอียด (Detailed Energy Audit) หรือ investment-graded audit (IGA) มีขั้นตอนคล้ายกับการตรวจวัดมาตรฐาน ประกอบด้วยการติดตั้งอุปกรณ์วัดการใช้พลังงานรายชั่วโมงหรือราย 15 นาที โดยวัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายเดือน หรือตลอดปี อุปกรณ์ตรวจวัดแบ่งออกเป็นแต่ละส่วนตามประเภทการใช้พลังงาน เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องทำน้ำเย็นและปั๊มน้ำเย็นแต่ละตัว อุปกรณ์ปั๊มน้ำและพัดลม และหอระบายความร้อน ในกรณีของอาคารขนาดใหญ่ อาจต้องติดตั้งเครื่องวัดในระดับรายชั้น เพื่อแยกปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละแผนกหรือตามแต่ละผู้เช่า (tenants)

อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดแบบละเอียดยังต้องทำเพื่อหาค่ามาตรฐานอ้างอิงการใช้พลังงาน เช่นเดียวกับการตรวจวัดมาตรฐาน เพียงแต่การตรวจวัดแบบละเอียดจะได้ข้อมูลที่มีความละเอียดกว่า และระยะเวลาต่อเนื่องยาวนานกว่า ทำให้มีโอกาสที่จะทำนายค่ามาตรฐานอ้างอิงการใช้พลังงานได้ถูกต้องแม่นยำกว่า

วิธีการหาค่ามาตรฐานอ้างอิงการใช้พลังงานด้วยฐานข้อมูลระดับรายชั่วโมงนั้น ได้รับการพัฒนาโดย Energy Systems Laboratory, Texas A&M University และเขียนออกมาเป็นโปรแกรม EModel (Kissock, 1996) ซึ่งช่วยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและการใช้พลังงานด้วยสมการถดถอยแบบมีจุดเปลี่ยน (Change-Point regression) ดังในรูปที่ 2 โดยจุดเปลี่ยนในสมการนี้คือ จุดอุณหภูมิสมดุล เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PRISM เพื่อความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ EModel ยังสามารถแยกการใช้พลังงานระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด รวมทั้งสามารถคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) ค่า regression coefficient หรือ R^2 และค่า RMSE (Root Mean Square Error) ของการทำนายค่ามาตรฐานอ้างอิง



รูปที่ 2 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ามาตรฐานการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธี Change-Point regression ด้วยโปรแกรม EModel

ที่มา: Haberl, Srechthaputra, Claridge, and Turner (2002)

2.2.2.2 Analysis (building energy analysis)

ในการวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานในเบื้องต้นจากการเก็บรวมรวมข้อมูล และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารอื่นๆ รวมทั้งหาแนวทางในการปรับปรุง ก่อนการวิเคราะห์การใช้พลังงานจะต้องทำการตรวจวัด ตรวจสอบ และเก็บข้อมูลด้วยวิธีการต่างๆ เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้วจึงทำการวิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล เพื่อนำไปสู่การหาแนวทางการปรับปรุงอาคาร ซึ่งขั้นตอนในการวิเคราะห์การใช้พลังงานสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก (Krati, 2000) เรียงลำดับตามความยาก – ง่าย และระยะเวลาในการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

2.2.2.2.1 Ratio-Based Method

เป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างง่าย ด้วยการหาสัดส่วนการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่อาคาร หรือต่อจำนวนพื้นที่ใช้งานอาคาร หรือต่อเงินค่าก่อสร้างและบริหารอาคาร หรือต่ออุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอก หรือต่อหนึ่งหน่วยการผลิต ในส่วนของค่าการใช้พลังงานที่นำมาคิดสัดส่วนจะเป็นค่าการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคารเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หรือ Btu หรืออาจจะเป็นการใช้พลังงานในส่วนย่อย เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็น การทำน้ำร้อน การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง หรือการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ ค่าการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานดังกล่าว สามารถนำมาเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานต่อปี ต่อเดือน ต่อวัน หรือต่อชั่วโมง ตามมาตรฐานที่นำมาเปรียบเทียบด้วย

สำหรับประเทศไทยการจัดทำดัชนีการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภทยังไม่แพร่หลายนัก มีเพียงการคำนวณค่า SEC หรือค่า Specific Energy Consumption ของอาคารเพื่อรายงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งมีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานเฉลี่ยของอาคารตามประเภทอาคารควบคุมเท่านั้น ซึ่งในการจัดทำดัชนีการใช้พลังงานในอาคาร จะต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแยกแยะประเภทของอาคารที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละสภาพภูมิอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2.2.2 Inverse Modeling Method

การวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วย Ratio-Based Benchmarking นั้น ไม่สามารถแยกแยะสัดส่วนการใช้พลังงานอันเนื่องมาจากสภาวะอากาศได้ (Weather Dependent Load หรือ WDL) กับการใช้พลังงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะอากาศภายนอก (Non-Weather Dependent Load) เช่นแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้า

โดยอาคารทั่วไปจะใช้พลังงานจำนวนมากกับการปรับอากาศ ซึ่งอยู่ในส่วนของ WDL หากสภาพอากาศร้อนมากหรือหนาวมาก ค่า WDL จะมีสัดส่วนสูงมากเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานทั้งหมด ส่วน Non-WDL ได้แก่ การใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์ รวมถึงลิฟต์และบันไดเลื่อน ซึ่งหากผู้จัดการพลังงานไม่ทราบสัดส่วนของ WDL และ Non-WDL การตัดสินใจปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะทำได้ยาก เนื่องจากไม่สามารถตัดสินใจเลือกแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมกับอาคารนั้นได้ ดังนั้น จึงมีการพัฒนาวิธีวิเคราะห์การใช้พลังงานที่สามารถแยกสัดส่วนระหว่างการใช้พลังงานแบบ DWL และ Non-DWL ออกจากกันอย่างชัดเจนด้วยการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบมีจุดเปลี่ยน (Change-point regression) ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Inverse Modeling Method (ASHRAE, 2001) และพัฒนาออกมาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อว่า IMT (Inverse Modeling Toolkit) (Srechthaputra et al., 2001)

Inverse Modeling Toolkit หรือ IMT คือการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างการใช้พลังงานกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงสัดส่วนของ Non-WDL ในรูปของค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง รายวันหรือเดือน และอยู่ในรูปของสมการเส้นตรงสองตัวแปร โดยจุดเชื่อมต่อของ WDL และ Non-WDL คืออุณหภูมิอากาศภายนอกที่อาคารเริ่มมีการปรับอากาศ เรียกว่า อุณหภูมิจุดสมดุล (Balance-Point Temperature) ซึ่งคล้ายกับหลักการทำงานของ EModel ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 แต่ IMT ได้รวมวิธีของ PRISM เอาไว้ด้วย ทำให้โปรแกรม IMT เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยวิธี Inverse Modeling ที่มีประโยชน์ต่อการจัดการพลังงานอย่างมากในปัจจุบัน

2.2.2.2.3 Forward Modeling

วิธี Inverse Modeling สามารถแยกแยะระหว่าง WDL และ Non-DWL รวมถึงหาค่าอุณหภูมิที่จุดสมดุลได้ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่สามารถคาดคะเนผลการประหยัดพลังงาน หากผู้จัดการพลังงานมีหลากหลายทางเลือกในการปรับปรุง และต้องการทราบว่าการปรับปรุงแบบใดจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในขณะที่ประหยัดได้สูงสุด หรือคุ้มค่าที่สุด หากไม่ได้ทำการวิเคราะห์โดยละเอียดโดยการประเมินตลอดช่วงชีวิตอาคาร (Life-Cycle Cost หรือ LCC) จะไม่สามารถทราบถึงทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในระยะยาว ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีที่เรียกว่า Forward Modeling ซึ่งเป็นการสร้างโมเดลการใช้พลังงานจากข้อมูลอาคารจริง ได้แก่ ข้อมูล

เปลือกอาคาร ช่วงระยะเวลาการใช้สอย งานระบบต่างๆ และข้อมูลอากาศจริง วิธีนี้เป็นการคาดคะเนการใช้พลังงานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ในขณะที่ Inverse Modeling เป็นการสร้างโมเดลการใช้พลังงานจากปริมาณการใช้พลังงานจริงที่เกิดขึ้นแล้วด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนั้น วิธี Forward modelling สามารถนำมาใช้คาดคะเนการใช้พลังงานของอาคารที่กำลังสร้างได้ ในขณะที่ Inverse Modeling ไม่สามารถทำได้ การทำ Forward Modeling จะมีความซับซ้อนกว่า เพราะต้องการตัวแปรจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของตัวอาคาร และชนิดของอุปกรณ์ปรับอากาศ รวมทั้งสภาพอากาศภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยคำนวณ เรียกว่า การจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยคอมพิวเตอร์(Computerized Building Energy Simulation – CBES) โดยโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ DOE-2 BLAST Energy plus และ EnerWIN

สำหรับอาคารที่สร้างและเปิดใช้งานแล้วสามารถทำให้การจำลองมีความถูกต้องแม่นยำสูงได้ เพราะผู้ทำการจำลองสามารถปรับเทียบค่าที่ได้จากการจำลองเข้ากับค่าการใช้พลังงานจริงจากบิลค่าไฟฟ้ารายเดือน เรียกว่า calibrated simulation ซึ่งในการทำ Calibrated CBES หากผลการจำลองมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดจริงภายในขอบเขตที่ยอมรับได้ การทำ Calibrated CBES ก็เป็นอันสิ้นสุด แต่หากผลการจำลองมีค่าแตกต่างจากผลการตรวจวัดจริง จะต้องทำการปรับตัวแปรต่างๆเพื่อนำเข้าสู่การจำลองใหม่จนกว่าจะได้ผลที่ใกล้เคียงกัน อาจมีการจำลองซ้ำหลายรอบและการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้จำลองในการวิเคราะห์สาเหตุของความแตกต่างดังกล่าว โดย Haberl and Bou-saada (1998) ได้เสนอวิธีการทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าการใช้พลังงานจากการจำลองและค่าการใช้พลังงานจริง ในรูปของ COV, Mean Difference, Mean Bias Error (MBE) และ Root Mean Square Error (RMSE)

จากวิธีการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธีการดังกล่าว สามารถเปรียบเทียบรายละเอียดของวิธีการแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบรูปแบบการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร

Building Energy Analysis			
Method	Ratio-Based	Inverse Modeling	Forward Modeling
รายละเอียด	การหาสัดส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่อาคาร, จำนวนผู้ใช้งาน, เงินค่าก่อสร้างและบริหาร, อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย หรือหน่วยการผลิต	การสร้างโมเดลการใช้พลังงานจากปริมาณการใช้จริงที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการทางสถิติ ซึ่งสามารถแยกสัดส่วนของ WDL กับ Non-WDL ได้อย่างชัดเจน โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบมีจุดเปลี่ยน (Change-Point Regression)	การคาดคะเนการใช้พลังงานที่น่าจะเกิดขึ้นในอนาคต และค่า Saving ที่น่าจะได้ หากอาคารทำการปรับปรุง (CBES)
ผลลัพธ์	ดัชนีการใช้งานทั้งหมด/หน่วยเวลาขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้ (Energy Use Indices)	ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคาร	• ผลการคำนวณการใช้พลังงาน • ผลการคำนวณค่าการคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์
ความยาก-ง่าย	ง่าย	ปานกลาง	ยาก
ข้อดี	• ใช้งบประมาณไม่มาก	• แยกสัดส่วนของ WDL กับ Non-WDL ได้อย่างชัดเจน • หา Balance Point Temperature ได้	• สามารถใช้ได้ทั้งอาคารใหม่ และอาคารเก่า • ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความแม่นยำสูง (ในกรณีของ Calibrated CBES)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อเสีย	• ไม่สามารถแยกการใช้พลังงานเนื่องจาก WDL และ Non-WDL • ยากต่อการตัดสินใจปรับปรุงอาคาร	• ไม่สามารถคาดคะเนค่า Saving ที่น่าจะได้ในอนาคต หากอาคารทำการปรับปรุง • ใช้กับการสร้างอาคารใหม่ไม่ได้	• ใช้ข้อมูลละเอียด จึงต้องมีข้อมูลที่เพียงพอ • มีข้อมูลจากการทำ Detailed Audit (ค่าการใช้พลังงานรายชั่วโมง) • การทำ Detailed Audit ใช้งบประมาณค่อนข้างสูง • ใช้เวลาและความพยายามอย่างมาก รวมถึงประสบการณ์ของผู้ทำ
การนำไปใช้ประโยชน์	ใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับอาคารอื่นๆ	เป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการพลังงานอาคารในอนาคต	ช่วยตัดสินใจเลือกแนวทางในการประหยัดพลังงานและเงินลงทุน ไม่ว่าจะเป็นการบริหารจัดการ การก่อสร้าง หรือ การปรับปรุงอาคาร

2.2.2.3 Conservation (Energy Conservation Measure - ECMs) การนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของอาคารมาทำ parametric analysis เป็นทางเลือกสำหรับอาคารที่ต้องมีการปรับปรุง เพื่อช่วยให้ผู้จัดการด้านพลังงานของอาคารตัดสินใจเลือกวิธีในการปรับปรุงอาคาร ทั้งนี้ การเลือกใช้มาตรการประหยัดพลังงาน (ECMs) ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เงินลงทุน ระยะเวลาคุ้มทุน ความสะดวกในการปรับปรุง ระยะเวลาในการปรับปรุง เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไป ECMs จะสามารถแบ่งออกเป็นส่วนหลัก ได้แก่ 1) งานเปลือกอาคาร 2) งานระบบไฟฟ้า 3) งานระบบปรับอากาศ 4) ระบบการควบคุมการจัดการพลังงาน 5) อุปกรณ์เทคโนโลยีอาคารสมัยใหม่

2.2.2.4 Calculation (calculation of energy and money saving) คือ การคำนวณความคุ้มค่าในด้านการลงทุนเพื่อปรับปรุงอาคาร มักได้ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน

2.2.2.5 Commission (continuous commission) คือ การตรวจสอบอาคารหลังการปรับปรุงอาคาร เพื่อให้การอนุรักษ์พลังงานเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 การปรับเทียบผลการจำลองการใช้พลังงาน

ผู้บริหารอาคารจำเป็นต้องตรวจวัดการใช้พลังงาน เพื่อทำความเข้าใจรูปแบบการใช้พลังงานเพียงพอที่จะจัดการการใช้พลังงานได้ ซึ่งการตรวจวัดและการทำความเข้าใจรูปแบบการใช้พลังงานทำให้สามารถหาแนวทางการจัดการได้อย่างถูกต้อง ในระดับสากลได้มีการพยายามสร้างโมเดลการใช้พลังงานของอาคารก่อนการปรับปรุงอาคารเพื่อสร้างฐานการใช้พลังงาน (baseline model) ซึ่งมี 2 วิธีหลัก ดังต่อไปนี้

2.3.1 Forward Modeling

การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบที่ปรับเทียบกับค่าวัดจริง หรือ Calibrated Energy Simulation ซึ่งในการจัดทำผู้บริหารอาคารต้องสร้างโมเดลของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น DOE-2 หรือ EnergyPlus โดยใช้แบบอาคารปัจจุบัน ประกอบด้วยจำนวนผู้ใช้อาคาร จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องจักรต่างๆ จำนวนหลอดไฟ เวลาทำการรายชั่วโมง รายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด ประกอบกับค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ปรับอากาศทุกชิ้น รวมถึงเวลาเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศและอุณหภูมิห้องที่ตั้งค่าเอาไว้ และข้อมูลอากาศจริงของช่วงปีดังกล่าว ต้องนำมาจากสถานีตรวจวัดอากาศของอุตุนิยมวิทยา

2.3.2 Backward Modeling

ผลการวัดการใช้พลังงานอย่างระเอียดในช่วงปีที่ผ่านมา เพื่อสร้างโมเดลการใช้พลังงานด้วยสมการถดถอย หรือ regression model ซึ่งทั้งสองวิธีการผู้บริหารอาคารจำเป็นต้องเก็บข้อมูลการใช้สอยอาคารอย่างละเอียด ก่อนที่จะสร้างฐานการใช้พลังงานเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำค่าการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงมาหักลบจนได้ผลประหยัดพลังงานที่ยอมรับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลังจากการจำลองการใช้พลังงาน จะได้ค่าการใช้พลังงานจากส่วนประกอบต่างๆของอาคารโดยละเอียด ลำดับต่อไปจะต้องใช้ความเชี่ยวชาญและผลจากการตรวจวัดอาคารจริงที่ถูกต้องแม่นยำมาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจากการจำลอง ซึ่งผู้จัดทำการจำลองจะต้องปรับการตั้งค่าในโปรแกรมและทำการจำลองซ้ำหลายครั้ง จนกระทั่งผลการจำลองและค่าที่วัดจริงมีค่าใกล้เคียงในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งวิธีพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มาตรฐานสากล ที่ ASHRAE และ IPMVP ยอมรับ จะประกอบด้วยการคำนวณค่า CV(RMSE) (Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error) หรือร้อยละของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย และ MBE (Mean Biased Error) หรือค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ย ซึ่งทั้งสองประเภทล้วนเป็นวิธีการประเมินความคลาดเคลื่อนทางสถิติของชุดตัวเลข 2 ชุด ซึ่งก็คือค่าการจำลอง และค่าจากการวัดจริง จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนมีน้อยจนเป็นที่พอใจ โมเดลคอมพิวเตอร์ที่ได้ก็จะเป็นโมเดลฐานการใช้พลังงานของอาคาร

2.4 การตรวจวัดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน

หลังจากที่อาคารได้รับการออกแบบ ก่อสร้าง และทดสอบแน่ชัดว่าสามารถเป็นอาคารประหยัดพลังงานได้ตามมาตรฐาน สิ่งที่ต้องดำเนินการต่อไปคือ การตรวจวัดและพิสูจน์ผล หรือ Measurement & Verification (M&V) โดยจุดประสงค์ของงาน M&V คือ 1) เพื่อประเมินผลการออกแบบอาคารว่าสามารุประหยัดพลังงานได้จริงหลังการเปิดใช้อาคาร 2) เพื่อช่วยให้การบริหารจัดการพลังงานสามารถทำได้สะดวกขึ้น ผู้จัดการพลังงานสามารถเข้าใจรูปแบบการใช้พลังงานที่ตนดูแลและสามารถประมาณการณ์ได้ล่วงหน้าได้ หากมีการปรับเปลี่ยนตารางการใช้งาน หรือมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์อาคาร

2.4.1 Measurement & Verification

เพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงกับค่าการใช้พลังงานจากการจำลองมาตรฐานอาคารเขียวมักระบุให้ผู้บริหารอาคารจัดทำการตรวจพิสูจน์ผล โดยใช้มาตรฐาน IPMVP หรือ International Performance Measurement and verification Protocol (Efficiency Valuation Organization, 2014) ซึ่งระบุว่าอาคารเขียวที่สร้างเสร็จใหม่ต้องปรับแบบจำลองการใช้พลังงานให้สอดคล้องกับการใช้งานจริง หรือเรียกว่า calibrated simulation โดยนำข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคารจริง จำนวนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจริง จำนวนชั่วโมงใช้งานจริง ตารางเวลาทำงานของผู้ใช้งานและอุปกรณ์จริง รวมถึงสภาพอากาศจริง เป็นต้น

2.4.1.1 Energy Benchmark

Energy Benchmark หรือ การเปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของการบริหารทรัพยากรอาคาร (facility management) ในการทำ energy benchmark ต้องทำการตรวจวัดการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งมีวิธีการระบุในหลายมาตรฐาน เช่น ASHRAE Level 1 – 3 หรือ IPMVP ที่ระบุรายละเอียดในการจัดทำข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานที่ได้มาตรฐาน

ปัญหาที่พบในการทำ Energy Benchmark สำหรับอาคารในประเทศไทย คือ การขาดการเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ คือ มีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานรวม (end use) จากมิเตอร์ไฟฟ้ารวม หรือบิลค่าไฟฟ้า แต่ไม่มีการเก็บข้อมูลปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างจริงจัง เช่น ไม่เคยเก็บข้อมูลจำนวนชั่วโมงการใช้งานอาคารจริง ข้อมูลจำนวนผู้ใช้อาคารจริง หรือไม่มีข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจริง จึงไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ว่าอาคารมีลักษณะการใช้งานอย่างไร รู้เพียงว่าอาคารใช้พลังงานเท่าไหร่เท่านั้น เมื่อนำไปรวบรวมเป็น

ฐานข้อมูลขนาดใหญ่จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้นอกจากการหาค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานในอาคาร

2.4.1.2 EnergyStar Rating

ปัจจุบัน หน่วยงาน USEPA หรือ U.S. Environmental Protection Agency ของรัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการจัดทำฐานข้อมูลเพื่อทำ energy benchmark ที่ได้มาตรฐาน อาคารต่างๆสามารถนำผลการใช้พลังงาน และข้อมูลประกอบอาคารเข้าไปเปรียบเทียบและพัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนไว้ใช้อ้างอิงเปรียบเทียบกัน เรียกว่า EnergyStar Rating (Energy Protection Agency, 2010)

การทำดัชนีการใช้พลังงาน (energy index) และการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน (energy benchmark) เป็นสิ่งสำคัญในการบริหารจัดการการใช้พลังงานอาคารพาณิชย์ต่างๆ ที่ต้องผ่านการรับรองการเป็นอาคารเขียวจึงต้องจัดทำดัชนีการใช้พลังงาน เพื่อนำไปเปรียบเทียบสมรรถนะกับอาคารในท้องตลาด เพื่อแสดงให้เห็นว่าอาคารมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคารอย่างไรเมื่อเทียบกับอาคารอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม การนำอาคารไปเปรียบเทียบสมรรถนะกับอาคารอื่น ไม่สามารถรับประกันความถูกต้องได้นัก เนื่องจากอาคารในฐานข้อมูลอาจแตกต่างจากอาคารที่ต้องการจะเปรียบเทียบเป็นอย่างมากจนไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบสมรรถนะกันได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ปัจจุบัน USEPA จึงจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของอาคารทั่วประเทศ พร้อมเก็บข้อมูลปัจจัยตัวแปรการใช้พลังงานด้วย โดยตัวแปรเหล่านี้ ประกอบด้วย

1) ชั่วโมงการใช้งานอาคารต่อสัปดาห์

2) จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อพื้นที่อาคาร 1,000 ft^2

3) จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ 1,000 ft^2

4) สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด

โดยฐานข้อมูลจะแบ่งตามประเภทอาคารต่างๆ ที่ตั้งอยู่ในเขตอากาศต่างกัน USEPA ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติโดยใช้สมการถดถอยแบบหลายตัวแปร (Multivariate Regression) จะได้สมการทางสถิติที่สามารถทำนายว่าอาคารที่เข้าข่ายที่มีการใช้สอยเดียวกัน จะส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารแต่ละหลังเหมือนหรือแตกต่างกัน

การนำระบบ EnergyStar ไปใช้ประโยชน์เพื่อการเทียบสมรรถนะ ผู้ดูแลอาคารต้องกรอกข้อมูลอาคารเพื่อนำไปเทียบกับฐานข้อมูล ก็จะได้ค่าดัชนีการใช้พลังงานมาตรฐาน (predicted energy use) สำหรับอาคารที่มีรูปแบบการใช้สอย

ตามตัวแปรดังกล่าว เมื่ออาคารเรากรอกข้อมูลการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริง (actual energy use) ระบบ EnergyStar จะเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้จริงต่อการใช้มาตรฐาน และให้คะแนนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Ratio – EER) เป็นคะแนน EnergyStar Score ออกมา

ระบบการเทียบสมรรถนะของ EnergyStar จะมีประโยชน์มากต่อการบริหารจัดการพลังงานของอาคาร นอกจากสามารถเทียบอาคารที่มีลักษณะการใช้สอยที่คล้ายกันได้อย่างมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ ยังช่วยจัดอันดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารให้อยู่ในเปอร์เซนไทล์ 1 – 100 ทำให้เข้าใจง่ายกว่าการบอกค่าดัชนีการใช้พลังงานเป็นตัวเลข kWh/m^2 ต่อปี

ปัจจุบันสภาอาคารเขียวแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ USGBC ได้รับรองระบบการคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน และระบบการเทียบสมรรถนะของ EnergyStar แล้ว โดยบรรจุเข้าเป็นเกณฑ์การให้คะแนนอาคารเขียว LEED ในหมวดพลังงานและบรรยากาศ ของเกณฑ์ LEED Existing Building Operation & Maintenance (LEED EBOM) ซึ่งการนำระบบ EnergyStar มาใช้ในประเทศไทยยังคงต้องพิจารณากันต่อไป

2.4.2 การตรวจวัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE

ในการอนุรักษ์พลังงานตามข้อตกลงของ COP21 (United Nations Framework Convention on Climate Change) ซึ่งต้องการความโปร่งใสในการตรวจสอบ หรือ Transparency in MRV (Measurement, Reporting, and Verification) ซึ่งในภาคอาคารสิ่งที่ควบคู่กับ MRV คือการตรวจวัดการใช้พลังงาน ซึ่งมาตรฐานการตรวจวัดนี้ องค์กรวิชาชีพ ASHRAE หรือ American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers ได้กำหนดมาตรฐาน ASHRAE Procedures for Commercial Building Energy Audit ขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์พลังงานเบื้องต้น (Preliminary Energy Use Analysis – PEUA) และการตรวจวัดการใช้พลังงานแบบละเอียดอีก 3 ระดับ (Level I, II, และ III) (ASHRAE., 2002) โดยขั้นตอนในการทำ PEUA ประกอบด้วยขั้นตอน ได้แก่

1) การวิเคราะห์ข้อมูลค่าพลังงานย้อนหลังอย่างน้อย 3 ปี
2) การวิเคราะห์ค่าความต้องการพลังงานสูงสุด (Peak Demand)
3) การวิเคราะห์การใช้พลังงานรายเดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4) การทำ benchmark เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานกับอาคารที่คล้ายกัน (Energy Index – EUI และ Energy Cost Index – ECI)

5) การประเมินความจำเป็นในการวิเคราะห์ขั้นสูงขึ้นเป็น ASHRAE Level I, II, III

2.4.3 มาตรฐานการตรวจพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานตาม IPMVP

มาตรฐาน IPMVP (International Measurement and Verification Protocol) เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยองค์กร EVO (Efficiency Valuation Organization) เพื่อเป็นระเบียบวิธีอ้างอิงในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด และส่งเสริมให้บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) มีการดำเนินงานที่น่าเชื่อถือในระดับสากล และกระตุ้นให้เกิดการลงทุนด้านการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

การตรวจสอบว่ามาตรการในการอนุรักษ์พลังงานนั้นยังคงทำให้เกิดประหยัดพลังงาน สามารถทำได้ด้วยการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด (M&V) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำหนดและควบคุมความเสี่ยง (Performance Risk) ต่อการดำเนินการด้านการจัดการพลังงาน โดยคำนวณผลการประหยัดที่ได้รับจากการตรวจวัดการใช้พลังงานในช่วงก่อน และหลังการดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะต้องพิจารณาวิธีการหาระดับการใช้งานปกติ (Baseline) มีความถูกต้องแม่นยำสูง รวมถึงต้องพิจารณาว่าระบบหรืออุปกรณ์ที่ติดตั้งทำงานตามคุณสมบัติที่ระบุไว้ และทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\textit{ผลการประหยัด} = (\textit{ระดับการใช้พลังงานปกติ})_{\textit{ปรับแก้}} - (\textit{ระดับการใช้พลังงานภายหลังดำเนินการ}) \qquad (2.2)$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัด (M&V) มีแนวทางและขั้นตอนในการหาผลประหยัดที่เกิดจากมาตรฐาน 4 แนวทางด้วยกัน ได้แก่ รูปแบบ A: การตรวจวัดเพียงบางส่วนแยกตามมาตรการที่ปรับปรุง รูปแบบ B: การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง รูปแบบ C: การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของสถานประกอบการ และรูปแบบ D: การจำลองผล ซึ่งในบททบทวนวรรณกรรมนี้จะลงรายละเอียดในส่วนของแนวทางที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลและการจำลองด้านพลังงาน ซึ่งได้แก่ รูปแบบ C และ D

2.4.3.1 รูปแบบ C การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของสถานประกอบการ (Whole facility)

เป็นการตรวจวัดมิเตอร์ไฟฟ้า หรือมิเตอร์ย่อยทั้งหมดของอาคาร เพื่อประเมินผลการประหยัดโดยรวม โดยข้อมูลการใช้พลังงานได้จากการตรวจวัดแยก

แต่ละอุปกรณ์การใช้งานหรือแหล่งของพลังงาน เช่น เมื่อตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย จะตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารแยกแต่ละอาคาร เพื่อประเมินการประหยัดพลังงานในแต่ละส่วน และขยายการวัดไปสู่การใช้พลังงานของทั้งระบบ เพื่อประเมินผลการประหยัดโดยรวม อาจใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าหรืออุปกรณ์วัดความต้องการพลังไฟฟ้าแยกต่างหากในการประเมินผลการประหยัด อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเป็นแหล่งข้อมูลของการใช้พลังงาน ควรคำนึงถึงการอ่านค่าจากเครื่องวัดของการไฟฟ้า ซึ่งอาจไม่มีความถูกต้องแม่นยำนัก

การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างแบบจำลองจะเกิดจากการรวบรวมตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ในที่นี้ตัวแปรอิสระ หมายถึง ลักษณะเฉพาะหรือสภาวะแวดล้อมของการใช้สถานประกอบการที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น สภาวะอากาศและจำนวนผู้ใช้สถานประกอบการ โดยทั่วไป รูปแบบ C จะใช้จำนวนข้อมูล 12, 24 หรือ 36 เดือน จากข้อมูลการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง และข้อมูลต่อเนื่องในช่วงหลังปรับปรุง อย่างไรก็ตามข้อมูลในช่วงเวลาที่มากหรือน้อยกว่านี้ เช่น 13, 14, 15 หรือ 9, 10, 11 เดือนสามารถนำมาใช้ได้ นอกจากนี้ สำหรับอาคารบางประเภท เช่น โรงเรียน ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างการใช้พลังงานของอาคารในช่วงเปิดเทอมและปิดเทอม ควรมีการสร้างแบบจำลองถดถอยแยกกันสำหรับช่วงการใช้งานที่ต่างกัน

2.4.3.2 รูปแบบ D การจำลองผล (Calibrated Simulation)

เป็นการใช้ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์จำลองการใช้พลังงานก่อนและหลังดำเนินมาตรการของสถานประกอบการ สามารถใช้ได้ทั้งแบบรายมาตรการหรือหลายมาตรการรวมกัน แบบจำลองในการคำนวณจะต้องมีการปรับเทียบ เพื่อทำให้สามารถทำนายการใช้พลังงานและความต้องการพลังไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความเป็นจริง ซึ่งโดยปกติทางเลือกดังกล่าวจะใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลการใช้พลังงานของ Base Year ในทางปฏิบัติ รูปแบบ D มีการนำมาใช้น้อยมาก เนื่องจากจำเป็นต้องมีผู้ชำนาญการใช้โปรแกรมที่มีความซับซ้อน ซึ่งปัจจุบันมีอยู่หลายโปรแกรม อาทิเช่น DOE-2 BLAST และ Energy Plus เป็นต้น นอกจากนี้ ผลการคำนวณมักเป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการยอมรับของสถานประกอบการ เนื่องจากมีความยากต่อการเข้าใจของบุคคลทั่วไป ทำให้ขาดความมั่นใจต่อผลที่ได้รับ

2.4.3.3 แนวทางในการเก็บข้อมูล

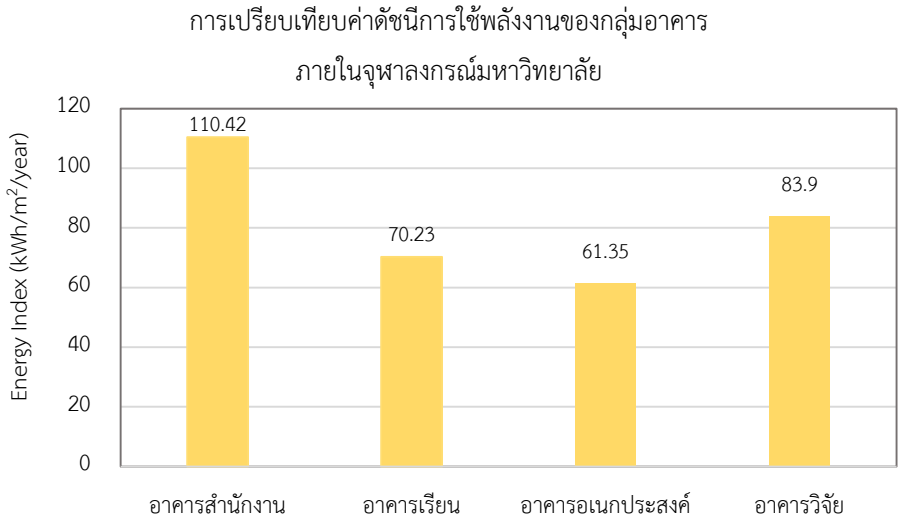
การเก็บข้อมูลเพื่อใช้จัดทำข้อมูลพื้นฐาน มีแนวทางการเก็บข้อมูลพื้นฐานที่ควรต้องให้ความสำคัญ 3 ประการ ดังต่อไปนี้

1) เก็บข้อมูลจากอาคารที่ดำเนินการอย่างสมบูรณ์ (full operating cycle) ข้อมูลที่นำมาใช้ต้องเป็นข้อมูลในขณะที่อาคารมีการปฏิบัติการแบบครบองค์ประกอบทั้งอาคาร โดยต้องมีทั้งข้อมูลการใช้พลังงานต่ำสุดจนถึงข้อมูลการใช้พลังงานสูงสุดของอาคาร หากทำการเก็บข้อมูลในลักษณะการใช้พลังงานของอาคารรวมทั้งอาคาร ต้องมีข้อมูลอุณหภูมิภายนอกอาคารของช่วงเดียวกันกับข้อมูลการใช้พลังงานประกอบด้วย แต่หากต้องการเก็บข้อมูลเพียงการใช้พลังงานจากระบบบางส่วนของอาคาร ควรทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารเพียง 1 สัปดาห์ ซึ่งเพียงพอสำหรับการทำฐานข้อมูลด้านการใช้พลังงาน
2) เก็บข้อมูลให้ครบถ้วน โดยข้อมูลที่นำมาใช้ควรมีความสมบูรณ์ เช่น หากเก็บข้อมูลรายเดือนเป็นระยะเวลา 1 ปี ข้อมูลที่ทำการเก็บไม่ควรขาดเดือนใดเดือนหนึ่งในช่วง ระยะเวลา 1 ปี โดยสามารถนำข้อมูลรายเดือนมาเปรียบเทียบระหว่างการใช้พลังงานในช่วงเดือนเดียวกันของปีที่แตกต่างกัน
3) เก็บข้อมูลในขณะที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนการใช้งานภายในอาคาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้งานภายในอาคารที่อาจทำให้ค่าการใช้พลังงานของอาคารเปลี่ยนแปลง เช่น มีการเพิ่มหรือลดอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมาก มีการปรับปรุงซ่อมแซมงานระบบบางส่วนทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ เป็นต้น หากมีการเปลี่ยนแปลง รูปแบบการใช้งานในอาคารจะทำให้ข้อมูลไม่อยู่ในพื้นฐานการใช้งานเดียวกัน และทำให้ขาดความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.5 ประเภทอาคารและการใช้พลังงานในมหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมีลักษณะคล้ายกับเมืองขนาดย่อม ประกอบด้วยกลุ่มอาคารสาธารณะเป็นจำนวนมาก ที่มีรูปแบบการใช้งานอาคารหลากหลายตามลักษณะและผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภท จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า สามารถแบ่งประเภทของอาคารตามลักษณะการใช้งาน และกิจกรรมที่สงผลต่อการใช้พลังงานของอาคารออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ อาคารสำนักงาน อาคารเรียน อาคารปฏิบัติการ และอาคารอเนกประสงค์ (สรญา กังวาล, 2557) ซึ่งอาคารแต่ละประเภทมีค่าดัชนีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน โดยอาคารปฏิบัติการเป็นอาคารที่มีค่าดัชนีการใช้พลังงานสูงที่สุด รองลงมาคือ อาคารสำนักงาน อาคารเรียน และอาคาร

อเนกประสงค์ ดังแสดงในรูปที่ 3 นอกจากนี้ ข้อมูลยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภทในมหาวิทยาลัย



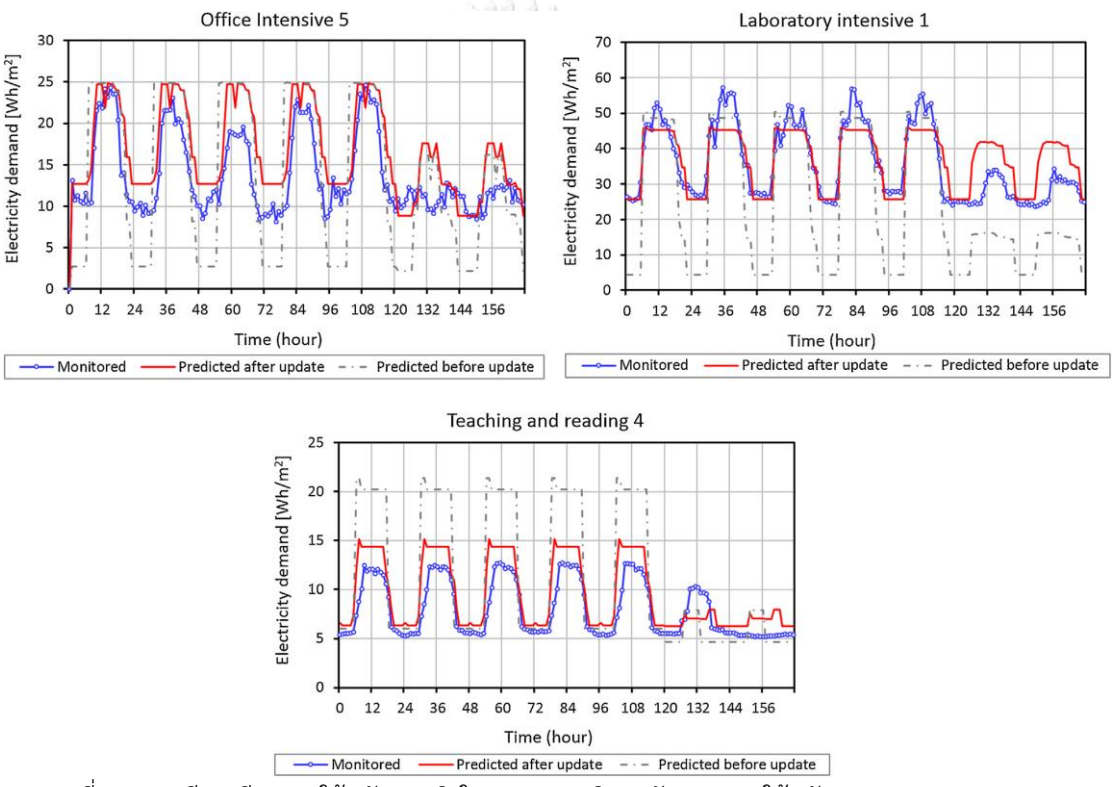
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่มา: สรญา กังวาล (2557)

จากงานวิจัยของมาริสา จิวเวชดำรงกุล (2559) ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัย โดยทำการศึกษาจากข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นจากอาคารกรณีศึกษา 4 อาคาร และจัดกลุ่มการใช้พลังงานตามลักษณะการใช้สอยของพื้นที่ รวมทั้งจำแนกประเภทการใช้งานรายชั้นออกเป็น 4 ประเภทสอดคล้องกับงานวิจัยของสรญา กังวาล (2557) ได้แก่ ห้องปฏิบัติการวิจัย ห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ และห้องบรรยาย

จากงานวิจัยของ Pacheco-Torres, Heo, and Choudhary (2016) ได้แบ่งประเภทของอาคารในมหาวิทยาลัยตาม CIBSE guide ของประเทศอังกฤษ โดยแบ่งรูปแบบพื้นที่ใช้สอยของอาคารในมหาวิทยาลัยออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ พื้นที่สำนักงานแบบเปิดโล่ง (open plan office) พื้นที่ห้องบรรยาย (education lecture room) และพื้นที่ห้องเรียนปฏิบัติการ (laboratory) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานของพื้นที่อาคารแต่ละประเภทในระยะเวลา 1 วัน ตลอด 24 ชั่วโมง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ผู้ใช้งานอาคาร (occupancy) การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment) และการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง (lighting) โดยเปรียบเทียบระหว่างลักษณะการใช้พลังงานจริง กับลักษณะการใช้งานตามมาตรฐาน National Calculation Methodology (NCM) modeling guide ที่จัดทำขึ้นสำหรับอาคารในประเทศอังกฤษ หลังจากทำการเปรียบเทียบได้แสดงผลของการศึกษาในรูปของแผนภูมิเส้นแสดงความแตกต่างระหว่างพื้นที่ใช้งานอาคารแต่ละประเภทอย่างชัดเจน ซึ่ง NCM (Department of Communities and Local Government, 2008)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลเช่นเดียวกับมาตรฐาน ASHRAE หรือ CIBSE แต่มีการกำหนดสถานที่สำหรับใช้มาตรฐานนี้อย่างเจาะจง โดยมาตรฐาน NCM มีการนำเสนอเกณฑ์และแนวทางการพัฒนาอาคารสู่การเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน เช่น เกณฑ์ด้านการใช้พลังงานในระบบส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ เกณฑ์การใช้วัสดุเปลือกอาคาร การใช้สัดส่วนของช่องเปิดภายในอาคาร เป็นต้น รวมไปถึงมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลด้านการใช้พลังงานในอาคารเพื่อเปรียบเทียบ และจัดอันดับประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคาร จากผลของการศึกษา พบว่าลักษณะของการใช้พลังงานตามมาตรฐาน NCM สอดคล้องกับลักษณะการใช้พลังงานในพื้นที่ใช้งานจริง ทั้งในพื้นที่ประเภทสำนักงานและห้องเรียน



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงในอาคารมหาวิทยาลัย และการใช้พลังงานตามมาตรฐาน NCM

ที่มา: Pacheco-Torres et al. (2016)

ในขณะที่งานวิจัยของ M. H. Chung and Rhee (2014) ได้ศึกษาการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัยในประเทศเกาหลีใต้ โดยทำการจำแนกประเภทของอาคารตามอัตราส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้สอยที่พบภายในอาคาร เช่น จากสัดส่วนพื้นที่ภายในอาคารทั้งหมด พบว่า มีพื้นที่ใช้สอยประเภทห้องเรียนร้อยละ 35 พื้นที่สำนักงานร้อยละ 19 ห้องปฏิบัติการร้อยละ 6 และพื้นที่ส่วนกลางร้อยละ 40 หากยกเว้นพื้นที่ส่วนกลางของอาคารที่เป็นพื้นที่บริการที่ไม่สามารถจำแนกการใช้งานได้ จะพบว่าสัดส่วนของพื้นที่ใช้สอยที่พบมากที่สุด คือ พื้นที่ประเภทห้องเรียน จึงจัดว่าอาคารนี้เป็น

อาคารประเภทอาคารเรียน เป็นต้น ส่วนประเภทของอาคารในมหาวิทยาลัยที่พบตามการวิจัย ได้แก่ อาคารเรียน อาคารปฏิบัติการ อาคารสันทนาการ และอาคารสำนักงาน

2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารด้วยการวิเคราะห์สมการแบบถดถอย

จากการศึกษาของ W. Chung (2011) การทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย เริ่มจากข้อจำกัดของการวิเคราะห์ทางสถิติที่ไม่สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ได้ จึงใช้การวิเคราะห์ Linear regression model ซึ่งช่วยในการประมาณการค่าของเส้นแนวโน้มของการถดถอย (Regression line) ที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของระดับค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคาร และสามารถใช้เป็นค่าเกณฑ์อ้างอิงในการเปรียบเทียบสมรรถนะ หรือค่ามาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการใช้พลังงาน อย่างไรก็ตาม ระบบการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารอาจพบความแตกต่างระหว่างค่าการทำนายกับค่าการใช้พลังงานจริง ซึ่งสามารถสรุปวิธีการวิเคราะห์ออกเป็น 3 วิธีหลัก ดังต่อไปนี้

2.6.1 การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Model) ในกรณีที่ฟังก์ชั่นของค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ของอาคารเป็นแบบเส้นตรง (Linear function) จากปัจจัย x_1, x_2, ..., x_n ตัวอย่างเช่น อายุของอาคาร ระบบปฏิบัติการด้านพลังงาน พื้นที่ภายในอาคาร เป็นต้น จากปัจจัยต่างๆอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำนาย ทำให้ต้องหาค่านัยสำคัญของแต่ละปัจจัยประกอบด้วย

