การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย
: กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวมาริสา จิวเวชดำรงค์กุล

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 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARISON OF ENERGY USE IN UNIVERSITY CHEMISTRY LABORATORY BUILDING : A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY

Miss Marisa Jewvachdumrongkul

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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย: กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นางสาวมาริสา จิวเวชดำรงค์กุล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มาริสา จิวเวชดำรงค์กุล : การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย: กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (COMPARISON OF ENERGY USE IN UNIVERSITY CHEMISTRY LABORATORY BUILDING : A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, 174 หน้า.

อาคารปฏิบัติการเคมี เป็นประเภทอาคารที่สำคัญในมหาวิทยาลัย สำหรับทำการวิจัยเพื่อการเรียนการสอน และการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์ หากแต่ในปัจจุบันยังขาดการเก็บข้อมูลพลังงานอย่างเป็นระบบ งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย โดยมีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นกรณีศึกษา เพื่อช่วยทำการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร และช่วยกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย

ในการศึกษาได้ทำการเก็บข้อมูลจากอาคารปฏิบัติการที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี จำนวน 4 อาคาร เป็นข้อมูลรายชั้นจำนวน 46 ชั้น และข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในรายห้องจำนวน 51 ห้อง ผลของการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่ใช้สอยรายชั้นเท่ากับ 1,357.60 m^2 มีขนาดพื้นที่ปรับอากาศเฉลี่ย 793.78 m^2 คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 61 และมีค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อปีเฉลี่ย 133.86 $kWh/m^2/year$ โดยมีการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ในลักษณะเป็นเส้นโค้งลาดมาทางบวก มีค่ามัธยฐานเฉลี่ยเท่ากับ 89.63 $kWh/m^2/year$ ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่าง (LPD) ต่อพื้นที่รายห้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 214.54 $Watt/m^2$ และ 12.90 $Watt/m^2$ ตามลำดับ โดยในการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อทำการหาสมการทำนายการใช้พลังงานรายชั้น ใช้ตัวแปรต้นเป็นขนาดพื้นที่ใช้สอย สมการที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.27 ($p<0.05$) มีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE และค่า CV(RMSE) เท่ากับ 0.37 และ 7.3% ตามลำดับ จากงานวิจัยนี้เสนอให้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเพิ่มจำนวนรายชั้นที่ทำการศึกษา และทำการศึกษาอาคารปฏิบัติการที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการรูปแบบอื่นเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการแต่ละรูปแบบภายในอาคารปฏิบัติการได้

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5873583725 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: UNIVERSITY LABORATORY BUILDING / ENERGY BENCHMARKING / ENERGY USE INTENSITY / EQUIPMENT POWER DENSITY / LIGHTING POWER DENSITY

MARISA JEWVACHDUMRONGKUL: COMPARISON OF ENERGY USE IN UNIVERSITY CHEMISTRY LABORATORY BUILDING : A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY. ADVISOR: ASST. PROF. VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D., 174 pp.

Chemistry laboratory building is an important building type in university. These buildings are used in studying and extending scientific knowledge. However, energy use data in this type of building have not been systematically analyzed. The objective of this research is to compare energy useage of laboratory buildings using Chulalongkorn University as a case study. The goal is to evaluate building energy performance and to help establish the energy conservation policy for university building.

This study collected energy use data per floor from 4 laboratory buildings with chemical and biochemical laboratories including energy consumption data from 46 floors, and power data of installed equipments from 51 rooms. The results should that average floor area was 1,367.60 m^2 with average air-conditions area of 793.78 m^2 (61% per floor). An average Energy Use Intensity (EUI) was 133.86 kWh/m^2/year. Data analysis showed that Energy Use Intensity (EUI) was positively skewed and the median value of EUI was 89.63 kWh/m^2/year. An average Equipment Power Density (EPD) and Lighting Power Density (LPD) per room were 214.54 Watt/m^2 and 12.90 Watt/m^2 respectively. The regression analysis showed that the gross floor area is the best predictor with coefficient of determination (r^2) of 0.27 ($p<0.05$), RMSE value was 0.37 and CV(RMSE) was 7.3%. This research suggests that the future study should collect more data from other types of laboratory buildings in university for a better comparison of energy use in university laboratory buildings.

Department:	Architecture	Student's Signature	.....
Field of Study:	Architecture	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2016		

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ทั้งนี้ขอขอบพระคุณ รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน และ รศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ และมอบคำแนะนำตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบจากภายนอก ผศ.ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่ได้สละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ขอขอบพระคุณสำนักบริหารกายภาพ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ภาควิชาเคมี ภาควิชาชีวเคมี และฝ่ายงานพัฒนาและบริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมไปถึงอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ผู้ประสานงาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอนุเคราะห์ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยาพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฑ

สารบัญแผนภูมิ ..... ด

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 4

1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา 5

1.5 ระเบียบวิธีการศึกษา 6

1.5.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 6

1.5.2 การสำรวจอาคาร และทำการศึกษาวิจัยนำร่อง (pilot study) 6

1.5.3 การเก็บบันทึกข้อมูล และการจัดเรียงข้อมูล 6

1.5.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ และรายงานผลการศึกษา 7

1.5.5 การสรุปผลการวิจัย 8

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

1.7 คำศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา 8

1.7.1 คำศัพท์ด้านพลังงาน 8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

1.7.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่พบในห้องปฏิบัติการเคมี และห้องปฏิบัติการชีวเคมี จากการสำรวจอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 9

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

2.1 ประเภทอาคาร และการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย 12

2.2 อาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยและการอนุรักษ์พลังงาน 15

2.2.1 การใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย 15

2.2.2 ปัญหาด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย 17

2.2.3 การอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการ 20

2.3 รูปแบบการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ 22

2.4 วิธีการประเมิน และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร 25

2.4.1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร 26

2.4.2 ขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร 27

2.4.3 การตรวจวัด ตรวจสอบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร 28

2.5 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ 31

2.5.1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) 31

2.5.2 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network – ANN) 35

2.5.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่ม (clustering method) 36

2.5.4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance - ANOVA) 37

2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอย 39

Chulalongkorn University

หน้า

2.7 สรุปการทบทวนวรรณกรรม 42
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย 47
3.1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาวิจัยนำร่อง 48
3.1.1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยนำร่อง 49
3.1.2 การศึกษาวิจัยนำร่อง (pilot study) 50
3.2 การเก็บขอข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิจัย 51
3.2.1 รายละเอียดข้อมูลที่ต้องเก็บ และการคัดเลือกข้อมูล 51
3.2.2 การติดต่อขอข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ 55
3.2.3 การเก็บข้อมูลจากการสำรวจอาคาร 57
3.3 การจัดเรียงข้อมูล และอธิบายข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 75
3.3.1 การจำแนกประเภทการใช้สอยพื้นที่อาคารรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมี 76
3.3.2 การแจกแจงข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 76
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาผลของการวิจัย 77
3.4.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างห้องแต่ละประเภทในอาคาร ปฏิบัติการเคมี และชีวเคมีของมหาวิทยาลัย 77
3.4.2 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมี 78
3.4.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย 79
3.4.4 การจัดกลุ่มอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย 80
3.4.5 การหาสมการทำนายการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย 80
3.5 สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการ 82
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล 83
4.1 ข้อมูลพื้นฐาน 84
4.1.1 ข้อมูลอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 84

หน้า

4.1.2 ข้อมูลสถานที่ตั้ง ขอบเขต และแปลนพื้นของอาคารปฏิบัติการ 85
4.1.3 ข้อมูลหน่วยงานผู้ดูแลอาคารปฏิบัติการรายชั้น 89
4.1.4 ข้อมูลประเภทการใช้สอยพื้นที่ของอาคารปฏิบัติการรายชั้น..... 90
4.1.5 ข้อมูลขนาดพื้นที่ และปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการ..... 94
4.1.6 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร 97
4.1.7 ข้อมูลการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องแต่ละประเภทของอาคารปฏิบัติการ 98
4.2 ผลการวิจัย 105
4.2.1 การวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานรายห้องในอาคารปฏิบัติการ 105
4.2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 108
4.2.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 110
4.2.4 การจัดลำดับร้อยละของค่าการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการเคมีของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 113
4.2.5 การทำนายค่าการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 114
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 119
5.1 สรุปผลการวิจัย 119
5.2 ข้อเสนอแนะ 131
รายการอ้างอิง 135
ภาคผนวก 139
ภาคผนวก ก การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้อง 140

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ภาคผนวก ข ระยะเวลาการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้อง 163

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 174

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ผลการศึกษาด่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/year) ของอาคาร 4 ประเภทในมหาวิทยาลัย กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 20

ตารางที่ 2.2 การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย..... 33

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีของอาคารสำนักงาน (kWh/m^2/year) 35

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบวิธีการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ 39

ตารางที่ 2.5 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานจากกรณีศึกษา..... 41

ตารางที่ 2.6 ผลสรุปค่า RMSE ของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 42

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ใช้เป็นกรณีศึกษา..... 84

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการใช้งานอาคารปฏิบัติการรายชั้นจำแนกตามหน่วยงาน 89

ตารางที่ 4.3 ระยะเวลาการเข้าใช้งานอาคารในแต่ละเดือน (วัน) ของการใช้งานเพื่อการเรียนการสอน (class day) และการใช้งานของบุคลากร (work day) 93

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลขนาดพื้นที่ และปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการเคมีของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 95

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร 98

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดรายห้องในอาคารปฏิบัติการ 100

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานรายห้องจำแนกตามรูปแบบระบบการใช้พลังงาน 103

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ติดตั้งอยู่รายห้อง (W/m^2) จำแนกตามประเภทการใช้งานรายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 106

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) จำแนกตามประเภทการใช้งานรายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 106

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนร้อยละของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละระบบตามประเภทการใช้งานรายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 107

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดของข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ และปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 109

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและปัจจัยต่าง ๆ 109

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำแนกตามประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้น (kWh/m^2/year) 111

ตารางที่ 4.14 ผลการจัดอันดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 114

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการกระจายตัวของตัวแปรจากข้อมูลรวม (Test of normality) 115

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการที่ 4.1 – 4.2 116

ตารางที่ 5.1 ผลสรุปการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำแนกตามประเภทการใช้งาน (kWh/m^2/year) 121

ตารางที่ 5.2 ผลสรุปการเปรียบเทียบค่าเกณฑ์การเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคาร (kWh/m^2/year) 122

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้ารายห้องจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) 124

ตารางที่ 5.4 ผลสรุปการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนการใช้พลังงาน (%) 125

ตารางที่ 5.5 ผลสรุปการเปรียบเทียบการกระจายตัวของประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคาร 126

ตารางที่ 5.6 การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น และค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่รายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 127

ตารางที่ 5.7 การจัดเกรดค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 128

ตารางที่ 5.8 ผลสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานจากกรณีศึกษา..... 130

ตารางที่ 5.9 ผลสรุปการเปรียบเทียบค่า RMSE ของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 131

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ระยะเวลาการใช้งานอาคารใน 1 วันของพื้นที่ใช้งานของอาคารในมหาวิทยาลัย 14
รูปที่ 2.2 ปัจจัยที่เป็นหลักเกณฑ์ในการประเมินด้วยวิธีการให้คะแนนห้องปฏิบัติการหรือ 18
รูปที่ 2.3 สรุปขั้นตอนที่ใช้ในการวิจัยพัฒนาวิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่มด้าน 37
รูปที่ 2.4 กรอบความคิดในงานวิจัย เรื่องการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน 46
รูปที่ 3.1 สรุปกรอบขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 48
รูปที่ 3.2 เครื่องถ่ายภาพด้วยคลื่นรังสี (Advanced Imaging System) 59
รูปที่ 3.3 ตู้อบเพาะเลี้ยงแบบจำลองสภาพอากาศ (Artificial Climate Incubator) 59
รูปที่ 3.4 เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Aspirator) 59
รูปที่ 3.5 ตู้ชีวนิรภัยหรือตู้ปลอดเชื้อ (Biosafety Cabinet) 60
รูปที่ 3.6 เครื่องหมุนเหวี่ยงสารให้เกิดการตกตะกอน (Centrifuge) 60
รูปที่ 3.7 เครื่องปั่นเหวี่ยงเพิ่มความเข้มข้นของสาร (Concentrator) 60
รูปที่ 3.8 เครื่องหมักเพาะเลี้ยง (Continuous Fermenter) 61
รูปที่ 3.9 เครื่องปั่นเหวี่ยงสารแบบควบคุมอุณหภูมิ (Control Temperature Centrifuge) 61
รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Digital Laboratory Scale) 61
รูปที่ 3.11 เครื่องย่อยสารโดยเตาหลุมให้ความร้อน (Digestion Unit) 62
รูปที่ 3.12 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Distillation Unit) 62
รูปที่ 3.13 เครื่องอุ่นหลอดทดลอง (Dry bath Heat block) 62
รูปที่ 3.14 ตู้กันความชื้น (Dry Cabinet) 63
รูปที่ 3.15 เครื่องอัดแรงดัน (French Press Cell) 63
รูปที่ 3.16 ตู้ดูดควันสารเคมี (Fume Hood) 63
รูปที่ 3.17 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของสารชนิดแก๊ส (GC-MS) 64

Chulalongkorn University

รูปที่ 3.18 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบสารชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง (HP-LC) 64
รูปที่ 3.19 ตู้อบแบบใช้ลมร้อน (Hot Air Oven) 64
รูปที่ 3.20 เตาให้ความร้อน (Hot Plate) 65
รูปที่ 3.21 เครื่องปั่นเหวี่ยงอุณหภูมิต่ำ (Illuminated Refrigerated Incubator Shaker)..... 65
รูปที่ 3.22 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Chromatograph) 65
รูปที่ 3.23 ตู้บ่มเพาะเลี้ยงเซลล์หรือเนื้อเยื่อ (Incubator) 66
รูปที่ 3.24 ตู้เพาะเลี้ยงแบบเขย่า (Incubator Shaker) 66
รูปที่ 3.25 ตู้ปลอดเชื้อแบบกรองอากาศ (Laminar Flow Cabinet) 67
รูปที่ 3.26 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน (Low Temperature Circulator) 67
รูปที่ 3.27 เครื่องทำระเหิดแห้ง (Lyophilizer) 67
รูปที่ 3.28 เครื่องวัดปริมาณสารเรืองแสง (Luminometer) 68
รูปที่ 3.29 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์ใช้กับสารปริมาณน้อย (Micro Centrifuge) 68
รูปที่ 3.30 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Mini Spray Drayer) 68
รูปที่ 3.31 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace) 69
รูปที่ 3.32 เครื่องเขย่าสารแนวราบ (Obital Shaker) 69
รูปที่ 3.33 เครื่องปั่นผสมสารละลาย (Overhead Stirrer) 69
รูปที่ 3.34 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH Meter) 70
รูปที่ 3.35 เครื่องกลั่นระเหยด้วยระบบสุญญากาศ (Rotary Evaporator) 70
รูปที่ 3.36 เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Rotary Vane Vacuum Pump) 70
รูปที่ 3.37 เครื่องดักจับไอกรด (Scrubber) 71
รูปที่ 3.38 เครื่องสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extractor) 71
รูปที่ 3.39 เครื่องปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสารพันธุกรรม (Thermal Cycler)..... 71
รูปที่ 3.40 เครื่องปั่นเหวี่ยงสารด้วยความเร็วสูง (Ultracentrifuge) 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.41 เครื่องทำความสะอาดที่ใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Cleaner) 72
รูปที่ 3.42 เครื่องทำปฏิกิริยาของเหลวด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Liquid Processor)..... 72
รูปที่ 3.43 เครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ (Ultra-Low Temperature Freezer) 73
รูปที่ 3.44 ตู้อบฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสี (UV Chamber) 73
รูปที่ 3.45 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer) 73
รูปที่ 3.46 เครื่องปั่นผสมสารละลาย (Vortex Mixer) 74
รูปที่ 3.47 เครื่องควบคุมอุณหภูมิหลอดทดลองด้วยน้ำ(Water Bath) 74
รูปที่ 3.48 เครื่องควบคุมอุณหภูมิหลอดทดลองด้วยน้ำแบบเขย่า (Water Bath Shaker) 74
รูปที่ 3.49 ตู้บ่มเชื้อแบบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Water-Jacketed CO_2 Incubator)..... 75
รูปที่ 3.50 เครื่องกลั่นน้ำบริสุทธิ์ (Water Purification System) 75
รูปที่ 4.1 ผังบริเวณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงตำแหน่งที่ตั้ง..... 86
รูปที่ 4.2 แปลนพื้นชั้นที่ 8 ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 87
รูปที่ 4.3 แปลนพื้นชั้นที่ 6 ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 87
รูปที่ 4.4 แปลนพื้นชั้นที่ 6 ของอาคารคลุ้มวัชโรบล 88
รูปที่ 4.5 แปลนพื้นชั้นที่ 7 ของอาคารมหามกุฎ 88
รูปที่ 4.6 ลักษณะการใช้งานประเภทห้องปฏิบัติการวิจัย 91
รูปที่ 4.7 ลักษณะการใช้งานประเภทห้องเรียนปฏิบัติการ 91
รูปที่ 4.8 ลักษณะการใช้งานประเภทห้องเรียนบรรยาย 92
รูปที่ 4.9 ลักษณะการใช้งานประเภทสำนักงาน 93
รูปที่ 4.10 แปลนพื้นชั้นที่ 5 – 7 อาคารคลุ้ม วัชโรบล และตำแหน่งห้องที่ทำการสำรวจเก็บข้อมูล 99
รูปที่ 4.11 แปลนพื้น ชั้น 7 – 9 อาคารมหามกุฎ และตำแหน่งห้องที่ทำการสำรวจเก็บข้อมูล 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 2.1 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้ารายคณะในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 19
แผนภูมิที่ 2.2 ดัชนีการใช้ตู้ดูดควันต่อพื้นที่ห้องปฏิบัติการ จำแนกตามประเภทของห้องปฏิบัติการ 23
แผนภูมิที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใช้สอยของห้องปฏิบัติชีววิทยา (sf) กับค่าเฉลี่ย 24
แผนภูมิที่ 2.4 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารภายใน 33
แผนภูมิที่ 2.5 การเทียบผลลัพธ์ระหว่างดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) และผลการทำนาย 36
แผนภูมิที่ 2.6 กราฟความถี่สะสมของข้อมูลดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ของกลุ่มข้อมูล A1-3 38
แผนภูมิที่ 4.1 ร้อยละ (%) ของการใช้พลังงานภายในห้องแต่ละประเภท 108
แผนภูมิที่ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น 111
แผนภูมิที่ 4.3 การกระจายตัวของข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น ตามประเภทการใช้งานของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (kWh/m^2/year) 113
แผนภูมิที่ 4.4 การกระจายตัวของตัวแปรทำนายการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการ .. 116
แผนภูมิที่ 4.5 การกระจายตัวของตัวแปรทำนายการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการ .. 116
แผนภูมิที่ 5.1 เกณฑ์สำหรับการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (kWh/m^2/year) 129

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas, GHG) ที่มาจากการใช้พลังงานในปริมาณมาก โดยการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศมาจาก 3 ภาคส่วน ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม ภาคการคมนาคม และภาคอาคารสิ่งปลูกสร้าง (ASEAN Centre for Energy, 2011) และยังมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในอันดับที่ 2 จากทั้งหมด 10 อันดับ ของกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้หรืออาเซียน (ASEAN) ทั้งนี้ประเทศไทยยังคงมีความต้องการด้านการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปีอีกด้วย (International Energy Agency, 2013) ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน และส่งผลกระทบต่อโลกอย่างต่อเนื่องมายาวนาน ในปัจจุบันหลายภาคส่วนทั่วโลกจึงได้ตระหนักถึงความสำคัญนี้ ทำให้เกิดนโยบาย และแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมากมาย เพื่อสนับสนุนให้เกิดการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559) โดยการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้นถือเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับการส่งเสริมให้เกิดขึ้นในหน่วยงาน และองค์กรต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เนื่องจากภาคอาคารสิ่งปลูกสร้างเป็นภาคส่วนที่สามารถผลักดันให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้มากที่สุด

มหาวิทยาลัยเป็นองค์กรหนึ่งที่ให้ความสำคัญในด้านการส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องมาจากมหาวิทยาลัยเป็นสถานที่ที่มีลักษณะกิจกรรม และการใช้สอยพื้นที่ทางด้านกายภาพที่หลากหลาย มีพื้นที่ขนาดใหญ่ และมีอาคารจำนวนมาก รวมถึงการมีปริมาณผู้ใช้งานอาคารสถานที่จำนวนมากเป็นระยะเวลาเกือบตลอดทั้งปี ภายในมหาวิทยาลัยไม่ได้มีเพียงกิจกรรมเพื่อการศึกษา และการทำวิจัย สำหรับนิสิตนักศึกษาหรือคณาจารย์เท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงการทำกิจกรรมสาธารณะที่มีความหลากหลาย จึงส่งผลให้มีความต้องการในการใช้พลังงานปริมาณมากเพื่อตอบสนองกิจกรรมทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัย หากแต่มหาวิทยาลัยส่วนมากนั้นยังไม่มีการจัดการในด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการที่ดีพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหลายมหาวิทยาลัยทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ต่างประสบปัญหาด้านการอนุรักษ์พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย ซึ่งอาจก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนอีกด้วย