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นวิธีทางสถิติที่วิเคราะห์เชิงเหตุและผล ระหว่างตัวแปร 2 ตัวหรือมากกว่า โดยตัวแปรแรก เรียกว่า ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (Predictor) เป็นตัวแปรที่ใช้ทำนาย ซึ่งอาจมีเพียง 1 ตัวแปรหรือมากกว่า ส่วนอีกตัวแปรเรียกว่า ตัวแปรตามที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรต้น (ยุทธ ไกยวรรณ์, 2558)

วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยใช้เพื่ออธิบายลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม เพื่อที่จะกำหนดตัวแปรในการสร้างสมการทำนายที่เหมาะสม เช่น ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (linear) เป็นต้น ซึ่งลักษณะของการวิเคราะห์ถดถอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังต่อไปนี้

2.6.1.1 การวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย (simple regression) เป็นการวิเคราะห์ตัวแปร 2 ตัว คือ ตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ดังแสดงในสมการที่ 2.3

โดย $Y = ax + b$ *(2.3)*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.1.2 การวิเคราะห์ถดถอยแบบเชิงซ้อน (multiple regression) เป็นการวิเคราะห์สมการของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกันซึ่งพิจารณา สำหรับตัวแปรอิสระ 2 ตัวหรือมากกว่าสองตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในสมการ และมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร คือ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องเป็นอิสระต่อกันและไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในสมการที่ 2.4

โดย $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots\ldots + a_nx_n + b$ *(2.4)*

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม

X คือ ตัวแปรต้น

a คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือค่าประมาณการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ x เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย

b คือ จุดตัดบนแกน Y

2.6.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Variant of Ordinary least square เนื่องจากการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ โดยมักพบการเอียงตัวของการกระจายตัวซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน งานวิจัยของ Sharp (1998) จึงได้วิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ของสมการถดถอยจากการทำตารางวิเคราะห์การกระจายตัวของการเทียบสมรรถนะ (Distribution benchmark table) ทำให้มีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น ด้วยการแปลงผลกระทบจากค่าผิดปกติ จนทำให้ได้วิธีการวิเคราะห์แบบถดถอยที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ต่อมา W. Chung, Hui, and Lam (2006) ได้ทำการหาสมการทำนายจากการจากตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาของ Sharp (1998) ที่วิเคราะห์จากการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ทั้งนี้ สมการของ Chung และคณะ (2006) มีรูปแบบดังแสดงในสมการที่ (2.5)

$$EUI_{norm} = EUI_0 - b_1x_1 - b_2x_2 - \ldots\ldots - b_nx_n \qquad (2.5)$$

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยวิธี Ordinary least square (OLS) ยังมีข้อกังขาเป็นอย่างมากถึงการตัดข้อมูลส่วนที่เหลือ (Residuals) ออกจากการวิเคราะห์ ซึ่งนอกจากจะเป็นข้อมูลที่ไม่มีผลหรือไม่มีนัยสำคัญ แต่ยังรวมถึงข้อมูลของปัจจัยที่ไม่สามารถอธิบายได้ และข้อมูลที่ผิดปกติ ทั้งนี้ ข้อมูลส่วนที่เหลือก็ไม่สามารถนำมาสันนิษฐานถึงค่าระดับความมีประสิทธิภาพได้

2.6.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Corrected ordinary least square (COLS) เป็นการขยายผลการวิเคราะห์จากวิธีการ Ordinary least square เดิม โดยวิธีการนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การวิเคราะห์หาเส้นแนวโน้มของการถดถอยจากการประมาณด้วย Ordinary least square จากนั้น จึงทำการหาเส้นแนวโน้มของการถดถอยจากการขยับเส้นแนวโน้มการถดถอยลง (Shifted downwards) ที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า COLS frontier ซึ่งครอบคลุมถึงข้อมูลทั้งหมด ส่งผลให้ข้อมูลส่วนที่เหลือ (ผลต่างของค่า EUI จริงกับค่า EU Iจากการทำนาย) มีผลเป็นบวก โดยวิธี Corrected ordinary least square นี้เป็นวิธีการขั้นสุดท้ายของการวิเคราะห์แบบ Ordinary least square ทำให้การวิเคราะห์นี้มีความละเอียดอ่อนมาก (W. Chung, 2011)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร

จากกรณีศึกษาการทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารที่ผ่านมา งานวิจัยมีความใกล้เคียงกันทั้งจากประเภทอาคาร และสถานที่ใกล้เคียงกัน ในอดีตได้มีการศึกษาการทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคาร ได้แก่ การศึกษาของ Sharp (1998) ทำการศึกษาถึงการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานและสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของโรงเรียนในสหรัฐอเมริกา จากฐานข้อมูลของ US Energy Information Administration's Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) ของอาคารจำนวน 115 อาคาร จากอาคารทั้งหมด 600 กว่าอาคาร โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปีที่ก่อสร้าง จำนวนเครื่องทำความเย็น ค่าพลังงานในการทำความเย็น ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ จำนวนผู้ดูแลระบบ HVAC และโครงสร้างหลังคา ทั้งนี้ สมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.35 - 0.89 โดยสมการมีรูปแบบดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$\begin{aligned} \ln(kWh/sf) = {} & a + b\,(YRCON) + c\,(RFGWI) + d\,(ELCOOL) + e\,(NGBTUSF) \\ & + f\,(OPHVAC1) + g\,(RFCNS3) \end{aligned} \qquad (2.6)$$

งานวิจัยของ Yalcintas (2006) ได้ทดลองทำการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนด้วยวิธีการวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network – ANN) โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลจากการสำรวจการใช้พลังงานภายในอาคารจากการให้ผู้ใช้งานอาคารตอบชุดคำถามที่เกี่ยวกับปัจจัยชี้วัดต่างๆ และนำตัวเลขในชุดคำตอบมาจัดเรียงเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคำนวณทางสถิติโดยใช้วิธีการแบบ PEA method ปัจจัยชี้วัดภายในชุดคำถามมีทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ ดัชนีการใช้พลังงานจากเครื่องไฟฟ้า ชนิดของไฟส่องสว่าง ชั่วโมงการใช้งาน ชนิดของเครื่องปรับอากาศ ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า และประสิทธิภาพในการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงแบ่งประเภทพื้นที่ใช้สอยออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ห้องปฏิบัติการ สำนักงาน ห้องเรียน และห้องอเนกประสงค์ จากการวิจัยได้พบว่าการใช้วิธี ANN มีความแม่นยำถึงร้อยละ 86 เมื่อเปรียบเทียบกับการวัดค่าดัชนีการใช้พลังงานจริง พบว่า ค่าจากการทำนายกับค่าจากการใช้พลังงานจริงมีความใกล้เคียงกัน สามารถนำมาใช้ทำนายการใช้พลังงานในอนาคตหรือหลังการปรับปรุงอาคาร เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงอาคารได้ แต่เนื่องจากระบบวิธีการนี้เป็นวิธีการแบบใหม่ จึงยังคงต้องพัฒนาต่อไปเพื่อให้มีค่าความแม่นยำในการทำนายด้านการใช้พลังงานของอาคารมีความหลากหลายมากขึ้น

งานวิจัยของ Gao and Malkawi (2014) ทำการศึกษาด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (clustering method) ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารที่มีกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่หรือมีประเภทอาคารแตกต่างกันหลายประเภท โดยในงานวิจัยได้นำวิธีการที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีการของ EnergyStar ที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยในการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์จัดลำดับทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 5 ได้แก่

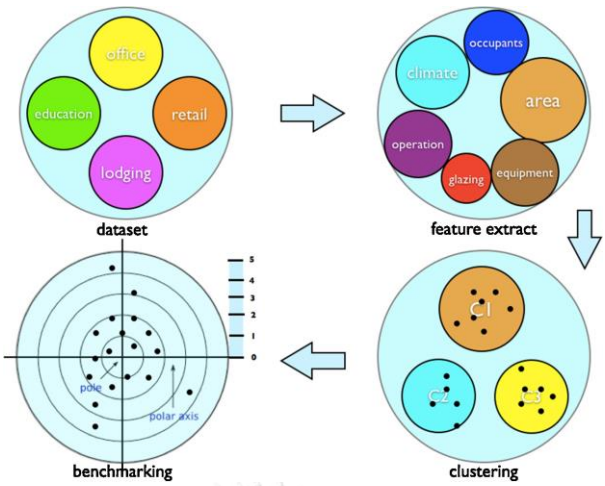
1) การเก็บรวบรวมข้อมูลหลากหลายประเภทอาคาร

2) การเก็บข้อมูลด้านคุณลักษณะของอาคาร เช่น พื้นที่อาคาร จำนวนผู้ใช้งาน สภาพภูมิอากาศ ชนิดของวัสดุประกอบอาคาร เป็นต้น

3) นำข้อมูลมาจัดกลุ่มด้วยวิธี clustering algorithm selection

4) นำผลลัพธ์ที่ได้มาแบ่งกลุ่มตามลำดับในขั้นสุดท้าย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภท

จากวิธีวิเคราะห์ด้วยการจัดกลุ่มทำให้เกิดองค์ความรู้ในด้านการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภท ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานในกลุ่มของอาคารขนาดใหญ่ ที่มีข้อมูลปริมาณมาก เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะต่างกันจำนวนมาก



รูปที่ 5 ขั้นตอนที่ใช้ในการวิจัยพัฒนาวิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่มด้านการใช้พลังงานในอาคาร
ที่มา: Gao and Malkawi (2014)

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาเกณฑ์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาและวิเคราะห์สมการถดถอย ได้แก่ งานวิจัยของ สรญา กังวาล (2557) ที่จัดกลุ่มอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตามประเภทการใช้งานของอาคารออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ อาคารสำนักงาน อาคารเรียน อาคารอเนกประสงค์ และอาคารปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย งานวิจัยใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลหลายส่วน ได้แก่ ใบแจ้งค่าการใช้ไฟฟ้ารายเดือน (kWh) พื้นที่ใช้สอยของอาคาร (m^2) พื้นที่ปรับอากาศ (m^2) และจำนวนผู้ใช้งานอาคาร โดยทำการหาดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/year) และค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนต่อปี (kWh/person/year) ทำการหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่ามัธยฐาน (median) วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารในมหาวิทยาลัย เพื่อหาเกณฑ์สำหรับทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร และจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการวิเคราะห์สมการถดถอยหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยของมาริสา จิวเวชดำรงกุล (2559) ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัย โดยทำการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นจากอาคารกรณีศึกษา 4 อาคาร โดยจำแนกประเภทการใช้งานรายชั้นออกเป็น 4 ประเภทสอดคล้องกับงานวิจัยของสรญา กังวาล (2557) ได้แก่ ห้องปฏิบัติการวิจัย ห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ และห้องบรรยาย ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ห้องเรียนปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ย EUI สูงที่สุด พื้นที่สำนักงานในอาคารปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ย EUI ต่ำที่สุด โดยในส่วนของห้องปฏิบัติการเคมีมีค่าปริมาณการใช้พลังงานต่อปีเฉลี่ย เท่ากับ 182,149

kWh/year และมีค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) เฉลี่ย 133.86 kWh/m^2/year ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 214.54 Watt/m^2 และ 12.90 Watt/m^2 ตามลำดับ รวมทั้งทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระดับรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมี สมการที่ได้จากการวิจัยนี้มีค่า R^2 เท่ากับ 0.27 ซึ่งต่ำกว่าสมการทำนายจากงานวิจัยชิ้นอื่นที่นำมาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากอาคารปฏิบัติการเป็นอาคารที่มีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างจากอาคารประเภทอื่นในมหาวิทยาลัย ซึ่งตัวแปรที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการทำนายได้ดีกว่า คือ ค่า EPD แต่ในการศึกษาไม่สามารถเก็บข้อมูลดังกล่าวได้ สมการทำนายจึงไม่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการได้แม่นยำนัก

ตัวอย่างงานวิจัยด้านการเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารที่นอกเหนือจากอาคารภายในมหาวิทยาลัย ได้แก่ งานวิจัยของกรกมล ตันติวนิช (2553) การเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ซึ่งนำเสนอเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อช่วยประเมิน และบริหารจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบในอาคารสำนักงานของอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์ด้วยวิธีการทางสถิติ โดยใช้เกณฑ์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานของกระทรวงพลังงาน งานวิจัยใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลด้านกายภาพของอาคารสำนักงานจำนวน 44 อาคาร ภายในระยะเวลา 12 เดือน โดยการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรข้อมูลการใช้พลังงานรวม และข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยปรับอากาศ ผลของการศึกษา พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ปรับอากาศถึงร้อยละ 61.5 และมีรูปแบบของสมการดังแสดงในสมการที่ 2.7

พลังงานรวม (kWh/year) = 53,826.23 + 145.345 (พื้นที่ใช้สอยปรับอากาศ) (2.7)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยค่าดัชนีการใช้พลังงานในอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์มีค่าเฉลี่ย 306.31 kWh/m^2/year ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าการใช้พลังงานตามเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน 225 kWh/m^2/year (Tantiwanit, 2007) และทำการจัดเรียงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีด้วยลำดับร้อยละเพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อปี ขั้นตอนสุดท้ายได้มีการกำหนดสัดส่วนอ้างอิง เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยเปรียบเทียบกับการใช้งานอาคารประเภทต่าง ๆ ทั้งในประเทศ และต่างประเทศด้วยวิธีการหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน

จากการศึกษาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานของสไบทิพย์ บุญยงค์ (2551) ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ ซึ่งสมการทำนายค่าการใช้พลังงานมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.88 และสมการมีรูปแบบดังแสดงในสมการที่ 2.8

TBEC (kWh/year) = - 388,169.466 + 145.250 (Gross floor area)
+ 601.517 (Number of people)
+ 1,114,859.026 (Type of building) (2.8)

เนื่องจากตัวแปรในแบบจำลองการใช้พลังงานหรือสมการทำนายค่าการใช้พลังงาน (2.8) เป็นตัวแปรประเภทการใช้งานในอาคารซึ่งเป็นตัวแปรดัมมี่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 จากการเป็นอาคารที่มีการใช้งานในลักษณะเดียวหรือเป็นองค์กรเดียว จึงมีการแยกสมการหรือแบบจำลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สมการสำหรับอาคารที่มีการใช้งานสำหรับองค์กรเดียว และสมการสำหรับอาคารสำนักงานประเภทให้เช่า ซึ่งสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานขององค์กรเดียว มีรูปแบบดังแสดงในสมการที่ 2.9 และสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคาร สำนักงานประเภทให้เช่า มีรูปแบบดังแสดงในสมการที่ 2.10 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน จากการที่อาคารสำนักงานให้เช่ามีค่าการใช้พลังงานที่สูงกว่า โดยอาจเกิดจากอาคารสำนักงานให้เช่าอาจไม่มีการจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารเท่าที่ควร เนื่องจากการขาดความร่วมมือระหว่างเจ้าของอาคารและผู้เช่า ในขณะที่อาคารสำนักงานขององค์กรเดียวสามารถผลักดันการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารได้มากกว่าจากการออกกฎระเบียบ ข้อบังคับ เพื่อให้พนักงานภายในอาคารได้ปฏิบัติตาม (สไบทิพย์ บุญยงค์, 2551)

TBEC (kWh/year) = -388,169.466 + 145.250 (Gross floor area)
+ 601.517 (Number of people) (2.9)

TBEC (kWh/year) = 726,690 + 145.250 (Gross floor area)
+ 601.517 (Number of people) (2.10)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการทำนายสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานของอาคารหน่วยงานราชการในประเทศไทยของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ได้จัดทำสมการคำนวณค่ามาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารหน่วยราชการ ซึ่งในการประเมินด้านพลังงานตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวภาครัฐ อาคารเดิมต้องมีการประเมินปริมาณการใช้พลังงาน ด้วยคำนวณจากสมการการทำนายสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่เทียบเท่าหรือต่ำกว่าค่ามาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับหน่วยราชการของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน ซึ่งต้องมีการประเมินตามประเภทการใช้งานของอาคาร และต้องมีค่าปริมาณการใช้พลังงานของอาคารไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ของค่าเกณฑ์ของสนพ. (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556)

โดยในกลุ่มสถาบันอุดมศึกษาและอาชีวศึกษา (กลุ่มย่อยที่ 7-74) มีสมการคำนวณค่าไฟฟ้ามาตรฐาน (Standard Electricity Utilization, SEU) ซึ่งสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานในอาคาร คณะ ภาควิชา หน่วยงานต่างๆ รวมถึงคณะแพทย์ศาสตร์และโรงพยาบาลของมหาวิทยาลัย ดังแสดงในสมการ (2.11) (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

$$SEU = [2.251(X_1) + 0.042(X_2) + 4.038(X_3/100) + 8.090(X_4) + 1.406(X_5)] + 1.550(X_6)] \times [1.111(X_7)] \quad (2.11)$$

โดยที่

SEU	=	ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐานสนพ. (kWh)
X_1	=	จำนวนบุคลากร
X_2	=	พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
X_3	=	จำนวนนักศึกษา x วันที่มีการเรียนการสอน
X_4	=	จำนวนเตียง
X_5	=	จำนวนผู้ป่วยนอก
X_6	=	จำนวนวันนอนรวมผู้ป่วยใน
X_7	=	อุณหภูมิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยและกรอบการดำเนินงานของงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยงานวิจัยนี้มีรายละเอียดของการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย

3.3 ประชากรเป้าหมาย

3.4 การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

3.5 การเก็บรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย

3.6 การคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการถดถอยพหุคูณ

3.7 การจัดทำแบบจำลองใช้พลังงานแบบ Inverse Modeling

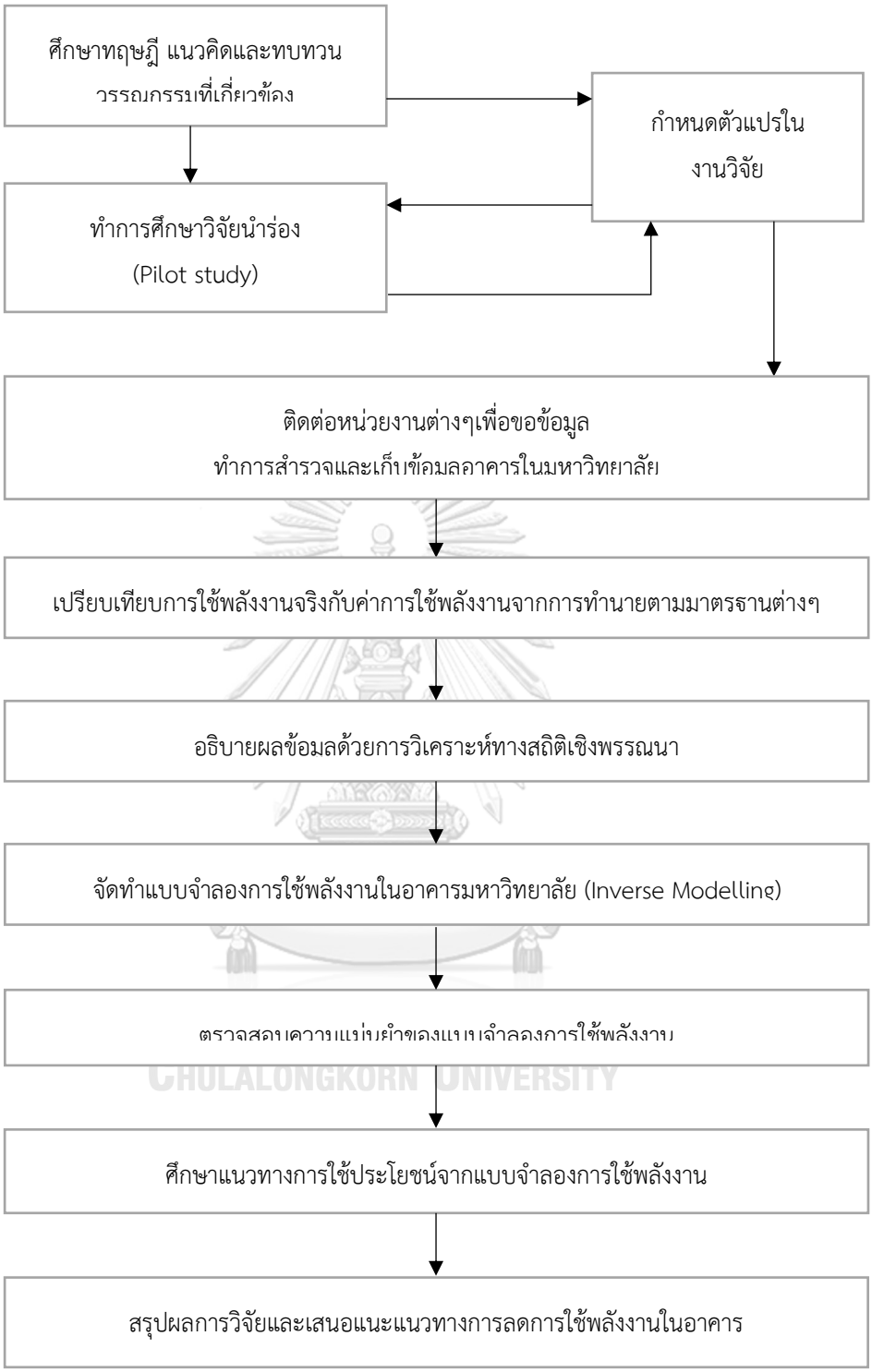
3.8 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

3.9 การสรุปผลการวิจัย และเสนอแนะแนวทางการลดการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย รวมถึงวิธีการวิเคราะห์และทำนายการใช้พลังงาน จากทฤษฎี เกณฑ์มาตรฐาน และงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา เพื่อศึกษาถึงวิธีการวิเคราะห์การใช้พลังงานและเปรียบเทียบวิธีการทำนายการใช้พลังงานในอาคารด้วยแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารในรูปแบบต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย

ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานนั้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการเก็บข้อมูลด้วยการติดต่อขอข้อมูลกับทางสำนักบริหารกายภาพ จุฬาฯ และผู้ดูแลอาคารโดยตรง ตามตารางรายการดังต่อไปนี้ โดยแบ่งแหล่งที่มาของข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.2.1 ข้อมูลแบบปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมจากแหล่งข้อมูลโดยตรงจากการสัมภาษณ์ โดยกลุ่มเป้าหมาย คือ ผู้จัดการอาคาร หรือผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในแต่ละอาคารของมหาวิทยาลัย หรือผู้เกี่ยวข้องที่มีประสบการณ์ ความรู้ สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยได้

3.2.2 ข้อมูลแบบทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เช่น ข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายเดือน จำนวนบุคลากรและนิสิต ตารางเรียน/ตารางสอน เป็นต้น ซึ่งได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยให้สามารถเผยแพร่ข้อมูลดังกล่าวได้

นอกจากนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการกำหนดเกณฑ์ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยอ้างอิงจากมาตรฐานการตรวจวัด IPMVP และเกณฑ์การประเมินระดับสากลตามการทบทวนวรรณกรรม เพื่อให้เข้าถึงปัจจัยที่ต้องการนำมาสร้างแบบการใช้พลังงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

3.3 ประชากรเป้าหมาย

ทำการคัดเลือกอาคารภายใต้การบริหารจัดการส่วนการศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นอาคารสาธารณะ มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก และคาดว่าจะมีการใช้พลังงานปริมาณมากที่สุด โดยไม่รวมอาคารเรียนปฏิบัติการที่มีการใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักร อาคารคณะแพทยศาสตร์และโรงพยาบาลจุฬาฯ รวมถึงอาคารพาณิชยกรรมในพื้นที่ เนื่องจากมีการบริหารจัดการแยกจากส่วนการศึกษาของมหาวิทยาลัย และมีลักษณะของข้อมูลและการใช้งานอาคารที่ซับซ้อนเกินขอบเขตของการศึกษา ได้แก่

1. อาคารสำนักงาน (Office)
2. อาคารเรียน (Lecture building or Lecture hall)
    a. อาคารเรียนรวม
    b. อาคารเรียนและสำนักงาน
    c. อาคารเรียนปฏิบัติการแบบไม่มีเครื่องจักร

3.4 การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ ผู้ศึกษาได้คัดเลือกอาคารต้นแบบจากกลุ่มอาคารแต่ละประเภทตามขอบเขตของประชากรดังกล่าว ตามมาตรฐาน IPMVP ซึ่งเสนอแนะให้ทำการตรวจวัดการใช้พลังงาน โดยแยกตามจุดเครื่องวัดการใช้พลังงาน หรือพิจารณาแยกตามแต่ละอาคาร โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกอาคาร ดังต่อไปนี้

1) อาคารมีการใช้งานไม่ต่ำกว่า 30 ชม.ต่อสัปดาห์ ซึ่งเป็นมาตรฐานขั้นต่ำของการบ่งชี้ว่าอาคารดังกล่าวมีการใช้งานแบบเต็มเวลา (Energy Star, 2010)
2) อาคารที่มีข้อมูลที่เกี่ยวเนื่องกับการใช้พลังงานที่ครบถ้วนสมบูรณ์ที่สุด ภายในระยะเวลา 24 เดือน ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2560
3) อาคารไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงขนาดใหญ่หรือการปรับปรุงใหม่ในช่วงระยะเวลาที่ต้องการเก็บข้อมูล เพื่อการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่แม่นยำ ตามมาตรฐาน IPMVP

3.5 การเก็บรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัย

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่รวบรวมได้จากทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งสามารถแบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ ดังต่อไปนี้

ตัวแปรต้น

ในงานวิจัยนี้ จะทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งแบ่งกลุ่มตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ กายภาพอาคาร ผู้ใช้งานอาคาร และลักษณะการใช้งานอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3 รายละเอียดตัวแปรในการเก็บข้อมูล

ประเภทตัวแปร	รายละเอียด
สภาพอากาศ	อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)
กายภาพอาคาร	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (m^2)
	พื้นที่ปรับอากาศ
	พื้นที่ส่วนเรียนบรรยายและประชุม
	พื้นที่สำนักงานและห้องพักอาจารย์
	กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (Btu/h.m^2)
	LPD (W/m^2)
	EPD (W/m^2)

ผู้ใช้งานอาคาร	จำนวนพนักงานต่อวัน จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ (คน/100 ตร.ม.) จำนวนนักเรียนเฉลี่ยต่อชั่วโมง จำนวนนักเรียนต่อพื้นที่ (คน/100 ตร.ม.)
การใช้งานอาคาร	วันทำการ ชั่วโมงทำการเฉลี่ยต่อวัน ชั่วโมงทำการเฉลี่ยต่อเดือน วันที่มีการเรียนการสอน ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อเดือน

ตัวแปรตาม

ในการเก็บข้อมูล จะเลือกเก็บจากข้อมูลแบบทุติยภูมิ คือ ค่าการใช้พลังงานในอาคารรายเดือน (Energy consumption) ของอาคาร ซึ่งมีหน่วยเป็น kWh/เดือน

3.6 การคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการถดถอยพหุคูณ

หลังจากการคัดเลือกตัวแปรตามเกณฑ์การเก็บข้อมูลในเบื้องต้นแล้ว ในการวิเคราะห์เบื้องต้น จะต้องตรวจสอบระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (X) ต่อตัวแปรตาม (Y) หรือค่าการใช้พลังงานด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อคัดเลือกและจัดรูปแบบของตัวแปรเข้าในสมการถดถอยพหุคูณ

การคัดเลือกตัวแปรด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation)

ในการวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัว ซึ่งในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใดนั้น จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เป็นค่าที่วัดความสัมพันธ์

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์โดยทั่วไปจะใช้เกณฑ์ดังนี้ (Hinkle D. E. 1998, p.118)

ค่า r ระดับของความสัมพันธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90 - 1.00 มีความสัมพันธ์กันสูงมาก

0.70 – 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

0.50 – 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

0.30 – 0.50 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ

0.00 – 0.30 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย+,- หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์

โดยหาก r มีเครื่องหมาย+ หมายถึงการมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย) r มีเครื่องหมาย- หมายถึงการมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ) ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะใช้ได้อย่างเหมาะสมกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเท่านั้น

3.7 การจัดทำแบบจำลองใช้พลังงานแบบ Inverse Modeling

3.7.1 เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 23 ในการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression analysis) โดยใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสู่สมการด้วยวิธี Backward ซึ่งเป็นการกำหนดให้สมการถดถอยประกอบด้วยตัวแปรอิสระทั้งหมดก่อน แล้วคัดเลือกตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามออกจากสมการทีละตัว โดยผู้วิเคราะห์เป็นผู้กำหนดเกณฑ์ในการคัดตัวแปรอิสระออกจากสมการเองด้วยค่าระดับนัยสำคัญสูงสุดของตัวแปรอิสระที่สามารถอยู่ในสมการถดถอยได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณด้วย SPSS

การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณด้วยวิธี Stepwise มีขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นที่ 1 นำเข้าตัวแปรครั้งแรก ซึ่งโปรแกรมจะนำเข้าทีละตัว โดยพิจารณาเลือกตัวแปรอิสระ Xi ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (ค่า R) สูงที่สุด และมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขั้นที่ 2 เพิ่มตัวแปรอิสระ X_i เข้าไปในตัวแบบ โดยพิจารณาจากค่า Partial ที่มีค่ามากที่สุดและมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขั้นที่ 3 พิจารณาจากค่า Partial ของตัวแปรอิสระ X_i ในขั้นที่ 1 เพื่อพิจารณาว่าจะตัดตัวแปรอิสระตัวแรก ออกจากสมการถดถอยหรือไม่

ขั้นที่ 4 พิจารณาว่าควรเพิ่มตัวแปรอิสระ X_i ตัวอื่น ๆ เข้าไปในสมการถดถอยอีกหรือไม่ หากพบว่าไม่มีนัยสำคัญก็จะไม่เพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปในสมการถดถอยอีก และหยุดการพัฒนาตัวแบบการถดถอย

3.7.3 ตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนาย

- พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Adjusted R^2) ที่ถูกปรับค่าแล้วให้มีค่าอยู่ที่ > 0.75 ขึ้นไป และค่านัยสำคัญทางสถิติ p-value < 0.05
- ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยที่ว่าตัวแปรอิสระทุกตัวเป็นอิสระกัน

การตรวจสอบเงื่อนไขนี้จะตรวจสอบโดยการใช้ค่าสถิติ Tolerance และ ค่า Variance Inflation Factor (VIF) ถ้าหากค่า Tolerance ของตัวแปร เข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรเป็นอิสระจากกัน แต่ถ้าค่าใกล้ศูนย์ แสดงว่าเกิดปัญหา Multicollinearity และ ค่า Variance Inflation Factor หากมีค่าใกล้ 10 มากแสดงว่าระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในสมการการวิเคราะห์ความถดถอยพหุเชิงเส้นมีมาก

- การตรวจสอบความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อน

ตัวแปรอิสระต้องเป็นข้อมูลที่ไม่มีความสัมพันธ์ภายในตัวเอง หรือที่เรียกว่า การไม่เกิด Autocorrelation โดยใช้ค่า Durbin-Watson ในการทดสอบว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ภายในตัวเองหรือไม่ โดยมีเกณฑ์ในการวัดค่า Durbin-Watson ดังนี้

มีค่าอยู่ในช่วง 1.5 – 2.5 แสดงว่ามีความเป็นอิสระ

มีค่าอยู่ในช่วง 2.6 – 4.0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในทิศทางลบ

มีค่าอยู่ในช่วง 0 – 1.4 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวก

ทั้งนี้ถ้าค่า Durbin-Watson มีค่าน้อยกว่า 1.5 และมากกว่า 2.5 แสดงว่าเกิด Autocorrelation หรือตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ภายในตัวเอง ซึ่งจะทำให้การคำนวณสมการการวิเคราะห์ความถดถอยพหุเชิงเส้นมีปัญหา

- การตรวจสอบเกี่ยวกับความแปรปรวน

ตรวจสอบเกี่ยวกับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนโดยวิธีการพล็อตกราฟระหว่างความคลาดเคลื่อน (e) กับค่าทำนายของตัวแปรตาม (y) โดยใช้คำสั่ง plot ในหน้าต่างของคำสั่ง Linear Regression ซึ่งในโปรแกรม SPSS จะเป็นการพล็อตระหว่าง ZRESID กับ ZPRED ถ้าพบว่าค่า e กระจายอยู่รอบ ๆ ค่า O ไม่ว่าค่า y จะเปลี่ยนแปลงไปก็ตามแสดงว่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่ แต่ถ้าพบว่าค่า e มีการกระจายอย่างมีรูปแบบ แสดงว่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ในทุกค่าของ X นั่นคือเกิดปัญหา heterogeneity การแก้ปัญหาความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่อาจใช้วิธีการแปลงข้อมูลเช่นแปลงค่าของข้อมูลให้อยู่ในรูปของ log เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7.4 การทดสอบความแม่นยำของสมการทำนาย

หลังจากได้สมการทำนายการใช้พลังงานของอาคารมหาวิทยาลัยแล้ว ต้องทำการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการทำนาย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการ โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่สามารถวัดได้จริง และค่าที่คำนวณได้จากสมการวิเคราะห์การถดถอย หากพบว่าค่า Root Mean Square Error (RMSE) ที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง สมการทำนายนั้นไม่มีความคลาดเคลื่อน ด้วยสมการ (3.1)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(Y_1 - Y_2)^2} \quad (3.1)$$

ต่อมาทำการวิเคราะห์อัตราร้อยละความเคลื่อนของสมการ ด้วยสมการ (3.2) โดยที่ค่า CV(RMSE) < 25% สำหรับการทดสอบสมการที่มีข้อมูลการใช้พลังงานเป็นช่วงระยะเวลา 12 – 60 เดือนตามเกณฑ์ ASHRAE Guideline 14 (2002) ซึ่งในการวิจัยนี้ ทำการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเป็นระยะเวลา 12 เดือน

$$CV(RMSE) = \frac{1}{Y}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_1 - Y_2)^2}{N}} \times 100 \quad (3.2)$$

ลำดับสุดท้าย ทำการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ Mean Bias Error (MBE) หากพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ หมายถึง สมการทำนายนั้นไม่มีความคลาดเคลื่อน ด้วยสมการ (3.3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(Y_1 - Y_2) \quad (3.3)$$

3.8 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร (Sensitivity)

หลังจากได้แบบจำลอง Inverse modeling ของอาคารแต่ละประเภทแล้ว ในการวิจัยขั้นนี้จะเป็นการนำสมการมาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อดู Sensitivity ของสมการว่าหากตัวแปรทำนาย x_i มีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารอย่างไร และการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภทมีระดับการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทำนาย x_i อย่างไร เพื่อช่วยให้ผู้จัดการพลังงานและผู้เกี่ยวข้องตัดสินใจในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงอาคารในส่วนที่เกี่ยวข้องปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 4
ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา กลุ่มอาคารสำนักงาน และอาคารเรียนภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในขั้นตอนการกรองข้อมูล พบว่าอาคารบางแห่ง มีลักษณะการใช้งานต่างจากอาคารสำนักงานทั่วไป เช่น มีลักษณะเป็นห้องทำงานผู้บริหารที่มีพื้นที่ต่อคนขนาดใหญ่ และมีการใช้งานไม่แน่นอน ทำให้ไม่สามารถเก็บปัจจัยเพื่อนำมาวิเคราะห์สมการได้ ประกอบกับอาคารบางส่วนมีค่าใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติ และไม่สามารถบอกได้ถึงสาเหตุของค่าไฟฟ้าที่ผิดปกติ รวมถึงอาคารบางส่วนไม่มีการเก็บข้อมูลกายภาพอาคาร และอุปกรณ์ต่างๆไว้ ทำให้ต้องใช้การเดินสำรวจอาคาร ประกอบกับการศึกษาเอกสารที่มีอยู่ในลักษณะที่แตกต่างกัน

ภายหลังจากการคัดเลือกอาคารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอย จากข้อมูลการใช้พลังงานและความสมบูรณ์ของปัจจัยต่างๆ จึงได้อาคารกรณีศึกษาทั้งสิ้น 7 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่มีหน่วยงานผู้ดูแลอาคารแตกต่างกัน ได้แก่ อาคารที่สำนักบริหารกายภาพดูแลโดยตรง อาคารที่มีการจ้างหน่วยงานผู้เชี่ยวชาญด้านการบริหารจัดการอาคารในการดูแล และอาคารที่ส่วนคณะจัดการเอง ทำให้ข้อมูลปัจจัยต่างๆ ของแต่ละอาคารมีแนวทางในการเก็บข้อมูลแตกต่างกันออกไป

อาคารกรณีศึกษาทั้ง 7 อาคาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ อาคารเรียน และอาคารสำนักงาน โดยในส่วนของอาคารเรียนสามารถแบ่งออกเป็นประเภทย่อย ได้อีก 3 ประเภท ตามลักษณะพื้นที่ใช้สอยส่วนใหญ่ ได้แก่ อาคารเรียนรวม อาคารเรียนและสำนักงาน และอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ ซึ่งมีรายละเอียดกายภาพอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 กลุ่มอาคารเรียนจำนวน 5 อาคาร

รหัสอาคาร	ชื่ออาคาร	ความสูง (ชั้น)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)
ARC 01	อาคารสถาปัตยกรรม 1	11	17,580.72
ARC 05	อาคารนารถ โพธิประสาท		
CEN 51	อาคารพินิตประชานารถ	12	10,275.28
CEN 86	อาคารจุฬาพัฒน์ 13	9	9,216.04
CEN 53	อาคารบรมราชกุมารี	15	18,556.73
POL 03	อาคารเกษม อุทยานิน	13	18,525.93

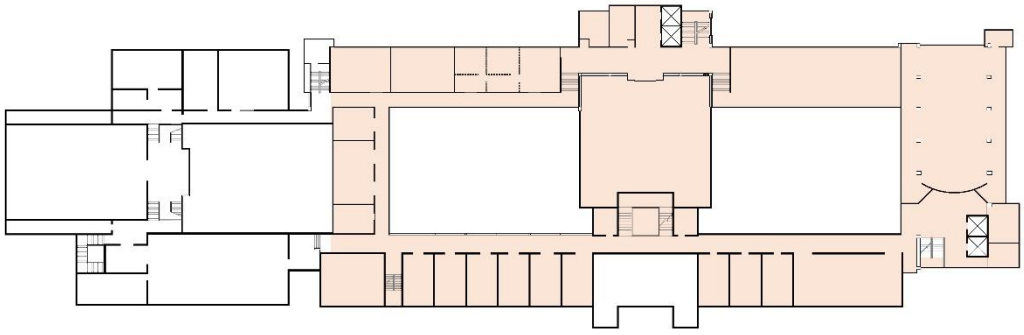
ตารางที่ 5 กลุ่มอาคารสำนักงานจำนวน 2 อาคาร

รหัสอาคาร	ชื่ออาคาร	ความสูง (ชั้น)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)
AHS 01	อาคารจุฬาพัฒน์ 1	4	3,828.18
CEN 62	อาคารจามจุรี 5	7	11,675.71

4.1 ข้อมูลพื้นฐานของอาคาร

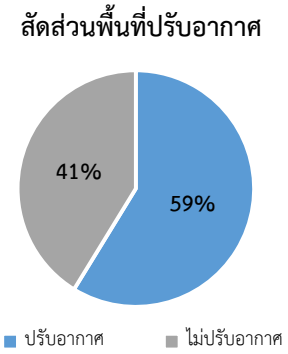
4.1.1 อาคารสถาปัตยกรรม 1 และอาคารนารถ โพธิประสาท

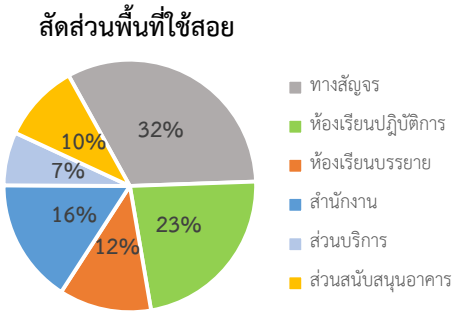
อาคารสถาปัตยกรรม 1 และอาคารนารถ โพธิประสาทเป็นกลุ่มอาคารที่มีพื้นที่เชื่อมต่อกันเสมือนอาคารหลังเดียว อาคารสถาปัตยกรรม 1 เป็นอาคารเรียนหลังแรกของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ เปิดใช้งานอาคารในปีพ.ศ. 2483 เป็นอาคาร 3 ชั้น สูง 20 เมตร ส่วนอาคารนารถ โพธิประสาท เป็นอาคารเรียนของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่ก่อสร้างเพิ่มในเวลาต่อมา เปิดใช้งานอาคารในปีพ.ศ. 2538 เป็นอาคารสูง 11 ชั้น ตัวอาคารวางตามแนวตะวันออก – ตะวันตก โดยมีลักษณะ typical floor plan ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผังพื้นชั้น 3 สถาปัตยกรรม 1 และอาคารนารถ โพธิประสาท

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของอาคาร อาคารสถาปัตยกรรม 1 และอาคารนารถ โพธิประสาท มีพื้นที่ใช้สอยรวม 17,7713.23 ตารางเมตร ประกอบด้วย (1) ส่วนสำนักงานและห้องพักอาจารย์ 2,866.46 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 16 (2) ห้องเรียนบรรยาย 2,129.10 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 12 (3) ห้องเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ 4,110.32 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 23 (4) ส่วนสนับสนุนอาคาร 1,803.75 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 10 (5) ส่วนบริการ 1,227.87 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 7 (6) ทางสัญจร 5,844.09 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 33 โดยเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 10,408.09 ตารางเมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 59 ของพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ดังแสดงในแผนภูมิที่ 1 และ 2

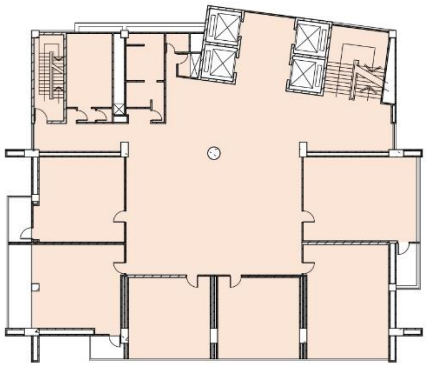




แผนภูมิที่ 1 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ซ้าย)
แผนภูมิที่ 2 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ขวา)

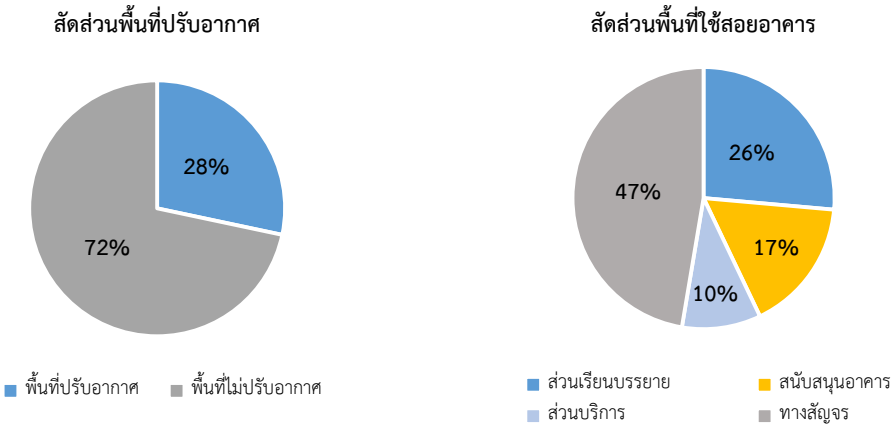
4.1.2 อาคารพินิตประชานารถ

อาคารพินิตประชานารถ เป็นอาคารเรียนรวมส่วนกลางของสำนักกายภาพมหาวิทยาลัย ลักษณะผังพื้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมกว้าง 25 เมตร ยาว 30 เมตร ความสูง 12 ชั้น เริ่มเปิดใช้งานในปี พ.ศ. 2543 ปัจจุบันอาคารมีอายุรวม 18 ปี โดยมีลักษณะ typical floor plan ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผังพื้นชั้น 11 ของอาคารพินิตประชานารถ

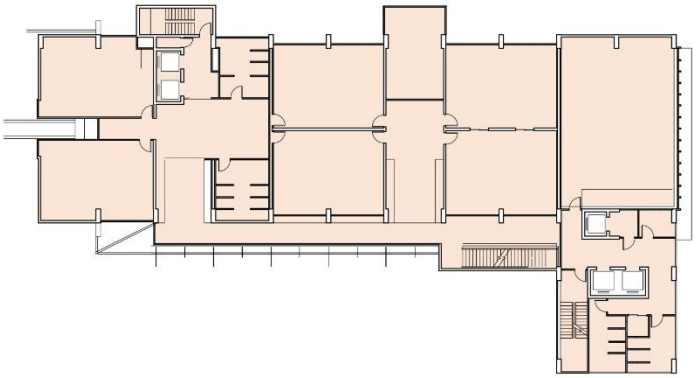
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของอาคาร อาคารพินิตประชานารถ มีขนาดพื้นที่ใช้สอยรวม 10,275.28 ตารางเมตร ประกอบด้วย (1) ส่วนเรียนบรรยายและห้องประชุม 2,713.75 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 26 (2) ส่วนสนับสนุนอาคาร 1,695.55 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 17 (3) ส่วนบริการ 1,000.82 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 10 (4) ทางสัญจร 4,865.16 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 47 โดยเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 2,910.25 ตารางเมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 26 ของพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ดังแผนภูมิที่ 3 และ 4



แผนภูมิที่ 3 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารพินิตประชานารถ (ซ้าย)
แผนภูมิที่ 4 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารอาคารพินิตประชานารถ (ขวา)

4.2.3 อาคารจุฬาพัฒน์ 13

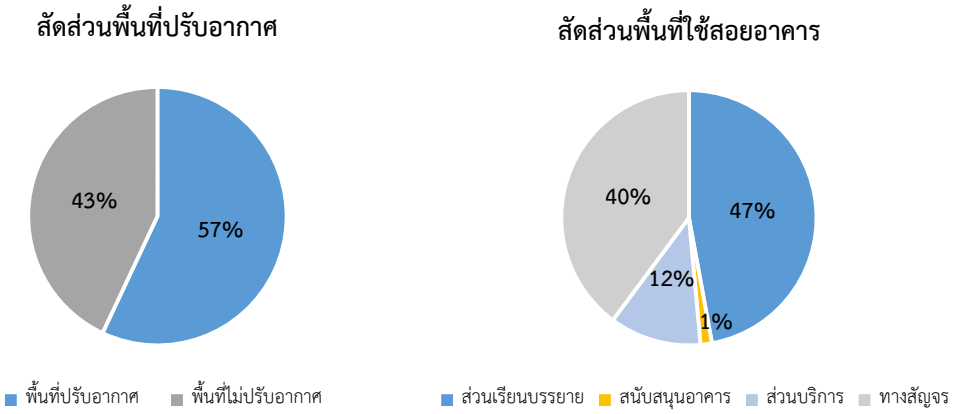
อาคารจุฬาพัฒน์ 13 เป็นอาคารเรียนรวมส่วนกลางของสำนักกายภาพมหาวิทยาลัย ลักษณะผังพื้นเป็นรูปสี่เปลี่ยมผืนผ้ากว้าง 28 เมตร ยาว 65 เมตร ความสูง 9 ชั้น อาคารวางตัวตามแนวตะวันออก – ตะวันตก เริ่มเปิดใช้งานในปี พ.ศ. 2555 ปัจจุบันอาคารมีอายุรวม 6 ปี โดยมีลักษณะ typical floor plan ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผังพื้นชั้น 8 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 13

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพ อาคารจุฬาพัฒน์ 13 มีขนาดพื้นที่ใช้สอยรวม 9,216.04 ตารางเมตร ประกอบด้วย (1) ส่วนเรียนบรรยายและห้องประชุม 4,341.11 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 47 (2) ส่วนสนับสนุนอาคาร 133.2 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 1 (3) ส่วนบริการ 1,071.50 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 12 (4) ทางสัญจร 3,670.23 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อย

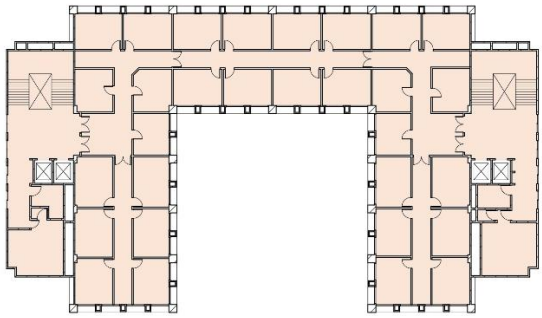
ละ 40 โดยเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 5,252.45 ตารางเมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 57 ของพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5 และ 6



แผนภูมิที่ 5 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารจุฬาพัฒน์ 13 (ซ้าย)
แผนภูมิที่ 6 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารจุฬาพัฒน์ 13 (ขวา)

4.2.4 อาคารบรมราชกุมารี

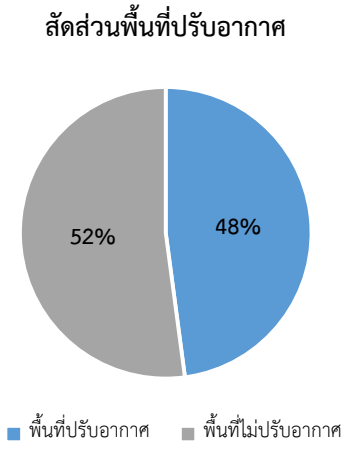
อาคารบรมราชกุมารี เป็นอาคารเรียนและสำนักงานส่วนกลางของสำนักมหาวิทยาลัย ลักษณะผังพื้นเป็นรูปตัว U กว้าง 54 เมตร ยาว 35 เมตร ความสูง 15 ชั้น อาคารวางตัวตามแนวตะวันออก – ตะวันตก เริ่มเปิดใช้งานในปี พ.ศ. 2537 ปัจจุบันอาคารมีอายุรวม 24 ปี โดยมีลักษณะ typical floor plan ดังรูปที่ 10

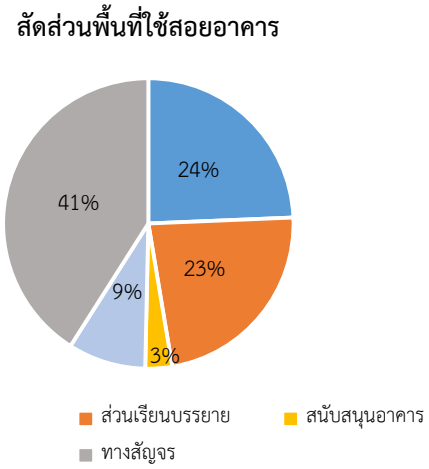


รูปที่ 10 ผังพื้นชั้น 10 ของอาคารบรมราชกุมารี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพ อาคารบรมราชกุมารี มีขนาดพื้นที่ใช้สอยรวม 18,556.73 ตารางเมตร ประกอบด้วย (1) ส่วนสำนักงานและห้องพักอาจารย์ 4,517.55 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 24 (2) ส่วนเรียนบรรยายเรียนบรรยายและห้องประชุม 4,271.32 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 24 (3) ส่วนสนับสนุนอาคาร 553.56 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3 (4) ส่วนบริการ 1,608.94 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 9 (5) ทางสัญจร 7,605.36 ตารางเมตร หรือคิด

เป็นร้อยละ 41 โดยเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 8,887.28 ตารางเมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 48 ของพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ดังแสดงในแผนภูมิที่ 7 และ 8



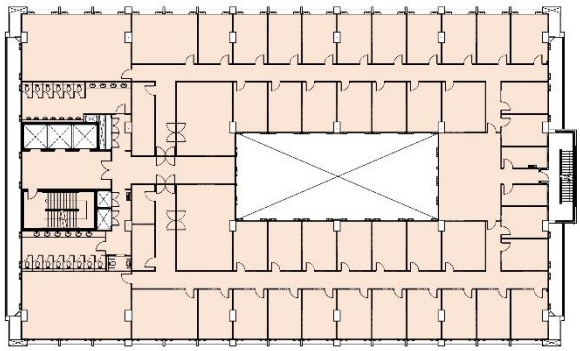


แผนภูมิที่ 7 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารบรมราชกุมารี (ซ้าย)

แผนภูมิที่ 8 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารบรมราชกุมารี (ขวา)

4.2.5 อาคารเกษม อุทยานิน (รัฐศาสตร์ 60 ปี)

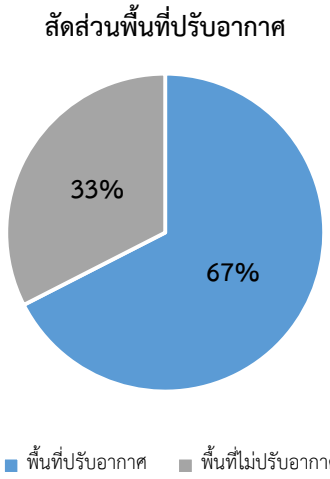
อาคารเกษม อุทยานิน เป็นอาคารเรียนและสำนักงานของคณะรัฐศาสตร์ ลักษณะผังพื้นเป็นรูปสี่เปลี่ยมผืนผ้ากว้าง 30 เมตร ยาว 55 เมตร ความสูง 13 ชั้น เริ่มเปิดใช้งานในปี พ.ศ. 2558 ปัจจุบันอาคารมีอายุรวม 3 ปี โดยมีลักษณะ typical floor plan ดังรูปที่ 11

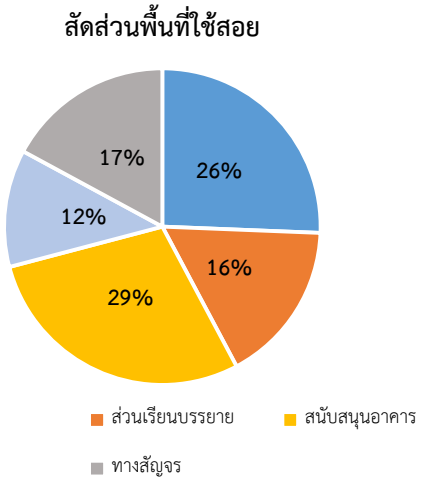


รูปที่ 11 ผังพื้นชั้น 8 ของอาคารเกษม อุทยานิน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพ อาคารเกษม อุทยานิน มีขนาดพื้นที่ใช้สอยรวม 18,525.93 ตารางเมตร ประกอบด้วย (1) ส่วนสำนักงานและห้องพักอาจารย์ 4,749.05 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 26 (2) ส่วนเรียนบรรยายเรียนบรรยายและห้องประชุม 3,073.51 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 17 (3) ส่วนสนับสนุนอาคาร 5,311.87 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 29 (4) ส่วนบริการ 2,223.01 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 12 (5) ทางสัญจร 3,168.49 ตารางเมตร หรือ

คิดเป็นร้อยละ 17 โดยเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 12,501.16 ตารางเมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 67 ของพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ดังแสดงในแผนภูมิที่ 9 และ 10

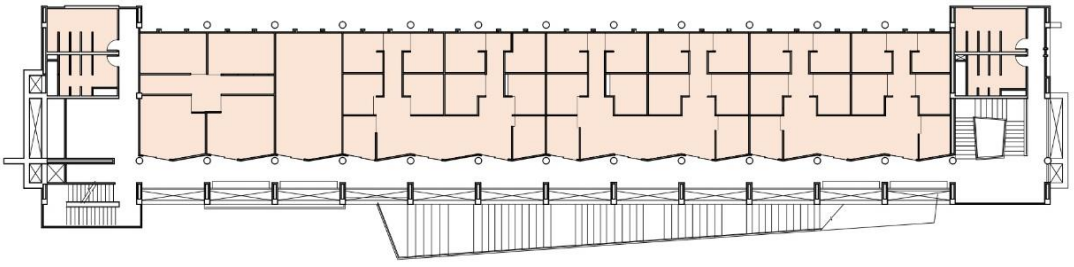




แผนภูมิที่ 9 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารเกษม อุทยานิน (ซ้าย)
แผนภูมิที่ 10 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารเกษม อุทยานิน (ขวา)

4.2.6 อาคารจุฬาพัฒน์ 1

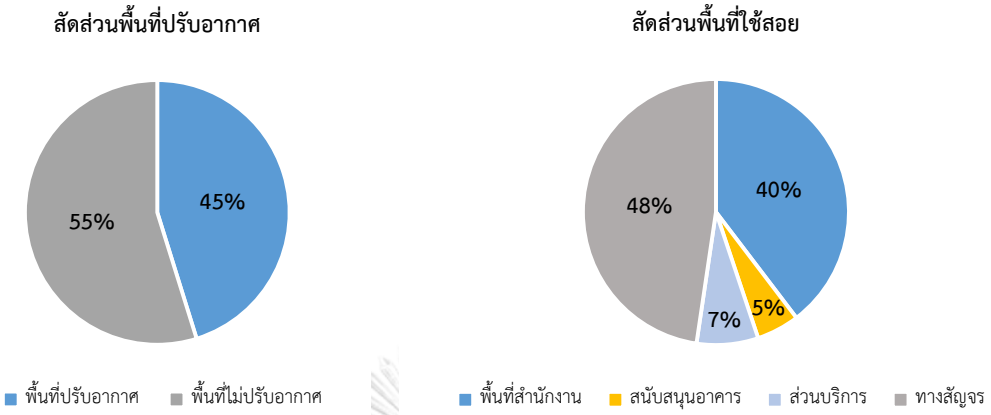
อาคารจุฬาพัฒน์ 1 เป็นอาคารสำนักงานของคณะสหเวชศาสตร์ ลักษณะผังพื้นเป็นรูปสี่เปลี่ยมผืนผ้ากว้าง 13 เมตร ยาว 74 เมตร ความสูง 4 ชั้น อาคารวางตัวตามแนวตะวันออก – ตะวันตก เริ่มเปิดใช้งานในปี พ.ศ. 2548 ปัจจุบันอาคารมีอายุรวม 12 ปี โดยมีลักษณะ typical floor plan ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผังพื้นชั้น 3 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 1

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของอาคาร อาคารจุฬาพัฒน์ 1 มีขนาดพื้นที่ใช้สอยรวม 3,828.18 ตารางเมตร ประกอบด้วย (1) ส่วนสำนักงาน 1,517.72 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 40 (2) ส่วนสนับสนุนอาคาร 199.64 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 5 (3) ส่วนบริการ 286.48 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 7 (4) ทางสัญจร 1,824.34 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 48 โดยเป็น

พื้นที่ปรับอากาศ 1,730.01 ตารางเมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 45 ของพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ดังแสดงในแผนภูมิที่ 11 และ 12

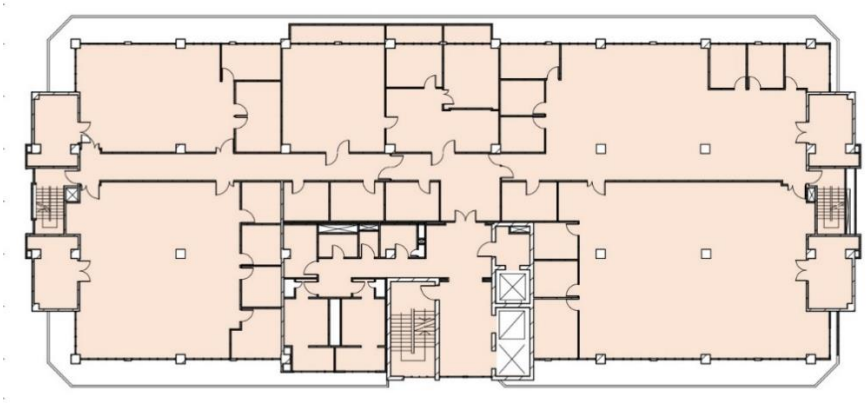


แผนภูมิที่ 11 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารจุฬาพัฒน์ 1 (ซ้าย)

แผนภูมิที่ 12 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารจุฬาพัฒน์ 1 (ขวา)

4.2.7 อาคารจามจุรี 5

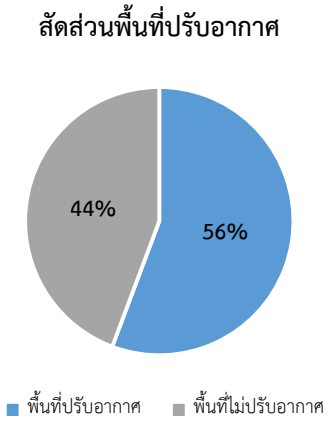
อาคารจามจุรี 5 เป็นอาคารสำนักงานส่วนกลางของสำนักมหาวิทยาลัย ลักษณะผังพื้นเป็นรูปสี่เปลี่ยมผืนผ้ากว้าง 34 เมตร ยาว 66 เมตร ความสูง 7 ชั้น อาคารวางตัวตามแนวตะวันออก – ตะวันตก เริ่มเปิดใช้งานในปี พ.ศ. 2542 ปัจจุบันอาคารมีอายุรวม 18 ปี โดยมีลักษณะ typical floor plan ดังรูปที่ 13

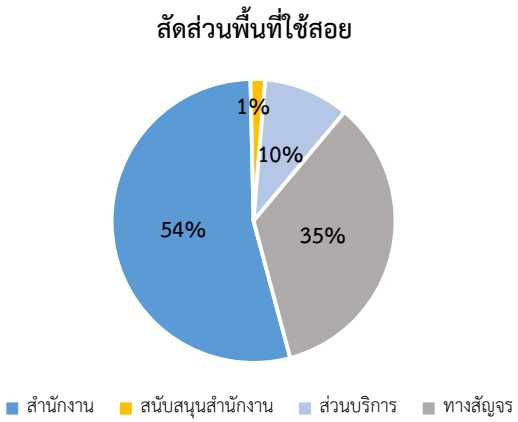


รูปที่ 13 ผังพื้นชั้น 4 ของอาคารจามจุรี 5

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของอาคาร อาคารจามจุรี 5 มีขนาดพื้นที่ใช้สอยรวม 11,685.45 ตารางเมตร ประกอบด้วย (1) ส่วนสำนักงาน 6,283.87 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 54 (2) ส่วนสนับสนุนอาคาร 194.27 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 1 (3) ส่วนบริการ 1140.64 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 10 (4) ทางสัญจร 4,056.93 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 35 โดย

เป็นพื้นที่ปรับอากาศ 6,509.80 ตารางเมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 56 ของพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ดังแสดงในแผนภูมิที่ 13 และ 14





แผนภูมิที่ 13 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศของอาคารจามจุรี 5 (ซ้าย)

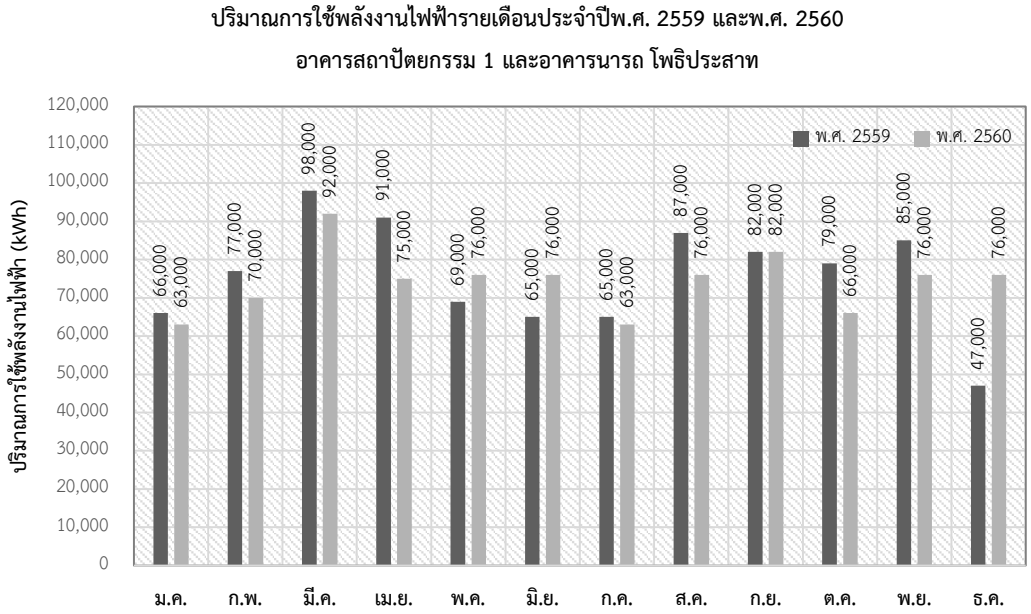
แผนภูมิที่ 14 สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยของอาคารจามจุรี 5 (ขวา)

4.2 ปัจจัยและลักษณะการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา

4.2.1 กรณีศึกษาอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ: อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

4.2.1.1 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (สำนักบริหารระบบกายภาพ, 2560) ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 – ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี หรือ 4 ภาคการศึกษา ดังแสดงในแผนภูมิที่ 15 พบว่า เดือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 92,000 kWh และเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 47,000 kWh ในขณะเดียวกันการใช้ไฟฟ้าในช่วงเดือนธันวาคม 2560 กลับพุ่งสูงขึ้นอย่างผิดปกติ จากการสอบถามข้อมูลพบว่าทางคณะได้มีการจัดกิจกรรมของนิสิตในช่วงปิดภาคการศึกษา



แผนภูมิที่ 15 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

4.2.1.2 ระบบประกอบอาคาร

(1) ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วนและแบบชุด ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีกำลังการทำความเย็นตั้งแต่ 9,000 - 200,000 BTU/h และมีกำลังทำความเย็นเฉลี่ยต่อพื้นที่เท่ากับ 973.9 BTU/h.m^2

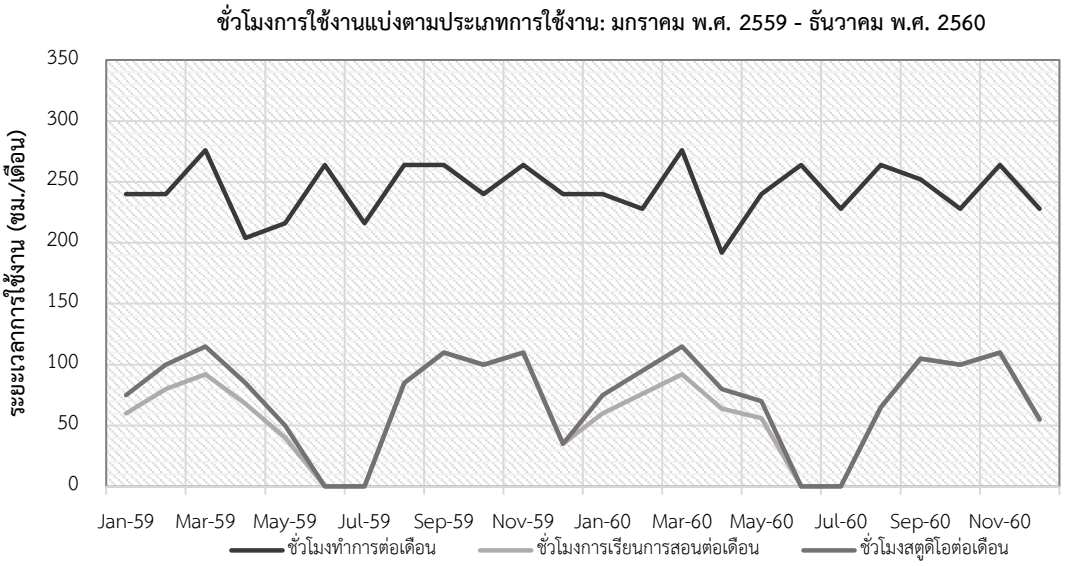
(2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ หลอดฮาโลเจน และหลอด LED ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) เฉลี่ยเท่ากับ 12.22 W/m^2

(3) อุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย อุปกรณ์สำนักงานและอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอน ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร ตู้เย็น โปรเจคเตอร์ เครื่องขยายเสียง และอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเครื่องกล ได้แก่ มอเตอร์ลิฟต์และปั๊มน้ำ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) เฉลี่ยเท่ากับ 9.46 W/m^2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.1.3 ผู้ใช้งานและการใช้งานอาคาร

ในส่วนของการใช้งานอาคาร สามารถแบ่งรูปแบบการใช้งานตามพื้นที่ใช้สอยหลัก ดังแสดงในแผนภูมิที่ 16



แผนภูมิที่ 16 ชั่วโมงการใช้งานอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

(1) ส่วนสำนักงาน ประกอบด้วย สำนักภาควิชา ฝ่ายงานต่างๆของคณะ และห้องพักอาจารย์ มีการใช้งานตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ ในช่วงระหว่างเวลา 8:00 น. ถึง 20:00 น. รวมระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 12 ชั่วโมง/วัน โดยรองรับพนักงานและเจ้าหน้าที่คณะประมาณ 147 คนต่อวัน

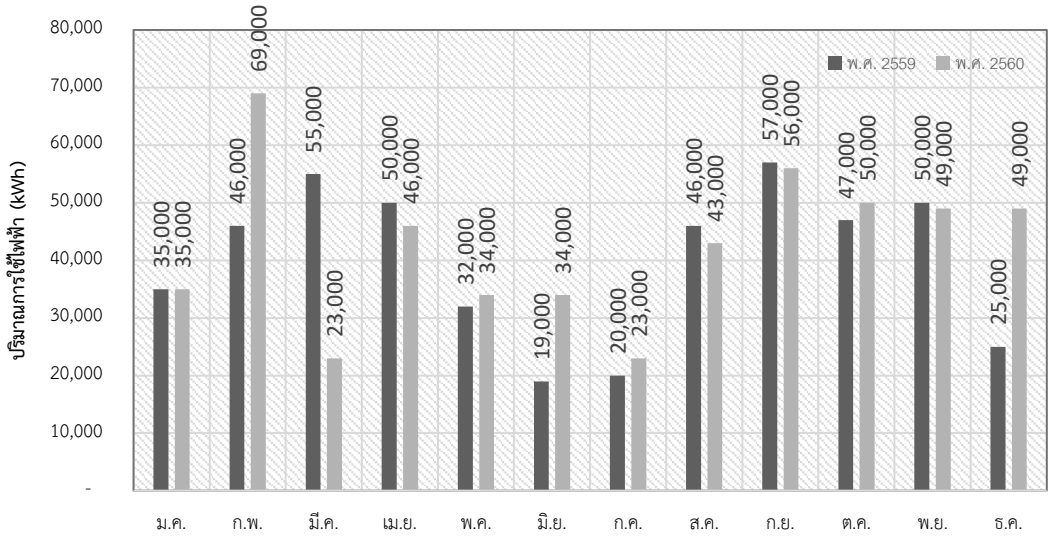
(2) ส่วนเรียนบรรยาย ประกอบด้วย ห้องบรรยายขนาดเล็กถึงห้องบรรยายขนาดใหญ่ ตั้งแต่ขนาด 16 ที่นั่ง – 168 ที่นั่ง มีการใช้งานตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ในช่วงเปิดภาคการศึกษาตามตารางเรียน/ตารางสอน รวมระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 4 - 5 ชั่วโมง/วัน โดยมีจำนวนนิสิตในช่วงเปิดภาคการศึกษาเฉลี่ย 972 คนต่อวัน

(3) ส่วนเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ ประกอบด้วย ห้องสตูดิโอขนาดเล็กถึงห้องสตูดิโอขนาดใหญ่ สำหรับ 100 คน มีการใช้งานตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ในช่วงเปิดภาคการศึกษาตามตารางเรียน/ตารางสอน รวมระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 5 ชั่วโมง/วันและมีการใช้งานมากในวันอังคาร พฤหัสและศุกร์ในช่วงบ่าย

4.2.2 กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม: อาคารพินิตประชานารถ

4.2.2.1 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารพินิตประชานารถ (สำนักบริหารระบบกายภาพ, 2560) ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 – ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี หรือ 4 ภาคการศึกษา ดังแสดงในแผนภูมิที่ 17 พบว่า เดือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 69,000 kWh และเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2559 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 19,000 kWh จะเห็นว่าอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงระหว่างเปิดภาคการศึกษา และมีการใช้พลังงานลดลงในช่วงปิดภาคการศึกษา อย่างไรก็ตาม อาคารมีการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม พ.ศ. 2560 โดยไม่สามารถระบุสาเหตุได้



แผนภูมิที่ 17 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารพินิตประชานารถ
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

4.2.2.2 ระบบประกอบอาคาร

(1) ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วนและแบบชุด ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีกำลังการทำความเย็นตั้งแต่ 24,000 - 420,000 BTU/h และมีกำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ เท่ากับ 750.45 BTU/h.m^2

(2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ และหลอด Metal Halide ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) เฉลี่ยเท่ากับ 10.71 W/m^2

(3) อุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย อุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนประจำห้องเรียน ได้แก่ คอมพิวเตอร์ โปรเจคเตอร์ Visualizer และเครื่องขยายเสียง และอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเครื่องกล ได้แก่ มอเตอร์ลิฟต์และปั๊มน้ำ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) เฉลี่ยเท่ากับ 6.02 W/m^2

4.2.2.3 ผู้ใช้งานอาคาร

อาคารพินิตประชานารถ มีการใช้งานส่วนใหญ่เกิดจากการเรียนการสอน พื้นที่ส่วนเรียนบรรยาย ประกอบด้วย ห้องบรรยายขนาดเล็กถึงห้องบรรยายขนาดใหญ่ ตั้งแต่ขนาด 30 ที่นั่ง – 252 ที่นั่ง จำนวนทั้งสิ้น 20 ห้อง มีจำนวนนิสิตต่อวันในช่วงปีการศึกษา 2558 ภาคปลาย – ปีการศึกษา 2560 ภาคต้น ดังแสดงในตารางที่ 6

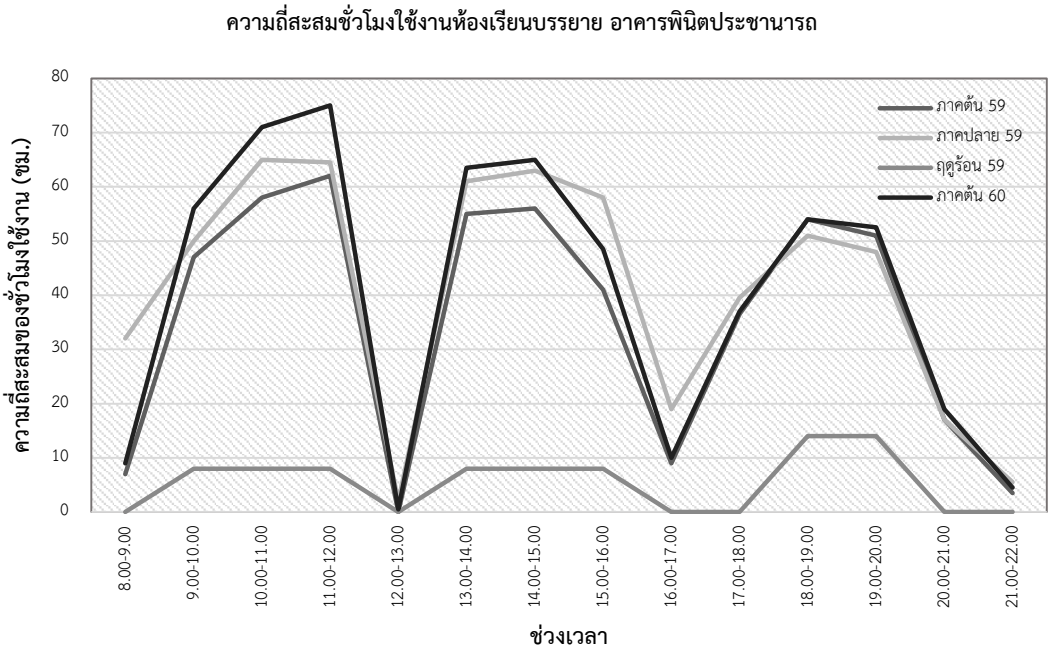
ตารางที่ 6 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารพินิตประชานารถ

ภาคการศึกษา	ภาคปลายปี 58	ฤดูร้อน 58	ภาคต้นปี 59	ภาคปลายปี 59	ฤดูร้อน 59	ภาคต้นปี 60
จำนวนนิสิตเฉลี่ย/ชั่วโมง	-	-	702	705	217	767

4.2.2.4 การใช้งานอาคาร

อาคารพินิตประชานารถมีการใช้งานตั้งแต่เวลา 8.00 – 22.00 น. ตามตารางเรียน/ตารางสอน จากการวิเคราะห์แจกแจงความถี่สะสมของการใช้ห้องเรียนในแต่ละช่วงเวลา พบว่า ในแต่ละภาคการศึกษามีการใช้งานห้องเรียนมากที่สุดในช่วงเวลา 10.00น. – 12.00 น. ยกเว้นในภาคฤดูร้อนที่มีการใช้งานมากที่สุดในช่วง 18.00น. – 20.00 น. และทุกภาคการศึกษามีการใช้งานน้อยที่สุดในช่วง 12.00 – 13.00น. ซึ่งเป็นช่วงพักกลางวันของนิสิต ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 18 ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายสะสมในแต่ละช่วงเวลา อาคารพินิตประชานารถ

เมื่อวิเคราะห์ความถี่สะสมของชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายต่อวัน และชั่วโมงใช้งานห้องบรรยายเฉลี่ยต่อวันของแต่ละภาคการศึกษา พบว่า อาคารพินิตประชานารถมีชั่วโมงเรียนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 – 5 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ชั่วโมงเรียนสะสม และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวันของอาคารพินิตประชานารถ

ภาคการศึกษา	ภาคปลายปี 58	ฤดูร้อน 58	ภาคต้นปี 59	ภาคปลายปี 59	ฤดูร้อน 59	ภาคต้นปี 60
ชั่วโมงเรียนสะสมต่อวัน	-	-	99.40	115.10	15.20	113.10
ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน	-	-	5.29	4.82	3.17	4.85

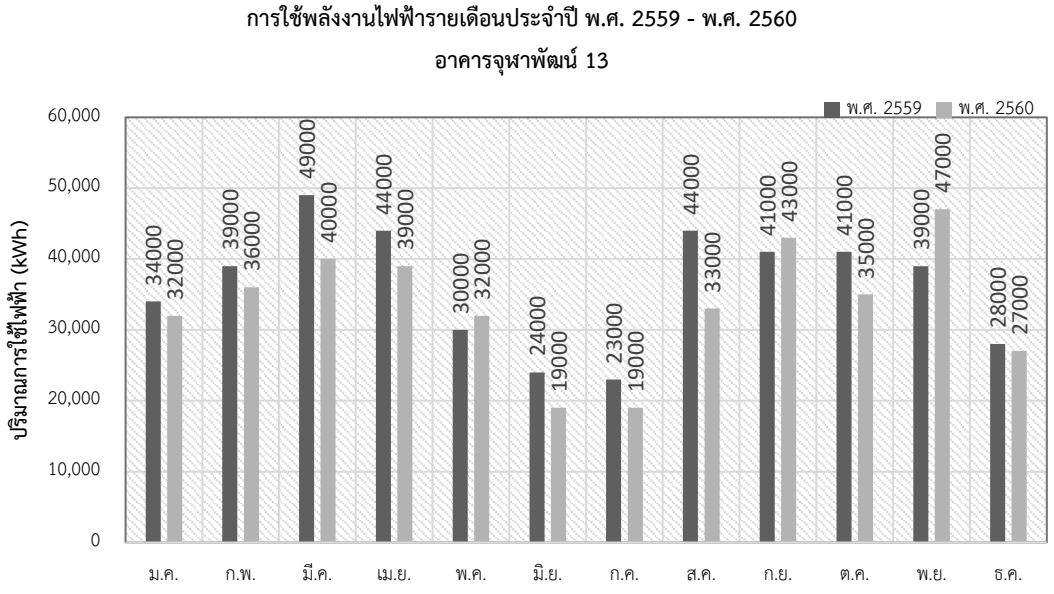
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม: อาคารจุฬาพัฒน์ 13

4.2.3.1 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจุฬาพัฒน์ 13 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 – ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี หรือ 4 ภาคการศึกษา ดังแสดงในแผนภูมิที่ 19 พบว่า เดือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 49,000 kWh และเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ เดือนมิถุนายนและกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 19,000 kWh จะเห็นว่าอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นอย่าง

ชัดเจนในช่วงระหว่างเปิดภาคการศึกษา และมีการใช้พลังงานลดลงในช่วงปิดภาคการศึกษา เช่นเดียวกับอาคารพินิตประชานารถ



แผนภูมิที่ 19 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจุฬาพัฒน์ 13
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

4.2.3.2 ระบบประกอบอาคาร

(1) ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วน ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศซึ่งมีกำลังการทำความเย็นตั้งแต่ 24,000 - 150,000 BTU/h และมีกำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ เท่ากับ 940.13 BTU/h.m^2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ และหลอด Metal Halide ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) เฉลี่ยเท่ากับ 12.35 W/m^2

(3) อุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย อุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนประจำห้องเรียน ได้แก่ คอมพิวเตอร์ โปรเจคเตอร์ Visualizer และเครื่องขยายเสียง และอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเครื่องกล ได้แก่ มอเตอร์ลิฟต์และปั๊มน้ำ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) เฉลี่ยเท่ากับ 14.83 W/m^2

4.2.3.3 ผู้ใช้งานอาคาร

อาคารจุฬาพัฒน์ 13 มีการใช้งานส่วนใหญ่เกิดจากการเรียนการสอน พื้นที่ส่วนเรียนบรรยาย ประกอบด้วย ห้องบรรยายขนาดเล็กถึงห้องบรรยายขนาดใหญ่ ตั้งแต่ขนาด 21 ที่นั่ง – 203 ที่นั่ง

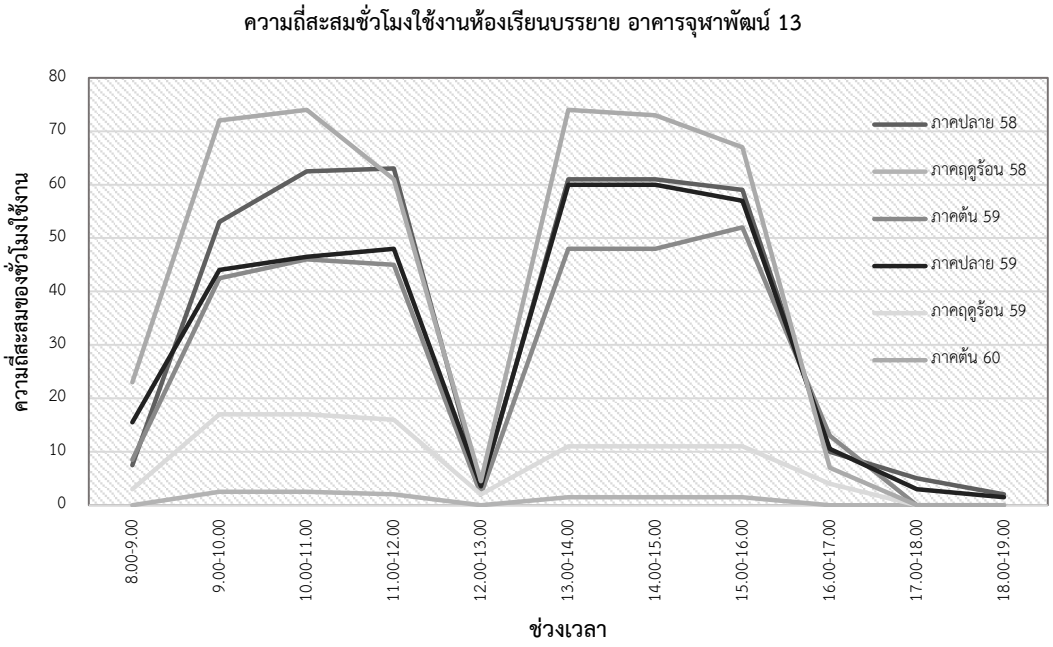
จำนวนทั้งสิ้น 42 ห้อง มีจำนวนนิสิตต่อวันในช่วงปีการศึกษา 2558 ภาคปลาย – ปีการศึกษา 2560 ภาคต้น ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารจุฬาพัฒน์ 13

ภาคการศึกษา	ภาคปลายปี 58	ฤดูร้อน 58	ภาคต้นปี 59	ภาคปลายปี 59	ฤดูร้อน 59	ภาคต้นปี 60
จำนวนนิสิตเฉลี่ย/ชั่วโมง	561	54	404	505	143	587

4.2.3.4 การใช้งานอาคาร

อาคารจุฬาพัฒน์ 13 มีการใช้งานตั้งแต่เวลา 8.00 – 21.00 น. ตามตารางเรียน/ตารางสอน จากการวิเคราะห์แจกแจงความถี่สะสมของการใช้ห้องเรียนในแต่ละช่วงเวลา พบว่า ในแต่ละภาคการศึกษามีการใช้งานห้องเรียนมากที่สุดในช่วงเวลา 10.00น. – 12.00 น. และในช่วง 13.00 – 15.00 น.โดยมีการใช้งานน้อยที่สุดในช่วง 12.00 – 13.00น. ซึ่งเป็นช่วงพักกลางวันของนิสิต ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 20



แผนภูมิที่ 20 ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายสะสมในแต่ละช่วงเวลา อาคารจุฬาพัฒน์ 13

เมื่อวิเคราะห์ความถี่สะสมของชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายต่อวัน และชั่วโมงใช้งานห้องบรรยายเฉลี่ยต่อวันของแต่ละภาคการศึกษา พบว่า อาคารพินิตประชานารถมีชั่วโมงเรียนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1.5 – 3.5 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 9

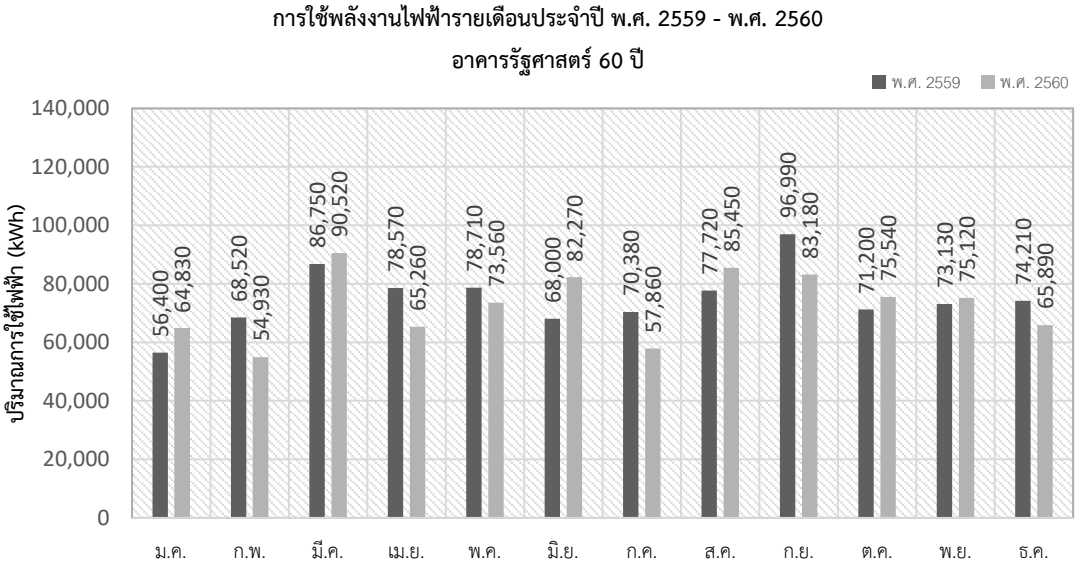
ตารางที่ 9 ชั่วโมงเรียนสะสม และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวันของอาคารจุฬาพัฒน์ 13

ภาคการศึกษา	ภาคปลายปี 58	ฤดูร้อน 58	ภาคต้นปี 59	ภาคปลายปี 59	ฤดูร้อน 59	ภาคต้นปี 60
ชั่วโมงเรียนสะสมต่อวัน	77.40	2.30	61.00	69.90	18.40	91.10
ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน	3.23	1.53	7.68	3.15	3.68	3.37

4.2.4 กรณีศึกษาอาคารเรียนและสำนักงาน: อาคารเกษม อุทยานิน (รัฐศาสตร์ 60 ปี)

4.2.4.1 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารเกษม อุทยานิน ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 – ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี หรือ 4 ภาคการศึกษา ดังแสดงในแผนภูมิที่ 21 เดือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 96,990 kWh และเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 54,930 kWh



แผนภูมิที่ 21 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารเกษม อุทยานิน ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

4.2.4.2 ระบบประกอบอาคาร

(1) ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วนและแบบชุด ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีกำลังการทำความเย็นตั้งแต่ 12,500 - 263,000 BTU/h และมีกำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ เท่ากับ 1,091.62 BTU/h.m^2

(2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ และหลอด Metal Halide ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) เฉลี่ยเท่ากับ 10.19 W/m^2

(3) อุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย อุปกรณ์สำนักงานและอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอน ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร ตู้เย็น โปรเจคเตอร์ เครื่องขยายเสียง และอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเครื่องกล ได้แก่ มอเตอร์ลิฟต์และปั๊มน้ำ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) เฉลี่ยเท่ากับ 37.28 W/m^2

4.2.4.3 ผู้ใช้งานอาคาร

อาคารเกษม อุทยานิน มีการใช้งานส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของบุคลากรและอาจารย์และการเรียนการสอนนิสิต พื้นที่ส่วนใหญ่เป็น (1) สำนักงาน ประกอบด้วย สำนักภาควิชา ฝ่ายงานต่างๆของคณะ และห้องพักอาจารย์ที่มีการกั้นห้องส่วนตัว พื้นที่ประมาณ 10 ตารางเมตรต่อห้อง รองรับคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะประมาณ 232 คนต่อวัน (2) พื้นที่ส่วนเรียนบรรยาย ประกอบด้วย ห้องบรรยายขนาดเล็กถึงห้องบรรยายขนาดใหญ่ ตั้งแต่ขนาด 10 ที่นั่ง – 348 ที่นั่ง จำนวนทั้งสิ้น 27 ห้อง มีจำนวนนิสิตต่อวันในช่วงปีการศึกษา 2558 ภาคปลาย – ปีการศึกษา 2560 ภาคต้น ดังแสดงในตารางที่ 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 10 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารเกษม อุทยานิน