อาคารปฏิบัติการ (laboratory building) เป็นหนึ่งในประเภทอาคารที่มีความสำคัญต่อมหาวิทยาลัย ทั้งในด้านการเรียนการสอน การค้นคว้าทดลองหรือการทำวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์ให้เกิดขึ้น และยังรวมไปถึงการรองรับสนับสนุนโครงการงานวิจัยของหน่วยงานหรือองค์กรทั้งจากภาครัฐบาลหรือจากภาคเอกชน ทำให้มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์จำนวนมาก จึงส่งผลให้อาคารปฏิบัติการมีการใช้พลังงานในปริมาณมาก เนื่องมาจากอาคารปฏิบัติการมีระยะเวลาการใช้งานอาคารที่มักแปรผันตามรูปแบบของห้องปฏิบัติการ และลักษณะของงานวิจัย ซึ่งแตกต่างกับอาคารประเภทอื่นในมหาวิทยาลัย ยกตัวอย่างเช่น อาคารเรียน และอาคารสำนักงาน มีลักษณะการใช้พลังงานตรงตามระยะเวลาการใช้งานอาคารที่กำหนดเอาไว้ ทำให้สามารถนำปริมาณการใช้พลังงานของอาคารเหล่านั้นมาอธิบายการใช้พลังงานหรือกิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคารได้อย่างชัดเจน แต่อาจไม่สามารถนำมาใช้กับอาคารปฏิบัติการได้เนื่องจากอาคารปฏิบัติการมีลักษณะการใช้พลังงานที่ไม่แน่นอน มักมีการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในการทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ต่อเนื่องจนกว่าจะได้มาซึ่งผลของการทดลองที่ต้องการ โดยอาคารปฏิบัติการเคมีเป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานปริมาณมากที่สุด และความต้องการใช้พลังงานในปริมาณมากนั้นอาจส่งผลกระทบต่อแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของมหาวิทยาลัยได้ ดังนั้นจึงควรที่จะส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยเป็นอย่างยิ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้มีการกำหนดวิสัยทัศน์ด้านการพัฒนาสู่มหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน (sustainable university) ขึ้นในปี พ.ศ. 2555 โดยมุ่งเน้นในด้านการอนุรักษ์พลังงานและการสร้างสิ่งแวดล้อมภายในมหาวิทยาลัยเช่นเดียวกัน (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555) รวมไปถึงการเข้าร่วมเป็นสมาชิกของ ISCN (International Sustainable Campus Network) ในปี พ.ศ. 2557 ซึ่ง ISCN เป็นองค์กรที่เกิดจากการรวมตัวกันของมหาวิทยาลัยในระดับสากลที่มุ่งพัฒนาสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนที่ตั้งอยู่ในทวีปยุโรป และทวีปอเมริกา หากแต่การดำเนินการสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนนั้น จะไม่สามารถสำเร็จได้หากขาดการสังเคราะห์ และวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน เพื่อใช้ประกอบการกำหนดนโยบายในการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมการจัดการด้านการใช้พลังงานหรือการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารจะช่วยให้สามารถประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของแต่ละอาคารได้ และสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากการเทียบประสิทธิภาพอาคารมาวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางปรับปรุง และควบคุมปริมาณการ

ใช้พลังงานภายในอาคาร รวมไปถึงสามารถวางแผนในการควบคุมค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานได้เช่นกัน ซึ่งในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีอาคารปฏิบัติการที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการเคมีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัยนี้

นอกจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานสำหรับอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย ในงานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาระบบในการเก็บรวบรวม การจัดการ และการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงาน จากอาคารปฏิบัติการจำนวน 4 อาคาร ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งล้วนเป็นอาคารปฏิบัติการที่มีรูปแบบห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี ประกอบอยู่ภายในชั้นใดชั้นหนึ่งของอาคาร เนื่องจากห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี เป็นรูปแบบห้องปฏิบัติการที่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีการใช้พลังงานในปริมาณมาก โดยดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเป็นรายชั้น รวมไปถึงการเก็บข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้ารายห้อง ได้แก่ จำนวน ชนิด และกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามลักษณะการใช้งานของห้องแต่ละประเภทภายในอาคารปฏิบัติการ สามารถจำแนกประเภทของห้องออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ห้องปฏิบัติการวิจัย ห้องเรียนปฏิบัติการที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ห้องเรียนบรรยาย และห้องสำนักงาน เพื่อให้เกิดฐานข้อมูลด้านสัดส่วนหรืออัตราการใช้ไฟฟ้าจากงานระบบการใช้ไฟฟ้าทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้ากำลังจากอุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ซึ่งจะสามารถอธิบายลักษณะการใช้ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการได้ และช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าระหว่างห้องแต่ละประเภทภายในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยได้ ในขณะเดียวกันผลของการศึกษายังช่วยให้ผู้บริหารหรือผู้ออกแบบอาคารสามารถหาแนวทางบริหารจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย และสามารถวางแผนหรือทำการกำหนดนโยบายด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในการปรับปรุงอาคารปฏิบัติการหรือการออกแบบอาคารปฏิบัติการในอนาคต ทำให้สามารถกำหนดมาตรการบริหารจัดการที่จะรองรับปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และวางแผนด้านการใช้พลังงานในอนาคตของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อพัฒนาเกณฑ์การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาสมการทำนายการใช้พลังงาน และหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

1.2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในรูปแบบของการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลจำนวนมาก และต้องมีการกำหนดขอบเขตของข้อมูลที่จะนำมาทำการศึกษา เพื่อให้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยคัดเลือกอาคารที่ประกอบด้วยรูปแบบห้องปฏิบัติการที่คาดว่าจะมีการใช้พลังงานปริมาณมากที่สุดที่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากภายในห้องปฏิบัติการ เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเก็บข้อมูลพบว่าในการเก็บข้อมูลบางส่วนมีข้อจำกัดที่ส่งผลให้ไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลได้ตามเป้าหมาย โดยมีขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา ดังต่อไปนี้

1.3.1 ศึกษาเฉพาะกรณีศึกษาอาคารปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีรูปแบบห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี ประกอบอยู่ภายในอาคารเท่านั้น โดยไม่รวมไปถึงอาคารที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการประเภทอื่น ๆ เช่น ห้องปฏิบัติการชีววิทยา เป็นต้น

1.3.2 ศึกษาเฉพาะอาคารปฏิบัติการเคมีที่มีข้อมูลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นรายชั้นที่จดบันทึกจากมิเตอร์วัดการใช้พลังงานรายชั้น และมีข้อมูลครบถ้วน 12 เดือน เป็นเวลา 1 ปีการศึกษา ในปีการศึกษา 2558 เริ่มตั้งแต่ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 เท่านั้น

1.3.3 ศึกษาเฉพาะค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารปฏิบัติการรายชั้นเท่านั้น โดยไม่รวมพื้นที่ภายนอกอาคาร ได้แก่ ระเบียง ทางเชื่อมระหว่างอาคาร และโถงหรือทางเดินภายนอกอาคารหรือพื้นที่ภายใต้ชายคาที่มีลักษณะเปิดโล่งสู่ภายนอกโดยไม่มีผนังกั้น และค่าพลังงานไม่รวมไปถึงการใช้พลังงานในระบบโดยสารระหว่างชั้น (lift) การใช้พลังงานในงานระบบเครื่องสูบน้ำ และระบบการบำบัดน้ำเสีย

1.3.4 ศึกษาเฉพาะกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในห้องเท่านั้น ไม่รวมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่บริเวณภายนอกห้องหรือพื้นที่ส่วนกลางของชั้น เช่น บริเวณโถงทางเดิน บริเวณระเบียง เป็นต้น

1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา

ในการวิจัยได้พบข้อจำกัดของข้อมูลที่จะนำมาใช้ทำการศึกษา เนื่องจากในการศึกษานี้มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลจำนวนมาก และข้อมูลแต่ละส่วนนั้นมีการเก็บบันทึกในลักษณะที่แตกต่างกันจากหลายหน่วยงาน ส่งผลให้ไม่สามารถทำการเก็บรวบรวมข้อมูลได้ครบถ้วนตามเป้าหมาย ไม่สามารถทำการศึกษาที่มีความละเอียดกว่าได้ และยังส่งผลให้ความแม่นยำของข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาลดลง โดยมีข้อจำกัดของการศึกษาที่พบดังต่อไปนี้

1.4.1 ข้อจำกัดด้านการเก็บรวบรวมข้อมูลจากอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากอุปสรรคในด้านการติดต่อสื่อสาร การที่ข้อมูลมีการสูญหายไม่สมบูรณ์ และระยะเวลาที่จำกัดในการเก็บรวบรวมข้อมูล จึงทำการคัดเลือกอาคารปฏิบัติการที่สามารถติดต่อหน่วยงานผู้ดูแลอาคารซึ่งให้ความยินยอมในการเข้าสำรวจอาคารสถานที่ และสามารถให้ข้อมูลตามเป้าหมายของการวิจัยได้อย่างครบถ้วนเท่านั้น

1.4.2 ข้อจำกัดด้านข้อมูลค่าการใช้ไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งไม่มีข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าแยกเป็นรายห้อง มีเพียงข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์ไฟฟ้ารายชั้นเท่านั้น จึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นรายชั้น โดยไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลรายห้องซึ่งมีความละเอียดมากกว่าได้

1.4.3 ข้อจำกัดด้านข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการจากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานของอาคารคลุ้มวัชโรบล และอาคารมหามกุฎ ได้รับเพียงข้อมูลจากการจดบันทึกตัวเลขเครื่องวัดกระแสในแต่ละเดือน และเป็นตัวเลขจากเครื่องวัดกระแสที่มีการต่อร่วมกับหม้อแปลงกระแส (Current Transformer, CT) จึงต้องทำการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในแต่ละเดือนเอง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานได้

1.4.4 ข้อจำกัดด้านข้อมูลกำลังไฟฟ้า (watt) จากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะการใช้งานแบบเฉพาะทาง จึงไม่สามารถทำการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าหรือปริมาณการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชิ้นได้ ในการศึกษานี้จึงมีจากการเก็บข้อมูลตามค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบุไว้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด (nameplate) ไม่ใช่ข้อมูลที่มาจากการติดตั้งเครื่องตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า (power meter) ที่ใช้ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งาน

1.4.5 ข้อจำกัดด้านข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการของงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการสำรวจสถานที่เพื่อบันทึกข้อมูล เนื่องจากหน่วยงานผู้ดูแลไม่มีการ

บันทึกรายละเอียดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดมีอายุการใช้งานยาวนานไม่สามารถสืบค้นข้อมูลได้ จึงทำการเทียบข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าในปัจจุบันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่พบ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิด

1.5 ระเบียบวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยระเบียบวิธีการศึกษาที่สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.5.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาหาเกณฑ์ ข้อกำหนด หรือแนวทางที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการ ได้แก่ ลักษณะการใช้พลังงานหรือแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของห้องปฏิบัติการ อาคารปฏิบัติการ หรืออาคารในสถานศึกษา รวมไปถึงตัวอย่างงานวิจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเรื่องการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย จากนั้นสรุปความรู้ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม และกำหนดตัวแปรของงานวิจัยตามการทบทวนวรรณกรรม เพื่อนำไปสู่การศึกษาวิจัยนำร่องในขั้นตอนต่อไป

1.5.2 การสำรวจอาคาร และทำการศึกษาวิจัยนำร่อง (pilot study)

ทำการสำรวจอาคาร และเก็บข้อมูลเบื้องต้นจากอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตามแนวทางที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม นำข้อมูลที่ได้รับมาเข้าสู่กระบวนการศึกษาวิจัยนำร่อง โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ เช่น ขนาดพื้นที่อาคาร จำนวนชั้น ลักษณะการใช้งานอาคาร ประเภทของห้องปฏิบัติการ หน่วยงานที่ต้องทำการติดต่อเพื่อขอข้อมูล เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะสามารถช่วยให้จำแนกประเภทการใช้งานอาคาร ลักษณะการใช้งานอาคาร และช่วยให้ทราบถึงขอบเขต และข้อจำกัดของข้อมูลในเบื้องต้นก่อนที่จะทำการเก็บข้อมูลอีกครั้งเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาสำหรับงานวิจัย อีกทั้งยังช่วยในการคัดเลือกข้อมูลสำหรับการนำไปใช้ในการวิจัย โดยการวิเคราะห์ปัญหาที่ได้จากการศึกษานำร่อง และการคัดกรองอาคารที่มีคุณสมบัติตามเป้าหมายของการวิจัยหรืออาคารที่สามารถให้ข้อมูลได้ครบถ้วนตามเป้าหมาย จากการศึกษาวิจัยนำร่องนี้ยังสามารถนำปัญหาจากการศึกษาที่พบมาทำการปรับปรุงก่อนที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยต่อไป

1.5.3 การเก็บบันทึกข้อมูล และการจัดเรียงข้อมูล

ทำการติดต่อหน่วยงานต่าง ๆ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางกายภาพอาคาร และข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย ได้แก่

1) แปลนอาคาร 2) ข้อมูลพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร, m^2) 3) ข้อมูลพื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร, m^2) 4) ลักษณะการใช้สอยอาคาร 5) ข้อมูลด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการรายชั้น (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง, kWh) ต่อเดือน รวม 1 ปี และทำการติดต่อขอข้อมูลปัจจัยอื่น ๆ ที่จะนำมาใช้หาความสัมพันธ์ที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมี ประกอบด้วย 2 ปัจจัยสำคัญ ได้แก่ 1) ข้อมูลชนิด จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าของแต่ละอาคารหรือห้องปฏิบัติการ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อชิ้น (วัตต์, W) 2) ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน รวมระยะเวลา 1 ปี (องศาเซลเซียส, C°)

ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลจำนวน 30 ชุดข้อมูลหรือมากกว่า ซึ่งเป็นจำนวนตามมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยคัดเลือกชุดข้อมูลตามการแนวทางที่ได้จากการศึกษาวิจัยนำร่อง หลังจากทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าประจำชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมาทำการหาดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารปฏิบัติการ (EUI) มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี หรือ kWh/m^2/year และนำผลที่ได้มาทำการจัดเรียงจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด จากนั้นหาค่าการใช้พลังงานรายชั้นที่น้อยที่สุด (min) หาค่าการใช้พลังงานรายชั้นที่มากที่สุด (max) หาค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานรายชั้น (mean) และค่ามัธยฐาน (median) ของการใช้พลังงานรายชั้นจากอาคารปฏิบัติการเคมี 4 อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แล้วจึงทำการจัดเรียงข้อมูลจากข้อมูลที่มีค่าน้อยที่สุดไปยังข้อมูลที่มีค่ามากที่สุด เพื่ออธิบายข้อมูลเชิงสถิติ และทำการแจกแจงข้อมูล

1.5.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ และรายงานผลการศึกษา

ทำการวิเคราะห์หาสัดส่วน และค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดต่อพื้นที่รายห้องในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย (EPD_{TOTAL}) วิเคราะห์จำแนกค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่รายห้อง (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่รายห้อง (LPD) จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย หาเกณฑ์การประเมิน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย โดยแบ่งข้อมูลตามช่วงอันตรภาคชั้น (range) เพื่อหาความถี่ (frequency) และอัตราร้อยละของค่าความถี่สะสม (cumulative frequency) ทำการกำหนดเกณฑ์เป้าหมายโดยทำการจัดลำดับตามอันดับร้อยละ (percentile ranking) และจัดเกรดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย ต่อมาทำการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของความถี่ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ประจำชั้นของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย (EUI) และหาตัวแปรที่สามารถใช้ในสมการทำนายการใช้พลังงานรายชั้นของ

อาคารปฏิบัติการ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอย (regression analysis) และวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (RMSE) ของสมการ เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติเรียบร้อยแล้วจึงทำการอภิปรายผลของการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

1.5.5 การสรุปผลการวิจัย

ทำการสรุปผลการวิจัย โดยอภิปรายเกณฑ์การประเมิน และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัยที่ได้จากการวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์ปัญหาที่พบในชั้นที่มีค่าการใช้พลังงานสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานหลังการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน จากนั้นจึงนำผลการประเมินมาทำการเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในอาคารอื่น ๆ ที่ได้จากกรณีศึกษา และเสนอแนะแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมี เพื่อให้ผู้บริหารหรือผู้ออกแบบสามารถนำข้อมูลด้านการใช้พลังงานไปใช้ในการวางแผนปรับปรุงหรือออกแบบอาคารปฏิบัติการในครั้งต่อไป และสามารถกำหนดนโยบายด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย

1.6.2 ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย

1.6.3 ได้แนวทางในการพัฒนาอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน และสามารถนำไปพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในอาคารปฏิบัติการของหน่วยงานหรือองค์กรอื่น ๆ ต่อไปได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 คำศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา

1.7.1 คำศัพท์ด้านพลังงาน

installed power	ค่ากำลังไฟฟ้าจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่ภายในห้อง (วัตต์, watt หรือ กิโลวัตต์, kW)
energy consumption	ปริมาณการใช้พลังงาน (กิโลวัตต์ชั่วโมง, kWh)
Gross Floor Area (GFA)	ขนาดของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารรายชั้น

(ตารางเมตร, m^2)

Energy Use Intensity (EUI) ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี, $kWh/m^2/year$)

โดยที่ EUI = $\frac{\text{Energy consumption (kWh/year)}}{\text{Gross Floor Area } (m^2)}$ (1.1)

Equipment Power Density (EPD) ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (วัตต์ต่อตารางเมตร, W/m^2)

โดยที่ EPD = $\frac{\text{Equipment Power (W)}}{\text{Gross Floor Area } (m^2)}$ (1.2)

Lighting Power Density (LPD) ค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (วัตต์ต่อตารางเมตร, W/m^2)

โดยที่ LPD = $\frac{\text{Lighting Power (W)}}{\text{Gross Floor Area } (m^2)}$ (1.3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่พบในห้องปฏิบัติการเคมี และห้องปฏิบัติการชีวเคมี จากการสำรวจอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Advanced Imaging System = เครื่องถ่ายภาพด้วยคลื่นรังสี
Artificial Climate Incubator = ตู้อบเพาะเลี้ยงแบบจำลองสภาพอากาศ
Aspirator = เครื่องปั๊มสุญญากาศ
Biosafety Cabinet = ตู้ชีวนิรภัยหรือตู้ปลอดเชื้อ
Centrifuge = เครื่องปั่นเหวี่ยงสารให้เกิดการตกตะกอน
Concentrator = เครื่องปั่นเหวี่ยงเพิ่มความเข้มข้นของสาร
Continuous Fermenter = เครื่องหมักเพาะเลี้ยง
Control Temperature Centrifuge = เครื่องปั่นเหวี่ยงสารแบบควบคุมอุณหภูมิ