ภาคการศึกษา	ภาคปลายปี 58	ฤดูร้อน 58	ภาคต้นปี 59	ภาคปลายปี 59	ฤดูร้อน 59	ภาคต้นปี 60
จำนวนนิสิตเฉลี่ย/ชั่วโมง	299	-	403	326	-	407

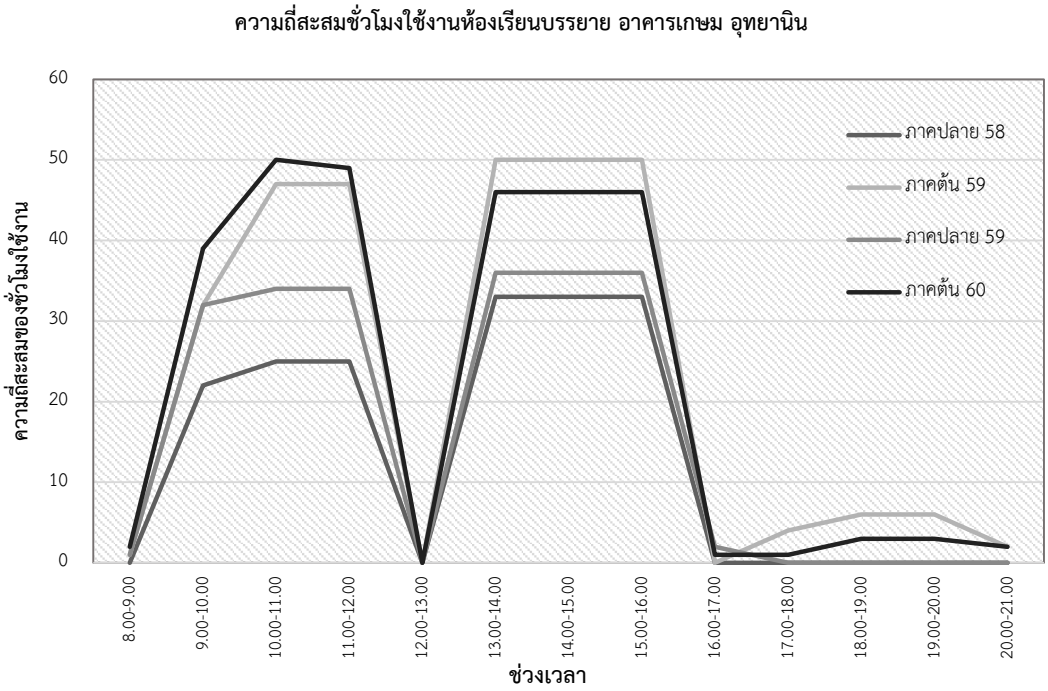
4.2.4.4 การใช้งานอาคาร

ในส่วนของการใช้งานอาคาร สามารถแบ่งรูปแบบการใช้งานตามพื้นที่ใช้สอยหลัก ดังต่อไปนี้

(1) ส่วนสำนักงาน ประกอบด้วย มีการใช้งานตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ ในช่วงระหว่างเวลา 7:00 น. ถึง 18:00 น. รวมระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 10 ชั่วโมง/วัน

(2) ส่วนเรียนบรรยาย มีการใช้งานตั้งแต่เวลา 8.00 – 21.00 น. ตามตารางเรียน/ตารางสอน จากการวิเคราะห์แจกแจงความถี่สะสมของการใช้ห้องเรียนในแต่ละช่วงเวลา พบว่า ในแต่ละภาค

การศึกษามีการใช้งานห้องเรียนมากที่สุดในช่วงเวลา 10.00น. – 12.00 น. และในช่วง 13.00 – 16.00 น.โดยมีการใช้งานน้อยที่สุดในช่วง 12.00 – 13.00น. ซึ่งเป็นช่วงพักกลางวันของนิสิต ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 22



แผนภูมิที่ 22 ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายสะสมในแต่ละช่วงเวลา อาคารเกษม อทยานิน

เมื่อวิเคราะห์ความถี่สะสมของชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายต่อวัน และชั่วโมงใช้งานห้องบรรยายเฉลี่ยต่อวันของแต่ละภาคการศึกษา พบว่า อาคารเกษม อุทยานินมีชั่วโมงเรียนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1.5 – 2.5 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 11

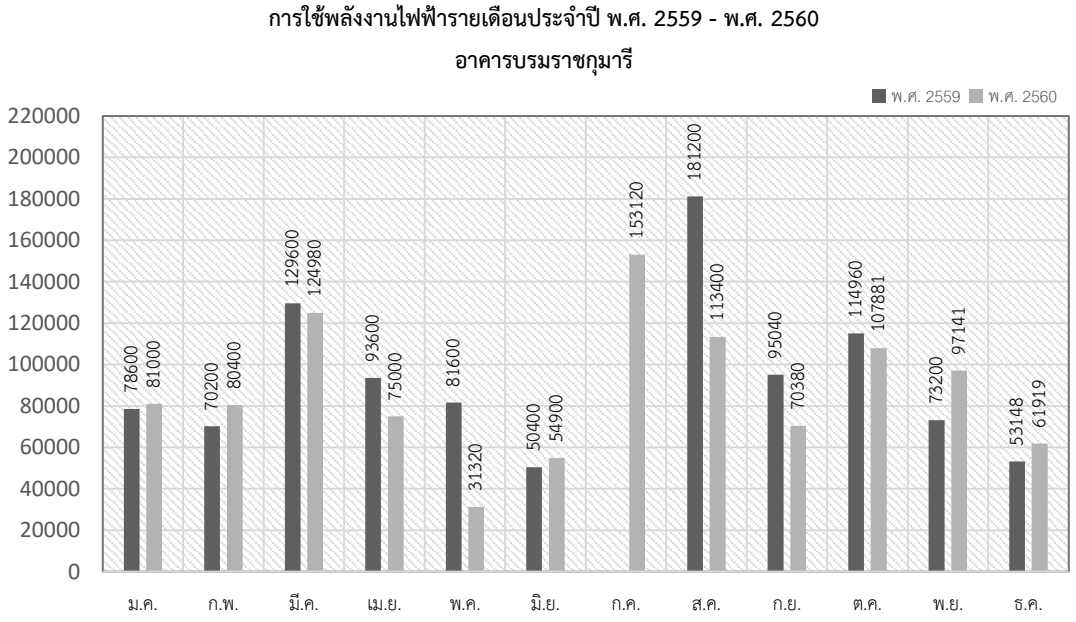
ตารางที่ 11 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารเกษม อุทยานิน

ภาคการศึกษา	ภาคปลายปี 58	ฤดูร้อน 58	ภาคต้นปี 59	ภาคปลายปี 59	ฤดูร้อน 59	ภาคต้นปี 60
ชั่วโมงเรียนสะสมต่อวัน	34.20	-	59.00	42.20	-	57.60
ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน	1.71	-	2.46	2.11	-	2.50

4.2.5 กรณีศึกษาอาคารเรียนและสำนักงาน: อาคารบรมราชกุมารี

4.2.5.1 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารบรมราชกุมารี ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 – ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี หรือ 4 ภาคการศึกษา ดังแสดงในแผนภูมิที่ 23 เดือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าสูงถึง 799,566 kWh ซึ่งเป็นการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติมาก ทำให้ต้องตัดข้อมูลในเดือนนี้ออก และเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 31,320 kWh



แผนภูมิที่ 23 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารบรมราชกุมารี ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.5.2 ระบบประกอบอาคาร

(1) ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วน ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศซึ่งมีกำลังการทำความเย็นตั้งแต่ 12,000 - 60,000 BTU/h และมีกำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ เท่ากับ 1,228.02 BTU/h.m^2

(2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ และหลอด Metal Halide ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) เฉลี่ยเท่ากับ 12.55 W/m^2

(3) อุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย อุปกรณ์สำนักงานและอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอน ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร ตู้เย็น โปรเจคเตอร์ เครื่องขยายเสียง และอุปกรณ์

ไฟฟ้าในระบบเครื่องกล ได้แก่ มอเตอร์ลิฟต์และปั๊มน้ำ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) เฉลี่ยเท่ากับ 49.54 W/m^2

4.2.5.3 ผู้ใช้งานอาคาร

อาคารบรมราชกุมารี มีการใช้งานส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของบุคลากรและอาจารย์ และการเรียนการสอนนิสิต พื้นที่ส่วนใหญ่เป็น (1) สำนักงาน ประกอบด้วย สำนักภาควิชา ฝ่ายงานต่างๆ ของคณะ และห้องพักอาจารย์ที่มีการกั้นห้องส่วนตัว พื้นที่ประมาณ 20 ตารางเมตรต่อห้อง รองรับคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะประมาณ 440 คนต่อวัน (2) พื้นที่ส่วนเรียนบรรยาย ประกอบด้วย ห้องบรรยายขนาดเล็กถึงห้องบรรยายขนาดใหญ่ ตั้งแต่ขนาด 30 ที่นั่ง – 300 ที่นั่ง จำนวนทั้งสิ้น 52 ห้อง มีจำนวนนิสิตต่อวันในช่วงปีการศึกษา 2558 ภาคปลาย – ปีการศึกษา 2560 ภาคต้น ดังแสดงในตาราง 12

ตารางที่ 12 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารบรมราชกุมารี

ภาคการศึกษา	ภาคปลายปี 58	ฤดูร้อน 58	ภาคต้นปี 59	ภาคปลายปี 59	ฤดูร้อน 59	ภาคต้นปี 60
จำนวนนิสิตเฉลี่ย/ชั่วโมง	1,074	-	1,037	1,098	-	1,070

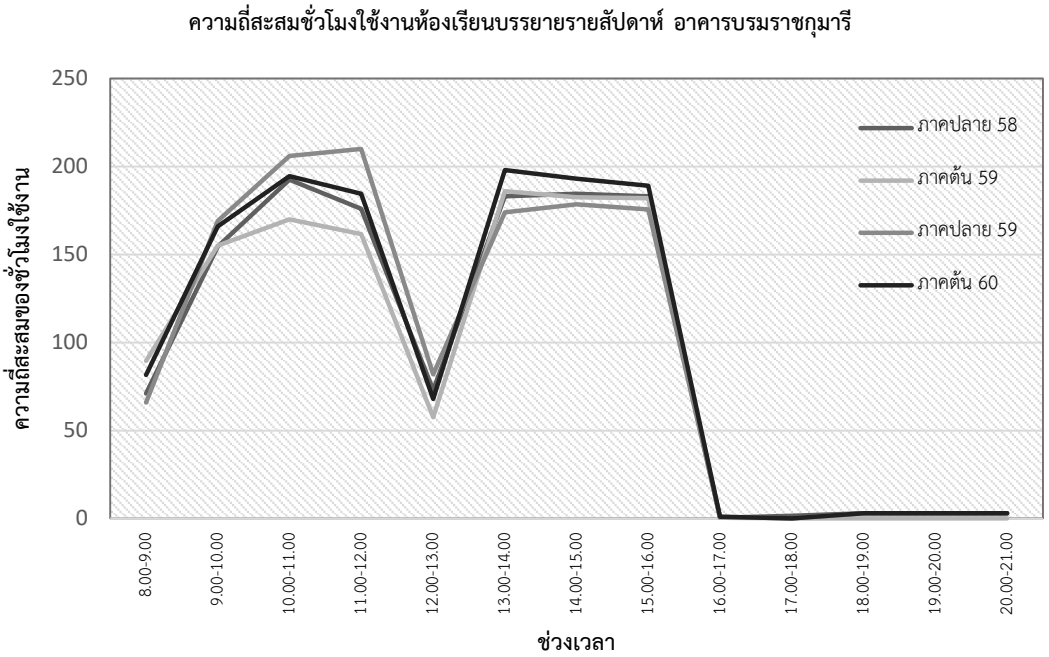
4.2.5.4 การใช้งานอาคาร

ในส่วนของการใช้งานอาคาร สามารถแบ่งรูปแบบการใช้งานตามพื้นที่ใช้สอยหลัก ดังต่อไปนี้

(1) ส่วนสำนักงาน ประกอบด้วย มีการใช้งานตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ ในช่วงระหว่างเวลา 7:00 น. ถึง 18:00 น. รวมระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 10 ชั่วโมง/วัน

(2) ส่วนเรียนบรรยาย มีการใช้งานตั้งแต่เวลา 8.00 – 21.00 น. ตามตารางเรียน/ตารางสอน จากการวิเคราะห์แจกแจงความถี่สะสมของการใช้ห้องเรียนในแต่ละช่วงเวลา พบว่า ในแต่ละภาคการศึกษามีการใช้งานห้องเรียนมากที่สุดในช่วงเวลา 10.00น. – 12.00 น. โดยมีการใช้งานน้อยที่สุดในช่วงเวลา 18.00 – 21.00น. ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 24 ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายสะสมในแต่ละช่วงเวลา อาคารบรมราชกุมารี

เมื่อวิเคราะห์ความถี่สะสมของชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนบรรยายต่อวัน และชั่วโมงใช้งานห้องบรรยายเฉลี่ยต่อวันของแต่ละภาคการศึกษา พบว่า อาคารบรมราชกุมารีมีชั่วโมงเรียนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5 – 5.5 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 จำนวนนิสิตต่อชั่วโมงของอาคารบรมราชกุมารี

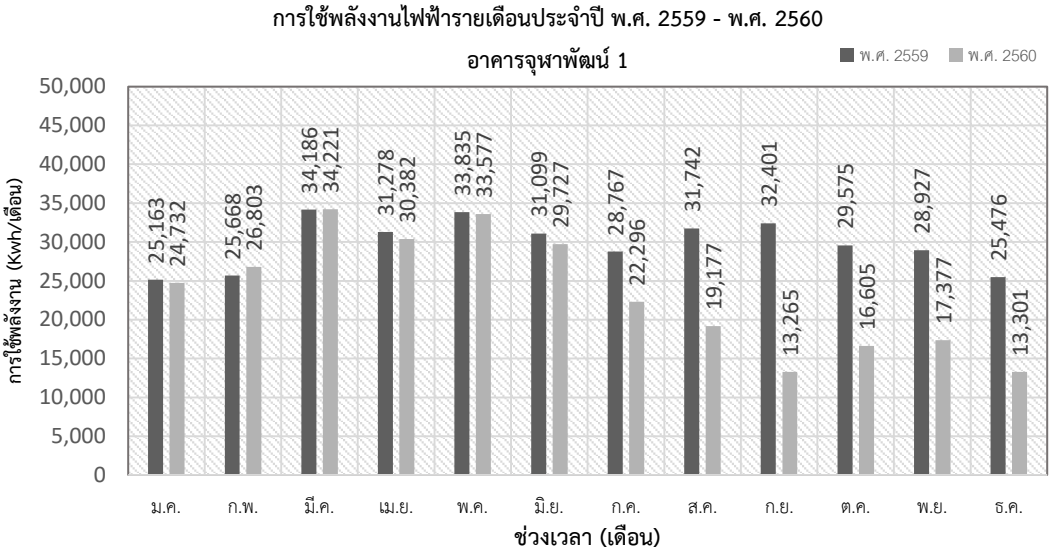
ภาคการศึกษา	ภาคปลายปี 58	ฤดูร้อน 58	ภาคต้นปี 59	ภาคปลายปี 59	ฤดูร้อน 59	ภาคต้นปี 60
ชั่วโมงเรียนสะสมต่อวัน	245.70	-	236.90	254.20	-	256.90
ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน	4.81	-	4.83	5.08	-	5.58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.6 กรณีศึกษาอาคารสำนักงาน: อาคารจุฬาพัฒน์ 1

4.2.6.1 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจุฬาพัฒน์ 1 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 – ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี หรือ 4 ภาคการศึกษา ดังแสดงในแผนภูมิที่ 25 เดือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ เดือนมีนาคมของทั้ง 2 ปี ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 34,200 kWh และมีการใช้ไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 เป็นต้นมา เนื่องจากการปรับปรุงพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร จึงต้องตัดข้อมูลในส่วนนี้ออก



แผนภูมิที่ 25 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจุฬาพัฒน์ 1
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

4.2.6.2 ระบบประกอบอาคาร

(1) ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วน ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศซึ่งมีกำลังการทำความเย็นตั้งแต่ 9,000 - 25,000 BTU/h และมีกำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ เท่ากับ 1,159.72 BTU/h.m^2

(2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) เฉลี่ยเท่ากับ 5.63 W/m^2

(3) อุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย อุปกรณ์สำนักงาน ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร ตู้เย็น และอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเครื่องกล ได้แก่ มอเตอร์ลิฟต์และปั๊มน้ำ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) เฉลี่ยเท่ากับ 27.45 W/m^2

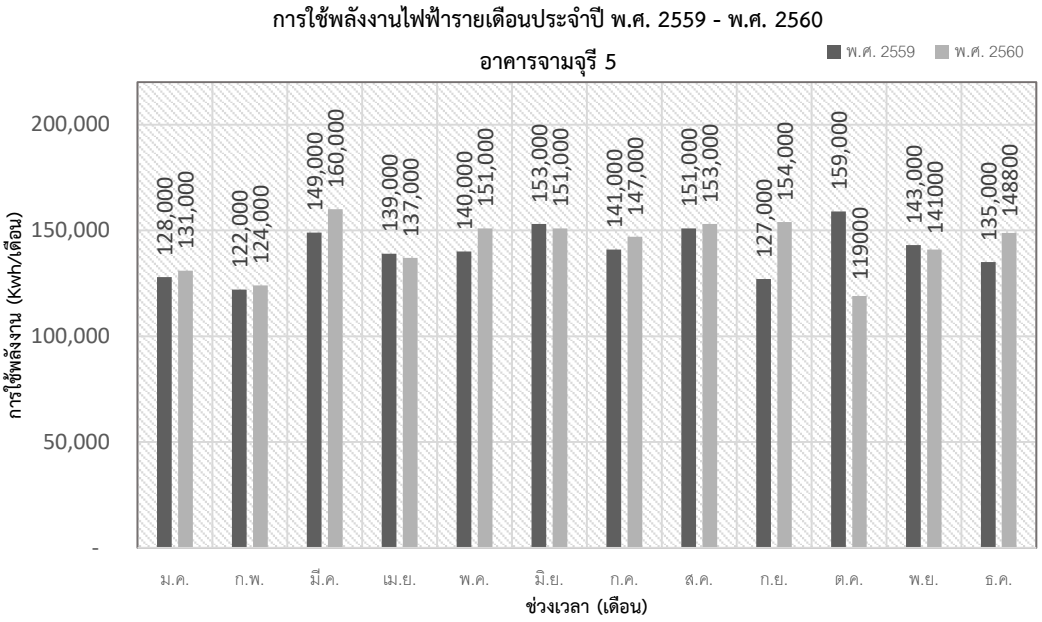
4.2.6.3 ผู้ใช้งานและการใช้งานอาคาร

อาคารจุฬาพัฒน์ 1 มีการใช้งานส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของบุคลากร ส่วนสำนักงานประกอบด้วย สำนักภาควิชา ฝ่ายงานต่างๆของคณะ และห้องพักอาจารย์ มีการใช้งานตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ ในช่วงระหว่างเวลา 7:00 น. ถึง 18:00 น. รวมระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 10 ชั่วโมง/วัน โดยรองรับพนักงานและเจ้าหน้าที่คณะประมาณ 109 คนต่อวัน

4.2.7 กรณีศึกษาอาคารสำนักงาน: อาคารจามจุรี 5

4.2.7.1 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจามจุรี 5 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 – ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี หรือ 4 ภาคการศึกษา ดังแสดงในแผนภูมิที่ 26 เดือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 159,000 kWh แตกต่างจากการใช้ไฟฟ้าในเดือนเดียวกันของปี พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด มีการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 119,000 kWh จึงพิจารณาตัดข้อมูลเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559



แผนภูมิที่ 26 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารจามจุรี 5
ประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

4.2.7.2 ระบบประกอบอาคาร

(1) ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วนและแบบชุด ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีกำลังการทำความเย็นตั้งแต่ 12,000 - 424,000 BTU/h และมีกำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ เท่ากับ 1,280.52 BTU/h.m^2

(2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) เฉลี่ยเท่ากับ 11.61 W/m^2

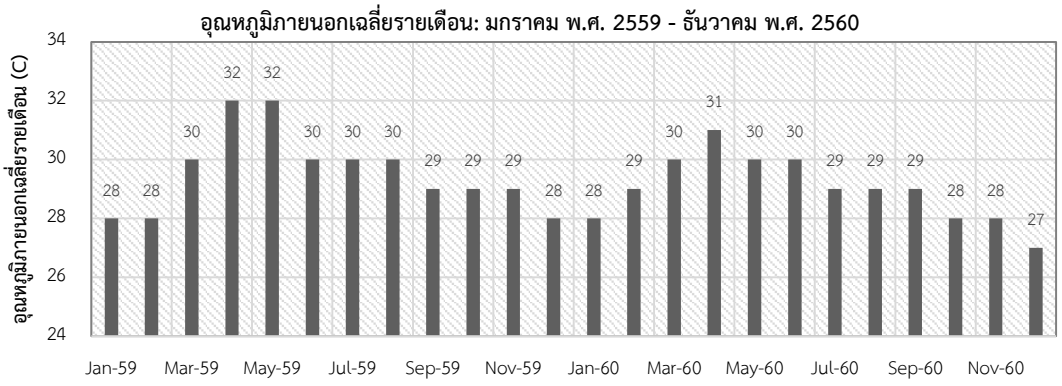
(3) อุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย อุปกรณ์สำนักงาน ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร ตู้เย็น และอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเครื่องกล ได้แก่ มอเตอร์ลิฟต์และปั๊มน้ำ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) เฉลี่ยเท่ากับ 31.81 W/m^2

4.2.7.3 ผู้ใช้งานและการใช้งานอาคาร

อาคารจามจุรี 5 มีการใช้งานส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของบุคลากร ส่วนสำนักงานประกอบด้วย หน่วยงานส่วนกลางของมหาวิทยาลัย มีการใช้งานตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ ในช่วงระหว่างเวลา 7:00 น. ถึง 18:00 น. รวมระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 10 ชั่วโมง/วัน โดยรองรับพนักงานและเจ้าหน้าที่คณะประมาณ 420 คนต่อวัน

4.2.8 ปัจจัยด้านสภาพอากาศ

จากการทบทวนวรรณกรรม สภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน (°C) จากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร ในช่วงปีพ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2560 โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในแผนภูมิที่ 27



แผนภูมิที่ 27 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกอาคารประจำปีพ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560

4.3 การคัดเลือกตัวแปรและการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ

4.3.1 กลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ กรณีศึกษา อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้ได้รายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัย 14 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ

ปัจจัยที่ศึกษา			
สภาพอากาศ	อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)		X_1
กายภาพอาคาร	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (m^2)	สำนักงาน	X_2
		ห้องเรียน	X_3
		ห้องสตูดิโอ	X_4
	ระบบปรับอากาศ	กำลังการทำความเย็นรวม (Btu/h)	X_5
	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	LPD (W/m^2)	X_6
	อุปกรณ์ไฟฟ้า	EPD (W/m^2)	X_7
ผู้ใช้งานอาคาร	จำนวนบุคลากร		X_8
	จำนวนนักเรียนต่อวัน(ห้องเรียนบรรยาย)		X_9
การใช้งานอาคาร	วันทำการ		X_{10}
	วันที่มีการเรียนการสอน		X_{11}
	สำนักงาน	ชั่วโมงทำการ/เดือน	X_{12}
	ห้องเรียน	ชั่วโมงเรียน/เดือน	X_{13}
	สตูดิโอ	ชั่วโมงสตู/เดือน	X_{14}

จากการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ พบว่าตัวแปรที่ได้จากรวบรวมข้อมูลผ่านการพิจารณาเบื้องต้นทั้งหมด 14 ตัวแปร และมีปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสู่สมการถดถอยแบบพหุคูณ ด้วยวิธี Backward ได้ตัวแปรทำนายทั้งหมด 9 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) ขนาดพื้นที่เรียนบรรยาย (X_3) ขนาดพื้นที่สตูดิโอ (X_4) LPD เฉลี่ย (X_6) EPD เฉลี่ย (X_7) จำนวนนักเรียนต่อวัน (X_9) ชั่วโมงทำการของสำนักงานต่อเดือน (X_{12}) ชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน (X_{13}) ชั่วโมงสตูดิโอต่อเดือน (X_{14})

ตารางที่ 15 Model Summary Details ของกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.95[a]	0.89	0.86	4300.08

a. Predictors: (Constant), X_1, X_9, (X_3xX_{13}), (X_4xX_{14}), (X_{12}+X_{13}+X_{14})x(X_6+X_7)

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ ทำให้ได้สมการจำลองการใช้พลังงานของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.95 ดังแสดงในตารางที่ 15 ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานของอาคารในระดับสูง และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) ของแบบจำลองเท่ากับ 0.86 ซึ่งหมายความว่า แบบจำลองสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ได้ถึง ร้อยละ 86 ในขณะที่อีกร้อยละ 14 ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของสมการของกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2,620,614,423.01	5	524,122,884.60	28.35	0.00
	Residual	314,342,098.73	17	18,490,711.69		
	Total	2,934,956,521.74	22	-		

หลังจากได้สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารแล้ว ต้องตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสมการทำนายด้วยค่าทางสถิติ โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) ต้องมีค่า > 0.75 ตามมาตรฐานทางสถิติที่ยอมรับได้ และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ p-value < 0.05 ซึ่งสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) อยู่ที่ 0.86 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.75 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ (Sig. หรือ p-value) อยู่ที่ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 16 ทำให้ผลทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรทำนายทั้งหมด 9 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 17 Linear relationship Test Result ของกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-155,136.221	30,235.633	-	-5.131	0.000
	X_1	6,078.915	853.469	0.630	7.123	0.000
	X_9	-18.712	5.078	-0.611	-3.685	0.002
	(X_3xX_{13})	-0.112	0.063	-0.773	-1.774	0.094
	(X_4xX_{14})	0.056	0.031	0.795	1.804	0.089
	$(X_{12}+X_{13}+X_{14})x(X_6+X_7)$	7.883	2.148	1.267	3.670	0.002

จากตารางที่ 17 สามารถสร้างสมการจำลองการใช้พลังงานของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ได้ดังสมการที่ 4.1

$$Y = 6{,}078.915(X_1) - 18.712(X_9) - 0.112(X_3 \times X_{13}) + 0.056(X_4 \times X_{14}) + 7.883[(X_{12} + X_{13} + X_{14}) \times (X_6 + X_7)] - 155{,}136.221 \quad (4.1)$$

โดยที่ Y หมายถึง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคาร (kWh)

X_1 หมายถึง อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)

X_3 หมายถึง พื้นที่เรียนบรรยาย (ตร.ม.)

X_4 หมายถึง พื้นที่สตูดิโอ (ตร.ม.)

X_6 หมายถึง LPD เฉลี่ย (W/m^2)

X_7 หมายถึง EPD เฉลี่ย (W/m^2)

X_9 หมายถึง จำนวนนักเรียนต่อวัน (คน)

X_{12} หมายถึง ชั่วโมงทำการสำนักงานต่อเดือน (ชม.)

X_{13} หมายถึง ชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน (ชม.)

X_{14} หมายถึง ชั่วโมงสตูดิโอต่อเดือน (ชม.)

การตรวจสอบความแม่นยำของสมการ

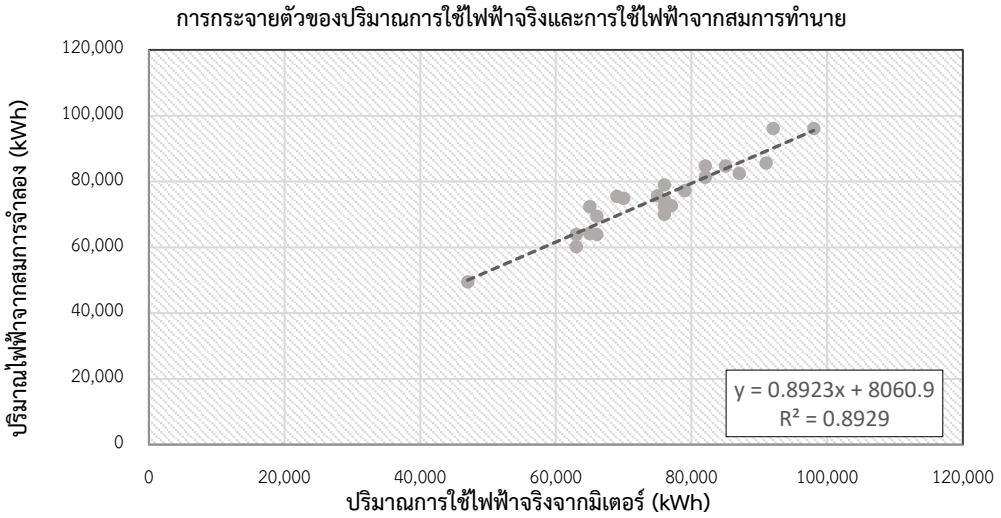
สมการทำนายที่ได้ต้องผ่านการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายจากค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลด้วยค่าRMSE CV-RMSE และMBE โดยจากการคำนวณพบว่าสมการทำนายมีค่า RMSE เท่ากับ 3,696.95 kWh ค่า CV-RMSE เท่ากับร้อยละ 4.93 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 25 ตามมาตรฐาน ASHRAE Guideline 14 สำหรับสมการทำนายที่มีฐานข้อมูลการใช้พลังงานในระยะเวลา 12 – 60 เดือน และมีค่าความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (MBE) เท่ากับ 18.27 kWh ดังแสดงในตารางที่ 18

จากการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการจำลอง พบว่าค่าการใช้พลังงานจากสมการจำลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการใช้พลังงานจริงดังแสดงในแผนภูมิที่ 28 อย่างไรก็ตาม ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ทางคณะมีการจัดกิจกรรมของนิสิต ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นผิดปกติ โดยที่ผู้วิจัยไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยเพิ่มเติมที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน

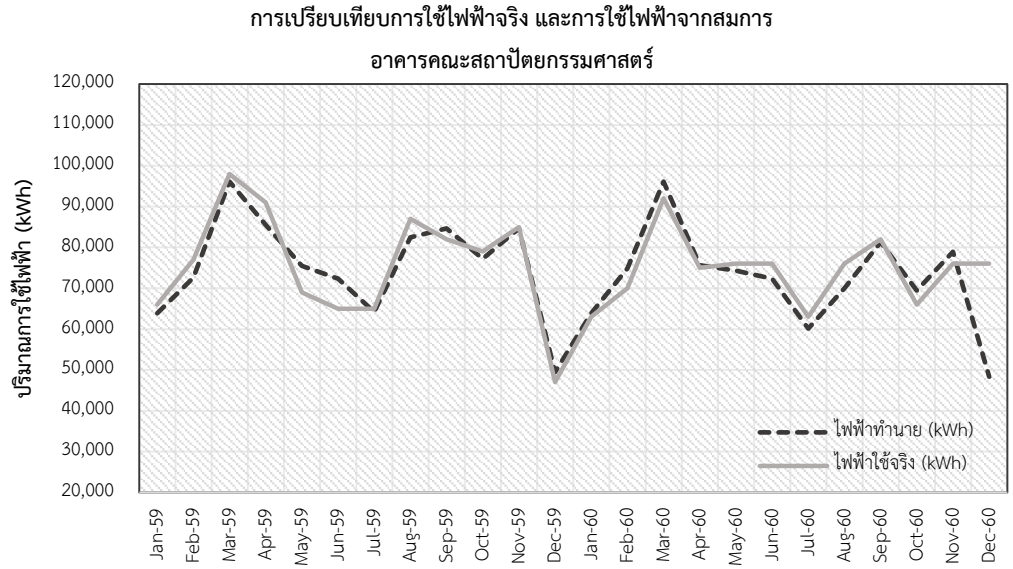
ในช่วงเวลาดังกล่าวได้ งานวิจัยนี้จึงใช้ข้อมูลปัจจัยที่สามารถเก็บรวบรวมได้จริงในช่วงระยะเวลา 23 เดือน โดยไม่รวมข้อมูลของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ในการวิเคราะห์สมการถดถอย

ตารางที่ 18 การทดสอบความแม่นยำของสมการของกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ

	การทดสอบความแม่นยำ	R^2	RMSE	CV(RMSE)	MBE
1	อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	0.88	3,696.95	4.93%	18.27



แผนภูมิที่ 28 การกระจายตัวของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการจำลอง อาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ



แผนภูมิที่ 29 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

4.3.2 กลุ่มอาคารเรียนรวม กรณีศึกษา อาคารพินิจประชานารถ และอาคารจุฬาพัฒน์ 13

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้ได้รายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัย 20 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม

ปัจจัยที่ศึกษา		
สภาพอากาศ	อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)	X_1
กายภาพอาคาร	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (m^2)	X_2
	พื้นที่ปรับอากาศ	X_3
	พื้นที่ส่วนเรียนบรรยายและประชุม	X_4
	ระบบปรับอากาศ กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (Btu/h.m^2)	X_5
	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง LPD (W/m^2)	X_6
	อุปกรณ์ไฟฟ้า EPD (W/m^2)	X_7
ผู้ใช้งานอาคาร	จำนวนนักเรียน/ชั่วโมง	X_8
	จำนวนนักเรียน/วัน	X_9
	จำนวนนักเรียนต่อพื้นที่ (คน/100 ตร.ม.)	X_{10}
การใช้งานอาคาร	วันที่มีการเรียนการสอน	X_{11}
	ชั่วโมงเรียนเฉลี่ย/วัน	X_{12}
	ชั่วโมงเรียนเฉลี่ย/เดือน	X_{13}
ตัวแปรที่ปรับรูปเพื่อวิเคราะห์สมการ	พื้นที่ปรับอากาศ x ชั่วโมงเรียน/เดือน	$X_{15} = X_3 \times X_{13}$
	พื้นที่ส่วนเรียน x ชั่วโมงเรียน/เดือน	$X_{16} = X4 \times X_{13}$
	LPD x ชั่วโมงเรียนเฉลี่ย/เดือน	$X_{17} = X_6 \times X_{13}$
	EPD x ชั่วโมงเรียนเฉลี่ย/เดือน	$X_{18} = X_7 \times X_{13}$
	(LPD + EPD) x ชั่วโมงเรียนเฉลี่ย/เดือน	$X_{19} = (X_6 + X_7) \times X_{13}$
	กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ x ชั่วโมงเรียนเฉลี่ย/เดือน	$X_{20} = X_5 \times X_{13}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เนื่องจากจำนวนของข้อมูลที่น้อยทำให้ปัจจัยบางส่วนมีการกระจายตัวของข้อมูลเบี่ยงเบนไปจากปกติ ดังจะเห็นได้จากค่าความเบี่ยงเบน (skewness) ในตารางที่ 20 จึงต้องมีการทำ Data-Normalization ก่อนนำเข้าสู่ Regression ด้วย logarithm ปัจจัยที่นำเข้าวิเคราะห์สมการประกอบด้วย ชุดข้อมูล 46 ชุดในระยะเวลา 2 ปี โดยตัดชุดข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าผิดปกติแล้ไม่สามารถหาที่มาได้ออก ได้แก่ ข้อมูลไฟฟ้าอาคารพินิตประชานารถในช่วงเดือน ก.พ. 60 – มี ค. 60 โดยมีข้อสรุปรายละเอียดของข้อมูลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 20 สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลของอาคารเรียนรวม

ปัจจัย	Mean	Minimum	Maximum	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Deviation)	ความเบ้ (Skewness)
X_1	29.28	27.00	32.00	1.28	0.51
X_3	4,132.27	2,910.25	5,252.45	1,182.92	- 0.09
X_4	3,650.44	2,713.75	4,509.07	906.72	- 0.09
X_5	849.41	750.45	940.13	95.80	- 0.09
X_8	536.78	54.00	767.00	209.70	- 0.88
X_{11}	16.43	7.00	23.00	4.66	- 0.33
$(X_6 \times X_{13})$	821.09	170.07	2086.76	424.02	1.49
$(X_7 \times X_{13})$	745.50	171.78	2505.92	551.31	2.09
$\log_{10}(X_6 \times X_{13})$	2.86	2.23	3.32	0.22	- 0.26
$\log_{10}(X_7 \times X_{13})$	2.78	2.23	3.40	0.27	0.27

จากการศึกษาปัจจัย พบว่า ตัวแปรที่ได้จากรวบรวมข้อมูลผ่านการพิจารณาเบื้องต้นทั้งหมด 9 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) พื้นที่ปรับอากาศ (X_3) พื้นที่ห้องเรียนบรรยายและประชุม (X_4) กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (X_5) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (X_6) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (X_7) จำนวนนักเรียนต่อชั่วโมง (X_8) วันที่มีการเรียนการสอน (X_{11}) และชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน (X_{13})

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's Correlation)

Correlations		Y	X_1	X_3	X_4	X_5	X_8	X_{11}	$\log_{10}(X_{17})$	$\log_{10}(X_{18})$
Y	Pearson Correlation	1	-0.04	-0.29	-0.29	-0.29	0.72	0.70	0.68	0.37
	Sig.		0.82	0.05	0.05	0.05	0.000	0.000	0.000	0.01
X_1	Pearson Correlation	-.035	1	0.01	0.01	0.01	-0.17	-0.06	-0.13	-0.10
	Sig.	0.82		0.96	0.96	0.96	0.25	0.68	0.38	0.50
X_5	Pearson Correlation	-0.29	0.01	1	1.00	1.00	-0.46	0.04	-0.02	0.60
	Sig.	0.05	0.96		0.00	0.00	0.00	0.78	0.92	0.00
X_6	Pearson Correlation	-0.29	0.01	1.00	1	1.00	-0.46	0.04	-0.02	0.60
	Sig.	0.05	0.96	0.00		0.00	0.00	0.78	0.92	0.00
X_7	Pearson Correlation	-0.29	0.01	1.00	1.00	1	-0.46	0.04	-0.02	0.60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	Sig.	.051	.961	0.00	0.00		0.00	0.78	0.92	0.00
X_{11}	Pearson Correlation	0.715	-0.174	-0.462	-0.462	-0.462	1	0.27	0.40	0.04
	Sig.	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00		0.07	0.01	0.80
X_{13}	Pearson Correlation	0.70	-0.06	0.04	0.04	0.04	0.27	1	0.77	0.64
	Sig.	0.00	0.68	0.78	0.78	0.78	0.07		0.00	0.00
$\log_{10}$ (X_{17})	Pearson Correlation	0.68	-0.13	-0.02	-0.02	-0.02	0.40	0.77	1	0.79
	Sig.	0.00	0.38	0.92	0.92	0.92	0.01	0.00		0.00
$\log_{10}$ (X_{18})	Pearson Correlation	0.37	-0.10	0.60	0.60	0.60	0.04	0.64	0.79	1
	Sig.	0.01	0.50	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	

มีปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสู่สมการถดถอยแบบพหุคูณ ด้วยวิธี Backward ได้ตัวแปรทำนายทั้งหมด 6 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (X_7) จำนวนนักเรียนต่อชั่วโมง (X_{11}) วันที่มีการเรียนการสอน (X_{13}) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ (X_9) และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อเดือน (X_{15})

ตารางที่ 22 Model Summary Details ของกลุ่มอาคารเรียนรวม

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.896[a]	0.803	0.779	4,953.118

a. Predictors: (Constant), X_1, X_5, X_8, X_{11}, $\log_{10}(X_7 \times X_{13})$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ ทำให้ได้สมการจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียนรวมที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.896 ดังแสดงในตารางที่ 22 ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานของอาคารในระดับสูง และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) ของแบบจำลองเท่ากับ 0.779 ซึ่งหมายความว่า แบบจำลองสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนรวมได้ถึง ร้อยละ 78 ในขณะที่อีกร้อยละ 22 ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของสมการของกลุ่มอาคารเรียนรวม

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4,005,904,019.64	5	801,180,803.93	32.66	0.00
	Residual	981,335,110.79	40	24,533,377.77		
	Total	4,987,239,130.44	45			

หลังจากได้สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารแล้ว ต้องตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสมการทำนายด้วยค่าทางสถิติ โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) ต้องมีค่า > 0.75 ตามมาตรฐานทางสถิติที่ยอมรับได้ และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ p-value < 0.05 ซึ่งสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) อยู่ที่ 0.779 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.75 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ (Sig. หรือ p-value) อยู่ที่ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 23 ทำให้ผลทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนรวมสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรทำนายทั้งหมด 6 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 24 Linear relationship Test Result ของกลุ่มอาคารเรียนรวม

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-20,314.799	20,679.497		-0.982	0.332
	X_1	845.645	591.365	0.103	1.430	0.160
	X_5	-16.794	13.885	-0.153	-1.209	0.234
	X_8	26.669	4.488	0.531	5.942	0.000
	X_{11}	1,069.057	250.317	0.473	4.271	0.000
	$[\log_{10}(X_7 \times X_{13})]$	5,651.586	5,657.614	0.146	0.999	0.324

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 24 สามารถสร้างสมการจำลองการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารเรียนรวมได้ ดังสมการที่ 4.2

$$Y = 845.645\,(X_1) - 16.794\,(X_5) + 26.669\,(X_8) + 1{,}069.057\,(X_{11}) + 5{,}651.586\,[\log_{10}(X_7 \times X_{13})] - 20{,}314.799 \quad (4.2)$$

โดยที่ Y หมายถึง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคาร (kWh/เดือน)

X_1 หมายถึง อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)

X_5	หมายถึง	กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (BTU/h.m^2)
X_7	หมายถึง	ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ (W/m^2)
X_8	หมายถึง	จำนวนนักเรียน/ชั่วโมง (คน/ชม.)
X_{11}	หมายถึง	วันที่มีการเรียนการสอน (วัน)
X_{13}	หมายถึง	ชั่วโมงเรียนบรรยาย/เดือน (ชม./เดือน)

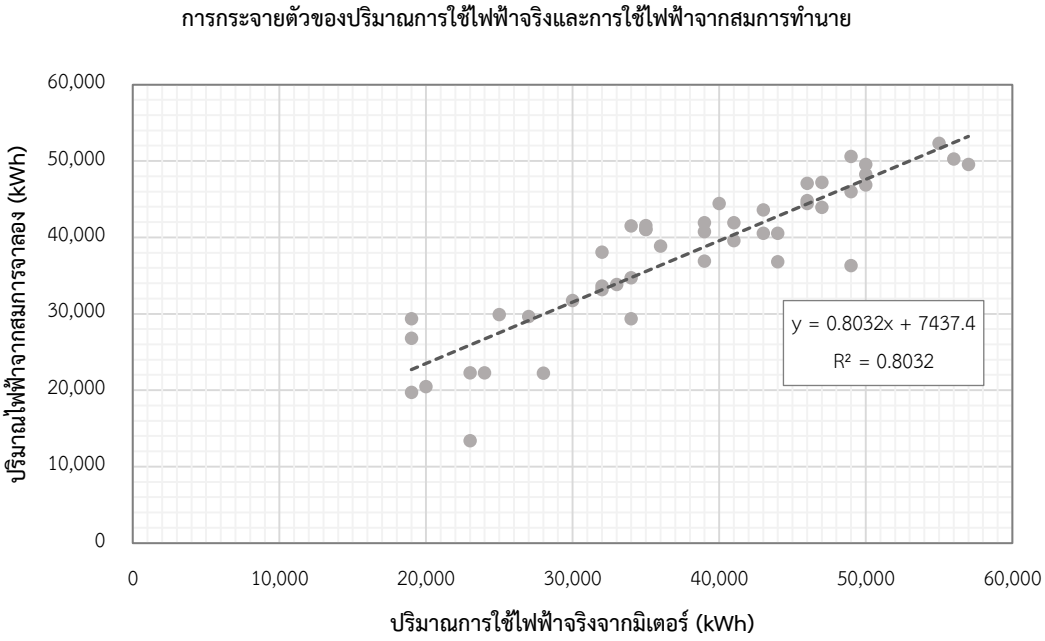
ตารางที่ 25 การตรวจสอบความแม่นยำของสมการของกลุ่มอาคารเรียนรวม

	การทดสอบความแม่นยำ	R^2	RMSE	CV(RMSE)	MBE
1	รวม	0.80	4,618.76	12.22	-2.84
2	อาคารพินิจประชานารถ	0.80	5,236.10	12.79	-6.93
3	อาคารจุฬาพัฒน์ 13	0.79	3,969.41	11.37	0.92