Digital Laboratory Scale	=	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
Digestion Unit	=	เครื่องย่อยสารโดยเตาหลุมให้ความร้อน
Distillation Unit	=	เครื่องกลั่นไนโตรเจน
Dry bath Heat block	=	เครื่องอุ่นหลอดทดลอง
Dry Cabinet	=	ตู้กันความชื้น
French Press Cell	=	เครื่องอัดแรงดัน
Fume hood	=	ตู้ดูดควันสารเคมี
Gas Chromotography – Mass Spectrometry (GC-MS)	=	เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของสารชนิดแก๊ส
High Performance – Liquid Chromotography (HP-LC)	=	เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของสารชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง
Hot Air Oven	=	ตู้อบแบบใช้ลมร้อน
Hot Plate	=	เตาให้ความร้อน
Illuminated Refrigerated Incubator Shaker	=	เครื่องปั่นเหวี่ยงอุณหภูมิต่ำ
Incubator	=	ตู้อบเพาะเลี้ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ
Incubator Shaker	=	ตู้อบเพาะเลี้ยงควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า
Ion Chromatograph	=	เครื่องวิเคราะห์สารด้วยการแลกเปลี่ยนประจุ
Laminar Flow Cabinet	=	ตู้ปลอดเชื้อแบบกรองอากาศ
Low Temperature Circulator	=	เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน
Luminometer	=	เครื่องวัดปริมาณสารเรืองแสง
Lyophilizer	=	เครื่องทำระเหิดแห้ง
Micro Centrifuge	=	เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์ใช้กับสารปริมาณน้อย
Mini Spray Dryer	=	เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
Muffle Furnace	=	เตาเผาความร้อนสูง
Orbital Shaker	=	เครื่องเขย่าสารแนวราบ
Overhead Stirrer	=	เครื่องปั่นผสมสารละลาย
pH Meter	=	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย
Rotary Evaporator	=	เครื่องกลั่นระเหยด้วยระบบสุญญากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Rotary Vane Vacuum Pump	=	เครื่องปั๊มสุญญากาศ
Scrubber	=	เครื่องดักจับไอกรด
Solvent Extractor	=	เครื่องสกัดด้วยตัวทำละลาย
Thermal Cycler	=	เครื่องปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสารพันธุกรรม
Ultracentrifuge	=	เครื่องปั่นเหวี่ยงสารด้วยความเร็วสูง
Ultrasonic Cleaner	=	เครื่องทำความสะอาดที่ใช้คลื่นความถี่สูง
Ultrasonic Liquid Processor	=	เครื่องทำปฏิกิริยาของเหลวด้วยคลื่นความถี่สูง
Ultra-Low Temperature Freezer	=	เครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ (-80°C)
UV Chamber	=	ตู้อบฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสี
UV-Visible Spectrophotometer	=	เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
Vortex Mixer	=	เครื่องปั่นผสมสารละลาย
Water Bath	=	เครื่องควบคุมอุณหภูมิหลอดทดลองด้วยน้ำ
Water Bath Shaker	=	เครื่องควบคุมอุณหภูมิหลอดทดลองด้วยน้ำแบบเขย่า
Water-Jacketed CO_2 Incubator	=	ตู้บ่มเชื้อแบบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
Water Purification System	=	เครื่องกลั่นน้ำบริสุทธิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษานี้ได้มุ่งทำการสืบค้น วิเคราะห์ และสังเคราะห์เอกสาร เพื่อหาแนวคิด ทฤษฎี และกรณีศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวเนื่องกับเรื่องการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย รวมไปถึงเรื่องการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการ อาคารปฏิบัติการ และอาคารในสถานศึกษา โดยนำความรู้ที่ได้รับจากการทบทวนวรรณกรรมมาทำการวิเคราะห์ เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการศึกษาวิจัยต่อไป สามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 ส่วน ดังต่อไปนี้

2.1 ประเภทอาคาร และการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย

2.2 อาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยและการอนุรักษ์พลังงาน

2.3 รูปแบบการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

2.4 วิธีการประเมิน และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร

2.5 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอย

2.7 สรุปการทบทวนวรรณกรรม

2.1 ประเภทอาคาร และการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย

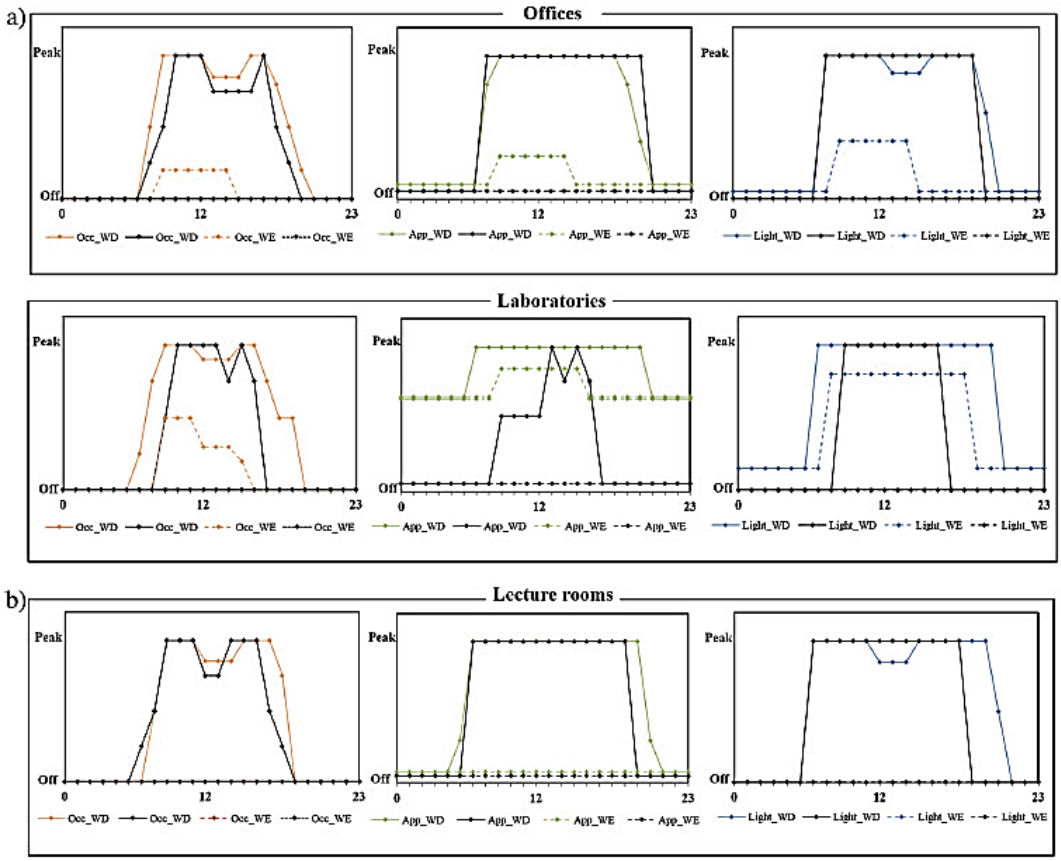
มหาวิทยาลัยเป็นสถานศึกษาขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยอาคารจำนวนมาก และมีรูปแบบการใช้งานอาคารที่หลากหลายอันเกิดจากทั้งด้านความแตกต่างของกิจกรรม ทั้งในด้านลักษณะของการใช้งานอาคาร รวมไปถึงด้านลักษณะของผู้ใช้งานอาคาร ซึ่งปัจจัยดังกล่าวล้วนส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคารแต่ละรูปแบบ ทำให้เกิดการใช้พลังงานปริมาณมากในมหาวิทยาลัย ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัยขึ้น จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า สามารถแบ่งประเภทของอาคารภายในมหาวิทยาลัยได้ตามลักษณะการใช้งานอาคาร และกิจกรรมที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 4 ประเภทอาคาร ได้แก่ อาคารสำนักงาน อาคารเรียน อาคารปฏิบัติการ และอาคารอเนกประสงค์ (สรญา กังวาล, 2557) ซึ่งอาคารแต่ละประเภทในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ภายในอาคารแตกต่างกัน โดยอาคารวิจัยหรืออาคารปฏิบัติการเป็นประเภทอาคารที่มีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการใช้พลังงานสูงที่สุด ทั้งนี้ข้อมูลยังได้แสดงให้เห็นถึงความ

แตกต่างของลักษณะการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภทในมหาวิทยาลัยภายใต้รูปแบบการใช้งานอาคารที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยของ Pacheco-Torres และคณะ (2016) ได้ทำการแบ่งประเภทของอาคารภายในมหาวิทยาลัยตาม CIBSE guide ของประเทศอังกฤษ โดยแบ่งรูปแบบพื้นที่ใช้งานของอาคารในมหาวิทยาลัยออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ พื้นที่สำนักงานแบบเปิดโล่ง (open plan office - office-intensive) พื้นที่ห้องบรรยายเพื่อการเรียนการสอน (education lecture room - teaching-intensive) และพื้นที่ห้องเรียนวิทยาศาสตร์เพื่อการเรียนการสอนแบบปฏิบัติการ (education science laboratory - laboratory-intensive) เพื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานของพื้นที่อาคารแต่ละประเภทใน 1 วัน ตลอด 24 ชั่วโมง แบ่งตามลักษณะการใช้งานพื้นที่ใช้งานอาคารที่แบ่งเป็น 3 ปัจจัย อันได้แก่ ปัจจัยด้านการเข้าใช้อาคารของผู้ใช้งาน (occupancy) การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment) และการใช้ไฟส่องสว่าง (lighting) โดยเปรียบเทียบระหว่างลักษณะการใช้พลังงานในสถานที่จริง และลักษณะการใช้งานตามมาตรฐาน National Calculation Methodology (NCM) modelling guide ที่จัดทำขึ้นสำหรับใช้กับอาคารที่อยู่ในประเทศอังกฤษ และเวลส์ ภายหลังจากทำการเปรียบเทียบได้แสดงผลของการศึกษาไว้เป็นแผนภูมิเส้นที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างพื้นที่ใช้งานอาคารแต่ละประเภทอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 2.1 ซึ่ง NCM (Department of Communities and Local Government, 2008) เป็นหนึ่งในมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลคล้ายกับมาตรฐาน ASHRAE หรือ CIBSE แต่มีการกำหนดสถานที่สำหรับใช้มาตรฐานนี้ไว้อย่างเจาะจง โดยมาตรฐาน NCM มีการนำเสนอเกณฑ์และแนวทางการพัฒนาอาคารสู่การเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน เช่น เกณฑ์ด้านการใช้พลังงานในระบบส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ เกณฑ์การใช้วัสดุเปลือกอาคาร การใช้สัดส่วนของช่องเปิดภายในอาคาร เป็นต้น รวมไปถึงมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำฐานข้อมูลด้านการใช้พลังงานในอาคารสำหรับทำการเปรียบเทียบ และจัดอันดับประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคาร

จากผลของการศึกษาในงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่า ลักษณะของการใช้พลังงานตามมาตรฐาน NCM มีความคล้ายคลึงกับลักษณะการใช้พลังงานในพื้นที่ใช้งานจริง ทั้งในพื้นที่ใช้งานประเภทสำนักงาน และห้องเรียน นอกจากนั้นยังพบความแตกต่างในพื้นที่ใช้งานประเภทห้องปฏิบัติการภายใต้ปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในทั้ง 3 ปัจจัย ซึ่งสาเหตุน่าจะเกิดจากรูปแบบการใช้งานของห้องปฏิบัติการ ที่ห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งที่มีลักษณะการทดลองหรือการวิจัยแตกต่างกันไปตามลักษณะในการใช้งาน ทำให้มีลักษณะการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการแตกต่างกันออกไปด้วย โดยเฉพาะในด้านการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีการใช้งานอุปกรณ์

ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการตลอดเวลาถึงแม้จะไม่มีผู้ใช้งานอาคารหรือแม้จะเป็นวันหยุดประจำสัปดาห์ก็ตาม ซึ่งต่างจากพื้นที่ใช้งานประเภทอื่นที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารอย่างสัมพันธ์กันกับระยะเวลาการเข้าใช้งานของผู้ใช้งานอาคารหรือมีการใช้พลังงานตามการเข้าใช้งานของผู้ใช้งานอาคาร



รูปที่ 2.1 ระยะเวลาการใช้งานอาคารใน 1 วันของพื้นที่ใช้งานของอาคารในมหาวิทยาลัยประเภทพื้นที่สำนักงาน พื้นที่ห้องปฏิบัติการ และพื้นที่ห้องเรียน แสดงการเข้าใช้งานของผู้ใช้งาน, อุปกรณ์ไฟฟ้า, และไฟส่องสว่าง เปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานระหว่างการใช้งานจริงในอาคารของมหาวิทยาลัย (color line) และมาตรฐาน NCM (black line) เส้นทึบแสดงการใช้งานในวันปกติ (workdays) และเส้นประ แสดงการใช้งานในวันหยุด (weekend)
ที่มา : Pacheco-Torres และคณะ (2016)

Chung M.H. และ Rhee E.K. (2014) ได้ศึกษาการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัยที่ตั้งอยู่ในประเทศเกาหลีใต้ โดยทำการจำแนกประเภทของอาคารตามอัตราส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้สอยที่พบภายในอาคาร เช่น จากสัดส่วนพื้นที่ภายในอาคาร 100% พบว่ามีพื้นที่ใช้สอยประเภท

ห้องเรียน 35% สำนักงาน 19% ห้องปฏิบัติการ 6% และพื้นที่ส่วนกลาง 40% หากยกเว้นพื้นที่ส่วนกลางของอาคารที่เป็นพื้นที่บริการที่ไม่สามารถจำแนกการใช้งานได้ จะพบว่าสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้สอยที่พบมากที่สุดคือ พื้นที่ประเภทห้องเรียน จึงจัดว่าอาคารนี้เป็นอาคารประเภทอาคารเรียน เป็นต้น ส่วนประเภทของอาคารในมหาวิทยาลัยที่พบตามการวิจัย ได้แก่ อาคารเรียน อาคารปฏิบัติการ อาคารสันทนาการ และอาคารสำนักงาน ในงานวิจัยของ James A. Davis III และคณะ (2010) ได้มีการแบ่งประเภทของอาคารตามอัตราส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารจากลักษณะการใช้งานที่พบมากที่สุดเช่นเดียวกัน เพื่อทำการศึกษาเรื่องระยะเวลาการใช้งานอาคารแต่ละประเภทของมหาวิทยาลัยในหนึ่งวันจากตัวแปรผู้ใช้งานอาคาร (occupancy) พบว่า อาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยมีระยะเวลาการใช้งานจากผู้ใช้งานอาคารประมาณ 7-12 ชั่วโมงในวันทำการ และมีการเข้าใช้งานของผู้ใช้งานต่างจากอาคารประเภทอื่นในมหาวิทยาลัย เนื่องจากมีช่วงระยะเวลาไม่แน่นอน และไม่มีตารางเวลาการใช้งานอาคารกำหนดไว้

2.2 อาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยและการอนุรักษ์พลังงาน

อาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย (university laboratory building) คือ อาคารที่ประกอบไปด้วยห้องปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอนหรือห้องเรียนปฏิบัติการ (learning laboratory) หรือห้องปฏิบัติการวิจัย (research laboratory) และหรือห้องปฏิบัติการทดสอบ (testing laboratory) ซึ่งยังสามารถแบ่งประเภทของห้องปฏิบัติการตามลักษณะของการวิจัยหรือลักษณะการใช้งานได้อีกหลายประเภท (ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล, 2551) นอกเหนือจากพื้นที่ใช้สอยของห้องปฏิบัติการ อาคารปฏิบัติการยังประกอบด้วยห้องเรียนบรรยาย (lecture room) ห้องเตรียมสารเคมี ห้องเก็บสารเคมี ห้องพักอาจารย์หรือนิสิต และรวมไปถึงการมีพื้นที่ใช้สอยส่วนสำนักงาน (office) สำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการ ซึ่งห้องเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของห้องปฏิบัติในการบริหารจัดการ และสนับสนุนด้านการใช้งานของห้องปฏิบัติการ จึงถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของห้องปฏิบัติการด้วยเช่นกัน

2.2.1 การใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย

อาคารปฏิบัติการเป็นอาคารที่มีความแตกต่างจากอาคารประเภทอื่นของมหาวิทยาลัยในหลายด้าน เช่น ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ (laboratory equipment type) ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร (schedule) และงานระบบประกอบอาคาร เป็นต้น อย่างไรก็ตามถึงแม้จะเป็นอาคารที่มีรูปแบบเป็นอาคารปฏิบัติการเหมือนกัน แต่อาคารปฏิบัติการแต่ละอาคารก็มักประกอบไปด้วยประเภทของห้องปฏิบัติการที่ต่างกัน และมีลักษณะของการทดลองหรืองานวิจัย

ต่างกันไปอีกเช่นกัน โดยปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย อาทิเช่น ปัจจัยด้านจำนวน และชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ และระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งสามารถทำการจำแนกลักษณะการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการได้เบื้องต้นจากรูปแบบของห้องปฏิบัติการ กล่าวได้ว่า อาคารปฏิบัติการเป็นประเภทอาคารที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงที่สุดในมหาวิทยาลัย และเป็นการใช้พลังงานที่มาจากการใช้อุปกรณ์ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ (laboratory equipment) มากที่สุด (Pacheco-Torres et al., 2016) โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในห้องปฏิบัติการมักมีการเปิดใช้งานไว้ตลอดเวลาเพื่อใช้ในการทดลองหรือใช้สำหรับการหาผลลัพธ์ทางการวิจัย ซึ่งต่างจากอาคารประเภทอื่นที่มีการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า และไฟส่องสว่างภายในอาคารอย่างสัมพันธ์กันกับการเข้าใช้งานของผู้ใช้งานอาคาร เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความจำเป็นต้องเปิดใช้งานตลอดเวลาจึงมีการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดเมื่อเลิกใช้งานอาคาร ดังนั้นจึงไม่สามารถคาดคะเนถึงลักษณะการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการได้เหมือนกับอาคารประเภทอื่น

เนื่องด้วยประเทศไทยนั้นตั้งอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น จึงส่งผลให้มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อช่วยในการทำความเย็น และช่วยในการระบายอากาศให้เกิดสภาวะน่าสบายที่เหมาะแก่การทำกิจกรรมภายในอาคารของมหาวิทยาลัย จากการสำรวจอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่าอาคารส่วนมากในมหาวิทยาลัยยังนิยมใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split-type air conditioning system) มากกว่าการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central air-conditioning system) ซึ่งน่าจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยด้วยเช่นกัน ดังนั้นในอาคารส่วนมากจึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ยกตัวอย่างเช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานซึ่งมีการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศมีสัดส่วนเฉลี่ยมากถึงร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารสำนักงาน (กรกมล ตันติวนิช, 2553)

ในด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการพบว่า มีการใช้ไฟฟ้าปริมาณมากกว่าการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานถึง 5 เท่า (USEPA, 2003) โดยมีสัดส่วนของการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการที่จำแนกการใช้พลังงานตามลักษณะการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าดังนี้ สัดส่วนการพลังงานจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment) 60% การใช้ระบบปรับอากาศ (air conditioner) 30% และการใช้ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (lighting) 10% อย่างไรก็ตามสัดส่วนของการใช้พลังงานภายในอาคารปฏิบัติการตามการทบทวนวรรณกรรมนี้ อาจมีค่าสัดส่วนที่เปลี่ยนไปตามสภาพภูมิอากาศหรืออุณหภูมิภายนอกอาคาร และอาจไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้

กับอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยได้ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศที่มีลักษณะแตกต่างกันอาจทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการนั้นต่างกันด้วยเช่นกัน

2.2.2 ปัญหาด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย

เนื่องจากอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยเป็นอาคารที่มีความหลากหลายในด้านการใช้งาน และยังส่งผลถึงการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการโดยตรง ทำให้เกิดเป็นอุปสรรคต่อมหาวิทยาลัยที่กำลังพัฒนาสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน จึงนำมาสู่การสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวเนื่องกับเรื่องอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย ทำให้พบกรณีศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยหลายแห่ง ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยส่วนมากนั้น มักเกี่ยวกับการจัดการอาคารเพื่อสนับสนุนอาคารปฏิบัติการในด้านต่าง ๆ ที่คล้ายคลึงกัน แต่ปัญหาด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการถือเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุด และพบมากในทุกมหาวิทยาลัยที่กำลังทำการพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน ดังกรณีศึกษาของ University of California at Santa Cruz (UCSC) ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีแนวทางการดำเนินการให้อาคารปฏิบัติการ ในมหาวิทยาลัยมุ่งสู่การเป็นอาคารปฏิบัติการสีเขียว (UCSC Green lab) โดยการใช้วิธีประเมินอาคารปฏิบัติการทั้งมหาวิทยาลัยด้วยการให้คะแนนตามหัวข้อต่าง ๆ และให้รางวัลกับหน่วยงานหรืออาคารที่ได้รับคะแนนผ่านเกณฑ์ตามที่กำหนดไว้ (University of California at Santa Cruz, 2016) เนื่องจากได้พบปัญหาจากอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยที่ส่งผลต่อการพัฒนามหาวิทยาลัยสู่ความยั่งยืนเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งเกิดจาก 3 สาเหตุดังนี้

1) ประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย ที่มีอัตราการใช้พลังงานมากถึง 47.4% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในมหาวิทยาลัย

2) ด้านการจัดการของเสีย พบว่าการดำเนินในห้องปฏิบัติการของอาคารเพียงส่วนเดียวนั้นสามารถสร้างของเสียปริมาณมากถึง 12% จากของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัย

3) ด้านการจัดซื้อ ที่พบว่าเกิดการสั่งซื้ออุปกรณ์ และสารเคมีต่าง ๆ เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดขยะปริมาณมากตามมาด้วย

โดยแนวทางการจัดการด้านการใช้พลังงานในอาคารวิจัยของ UCSC ได้แก่ การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ทำการทดลองโดยใส่ใจด้านการอนุรักษ์พลังงาน ปิดไฟหรือถอดปลั๊กอุปกรณ์เมื่อไม่มีการใช้งาน เป็นต้น