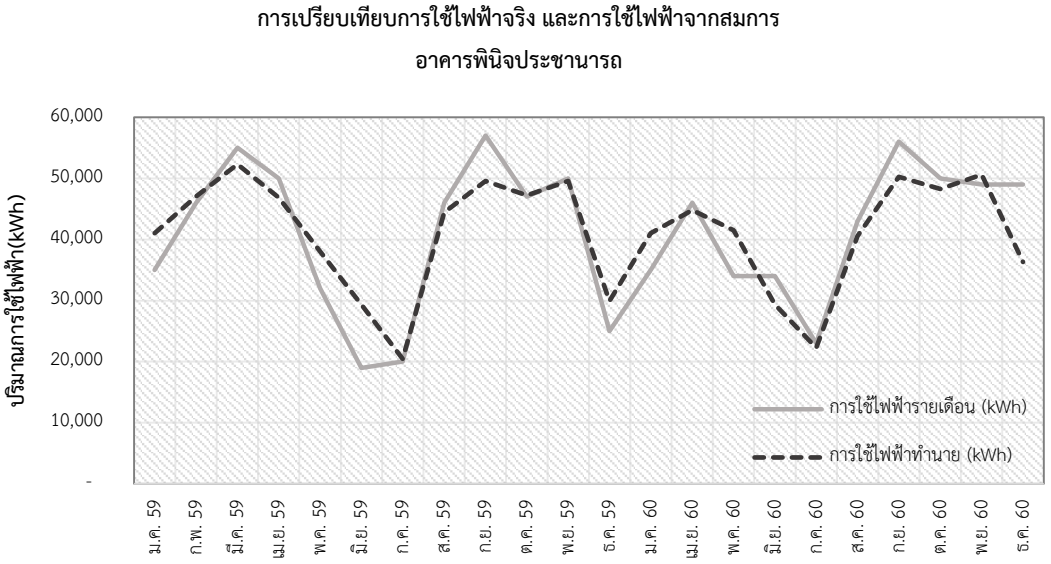
สมการทำนายที่ได้ต้องผ่านการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายจากค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลด้วยค่าRMSE CV-RMSE และ MBE โดยจากการคำนวณพบว่าสมการทำนายมีค่า RMSE เท่ากับ 4,618.76 kWh ค่า CV-RMSE เท่ากับร้อยละ 12.22 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 25 ตามมาตรฐาน ASHRAE Guideline 14 สำหรับสมการทำนายที่มีฐานข้อมูลการใช้พลังงานในระยะเวลา 12 – 60 เดือน และมีค่าความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (MBE) เท่ากับ -2.84 kWh ดังแสดงในตารางที่ 25

จากการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการจำลอง พบว่าค่าการใช้พลังงานจากสมการจำลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการใช้พลังงานจริง ดังแผนภูมิที่ 30 - 34

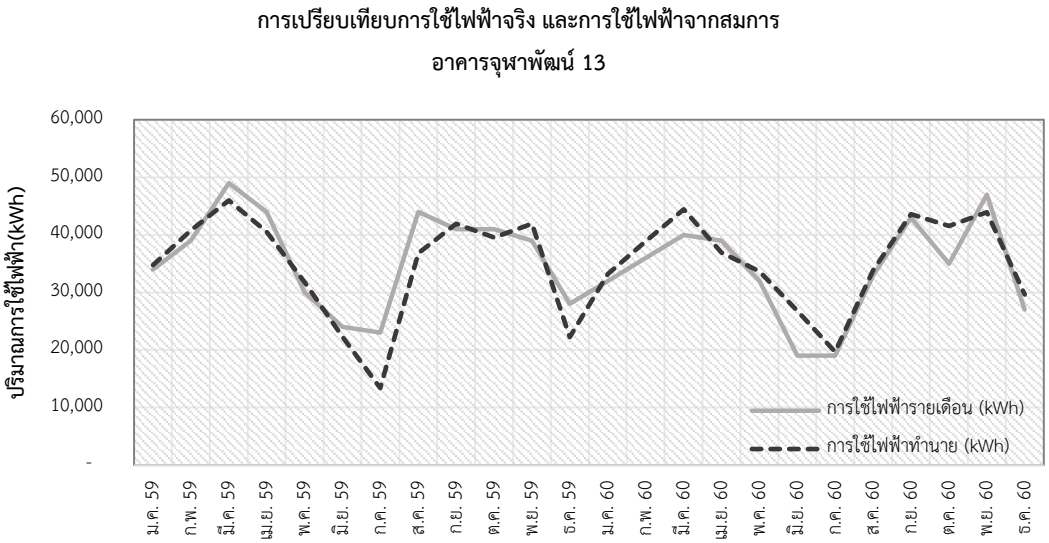
Chulalongkorn University



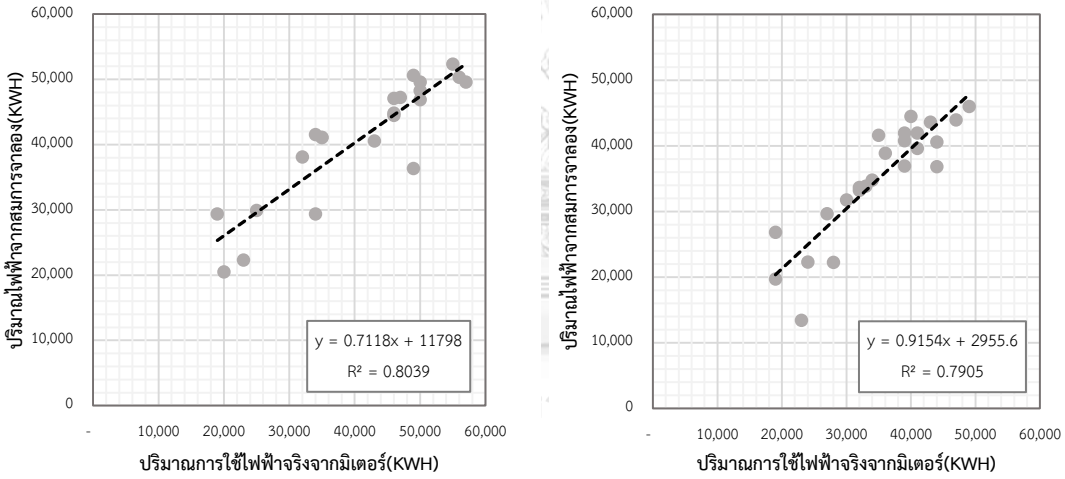
แผนภูมิที่ 30 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย กลุ่มอาคารเรียนรวม



แผนภูมิที่ 31 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารพินิจประชานารถ



แผนภูมิที่ 32 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารจุฬาพัฒน์ 13



แผนภูมิที่ 33 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารพินิจประชานารถ

แผนภูมิที่ 34 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารจุฬาพัฒน์ 13

4.3.3 กลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน กรณีศึกษา อาคารบรมราชกุมารี และอาคารเกษม อุทยานิน

ในการศึกษานี้ ได้แบ่งตัวแปรออกเป็น 2 ส่วนสำหรับอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยส่วนใหญ่เป็นส่วนทำงาน และส่วนเรียน ดังนั้นปัจจัยจึงประกอบด้วยตัวแปร 2 จำพวก คือ ส่วนสำนักงาน และส่วนอาคารเรียน ปัจจัยจากการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้ได้รายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัย 24 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน

	ปัจจัยที่ศึกษา		
สภาพอากาศ	อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)		X_1
กายภาพอาคาร	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (m^2)		X_2
	พื้นที่ปรับอากาศ		X_3
	พื้นที่ส่วนเรียนบรรยายและประชุม		X_4
	พื้นที่สำนักงานและห้องพักอาจารย์		X_5
	ระบบปรับอากาศ	กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (Btu/h.m^2)	X_6
	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	LPD (W/m^2)	X_7
	อุปกรณ์ไฟฟ้า	EPD (W/m^2)	X_8
ผู้ใช้งานอาคาร	จำนวนพนักงานต่อวัน		X_9
	จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ (คน/100 ตร.ม.)		X_{10}
	จำนวนนักเรียนเฉลี่ยต่อชั่วโมง		X_{11}
	จำนวนนักเรียนต่อพื้นที่ (คน/100 ตร.ม.)		X_{12}
การใช้งานอาคาร	วันทำการ		X_{13}
	ชั่วโมงทำการเฉลี่ยต่อวัน		X_{14}
	ชั่วโมงทำการเฉลี่ยต่อเดือน		X_{15}
	วันที่มีการเรียนการสอน		X_{16}
	ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน		X_{17}
	ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อเดือน		X_{18}
ตัวแปรที่ปรับรูปเพื่อวิเคราะห์สมการ	จำนวนพนักงานต่อวัน x วันทำการ		$X_{19} = X_9 \times X_{13}$
	จำนวนนักเรียนเฉลี่ยต่อชั่วโมง x ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน		$X_{20} = X_{11} \times X_{17}$
	พื้นที่ส่วนเรียนบรรยาย x ชั่วโมงเรียน/เดือน		$X_{21} = X_4 \times X_{18}$
	พื้นที่ส่วนสำนักงาน x ชั่วโมงทำการ/เดือน		$X_{22} = X_5 \times X_{15}$
	กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ x (ชั่วโมงทำการต่อเดือน + ชั่วโมงเรียนต่อเดือน)		$X_{23} = X_6 \times (X_{15} + X_{18})$
	(LPD + EPD) x (ชม.ทำการต่อเดือน + ชั่วโมงเรียนต่อเดือน)		$X_{24} = (X_7 + X_8) \times (X_{15} + X_{18})$

ปัจจัยที่นำเข้าวิเคราะห์สมการประกอบด้วย ชุดข้อมูล 47 ชุดในระยะเวลา 2 ปี โดยตัดข้อมูลการใช้พลังงานที่ผิดปกติในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ของอาคารบรมราชกุมารี โดยมีข้อสรุปรายละเอียดของข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 27 สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน

ปัจจัย	Mean	Minimum	Maximum	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Deviation)	ความเบ้ (Skewness)
X_1	29.28	27.00	32.00	1.26	0.53
X_2	18,540.99	18,525.90	18,556.73	15.58	0.04
X_3	10,732.67	8,887.28	12,501.16	1,826.06	- 0.04
X_4	4,635.76	4,517.55	4,749.05	116.97	- 0.04
X_5	3,659.67	3,073.51	4,271.32	605.24	0.04
X_6	1,158.37	1,091.62	1,228.02	68.92	0.04
X_9xX_{13}	6,780.26	3,712.00	10,120.00	2,245.92	0.16
$X_{11}xX_{17}$	2,652.34	0.00	5,971.00	2,448.81	0.29
$X_6x(X_{15} + X_{18})$	225,903.28	137,543.96	335,544.01	55,230.31	0.48
$(X_7+X_8)x(X_{15}+X_{18})$	10,737.12	5,980.99	16,964.87	3,252.45	0.51

จากการศึกษาปัจจัย พบว่า ตัวแปรที่ได้จากรวบรวมข้อมูลผ่านการพิจารณาเบื้องต้นทั้งหมด 14 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) พื้นที่ใช้สอย (X_2) พื้นที่ปรับอากาศ (X_3) พื้นที่ห้องเรียนบรรยายและประชุม (X_4) พื้นที่สำนักงานและห้องพักอาจารย์ (X_5) กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (X_6) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (X_7) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (X_8) จำนวนพนักงานต่อวัน (X_9) จำนวนนักเรียนต่อชั่วโมง (X_{11}) วันทำการ (X_{13}) ชั่วโมงทำการต่อเดือน (X_{15}) ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน (X_{17}) ชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน (X_{18})

ตารางที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน

Correlations		Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_{19}	X_{20}	X_{23}	X_{24}
Y	Pearson Correlation	1	0.12	0.31	-0.31	-0.31	0.31	0.31	0.36	0.28	0.42	0.42
	Sig.		0.44	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.01	0.06	0.00	0.00
X_1	Pearson Correlation	0.12	1	-0.01	0.012	0.012	-0.01	-0.01	-0.08	-0.11	-0.18	-0.15
	Sig.	0.44		0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.61	0.47	0.23	0.33
X_2	Pearson Correlation	0.31	-0.01	1	-1.00	-1.00	1.00	1.00	0.96	0.84	0.68	0.80
	Sig.	0.04	0.94		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X_3	Pearson Correlation	-0.31	0.01	-1.00	1	1.00	-1.00	-1.00	-0.96	-0.84	-0.68	-0.79
	Sig.	0.04	0.94	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

X_4	Pearson Correlation	-0.31	0.01	-1.00	1.00	1	-1.00	-1.00	-0.96	-0.84	-0.68	-0.79
	Sig.	0.04	0.94	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X_5	Pearson Correlation	0.31	-0.01	1.000	-1.00	-1.00	1	1.00	0.96	0.84	0.68	0.79
	Sig.	0.04	0.94	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X_6	Pearson Correlation	0.31	-0.01	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1	0.96	0.84	0.68	0.79
	Sig.	0.04	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
X_{19}	Pearson Correlation	0.36	-0.08	0.957	-0.96	-0.96	0.96	0.96	1	0.78	0.76	0.85
	Sig.	0.01	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
X_{20}	Pearson Correlation	0.28	-0.11	0.84	-0.84	-0.84	0.84	0.84	0.78	1	0.84	0.89
	Sig.	0.06	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
X_{23}	Pearson Correlation	0.42	-0.18	0.68	-0.68	-0.68	0.68	0.68	0.76	0.84	1	0.99
	Sig.	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
X_{24}	Pearson Correlation	0.41	-0.15	0.79	-0.79	-0.79	0.79	0.79	0.85	0.89	0.99	1
	Sig.	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

มีปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสู่สมการถดถอยแบบพหุคูณ ด้วยวิธี Backward ได้ตัวแปรทำนายทั้งหมด 7 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) ค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างเฉลี่ยต่อพื้นที่ (X_7) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ (X_8) จำนวนนักเรียนเฉลี่ยต่อชั่วโมง (X_{11}) ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน (X_{17}) ชั่วโมงทำการต่อเดือน(X_{15}) และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อเดือน (X_{18})

ตารางที่ 29 Model Summary Details ของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.496	0.246	0.194	23,810.097

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ ทำให้ได้สมการจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียนรวมที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.496 ดังแสดงในตารางที่ 29 ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานของอาคารในระดับสูง และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) ของแบบจำลอง

เท่ากับ 0.194 ซึ่งหมายความว่า แบบจำลองสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนและสำนักงานได้เพียงร้อยละ 20 ในขณะที่อีกร้อยละ 80 ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้

ตารางที่ 30 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของสมการของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7,971,089,296.67	3	2,657,029,765.56	4.69	.006[f]
	Residual	24,377,591,381.80	43	566,920,729.81		
	Total	32,348,680,678.47	46			

หลังจากได้สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารแล้ว ต้องตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสมการทำนายด้วยค่าทางสถิติ โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) ต้องมีค่า > 0.75 ตามมาตรฐานทางสถิติที่ยอมรับได้ และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ p-value < 0.05 ซึ่งสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) อยู่ที่ 0.194 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.75 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ (Sig. หรือ p-value) อยู่ที่ 0.006 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 30 ทำให้ผลทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนและสำนักงานไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรทำนายทั้งหมด 7 ตัว ได้อย่างแม่นยำและมีค่านัยสำคัญทางสถิตินัก

ตารางที่ 31 Linear relationship Test Result ของกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-95464.348	86750.333		-1.100	.277
	X1	3975.773	2812.474	.189	1.414	.165
	X23	-4.928	3.117	-.455	-1.581	.121
	X36	6.893	2.359	.845	2.922	.006

จากตารางที่ 31 สามารถสร้างสมการจำลองการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงานได้ ดังสมการที่ 4.3

$$Y = 3{,}975.773\,(X_1) - 4.928\,(X_{11} \times X_{17}) + 6.893\,[(X_7 + X_8) \times (X_{15} + X_{18})] - 95{,}464.348 \qquad (4.3)$$

โดยที่ Y หมายถึง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคาร

(kWh/เดือน)

X_7	หมายถึง	LPD
X_8	หมายถึง	EPD
X_{11}	หมายถึง	จำนวนนักเรียนต่อชั่วโมง
X_{15}	หมายถึง	ชั่วโมงทำการ/เดือน
X_{17}	หมายถึง	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
X_{18}	หมายถึง	ชั่วโมงเรียน/เดือน

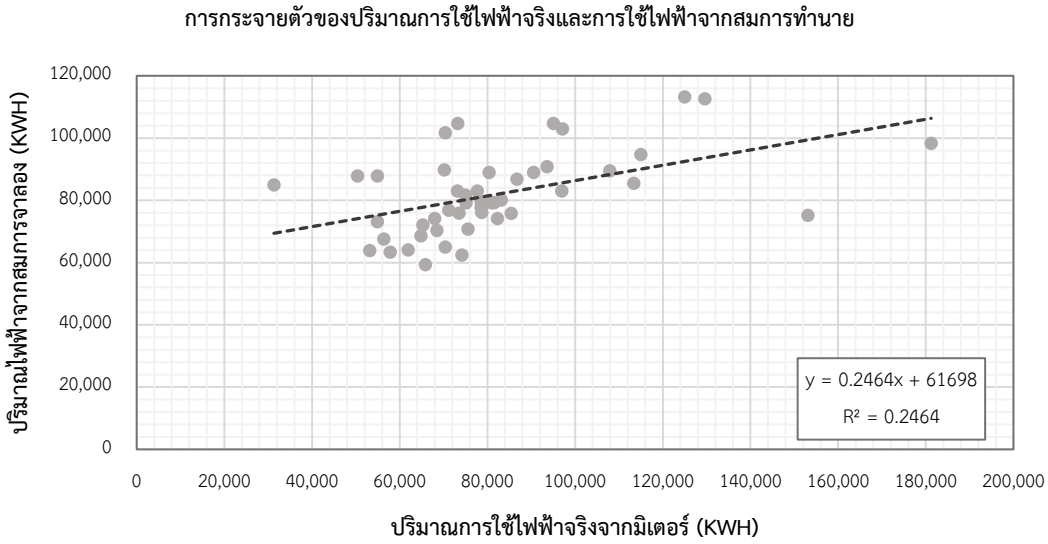
ตารางที่ 32 การทดสอบความแม่นยำของสมการ

	การทดสอบความแม่นยำ	R^2	RMSE	CV(RMSE)	MBE
1	รวม	0.25	22,774.30	27.82	1.52
2	อาคารบรมราชกุมารี	0.14	31,626.74	35.09	-541.96
3	อาคารเกษม อุทยานิน	0.49	7,559.94	10.22	522.36

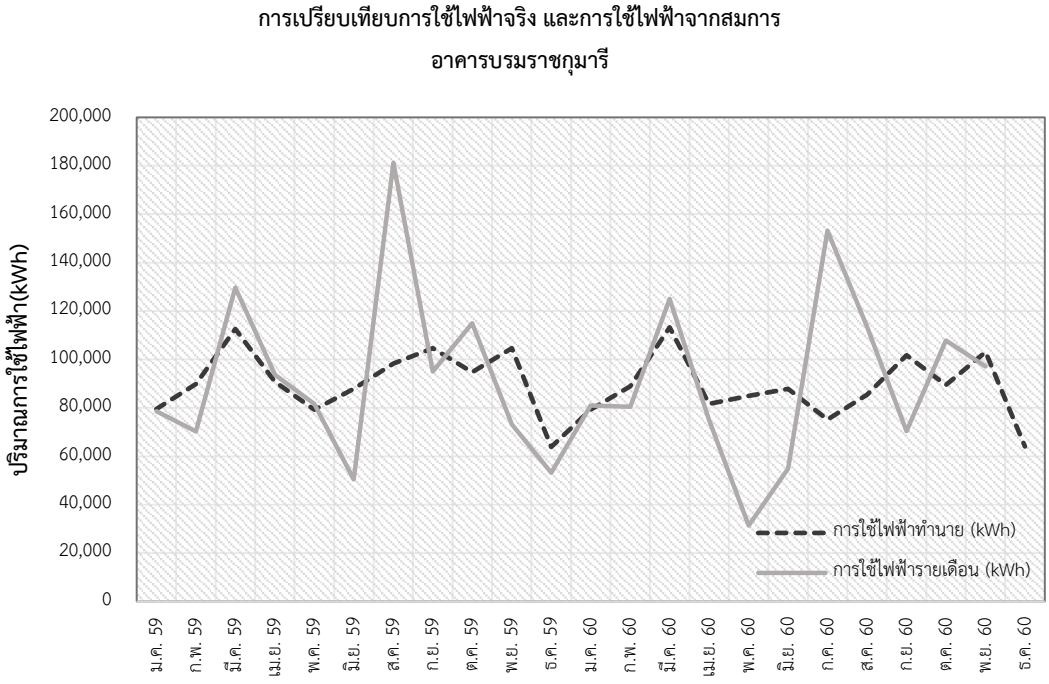
สมการทำนายที่ได้ต้องผ่านการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายจากค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลด้วยค่า RMSE CV-RMSE และ MBE โดยจากการคำนวณพบว่าสมการทำนายมีค่า RMSE เท่ากับ 22,774.30 kWh ค่า CV-RMSE เท่ากับร้อยละ 27.82 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 25 ตามมาตรฐาน ASHRAE Guideline 14 สำหรับสมการทำนายที่มีฐานข้อมูลการใช้พลังงานในระยะเวลา 12 – 60 เดือน และมีค่าความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (MBE) เท่ากับ 1.52 kWh ดังแสดงในตารางที่ 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

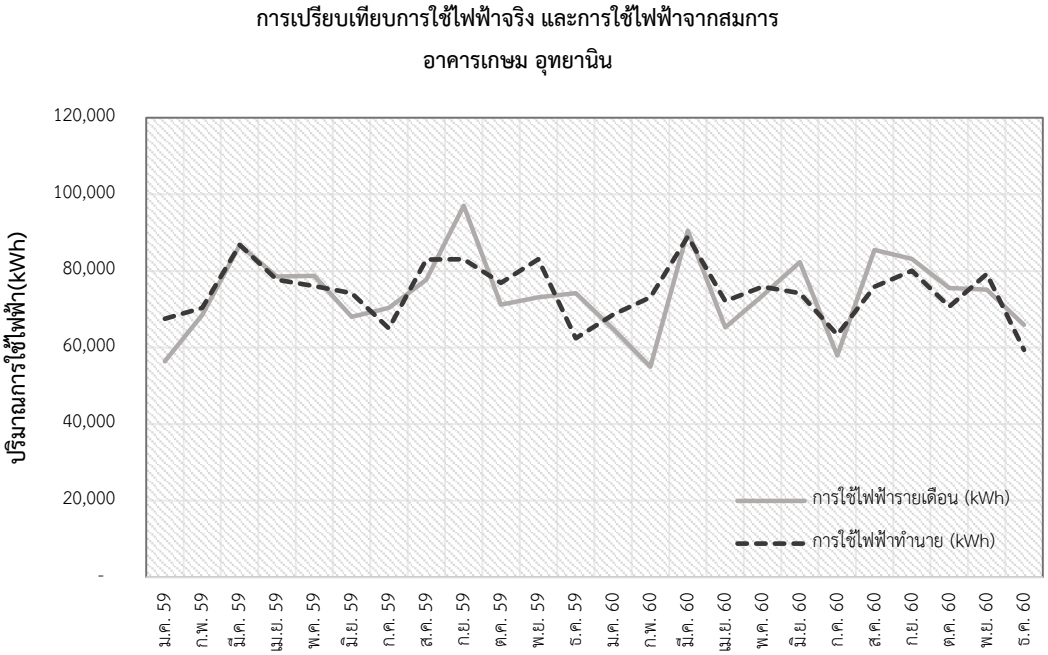
จากการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการจำลอง พบว่าค่าการใช้พลังงานจากสมการจำลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการใช้พลังงานจริง ดังแสดงในแผนภูมิที่ 35 - 39



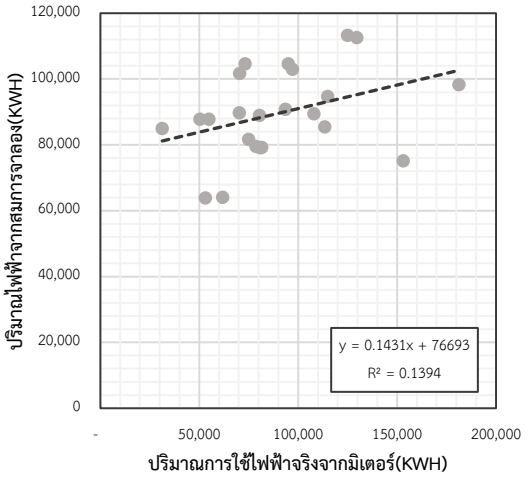
แผนภูมิที่ 35 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย กลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน

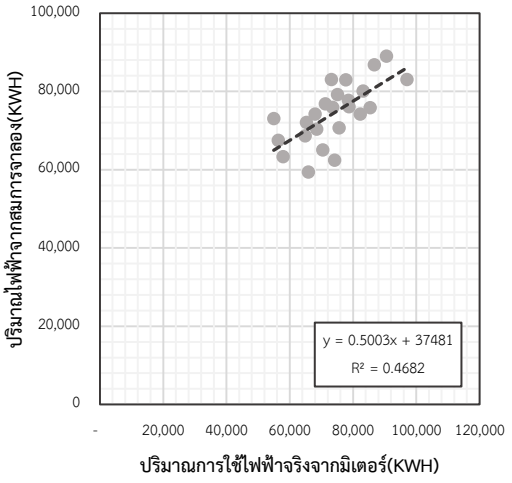


แผนภูมิที่ 36 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารบรมราชกุมารี



แผนภูมิที่ 37 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารเกษม อุทยานิน





แผนภูมิที่ 38 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารบรมราชกุมารี (ซ้าย)
แผนภูมิที่ 39 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารเกษม อุทยานิน (ขวา)

4.3.4 กลุ่มอาคารสำนักงานทั่วไป กรณีศึกษา อาคารจุฬาพัฒน์ 1 และอาคารจามจุรี 5

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้ได้รายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัย 15 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

ปัจจัยที่ศึกษา			
สภาพอากาศ	อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)		X_1
กายภาพอาคาร	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (m^2)		X_2
	พื้นที่ปรับอากาศ		X_3
	ระบบปรับอากาศ	กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (Btu/h.m^2)	X_4
	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	LPD (W/m^2)	X_5
	อุปกรณ์ไฟฟ้า	EPD (W/m^2)	X_6
ผู้ใช้งานอาคาร	จำนวนผู้ใช้งานอาคาร/วัน		X_7
	จำนวนผู้ใช้งานต่อพื้นที่ (คน/100 ตร.ม.)		X_8
การใช้งานอาคาร	วันทำการ		X_9
	ชั่วโมงทำการเฉลี่ย/วัน		X_{10}
	ชั่วโมงทำการเฉลี่ย/เดือน		X_{11}
ตัวแปรที่ปรับรูปเพื่อวิเคราะห์สมการ	จำนวนผู้ใช้งานอาคาร/วัน x วันทำการ		$X_{12} = X_7 \times X_9$
	พื้นที่ปรับอากาศ x ชั่วโมงทำการ/เดือน		$X_{13} = X_3 \times X_{11}$
	(LPD + EPD) x ชั่วโมงทำการเฉลี่ย/เดือน		$X_{14} = (X_5 + X_6) \times X_{11}$
	กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ x ชั่วโมงทำการเฉลี่ย/เดือน		$X_{15} = X_4 \times X_{11}$

ปัจจัยที่นำเข้าวิเคราะห์สมการถดถอย ประกอบด้วย ชุดข้อมูลจำนวน 41 ชุด ในช่วงระหว่างเดือน มกราคม พ.ศ. 2559 – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 เป็นระยะเวลา 2 ปี โดยตัดข้อมูลไฟฟ้าของอาคารจามจุรี 5 ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 เนื่องจากมีการใช้ไฟฟ้าที่สูงผิดปกติ ที่ไม่สามารถบอกสาเหตุได้ และข้อมูลไฟฟ้าของอาคารจุฬาพัฒน์ 1 ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ใช้สอยในชั้น 4 ของอาคาร โดยมีข้อสรุปรายละเอียดของข้อมูลดังตารางที่ 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 34 สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลของอาคารสำนักงาน

ปัจจัย	Mean	Minimum	Maximum	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Deviation)	ความเบ้ (Skewness)
X_1	29.44	27.00	32.00	1.27	0.42
X_2	8,235.92	3,828.18	11,685.45	3947.75	- 0.26
X_4	1,227.49	1,159.72	1,280.52	60.69	- 0.26
X_5	8.98	5.63	11.61	3.00	- 0.26
X_6	29.90	27.45	31.81	2.19	- 0.26
X_7	283.83	109.00	424.00	156.61	- 0.25

X_9	20.24	16.00	23.00	1.96	- 0.44
X_{10}	8.58	6.50	10.20	1.86	- 0.26
$X_3 \times X_{11}$	854,906.53	180,605.99	1,527,199.08	569,481.54	- 0.17

จากการศึกษาปัจจัย พบว่า ตัวแปรที่ได้จากรวบรวมข้อมูลผ่านการพิจารณาเบื้องต้นทั้งหมด 10 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) พื้นที่ใช้สอย (X_2) พื้นที่ปรับอากาศ (X_3) กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (Btu/h.m^2) (X_4) ค่ากำลังไฟฟ้าแสงว่างต่อพื้นที่ (X_5) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (X_6) จำนวนผู้ใช้งานอาคาร(X_7) วันทำการ (X_9) ชั่วโมงทำการเฉลี่ย/วัน (X_{10}) ชั่วโมงทำการเฉลี่ย/เดือน (X_{11})

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอาคารสำนักงาน

Correlations		Y	X1	X6	X7	$X_3 \times X_{11}$
Y	Pearson Correlation	1	0.066	0.988	0.988	0.984
	Sig.		0.682	0.000	0.000	0.000
X_1	Pearson Correlation	- 0.066	1	- 0.122	- 0.125	- 0.158
	Sig.	0.682		0.448	0.436	0.324
X_6	Pearson Correlation	0.988	- 0.122	1	1.000	0.986
	Sig.	0.000	0.448		0.000	0.000
X_7	Pearson Correlation	0.988	- 0.125	1.000	1	0.985
	Sig.	0.000	0.436	0.000		0.000
$X_3 \times X_{11}$	Pearson Correlation	0.984	- 0.158	0.986	0.985	1
	Sig.	0.000	0.324	0.000	0.000	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มีปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสู่สมการถดถอยแบบพหุคูณ ด้วยวิธี Backward ได้ตัวแปรทำนายทั้งหมด 5 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) พื้นที่ปรับอากาศ (X_3) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (X_6) จำนวนผู้ใช้งานอาคาร/วัน (X_7) ชั่วโมงทำการเฉลี่ย/เดือน (X_{11})

ตารางที่ 36 Model Summary Details ของอาคารสำนักงาน

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.994[b]	0.987	0.986	6787.703

a. Predictors: (Constant), X_1, X_6, X_7, (X_3 x X_{11})

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ ทำให้ได้สมการจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.994 ดังแสดงในตารางที่ 36 ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานของอาคารในระดับสูง และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) ของแบบจำลองเท่ากับ 0.986 ซึ่งหมายความว่า แบบจำลองสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงาน ได้ถึง ร้อยละ 96 ในขณะที่อีกร้อยละ 4 ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้

ตารางที่ 37 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของสมการของอาคารสำนักงาน

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	126,349,838,489.20	4	31,587,459,622.30	685.60	0.00[c]
	Residual	1,658,624,960.02	36	46,072,915.56		
	Total	128,008,463,449.22	40			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลังจากได้สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารแล้ว ต้องตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสมการทำนายด้วยค่าทางสถิติ โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) ต้องมีค่า > 0.75 ตามมาตรฐานทางสถิติที่ยอมรับได้ และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ p-value < 0.05 ซึ่งสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) อยู่ที่ 0.986 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.75 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ (Sig. หรือ p-value) อยู่ที่ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 37 ทำให้ผลทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงานสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรทำนายทั้งหมด 5 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 38 Linear relationship Test Result ของอาคารสำนักงาน

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,457,864.306	773,759.264		1.884	0.068
	X_1	3,748.862	896.506	0.084	4.182	0.000
	X_6	-60,565.709	30,047.984	-2.345	-2.016	0.051
	X_7	1,028.327	414.455	2.847	2.481	0.018
	$X_3 \times X_{11}$	0.050	0.011	0.504	4.367	0.000

จากตารางที่ 38 สามารถสร้างสมการจำลองการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารเรียนสำนักงานได้ ดังสมการที่ 4.4

$$Y = 3,748.862\ (X_1) - 60,565.709\ (X_6) + 1,028.327\ (_7) + 0.05\ (X_3 \times X_{11}) + 1,457,864.30 \quad (4.4)$$

โดยที่ Y หมายถึง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคาร (kWh/เดือน)

X_1 หมายถึง อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)

X_3 หมายถึง พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)

X_6 หมายถึง ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m^2)

X_7 หมายถึง จำนวนผู้ใช้งานอาคาร/วัน

X_{11} หมายถึง ชั่วโมงทำการเฉลี่ย/เดือน

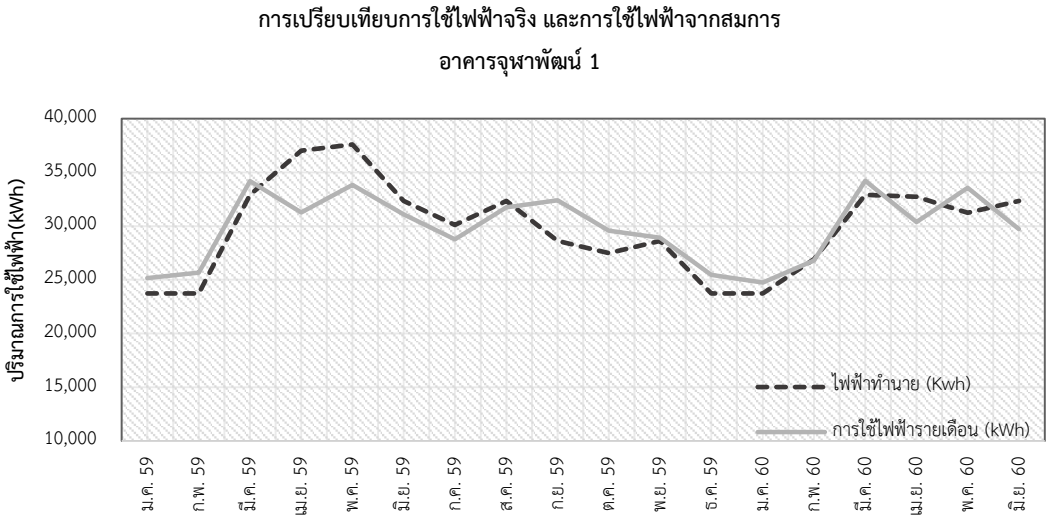
ตารางที่ 39 การทดสอบความแม่นยำของสมการของอาคารสำนักงาน

	การทดสอบความแม่นยำ	R^2	RMSE	CV(RMSE)	MBE
1	รวม	0.98	6,284.83	6.81	-50.00
2	อาคารจุฬาพัฒน์ 1	0.70	2,368.10	7.93	33.04
3	อาคารจามจุรี 5	0.48	8,230.43	5.83	-117.17

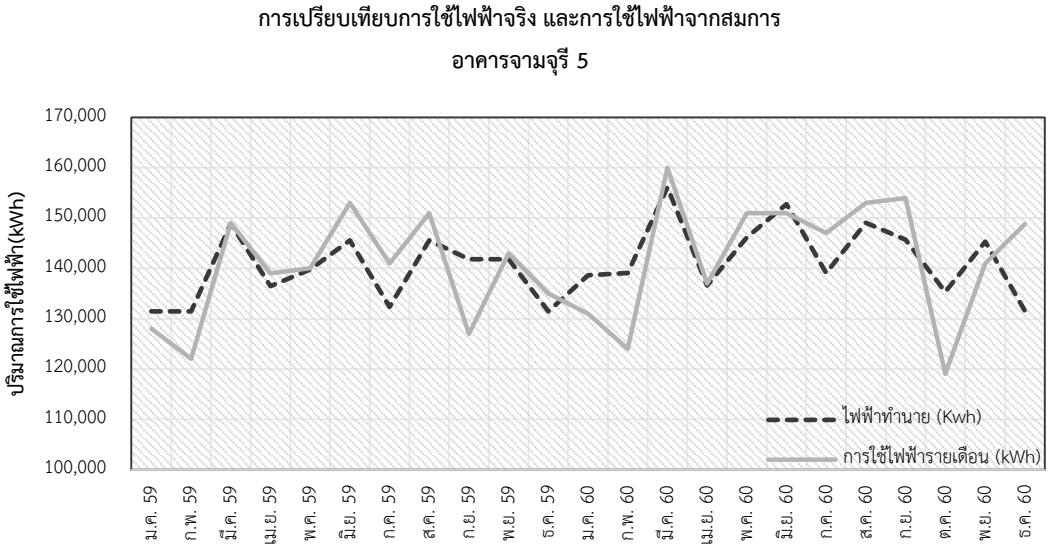
สมการทำนายที่ได้ต้องผ่านการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายจากค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลด้วยค่า RMSE CV-RMSE และ MBE โดยจากการคำนวณพบว่าสมการทำนาย

มีค่า RMSE เท่ากับ 6,284.83 kWh ค่า CV-RMSE เท่ากับร้อยละ 6.81 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 25 ตามมาตรฐาน ASHRAE Guideline 14 สำหรับสมการทำนายที่มีฐานข้อมูลการใช้พลังงานในระยะเวลา 12 – 60 เดือน และมีค่าความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (MBE) เท่ากับ -50.00 kWh ดังแสดงในตารางที่ 39

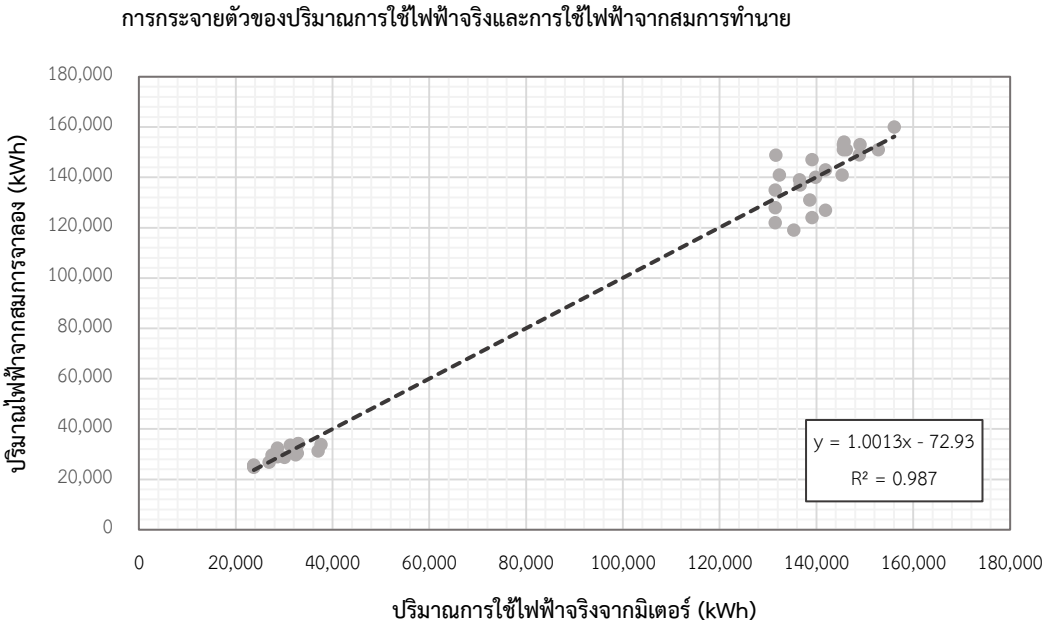
จากการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการจำลอง พบว่าค่าการใช้พลังงานจากสมการจำลองใกล้เคียงกับการใช้พลังงานจริง ดังแสดงในแผนภูมิที่ 40 - 44



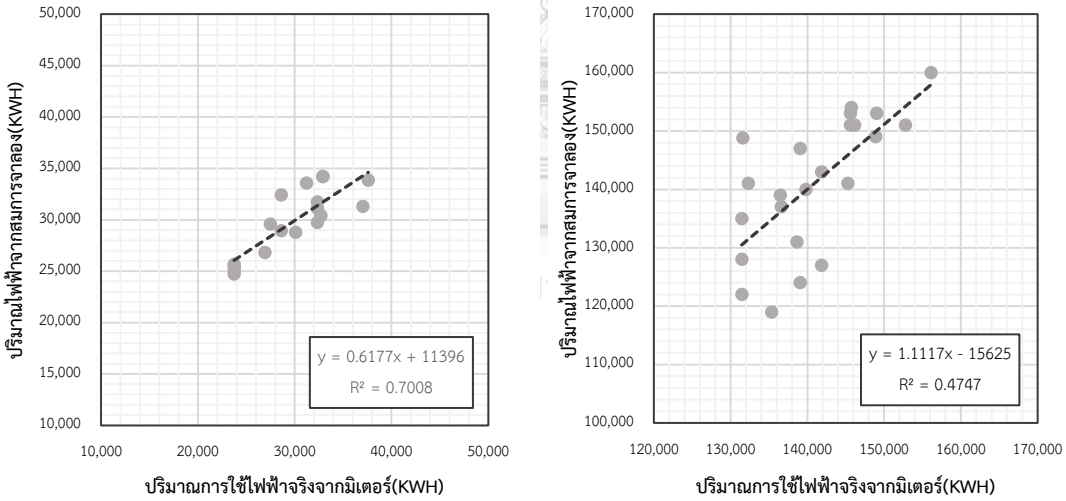
แผนภูมิที่ 40 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารจุฬาพัฒน์ 1



แผนภูมิที่ 41 การเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าจริงและการใช้ไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารจามจุรี 5



แผนภูมิที่ 42 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย กลุ่มอาคารสำนักงาน



แผนภูมิที่ 43 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารจุฬาพัฒน์ 1 (ซ้าย)
แผนภูมิที่ 44 การกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าจริงและไฟฟ้าจากสมการทำนาย อาคารจามจุรี 5 (ขวา)

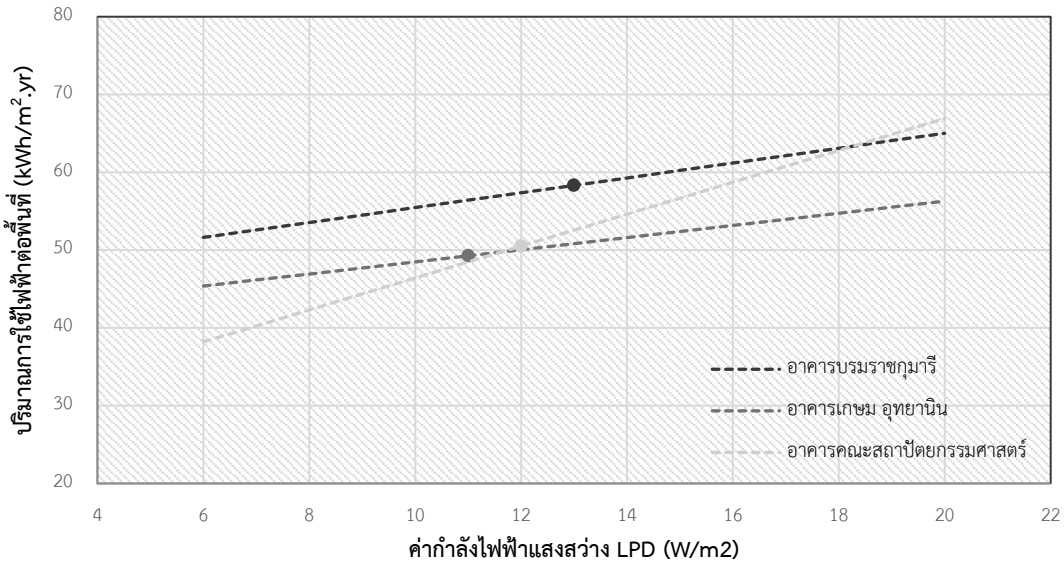
4.4 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยแบบจำลอง Inverse Modeling

จากการศึกษาเรื่องผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานอาคารในเขตร้อนชื้นของ ณัฏฐา ตระกูลไทย (2558) งานวิจัยนี้จึงใช้ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศในปี 2563 หรืออีก 2 ปีข้างหน้า เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้มการใช้พลังงานในอาคาร และพิจารณาหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพอาคารให้สอดคล้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภท

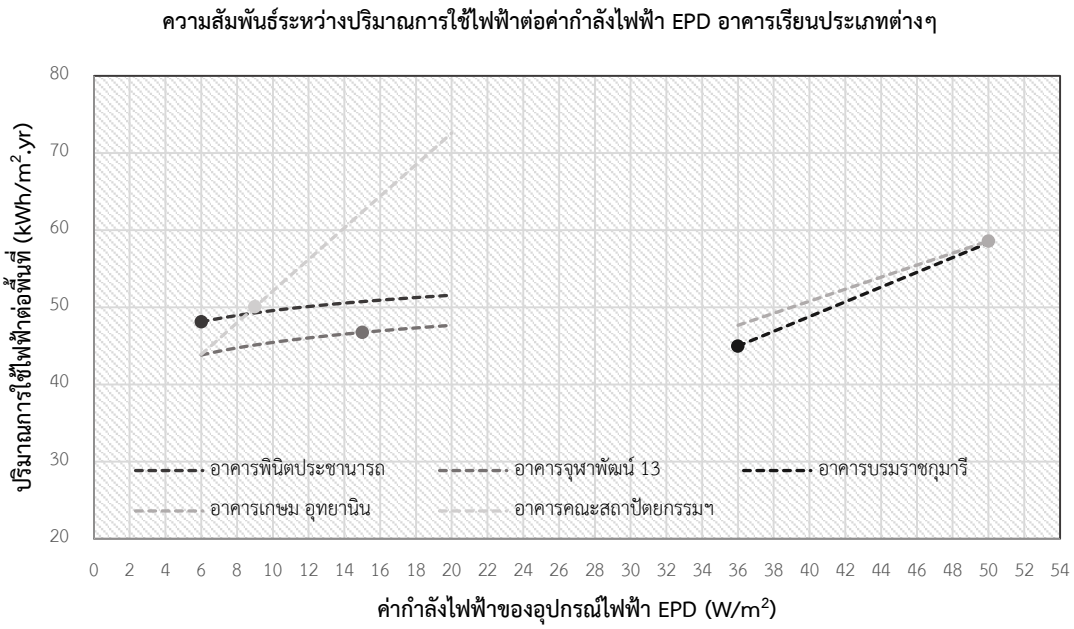
4.4.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร (Sensitivity)

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยในอาคารเรียนและอาคารสำนักงานกรณีศึกษา เมื่อนำมาพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรในสมการทำนายต่อการใช้พลังงาน พบว่า การใช้พลังงานแสงว่าง (LPD) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารเรียนสตูดิโอมากกว่าอาคารประเภทอื่น การปรับค่า LPD จะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานต่อพื้นที่มากกว่าการปรับค่า LPD ในอาคารประเภทอาคารเรียนและสำนักงาน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 45

ในขณะเดียวกัน การใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารเรียนสตูดิโอมากกว่าอาคารประเภทอื่น การปรับค่า EPD จะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานต่อพื้นที่มากกว่าการปรับค่า EPD ในอาคารประเภทอาคารเรียนและสำนักงาน และอาคารเรียนรวม ตามลำดับ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 46



แผนภูมิที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่ากำลังไฟฟ้า LPD อาคารเรียนประเภทต่างๆ

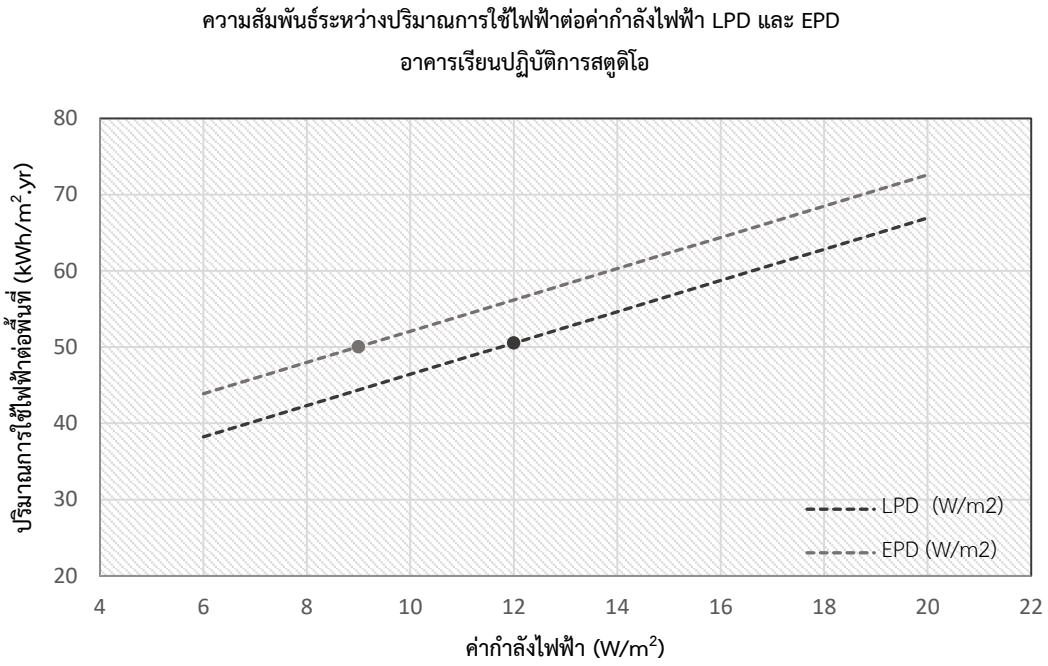


แผนภูมิที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่ากำลังไฟฟ้า EPD อาคารเรียนประเภทต่างๆ

4.4.2 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการสตูดิโอ

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการสตูโอทั้งหมด 9 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน ขนาดพื้นที่เรียนบรรยาย ขนาดพื้นที่สตูดิโอ LPD เฉลี่ย EPD เฉลี่ย จำนวนนักเรียนต่อวัน ชั่วโมงทำการของสำนักงานต่อเดือน ชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน และชั่วโมงสตูดิโอต่อเดือน พบว่า ปัจจัยที่สามารถพิจารณาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ 1) ค่า LPD สามารถปรับลดด้วยการเปลี่ยนหลอดไฟทั้งหมดให้เป็นหลอด LED ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนท์ที่อาคารใช้อยู่ 2) ค่า EPD สามารถปรับลดได้ด้วยการส่งเสริมให้พนักงานใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาแทนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ การใช้เครื่องพิมพ์และเครื่องถ่ายเอกสารส่วนกลาง หรือเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า LPD และ EPD
ในอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ ประจำปี พ.ศ. 2563

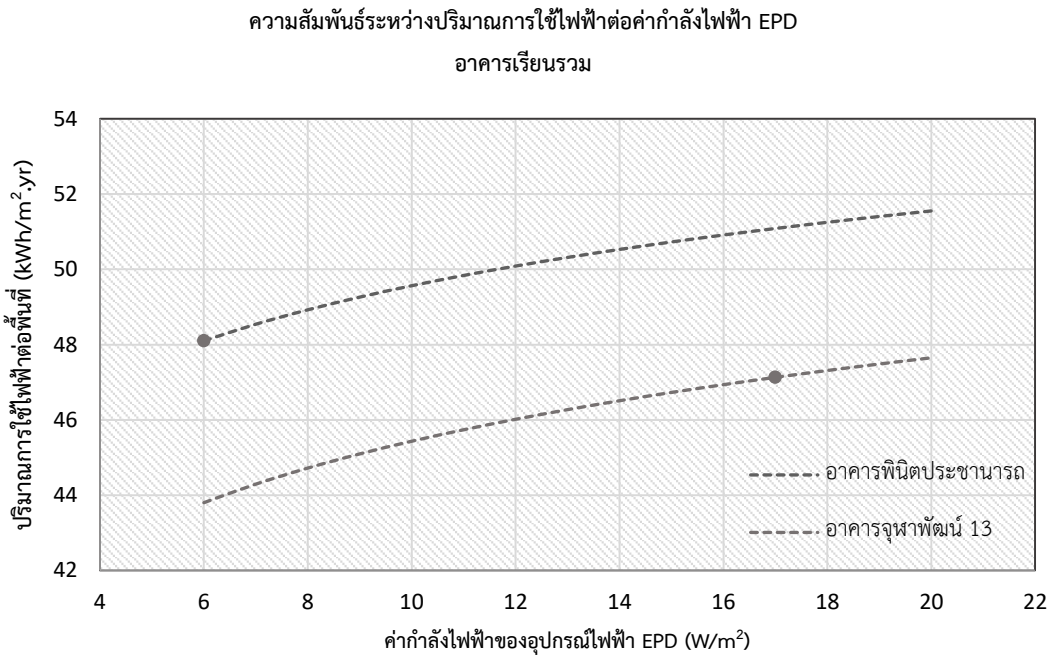
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า (LPD และ EPD) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงตามการปรับลดของค่า LPD และ EPD โดยมีรายละเอียดดังแสดงในแผนภูมิที่ 47 ซึ่งจะเห็นว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จะมีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปีอยู่ที่ 50.98 kWh/m^2.yr และมีค่า LPD และ EPD อยู่ที่ 12.22 และ 9.46 W/m^2 ตามลำดับ หากเปลี่ยนใช้หลอด LED ซึ่งจะทำให้ค่า LPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 38.23 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 25 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย หากลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จนทำให้ค่า EPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 43.88 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 15 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.3 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวมทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ จำนวนนักเรียนต่อชั่วโมง วันที่มีการเรียนการสอน ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อเดือน พบว่า ปัจจัยที่สามารถพิจารณาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์

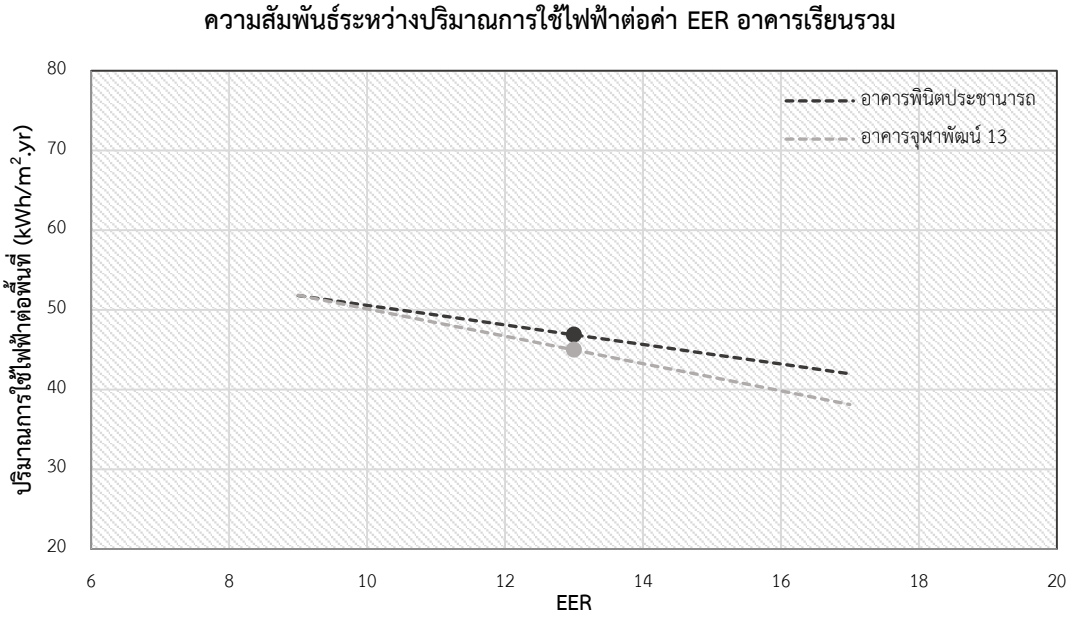
ไฟฟ้า (EPD) ซึ่งสามารถปรับลดค่า EPD ได้โดยการส่งเสริมให้พนักงานใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาแทนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ การใช้เครื่องพิมพ์และเครื่องถ่ายเอกสารส่วนกลาง หรือเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5



แผนภูมิที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า EPD ในอาคารเรียนรวม ประจำปี พ.ศ. 2563

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงตามการปรับลดของค่า EPD โดยมีรายละเอียดดังแสดงในแผนภูมิที่ 48 ซึ่งจะเห็นว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารเรียนพินิจประชานารถ จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 48.11 kWh/m^2.yr โดยมีค่า EPD อยู่ที่ 6.02 W/m^2 ซึ่งมีการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าค่อนข้างน้อย อาจจะจะไม่สามารถปรับลดค่า EPD ลงได้มากนัก ในขณะที่ อาคารเรียนจุฬาพัฒน์ 13 จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 46.70 kWh/m^2.yr ในปี พ.ศ. 2563 โดยมีค่า EPD อยู่ที่ 14.83 W/m^2 หากลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จนทำให้ค่า EPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 43.80 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 6 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า EER ในอาคารเรียนรวม

อีกปัจจัยที่สามารถพิจารณาปรับปรุง ได้แก่ ค่าประสิทธิการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) ทั้งนี้ ในการเก็บข้อมูลปัจจัยด้านระบบปรับอากาศซึ่งใช้การเก็บข้อมูลในรูปของ BTU/h.m^2 เพื่อความสะดวกในการสำรวจ จึงต้องนำมาปรับรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปของ EER ดังสมการที่ 4.5

$$BTU/h.m^2 = EER \times Watt / m^2 \quad (4.5)$$

โดยที่ เครื่องปรับอากาศ เบอร์ 5 EER = 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

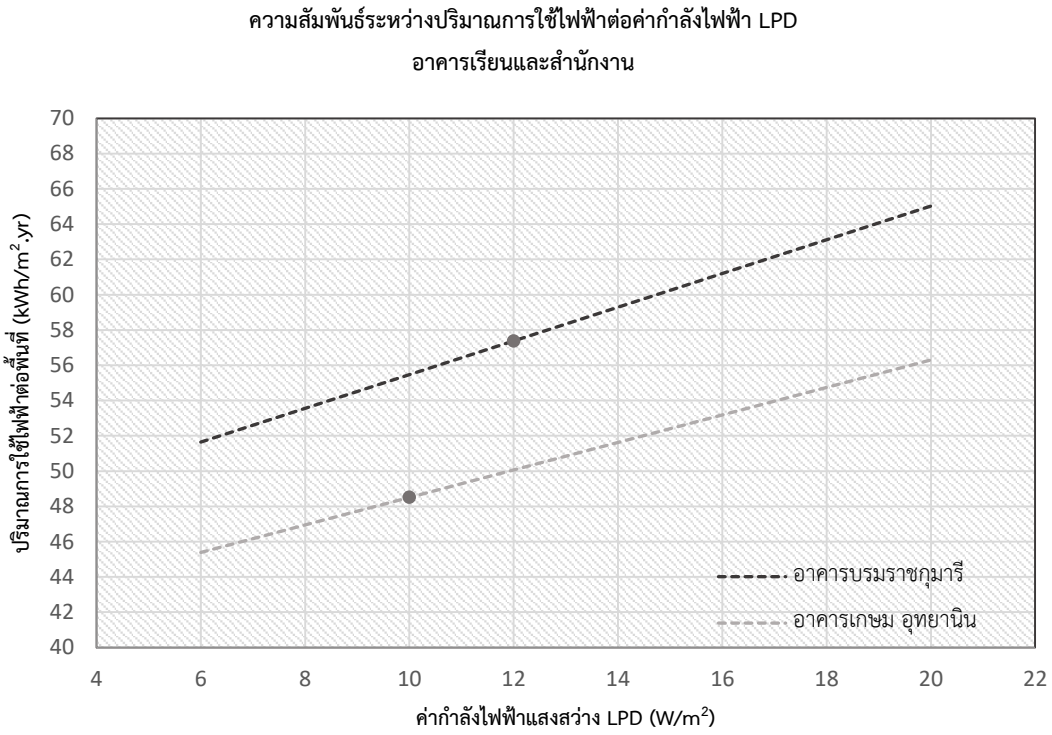
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่าประสิทธิการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงสวนทางกับการปรับเพิ่มค่า EER โดยมีรายละเอียดดังแสดงในแผนภูมิที่ 49 ซึ่งจะเห็นว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารเรียนพินิจประชานารถ จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 48.11 kWh/m^2.yr โดยมีค่า EER อยู่ที่ 12 หากเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จนทำให้ค่า EER เท่ากับ 16 จะทำให้การใช้พลังงานลดลงหลือ 43.80 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 6 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย ในขณะที่อาคารเรียนจุฬาพัฒน์ 13 จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 46.70 kWh/m^2.yr ในปี พ.ศ. 2563 โดยมีค่า EER อยู่ที่ 12 หากเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จนทำให้ค่า EER เท่ากับ 16 จะทำให้การใช้

พลังงานลดลงหลือ 40.00 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 10 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

4.4.4 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการสตูโอทั้งหมด 7 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน LPD เฉลี่ย EPD เฉลี่ย จำนวนนักเรียนเฉลี่ยต่อชั่วโมง ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน ชั่วโมงทำการต่อเดือน และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อเดือน พบว่า ปัจจัยที่สามารถพิจารณาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ 1) ค่า LPD สามารถปรับลดด้วยการเปลี่ยนหลอดไฟทั้งหมดให้เป็นหลอด LED ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนท์ที่อาคารใช้อยู่ 2) ค่า EPD สามารถปรับลดได้ด้วยการส่งเสริมให้พนักงานใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาแทนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ การใช้เครื่องพิมพ์และเครื่องถ่ายเอกสารส่วนกลาง หรือเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5

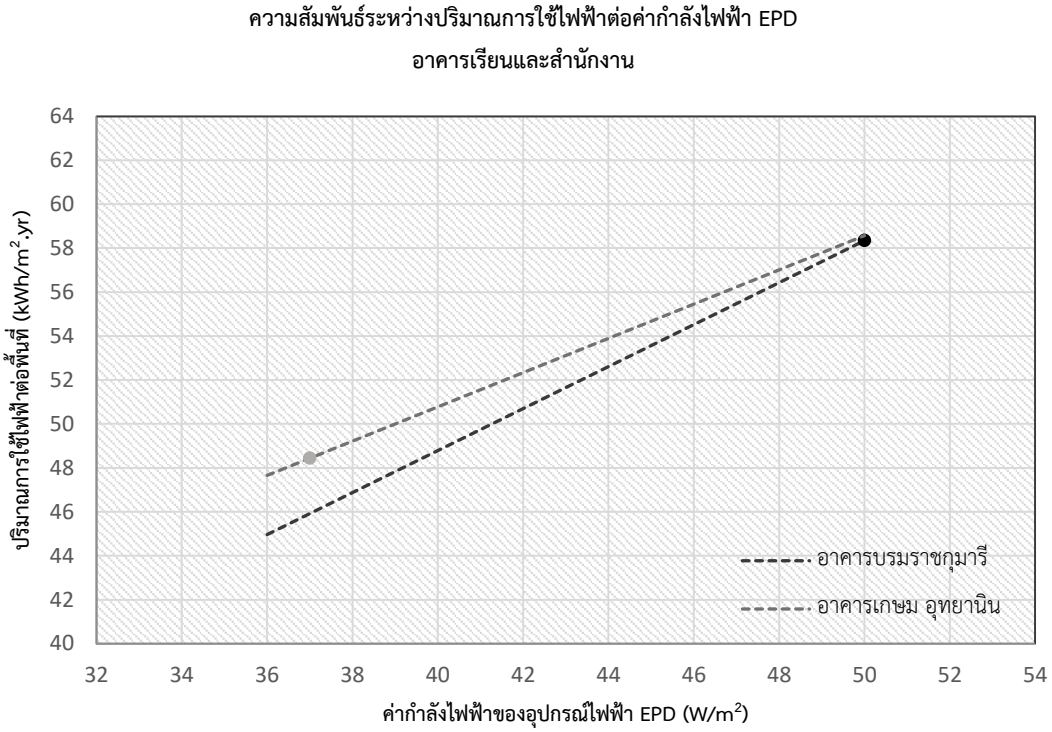
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงตามการปรับลดของค่า LPD โดยมีรายละเอียดดังแสดงในแผนภูมิที่ 50 ซึ่งจะเห็นว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารบรมราชกุมารี จะมีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปีอยู่ที่ 57.90 kWh/m^2.yr และมีค่า LPD อยู่ที่ 12.55 W/m^2 หากอาคารเปลี่ยนไปใช้หลอด LED ซึ่งจะทำให้ค่า LPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 51.65 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 10 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย ในขณะที่ อาคารเกษม อุทยานิน จะมีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปีอยู่ที่ 48.65 kWh/m^2.yr ในปี พ.ศ. 2563 และมีค่า LPD อยู่ที่ 10.90 W/m^2 หากอาคารเปลี่ยนไปใช้หลอด LED ซึ่งจะทำให้ค่า LPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 45.38 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 6 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย



แผนภูมิที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า LPD ในอาคารเรียนและสำนักงาน ประจำปี พ.ศ. 2563

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงตามการปรับลดของค่า EPD โดยมีรายละเอียดดังแสดงในแผนภูมิที่ 51 ซึ่งจะเห็นว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารบรมราชกุมารี จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 57.90 kWh/m^2.yr โดยมีค่า EPD อยู่ที่ 49.54 W/m^2 หากลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จนทำให้ค่า EPD ลดลงเหลือประมาณ 36 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 44.96 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 10 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย ในขณะที่ อาคารเกษม อุทยานิน จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 48.65 kWh/m^2.yr ในปี พ.ศ. 2563 โดยมีค่า EPD อยู่ที่ 37.28 W/m^2 หากลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จนทำให้ค่า EPD ลดลงเหลือประมาณ 25 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลงเหลือ 39.08 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 20 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อค่า EPD ในอาคารเรียนและสำนักงาน ประจำปี พ.ศ. 2563

4.4.5 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน พื้นที่ปรับอากาศ EPD เฉลี่ย จำนวนผู้ใช้งานอาคารต่อวัน และชั่วโมงทำการเฉลี่ยต่อเดือน พบว่า ปัจจัยที่สามารถพิจารณาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ ค่า EPD โดยสามารถลดลงได้ด้วยการส่งเสริมให้พนักงานใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาแทนเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5

อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสวนทางกับการปรับลดของค่า EPD ทำให้ไม่สามารถหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้อย่างชัดเจน ซึ่งคาดว่าเกิดจากตัวแปรค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) อาจไม่ใช่ตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานของมหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา จากการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธี Inverse modeling ให้สอดคล้องกับการดำเนินการและฐานข้อมูลของมหาวิทยาลัย และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารมาวิเคราะห์หาแนวทางในการควบคุมปริมาณและปรับปรุงการใช้พลังงานภายในอาคาร รวมถึงพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารที่เหมาะสมกับการใช้งานของอาคาร เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการบริหารจัดการพลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) การสำรวจอาคารเรียนและอาคารสำนักงานในมหาวิทยาลัย (2) การวิเคราะห์สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธี Inverse modeling (3) แนวทางการนำสมการทำนายไปใช้ประโยชน์ โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการสำรวจและเก็บข้อมูลอาคาร

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาจากกลุ่มอาคารกรณีศึกษาทั้งหมด 7 อาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ (1) กลุ่มอาคารเรียนรวม ประกอบด้วย อาคารพินิจประชานารถ และอาคารจุฬาพัฒน์ 13 (2) กลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน ประกอบด้วย อาคารบรมราชกุมารี และอาคารเกษม อุทยานิน (3) กลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอและการออกแบบ ประกอบด้วย อาคารสถาปัตยกรรม 1 และอาคารนารถ โพธิประสาท (4) กลุ่มอาคารสำนักงานทั่วไป ประกอบด้วย อาคารจุฬาพัฒน์ 1 และอาคารจามจุรี 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระบวนการวิจัยเริ่มจาก (1) ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร อ้างอิงจากเกณฑ์ Energy Star (2010) การศึกษาของสไบทิพย์ บุญยงค์ (2551) และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558) โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ข้อมูลกายภาพอาคาร ผู้ใช้งานและระยะเวลาการใช้งานอาคาร การใช้พลังงานของระบบประกอบอาคารและอุปกรณ์ไฟฟ้า และสภาพอากาศ (2) เก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยตามมาตรฐานสากลของการตรวจพิสูจน์ผลประหยัด (Measurement & Verficaiton) อย่าง ASHRAE และ IPMVPนตอนการ ในรูปแบบของฐานข้อมูลรายเดือน ช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2559 – 2560 เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดในช่วงเวลาดังกล่าว (3) พิจารณาข้อมูลที่เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการอาคารสามารถเก็บได้จริง โดยไม่ต้องทำการตรวจวัดแบบละเอียด (Detailed Audit)

ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลปฐมภูมิ ได้จากการสำรวจภาคสนาม ในส่วนของข้อมูลที่ไม่มีการบันทึกไว้ ประกอบกับการศึกษาจากแบบ as-built ของอาคาร และการสัมภาษณ์ฝ่ายบริหารจัดการอาคาร โดยมีรายละเอียดของการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ลักษณะและพฤติกรรมการใช้งานอาคาร รวมถึงแนวทางการจัดการพลังงานของคณะหรือหน่วยงานนั้น (2) ข้อมูลทุติยภูมิ ได้จากการรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน รายละเอียดระบบประกอบอาคารและอุปกรณ์ต่างๆ จากสำนักบริหารระบบกายภาพของมหาวิทยาลัย ข้อมูลจำนวนบุคลากร จำนวนนิสิต และการจองห้องเรียนส่วนกลางจากสำนักทะเบียนของคณะ และข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศที่ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับอาคาร

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้ได้ข้อมูลปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารทั้งหมด 24 ปัจจัย ซึ่งแบ่งกลุ่มปัจจัยตามประเภทปัจจัย 4 ประเภทหลักตามการทบทวนวรรณกรรม จากการเปรียบเทียบข้อมูล พบว่า อาคารกรณีศึกษามีขนาดพื้นที่ตั้งแต่ 9,216.04 - 18,556.73 ตารางเมตร โดยพื้นที่ใช้สอยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทการใช้งานหลัก ได้แก่ สำนักงานและห้องพักอาจารย์ ส่วนเรียนบรรยายและห้องประชุม ส่วนเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ ส่วนสนับสนุนอาคาร ส่วนบริการ และทางสัญจร การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา มีค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) เฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 45.46 kWh/m^2/year ในกลุ่มอาคารเรียนรวม และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 145.64 kWh/m^2/year ในกลุ่มอาคารสำนักงาน โดยมีขนาดพื้นที่ปรับอากาศตั้งแต่ 1,730.01 - 12,501.16 ตารางเมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 28 – ร้อยละ 67 มีค่ากำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ต่ำสุดอยู่ที่ 576.57 BTU/h.m^2 ในกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1,280.52 BTU/h.m^2 ในกลุ่มอาคารสำนักงาน มีค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ (LPD) ต่ำสุดอยู่ที่ 5.63 W/m^2 ในกลุ่มอาคารสำนักงาน และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 12.55 W/m^2 ในกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน และมีค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) ต่ำสุดอยู่ที่ 6.02 W/m^2 ในกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 49.54 W/m^2 ในกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงาน เมื่อพิจารณาปัจจัยและการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา สามารถสรุปรายละเอียดได้ ดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 สรุปรายละเอียดปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารจากการเก็บข้อมูล

ประเภทอาคาร	อาคารเรียนสตูดิโอ	อาคารเรียนรวม		อาคารเรียนและสำนักงาน		อาคารสำนักงาน	
ชื่ออาคาร	สถาปัตยกรรมฯ	พินิตประชานารถ	จุฬาพัฒน์ 13	บรมราชกุมารี	เกษมอุทยานิน	จุฬาพัฒน์ 1	จามจุรี 5
ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนเฉลี่ย	75,083.33	34,916.67	41,375	119,689.79	73,957.92	26,649.15	141,825
ดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) เฉลี่ย	51.25	48.32	45.46	77.40	47.91	83.54	145.64
อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (°C)	29.29	29.29	29.29	29.29	29.29	29.29	29.29
พื้นที่ใช้สอยอาคาร (m^2)	17,580.72	10,275.28	9,216.04	18,556.73	18,525.93	3,828.18	11,685.45
พื้นที่สำนักงานและห้องพักอาจารย์ (m^2)	2,866.50 (16%)	-	-	4,517.55 (24%)	4,517.55 (26%)	1,517.72 (40%)	6,283.87 (54%)
พื้นที่ส่วนเรียนบรรยายและประชุม (m^2)	2,129.20 (12%)	2,713.75 (26%)	4,509.07 (47%)	4,271.32 (23%)	4,271.32 (16%)	-	-
พื้นที่ส่วนปฏิบัติการสตูดิโอ (m^2)	4,110 (23%)	-	-	-	-	-	-
พื้นที่ปรับอากาศ (m^2)	10,408.09 (59%)	2,910.25 (26%)	5,252.45 (57%)	8,887.28 (48%)	12,501.16 (67%)	1,730.01 (45%)	6,509.80 (56%)
กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (Btu/h.m^2)	576.57	750.45	940.13	1,228.02	1,091.62	1,159.72	1,280.52
LPD (W/m^2)	12.22	10.71	12.35	12.55	10.19	5.63	11.61
EPD (W/m^2)	9.46	6.02	14.83	49.54	37.28	27.45	31.81
จำนวนพนักงานต่อวัน	147	-	-	440	232	109	421
จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ 100 ตร.ม.	5	-	-	10	5	11	7
จำนวนนักเรียนต่อวัน	810	2,024	2,490	2,575	1,850	-	-
จำนวนนักเรียนเฉลี่ยต่อชั่วโมง	216	644	445	891	299	-	-
จำนวนนักเรียนต่อพื้นที่ 100 ตร.ม.	38	75	55	60	60	-	-
วันทำการ	-	-	-	-	-	20.25	20.25
วันที่มีการเรียนการสอน	17	16.63	16.63	16.63	16.63	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั่วโมงทำการเฉลี่ยต่อวัน	12	-	-	6.80	7.00	6.52	10.20
ชั่วโมงทำการต่อเดือน	243	-	-	137.70	141.75	132.13	206.55
ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน	4	4.51	4.07	4.23	1.83	-	-
ชั่วโมงเรียนต่อเดือน	65.13	75.86	68.97	73.39	31.79	-	-
ชั่วโมงเรียนสตูต่อวัน	4.17	-	-	-	-	-	-
ชั่วโมงเรียนสตูต่อเดือน	72.29	-	-	-	-	-	-

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสถาบันอุดมศึกษา

การจัดทำสมการทำนายประเภท Inverse modeling ด้วยวิธีวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุคูณ Multiple Regression Analysis เพื่อทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนและอาคารสำนักงานของมหาวิทยาลัย มีรายละเอียดของสมการในแต่ละประเภทอาคาร ดังต่อไปนี้

5.2.1 สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ข้อมูลตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอ จำนวน 23 ชุด ในช่วงปี พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลา 2 ปี โดยไม่รวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ในการวิเคราะห์สมการถดถอย จากการศึกษาปัจจัย พบว่า มีปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสู่สมการถดถอยแบบพหุคูณ ด้วยวิธี Backward ได้ตัวแปรทำนายทั้งหมด 9 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) ขนาดพื้นที่เรียนบรรยาย (X_3) ขนาดพื้นที่สตูดิโอ (X_4) LPD เฉลี่ย (X_6) EPD เฉลี่ย (X_7) จำนวนนักเรียนต่อวัน (X_9) ชั่วโมงทำการของสำนักงานต่อเดือน (X_{12}) ชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน (X_{13}) ชั่วโมงสตูดิโอต่อเดือน (X_{14}) ซึ่งสามารถสร้างสมการจำลองการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารเรียนปฏิบัติการสตูดิโอได้ดังสมการที่ 4.1

ปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร = (6,078.915 x อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน) – (18.712 x จำนวนนักเรียนต่อวัน) – (0.112 x พื้นที่เรียนบรรยายxชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน) + (0.056 x พื้นที่สตูดิโอ x ชั่วโมงสตูดิโอต่อเดือน) + [7.883 x (ชั่วโมงทำการสำนักงานต่อเดือน + ชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน + ชั่วโมงสตูดิโอต่อเดือน) x (LPD เฉลี่ย + EPD เฉลี่ย)] – 155,136.221 (4.1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สมการ (4.1) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) เท่ากับ 0.86 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ ซึ่งหมายความว่า สมการสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนรวมได้ ร้อยละ 86 ในขณะที่อีกร้อยละ 14 โดยที่ตัวแปรในสมการสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำการทดสอบความแม่นยำของสมการด้วยค่า RMSE CV(RMSE) และ MBE ของสมการ พบว่ามีค่า RMSE รวม เท่ากับ 3,696.95 kWh ค่า CV-RMSE เท่ากับ 4.93% และมีค่า MBE เท่ากับ 18.27 kWh

5.2.2 สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ข้อมูลตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม จำนวน 46 ชุด ในช่วงปี พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลา 2 ปี โดยไม่รวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม พ.ศ. 2560 ของอาคารพินิตประชานารถ ในการวิเคราะห์สมการถดถอย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่น้อยทำให้ตัวแปรบางส่วนมีการกระจายตัวที่ไม่ปกติ จึงต้องทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี logarithm จากการศึกษาปัจจัย พบว่า มีปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสู่สมการถดถอยแบบพหุคูณ ด้วยวิธี Backward ได้ตัวแปรทำนายทั้งหมด 6 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่ (X_7) จำนวนนักเรียนต่อชั่วโมง (X_{11}) วันที่มีการเรียนการสอน (X_{13}) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ (X_9) และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อเดือน (X_{15}) ซึ่งสามารถสร้างสมการจำลองการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารเรียนรวมได้ดังสมการที่ 4.2

ปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร = (845.645 x อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน) - (16.794 x กำลังทำความเย็นต่อพื้นที่) + (26.669 x จำนวนนักเรียนต่อชั่วโมง) + (1069.057 x วันที่มีการเรียนการสอน) + (5651.586 x log_{10}(EPD เฉลี่ย x ชั่วโมงเรียนบรรยายต่อเดือน)] – 20,314.799 (4.2)

สมการ (4.2) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R^2) เท่ากับ 0.78 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ ซึ่งหมายความว่า สมการสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนรวมได้ ร้อยละ 78 ในขณะที่อีกร้อยละ 22 ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ โดยที่ตัวแปรในสมการสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ ด้วยค่า RMSE CV(RMSE) และ MBE ของสมการ พบว่ามีค่า RMSE รวม เท่ากับ 4,618.76 kWh ค่า CV-RMSE เท่ากับ 12.22% และมีค่า MBE เท่ากับ -2.84 kWh

5.2.3 สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ข้อมูลตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน จำนวน 47 ชุด ในช่วงปี พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลา 2 ปี โดยไม่รวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ของอาคารบรมราชกุมารี ในการวิเคราะห์สมการถดถอย จากการศึกษาปัจจัย พบว่า มีปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสู่สมการถดถอยแบบพหุคูณด้วยวิธี Backward ได้ตัวแปรทำนายทั้งหมด 7 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) ค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างเฉลี่ยต่อพื้นที่ (X_7) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ (X_8) จำนวนนักเรียนเฉลี่ยต่อชั่วโมง (X_{11}) ชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อวัน (X_{17}) ชั่วโมงทำการต่อเดือน(X_{15}) และชั่วโมงเรียนเฉลี่ยต่อเดือน (X_{18}) ซึ่งสามารถสร้างสมการจำลองการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารเรียนและสำนักงานได้ดังสมการที่ 4.3

ปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร = (3,975.773 x อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน) – (4.928 x จำนวนนักเรียนต่อชั่วโมง x ชั่วโมงเรียนต่อวัน) + [6.893 x (LPD เฉลี่ย + EPD เฉลี่ย) x (ชั่วโมงทำการต่อเดือน + ชั่วโมงเรียนต่อเดือน)] – 95,464.348 *(4.3)*

สมการ (4.3) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted r2) เท่ากับ 0.25 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ ซึ่งหมายความว่า สมการสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนรวมได้ ร้อยละ 25 ในขณะที่อีกร้อยละ 75 ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ โดยตัวแปรในสมการสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงานได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม สมการนี้มีค่า R2 ต่ำกว่าสมการทำนายทุกสมการจากกรณีศึกษา เนื่องมาจากตัวแปรที่นำเข้าสมการอาจไม่ใช่ตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดในการทำนาย เมื่อทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ ด้วยค่า RMSE CV(RMSE) และ MBE ของสมการ พบว่ามีค่า RMSE รวม เท่ากับ 22,774.30 kWh ค่า CV-RMSE เท่ากับ 27.82% และมีค่า MBE เท่ากับ 1.52 kWh

5.2.4 สมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานทั่วไป

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ข้อมูลตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน จำนวน 41 ชุด ในช่วงปี พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2560 รวมระยะเวลา 2 ปี โดยไม่รวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 ของอาคารจามจุรี 5 และเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 เป็นต้นไป ของอาคารจุฬาพัฒน์ 1 ในการวิเคราะห์สมการถดถอย จากการศึกษาปัจจัย พบว่า มีปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรเพื่อเข้าสู่สมการถดถอยแบบพหุคูณ ด้วยวิธี Backward ได้ตัวแปรทำนายทั้งหมด 5 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (X_1) พื้นที่ปรับอากาศ (X_3) ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(X_6) จำนวนผู้ใช้งานอาคารต่อวัน (X_7) ชั่วโมงทำการเฉลี่ยต่อเดือน (X_{11}) ซึ่งสามารถสร้างสมการจำลองการใช้พลังงานในกลุ่มอาคารสำนักงานได้ดังสมการที่ 4.4

ปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร = (3,748.862 x อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน) – (60,565.709 x EPD เฉลี่ย) + (1,028.327 x จำนวนผู้ใช้งานอาคารต่อวัน) + (0.05 x พื้นที่ปรับอากาศ x ชั่วโมงทำการเฉลี่ยต่อเดือน) + 1,457,864.30 *(4.4)*

สมการ (4.4) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted r2) เท่ากับ 0.986 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$ ซึ่งหมายความว่า สมการสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนรวมได้ ร้อยละ 98.6 ในขณะที่อีกร้อยละ 1.4 ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ โดยตัวแปรในสมการสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ ด้วยค่า RMSE CV(RMSE) และ MBE ของสมการ พบว่ามีค่า RMSE รวม เท่ากับ 6,284.83 kWh ค่า CV-RMSE เท่ากับ 6.81% และมีค่า MBE เท่ากับ -50.00 kWh

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยในอาคารเรียนและอาคารสำนักงานกรณีศึกษา จะสามารถสรุปรายละเอียดตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 41

ตารางที่ 41 สรุปรายละเอียดตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในสมการถดถอย

ปัจจัย/ประเภทอาคาร	อาคารเรียนสตูดิโอ	อาคารเรียนรวม	อาคารเรียนและสำนักงาน	อาคารสำนักงาน
1	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย
2	กำลังความเย็น/พท.			
3	LPD		LPD	
4	EPD	EPD	EPD	EPD
5	จำนวนนักเรียนต่อวัน		จำนวนนักเรียนต่อวัน	
6	ชั่วโมงทำการ/เดือน		ชั่วโมงทำการ/เดือน	ชั่วโมงทำการ/เดือน
7	ชั่วโมงเรียน/เดือน	ชั่วโมงเรียน/เดือน	ชั่วโมงเรียน/เดือน	
8	ชั่วโมงสตู/เดือน			
9				พื้นที่ปรับอากาศ
10	พื้นที่ส่วนเรียนบรรยาย			
11	พื้นที่ส่วนสตูดิโอ			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3 สรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยแบบจำลองการใช้พลังงาน

5.3.1 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการสตูดิโอ

ปัจจัยที่สามารถพิจารณาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเบื้องต้น ได้แก่ ค่า LPD และค่า EPD จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า (LPD และ EPD) พบว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จะมีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปีอยู่ที่ 50.98 kWh/m^2.yr และมีค่า LPD และ EPD อยู่ที่ 12.22 และ 9.46 W/m2 ตามลำดับ หากเปลี่ยนใช้หลอด LED ซึ่งจะทำให้ค่า LPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 38.23 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 25 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย หากลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จนทำให้ค่า EPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลงเหลือ 43.88 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 15 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

5.3.2 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนรวม

ปัจจัยที่สามารถพิจารณาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) และค่าประสิทธิการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) พบว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารเรียนพินิจประชานารถ จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 48.11 kWh/m^2.yr โดยมีค่า EPD อยู่ที่ 6.02 W/m^2 ซึ่งมีการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าค่อนข้างน้อย อาจจะจะไม่สามารถปรับลดค่า EPD ลงได้มากนัก ในขณะที่ อาคารเรียนจุฬาพัฒน์ 13 จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 46.70 kWh/m^2.yr ในปี พ.ศ. 2563 โดยมีค่า EPD อยู่ที่ 14.83 W/m^2หากลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จนทำให้ค่า EPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 43.80 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 6 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่าประสิทธิการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) พบว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารเรียนพินิจประชานารถ จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 48.11 kWh/m^2.yr โดยมีค่า EER อยู่ที่ 12 หากเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จนทำให้ค่า EER เท่ากับ 16 จะทำให้การใช้พลังงานลดลงหลือ 43.80 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 6 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย ในขณะที่ อาคารเรียนจุฬาพัฒน์ 13 จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 46.70 kWh/m^2.yr ในปี พ.ศ. 2563 โดยมีค่า EER อยู่ที่ 12 หากเพิ่มประสิทธิภาพของ

เครื่องปรับอากาศ จนทำให้ค่า EER เท่ากับ 16 จะทำให้การใช้พลังงานลดลงหลือ 40.00 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 10 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

5.3.3 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียนและสำนักงาน

ปัจจัยที่สามารถพิจารณาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ ค่า LPD และค่า EPD จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) พบว่าในปี พ.ศ. 2563 อาคารบรมราชกุมารี จะมีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปีอยู่ที่ 57.90 kWh/m^2.yr และมีค่า LPD อยู่ที่ 12.55 W/m^2 หากอาคารเปลี่ยนไปใช้หลอด LED ซึ่งจะทำให้ค่า LPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 51.65 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 10 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย ในขณะที่ อาคารเกษม อุทยานิน จะมีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปีอยู่ที่ 48.65 kWh/m^2.yr ในปี พ.ศ. 2563 และมีค่า LPD อยู่ที่ 10.90 W/m^2 หากอาคารเปลี่ยนไปใช้หลอด LED ซึ่งจะทำให้ค่า LPD ลดลงเหลือประมาณ 6 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 45.38 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 6 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) พบว่า ในปี พ.ศ. 2563 อาคารบรมราชกุมารี จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 57.90 kWh/m^2.yr โดยมีค่า EPD อยู่ที่ 49.54 W/m^2 หากลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จนทำให้ค่า EPD ลดลงเหลือประมาณ 36 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลง เหลือ 44.96 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 10 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย ในขณะที่ อาคารเกษม อุทยานิน จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 48.65 kWh/m^2.yr ในปี พ.ศ. 2563 โดยมีค่า EPD อยู่ที่ 37.28 W/m^2 หากลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จนทำให้ค่า EPD ลดลงเหลือประมาณ 25 W/m^2 และทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ลดลงเหลือ 39.08 kWh/m^2.yr หรือลดลงร้อยละ 20 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำนาย

5.3.4 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสวนทางกับการปรับลดของค่า EPD ทำให้ไม่สามารถหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้อย่างชัดเจน ซึ่ง

คาดว่าเกิดจากตัวแปรค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) อาจไม่ใช่ตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานของมหาวิทยาลัย

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

จากข้อมูลการใช้พลังงานที่มีหลากหลายรูปแบบ ทำให้ต้องมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน ต้องมีการจัดกลุ่มข้อมูลให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ง่ายขึ้น ข้อมูลในบางอาคารมีความคลาดเคลื่อนและเกิดการสูญหาย ไปจนถึงยังไม่มีการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร ทำให้เกิดข้อจำกัดในการศึกษา ดังต่อไปนี้

(1) ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารจากส่วนกลางของมหาวิทยาลัย มีการเก็บข้อมูลด้วยมิเตอร์ไฟฟ้ารายเดือนเท่านั้น และบางมิเตอร์เป็นการรวมการใช้พลังงานของหลายอาคารไว้ด้วยกัน ในขณะที่บางอาคารที่มีการบริหารด้วยบุคลากรภายนอก หรือส่วนคณะจัดการเอง มีการเก็บข้อมูลรายชั้น แต่จำนวนอาคารมีไม่มากพอที่จะนำมาศึกษาเป็นกลุ่มอาคารกรณีศึกษาได้ งานวิจัยนี้จึงต้องเก็บข้อมูลที่ความละเอียดส่วนใหญ่ของข้อมูลที่มี คือ การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของทั้งอาคารแบบรายเดือน

(2) อาคารบางส่วนไม่มีข้อมูลพื้นฐานอาคาร เช่น แบบ as-built ของอาคาร รายระเอียดอุปกรณ์ประกอบอาคาร ทั้งระบบปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้ต้องมีการเดินสำรวจภาคสนาม ประกอบกับการประมาณค่าทางเทคนิคต่างๆ ทำให้ผลการวิจัยอาจมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

(3) ข้อมูลผู้ใช้งานอาคารและการใช้งานอาคาร เช่น ตารางเรียน/ตารางสอน ในบางอาคารงานทะเบียนคณะหรือมหาวิทยาลัยเป็นผู้ดูแลข้อมูล แต่ไม่มีการแบ่งปันข้อมูลให้กับทางผู้ดูแลอาคาร ผู้ดูแลอาคารไม่ทราบถึงสภาพการใช้งานของอาคาร ทำให้การเก็บข้อมูลไม่งานวิจัยนี้มีความยากมากขึ้น ต้องขอข้อมูลจากทางฝ่ายงานทะเบียนเพิ่มเติมจากการขอข้อมูลจากทางผู้ดูแลอาคาร นอกจากนี้อาคารส่วนใหญ่มีการเก็บตารางเรียน/ตารางสอนย้อนหลังแค่เพียง 1 ปีการศึกษา ทำให้กลุ่มอาคารตัวอย่างมีจำนวนน้อย ที่มีตารางเรียนตารางสอนครบถ้วน ภายใน 3 ปีการศึกษา ตั้งแต่ปีการศึกษา 2558 ภาคปลาย ไปจนถึง ปีการศึกษา 2560 ภาคต้น

(4) จากการศึกษาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของแต่ละอาคาร พบความผิดปกติของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก โดยที่ผู้ดูแลอาคารไม่สามารถระบุถึงสาเหตุของการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติได้ ทำให้ต้องตัดข้อมูลในส่วนของเดือนนั้นออกจากงานวิจัย ซึ่งอุปสรรคดังกล่าวนี้ ส่งผลให้ต้องมีการคัดเลือกข้อมูลอย่างละเอียดก่อนที่จะนำข้อมูลมาใช้ในการวิจัย

มหาวิทยาลัย ประกอบด้วย หน่วยงานจำนวนมาก การบริหารจัดการภายในหน่วยงานมีหลายส่วนและแยกตัวออกจากกัน ทำให้การขอสำรวจข้อมูลในอาคาร ต้องมีการทำหนังสือส่งถึงแต่ละหน่วยงานภายในอาคารหลังหนึ่ง รวมถึงมีความผิดพลาดในการสื่อสาร อธิบาย ทำความเข้าใจกับเจ้าหน้าที่ส่วนงานต่างๆ ทำให้ในบางครั้งไม่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลภายในส่วนงานนั้นได้ จึงต้องใช้การประมาณการ หรือการแจกแบบสอบถามให้ตัวแทนของหน่วยงานเป็นผู้กรอกข้อมูลทั้งหมด เกิดความล่าช้าและคลาดเคลื่อนในการเก็บข้อมูล หน้าที่ของหน่วยงานผู้ดูแลบริหารจัดการอาคารควรมีการเก็บข้อมูลอาคารเหล่านี้เอาไว้เสมอ เพื่อการบริหารจัดการอาคารที่มีประสิทธิภาพ แม้มิได้มีการศึกษาวิจัยในอาคารเหล่านั้นก็ตาม

สำหรับแนวทางในการเก็บข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการอาคารในอนาคต หรือการนำข้อมูลอาคารไปใช้ในการศึกษาวิจัย ผู้ดูแลอาคารควรเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ มีการแบ่งตามอาคารให้ชัดเจน ไม่เก็บข้อมูลซ้ำซ้อน แบ่งประเภทของข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ให้ชัดเจน ที่สำคัญต้องมีการกำหนดมาตรฐานความละเอียด ลักษณะและความถี่ของข้อมูลให้ตรงกันทั้งมหาวิทยาลัย เช่น เก็บข้อมูลเป็นรายชั่วโมงหรือรายเดือน เก็บข้อมูลตามหน่วยเวลา หรือตามขนาดพื้นที่ และใช้วิธีการใดในการเก็บข้อมูล อาจใช้กลุ่มประเภทปัจจัยตามงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการริเริ่มจัดทำฐานข้อมูลอาคารของมหาวิทยาลัย

นอกจากในแง่ของการปรับปรุงระบบการจัดเก็บข้อมูลอาคารในมหาวิทยาลัยแล้ว ควรจะปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจวัดข้อมูลในอาคาร ได้แก่ ควรแยกมิเตอร์ออกเป็นอาคารแต่ละหลัง ควรแยกมิเตอร์ตามระบบประกอบอาคารและอุปกรณ์ต่างๆ การเก็บข้อมูลควรเพิ่มความละเอียดให้ได้เป็นในระดับรายชั่วโมง เพื่อทำให้สามารถศึกษาปัจจัยได้ละเอียดยิ่งขึ้น ผู้ดูแลอาคารเองก็จะสามารถเห็นแนวโน้มการใช้พลังงานในช่วงระหว่างวันที่แตกต่างกันด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาคารเรียนของมหาวิทยาลัยที่มีการใช้งานระหว่างวันที่หลากหลาย แตกต่างจากการใช้งานในอาคารสำนักงานที่ค่อนข้างมีเวลาและพื้นที่ใช้งานแน่นอน

5.4.2 การศึกษาวิจัยในอนาคต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาด้วยวิธี Inverse modeling ต่อไป ควรมีการศึกษาปัจจัยที่เพิ่มขึ้น โดยเก็บข้อมูลจากตัวอย่างทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัย รวมถึงเพิ่มเติมช่วงเวลาและความละเอียดของข้อมูลให้มากขึ้น เพื่อพัฒนาการใช้พลังงานในมหาวิทยาลัยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อนึ่ง การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานประเภท Inverse modeling ในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสถาบันอุดมศึกษา เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการอาคารสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์

แนวทางการลดการใช้พลังงานให้สอดคล้องกับตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ทั้งนี้ แบบจำลองที่ได้จะมีความแม่นยำมากขึ้น หากมหาวิทยาลัยมีการจัดเก็บข้อมูลที่ชัดเจน และสามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปเทียบเปรียบกับอาคารที่มีลักษณะการใช้สอยคล้ายกัน นอกจากนี้ งานวิจัยได้นำเสนอแนวทางการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร ตามมาตรฐานการตรวจพิสูจน์ผลประหยัดระดับสากล ASHRAE และ IPMVP ซึ่งสามารถใช้รับประกันผลประหยัดในการทำสัญญาพลังงาน (EPC) ประกอบการกู้เงินจากกองทุนหมุนเวียน หากผู้บริหารและผู้เกี่ยวข้องตัดสินใจปรับปรุงอาคาร หรือกำหนดแนวทางในการบริหารจัดการด้านพลังงานในอาคารสถานศึกษาต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรกมล ตันติวนิช. เกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อการบริหารจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบในอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 7 (2553): 189-203.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). รายงานดุลยภาพพลังงานของประเทศไทย: กระทรวงพลังงาน.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2555). ข้อมูลและสถิติ. Retrieved 10 ธันวาคม พ.ศ. 2560 http://.chula.ac.th/about/fact

ณัฏฐา ตระกูลไทย. (2558). ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานในเขตร้อนชื้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มาริสา จิวเวชดำรงกุล. (2559). การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย : กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุทธ ไกยวรรณ์. (2558). หลักสถิติวิจัยและการใช้โปรแกรม *SPSS*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สไบทิพย์ บุญยงค์. (2551). การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สรญา กังวาล. (2557). การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย : กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2556). โครงการลดการใช้พลังงานในภาคราชการ. Retrieved from http://www.e-report.energy.go.th

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). สมการคำนวณค่ามาตรฐาน. Retrieved from http://e-report.energy.go.th/stdmodel.htm

ภาษาอังกฤษ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ASEAN Centre for Energy. (2011). *The 3rd ASEAN energy outlook Japan : The Institute of Energy Economics*.