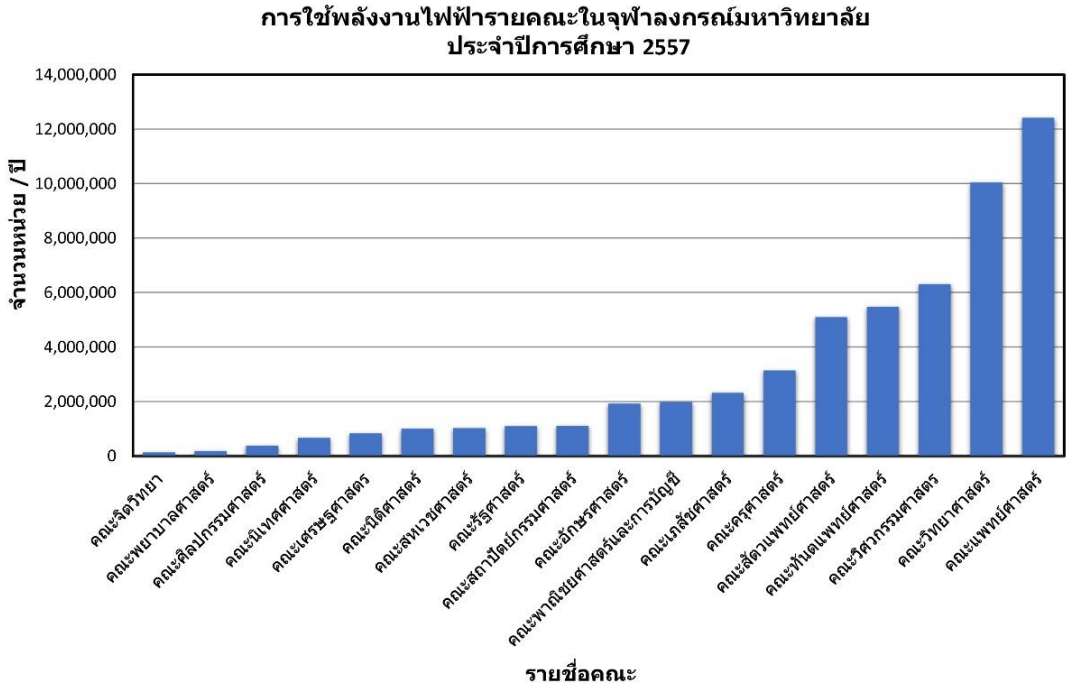
อีกหนึ่งกรณีศึกษาจาก University of Illinois (UIC) เป็นอีกตัวอย่างของมหาวิทยาลัยที่ตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกาเช่นกัน มีการจัดทำโครงการ Green labs challenge ดังรูปที่ 2.2 เพื่อส่งเสริมให้อาคารปฏิบัติการภายในมหาวิทยาลัย UIC สามารถปรับปรุง และบริหารจัดการให้เกิดการพัฒนาสู่การเป็นอาคารปฏิบัติการสีเขียวเช่นเดียวกัน เนื่องจากพบว่า อาคารปฏิบัติการนั้นเป็นจุดอ่อนสำคัญของมหาวิทยาลัยต่อการจัดการในด้านการใช้พลังงาน และการจัดการของเสียต่าง ๆ (University of Illinois, 2013) จึงควรที่จะต้องส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการ และให้ความสำคัญในการจัดทำนโยบายต่าง ๆ ขึ้นมา ถือเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน UIC ได้ใช้วิธีการจัดทำการประเมินอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยด้วยวิธีการให้คะแนนร่วมกันกับระบบการให้รางวัลอาคารปฏิบัติการที่สามารถผ่านเกณฑ์การประเมินได้ เพื่อเป็นการส่งเสริมให้อนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.2 ปัจจัยที่เป็นหลักเกณฑ์ในการประเมินด้วยวิธีการให้คะแนนห้องปฏิบัติการหรืออาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย

ที่มา : University of Illinois (2013)

ส่วนจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ ก็พบปัญหาด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการด้วยเช่นกัน โดยพบว่าคณะแพทย์ศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าประจำปีการศึกษาเกิน 10 ล้านหน่วย ซึ่งเป็น 2 คณะที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในมหาวิทยาลัย ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.1 จากการวิเคราะห์เบื้องต้นน่าจะเกิดจากการที่ทั้ง 2 คณะนั้นมีจำนวนของอาคารปฏิบัติการ และห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอน และการค้นคว้าหรือทำการทดลองอยู่จำนวนมาก อย่างไรก็ตามทาง

คณะวิทยาศาสตร์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้จัดทำนโยบายเพื่อส่งเสริมให้เกิดการประหยัดพลังงานภายในอาคารด้วยเช่นกัน เช่น การปิดเครื่องปรับอากาศหรือปิดไฟเมื่อไม่มีผู้ใช้งาน การจำกัดระยะเวลาในการใช้ห้องปฏิบัติการ การเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟส่องสว่างให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น เป็นต้น (กนกทิพย์ ภักดีบำรุง, 2560) แต่แนวทางสำหรับการปฏิบัตินี้ก็ยังไม่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการของคณะวิทยาศาสตร์ลงได้มากนัก เนื่องจากพบว่าอาคารปฏิบัติการเป็นอาคารที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ 101.75 kWh/m^2/year ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นประเภทของอาคารที่มีการใช้พลังงานสูงที่สุดในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2.1 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้ารายคณะในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2557

ที่มา : ฝ่ายสถาปัตยกรรมและโครงสร้างพื้นฐาน สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2556)

ตารางที่ 2.1 ผลการศึกษาด่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/year) ของอาคาร 4 ประเภท ในมหาวิทยาลัย กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเภทอาคาร	Median	Average	Minimum	Maximum
อาคารสำนักงาน (Office)	110.42	90.69	48.48	433.12
อาคารเรียน (Lecture)	70.23	69.46	21.36	260.16
อาคารอเนกประสงค์ (Extra)	61.35	66.73	24.66	138.05
อาคารวิจัย (Laboratory)	83.91	101.75	21.50	226.28

ที่มา : สรญา กังวาล (2557)

2.2.3 การอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการ

การอนุรักษ์พลังงาน หมายถึง การผลิตและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และการประหยัดพลังงาน ในการอนุรักษ์พลังงานนอกจากจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในกิจการแล้ว ยังจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากทั้งแหล่งที่ใช้ และผลิตพลังงานอีกด้วย (กระทรวงพลังงาน, 2556) ส่วนการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้นก็มีความหมายในทิศทางเดียวกัน คือ การลดการใช้พลังงานภายในอาคาร และการใช้พลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อประหยัดพลังงาน และรวมไปถึงการลดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการใช้พลังงานในอาคารอีกด้วย โดยในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารมักมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ได้แก่ ขนาดของพื้นที่ใช้สอย อุปกรณ์ไฟฟ้า รูปแบบการใช้งาน และประเภทของผู้ใช้งานอาคาร (Efficiency Valuation Organization, 2012)

ปัจจุบันในหลายประเทศทั่วโลกได้มีการจัดตั้งองค์กรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวเนื่องกับการจัดการอาคารปฏิบัติการ และห้องปฏิบัติการจำนวนมาก เกิดการศึกษา และรวบรวมข้อมูลของอาคารปฏิบัติการที่มีความแตกต่างกันทั่วโลกซึ่งประกอบด้วยประเภทของห้องปฏิบัติการที่แตกต่างกันไป รวมไปถึงการมีลักษณะการใช้งานอาคารที่แตกต่างกัน โดยหน่วยงานที่มีบทบาทมากที่สุดในด้านการจัดการพลังงานของอาคารปฏิบัติการในปัจจุบัน ได้แก่ หน่วยงานที่ส่งเสริมและดูแลห้องปฏิบัติการ (International Institute for Sustainable Laboratories – I^2SL) และหน่วยงานที่มีการสนับสนุนการพัฒนาห้องปฏิบัติการเพื่ออนาคต (Laboratories for the 21st century – Labs21) โดย Labs21 เป็นผู้พัฒนาระบบการเทียบประสิทธิภาพของอาคารปฏิบัติการ

โดยใช้แนวทางเดียวกันกับการเทียบประสิทธิภาพของ Energy Star ซึ่งเป็นผู้ที่ทำการพัฒนาระบบเทียบประสิทธิภาพของทั้งอาคารพักอาศัย และอาคารสาธารณะ รวมไปถึงการวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ อีกด้วย

Labs21 ได้มีการพัฒนาฐานข้อมูลที่สามารถใช้ทำการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการทั่วโลกได้ เช่น การจัดทำแนวทางการออกแบบอาคารปฏิบัติการ และห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงแนวทางการประเมินประสิทธิภาพอาคาร และการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารในด้านต่าง ๆ เป็นต้น โดยมีการกำหนดแนวทาง และมาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับห้องปฏิบัติการตาม LEED ASHRAE 90.1 ของประเทศสหรัฐอเมริกาในหลายด้าน ได้แก่ การเลือกสถานที่ตั้งโครงการ (sustainable sites) การบริหารจัดการน้ำ (water efficiency) การใช้พลังงาน (energy) การเลือกวัสดุ (materials & resources) คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (indoor environmental Quality) และด้านนวัตกรรมและการออกแบบ (innovation and design process) ซึ่งด้านการใช้พลังงานสำหรับห้องปฏิบัติการนั้นเป็นด้านที่มีค่าน้ำหนักคะแนนมากที่สุด และยังประกอบไปด้วยการใช้พลังงานจากส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบปรับอากาศ ระบบไฟส่องสว่าง การปรับปรุงระบบการใช้พลังงาน การนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเฉพาะทางของห้องปฏิบัติการ

การรวบรวมข้อมูลของอาคารปฏิบัติการที่มีความแตกต่างกันจำนวนมากนี้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการทางสถิติในการหาค่าเฉลี่ยของอาคารปฏิบัติการให้สามารถทำการประเมินและเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการของตนกับอาคารปฏิบัติการอื่น ๆ ได้ วิธีการนี้จะทำให้ทราบประสิทธิภาพของอาคารปฏิบัติการในเบื้องต้น หากหลังการเทียบประสิทธิภาพแล้วพบว่า อาคารปฏิบัติการของตนนั้นมีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของอาคารที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกัน ก็จะสามารถทำการประเมินอาคารเพิ่มเติมเพื่อหาสาเหตุ และแนวทางการแก้ไขต่อไป ซึ่งวิธีการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน (energy benchmark) ด้วยวิธีการทางสถิติ เป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการวัดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการ (USEPA, 2010) ก่อนที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้มาจากการเทียบประสิทธิภาพหรือประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์หาวิธีการแก้ปัญหาหรือการปรับปรุงอาคารต่อไป

2.3 รูปแบบการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มักเป็นห้องปฏิบัติการสำคัญที่มีในทุกมหาวิทยาลัย เพื่อใช้ทำการคิดค้น วิจัย พัฒนาองค์ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นส่วนสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าทางการศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ห้องปฏิบัติที่ใช้ในการวิจัยทางวิทยาศาสตร์นั้นมีอยู่หลายประเภท แต่ละประเภทล้วนมีลักษณะการใช้พลังงานภายในห้องปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยมักขึ้นอยู่กับลักษณะของงานวิจัยที่ส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ทำการทดลอง และระยะเวลาของทดลองแตกต่างกันไป แต่ห้องปฏิบัติการประเภทหลักที่นำมาใช้จำแนกสาขาวิชาภายในสถานศึกษามีทั้งหมด 3 ประเภท ที่มาจากการศึกษาของ ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล (2551) ดังต่อไปนี้

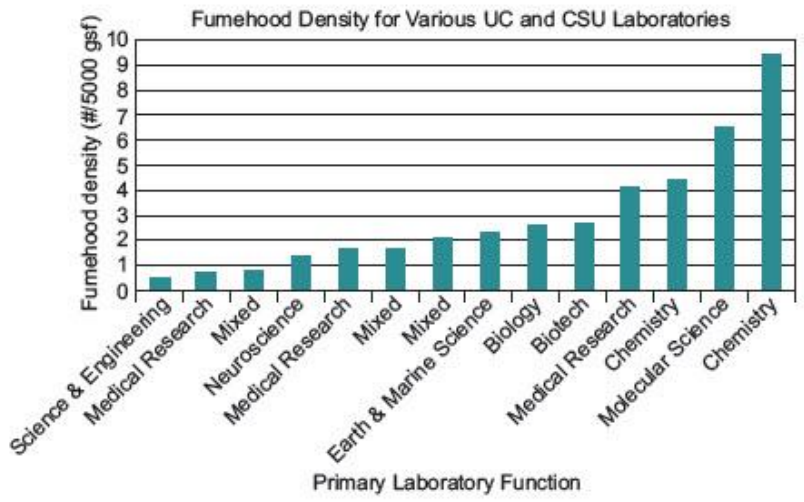
1) ห้องปฏิบัติการชีววิทยา (Biology laboratory) มักเป็นห้องปฏิบัติการที่มีการทดลองเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต เช่น การเพาะเลี้ยง การวิเคราะห์เนื้อเยื่อ เป็นต้น มีการใช้โต๊ะปฏิบัติการ (bench) จำนวนมาก และมีอุปกรณ์ไฟฟ้าหลักที่มักใช้ประกอบในห้องปฏิบัติการ เช่น ตู้นิรภัยชีวภาพ (biosafety cabinet) ตู้อบ (incubator) ตู้เย็น (refrigerator) ตู้แช่ (freezer) เป็นต้น

2) ห้องปฏิบัติการเคมี (Chemistry laboratory) มักเป็นห้องปฏิบัติการแบบเปียกที่ทำการทดลองเกี่ยวกับสารเคมีหลายชนิด จึงจำเป็นต้องมีการใช้ตู้ควัน (fume hood) จำนวนมาก และมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทำความร้อน เช่น เตาให้ความร้อน (hot plate) ตู้เพาะเลี้ยง (incubator) เป็นต้น รวมถึงมีการใช้แก๊สชนิดต่าง ๆ มีการใช้ไฟฟ้าปริมาณมากจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องมือเฉพาะทาง

3) ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ (Physics laboratory) มักมีความต้องการพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าห้องปฏิบัติการประเภทอื่นสำหรับวางอุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และระบบติดต่อสื่อสาร รวมถึงมีความต้องการด้านอื่นอีกด้วย เช่น การควบคุมเสียง การควบคุมการสั่นสะเทือน และป้องกันสนามแม่เหล็ก เป็นต้น

นอกเหนือจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ประเภทหลัก ยังมีห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เฉพาะทางอีกหลายประเภทที่แตกแขนงออกมาจาก 3 ประเภทหลัก เช่น ห้องปฏิบัติการชีวเคมี ห้องปฏิบัติการปิโตรเลียมหรือปิโตรเคมี ห้องปฏิบัติการเคมีฟิสิกส์ ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม เป็นต้น ซึ่งรูปแบบในการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการแต่ละประเภทต่างก็มีชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า และมีความต้องการใช้รูปแบบพื้นที่ใช้สอยแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการใช้งาน การทดลอง และการวิจัยที่สนใจ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัย โดยรูปแบบการใช้พลังงานของ

ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มักมีการใช้พลังงานที่จากระบบไฟฟ้ากำลังจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามากกว่าจากระบบปรับอากาศต่างจากห้องเรียนหรือสำนักงาน เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการนั้นเองก็มีการปล่อยความร้อนออกมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในขณะที่เครื่องหรืออุปกรณ์เหล่านั้นกำลังทำงาน ส่งผลต่ออุณหภูมิของห้อง และเป็นการเพิ่มภาระการทำงานของระบบปรับอากาศในอีกทางหนึ่ง ทั้งนี้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะในห้องปฏิบัติการ และยังพบมากในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ตู้ดูดควัน (Fume hood) โดยพบว่าห้องปฏิบัติการเคมีเป็นห้องปฏิบัติการที่มีการใช้จำนวนของตู้ดูดควันต่อพื้นที่มากที่สุด (USEPA, 2007) ดังแผนภูมิที่ 2.2 ซึ่งดัชนีของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ในห้องปฏิบัติการนั้น น่าจะเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

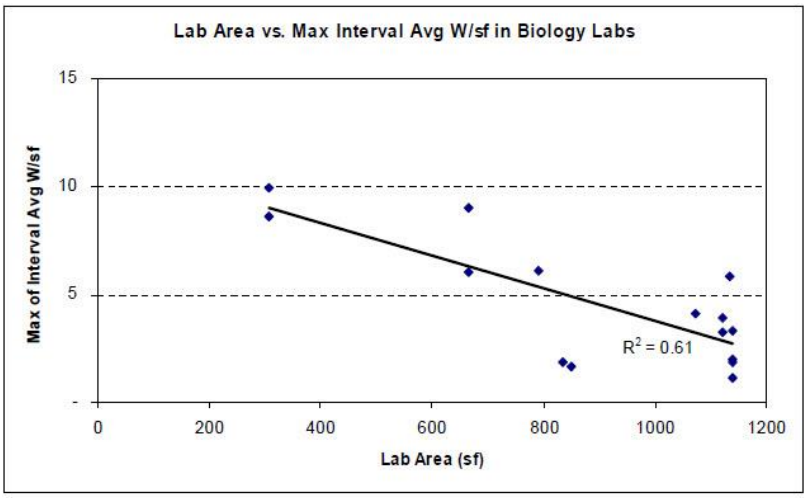


แผนภูมิที่ 2.2 ดัชนีการใช้ตู้ดูดควันต่อพื้นที่ห้องปฏิบัติการ จำแนกตามประเภทของห้องปฏิบัติการ

ที่มา : United States Environmental Protection Agency (2007)

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มักจะแปรผันตามค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ในห้องปฏิบัติการ (Equipment Power Density, EPD) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) หรือวัตต์ต่อตารางฟุต (W/f^2) และยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านพื้นที่ใช้สอยของห้องปฏิบัติการชีววิทยา (sf) และค่า EPD (W/f^2) โดยมีความสัมพันธ์กัน 61% ดังแผนภูมิที่ 2.3 แสดงถึง ค่า EPD ของห้องปฏิบัติการชีววิทยาที่จะลดลงตามขนาดพื้นที่ของห้องปฏิบัติการที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยพบว่า ค่า EPD และ LPD สำหรับห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 มีค่าเท่ากับ 120 W/m^2 และ 18 W/m^2 ตามลำดับ ทั้งนี้หาก

จำแนกค่า EPD ตามรูปแบบของห้องปฏิบัติการจะพบว่า ห้องปฏิบัติการทางชีววิทยานั้นมีช่วง 1-10 W/f^2 หรือ 10-100 W/m^2 ส่วนห้องปฏิบัติการเคมีมีค่า EPD เท่ากับ 4 W/f^2 หรือ 40 W/m^2 ในขณะเดียวกันค่า EPD ของห้องปฏิบัติการก็ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโต๊ะปฏิบัติการ (bench) ภายในห้องปฏิบัติการอีกด้วย ซึ่งหากไม่มีการใช้โต๊ะปฏิบัติการภายในห้องเลยก็อาจทำให้ห้องปฏิบัติการมีค่า EPD สูงถึง 15 W/f^2 หรือ 150 W/m^2 (USEPA, 2005) ส่วนด้านระบบส่องสว่างที่นับเป็นหนึ่งในสัดส่วนของระบบที่ส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารนั้น สามารถใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ของห้องปฏิบัติการ (Lighting Power Density, LPD) ใช้ในการเทียบประสิทธิภาพ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) หรือต่อตารางฟุต (W/f^2) โดยพบว่า ค่า LPD ของอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าเท่ากับ 1.3 W/f^2 หรือ 13 W/m^2 (USEPA, 2010)



แผนภูมิที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใช้สอยของห้องปฏิบัติชีววิทยา (sf) กับค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า (W/f^2)

ที่มา : Laboratories for the 21st Century (2007)

การเก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการ มักนิยมเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้อง (peak equipment load) ด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การใช้เครื่องมือตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าขณะเปิดใช้งานโดยตรง และการตรวจนับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องพร้อมทั้งสังเกตค่ากำลังไฟฟ้าจากตัวเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรง (nameplate) หรือทำการตรวจสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเอกสารคู่มือของอุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าว (Laboratories for the 21st Century, 2007) ซึ่งการเก็บข้อมูลการใช้

พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการนี้ จะช่วยบอกลักษณะการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการแต่ละประเภท และยังช่วยให้ทราบปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดเพื่อให้สามารถทำการเตรียมพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ อีกทั้งยังช่วยในการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานภายในห้องสำหรับ โดยสามารถจำแนกระบบการใช้ไฟฟ้าตามลักษณะการใช้พลังงาน 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ (air conditioner) ระบบไฟฟ้ากำลังจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment) และระบบไฟส่องสว่าง (lighting)