ASHRAE. (2001). *Handbook : Fundamentals, Chapter 31 - Energy Estimating and Modeling Methods*. Atlanta, Georgia.

ASHRAE. (2002). *Guideline 14-2002 : Measurement of Energy and Demand Savings*. Atlanta, Georgia.

Chung, M. H., & Rhee, E. K. Potential opportunities for energy conservation in existing buildings on university campus: A field survey in Korea. Energy and Buildings 78 (2014): 176-182.

Chung, W. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. Applied Energy 88 (2011):

Chung, W., Hui, H. Y., & Lam, Y. M. A benchmarking model for the energy efficiency of commercial buildings. Applied Energy 83 (2006): 1-14.

Department of Communities and Local Government. (2008). *National Calculation Methodology (NCM) modelling guide (for buildings other than dwellings in England and Wales)*. England.

Efficiency Valuation Organization. (2014). *International Performance Measurement and Verification Protocol*. In *Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings*.

Energy Protection Agency. (2010). ENERGY STAR Performance Ratings Technical Methodology. Retrieved from http://buildingrating.org/sites/default/files/General_Overview_tech_methodology.pdf

ESL. (2003). Continuous Commissioning. Retrieved from http:// www.est.tamu.edu/cc/

Fels, M. Special Issue devoted to measuring energy savings: The scorekeeping approach. Energy and Buildings 9 (1986):

Gao, X., & Malkawi, A. A new methodology for building energy performance benchmarkings : An approach based on intelligent clustering algorithm. Energy and Buildings 84 (2014):

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Haberl, J., & Bou-saada, T. Procedures for calibrating hourly simulation models to measures enrgy and environmental data. ASEME Solar Energy Enginerring Journal 120 (1998): 193.

Haberl, J., Srechthaputra, A., Claridge, D., & Turner, D. (2002). *Baseline report for the 8700 block complex at Ft. Hood, Texas*. Retrieved from

Herzog, P. (1997). *Energy-Efficient Operation of Commercial Building: Redefining the Energy Manager's Job*. New York: McGraw Hill.

International Energy Agency. (2015). *Southeast Asia Energy Outlook 2015*. France.

Kissock, K., Wu, E., Sparks, R., Patel, D.,. (1996). EModel version 1.4 D. College Station. Texas A&M University: Energy Systems Labolatory.

Krati, M. (2000). *Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach*. New York: CRC Press.

Pacheco-Torres, R., Heo, Y., & Choudhary, R. Efficient energy modeling of heterogeneous building portfolios. Sustainable Cities and Society 27 (2016): 49-64.

Sharp, T. R. Benchmarking energy use in schools. (1998):

Srechthaputra, A., Haberl, J., & Claridge, D. Detailed Test Results: Development of a toolkit for calculating linear, change-point linear, and multiple-linear inverse building energy analysis models. Technical Report ESL-TR-01/05-01 (2001):

Tantiwanit, K. Establishing energy consumption benchmarks of offices buildings in Bangkok. Journal of Architectural/Planning Research and Studies 5 (2007):

Yalcintas, M. An energy benchmarking model based on artificial neural network method with a case example for tropical climates. International Journal of Energy Research 30 (2006): 1158-1174.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างผลการสำรวจระบบปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
1	100	ทางสัญจร	1145.41	N	-	-	-	-
1	101	ห้องไฟฟ้า	66.99	N	-	-	-	-
1	102	Loading area	29.43	N	-	-	-	-
1	103	ห้องปฏิบัติการแฟชั่น ศิลปกรรม	96.54	Y	Split type	26954	2	53908
					Split type	36167	2	72334
1	104	ร้านค้าสหกรณ์	97.08	N	-	-	-	-
1	105	ห้องปฏิบัติการฉากละคร อักษร	96.54	N	-	-	-	-
1	106	ห้องพักแม่บ้าน	29.03	N	-	-	-	-
1	107	ห้องปั๊มน้ำ	66.53	N	-	-	-	-
2	200	ทางสัญจร	551.37	N	-	-	-	-
2	203	ห้องคอมคณะอักษร	194.46	Y	Split type	60000	2	120000
					Split type	60000	2	120000
2	203.1	ห้องคอมศิลปกรรม	60.98	Y	Split type	24000	1	24000
2		ห้องSERVER	25.44	Y	Split type	12000	1	12000
					Split type	9000	1	9000
2	205	สำนักงานจัดการอาคาร	79.73	Y	Split type	32000	2	64000
2	206	สหกรณ์ออมทรัพย์	7.69	Y	Split type	12000	1	12000
2	204	ห้องน้ำหญิง	43.56	N	-	-	-	-
2	201	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.37	N	-	-	-	-
2	202	ห้องน้ำชาย	37.34	N	-	-	-	-
3	300	ทางสัญจร	387.39	N	-	-	-	-
3	301	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	Y	Split type	60000	3	180000
3	302	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	163.4	Y	Split type	60000	3	180000
3	303	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	163.4	Y	Split type	60000	3	180000
3	304	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	Y	Split type	60000	3.00	180000.00
3	305	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	N	-	-	-	-
3	306	ห้องน้ำชาย	36.87	N	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
3	307	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	Y	Split type	60000	1	60000
3	308	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60000	1	60000
3	309	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60000	1	60000
3	310	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60000	1	60000
3	311	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60000	1	60000
3	312	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60000	1	60000
3	313	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60000	1	60000
3	314	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	Y	Split type	60000	1	60000
3	315	ห้องน้ำหญิง	43.33	N	-	-	-	-
4	400	ทางสัญจร	387.86	N	-	-	-	-
4	401	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	Y	Split type	60000	3	180000
4	402	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	184.01	Y	Split type	60000	3	180000
4	403	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	184.01	Y	Split type	60000	3	180000
4	404	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	Y	Split type	60000	3	180000
4	405	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	N	-	-	-	-
4	406	ห้องน้ำชาย	36.16	N	-	-	-	-
4	407	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	Y	Split type	60900	1	60900
4	408	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60900	1	60900
4	409	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60900	1	60900
4	410	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60900	1	60900

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
4	411	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60900	1	60900
4	412	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60900	1	60900
4	413	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	43.89	Y	Split type	60900	1	60900
4	414	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	43.42	Y	Split type	60900	1	60900
4	415	ห้องน้ำหญิง	42.62	N	-	-	-	-
5	500	ทางสัญจร	411.57	N	-	-	-	-
5	501	ห้องเรียนขนาด 70ที่นั่ง	83.34	Y	Split type	60000	1	60000
5	502	ห้องเจ้าหน้าที่อาคาร	150.83	Y	Split type	60000	2	120000
5	503	ห้องเรียนขนาด 300ที่นั่ง	316.78	Y	Split type	60000	8	480000
5	503.1	ห้องควบคุม	11.55	Y	Split type	12000	1	12000
5	504	ห้องเรียนขนาด 70ที่นั่ง	110.7	Y	Split type	60000	3	180000
5	505	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	N	-	-	-	-
5	506	ห้องน้ำชาย	36.16	N	-	-	-	-
5	507	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.14	Y	Split type	60000	1	60000
5	508	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
5	509	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
5	510	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
5	511	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
5	512	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
5	513	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
5	514	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.14	Y	Split type	60000	1	60000
5	515	ห้องน้ำหญิง	42.62	N	-	-	-	-
6	600	ทางสัญจร	386.79	N	-	-	-	-
6	601	ห้องเรียนขนาด 70ที่นั่ง	111.24	Y	Split type	60000	3	180000
6	602	ห้องเก็บของ	12.13	N	-	-	-	-
6	603	ห้องเก็บของ	12.13	N	-	-	-	-
6	604	ห้องเรียนขนาด 70ที่นั่ง	110.7	Y	Split type	60000	3	180000
6	605	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	N	-	-	-	-
6	606	ห้องน้ำชาย	36.16	N	-	-	-	-
6	607	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.14	Y	Split type	60000	1	60000
6	608	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
6	609	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
6	610	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
6	611	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
6	612	ห้องเรียนขนาด30 ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
6	613	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.62	Y	Split type	60000	1	60000
6	614	ห้องเรียนขนาด 30ที่นั่ง	44.14	Y	Split type	60000	1	60000
6	615	ห้องน้ำหญิง	42.62	N	-	-	-	-
7	700	ทางสัญจร	415.59	N	-	-	-	-
7	701	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
7	701.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
7	702	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-
7	703	ห้องเก็บของ	6.28	N	-	-	-	-
7	704	ห้องประชุม 14 ที่นั่ง	35.45	Y	Split type	40000	1	40000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
7	705	ห้องประชุม 14 ที่นั่ง	32.86	Y	Split type	40000	1	40000
7	706	ห้องประชุม 22 ที่นั่ง	42.26	Y	Split type	40000	1	40000
7	707	ห้องประชุม 50 ที่นั่ง	122.56	Y	Split type	40000	3	120000
7	708	ห้องประชุม 30 ที่นั่ง	69.42	Y	Split type	40000	2	80000
7	709	ห้องเก็บของ	6.22	N	-	-	-	-
7	710	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
7	710.1	ห้องซักล้าง	2.13	N	-	-	-	-
7	711	ห้องน้ำหญิง	30.56	N	-	-	-	-
7	712	ห้องสำนักงาน BALAC	143.92	Y	Split type	60000	2	120000
7	713	ห้องปฏิบัติการ ล่าม อักษร	140.17	Y	Split type	60000	2	120000
8	800	ทางสัญจร	524.9	N	-	-	-	-
8	801	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
8	801.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
8	802	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-
8	803	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	Y	Split type	20800	1	20800
8	804	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	Y	Split type	20800	1	20800
8	805	ห้องเรียน	18.22	Y	Split type	20800	1	20800
8	806	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	Y	Split type	20800	1	20800
8	807	ห้องเรียน	19.07	Y	Split type	20800	1	20800
8	808	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	Y	Split type	20800	1	20800
8	809	ภาควิชาศิลปการละคร	16.21	Y	Split type	20800	1	20800
8	810	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	Y	Split type	20800	1	20800
8	811	ห้องประชุม	16.03	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
8	812	ห้องประชุม	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
8	813	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	Y	Split type	20800	1	20800
8	814	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
8	815	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	Y	Split type	20800	1	20800
8	816	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
8	817	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	Y	Split type	20800	1	20800
8	818	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
8	819	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	Y	Split type	20800	1	20800
8	820	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
8	821	ห้องทำงานอาจารย์	16.67	Y	Split type	20800	1	20800
8	822	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	Y	Split type	20800	1	20800
8	823	ภาควิชาบรรณรักษ์ศาสตร์	16.29	Y	Split type	20800	1	20800
8	824	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	Y	Split type	20800	1	20800
8	825	ห้องประชุม	17.92	Y	Split type	20800	1	20800
8	826	ภาควิชาภูมิศาสตร์	19.15	Y	Split type	20800	1	20800
8	827	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	Y	Split type	20800	1	20800
8	828	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	Y	Split type	20800	1	20800
8	829	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	Y	Split type	20800	1	20800
8	830	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
8	831	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
8	831.1	ฟ้องซักล้าง	2.13	N	-	-	-	-
8	832	ห้องน้ำหญิง	30.56	N	-	-	-	-
9	900	ทางสัญจร	384.28	N	-	-	-	-
9	901	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
9	901.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
9	902	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-
9	903	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	Y	Split type	20800	1	20800
9	904	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	Y	Split type	20800	1	20800
9	905	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	Y	Split type	20800	1	20800
9	906	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	Y	Split type	20800	1	20800
9	907	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	Y	Split type	20800	1	20800
9	908	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	Y	Split type	20800	1	20800
9	909	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	Y	Split type	20800	1	20800
9	910	ภาควิชาภาษาตะวันตก	16.21	Y	Split type	20800	1	20800
9	911	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	Y	Split type	20800	1	20800
9	912	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	Y	Split type	20800	1	20800
9	913	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
9	914	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	Y	Split type	20800	1	20800
9	915	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
9	916	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
9	917	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
9	918	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	Y	Split type	20800	1	20800
9	919	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
9	920	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	Y	Split type	20800	1	20800
9	921	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
9	922	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	Y	Split type	20800	1	20800
9	923	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	Y	Split type	20800	1	20800
9	924	ภาควิชาวรรณคดีเปรียบเทียบ	16.29	Y	Split type	20800	1	20800
9	925	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	Y	Split type	20800	1	20800
9	926	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	Y	Split type	20800	1	20800
9	927	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	Y	Split type	20800	1	20800
9	928	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	Y	Split type	20800	1	20800
9	929	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	Y	Split type	20800	1	20800
9	930	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	Y	Split type	20800	1	20800
9	931	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	Y	Split type	20800	1	20800
9	932	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	Y	Split type	20800	1	20800
9	933	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
9	933.1	ห้องซักล้าง	2.13	N	-	-	-	-
9	934	ห้องน้ำหญิง	30.56	N	-	-	-	-
10	1000	ทางสัญจร	383.15	N	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
10	1001	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
10	1001.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
10	1002	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-
10	1003	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	Y	Split type	20800	1	20800
10	1004	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	Y	Split type	20800	1	20800
10	1005	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	Y	Split type	20800	1	20800
10	1006	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	Y	Split type	20800	1	20800
10	1007	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	Y	Split type	20800	1	20800
10	1008	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	Y	Split type	20800	1	20800
10	1009	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	Y	Split type	20800	1	20800
10	1010	ภาควิชาภาษาตะวันออก	16.21	Y	Split type	20800	1	20800
10	1011	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	Y	Split type	20800	1	20800
10	1012	ห้องประชุม	16.22	Y	Split type	20800	1	20800
10	1013	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
10	1014	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	Y	Split type	20800	1	20800
10	1015	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
10	1016	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	Y	Split type	20800	1	20800
10	1017	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
10	1018	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
10	1019	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
10	1020	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	Y	Split type	20800	1	20800
10	1021	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
10	1022	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	Y	Split type	20800	1	20800
10	1023	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	Y	Split type	20800	1	20800
10	1024	ภาควิชาปรัชญา	16.29	Y	Split type	20800	1	20800
10	1025	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	Y	Split type	20800	1	20800
10	1026	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	Y	Split type	20800	1	20800
10	1027	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	Y	Split type	20800	1	20800
10	1028	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	Y	Split type	20800	1	20800
10	1029	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	Y	Split type	20800	1	20800
10	1030	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	Y	Split type	20800	1	20800
10	1031	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	Y	Split type	20800	1	20800
10	1032	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	Y	Split type	20800	1	20800
10	1033	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
10	1033.1	ห้องซักล้าง	2.13	N	-	-	-	-
10	1034	ห้องน้ำหญิง	30.56	N	-	-	-	-
11	1100	ทางสัญจร	383.3	N	-	-	-	-
11	1101	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
11	1101.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
11	1102	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
11	1103	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	Y	Split type	20800	1	20800
11	1104	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	Y	Split type	20800	1	20800
11	1105	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	Y	Split type	20800	1	20800
11	1106	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	Y	Split type	20800	1	20800
11	1107	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	Y	Split type	20800	1	20800
11	1108	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	Y	Split type	20800	1	20800
11	1109	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	Y	Split type	20800	1	20800
11	1110	ภาควิชาภาษาอังกฤษ	16.21	Y	Split type	20800	1	20800
11	1111	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	Y	Split type	20800	1	20800
11	1112	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	Y	Split type	20800	1	20800
11	1113	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
11	1114	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	Y	Split type	20800	1	20800
11	1115	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
11	1116	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	Y	Split type	20800	1	20800
11	1117	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
11	1118	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	Y	Split type	20800	1	20800
11	1119	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
11	1120	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	Y	Split type	20800	1	20800
11	1121	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
11	1122	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	Y	Split type	20800	1	20800
11	1123	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	Y	Split type	20800	1	20800
11	1124	ห้องทำงานอาจารย์	16.29	Y	Split type	20800	1	20800
11	1125	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	Y	Split type	20800	1	20800
11	1126	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	Y	Split type	20800	1	20800
11	1127	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	Y	Split type	20800	1	20800
11	1128	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	Y	Split type	20800	1	20800
11	1129	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	Y	Split type	20800	1	20800
11	1130	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	Y	Split type	20800	1	20800
11	1131	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	Y	Split type	20800	1	20800
11	1132	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	Y	Split type	20800	1	20800
11	1133	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
11	1133.1	ห้องซักล้าง	2.13	N	-	-	-	-
11	1134	ห้องน้ำหญิง	30.56	N	-	-	-	-
12	1200	ทางสัญจร	383.11	N	-	-	-	-
12	1201	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
12	1201.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
12	1202	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-
12	1203	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	Y	Split type	20800	1	20800
12	1204	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
12	1205	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	Y	Split type	20800	1	20800
12	1206	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	Y	Split type	20800	1	20800
12	1207	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	Y	Split type	20800	1	20800
12	1208	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	Y	Split type	20800	1	20800
12	1209	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	Y	Split type	20800	1	20800
12	1210	ภาควิชาประวัติศาสตร์	16.21	Y	Split type	20800	1	20800
12	1211	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	Y	Split type	20800	1	20800
12	1212	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	Y	Split type	20800	1	20800
12	1213	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
12	1214	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	Y	Split type	20800	1	20800
12	1215	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
12	1216	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	Y	Split type	20800	1	20800
12	1217	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
12	1218	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	Y	Split type	20800	1	20800
12	1219	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
12	1220	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	Y	Split type	20800	1	20800
12	1221	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
12	1222	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
12	1223	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	Y	Split type	20800	1	20800
12	1224	ภาควิชาภาษาไทย	16.29	Y	Split type	20800	1	20800
12	1225	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	Y	Split type	20800	1	20800
12	1226	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	Y	Split type	20800	1	20800
12	1227	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	Y	Split type	20800	1	20800
12	1228	ภาควิชาภาษาศาสตร์	19.15	Y	Split type	20800	1	20800
12	1229	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	Y	Split type	20800	1	20800
12	1230	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	Y	Split type	20800	1	20800
12	1231	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	Y	Split type	20800	1	20800
12	1232.00	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	Y	Split type	20800.00	1.00	20800.00
12	1233	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
12	1233.1	ห้องซักล้าง	2.13	N	-	-	-	-
12	1234	ห้องน้ำหญิง	30.56	N	-	-	-	-
13	1300	ทางสัญจร	383.19	N	-	-	-	-
13	1301	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
13	1301.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
13	1302	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-
13	1303	ห้องทำงาน	17.39	Y	Split type	20800	1	20800
13	1304	หน่วยบริหารอารยธรรมไทย	16.5	Y	Split type	20800	1	20800
13	1305	ห้องทำงาน	18.22	Y	Split type	20800	1	20800
13	1306	หน่วยบริหารหลักสูตรอักษรศาสตร์	17.33	Y	Split type	20800	1	20800
13	1307	หน่วยบริหารวิชาอารยธรรมไทย	19.07	Y	Split type	20800	1	20800
13	1308	ศูนย์การแปล	18.18	Y	Split type	20800	1	20800
13	1309	ห้องเรียน	15.01	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
13	1310	ห้องทำงาน	16.21	Y	Split type	20800	1	20800
13	1311	ห้องทำงาน	16.8	Y	Split type	20800	1	20800
13	1312	ห้องเรียน	16.22	Y	Split type	20800	1	20800
13	1313	ห้องเรียน	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
13	1314	ห้องทำงาน	17.75	Y	Split type	20800	1	20800
13	1315	ห้องทำงาน	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
13	1316	ห้องทำงาน	17.64	Y	Split type	20800	1	20800
13	1317	ห้องเรียน	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
13	1318	ห้องทำงาน	17.46	Y	Split type	20800	1	20800
13	1319	ห้องเรียน	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
13	1320	ห้องทำงาน	17.7	Y	Split type	20800	1	20800
13	1321	ห้องทำงาน	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
13	1322	ห้องทำงาน	16.3	Y	Split type	20800	1	20800
13	1323	ห้องทำงาน	17.35	Y	Split type	20800	1	20800
13	1324	ศูนย์พุทธศาสน์ศึกษา	16.29	Y	Split type	20800	1	20800
13	1325	ห้องทำงาน	16.98	Y	Split type	20800	1	20800
13	1326	ห้องทำงาน	14.8	Y	Split type	20800	1	20800
13	1327	หลักสูตร EIL	17.92	Y	Split type	20800	1	20800
13	1328	ห้องเรียน	19.15	Y	Split type	20800	1	20800
13	1329	ห่องทำงาน	16.74	Y	Split type	20800	1	20800
13	1330	ห้องเรียน	17.94	Y	Split type	20800	1	20800
13	1331	ห้องทำงาน	16.63	Y	Split type	20800	1	20800
13	1332	วารสาร	17.82	Y	Split type	20800	1	20800
13	1333	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
13	1333.1	ห้องซักล้าง	2.13	N	-	-	-	-
13	1334	ห้องน้ำหญิง	30.56	N	-	-	-	-
14	1400	ทางสัญจร	383.17	N	-	-	-	-
14	1401	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
14	1401.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
14	1402	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-
14	1403	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	Y	Split type	20800	1	20800
14	1404	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	Y	Split type	20800	1	20800
14	1405	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
14	1406	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	Y	Split type	20800	1	20800
14	1407	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	Y	Split type	20800	1	20800
14	1408	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	Y	Split type	20800	1	20800
14	1409	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	Y	Split type	20800	1	20800
14	1410	ห้องทำงาน	16.21	Y	Split type	20800	1	20800
14	1411	ห้องทำงาน	16.8	Y	Split type	20800	1	20800
14	1412	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	Y	Split type	20800	1	20800
14	1413	ดุริยางคศิลปีไทย	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
14	1414	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	Y	Split type	20800	1	20800
14	1415	ห้องทำงาน	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
14	1416	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	Y	Split type	20800	1	20800
14	1417	ห้องทำงาน	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
14	1418	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	Y	Split type	20800	1	20800
14	1419	ห้องทำงาน	17.17	Y	Split type	20800	1	20800
14	1420	ห้องทำงาน	17.7	Y	Split type	20800	1	20800
14	1421	ห้องทำงาน	17.31	Y	Split type	20800	1	20800
14	1422	ห้องทำงาน	16.3	Y	Split type	20800	1	20800
14	1423	ห้องทำงาน	17.35	Y	Split type	20800	1	20800
14	1424	ภาควิชาดุริยางคศิลป์	16.29	Y	Split type	20800	1	20800
14	1425	ห้องทำงาน	16.98	Y	Split type	20800	1	20800
14	1426	ห้องทำงาน	14.8	Y	Split type	20800	1	20800
14	1427	ห้องทำงาน	17.92	Y	Split type	20800	1	20800
14	1428	ห้องทำงาน	19.15	Y	Split type	20800	1	20800
14	1429	ห้องทำงาน	16.74	Y	Split type	20800	1	20800
14	1430	ภาควิชานฤมิตศิลป์	17.94	Y	Split type	20800	1	20800
14	1431	ห้องทำงาน	16.63	Y	Split type	20800	1	20800
14	1432	ห้องทำงาน	17.82	Y	Split type	20800	1	20800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก ผลการสำรวจเครื่องปรับอากาศ อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ปรับอากาศ	ชนิด	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	จำนวนเครื่อง	กำลังทำความเย็น (Btu/h)
14	1433	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
14	1433.1	ห้องซักล้าง	2.13	N	-	-	-	-
14	1434	ห้องน้ำหญิง	30.56	N	-	-	-	-
15	1500	ทางสัญจร	342.6	N	-	-	-	-
15	1503	ฝ่ายสำนักงานจดหมายเหตุหอประวัติ	87.29	Y	Split type	61000	1	61000
15	1503	ห้องเก็บเอกสารหอประวัติ	146.06	Y	Split type	61000	1	61000
15	1503	ห้องทรงงาน	62.95	Y	Split type	60000	1	60000
15	1503	ห้องควบคุมปรับอากาศ	22.88	N	-	-	-	-
15	1504/1510	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	N	-	-	-	-
15	1504.1-1505	ห้องน้ำหญิง+ห้องสรง	32.69	N	-	-	-	-
15	1503	ห้องครัว	17.48	Y	Split type	17803	1	17803
15	1503	ห้องผู้ติดตาม	22	Y	Split type	19107	1	19107
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	86.78	Y	Split type	61000	1	61000
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	187.56	Y	Split type	122000	1	122000
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	86.78	Y	Split type	122000	1	122000
15	1503	ห้องรับรองเล็ก	17.48	Y	Split type	61000	1	61000
15	1503	ห้องควบคุมระบบปรับอากาศ	22	N	-	-	-	-
15	1501	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	N	-	-	-	-
15	1501.1	ห้องซักล้าง	1.78	N	-	-	-	-
15	1502	ห้องน้ำชาย	27.99	N	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	1033.29	N	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	50.78	N	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	50.78	N	-	-	-	-
16	1601	ห้องเครื่องลิฟต์	26.79	Y	Split type	36000	1	36000
16	1602	ห้องเครื่องลิฟต์	26.79	Y	Split type	36000	1	36000
16	-	-	19.27	N	-	-	-	-
16	-	-	19.27	N	-	-	-	-
17	-	-	41.02	N	-	-	-	-
17	-	-	41.02	N	-	-	-	-
รวม			18,556.73		-	-	-	10,913,752