2.4 วิธีการประเมิน และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร

ในการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้น ทำให้พบว่าการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน เพื่อทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารเป็นหนึ่งในวิธีการพัฒนาอาคารสู่การอนุรักษ์พลังงาน การประเมินประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานของอาคารมีอยู่หลายวิธีที่สามารถใช้ทำการประเมิน โดยในงานวิจัยของ Kinney และ Piette (2002) ได้มีการแบ่งวิธีการประเมินหรือการตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคาร (energy measurement) ออกเป็น 4 วิธีตามลักษณะการประเมิน ดังต่อไปนี้

1) วิธีประเมินจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical analysis) เป็นการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารระหว่างกลุ่มอาคารด้วยค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคาร

2) วิธีการประเมินแบบให้คะแนน (points-based rating system) เป็นการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารด้วยการตรวจสอบ โดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ เป็นแนวทางในการตรวจสอบ

3) วิธีการประเมินผ่านแบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (simulation model-based benchmarking) เป็นการจำลองประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากอาคารจริงเพื่อให้สามารถจำลองอาคารเสมือน และหาค่าสมมติจากการใช้พลังงานในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร

4) วิธีประเมินแบบลำดับขั้นจากการชี้วัดการใช้งาน (hierarchal and end-use metric) เป็นวิธีการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคาร จากการตรวจสอบ และคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร

ส่วนวิธีการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารจากงานวิจัยของ W. Chung (2011) ได้กล่าวถึงวิธีการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารภายใน

สถานศึกษาด้วยวิธีการประเมินที่มีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของ Kinney และ Piette (2002) ซึ่งพบว่ามี 2 วิธีที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

1) การประเมินประสิทธิภาพโดยวิเคราะห์ทางสถิติหรือด้วยวิธีการ OLS (Ordinary Least Square) เป็นวิธีการทำการประเมินด้านการใช้พลังงานโดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับอาคารอื่น ๆ (public benchmarking) เช่น อาคารประเภทเดียวกันที่ตั้งอยู่ต่างสถานที่กัน อาคารที่มีประเภทการใช้งานแตกต่างกัน อาคารที่ตั้งอยู่ในประเทศที่แตกต่างกัน เป็นต้น

2) การประเมินประสิทธิภาพโดยวิธีการ simulation เป็นวิธีการจำลองการใช้พลังงานทั้งภายในอาคารหรือภายในหน่วยงานที่อยู่ภายใต้การบริหารจัดการเดียวกัน (internal benchmarking)

โดยวิธีการ OLS คือ วิธีที่ขยายขอบเขตจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สามารถใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ ใช้ในการหาเกณฑ์การประเมิน และการหาสมการทำนายจากการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ซึ่งพบว่าวิธี OLS เป็นวิธีการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารที่เป็นที่นิยมอย่างมาก และถูกนำมาใช้กันยังแพร่หลายในระดับสากล (Gao & Malkawi, 2014) โดย 95% ของวิธี OLS นั้นนิยมใช้ตัวแปรเป็นค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (EUI) ส่วนวิธีการ simulation คือ การจำลองอาคารเสมือนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นิยมใช้จำลองประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานอาคาร เพื่อการปรับปรุงในอนาคตภายหลังจากการตรวจวัด ทั้งนี้การประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานด้วยวิธีการทำหุ่นจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มักเกิดขึ้นภายหลังขั้นตอนการวิเคราะห์เทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธีการทางสถิติเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

2.4.1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ (benchmarking) หมายถึง กระบวนการรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ และการหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการเปรียบเทียบจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร มีจุดประสงค์เพื่อประเมิน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกันหรือเปรียบเทียบกับอาคารที่อยู่ในองค์กรอื่น ๆ (สรญา กังวาล, 2557) วิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอาคารสามารถนำมาใช้ทำการเทียบประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานของอาคารได้เช่นกัน (energy benchmarking) โดยใช้ทำการประเมินประสิทธิภาพหรือเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารจากฐานข้อมูล และยังสามารถนำไปเปรียบเทียบกับอาคารอื่นที่เป็นอาคารประเภทเดียวกันเพื่อจัดอันดับประสิทธิภาพของอาคารด้านการใช้พลังงานได้อีกด้วย (EISA section 432, 2010) ในอีกความหมายหนึ่ง energy

benchmarking คือ วิธีการที่เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับหาแนวทางในการประหยัดพลังงาน โดยนำผลลัพธ์มากำหนดและควบคุมปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารรวมไปถึงการควบคุมค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน ด้วยการเทียบประสิทธิภาพ และประเมินการใช้พลังงานรวมของอาคาร (whole building energy use) ส่วนการใช้พลังงานเฉพาะบางส่วนภายในอาคาร สามารถคำนวณได้จากการวัดปริมาณการใช้พลังงานตลอดทั้งปี ทำให้ได้ค่าดัชนีการใช้พลังงานตลอดทั้งปี Energy Use Intensity หรือค่า EUI ที่สัมพันธ์กับการใช้งานอาคาร เช่น ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่อาคาร มีหน่วยเป็น kWh/m²/year หรือต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร มีหน่วยเป็น kWh/person/year เป็นต้น (สรญา กังวาล, 2557) ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อกิจกรรมที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการ เช่น ดัชนีของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) มีหน่วยเป็น W/m² หรือดัชนีของไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) มีหน่วยเป็น W/m² เป็นต้น (USEPA, 2005) ทั้งนี้การศึกษาด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร มักขึ้นอยู่กับการเลือกตัวแปรที่จะทำการศึกษา และผลลัพธ์ที่ต้องการ

ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานมักมีการจัดลำดับร้อยละของค่าการใช้พลังงานในอาคาร (percentile ranking) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกัน จากแนวทางการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของ Energy Star (Environmental Protection Agency, 2014) มักนิยมใช้ค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) เป็นตัวชี้วัดการใช้พลังงาน โดยใช้อันดับมาตรฐานที่ร้อยละ 50 เป็นเกณฑ์มาตรฐาน และใช้มาตรฐาน 75 คะแนนหรือจากอันดับร้อยละ 25 เป็นเกณฑ์มาตรฐานหากพบว่ารายชั้นใดที่มีค่า EUI สูงเกินกว่ามาตรฐานชี้วัดตามเกณฑ์จะถือว่ารายชั้นนั้นมีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานต่ำกว่าเกณฑ์ ในขณะเดียวกันหากพบว่ารายชั้นใดมีค่า EUI ต่ำกว่ามาตรฐานชี้วัดตามเกณฑ์จะถือว่ารายชั้นนั้นมีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

2.4.2 ขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร

การประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารถือเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการศึกษาด้านการใช้พลังงานของอาคารเป้าหมาย ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการบริหารการใช้พลังงานในอาคารเพื่อมุ่งสู่การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร โดยขั้นตอนในการบริหารการใช้พลังงานภายในอาคาร (Building Energy Management – BEM) สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2547) ดังต่อไปนี้

1) audits (Energy and Indoor Condition Audit) การตรวจวัด และตรวจสอบสภาพอาคาร รวมไปถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ด้วยวิธีการสำรวจ จดบันทึก สอบถามหรือการวัดค่าการใช้พลังงานแบบต่างๆ

2) analysis (building energy analysis) การวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานเบื้องต้นจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา โดยนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารอื่นๆ และหาแนวทางปรับปรุงอาคาร

3) conservation (Energy Conservation Measure - ECMs) การนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของอาคารมาทำ parametric analysis เป็นทางเลือกสำหรับอาคารที่ต้องมีการปรับปรุง เพื่อช่วยให้ผู้จัดการด้านพลังงานของอาคารตัดสินใจเลือกวิธีในการปรับปรุงอาคาร

4) calculation (calculation of energy and money saving) การคำนวณความคุ้มค่าในด้านการลงทุนเพื่อปรับปรุงอาคาร มักได้ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน

5) commission (continuous commission) การตรวจสอบอาคารหลังการปรับปรุงอาคารเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้การอนุรักษ์พลังงานเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

วิธีในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารนั้นเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารแล้ว กล่าวคือ ก่อนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร จะต้องทำการตรวจวัด ตรวจสอบ และเก็บข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้วจึงทำการวิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล แล้วจึงนำผลลัพธ์มาทำการเปรียบเทียบกับค่า EUI ของอาคารอื่น เพื่อนำไปสู่การหาแนวทางการปรับปรุงอาคารในท้ายที่สุด

2.4.3 การตรวจวัด ตรวจสอบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร

การเก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงานของอาคารเป็นขั้นตอนสำคัญที่สุดในกระบวนการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคาร และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากการเก็บบันทึกรวบรวมข้อมูลนั้นต้องอาศัยจรรยาบรรณของผู้ศึกษาประกอบกับองค์ความรู้พื้นฐานในด้านการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ครบถ้วนเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง และเป็นข้อมูลที่เป็นความจริง หากสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างสมบูรณ์จะช่วยทำให้ได้ผลของการศึกษาที่ถูกต้อง และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นฐานข้อมูลต่อการศึกษาหรือนำไปใช้สำหรับประกอบการตัดสินใจในการหาแนวทางปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคารต่อไป โดยการเก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงานของอาคารมักมาจากการสำรวจ การสอบถาม และการจดบันทึก

จากการสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวเนื่องกับแนวทางการตรวจวัดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารนั้นพบว่า มาตรฐาน IPMVP (International Performance Measurement and

Verification Protocol) เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล ที่จัดทำโดย Efficiency Valuation Organization หรือ EVO (2012) มีการเสนอแนะแนวทางของมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation Measure, ECM) ที่หมายถึง การตรวจสอบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานเพื่อการพัฒนา และการบริหารจัดการด้านการใช้พลังงานในอาคาร โดย IPMVP ได้มีการเสนอแนะแนวทางการตรวจวัดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และด้านการใช้น้ำของอาคาร ทั้งแนวทางการตรวจวัดก่อนการปรับปรุงอาคาร และการประเมินประสิทธิภาพภายหลังจากการปรับปรุงอาคารอีกด้วย ทั้งนี้แนวทางการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารตามมาตรฐาน IPMVP ยังได้แนะนำทางเลือกในการเก็บข้อมูลที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ตัดสินใจ และยังสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการเก็บข้อมูลของสถานที่จริงจากกรณีศึกษาได้อีกด้วย โดยในการตรวจวัดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารนั้นจะต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นตามช่วงระยะเวลา (baseline period) ในการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งมีกระบวนการการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารเป็นหนึ่งในทางเลือก เพื่อหาสาเหตุ และระบุปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานของอาคารก่อนการพัฒนาสู่การเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทั้งหมด 7 ขั้นตอนในการประเมิน ดังนี้

1) การประเมินหาสาเหตุจากปัญหาด้านการใช้พลังงานของอาคาร

2) การประเมินหาสาเหตุจากค่าใช้จ่ายด้วยใบแจ้งหนี้ค่าการใช้พลังงาน

3) การประเมินหาสาเหตุจากปัจจัยหรือตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร

4) การประเมินวิเคราะห์จากการคำนวณ และการคาดการณ์ ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ

5) การประเมินด้วยการตรวจวัด ตรวจสอบ

6) การประเมินโดยใช้การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และการลงทุน

7) การประเมินการใช้พลังงานในอาคารเก่าด้วยการคาดการณ์ระยะเวลาคุ้มทุน

ส่วนแนวทางในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้จัดทำข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้เทียบประสิทธิภาพกับอาคารอื่น และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลของการทำการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต มีแนวทางการเก็บข้อมูลพื้นฐานที่ควรต้องให้ความสำคัญ 3 ประการ ดังต่อไปนี้

1) ทำการเก็บข้อมูลจากอาคารที่ดำเนินการอย่างสมบูรณ์ (full operating cycle) ข้อมูลที่นำมาใช้ต้องเป็นข้อมูลในขณะที่อาคารมีการบริหารแบบครบองค์ประกอบทั้งอาคาร โดยต้องมีทั้งข้อมูลการใช้พลังงานต่ำที่สุดจนถึงข้อมูลการใช้พลังงานสูงที่สุดของอาคาร หากจะทำการเก็บข้อมูลในลักษณะการใช้พลังงานของอาคารรวมทั้งอาคารนั้น จะต้องมีข้อมูลอุณหภูมิภายนอกอาคารของช่วงเดียวกันกับข้อมูลการใช้พลังงานประกอบด้วย แต่หากต้องการเก็บข้อมูลเพียงการ

ใช้พลังงานจากระบบบางส่วนของอาคาร ควรทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารเพียง 1 สัปดาห์ ก็เพียงพอสำหรับการทำฐานข้อมูลด้านการใช้พลังงาน

2) ทำการเก็บข้อมูลที่ครบถ้วน ข้อมูลที่นำมาใช้ควรมีความสมบูรณ์ เช่น หากต้องการเก็บข้อมูลรายเดือนเป็นระยะเวลา 1 ปี ข้อมูลที่จะทำการเก็บไม่ควรขาดเดือนใดเดือนหนึ่งในช่วงระยะเวลา 1 ปี โดยสามารถนำข้อมูลรายเดือนมาเปรียบเทียบระหว่างการใช้พลังงานในช่วงเดือนเดียวกันของปีที่แตกต่างกันได้

3) ทำการเก็บข้อมูลในขณะที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนการใช้งานภายในอาคาร ข้อมูลที่เก็บมาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้งานภายในอาคารที่อาจทำให้ค่าการใช้พลังงานของอาคารเปลี่ยนแปลง เช่น มีการเพิ่มหรือลดอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมาก มีการปรับปรุงซ่อมแซมงานระบบบางส่วนทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ เป็นต้น หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้งานในอาคารจะทำให้ข้อมูลไม่อยู่ในพื้นฐานการใช้งานเดียวกัน และอาจทำให้ขาดความแม่นยำในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

มาตรฐาน IPMVP ยังได้มีการแนะนำวิธีการในการตรวจวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า 5 วิธี ดังนี้

1) ทำการอ่านฉลากการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือสอบถามข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากผู้ขาย สำหรับการตรวจสอบกำลังการใช้พลังงาน (loads) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในหน่วยวัตต์ (watt, W)

2) ทำการตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยแยกส่วนพื้นที่ใช้สอยตามรูปแบบการใช้งาน โดยทำการตรวจวัดเพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ เช่น การใช้พลังงานรายชั่วโมง การใช้พลังงานรายวัน เป็นต้น

3) ทำการตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์ไฟฟ้าแยกเป็นรายอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้ชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้านำมาคำนวณร่วมกับกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ จะทำให้ได้ค่าอัตราไฟฟ้าจริงจากการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ

4) ทำการตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ด้วยเครื่องมือวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นรายอุปกรณ์ โดยทำการวัดขณะเปิดใช้งาน และปิดใช้งาน (ON/OFF)

5) ทำการจำลองการใช้ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม DOE-2 ในการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานรวมของพื้นที่ใช้สอยหรือของทั้งอาคาร

2.5 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร หรือ energy benchmarking ที่นิยมตามการทบทวนวรรณกรรม ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยการเก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงานของอาคาร รวมไปถึงข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของอาคาร และนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ จากการศึกษางานวิจัยของ Park H.S. และคณะ (2016) พบว่าวิธีการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ สามารถทำได้ 4 วิธี ได้แก่

1) การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน และเป็นวิธีทีนิยมใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานของอาคาร

2) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network – ANN) หรือ Black box method ที่ใช้โครงข่ายสารสนเทศเพื่อประเมินผลทางคณิตศาสตร์

3) การวิเคราะห์จัดกลุ่ม (clustering method) ร่วมกับ k-means algorithm โดยจำแนกตัวแปรเพื่อเพิ่มความมั่นใจในการหาแนวทางการแก้ปัญหา

4) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance - ANOVA) หรือ F-Test เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มตัวอย่างหรือ 3 กลุ่มตัวอย่างขึ้นไป

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีกรณีศึกษาของงานวิจัยที่ใช้วิธีการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 4 วิธี ดังต่อไปนี้

2.5.1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

Chulalongkorn University

การประเมินอาคารปฏิบัติการจากการวิเคราะห์ทางสถิติหรือ OLS ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอย โดย Labs21 ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลอาคารปฏิบัติการจากทุกเขตสภาพภูมิอากาศทั่วโลก เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการโดยเฉพาะ (USEPA, 2010) และในปัจจุบัน (2016) Lab21 มีฐานข้อมูลของอาคารปฏิบัติการจากทั่วโลกมากกว่า 600 อาคาร ที่อยู่ในระบบสารสนเทศ ซึ่งลักษณะการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการ และห้องปฏิบัติการสามารถแบ่งเป็น 5 แนวทางการวิเคราะห์ ได้แก่

1) การเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมของอาคาร (whole-building metrics)

2) การเปรียบเทียบการระบายอากาศของอาคาร (ventilation metrics)

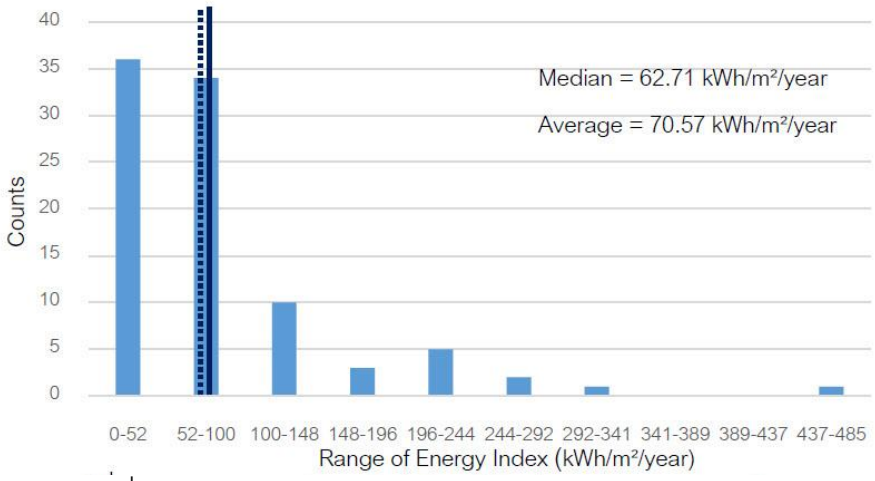
3) การเปรียบเทียบระบบการทำความเย็นและความร้อนของอาคาร (cooling and heating metrics-special considerations for labs)

4) การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร (plug load metrics)

5) การเปรียบเทียบการใช้ไฟส่องสว่างภายในอาคาร (lighting metrics)

Labs21 ได้มีการนำฐานข้อมูลด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการมาเป็นเกณฑ์สำหรับทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการ โดยมีการกำหนดข้อมูลที่ต้องนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดหลายส่วน ได้แก่ ข้อมูลพื้นที่อาคารรวมโดยไม่รวมพื้นที่ภายนอกอาคาร (ตารางเมตร) อัตราส่วนของพื้นที่ห้องปฏิบัติการต่อพื้นที่อาคารรวมที่ต้องมีสัดส่วนร้อยละ 40-60 รวมถึงปัจจัยด้านประเภทของห้องปฏิบัติการที่มีอยู่ภายในอาคาร ลักษณะการใช้งานอาคาร และระยะเวลาการใช้งานห้องปฏิบัติการใน 1 สัปดาห์ (ชั่วโมง) ข้อมูลตัวชี้วัดสุดท้าย คือ การระบุสภาพภูมิอากาศของที่ตั้งอาคาร

งานวิจัยในประเทศไทยที่ทำการศึกษาหาเกณฑ์เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารและมีการวิธีการวิเคราะห์การถดถอย ได้แก่ งานวิจัยของ สรญา กังวาล (2557) ได้ทำการจัดกลุ่มอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตามประเภทการใช้งานของอาคารออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ อาคารสำนักงาน อาคารเรียน อาคารอเนกประสงค์ และอาคารปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย พร้อมทั้งการเก็บรวบรวมข้อมูลหลายส่วน ได้แก่ ใบแจ้งค่าการใช้ไฟฟ้ารายเดือน เป็นระยะเวลา 1 ปี (kWh) พื้นที่ใช้สอยของอาคาร (m^2) พื้นที่ปรับอากาศ (m^2) และจำนวนผู้ใช้งานอาคาร (คน) โดยทำการหาดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2/year) และค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนต่อปี (kWh/person/year) ทำการหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่ามัธยฐาน (median) วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารในมหาวิทยาลัย เพื่อหาเกณฑ์สำหรับทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร จากนั้นจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการวิเคราะห์การถดถอยหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังตารางที่ 2.2 และแผนภูมิที่ 2.4 วิธีการเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีทางสถิตินั้นเหมาะสมกับการใช้เทียบประสิทธิภาพอาคารของมหาวิทยาลัยซึ่งมีอาคารจำนวนมาก



แผนภูมิที่ 2.4 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่(kWh/m^2/year)

ที่มา : สรญา กังวาล (2557)

ตารางที่ 2.2 การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อันดับร้อยละ (Percentile ranking)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคาร (kWh/m^2/year)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของหน่วยงาน (kWh/m^2/year)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนของหน่วยงาน (kWh/person/year)
10	12.14	39.12	366.65
20	32.20	42.26	447.62
30	43.36	49.21	501.25
40	54.48	60.78	715.54
50	62.71	70.59	1,089.31
60	76.68	77.89	1,675.56
70	91.39	90.47	2,765.15

อันดับร้อยละ (Percentile ranking)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคาร ($kWh/m^2/year$)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของหน่วยงาน ($kWh/m^2/year$)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนของหน่วยงาน (kWh/person/year)
80	123.88	94.85	6,126.96
90	177.05	157.93	7,200.08
100	484.57	223.57	13,672.78

ที่มา : สรญา กังวาล (2557)

ส่วนตัวอย่างงานวิจัยด้านการเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารที่นอกเหนือจากอาคารภายในมหาวิทยาลัยที่น่าจะเป็นประโยชน์ ได้แก่ กรณีศึกษาในเรื่องวิธีการเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน โดย กรกมล ตันติวนิช (2553) ได้มีการนำเสนอเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อช่วยประเมิน และสามารถบริหารจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบในอาคารสำนักงานของอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์ด้วยวิธีการทางสถิติ โดยใช้เกณฑ์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (DEDE) ของกระทรวงพลังงาน แล้วทำการเก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงาน และข้อมูลด้านกายภาพของอาคารสำนักงานจำนวน 44 อาคาร ในระยะเวลา 12 เดือน ผลของการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ปรับอากาศถึง 61.5% จากการกระจายตัวของข้อมูล โดยพบว่าดัชนีการใช้พลังงานในอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์มีค่าเฉลี่ย 306.31 $kWh/m^2/year$ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าการใช้พลังงานตามเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน 225 $kWh/m^2/year$ (Tantiwanit, 2007) ทำการจัดเรียงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีด้วยลำดับร้อยละเพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อปี และขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษาได้มีการกำหนดร้อยละเป้าหมาย ดังตารางที่ 2.3 เพื่อการลดการใช้พลังงานในอาคารที่ต่ำกว่าเกณฑ์ต่อไป โดยมีการเปรียบเทียบกับการใช้งานอาคารประเภทต่าง ๆ ทั้งในประเทศ และต่างประเทศด้วยวิธีการหาค่าดัชนีการใช้พลังงานนี้เป็นวิธีที่มีการเก็บข้อมูลโดยละเอียด ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารเดียวกันได้ และสามารถประเมินการใช้พลังงานของอาคารแต่ละแห่งได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีของอาคารสำนักงาน (kWh/m^2/year)

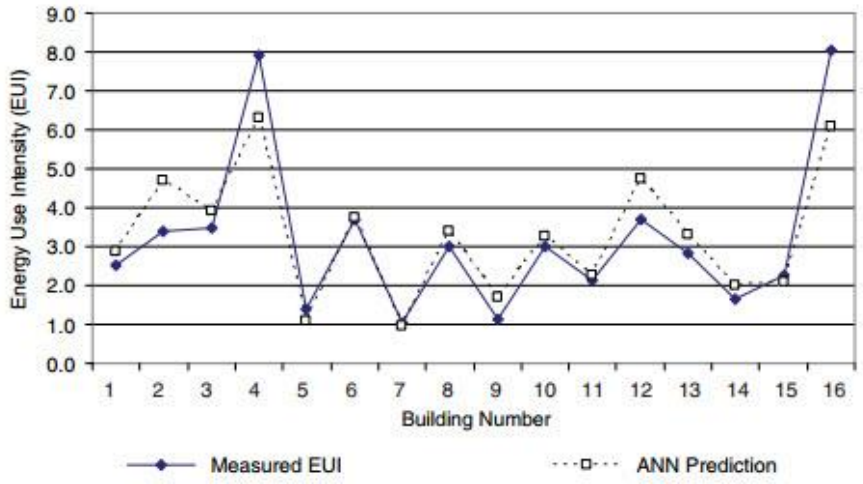
เปอร์เซ็นต์ไทล์ลำดับที่	ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี)
10	159.54
20	200.77
30	223.36
40	243.64
50	285.17
60	317.24
70	355.44
80	400.90
90	489.91

ที่มา : กรกมล ตันติวนิช (2553)

2.5.2 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network – ANN)

จากงานวิจัยของ Yalcintas M. (2006) ได้ทดลองทำการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนด้วยวิธีการ ANN โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลจากการสำรวจการใช้พลังงานภายในอาคารจากการให้ผู้ใช้งานอาคารตอบชุดคำถามที่เกี่ยวกับปัจจัยชี้วัดต่าง ๆ และนำตัวเลขที่อยู่ในชุดคำตอบมาจัดเรียงกันในท้ายที่สุด เพื่อทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารต่อไปด้วยโปรแกรมคำนวณทางสถิติที่ใช้วิธีการแบบ PEA method โดยมีปัจจัยชี้วัดภายในชุดคำถามมีทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ ดัชนีการใช้พลังงานจากเครื่องไฟฟ้า ชนิดของไฟส่องสว่าง ชั่วโมงการใช้งาน ชนิดของเครื่องปรับอากาศ ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าและประสิทธิภาพในการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมไปถึงการแบ่งประเภทของห้องปฏิบัติหรือพื้นที่ใช้สอยอื่นที่มีความเกี่ยวข้องกับห้องปฏิบัติการออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ห้องปฏิบัติการสำนักงาน ห้องเรียน และห้องอเนกประสงค์ จากการวิจัยได้พบว่าการใช้วิธี ANN มีความแม่นยำถึง 86% จากการเปรียบเทียบกับการวัดค่าดัชนีการใช้พลังงานจริง ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกันในระดับหนึ่ง ดังแผนภูมิที่ 2.5 และยังสามารถนำมาใช้ทำนายการใช้พลังงานในอนาคตหรือหลังการปรับปรุงอาคาร ได้แก่ พลังงานในอาคารรวม พลังงานจากระบบปรับอากาศ และพลังงานจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงอาคารได้อีกด้วย แต่เนื่องจากระบบวิธีการนี้ยัง

เป็นวิธีการแบบใหม่ ซึ่งยังคงต้องพัฒนาวิธีนี้ต่อไปเพื่อให้มีค่าความแม่นยำในการทำนายด้านการใช้พลังงานของอาคารหลากหลายประเภทมากขึ้น



แผนภูมิที่ 2.5 การเทียบผลลัพธ์ระหว่างดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) และผลการทำนายด้วยวิธี ANN

ที่มา : Yalcintas M. (2006)

2.5.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่ม (clustering method)

จากตัวอย่างงานวิจัยของ Gao และ Malkawi (2014) ทำการศึกษาทดลองใช้วิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่มซึ่งเป็นวิธีที่เพิ่งถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้สำหรับทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคาร วิธีการนี้มีหลักแนวคิดสำหรับทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารที่มีกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่หรือมีประเภทอาคารแตกต่างกันหลายกลุ่ม เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารเพื่อหาความแตกต่างด้านการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภท โดยในงานวิจัยได้นำวิธีการนี้เปรียบเทียบกับวิธีการของ Energy Star ที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยในการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์จัดลำดับทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.3 ได้แก่

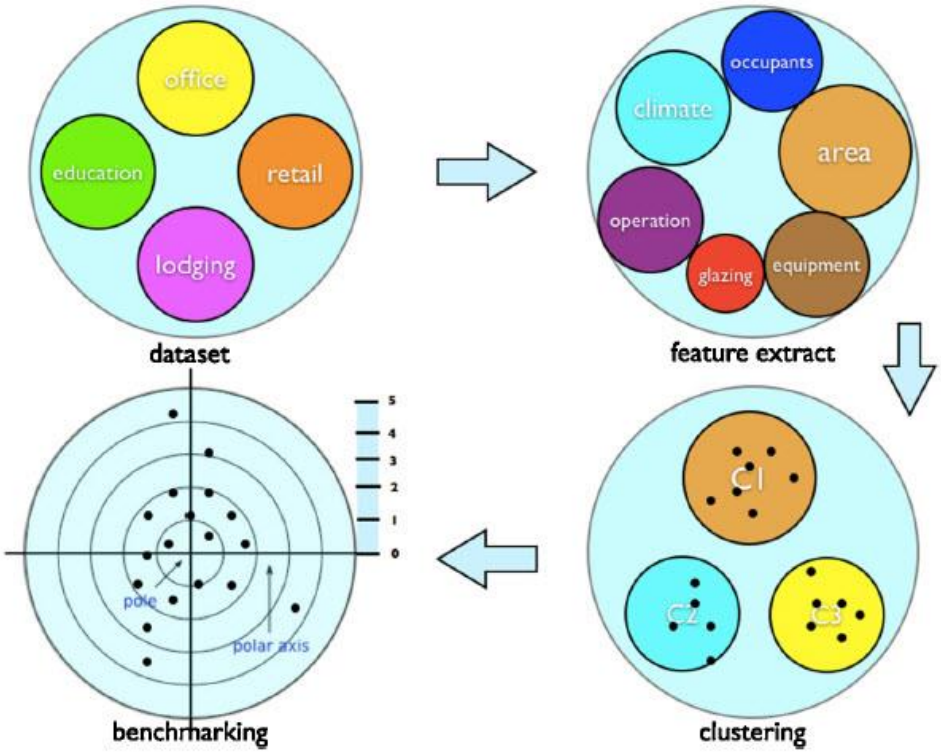
1) การเก็บรวบรวมข้อมูลหลากหลายประเภทอาคาร

2) การเก็บข้อมูลด้านคุณลักษณะของอาคาร เช่น พื้นที่อาคาร จำนวนผู้ใช้งาน สภาพภูมิอากาศ ชนิดของวัสดุประกอบอาคาร เป็นต้น

3) นำข้อมูลมาจัดกลุ่มด้วยวิธี clustering algorithm selection

4) นำผลลัพธ์ที่ได้มาแบ่งกลุ่มตามลำดับในขั้นสุดท้าย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภท

สิ่งที่ได้รับจากวิธีวิเคราะห์จัดลำดับนี้ ทำให้เกิดองค์ความรู้ในด้านการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภท ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานในกลุ่มของอาคารขนาดใหญ่ ที่มีข้อมูลปริมาณมาก เหมาะสำหรับทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะต่างกันจำนวนมาก



รูปที่ 2.3 สรุปขั้นตอนที่ใช้ในการวิจัยพัฒนาวิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่มด้านการใช้พลังงานในอาคาร

ที่มา : Gao, and Malkawi (2014)

2.5.4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance - ANOVA)

กรณีศึกษางานวิจัยที่ใช้วิธีการทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากงานวิจัยของ Park et al. (2016) ที่ทำการพัฒนาวิธีการเปรียบเทียบการใช้พลังงานขึ้นใหม่ด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการศึกษา โดยให้ความสำคัญกับตัวแปร พื้นที่อาคารรวม (Gross Floor Area – GFA) ลักษณะของอาคาร และอัตราการของพื้นที่ใช้สอยแต่ละส่วนในอาคาร

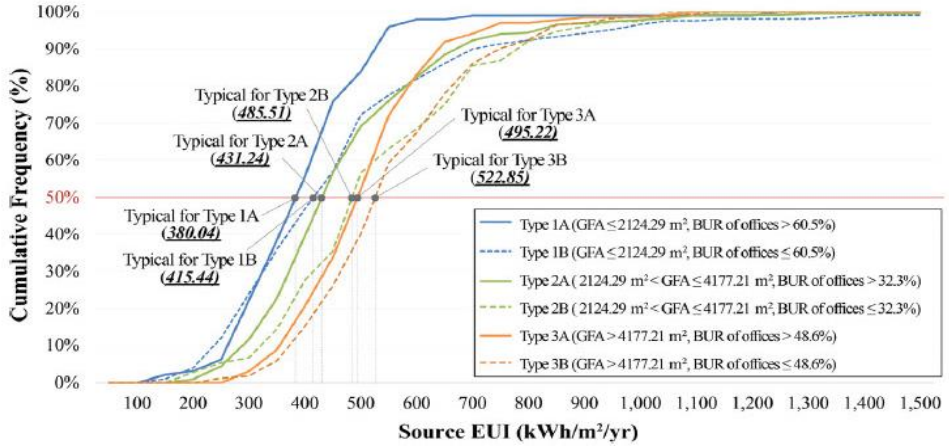
สำนักงาน (Building Use Ratio – BUR) อันได้แก่ พื้นที่ห้องอบไอน้ำ พื้นที่ทางการกีฬา และพื้นที่สำนักงาน เพื่อนำคะแนนจากการประเมินไปปรับปรุงด้านการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งวิธีในการพัฒนาระบบการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธี ANOVA ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1) คัดเลือกข้อมูลของอาคารสำนักงานในประเทศเกาหลีใต้ ซึ่งมีข้อมูลด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานหลังจากคัดเลือกแล้วจำนวน 1,072 อาคาร จากนั้นทำการหาดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) หาค่าเฉลี่ย (mean) และค่ามัธยฐาน (median) เพื่อเข้าสู่กระบวนการของวิธีการวิเคราะห์ถดถอย

2) วิเคราะห์ข้อมูลหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ นำค่าความถี่สะสมมาจัดลำดับโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Decision Tree (DT) แบ่งข้อมูลเป็น 3 ชุดตามช่วง GFA และจำแนกอีกชุดละ 2 กลุ่มจากช่วง BUR รวมเป็นข้อมูล 6 ชุด จากนั้นนำมาทำการเทียบสมรรถนะด้วยวิธี ANOVA

3) นำผลจากการจัดลำดับตามประสิทธิภาพของอาคาร มาเปรียบเทียบผลจากวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ การวิเคราะห์ฐานข้อมูลพื้นฐาน (baseline system) การวิเคราะห์ตามสัดส่วนของอาคาร (conventional system) และสุดท้ายคือการวิเคราะห์จากการจัดกลุ่มการใช้พลังงานตามช่วง ซึ่งมีกลุ่ม 6 กลุ่มที่ถูกจำแนกด้วย DT analysis และนำเสนอในงานวิจัยนี้ (proposed system) ตามแผนภูมิที่ 2.6

โดยวิธีวิเคราะห์แบบ ANOVA นี้เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนาขึ้นให้เหมาะสำหรับการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารในระดับหนึ่ง แต่ยังคงเป็นวิธีการใหม่ที่ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงด้วยการนำไปใช้วิเคราะห์กลุ่มอาคารประเภทอื่น ๆ ต่อไป เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือมากขึ้น



แผนภูมิที่ 2.6 กราฟความถี่สะสมของข้อมูลดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ของกลุ่มข้อมูล A1-3

ที่มา : Park, Lee, Kang, Hong, and Jeong (2016)

จากวิธีการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมด โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งแต่ละวิธี ซึ่งมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันไปที่สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบวิธีการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
regression analysis	- เป็นวิธีการที่เป็นที่นิยม - เทียบประสิทธิภาพกับอาคารประเภทอื่นได้ - หาความสัมพันธ์และทำนายจากปัจจัยที่เป็นตัวแปรได้	- เป็นวิธีที่มีความซับซ้อน
ANN	- ใช้ทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารได้หลากหลาย	- ข้อมูลต้องลงรายละเอียดมาก - ยังต้องมีการพัฒนาต่อไป
clustering method	- ใช้วิเคราะห์ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีความแตกต่างแตกต่างกันมากได้	- ต้องมีฐานข้อมูล และรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์จำนวนมาก
ANOVA	- สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรได้อย่างละเอียด	- เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ยังไม่เป็นที่ยอมรับ และยังต้องใช้เวลาในการปรับปรุง

2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอย

วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เป็นวิธีทางสถิติที่วิเคราะห์เชิงเหตุและผล ระหว่างตัวแปร 2 ตัวหรือมากกว่า โดยตัวแปรแรก เรียกว่า ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรสาเหตุหรือตัวแปรต้น (predictor) เป็นตัวแปรที่ใช้ทำนาย ซึ่งจะมี 1 ตัวแปรหรือมากกว่า ส่วนอีกตัวแปรเรียกว่า ตัวแปรตามหรือตัวแปรที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรต้น (ยุทธ ไกยวรรณ์, 2558) วิธีการวิเคราะห์ถดถอยนี้ใช้เพื่ออธิบายตัวแปรตามที่เกิดจากตัวแปรต้น และทำให้ทราบลักษณะ

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหตุ และตัวแปรผล ทั้งนี้เพื่อที่จะกำหนดตัวแปรในการสร้างสมการทำนายที่เหมาะสมต่อไป เช่น ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (linear) เป็นต้น ลักษณะของการวิเคราะห์ถดถอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1) การวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย (simple regression) เป็นการวิเคราะห์ตัวแปร 2 ตัว คือ ตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ดังสมการ (2.1)

2) การวิเคราะห์ถดถอยแบบเชิงซ้อน (multiple regression) เป็นการวิเคราะห์ที่มีตัวแปรต้น 2 ตัวขึ้นไป และตัวแปรตามมีเพียง 1 ตัวแปร ดังสมการ (2.2)

จากงานวิจัยของ สรญา กังวาล (2557) พบว่า การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อการคาดการณ์หรือเป็นการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารในอนาคตจากสมการทางสถิติ โดยหาสมการแสดงความสัมพันธ์ต่อการใช้พลังงานหรือปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานระหว่างตัวแปร ซึ่งวิธีวิเคราะห์การถดถอยนี้จะสามารถใช้การวิเคราะห์การถดถอยได้ในกรณีที่ค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเป็นแบบเส้นตรง (linear function) จากปัจจัยต่าง ๆ เท่านั้น หากมีหลายปัจจัยอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำนาย จึงจำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของตัวแปรร่วมด้วยดังแสดงในตารางที่ 2.5 และต้องทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของตัวแปรที่ใช้ทำนาย เพื่อตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวว่ามีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือไม่ หากพบว่าตัวแปรมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติต้องทำการปรับให้เป็นปกติ ด้วย Logarithm และทำการวิเคราะห์เพื่อหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงาน ($\log_{10}$ ENERGY) โดยวิเคราะห์จากตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจมีความสัมพันธ์หรือส่งผลต่อการใช้พลังงาน ซึ่งการวิเคราะห์การถดถอยที่มีรูปแบบเป็นสมการเชิงเส้น โดยมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

โดย $Y = ax + b$ (2.1)

$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots\ldots + a_nx_n + b$ (2.2)

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม

X_n คือ ตัวแปรต้น

a คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือค่าประมาณการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ x_n เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย

b คือ จุดตัดบนแกน Y

ตารางที่ 2.5 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานจากกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	R square
Schools (Sharp, 1998)	0.35-0.89
Commercial bank branch (กรกมล ตันติวนิช, 2553)	0.62
อาคารสำนักงาน (สไบทิพย์ บุญยงค์, 2551)	0.88
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2557)	0.63
หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2557)	0.90

ที่มา : สรญา กังวาล (2557)

การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี Root Mean Square Error (RMSE) เป็นหนึ่งในวิธีการสำคัญในการสร้างสมการทำนายการใช้พลังงานของอาคาร ภายหลังจากการหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารเรียบร้อยแล้วต้องทำการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของ โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างค่าที่สามารถวัดได้จริง และค่าที่คำนวณได้จากสมการวิเคราะห์การถดถอย หากค่า RMSE มีค่าเท่ากับศูนย์ สมการนั้นจะไม่มีความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งพบว่าค่า RMSE ของสมการตามกรณีศึกษามีค่าเท่ากับ 9.15 ในสมการทำนายค่าการใช้พลังงานรายอาคารต่อปี และมีค่า 4.08 ในสมการทำนายค่าการใช้พลังงานรายหน่วยงานต่อปี หมายความว่า สมการทำนายค่าการใช้พลังงานรายหน่วยงานต่อปีมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า และมีความแม่นยำมากกว่า โดยมีสมการที่ใช้ทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนเพื่อหาค่า RMSE ดังสมการ (2.3) ต่อไปนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N}(Y_1 - Y_2)^2} \qquad (2.3)$$

โดยที่ Y_1 คือ ค่าที่วัดได้จริง

Y_2 คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์

ตารางที่ 2.6 ผลสรุปค่า RMSE ของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษา		RMSE
อาคาร/ปี	$\log_{10}$ ENERGY = 0.578 ($\log_{10}$ Area) + 0.431 ($\log_{10}$ AC) + 1.856	9.15
หน่วยงาน/ปี	$\log_{10}$ ENERGY = 0.528 ($\log_{10}$ Area) + 0.522 ($\log_{10}$ AC) + 1.765	4.08

ที่มา : สรญา กังวาล (2557)