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
1	100	ทางสัญจร	1145.41	2xFL 36 W	36	5	41	2	84	6888	6.01
1	101	ห้องไฟฟ้า	66.99	2xFL 36 W	36	5	41	2	7	574	8.57
1	103	ห้องปฏิบัติการแฟชั่นศิลปกรรม	96.54	1xHL 150 W	150	0	150	1	8	1200	24.90
				1xFL 36 W	36	5	41	1	26	1066	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	6	138	
1	104	ร้านค้าสหกรณ์	97.08	-	-	-	-	-	-	-	-
1	105	ห้องปฏิบัติการฉากละครอักษร	96.54	-	-	-	-	-	-	-	-
1	106	ห้องพักแม่บ้าน	29.03	-	-	-	-	-	-	-	-
1	107	ห้องปั๊มน้ำ	66.53	2xFL 36 W	36	5	41	2	7	574	8.63
2	200	ทางสัญจร	551.37	2xFL 36 W	36	5	41	2	40	3280	6.28
				2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	
2	203	ห้องคอมคณะอักษร	194.46	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	8.43
2	203.1	ห้องคอมศิลปกรรม	60.98	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	10.76
2		ห้องSERVER	25.44	1xCFL 18 W	18	0	18	1	2	36	1.42
2	205	สำนักงานจัดการอาคาร	79.73	2xFL 36 W	36	5	41	2	11	902	11.31
2	206	สหกรณ์ออมทรัพย์	7.69	2xFL 36 W	36	5	41	2	1	82	10.66
2	204	ห้องน้ำหญิง	43.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	6	276	8.22
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
2	201	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.37	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	7.64
2	202	ห้องน้ำชาย	37.34	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	7.12
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	
3	300	ทางสัญจร	387.39	2xFL 36 W	36	5	41	2	16	1312	3.86
				2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	
3	301	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	18.80
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
3	302	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	163.4	2xFL 36 W	36	5	41	2	28	2296	16.81
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
3	303	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	163.4	2xFL 36 W	36	5	41	2	28	2296	16.81
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
3	304	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	18.89
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
3	305	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	7.56
3	306	ห้องน้ำชาย	36.87	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	7.21
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	
3	307	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.53
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
3	308	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
3	309	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
3	310	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
3	311	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
3	312	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
3	313	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
3	314	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.53
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
3	315	ห้องน้ำหญิง	43.33	2xFL 18 W	18	5	23	2	6	276	8.26
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	
4	400	ทางสัญจร	387.86	2xFL 36 W	36	5	41	2	16	1312	3.86
				2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	
4	401	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	18.80
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
4	402	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	184.01	2xFL 36 W	36	5	41	2	28	2296	14.93
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
4	403	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	184.01	2xFL 36 W	36	5	41	2	28	2296	14.93
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
4	404	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	18.89
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
4	405	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	7.56
4	406	ห้องน้ำชาย	36.16	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	7.36
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
4	407	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.53
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
4	408	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
4	409	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
4	410	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
4	411	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
4	412	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
4	413	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.32
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
4	414	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.53
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
4	415	ห้องน้ำหญิง	42.62	2xFL 18 W	18	5	23	2	6	276	8.40
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	
5	500	ทางสัญจร	411.57	2xFL 36 W	36	5	41	2	16	1312	3.63
				2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	
5	501	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	83.34	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	25.09
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
5	502	ห้องเจ้าหน้าที่อาคาร	150.83	1xFL 36 W	36	5	41	1	8	328	2.17
5	503	ห้องเรียนขนาด300ที่นั่ง	316.78	2xFL 36 W	36	5	41	2	2	164	21.89
				3xFL 36 W	36	5	41	3	47	5781	
				CFL 18 W	18	0	18	1	55	990	
5	503.1	ห้องควบคุม	11.55	3xFL 36 W	36	5	41	3	2	246	21.30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
5	504	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	18.89
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
5	505	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	7.56
5	506	ห้องน้ำชาย	36.16	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	7.36
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	
5	507	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.21
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
5	508	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
5	509	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
5	510	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
5	511	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
5	512	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
5	513	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
5	514	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.21
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
5	515	ห้องน้ำหญิง	42.62	2xFL 18 W	18	5	23	2	6	276	8.40
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	
6	600	ทางสัญจร	386.79	2xFL 36 W	36	5	41	2	16	1312	3.87
				2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	
6	601	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	18.80
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
6	602	ห้องเก็บของ	12.13	3xFL 36 W	36	5	41	3	3	369	30.42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
6	603	ห้องเก็บของ	12.13	3xFL 36 W	36	5	41	3	2	246	20.28
6	604	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	20	1640	18.89
				1xFL 36 W	36	5	41	1	11	451	
6	605	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	7.56
6	606	ห้องน้ำชาย	36.16	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	7.36
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	
6	607	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.21
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
6	608	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
6	609	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
6	610	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m2)
6	611	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
6	612	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
6	613	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.00
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
6	614	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	19.21
				1xFL 36 W	36	5	41	1	3	123	
				1xFL 18 W	18	5	23	1	3	69	
6	615	ห้องน้ำหญิง	42.62	2xFL 18 W	18	5	23	2	6	276	8.40
				1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	
7	700	ทางสัญจร	415.59	2xFL 36 W	36	5	41	2	16	1312	3.60
				2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	
7	701	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	4.69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
7	701.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
7	702	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.86
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
7	703	ห้องเก็บของ	6.28	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	6.53
7	704	ห้องประชุม 14 ที่นั่ง	35.45	2xFL 36 W	36	5	41	2	6	492	13.88
7	705	ห้องประชุม 14 ที่นั่ง	32.86	2xFL 36 W	36	5	41	2	6	492	14.97
7	706	ห้องประชุม 22 ที่นั่ง	42.26	2xFL 36 W	36	5	41	2	6	492	11.64
7	707	ห้องประชุม 50 ที่นั่ง	122.56	2xFL 36 W	36	5	41	2	18	1476	12.04
7	708	ห้องประชุม 30 ที่นั่ง	69.42	2xFL 36 W	36	5	41	2	9	738	10.63
7	709	ห้องเก็บของ	6.22	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	6.59
7	710	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	13.23
				T5 28 W	28	0	28	1	2	56	
7	710.1	ห้องซักล้าง	2.13	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	21.60
7	711	ห้องน้ำหญิง	30.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.03
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
7	712	ห้องสำนักงาน BALAC	143.92	2xFL 18 W	18	5	23	2	20	920	6.39
7	713	ห้องปฏิบัติการล่ามอักษร	140.17	2xFL 18 W	18	5	23	2	20	920	6.56
8	800	ทางสัญจร	524.9	2xFL 36 W	36	5	41	2	40	3280	6.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m2)
8	801	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	4.69
8	801.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
8	802	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.86
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
8	803	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.86
8	804	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.88
8	805	ห้องเรียน	18.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.00
8	806	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.93
8	807	ห้องเรียน	19.07	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.20
8	808	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.04
8	809	ภาควิชาศิลปการละคร	16.21	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.23
8	810	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.52
8	811	ห้องประชุม	16.03	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.46
8	812	ห้องประชุม	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
8	813	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.48
8	814	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	38.21
				2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	
8	815	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.59
8	816	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
8	817	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.79
8	818	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
8	819	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.53
8	820	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
8	821	ห้องทำงานอาจารย์	16.67	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.68
8	822	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.90
8	823	ภาควิชาบรรณรักษ์ศาสตร์	16.29	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.14
8	824	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.32
8	825	ห้องประชุม	17.92	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.30
8	826	ภาควิชาภูมิศาสตร์	19.15	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.13
8	827	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.59
8	828	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.28
8	829	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.72
8	830	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.41
8	831	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.97
8	831.1	ฟ้องซักล้าง	2.13	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	21.60
8	832	ห้องน้ำหญิง	30.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.03
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
9	900	ทางสัญจร	384.28	2xFL 36 W	36	5	41	2	40	3280	9.97
				2xFL 18 W	18	5	23	2	12	552	
9	901	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	4.69
9	901.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
9	902	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.86
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
9	903	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.86
9	904	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.88
9	905	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.00
9	906	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.93
9	907	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.20
9	908	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.04
9	909	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	21.85
9	910	ภาควิชาภาษาตะวันตก	16.21	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.23
9	911	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.52
9	912	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.22
9	913	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
9	914	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
9	915	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
9	916	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.59
9	917	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
9	918	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.79
9	919	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
9	920	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.53
9	921	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
9	922	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.12
9	923	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.90
9	924	ภาควิชาวรรณคดีเปรียบเทียบ	16.29	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.14
9	925	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.32
9	926	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	22.16
9	927	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.30
9	928	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.13
9	929	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.59
9	930	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.28
9	931	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.72
9	932	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m2)
9	933	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.97
9	933.1	ห้องซักล้าง	2.13	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	21.60
9	934	ห้องน้ำหญิง	30.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.03
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
10	1000	ทางสัญจร	383.15	2xFL 36 W	36	5	41	2	40	3280	10.00
				2xFL 18 W	18	5	23	2	12	552	
10	1001	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	4.69
10	1001.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
10	1002	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.86
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
10	1003	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.86
10	1004	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.88
10	1005	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.00
10	1006	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.93
10	1007	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.20
10	1008	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.04
10	1009	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	21.85
10	1010	ภาควิชาภาษาตะวันออก	16.21	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
10	1011	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.52
10	1012	ห้องประชุม	16.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.22
10	1013	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
10	1014	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.48
10	1015	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
10	1016	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.59
10	1017	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
10	1018	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.79
10	1019	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
10	1020	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.53
10	1021	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
10	1022	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.12
10	1023	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.90
10	1024	ภาควิชาปรัชญา	16.29	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.14
10	1025	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.32
10	1026	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	22.16
10	1027	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.30
10	1028	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.13
10	1029	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
10	1030	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.28
10	1031	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.72
10	1032	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.41
10	1033	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.97
10	1033.1	ห้องซักล้าง	2.13	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	21.60
10	1034	ห้องน้ำหญิง	30.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	6.02
11	1100	ทางสัญจร	383.3	2xFL 36 W	36	5	41	2	40	3280	10.00
				2xFL 18 W	18	5	23	2	12	552	
11	1101	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	4.69
11	1101.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
11	1102	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.86
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
11	1103	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.86
11	1104	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.88
11	1105	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.00
11	1106	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.93
11	1107	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.20
11	1108	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.04
11	1109	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	21.85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
11	1110	ภาควิชาภาษาอังกฤษ	16.21	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.23
11	1111	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.52
11	1112	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.22
11	1113	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
11	1114	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.48
11	1115	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
11	1116	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.59
11	1117	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
11	1118	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.79
11	1119	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
11	1120	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.53
11	1121	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
11	1122	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.12
11	1123	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.90
11	1124	ห้องทำงานอาจารย์	16.29	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.14
11	1125	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.32
11	1126	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	22.16
11	1127	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.30
11	1128	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
11	1129	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.59
11	1130	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.28
11	1131	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.72
11	1132	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.41
11	1133	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.97
11	1133.1	ห้องซักล้าง	2.13	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	21.60
11	1134	ห้องน้ำหญิง	30.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.03
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
12	1200	ทางสัญจร	383.11	2xFL 36 W	36	5	41	2	40	3280	10.00
				2xFL 18 W	18	5	23	2	12	552	
12	1201	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	4.69
12	1201.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
12	1202	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.86
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
12	1203	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.86
12	1204	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.88
12	1205	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
12	1206	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.93
12	1207	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.20
12	1208	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.04
12	1209	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	21.85
12	1210	ภาควิชาประวัติศาสตร์	16.21	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.23
12	1211	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.52
12	1212	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.22
12	1213	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
12	1214	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.48
12	1215	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
12	1216	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.59
12	1217	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
12	1218	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.79
12	1219	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
12	1220	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.53
12	1221	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
12	1222	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.12
12	1223	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
12	1224	ภาควิชาภาษาไทย	16.29	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.14
12	1225	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.32
12	1226	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	22.16
12	1227	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.30
12	1228	ภาควิชาภาษาศาสตร์	19.15	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.13
12	1229	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.59
12	1230	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.28
12	1231	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.72
12	1232.00	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2xFL 36 W	36.00	5.00	41.00	2.00	4.00	328.00	18.41
12	1233	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.97
12	1233.1	ห้องซักล้าง	2.13	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	21.60
12	1234	ห้องน้ำหญิง	30.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.03
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
13	1300	ทางสัญจร	383.19	2xFL 36 W	36	5	41	2	40	3280	10.00
				2xFL 18 W	18	5	23	2	12	552	
13	1301	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	4.69
13	1301.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
13	1302	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.86
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
13	1303	ห้องทำงาน	17.39	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.86
13	1304	หน่วยบริหารอารยธรรมไทย	16.5	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.88
13	1305	ห้องทำงาน	18.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.00
13	1306	หน่วยบริหารหลักสูตรอักษรศาสตร์	17.33	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.93
13	1307	หน่วยบริหารวิชาอารยธรรมไทย	19.07	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.20
13	1308	ศูนย์การแปล	18.18	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.04
13	1309	ห้องเรียน	15.01	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	21.85
13	1310	ห้องทำงาน	16.21	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.23
13	1311	ห้องทำงาน	16.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.52
13	1312	ห้องเรียน	16.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.22
13	1313	ห้องเรียน	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
13	1314	ห้องทำงาน	17.75	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.48
13	1315	ห้องทำงาน	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
13	1316	ห้องทำงาน	17.64	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.59
13	1317	ห้องเรียน	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
13	1318	ห้องทำงาน	17.46	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.79
13	1319	ห้องเรียน	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
13	1320	ห้องทำงาน	17.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.53
13	1321	ห้องทำงาน	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
13	1322	ห้องทำงาน	16.3	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.12
13	1323	ห้องทำงาน	17.35	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.90
13	1324	ศูนย์พุทธศาสน์ศึกษา	16.29	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.14
13	1325	ห้องทำงาน	16.98	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.32
13	1326	ห้องทำงาน	14.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	22.16
13	1327	หลักสูตร EIL	17.92	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.30
13	1328	ห้องเรียน	19.15	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.13
13	1329	ห่องทำงาน	16.74	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.59
13	1330	ห้องเรียน	17.94	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.28
13	1331	ห้องทำงาน	16.63	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.72
13	1332	วารสาร	17.82	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.41
13	1333	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.97
13	1333.1	ห้องซักล้าง	2.13	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	21.60
13	1334	ห้องน้ำหญิง	30.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.03
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
14	1400	ทางสัญจร	383.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	40	3280	10.00
				2xFL 18 W	18	5	23	2	12	552	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
14	1401	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	1xFL 36 W	36	5	41	1	1	41	4.69
14	1401.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
14	1402	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	9.86
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
14	1403	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.86
14	1404	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.88
14	1405	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.00
14	1406	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.93
14	1407	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.20
14	1408	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.04
14	1409	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	21.85
14	1410	ห้องทำงาน	16.21	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.23
14	1411	ห้องทำงาน	16.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.52
14	1412	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.22
14	1413	ดุริยางคศิลปีไทย	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
14	1414	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.48
14	1415	ห้องทำงาน	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
14	1416	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.59
14	1417	ห้องทำงาน	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
14	1418	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.79
14	1419	ห้องทำงาน	17.17	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.10
14	1420	ห้องทำงาน	17.7	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.53
14	1421	ห้องทำงาน	17.31	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.95
14	1422	ห้องทำงาน	16.3	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.12
14	1423	ห้องทำงาน	17.35	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.90
14	1424	ภาควิชาดุริยางคศิลป์	16.29	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	20.14
14	1425	ห้องทำงาน	16.98	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.32
14	1426	ห้องทำงาน	14.8	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	22.16
14	1427	ห้องทำงาน	17.92	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.30
14	1428	ห้องทำงาน	19.15	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	17.13
14	1429	ห้องทำงาน	16.74	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.59
14	1430	ภาควิชานฤมิตศิลป์	17.94	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.28
14	1431	ห้องทำงาน	16.63	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	19.72
14	1432	ห้องทำงาน	17.82	2xFL 36 W	36	5	41	2	4	328	18.41
14	1433	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.97
14	1433.1	ห้องซักล้าง	2.13	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	21.60
14	1434	ห้องน้ำหญิง	30.56	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	6.02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
15	1500	ทางสัญจร	342.6	2xFL 36 W	36	5	41	2	8	656	8.31
				3xFL 36 W	36	5	41	3	8	984	
				2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	
				CFL 18 W	18	0	18	1	18	324	
				Halogen 50 W	50	0	50	1	14	700	
15	1503	ฝ่ายสำนักงานจดหมายเหตุหอประวัติ	87.29	3xFL 36 W	36	5	41	3	16	1968	22.55
15	1503	ห้องเก็บเอกสารหอประวัติ	146.06	3xFL 36 W	36	5	41	3	24	2952	20.21
15	1503	ห้องทรงงาน	62.95	3xFL 36 W	36	5	41	3	13	1599	25.40
15	1503	ห้องควบคุมปรับอากาศ	22.88	2xFL 36 W	36	5	41	2	2	164	7.17
15	1504/1510	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.97
15	1504.1-1505	ห้องน้ำหญิง+ห้องสรง	32.69	2xFL 18 W	18	5	23	2	2	92	6.24
				DL 40 W	40	0	40	1	1	40	
				CFL 18 W	18	0	18	1	4	72	
15	1503	ห้องครัว	17.48	3xFL 36 W	36	5	41	3	2	246	14.07
15	1503	ห้องผู้ติดตาม	22	CFL 18 W	18	0	18	1	4	72	3.27
				Halogen 50 W	50	0	50	1	4	200	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	86.78	CFL 18 W	18	0	18	1	12	216	2.49
				1xFL 36 W	36	5	41	1	16	656	
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	187.56	CFL 18 W	18	0	18	1	32	576	3.07
				1xFL 36 W	36	5	41	1	32	1312	
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	86.78	CFL 18 W	18	0	18	1	12	216	2.49
				1xFL 36 W	36	5	41	1	12	492	
15	1503	ห้องรับรองเล็ก	17.48	CFL 18 W	18	0	18	1	3	54	3.09
				Halogen 50 W	50	0	50	1	4	200	
15	1503	ห้องควบคุมระบบปรับอากาศ	22	3xFL 36 W	36	5	41	3	4	492	22.36
15	1501	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	5.26
15	1501.1	ห้องซักล้าง	1.78	2xFL 18 W	18	5	23	2	1	46	25.84
15	1502	ห้องน้ำชาย	27.99	2xFL 18 W	18	5	23	2	4	184	6.57
				1xFL 18 W	18	5	23	1	4	92	
16	1600	ทางสัญจร	1033.29	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	50.78	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	50.78	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1601	ห้องเครื่องลิฟต์	26.79	1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	3.06
				2xFL 36 W	36	5	41	2	2	164	
16	1602	ห้องเครื่องลิฟต์	26.79	1xFL 36 W	36	5	41	1	2	82	3.06
				2xFL 36 W	36	5	41	2	2	164	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข ผลการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าหลอดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ (W)	รวม (W)	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคม	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	LPD (W/m^2)
16	-	-	19.27	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	19.27	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	41.02	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	41.02	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม			18,556.73	-	-	-	-	-	-	213,930	12.55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
1	100	ทางสัญจร	1145.41	-	-	-	-	-
1	101	ห้องไฟฟ้า	66.99	-	-	-	-	-
1	102	Loading area	29.43	-	-	-	-	-
1	103	ห้องปฏิบัติการแฟชั่นศิลปกรรม	96.54	Projector	1	250	250	2.90
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
1	104	ร้านค้าสหกรณ์	97.08	-	-	-	-	-
1	105	ห้องปฏิบัติการฉากละครอักษร	96.54	-	-	-	-	-
1	106	ห้องพักแม่บ้าน	29.03	-	-	-	-	-
1	107	ห้องปั๊มน้ำ	66.53	มอเตอร์ปั๊มน้ำ	2	15000	30000	450.92
2	200	ทางสัญจร	551.37	-	-	-	-	-
2	203	ห้องคอมคณะอักษร	194.46	คอมพิวเตอร์	84	450	37800	196.13
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	1	40	40	
2	203.1	ห้องคอมศิลปกรรม	60.98	คอมพิวเตอร์	30	450	13500	225.48
				Projector	1	250	250	
2		ห้องSERVER	25.44	คอมพิวเตอร์	4	450	1800	222.09
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
				Server	5	750	3750	
2	205	สำนักงานจัดการอาคาร	79.73	คอมพิวเตอร์	4	450	1800	34.62
				เครื่องพิมพ์	2	100	200	
				Fax	1	60	60	
				กาต้มน้ำร้อน	1	700	700	
2	206	สหกรณ์ออมทรัพย์	7.69	คอมพิวเตอร์	1	450	450	71.52
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
2	204	ห้องน้ำหญิง	43.56	-	-	-	-	-
2	201	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.37	-	-	-	-	-
2	202	ห้องน้ำชาย	37.34	-	-	-	-	-
3	300	ทางสัญจร	387.39	-	-	-	-	-
3	301	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	คอมพิวเตอร์	1	450	450	6.79
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	302	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	163.4	คอมพิวเตอร์	1	450	450	4.62
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
3	303	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	163.4	คอมพิวเตอร์	1	450	450	4.62
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	304	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	คอมพิวเตอร์	1	450	450	6.82
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	305	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	-	-	-	-	-
3	306	ห้องน้ำชาย	36.87	-	-	-	-	-
3	307	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.39
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	308	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	309	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	310	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	311	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	312	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	313	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m2)
3	314	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.39
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
3	315	ห้องน้ำหญิง	43.33	-	-	-	-	-
4	400	ทางสัญจร	387.86	-	-	-	-	-
4	401	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	คอมพิวเตอร์	1	450	450	6.79
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	402	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	184.01	คอมพิวเตอร์	1	450	450	4.10
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	403	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	184.01	คอมพิวเตอร์	1	450	450	4.10
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	404	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	คอมพิวเตอร์	1	450	450	6.82
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	405	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	-	-	-	-	-
4	406	ห้องน้ำชาย	36.16	-	-	-	-	-
4	407	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.39
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	408	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	409	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
4	410	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	411	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	412	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	413	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.20
				Projector	1	150	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	414	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.39
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
4	415	ห้องน้ำหญิง	42.62	-	-	-	-	-
5	500	ทางสัญจร	411.57	-	-	-	-	-
5	501	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	83.34	คอมพิวเตอร์	1	450	450	9.06
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	502	ห้องเจ้าหน้าที่อาคาร	150.83	คอมพิวเตอร์	4	450	1800	13.26
				เครื่องพิมพ์	2	100	200	
5	503	ห้องเรียนขนาด300ที่นั่ง	316.78	คอมพิวเตอร์	1	450	450	2.30
				Projector	1	250	250	
				Visualizer	1	30	30	
5	503.1	ห้องควบคุม	11.55	เครื่องขยายเสียง	1	30	30	2.60
5	504	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	คอมพิวเตอร์	1	450	450	6.82
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	505	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	-	-	-	-	-
5	506	ห้องน้ำชาย	36.16	-	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
5	507	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.10
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	508	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	509	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	510	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	511	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	512	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	513	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	514	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.10
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
5	515	ห้องน้ำหญิง	42.62	-	-	-	-	-
6	600	ทางสัญจร	386.79	-	-	-	-	-
6	601	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	คอมพิวเตอร์	1	450	450	6.79
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	602	ห้องเก็บของ	12.13	-	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
6	603	ห้องเก็บของ	12.13	-	-	-	-	-
6	604	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	คอมพิวเตอร์	1	450	450	6.82
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	605	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	-	-	-	-	-
6	606	ห้องน้ำชาย	36.16	-	-	-	-	-
6	607	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.10
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	608	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	609	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	610	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	611	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	14.68
				Projector	1	150	150	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	612	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	613	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.92
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
6	614	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	คอมพิวเตอร์	1	450	450	17.10
				Projector	1	250	250	
				เครื่องฉายภาพ 3 มิติ	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
6	615	ห้องน้ำหญิง	42.62	-	-	-	-	-
7	700	ทางสัญจร	415.59	-	-	-	-	-
7	701	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
7	701.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-	-
7	702	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-
7	703	ห้องเก็บของ	6.28	-	-	-	-	-
7	704	ห้องประชุม 14 ที่นั่ง	35.45	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	87.73
				เครื่องพิมพ์	2	100	200	
				Fax	1	60	60	
				เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1500	1500	
7	705	ห้องประชุม 14 ที่นั่ง	32.86	คอมพิวเตอร์	1	450	450	16.74
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
7	706	ห้องประชุม 22 ที่นั่ง	42.26	TV	1	160	160	3.79
7	707	ห้องประชุม 50 ที่นั่ง	122.56	คอมพิวเตอร์	1	450	450	5.67
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
				Visualizer	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
				พัดลมดูดอากาศ	3	30	90	
7	708	ห้องประชุม 30 ที่นั่ง	69.42	คอมพิวเตอร์	1	450	450	7.27
				Visualizer	1	25	25	
				เครื่องขยายเสียง	1	30	30	
7	709	ห้องเก็บของ	6.22	-	-	-	-	-
7	710	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
7	710.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-	-
7	711	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-	-
7	712	ห้องสำนักงานBALAC	143.92	คอมพิวเตอร์	8	450	3600	40.30
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	1	40	40	
				Fax	1	60	60	
				เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1500	1500	
				ตู้เย็น	2	150	300	
7	713	ห้องปฏิบัติการล่ามอักษร	140.17	พัดลมดูดอากาศ	3	30	90	11.13
				เครื่องขยายเสียง	4	30	120	
				คอมพิวเตอร์	2	450	900	
				เครื่องพิมพ์	2	100	200	
				Projector	1	250	250	
8	800	ทางสัญจร	524.9	-	-	-	-	-
8	801	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
8	801.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
8	802	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-
8	803	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	คอมพิวเตอร์	2	450	900	57.50
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
8	804	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.27
8	805	ห้องเรียน	18.22	-	-	-	-	-
8	806	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	คอมพิวเตอร์	1	450	450	25.97
8	807	ห้องเรียน	19.07	TV	1	160	160	8.39
8	808	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	คอมพิวเตอร์	1	450	450	24.75
8	809	ภาควิชาศิลปการละคร	16.21	คอมพิวเตอร์	2	450	900	113.51
				เครื่องพิมพ์	2	100	200	
				Scanner	1	40	40	
				กาต้มน้ำร้อน	1	700	700	
8	810	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	102.98
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
8	811	ห้องประชุม	16.03	-	-	-	-	-
8	812	ห้องประชุม	17.31	-	-	-	-	-
8	813	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	คอมพิวเตอร์	1	450	450	25.35
8	814	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	1	450	450	32.03
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
8	815	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	คอมพิวเตอร์	1	450	450	25.51
8	816	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
8	817	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	77.32
8	818	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
8	819	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	คอมพิวเตอร์	1	450	450	25.42
8	820	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	4	450	1800	109.76
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
8	821	ห้องทำงานอาจารย์	16.67	คอมพิวเตอร์	1	450	450	26.99
8	822	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	คอมพิวเตอร์	2	450	900	57.64
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
8	823	ภาควิชาบรรณรักษ์ศาสตร์	16.29	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	92.69
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
				Fax	1	60	60	
8	824	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.00
8	825	ห้องประชุม	17.92	-	-	-	-	-
8	826	ภาควิชาภูมิศาสตร์	19.15	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.57
				เครื่องพิมพ์	2	100	200	
				Fax	1	60	60	
8	827	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	คอมพิวเตอร์	1	450	450	26.88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
8	828	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.17
8	829	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	คอมพิวเตอร์	2	450	900	54.12
8	830	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	คอมพิวเตอร์	1	450	450	25.25
8	831	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
8	831.1	ฟ้องซักล้าง	2.13	ตู้เย็น	1	150	150	70.42
8	832	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-	-
9	900	ทางสัญจร	384.28	-	-	-	-	-
9	901	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
9	901.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-	-
9	902	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-
9	903	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	คอมพิวเตอร์	2	450	900	57.50
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
9	904	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	คอมพิวเตอร์	2	450	900	54.55
9	905	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.40
9	906	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.93
9	907	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	คอมพิวเตอร์	2	450	900	47.19
9	908	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.50
9	909	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	คอมพิวเตอร์	2	450	900	59.96
9	910	ภาควิชาภาษาตะวันตก	16.21	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.72
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
9	911	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.57
9	912	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.74
9	913	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
9	914	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.70
9	915	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
9	916	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.02
9	917	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
9	918	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.55
9	919	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
9	920	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.85
9	921	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
9	922	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.61
9	923	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.87
9	924	ภาควิชาวรรณคดีเปรียบเทียบ	16.29	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.20
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
9	925	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.00
9	926	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	คอมพิวเตอร์	1	450	450	30.41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
9	927	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.22
9	928	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	คอมพิวเตอร์	2	450	900	47.00
9	929	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.76
9	930	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.17
9	931	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	คอมพิวเตอร์	2	450	900	54.12
9	932	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.51
9	933	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
9	933.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-	-
9	934	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-	-
10	1000	ทางสัญจร	383.15	-	-	-	-	-
10	1001	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
10	1001.1	ห้องซักล้าง	1.78	ตู้เย็น	1	150	150	84.27
10	1002	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-
10	1003	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	คอมพิวเตอร์	4	450	1800	109.26
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
10	1004	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	คอมพิวเตอร์	4	450	1800	115.15
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
10	1005	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	คอมพิวเตอร์	1	450	450	24.70
10	1006	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	คอมพิวเตอร์	4	450	1800	103.87
10	1007	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	คอมพิวเตอร์	4	450	1800	94.39
10	1008	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	คอมพิวเตอร์	1	450	450	24.75
10	1009	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	คอมพิวเตอร์	2	450	900	59.96
10	1010	ภาควิชาภาษาตะวันออก	16.21	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.72
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
10	1011	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	61.90
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
				Scanner	1	40	40	
10	1012	ห้องประชุม	16.22	TV	1	160	160	9.86
10	1013	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
10	1014	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.70
10	1015	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
10	1016	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.02
10	1017	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
10	1018	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.55
10	1019	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
10	1020	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.85
10	1021	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
10	1022	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.61
10	1023	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.87
10	1024	ภาควิชาปรัชญา	16.29	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.20
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
10	1025	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.00
10	1026	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.81
10	1027	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.22
10	1028	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	คอมพิวเตอร์	2	450	900	47.00
10	1029	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.76
10	1030	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.17
10	1031	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	คอมพิวเตอร์	2	450	900	54.12
10	1032	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.51
10	1033	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
10	1033.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-	-
10	1034	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-	-
11	1100	ทางสัญจร	383.3	-	-	-	-	-
11	1101	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
11	1101.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-	-
11	1102	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-
11	1103	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	คอมพิวเตอร์	2	450	900	57.50
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
11	1104	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.61
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
11	1105	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.40
11	1106	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.93
11	1107	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	คอมพิวเตอร์	2	450	900	47.19
11	1108	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.50
11	1109	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	คอมพิวเตอร์	1	450	450	29.98
11	1110	ภาควิชาภาษาอังกฤษ	16.21	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.72
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
11	1111	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	59.52
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
11	1112	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.74
11	1113	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
11	1114	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.70
11	1115	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
11	1116	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.02
11	1117	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
11	1118	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.55
11	1119	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
11	1120	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.85
11	1121	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
11	1122	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.61
11	1123	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.87
11	1124	ห้องทำงานอาจารย์	16.29	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.20
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
11	1125	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.00
11	1126	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.81
11	1127	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.22
11	1128	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	90.34
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
11	1129	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	คอมพิวเตอร์	1	450	450	26.88
11	1130	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	คอมพิวเตอร์	1	450	450	25.08
11	1131	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	คอมพิวเตอร์	2	450	900	54.12
11	1132	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.51
11	1133	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
11	1133.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-	-
11	1134	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-	-
12	1200	ทางสัญจร	383.11	-	-	-	-	-
12	1201	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
12	1201.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-	-
12	1202	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-
12	1203	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	คอมพิวเตอร์	2	450	900	57.50
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
12	1204	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.61
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
12	1205	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.40
12	1206	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.93
12	1207	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	คอมพิวเตอร์	2	450	900	47.19
12	1208	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.50
12	1209	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	คอมพิวเตอร์	2	450	900	59.96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
12	1210	ภาควิชาประวัติศาสตร์	16.21	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.72
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
12	1211	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	คอมพิวเตอร์	1	450	450	36.31
12	1212	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	TV	1	160	160	
12	1213	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
12	1214	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.70
12	1215	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
12	1216	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.02
12	1217	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
12	1218	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.55
12	1219	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
12	1220	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.85
12	1221	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
12	1222	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.61
12	1223	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.87
12	1224	ภาควิชาภาษาไทย	16.29	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.20
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
12	1225	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	คอมพิวเตอร์	1	450	450	26.50
12	1226	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.81
12	1227	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.22
12	1228	ภาควิชาภาษาศาสตร์	19.15	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	90.34
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
12	1229	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.76
12	1230	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.17
12	1231	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.13
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
12	1232.00	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	คอมพิวเตอร์	2	450	900	56.12
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
12	1233	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
12	1233.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-	-
12	1234	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-	-
13	1300	ทางสัญจร	383.19	-	-	-	-	-
13	1301	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
13	1301.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-	-
13	1302	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
13	1303	ห้องทำงาน	17.39	คอมพิวเตอร์	2	450	900	57.50
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
13	1304	หน่วยบริหารอารยธรรมไทย	16.5	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.61
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
13	1305	ห้องทำงาน	18.22	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.40
13	1306	หน่วยบริหารหลักสูตรอักษรศาสตร์	17.33	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.93
13	1307	หน่วยบริหารวิชาอารยธรรมไทย	19.07	คอมพิวเตอร์	2	450	900	47.19
13	1308	ศูนย์การแปล	18.18	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.50
13	1309	ห้องเรียน	15.01	คอมพิวเตอร์	1	450	450	46.64
				Projector	1	250	250	
13	1310	ห้องทำงาน	16.21	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.72
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
13	1311	ห้องทำงาน	16.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.57
13	1312	ห้องเรียน	16.22	คอมพิวเตอร์	1	450	450	43.16
				Projector	1	250	250	
13	1313	ห้องเรียน	17.31	คอมพิวเตอร์	1	450	450	40.44
				Projector	1	250	250	
13	1314	ห้องทำงาน	17.75	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.70
13	1315	ห้องทำงาน	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
13	1316	ห้องทำงาน	17.64	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.02
13	1317	ห้องเรียน	17.31	คอมพิวเตอร์	1	450	450	40.44
				Projector	1	250	250	
13	1318	ห้องทำงาน	17.46	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.55
13	1319	ห้องเรียน	17.17	คอมพิวเตอร์	1	450	450	40.77
				Projector	1	250	250	
13	1320	ห้องทำงาน	17.7	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.85
13	1321	ห้องทำงาน	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
13	1322	ห้องทำงาน	16.3	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.61
13	1323	ห้องทำงาน	17.35	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.87
13	1324	ศูนย์พุทธศาสน์ศึกษา	16.29	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.20
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
13	1325	ห้องทำงาน	16.98	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.00
13	1326	ห้องทำงาน	14.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.81
13	1327	หลักสูตร EIL	17.92	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
13	1328	ห้องเรียน	19.15	คอมพิวเตอร์	1	450	450	36.55
				Projector	1	250	250	
13	1329	ห่องทำงาน	16.74	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.76
13	1330	ห้องเรียน	17.94	คอมพิวเตอร์	1	450	450	39.02
				Projector	1	250	250	
13	1331	ห้องทำงาน	16.63	คอมพิวเตอร์	2	450	900	54.12
13	1332	วารสาร	17.82	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.51
13	1333	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
13	1333.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-	-
13	1334	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-	-
14	1400	ทางสัญจร	383.17	-	-	-	-	-
14	1401	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
14	1401.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-	-
14	1402	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-
14	1403	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	คอมพิวเตอร์	2	450	900	57.50
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
14	1404	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.61
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
14	1405	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.40
14	1406	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.93
14	1407	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	คอมพิวเตอร์	2	450	900	47.19
14	1408	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	คอมพิวเตอร์	2	450	900	49.50
14	1409	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	คอมพิวเตอร์	2	450	900	59.96
14	1410	ห้องทำงาน	16.21	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.72
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
14	1411	ห้องทำงาน	16.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.57
14	1412	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.74
14	1413	ดุริยางคศิลปีไทย	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
14	1414	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.70
14	1415	ห้องทำงาน	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
14	1416	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.02
14	1417	ห้องทำงาน	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
14	1418	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.55
14	1419	ห้องทำงาน	17.17	คอมพิวเตอร์	2	450	900	52.42
14	1420	ห้องทำงาน	17.7	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.85
14	1421	ห้องทำงาน	17.31	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.99
14	1422	ห้องทำงาน	16.3	คอมพิวเตอร์	1	450	450	27.61
14	1423	ห้องทำงาน	17.35	คอมพิวเตอร์	2	450	900	51.87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
14	1424	ภาควิชาดุริยางคศิลป์	16.29	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	106.20
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
14	1425	ห้องทำงาน	16.98	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.00
14	1426	ห้องทำงาน	14.8	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.81
14	1427	ห้องทำงาน	17.92	คอมพิวเตอร์	2	450	900	50.22
14	1428	ห้องทำงาน	19.15	คอมพิวเตอร์	2	450	900	47.00
14	1429	ห้องทำงาน	16.74	คอมพิวเตอร์	2	450	900	53.76
14	1430	ภาควิชานฤมิตศิลป์	17.94	คอมพิวเตอร์	3	450	1350	96.43
				เครื่องพิมพ์	3	100	300	
				Scanner	2	40	80	
14	1431	ห้องทำงาน	16.63	คอมพิวเตอร์	2	450	900	60.13
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
14	1432	ห้องทำงาน	17.82	คอมพิวเตอร์	2	450	900	56.12
				เครื่องพิมพ์	1	100	100	
14	1433	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
14	1433.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-	-
14	1434	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-	-
15	1500	ทางสัญจร	342.6	-	-	-	-	-
15	1503	ฝ่ายสำนักงานจดหมายเหตุหอประวัติ	87.29	คอมพิวเตอร์	6	450	2700	55.91
				เครื่องพิมพ์	5	100	500	
				เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1500	1500	
				ตู้เย็น	1	180	180	
15	1503	ห้องเก็บเอกสารหอประวัติ	146.06	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-
15	1503	ห้องทรงงาน	62.95	คอมพิวเตอร์	5	450	2250	44.48
				เครื่องพิมพ์	4	100	400	
				ตู้เย็น	1	150	150	
15	1503	ห้องควบคุมปรับอากาศ	22.88	-	-	-	-	-
15	1504/1510	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-	-
15	1504.1-1505	ห้องน้ำหญิง+ห้องสรง	32.69	-	-	-	-	-
15	1503	ห้องครัว	17.48	ตู้เย็น	1	192	192	51.03
				กาต้มน้ำร้อน	1	700	700	
15	1503	ห้องผู้ติดตาม	22	-	-	-	-	-
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	86.78	คอมพิวเตอร์	5	700	3500	64.53
				เครื่องพิมพ์	3	700	2100	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	EPD (W/m^2)
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	187.56	คอมพิวเตอร์	20	700	14000	104.50
				เครื่องพิมพ์	8	700	5600	
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	86.78	คอมพิวเตอร์	5	700	3500	64.53
				เครื่องพิมพ์	3	700	2100	
15	1503	ห้องรับรองเล็ก	17.48	-	-	-	-	-
15	1503	ห้องควบคุมระบบปรับอากาศ	22	-	-	-	-	-
15	1501	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-	-
15	1501.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-	-
15	1502	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	1033.29	-	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	50.78	-	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	50.78	-	-	-	-	-
16	1601	ห้องเครื่องลิฟต์	26.79	ลิฟต์	2	15000	30000	1119.82
16	1602	ห้องเครื่องลิฟต์	26.79	ลิฟต์	2	15000	30000	1119.82
16	-	-	19.27	-	-	-	-	-
16	-	-	19.27	-	-	-	-	-
17	-	-	41.02	-	-	-	-	-
17	-	-	41.02	-	-	-	-	-
รวม			18,556.73	-	-	-	429,072	49.54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างการสำรวจลักษณะการใช้งานอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
1	100	ทางสัญจร	1145.41	-	-	-	-
1	101	ห้องไฟฟ้า	66.99	-	-	-	-
1	102	Loading area	29.43	-	-	-	-
1	103	ห้องปฏิบัติการแฟชั่นศิลปกรรม	96.54	-	-	-	-
1	104	ร้านค้าสหกรณ์	97.08	-	-	-	-
1	105	ห้องปฏิบัติการฉากละคร อักษร	96.54	-	-	-	-
1	106	ห้องพักแม่บ้าน	29.03	-	-	-	-
1	107	ห้องปั๊มน้ำ	66.53	-	-	-	-
2	200	ทางสัญจร	551.37	-	-	-	-
2	203	ห้องคอมคณะอักษร	194.46	4	10	80	ตารางสอน
2	203.1	ห้องคอมศิลปกรรม	60.98	-	-	30	ตารางสอน
2		ห้องSERVER	25.44	-	24	-	-
2	205	สำนักงานจัดการอาคาร	79.73	4	10	-	-
2	206	สหกรณ์ออมทรัพย์	7.69	1	10	-	-
2	204	ห้องน้ำหญิง	43.56	-	-	-	-
2	201	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.37	-	-	-	-
2	202	ห้องน้ำชาย	37.34	-	-	-	-
3	300	ทางสัญจร	387.39	-	-	-	-
3	301	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	-	-	70	ตารางสอน
3	302	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	163.4	-	-	150	ตารางสอน
3	303	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	163.4	-	-	150	ตารางสอน
3	304	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	-	-	70	ตารางสอน
3	305	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	-	-	-	-
3	306	ห้องน้ำชาย	36.87	-	-	-	-
3	307	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	-	-	30	ตารางสอน
3	308	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
3	309	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
3	310	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
3	311	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
3	312	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
3	313	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
3	314	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	-	-	30	ตารางสอน
3	315	ห้องน้ำหญิง	43.33	-	-	-	-
4	400	ทางสัญจร	387.86	-	-	-	-
4	401	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	-	-	70	ตารางสอน
4	402	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	184.01	-	-	150	ตารางสอน
4	403	ห้องเรียนขนาด150ที่นั่ง	184.01	-	-	150	ตารางสอน
4	404	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	-	-	70	ตารางสอน
4	405	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	-	-	-	-
4	406	ห้องน้ำชาย	36.16	-	-	-	-
4	407	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	-	-	30	ตารางสอน
4	408	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
4	409	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
4	410	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
4	411	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
4	412	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
4	413	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.89	-	-	30	ตารางสอน
4	414	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	43.42	-	-	30	ตารางสอน
4	415	ห้องน้ำหญิง	42.62	-	-	-	-
5	500	ทางสัญจร	411.57	-	-	-	-
5	501	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	83.34	-	-	70	ตารางสอน
5	502	ห้องเจ้าหน้าที่อาคาร	150.83	2	10	-	-
5	503	ห้องเรียนขนาด300ที่นั่ง	316.78	-	-	300	ตารางสอน
5	503.1	ห้องควบคุม	11.55	-	-	-	-
5	504	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	-	-	70	ตารางสอน
5	505	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	-	-	-	-
5	506	ห้องน้ำชาย	36.16	-	-	-	-
5	507	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	-	-	30	ตารางสอน
5	508	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
5	509	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
5	510	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
5	511	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
5	512	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
5	513	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
5	514	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	-	-	30	ตารางสอน
5	515	ห้องน้ำหญิง	42.62	-	-	-	-
6	600	ทางสัญจร	386.79	-	-	-	-
6	601	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	111.24	-	-	70	ตารางสอน
6	602	ห้องเก็บของ	12.13	-	-	-	-
6	603	ห้องเก็บของ	12.13	-	-	-	-
6	604	ห้องเรียนขนาด70ที่นั่ง	110.7	-	-	70	ตารางสอน
6	605	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	5.42	-	-	-	-
6	606	ห้องน้ำชาย	36.16	-	-	-	-
6	607	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	-	-	30	ตารางสอน
6	608	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
6	609	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
6	610	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
6	611	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
6	612	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
6	613	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.62	-	-	30	ตารางสอน
6	614	ห้องเรียนขนาด30ที่นั่ง	44.14	-	-	30	ตารางสอน
6	615	ห้องน้ำหญิง	42.62	-	-	-	-
7	700	ทางสัญจร	415.59	-	-	-	-
7	701	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-
7	701.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-
7	702	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
7	703	ห้องเก็บของ	6.28	-	-	-	-
7	704	ห้องประชุม 14 ที่นั่ง	35.45	3	10	-	-
7	705	ห้องประชุม 14 ที่นั่ง	32.86	1	10	-	-
7	706	ห้องประชุม 22 ที่นั่ง	42.26	-	4	-	-
7	707	ห้องประชุม 50 ที่นั่ง	122.56	-	4	-	-
7	708	ห้องประชุม 30 ที่นั่ง	69.42	-	4	-	-
7	709	ห้องเก็บของ	6.22	-	-	-	-
7	710	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
7	710.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-
7	711	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-
7	712	ห้องสำนักงานBALAC	143.92	3	10	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
7	713	ห้องปฏิบัติการล่ามอักษร	140.17	2	10	-	-
8	800	ทางสัญจร	524.9	-	-	-	-
8	802	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
8	803	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2	4	-	-
8	804	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	1	4	-	-
8	805	ห้องเรียน	18.22	-	-	5	2
8	806	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	1	4	-	-
8	807	ห้องเรียน	19.07	-	-	5	2
8	808	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	1	4	-	-
8	809	ภาควิชาศิลปการละคร	16.21	1	10	-	-
8	810	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	3	4	-	-
8	811	ห้องประชุม	16.03	-	2	-	-
8	812	ห้องประชุม	17.31	-	2	-	-
8	813	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2	4	-	-
8	814	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	1	4	-	-
8	815	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	1	4	-	-
8	816	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
8	817	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2	4	-	-
8	818	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
8	819	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	1	4	-	-
8	820	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
8	821	ห้องทำงานอาจารย์	16.67	1	4	-	-
8	822	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	3	4	-	-
8	823	ภาควิชาบรรณรักษ์ศาสตร์	16.29	1.00	4	-	-
8	824	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2	4	-	-
8	825	ห้องประชุม	17.92	-	4	-	-
8	826	ภาควิชาภูมิศาสตร์	19.15	2	10	-	-
8	827	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	1	4	-	-
8	828	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2	4	-	-
8	829	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2	4	-	-
8	830	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2	4	-	-
8	831	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
8	831.1	ฟ้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-
8	832	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
9	900	ทางสัญจร	384.28	-	-	-	-
9	901	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-
9	901.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-
9	902	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
9	903	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2	4	-	-
9	904	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2	4	-	-
9	905	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2	4	-	-
9	906	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2	4	-	-
9	907	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2	4	-	-
9	908	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2	4	-	-
9	909	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2	4	-	-
9	910	ภาควิชาภาษาตะวันตก	16.21	3	10	-	-
9	911	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	2	4	-	-
9	912	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	1	4	-	-
9	913	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
9	914	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2	4	-	-
9	915	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
9	916	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2	4	-	-
9	917	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
9	918	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2	4	-	-
9	919	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
9	920	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2	4	-	-
9	921	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
9	922	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	1	4	-	-
9	923	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2	4	-	-
9	924	ภาควิชาวรรณคดีเปรียบเทียบ	16.29	3	10	-	-
9	925	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2	4	-	-
9	926	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	1	4	-	-
9	927	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	2	4	-	-
9	928	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	2	4	-	-
9	929	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	2	4	-	-
9	930	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2	4	-	-
9	931	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2	4	-	-
9	932	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2	4	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
9	933	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
9	933.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-
9	934	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-
10	1000	ทางสัญจร	383.15	-	-	-	-
10	1001	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-
10	1001.1	ห้องซักล้าง	1.78		-	-	-
10	1002	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
10	1003	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2	4	-	-
10	1004	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2	4	-	-
10	1005	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	1	4	-	-
10	1006	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2	4	-	-
10	1007	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2	4	-	-
10	1008	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	1	4	-	-
10	1009	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2	4	-	-
10	1010	ภาควิชาภาษาตะวันออก	16.21	3	10	-	-
10	1011	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	2	4	-	-
10	1012	ห้องประชุม	16.22	-	2	-	-
10	1013	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
10	1014	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2	4	-	-
10	1015	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
10	1016	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2	4	-	-
10	1017	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
10	1018	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2	4	-	-
10	1019	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
10	1020	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2	4	-	-
10	1021	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
10	1022	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	1	4	-	-
10	1023	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2	4	-	-
10	1024	ภาควิชาปรัชญา	16.29	3	10	-	-
10	1025	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2	4	-	-
10	1026	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	2	4	-	-
10	1027	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	2	4	-	-
10	1028	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	2	4	-	-
10	1029	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	2	4	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
10	1030	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2	4	-	-
10	1031	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2	4	-	-
10	1032	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2	4	-	-
10	1033	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
10	1033.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-
10	1034	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-
11	1100	ทางสัญจร	383.3	-	-	-	-
11	1101	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-
11	1101.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-
11	1102	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
11	1103	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2	4	-	-
11	1104	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2	4	-	-
11	1105	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2	4	-	-
11	1106	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2	4	-	-
11	1107	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2	4	-	-
11	1108	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2	4	-	-
11	1109	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	1	4	-	-
11	1110	ภาควิชาภาษาอังกฤษ	16.21	3	10	-	-
11	1111	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	2	4	-	-
11	1112	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	1	4	-	-
11	1113	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
11	1114	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2	4	-	-
11	1115	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
11	1116	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2	4	-	-
11	1117	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
11	1118	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2	4	-	-
11	1119	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
11	1120	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2	4	-	-
11	1121	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
11	1122	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	1	4	-	-
11	1123	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2	4	-	-
11	1124	ห้องทำงานอาจารย์	16.29	3	4	-	-
11	1125	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	2	4	-	-
11	1126	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	2	4	-	-
11	1127	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	2	4	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
11	1128	ห้องทำงานอาจารย์	19.15	3	4	-	-
11	1129	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	1	4	-	-
11	1130	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	1	4	-	-
11	1131	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2	4	-	-
11	1132	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2	4	-	-
11	1133	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
11	1133.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-
11	1134	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-
12	1200	ทางสัญจร	383.11	-	-	-	-
12	1201	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-
12	1201.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-
12	1202	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
12	1203	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2	4	-	-
12	1204	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2	4	-	-
12	1205	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2	4	-	-
12	1206	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2	4	-	-
12	1207	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2	4	-	-
12	1208	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2	4	-	-
12	1209	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2	4	-	-
12	1210	ภาควิชาประวัติศาสตร์	16.21	3	10	-	-
12	1211	ห้องทำงานอาจารย์	16.8	1	4	-	-
12	1212	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	1	4	-	-
12	1213	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
12	1214	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2	4	-	-
12	1215	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
12	1216	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2	4	-	-
12	1217	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
12	1218	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2	4	-	-
12	1219	ห้องทำงานอาจารย์	17.17	2	4	-	-
12	1220	ห้องทำงานอาจารย์	17.7	2	4	-	-
12	1221	ห้องทำงานอาจารย์	17.31	2	4	-	-
12	1222	ห้องทำงานอาจารย์	16.3	1	4	-	-
12	1223	ห้องทำงานอาจารย์	17.35	2	4	-	-
12	1224	ภาควิชาภาษาไทย	16.29	3	10	-	-
12	1225	ห้องทำงานอาจารย์	16.98	1	4	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
12	1226	ห้องทำงานอาจารย์	14.8	2	4	-	-
12	1227	ห้องทำงานอาจารย์	17.92	2	4	-	-
12	1228	ภาควิชาภาษาศาสตร์	19.15	3	10	-	-
12	1229	ห้องทำงานอาจารย์	16.74	2	4	-	-
12	1230	ห้องทำงานอาจารย์	17.94	2	4	-	-
12	1231	ห้องทำงานอาจารย์	16.63	2	4	-	-
12	1232.00	ห้องทำงานอาจารย์	17.82	2	4	-	-
12	1233	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
12	1233.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-
12	1234	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-
13	1300	ทางสัญจร	383.19	-	-	-	-
13	1301	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-
13	1301.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-
13	1302	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
13	1303	ห้องทำงาน	17.39	2	10	-	-
13	1304	หน่วยบริหารอารยธรรมไทย	16.5	2	10	-	-
13	1305	ห้องทำงาน	18.22	2	10	-	-
13	1306	หน่วยบริหารหลักสูตรอักษรศาสตร์	17.33	2	10	-	-
13	1307	หน่วยบริหารวิชาอารยธรรมไทย	19.07	2	10	-	-
13	1308	ศูนย์การแปล	18.18	2	10	-	-
13	1309	ห้องเรียน	15.01	-	-	5	2
13	1310	ห้องทำงาน	16.21	3	10	-	-
13	1311	ห้องทำงาน	16.8	2	10	-	-
13	1312	ห้องเรียน	16.22	-	-	5	2
13	1313	ห้องเรียน	17.31	-	-	5	2
13	1314	ห้องทำงาน	17.75	2	10	-	-
13	1315	ห้องทำงาน	17.17	2	10	-	-
13	1316	ห้องทำงาน	17.64	2	10	-	-
13	1317	ห้องเรียน	17.31	-	-	5	2
13	1318	ห้องทำงาน	17.46	2	10	-	-
13	1319	ห้องเรียน	17.17	-	-	5	2
13	1320	ห้องทำงาน	17.7	2	10	-	-
13	1321	ห้องทำงาน	17.31	2	10	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
13	1322	ห้องทำงาน	16.3	1	10	-	-
13	1323	ห้องทำงาน	17.35	2	10	-	-
13	1324	ศูนย์พุทธศาสน์ศึกษา	16.29	3	10	-	-
13	1325	ห้องทำงาน	16.98	2	10	-	-
13	1326	ห้องทำงาน	14.8	2	10	-	-
13	1327	หลักสูตร EIL	17.92	2	10	-	-
13	1328	ห้องเรียน	19.15	-	-	5	2
13	1329	ห่องทำงาน	16.74	2	10	-	-
13	1330	ห้องเรียน	17.94	-	-	5	2
13	1331	ห้องทำงาน	16.63	2	10	-	-
13	1332	วารสาร	17.82	2	10	-	-
13	1333	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
13	1333.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-
13	1334	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-
14	1400	ทางสัญจร	383.17	-	-	-	-
14	1401	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-
14	1401.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-
14	1402	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
14	1403	ห้องทำงานอาจารย์	17.39	2	4	-	-
14	1404	ห้องทำงานอาจารย์	16.5	2	4	-	-
14	1405	ห้องทำงานอาจารย์	18.22	2	4	-	-
14	1406	ห้องทำงานอาจารย์	17.33	2	4	-	-
14	1407	ห้องทำงานอาจารย์	19.07	2	4	-	-
14	1408	ห้องทำงานอาจารย์	18.18	2	4	-	-
14	1409	ห้องทำงานอาจารย์	15.01	2	4	-	-
14	1410	ห้องทำงาน	16.21	3	10	-	-
14	1411	ห้องทำงาน	16.8	2	10	-	-
14	1412	ห้องทำงานอาจารย์	16.22	1	4	-	-
14	1413	ดุริยางคศิลปีไทย	17.31	2	10	-	-
14	1414	ห้องทำงานอาจารย์	17.75	2	4	-	-
14	1415	ห้องทำงาน	17.17	2	10	-	-
14	1416	ห้องทำงานอาจารย์	17.64	2	4	-	-
14	1417	ห้องทำงาน	17.31	2	10	-	-
14	1418	ห้องทำงานอาจารย์	17.46	2	4	-	-
14	1419	ห้องทำงาน	17.17	2	10	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
14	1420	ห้องทำงาน	17.7	2	10	-	-
14	1421	ห้องทำงาน	17.31	2	10	-	-
14	1422	ห้องทำงาน	16.3	1	10	-	-
14	1423	ห้องทำงาน	17.35	2	10	-	-
14	1424	ภาควิชาดุริยางคศิลป์	16.29	3	10	-	-
14	1425	ห้องทำงาน	16.98	2	10	-	-
14	1426	ห้องทำงาน	14.8	2	10	-	-
14	1427	ห้องทำงาน	17.92	2	10	-	-
14	1428	ห้องทำงาน	19.15	2	10	-	-
14	1429	ห้องทำงาน	16.74	2	10	-	-
14	1430	ภาควิชานฤมิตศิลป์	17.94	3	10	-	-
14	1431	ห้องทำงาน	16.63	2	10	-	-
14	1432	ห้องทำงาน	17.82	2	10	-	-
14	1433	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
14	1433.1	ห้องซักล้าง	2.13	-	-	-	-
14	1434	ห้องน้ำหญิง	30.56	-	-	-	-
15	1500	ทางสัญจร	342.6	-	-	-	-
15	1503	ฝ่ายสำนักงานจดหมายเหตุหอประวัติ	87.29	6	10	-	-
15	1503	ห้องเก็บเอกสารหอประวัติ	146.06	-	-	-	-
				-	-	-	-
				-	-	-	-
15	1503	ห้องทรงงาน	62.95	5	10	-	-
15	1503	ห้องควบคุมปรับอากาศ	22.88	-	-	-	-
15	1504/1510	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	7.71	-	-	-	-
15	1504.1-1505	ห้องน้ำหญิง+ห้องสรง	32.69	-	-	-	-
15	1503	ห้องครัว	17.48	-	-	-	-
15	1503	ห้องผู้ติดตาม	22	-	-	-	-
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	86.78	5	10	-	-
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	187.56	20	10	-	-
15	1503	ห้องอเนกประสงค์	86.78	5	10	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง การสำรวจลักษณะการใช้งาน อาคารบรมราชกุมารี (ต่อ)

ชั้น	เลขห้อง	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนพนักงาน	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	จำนวนนักเรียน	ชั่วโมงเรียนต่อวัน
15	1503	ห้องรับรองเล็ก	17.48	-	-	-	-
15	1503	ห้องควบคุมระบบปรับอากาศ	22	-	-	-	-
15	1501	ห้องชาร์ปไฟฟ้า	8.74	-	-	-	-
15	1501.1	ห้องซักล้าง	1.78	-	-	-	-
15	1502	ห้องน้ำชาย	27.99	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	1033.29	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	50.78	-	-	-	-
16	1600	ทางสัญจร	50.78	-	-	-	-
16	1601	ห้องเครื่องลิฟต์	26.79	-	24	-	-
16	1602	ห้องเครื่องลิฟต์	26.79	-	24	-	-
16	-	-	19.27	-	-	-	-
16	-	-	19.27	-	-	-	-
17	-	-	41.02	-	-	-	-
17	-	-	41.02	-	-	-	-
รวม			18,556.73	440	6.8	2,575	ตารางสอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วริศรา ทัศนสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนปากช่อง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบันฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2559 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา นวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตย์ (Innovation Design in Ecological Architecture) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University