อีกหนึ่งวิธีการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนตามแนวทางของ ASHRAE (2002) ที่นิยมคือวิธี Coefficient of Veriation of the Root Mean Squared Eror หรือ CV(RMSE) ซึ่งวิธีนี้จะสามารถบอกค่าความคลาดเคลื่อนเป็นค่าสัมประสิทธิ์ร้อยละของความคลาดเคลื่อนจากสมการ (R^2) โดยค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 1 หมายถึง ตัวแปรในสมการมีความสัมพันธ์กันสามารถใช้ทำนายได้ 100% และค่าสัมประสิทธิ์ที่เท่ากับ 0 หมายถึง ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการทำนาย และไม่สามารถนำมาใช้ทำนายได้เลย กล่าวได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่เข้าใกล้ 1 จะเป็นสมการที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรในสมการ และมีความเชื่อมั่นในการใช้สมการเพื่อทำนายมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่เข้าใกล้ 0

$$CV(RMSE) = \frac{1}{Y_{1a}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Y_1 - Y_2)^2}{N}} \times 100 \qquad (2.4)$$

โดยที่ Y_1 คือ ค่าที่วัดได้จริง

Y_2 คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ

Y_{1a} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จริง

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์

2.7 สรุปการทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับเรื่อง การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย รวมไปถึงเรื่องการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการ อาคารปฏิบัติการ และอาคารในสถานศึกษา พบว่า อาคารปฏิบัติการเป็นประเภทอาคารที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงที่สุดใน

มหาวิทยาลัย และมีการใช้พลังงานจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามากที่สุด (Pacheco-Torres et al., 2016) ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการยังมีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านอื่นด้วย เช่น ลักษณะของงานวิจัยหรือรูปแบบของห้องปฏิบัติการที่อาจส่งผลต่อชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น จากความหลากหลายของปัจจัยเหล่านี้ อาจส่งผลให้ต้องมีการเปิดใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้ารวมไปถึงงานระบบต่าง ๆ ไว้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อช่วยสนับสนุนการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือในการทดลอง ให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์บรรลุตามวัตถุประสงค์ของแต่ละงานวิจัย เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ เป็นต้น เนื่องจากอาคารปฏิบัติการมีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมาก และมีระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่สัมพันธ์กับช่วงเวลาการใช้งานของผู้ใช้งานอาคาร ดังนั้นจึงไม่สามารถคาดคะเนถึงลักษณะการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการได้เหมือนกับอาคารประเภทอื่น จึงควรทำการศึกษาถึงลักษณะการใช้พลังงานของพื้นที่การใช้งานแต่ละประเภทของอาคารในมหาวิทยาลัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งควรศึกษาถึงประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย เพื่อสนับสนุนให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย และมุ่งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นมหาวิทยาลัยที่มีนโยบายส่งเสริมด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร และยังมีอาคารปฏิบัติการจำนวนมาก อาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีค่าดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ย 101.75 kWh/m^2/year ซึ่งเป็นประเภทอาคารที่มีการใช้พลังงานเฉลี่ยสูงที่สุดในมหาวิทยาลัย สรญา กังวาล (2557) โดยพบว่าข้อมูลสัดส่วนของการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการมาจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าถึง 60% ส่วนการใช้ไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศมีสัดส่วน 30% และระบบไฟส่องสว่าง 10% (USEPA, 2003) อาจเนื่องมาจากห้องปฏิบัติการมีอุปกรณ์ไฟฟ้าเฉพาะทางหลายชนิด และจะต้องมีการเปิดการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าไว้เป็นระยะเวลานานสำหรับใช้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองหรือการวิจัยต่าง ๆ จึงทำให้มีการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามากที่สุด แตกต่างจากอาคารประเภทอื่นที่มีการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศในปริมาณมาก แต่ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมนี้ อาจไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยได้ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศที่มีลักษณะแตกต่างกัน จึงควรมีการศึกษาถึงลักษณะการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยเพิ่มเติม ก่อนที่จะทำการศึกษาถึงความแตกต่างด้านสัดส่วนการใช้พลังงานภายในห้องปฏิบัติการและปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการแต่ละประเภท เพื่อให้สามารถพัฒนาอาคารปฏิบัติการสู่การอนุรักษ์พลังงานได้ ทั้งนี้อาคารปฏิบัติการอาจประกอบไปด้วยห้องปฏิบัติการ

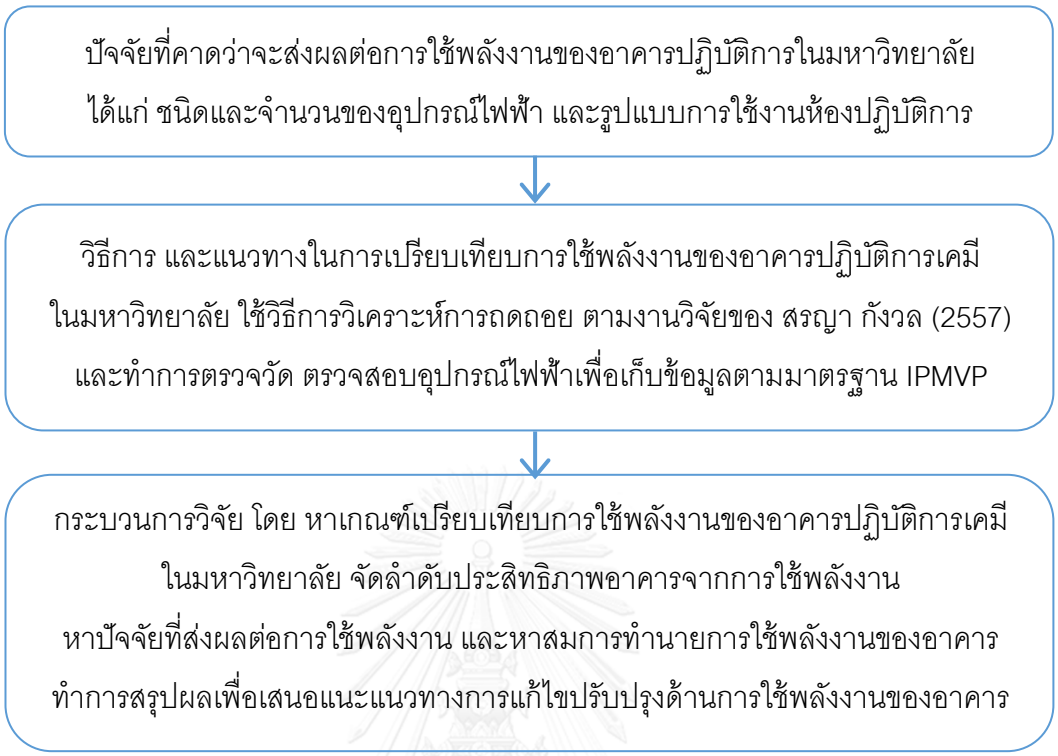
หลายรูปแบบ และมีลักษณะการใช้พลังงานอย่างหลากหลายที่มักขึ้นอยู่กับลักษณะการทดลอง การวิจัย และลักษณะการใช้งานภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งพบว่าในกรณีศึกษาประเทศสหรัฐอเมริกา ในห้องปฏิบัติการเคมีนั้นมีการใช้พลังงานที่มาจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการมากที่สุด (USEPA, 2010) โดยมีค่ากำลังจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) ในห้องปฏิบัติการเคมี และชีววิทยา 40 W/m^2 และ 10 – 100 W/m^2 ตามลำดับ แต่หากไม่มีการใช้โต๊ะปฏิบัติการ (bench) ภายในห้องปฏิบัติการจะทำให้มีค่า EPD เฉลี่ยสูงถึง 150 W/m^2 ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) ในห้องปฏิบัติการพบว่ามีค่าเฉลี่ย 13 W/m^2 และมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 มีค่า EPD และ LPD ของห้องปฏิบัติการอยู่ที่ 120 W/m^2 และ 18 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม ได้แก่ ปัจจัยด้านชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า จำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า และปัจจัยด้านรูปแบบการใช้งานของห้องปฏิบัติการ

จากกรณีศึกษางานวิจัยของ สรญา กังวาล (2557) ที่ได้ทำการศึกษาเรื่องการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคาร และหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีเพียงการศึกษาด้านการใช้พลังงานรายอาคาร แต่ยังไม่ได้ทำการศึกษาด้านการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภทอย่างละเอียดเป็นรายชั้นหรือลักษณะการใช้พลังงานรายห้องแต่ละประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งยังไม่พบว่ามีการศึกษาเรื่องการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยที่อยู่ในประเทศไทยจากการทบทวนวรรณกรรม แต่พบเพียงการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการในต่างประเทศ และในอาคารประเภทอื่น ๆ ในประเทศ เช่น อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงาน เป็นต้น ซึ่งพบว่ามีการศึกษาอาคารในสถานศึกษาอยู่จำนวนน้อย จึงยังไม่มีเกณฑ์ที่ใช้สำหรับเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย อีกทั้งยังไม่พบข้อมูลสัดส่วนด้านการใช้พลังงาน รวมถึงค่า EPD และค่า LPD ของอาคารปฏิบัติการหรือห้องปฏิบัติการทั้งในสถานศึกษา และภาคเอกชนของประเทศไทย ซึ่งหากขาดข้อมูลเหล่านี้ส่งผลให้ไม่มีแนวทางที่ใช้สำหรับพัฒนาด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อทำการศึกษาเรื่อง การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัยโดยใช้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นกรณีศึกษา เพื่อสนับสนุนมหาวิทยาลัยให้มุ่งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนด้วยการส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัย เนื่องจากอาคารปฏิบัติการเป็นหนึ่งในอาคารสำคัญของมหาวิทยาลัย ในด้านการเรียนการสอนรวมไปถึงการศึกษาวิจัย และการค้นคว้า

ทดลองให้เกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์ และยังมีการใช้สอยพื้นที่หลากหลายรูปแบบรวมอยู่ภายในอาคาร ซึ่งส่งผลให้มีการใช้พลังงานในปริมาณมากจากหลายปัจจัย เช่น ลักษณะการใช้งานอาคาร ระยะเวลาการใช้อาคาร การใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น โดยอาคารปฏิบัติการเคมีเป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานในปริมาณมาก และมีการใช้งานที่มาจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามากที่สุด ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมี เพื่อมุ่งหาแนวทางด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัย อันเป็นกระบวนการหนึ่งในการส่งเสริมด้านการพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน และการส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารยังช่วยให้เกิดส่วนร่วมในด้านการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อีกทางหนึ่ง

การใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการของสถานศึกษานั้นมีลักษณะพิเศษกว่าอาคารปฏิบัติการของหน่วยงานอื่น ๆ ทั้งในด้านลักษณะการใช้งานอาคาร ด้านสัดส่วนของการใช้พลังงานภายในอาคาร และด้านความหลากหลายของพื้นที่ใช้สอยที่ต้องมีการใช้งานเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมี วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัย และหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประกอบกับการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลง กรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อให้เกิดฐานข้อมูลในด้านการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมีที่มาจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในรายห้อง ซึ่งมีแนวทางการศึกษาดังรูปที่ 2.4 โดยได้เลือกใช้วิธีการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมี หาเกณฑ์ที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาสมการทำนายการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัยสำหรับการใช้พลังงานในอนาคต รวมไปถึงการใช้แนวทางการเก็บข้อมูลตามมาตรฐาน IPMVP โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี จากการสำรวจกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า และการสอบถามระยะเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง) แล้วจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณหาสัดส่วนการใช้พลังงาน และเปรียบเทียบรูปแบบการใช้พลังงานระหว่างพื้นที่ใช้สอยแต่ละประเภทที่อยู่ภายในอาคารปฏิบัติการ เพื่อให้ได้มาซึ่งฐานข้อมูลด้านการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมีที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงหรือพัฒนาสู่การอนุรักษ์พลังงานต่อไป



รูปที่ 2.4 กรอบความคิดในงานวิจัย เรื่องการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน
ของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้สามารถพัฒนาเกณฑ์สำหรับเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นเป้าหมายของการวิจัยนี้ จึงมีระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัยและกรอบขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยของการวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน และมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาวิจัยนำร่อง

3.1.1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยนำร่อง

3.1.2 การศึกษาวิจัยนำร่อง (pilot study)

3.2 การเก็บข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

3.2.1 รายละเอียดข้อมูลที่ต้องเก็บ และการคัดเลือกข้อมูล

3.2.2 การติดต่อขอข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ และวิธีการเก็บข้อมูล

3.2.3 การเก็บข้อมูลจากการสำรวจอาคาร

3.3 การจัดเรียงข้อมูล และอธิบายข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 การจำแนกประเภทการใช้สอยพื้นที่อาคารรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมี

3.3.2 การแจกแจงข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาผลของการวิจัย

3.4.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างห้องแต่ละประเภทในอาคารปฏิบัติการเคมี และชีวเคมีของมหาวิทยาลัย

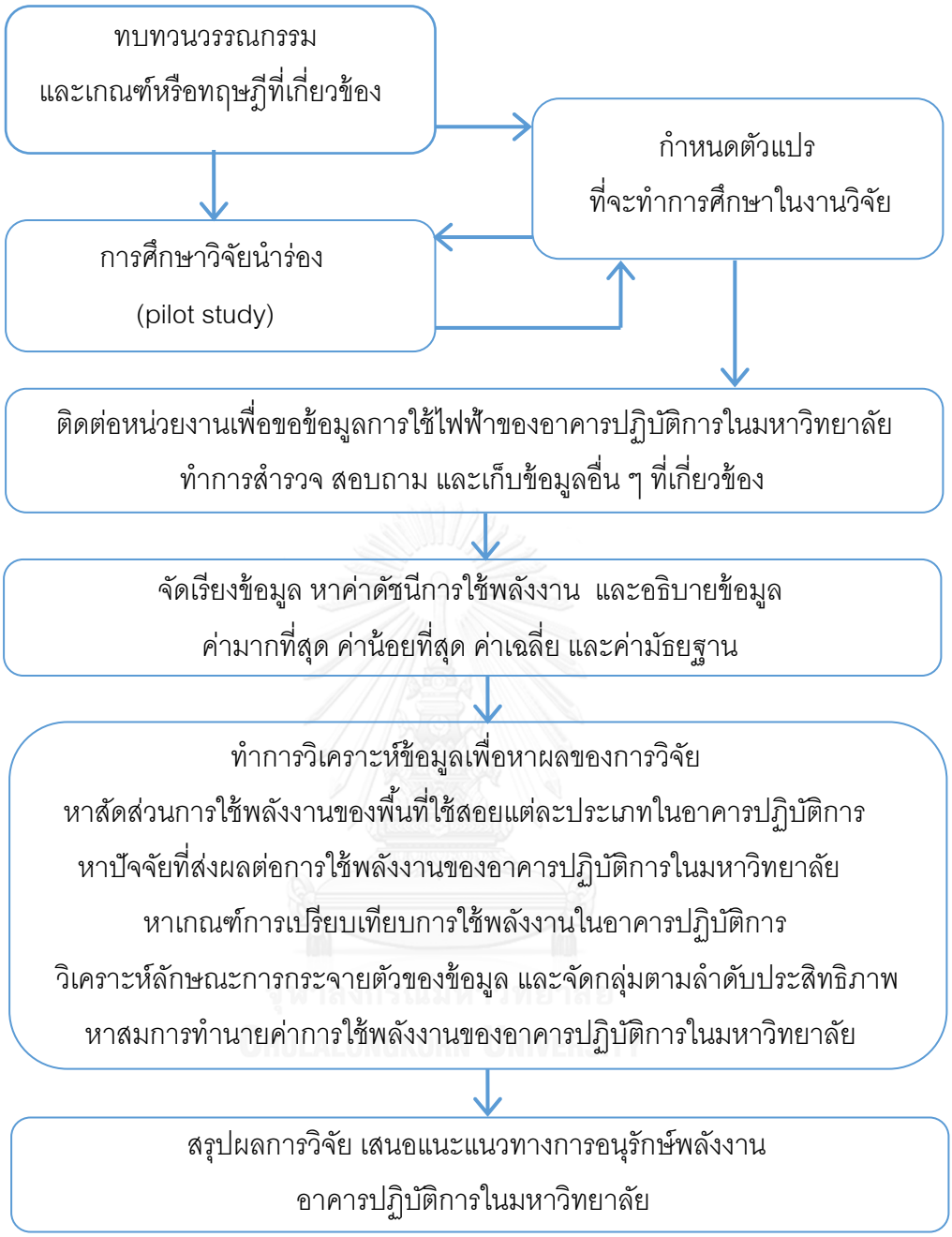
3.4.2 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมี

3.4.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

3.4.4 การจัดกลุ่มอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

3.4.5 การหาสมการทำนายการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

3.5 การสรุปผลการวิจัย และเสนอแนะแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 สรุปกรอบขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาวิจัยนำร่อง

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงการพัฒนาเกณฑ์การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการด้วยวิธีทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เพื่อให้ได้มาซึ่ง

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยในท้ายที่สุด โดยทำการศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับเรื่องการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย อาคารปฏิบัติการสีเขียว และห้องปฏิบัติการสีเขียว รวมไปถึงการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารทุกประเภท และนำความรู้ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมหรือจากงานวิจัยกรณีศึกษาที่เคยมีผู้ศึกษามาก่อน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการวิจัย และเลือกวิธีการที่จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการวิจัยนี้

3.1.1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยนำร่อง

เมื่อได้รับแนวทางการวิจัยจากการทบทวนวรรณกรรม และสามารถกำหนดตัวแปรสำหรับใช้ทำการศึกษาวิจัยนำร่องได้แล้ว จึงเริ่มทำการติดต่อสำนักบริหารระบบกายภาพของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอันดับแรก เพื่อขอข้อมูลของอาคารปฏิบัติการทั้งหมดในมหาวิทยาลัย อันได้แก่ ข้อมูลผังบริเวณของมหาวิทยาลัย ข้อมูลแปลนอาคาร ข้อมูลขนาดพื้นที่อาคาร ข้อมูลลักษณะการใช้สอยพื้นที่ของอาคาร ข้อมูลรูปแบบการใช้งานรวมไปถึงจำนวนของห้องปฏิบัติการจำแนกตามหน่วยงาน และข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่อยู่ภายใต้การดูแลของสำนักบริหารระบบกายภาพ หลังจากได้รับข้อมูลจากสำนักบริหารระบบกายภาพแล้ว จากนั้นทำการคัดเลือกอาคารปฏิบัติการที่มีข้อมูลครบถ้วนสมบูรณ์ และติดต่อหน่วยงานผู้ดูแลอาคารเพื่อขอเข้าสำรวจอาคาร โดยทำการถ่ายภาพ และเก็บข้อมูลจากการสอบถามผู้ใช้งานอาคาร เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประกอบการศึกษาวิจัยนำร่อง โดยมีข้อมูลปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานตามการทบทวนวรรณกรรมที่ต้องทำการเก็บรวบรวมดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลอาคาร ได้แก่ แปลนอาคาร ขนาดพื้นที่อาคาร และการใช้สอยพื้นที่ภายในอาคาร

2) ข้อมูลรูปแบบของห้องปฏิบัติการ และลักษณะการเข้าใช้งานห้องปฏิบัติการ

3) ข้อมูลระยะเวลาการใช้งานอาคาร และจำนวนผู้ใช้งานห้องเรียนปฏิบัติการ

4) ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั้นของอาคารปฏิบัติการเป็นรายเดือน รวม 12 เดือน ของปีการศึกษา 2558

จากการสำรวจอาคารเพื่อทำการเก็บข้อมูลของอาคารปฏิบัติการทำให้สามารถจำแนกประเภทการใช้สอยพื้นที่รายห้องภายในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย โดยจำแนกพื้นที่ใช้สอยรายห้อง และรายชั้นตามลักษณะการใช้งาน ระยะเวลาการใช้งานห้องปฏิบัติการ และชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ ในการสำรวจอาคารยังทำให้สามารถสอบถามหรือติดต่อขอข้อมูลจากหน่วยงานผู้ดูแลอาคารปฏิบัติการทั้งในรายชั้น และรายห้องปฏิบัติการ นอกเหนือจากนี้จากการติดต่อขอข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบปัญหาด้านการเก็บข้อมูลที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ตรงตาม

เป้าหมาย ได้แก่ ข้อมูลระยะเวลาการใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในห้องเรียนปฏิบัติการ เนื่องจากข้อมูลตารางสอน และข้อมูลจำนวนนิสิตที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาที่มีอยู่ในระบบสารสนเทศนั้นจะมีเพียงข้อมูลย้อนหลังเพียง 1 ภาคการศึกษา ทำให้มีข้อมูลไม่ครบถ้วนจึงไม่สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ทำการศึกษาได้ ส่วนการเข้าสำรวจอาคารเพื่อเก็บข้อมูลทำให้พบว่า ภายในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยมีการแบ่งพื้นที่ใช้สอยในอาคารออกเป็นรายชั้นภายใต้การดูแลของหน่วยงานที่แตกต่างกัน ทำให้แต่ละชั้นมีรูปแบบของห้องปฏิบัติการที่แตกต่างกัน เช่น รูปแบบห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา เป็นต้น ในแต่ละชั้นของอาคารปฏิบัติการนั้นยังประกอบไปด้วยการใช้สอยพื้นที่หลายประเภท โดยสามารถจำแนกการใช้สอยพื้นที่ตามลักษณะการใช้งานได้ 4 ประเภท ได้แก่

1) ห้องปฏิบัติการวิจัย (research laboratory and equipment laboratory)

2) ห้องเรียนปฏิบัติการ (learning laboratory)

3) ห้องเรียนบรรยาย (lecture room)

4) สำนักงาน (office)

3.1.2 การศึกษาวิจัยนำร่อง (pilot study)

หลังจากทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จะใช้ทำการศึกษานำร่องเรียบร้อยแล้ว จึงนำข้อมูลทั้งหมดมาเข้าสู่กระบวนการศึกษาวิจัยนำร่อง เพื่อให้สามารถกำหนดขอบเขตของข้อมูล รวมถึงข้อจำกัดที่ใช้ในการศึกษาจากปัญหาที่พบ และยังสามารถนำความรู้ที่ได้รับมาปรับใช้เป็นแนวทางในขั้นตอนการวิจัยให้เกิดกระบวนการที่มีประสิทธิภาพต่อไปได้ โดยทำการหาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (EUI) แล้วจึงจัดเรียงข้อมูลรายชั้น และจำแนกประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้น หาค่า EUI ที่มีค่าน้อยที่สุด ค่ามากที่สุด และค่าเฉลี่ย เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานระหว่างชั้นที่มีประเภทแตกต่างกันในระยะเวลา 12 เดือน จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย โดยกำหนดให้มีตัวแปรในการศึกษาวิจัยนำร่องทั้งหมด 4 ตัวแปร ได้แก่ ขนาดพื้นที่อาคาร รูปแบบของห้องปฏิบัติการ ประเภทของพื้นที่ใช้สอย และอุณหภูมิภายนอกอาคาร ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยทำการจำแนกกลุ่มตามประเภทของพื้นที่ใช้สอยรายชั้น

จากการศึกษาวิจัยนำร่องพบว่า ปัจจัยด้านรูปแบบของห้องปฏิบัติการ และประเภทของพื้นที่ใช้สอยมีความสัมพันธ์กันกับการใช้พลังงาน กล่าวคือ ประเภทของพื้นที่ใช้สอยรายชั้นส่งผลต่อการใช้พลังงานที่แตกต่างกันไป โดยประเภทการใช้สอยรายชั้นแบบห้องปฏิบัติการวิจัยมีการใช้

พลังงานมากที่สุด และปัจจัยด้านรูปแบบของห้องปฏิบัติการก็ส่งผลต่อการใช้พลังงานด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งพื้นที่ใช้สอยแต่ละประเภทนั้น ล้วนมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป ทำให้เกิดปัจจัยอาจส่งผลต่อการใช้พลังงานที่แตกต่างกันได้อีก 3 ปัจจัย ได้แก่

1) ชนิดและจำนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าประกอบอาคาร (Watt)

2) ระยะเวลาการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า (ชั่วโมง)

3) ระยะเวลาการใช้งานพื้นที่ใช้สอยแต่ละประเภท (ชั่วโมง)

การศึกษาวิจัยนำร่องช่วยให้สามารถวิเคราะห์ และคาดการณ์ถึงปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารได้ โดยสามารถตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติออกไปได้ เช่น ปัจจัยด้านจำนวนผู้ใช้อาคาร เป็นต้น นอกเหนือจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลบางส่วนที่เก็บในขณะทำการศึกษาวิจัยนำร่องมาใช้ประโยชน์ในการวิจัย ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และคาดการณ์ถึงปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารได้ โดยสามารถตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติออกไปได้ ได้แก่ ปัจจัยด้านจำนวนผู้ใช้อาคารที่แม้ว่าจำนวนผู้ใช้งานจะมากหรือน้อยก็ยังไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยตรง แต่เป็นปัจจัยด้านพฤติกรรมของผู้ใช้งานตามรูปแบบของห้องปฏิบัติการ และรูปแบบของการทดลองหรือการวิจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานมากกว่า

3.2 การเก็บขอข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิจัยเชิงสถิติเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดในกระบวนการดำเนินงาน เนื่องจากฐานข้อมูลเป็นหัวใจสำคัญของการเริ่มต้น การวิจัยที่มีฐานข้อมูลที่ถูกต้องเป็นจริง และครบถ้วนสมบูรณ์จะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือ และความแม่นยำในผลของการวิจัย รวมไปถึงการเสนอแนะแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพในขั้นตอนสุดท้าย หากขาดขั้นตอนการเก็บข้อมูลที่เป็นระบบระเบียบ และมีประสิทธิภาพแล้วนั้น จะไม่สามารถได้มาซึ่งข้อมูลที่สมบูรณ์เช่นเดียวกัน ทั้งนี้จรรยาบรรณของผู้ทำการวิจัยก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญกับขั้นตอนการเก็บข้อมูลด้วยเช่นกัน

3.2.1 รายละเอียดข้อมูลที่ต้องเก็บ และการคัดเลือกข้อมูล

จากการศึกษาวิจัยนำร่องนั้นช่วยให้มีข้อมูลบางส่วนที่สามารถนำมาใช้ในการวิจัยได้ แต่ยังมีข้อมูลที่จะต้องทำการเก็บเพิ่มเติมอีกจำนวนหนึ่ง ทั้งการเก็บข้อมูลเพื่อต่อยอดจากข้อมูลเดิมและรวมไปถึงข้อมูลเพิ่มเติมซึ่งเป็นแนวทางที่ได้มาจากการศึกษาวิจัยนำร่อง เช่น ข้อมูลปัจจัยที่

ส่งผลต่อการใช้พลังงาน เป็นต้น โดยมีข้อมูลที่ต้องทำการเก็บรวบรวมเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

1) ข้อมูลทางกายภาพของอาคารปฏิบัติการ ได้แก่ ข้อมูลแปลนพื้นรายชั้น ข้อมูลขนาดพื้นที่รายชั้น (ตารางเมตร) ข้อมูลขนาดพื้นที่ปรับอากาศรายชั้น (ตารางเมตร) ข้อมูลหน่วยงานผู้ดูแลอาคารรายชั้น และข้อมูลประเภทการใช้สอยพื้นที่ภายในชั้น

2) ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานรายชั้น (kWh) รวม 12 เดือน ในปีการศึกษา 2558 โดยเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559

3) ข้อมูลชนิด จำนวน และค่ากำลังไฟฟ้า (watt) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชิ้นที่ติดตั้งภายในห้อง (Installed power) โดยเก็บข้อมูลรายห้องในทุกประเภทการใช้งาน

4) ข้อมูลระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้งานห้องแต่ละชนิด ในทุกประเภทการใช้งานรายห้อง (ชั่วโมง)

5) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารรายเดือน (°C) รวม 12 เดือน ในปีการศึกษา 2558 โดยเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559

ในการศึกษานี้ทำการศึกษาข้อมูลด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมี ประจำปีการศึกษา 2558 ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ตามช่วงเวลาการเปิด-ปิดภาคเรียนของปฏิทินการศึกษา โดยมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อมูลที่ต้องทำการเก็บเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย ที่ได้รับแนวทางมาทั้งจากแนวทางของ IPMVP ตามการทบทวนวรรณกรรม และจากขั้นตอนการศึกษาวิจัยนำร่อง โดยทำการคัดเลือกเฉพาะอาคารปฏิบัติการที่สามารถติดต่อหน่วยงานผู้ดูแลอาคาร ซึ่งสามารถให้ข้อมูลที่ต้องการได้อย่างครบถ้วนตรงตามเป้าหมายของการวิจัย และยินยอมให้ทำการสำรวจอาคารได้ ได้แก่ อาคารที่อยู่ภายใต้การดูแลของคณะวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการทางเคมี ชีววิทยา และชีวเคมี แต่ในการวิจัยนี้ได้เลือกอาคารที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี ที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นมาทำการศึกษาเท่านั้น เนื่องจากการศึกษาทางชีวเคมีมีการใช้ความรู้ทางเคมีเป็นพื้นฐานจึงถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาทางเคมี และเนื่องจากรูปแบบห้องปฏิบัติการเคมี เป็นห้องปฏิบัติการที่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการหลายชนิด และมีอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมาก สำหรับใช้ทำการทดลองหรือการวิจัยในห้องปฏิบัติการ ส่วนข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายชั้นนั้นเป็นข้อมูลการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้ารายชั้นของอาคารปฏิบัติการที่เป็นหน่วยย่อยที่สุดที่มีอยู่ และจะทำการศึกษาเฉพาะค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารปฏิบัติการเท่านั้น โดย

ไม่รวมพื้นที่ภายนอกอาคาร ได้แก่ ระเบียง ทางเชื่อมระหว่างอาคาร และโถงหรือทางเดินภายนอกอาคารหรือภายใต้ชายคาที่มีลักษณะเปิดโล่งสู่ภายนอกโดยที่ไม่มีผนังกั้น

ในการคัดเลือกข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นได้อาศัยแนวทางการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานตามมาตรฐาน IPMVP 2 ประการ ดังต่อไปนี้

1) ทำการเก็บข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์ โดยการเก็บข้อมูลในชั้นที่มีข้อมูลการใช้พลังงานครบทั้ง 12 เดือน ตามช่วงระยะเวลาเป้าหมายที่กำหนดไว้ กล่าวคือ หากมีชั้นใดชั้นหนึ่งมีข้อมูลไม่ครบถ้วนทั้ง 12 เดือน จะไม่นำข้อมูลชั้นดังกล่าวมาใช้ในการวิจัยนี้

2) ทำการเก็บข้อมูลในขณะที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนการใช้งานภายในอาคาร โดยข้อมูลที่เก็บมาต้องเป็นข้อมูลที่ไม่อยู่ในระหว่างช่วงการซ่อมแซมอาคาร การปรับเปลี่ยนการใช้งานอาคารระหว่างช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ในการวิจัยอันจะทำให้ข้อมูลเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะไม่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ ชั้นที่มีค่าการใช้พลังงานรายเดือนเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมากในทันทีหากเปรียบเทียบกับเดือนอื่นที่ผ่านมา และชั้นที่มีความแตกต่างกันของค่าพลังงานมากอย่างชัดเจนหากเทียบกับชั้นอื่นที่มีการใช้งานพื้นที่ประเภทเดียวกัน เช่น พบว่าชั้นอื่นที่มีขนาดพื้นที่ใช้สอยใกล้เคียงกันนั้น มีค่าการใช้พลังงานรายเดือนอยู่ระหว่าง 100 ถึง 1,000 หน่วย แต่กลับพบว่ามีชั้นหนึ่งมีค่าการใช้พลังงานรายเดือนมีค่า 10 หรือ 10,000 หน่วย เป็นต้น

การวิจัยนี้ต้องทำการเก็บค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องต่าง ๆ โดยเลือกวิธีการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากการเก็บข้อมูลตามค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบุไว้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด (nameplate) ไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีใช้ติดตั้งเครื่องตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า (power meter) ที่ใช้ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งาน เนื่องจากในห้องปฏิบัติการไม่มีมิเตอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า และปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่จำแนกเป็นรายอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือจำแนกตามลักษณะการใช้พลังงาน เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น รวมไปถึงข้อจำกัดด้านการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นอุปกรณ์เฉพาะทาง จึงไม่สามารถขออนุญาตทำการเปิดใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อทำการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าขณะใช้งานได้ ด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ ดังกล่าวทำให้ต้องเลือกวิธีการตรวจวัดตามมาตรฐาน IPMVP โดยเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจาก nameplate ของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

การคัดเลือกเฉพาะอาคารปฏิบัติการที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการเคมี และห้องปฏิบัติการชีวเคมีเท่านั้น เนื่องจากเป็นรูปแบบห้องปฏิบัติการที่น่าจะมีการใช้พลังงานปริมาณมาก และเก็บข้อมูลจากอาคารสามารถทำการติดต่อขอข้อมูลได้อย่าง

ครบถ้วนตามเป้าหมาย มีข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานเป็นรายชั้น และสามารถติดต่อขอเข้าทำการสำรวจอาคาร และห้องปฏิบัติการได้ โดยอาคารปฏิบัติการเคมีที่สามารถทำการเก็บข้อมูลรวมถึงการจดบันทึกข้อมูลอาคาร และ นำข้อมูลมาใช้การวิจัยนี้ มีจำนวนทั้งหมด 4 อาคาร ที่อยู่ภายใต้การบริหารจัดการของหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.) อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CEN84) ภายใต้การบริหารจัดการอาคารโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภายใต้การบริหารจัดการรายชั้นที่เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร โดยวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

2.) อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี (INS11) ภายใต้การบริหารจัดการอาคารโดยวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

3.) อาคารคลุ้ม วัชโรบล (SCI10) ภายใต้การบริหารจัดการอาคารโดยคณะวิทยาศาสตร์ และภายใต้การบริหารจัดการรายชั้นที่เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร โดยภาควิชาชีวเคมี

4.) อาคารมหามกุฏ (SCI25) ภายใต้การบริหารจัดการอาคารโดยคณะวิทยาศาสตร์ และภายใต้การบริหารจัดการรายชั้นที่เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร โดยภาควิชาเคมี

จากการคัดเลือกข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาเรียบร้อยแล้วพบว่า อาคารเป้าหมาย 4 อาคาร มีข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นรวมทั้งสิ้น 56 ชั้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาใช้ประกอบการศึกษาได้เพียง 46 ชั้น ภายหลังจากที่ได้ทำการคัดเลือกข้อมูลตามแนวทางของมาตรฐาน IPMVP เรียบร้อยแล้ว โดยข้อมูลการใช้พลังงานที่จะทำการเก็บข้อมูลจะมีระยะเวลาเพียง 1 ปีการศึกษา หรือในปีการศึกษา 2558 เนื่องจากไม่พบข้อมูลการใช้พลังงานก่อนปีการศึกษา 2557 ในขณะเดียวกันก็พบว่าข้อมูลการใช้พลังงานในปีการศึกษา 2557 มีความแปรปรวนเป็นอย่างมาก ซึ่งเกิดจากการที่ข้อมูลอยู่ในช่วงคาบเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนระยะเวลาการเปิด และปิดภาคเรียนให้เป็นระบบสากลตามอาเซียน ดังนั้นจึงไม่สามารถนำข้อมูลการใช้พลังงานในปีการศึกษาอื่น ๆ มาใช้ทำการศึกษาได้ ส่วนข้อมูลตัวแปรหรือปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตามเป้าหมายนั้น ไม่สามารถทำการเก็บรวบรวมข้อมูลบางส่วนได้ตามเป้าหมาย ได้แก่ ข้อมูลด้านระยะเวลาการใช้อาคาร เช่น ตารางสอน ตารางสอบ เป็นต้น และข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคาร เช่น จำนวนนิสิตนักศึกษาที่ลงทะเบียนในรายวิชาเป็นต้น เนื่องจากข้อมูลไม่ครบระยะเวลา 1 ภาคการศึกษาตามที่กำหนดไว้ จึงไม่สามารถนำข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์มาใช้ทำการวิจัยได้ โดยสามารถทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาการใช้งานอาคารโดยเฉลี่ยได้จากการสอบถามขณะทำการสำรวจเท่านั้น

ด้านข้อมูลชนิด จำนวน และกำลังไฟฟ้า ของอุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้น พบว่ามีข้อมูลที่ถูกจดบันทึกไว้บางส่วนดังนี้

1) ข้อมูลชื่อ จำนวน และหรือลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในรายห้อง

2) ข้อมูลเครื่องปรับอากาศระบุ จำนวน และขนาดของเครื่องปรับอากาศ (Btu) รายห้อง

3) ข้อมูลขนาด และจำนวนของหลอดไฟ รายห้อง

โดยทำการทำการเก็บข้อมูลเฉพาะห้องที่สามารถเข้าไปสำรวจภายในห้องได้เท่านั้น ซึ่งในการสำรวจ และจดบันทึกเฉพาะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในห้อง ไม่รวมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่บริเวณภายนอกห้อง เช่น บริเวณโถงทางเดิน บริเวณระเบียง เป็นต้น และไม่รวมห้องที่ไม่มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้องจะต้องทำการตรวจสอบในระหว่างทำการสำรวจอีกครั้ง เนื่องจากอาจมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ไฟฟ้าแล้วไม่ได้มีการแก้ไขข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน และอาจพบว่ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่สามารถใช้งานได้หรือเลิกใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าชิ้นนั้นในการทดลองแล้วแต่ไม่ได้ทำการเคลื่อนย้ายออกจากห้อง ซึ่งสาเหตุเหล่านี้อาจส่งผลให้ข้อมูลที่นำมาใช้ทำการศึกษาทำให้ผลของการวิจัยเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ส่วนข้อมูลกำลังไฟฟ้านั้นจะต้องทำการเก็บข้อมูลโดยการสำรวจสถานที่ด้วยตนเอง เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่บันทึกรายละเอียดกำลังไฟฟ้า (watt) ของอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องทำการเทียบข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าในปัจจุบันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่พบในการสำรวจหากพบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าชิ้นนั้นมีอายุการใช้งานยาวนานไม่สามารถสืบค้นข้อมูลได้ รวมไปถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีข้อมูลรุ่น และชื่อบริษัทผู้ผลิต จะสามารถทำการสืบค้นข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ โดยทำการสอบถามข้อมูลจากตัวแทนจำหน่าย และการสืบค้นจากระบบสารสนเทศเพื่อหาคู่มือที่มีการระบุข้อมูลเฉพาะของอุปกรณ์ไฟฟ้าเอาไว้อย่างชัดเจน

3.2.2 การติดต่อขอข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยประกอบไปด้วยอาคารปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์อยู่จำนวนมาก แต่ละอาคารมีการบริหารจัดการอาคารจากหน่วยงานที่แตกต่างกันออกไป เพื่อให้เกิดความสะดวก และความครอบคลุมต่อการบริหารจัดการภายในมหาวิทยาลัย โดยเฉพาะอาคารปฏิบัติการที่มีหน่วยงานจำนวนมากอยู่รวมกันภายในอาคารเดียว จึงทำให้มีความยากลำบากในการติดต่อขอข้อมูลจากหลากหลายหน่วยงานในขั้นตอนการเก็บข้อมูลที่จะต้องนำมาใช้ในการศึกษา เนื่องจากการใช้งานในอาคารปฏิบัติการมักแบ่งการบริหารเป็นรายชั้น ดังนั้นข้อมูลแต่ละส่วนจึงไม่ได้อยู่ในความดูแลของสำนักบริหารระบบกายภาพ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำการบริหารจัดการอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพียงหน่วยงานเดียว โดยข้อมูลแต่ละส่วนจะถูก

กระจายออกไปยังหน่วยงานย่อยต่าง ๆ อีกทีหนึ่ง ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการติดต่อขอข้อมูลของอาคารที่จะนำมาใช้ประกอบการศึกษา จึงต้องทำการติดต่อสอบถามเพื่อหาสังกัดหน่วยงานที่เป็นผู้ดูแลอาคาร และสอบถามว่าหน่วยงานใดเป็นผู้ดูแลชั้นที่จะนำข้อมูลมาทำการศึกษา ก่อนที่จะทำการติดต่อเพื่อขอข้อมูลหรือขอเข้าสำรวจสถานที่

การติดต่อขอข้อมูลที่ต้องการเพิ่มเติมหลังจากการศึกษาวิจัยนำร่องจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เป็นผู้บริหารอาคารปฏิบัติการที่คัดเลือกไว้ โดยทำการติดต่อขอข้อมูลทางกายภาพของอาคารปฏิบัติการทั้งหมดจากสำนักบริหารระบบกายภาพของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอันดับแรก จากนั้นติดต่อไปยังหน่วยงานที่ดูแลรายชั้นที่ต้องการใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยโดยตรง เพื่อขอเข้าสำรวจสถานที่ และข้อมูลเฉพาะที่อยู่ภายใต้การดูแลของแต่ละหน่วยงานตามขั้นตอนต่อไปนี้ โดยขั้นแรกต้องทำการติดต่อหน่วยงานต่าง ๆ ด้วยตนเองที่อาคารหรือสถานที่ทำการของหน่วยงานผู้ดูแลอาคาร เพื่อสอบถามถึงแนวทาง และความเป็นไปได้ในการขอข้อมูลที่ต้องการ แล้วจึงยื่นเอกสารรับรองต่อหน่วยงานเพื่อขอข้อมูล โดยทำการระบุข้อมูลที่ต้องการให้ชัดเจน และติดตามผลตอบรับจากหน่วยงานที่ติดต่อไว้ เมื่อได้รับคำอนุญาตจากหน่วยงาน ให้สามารถเข้าทำการสำรวจและสอบถามข้อมูลได้ จึงติดต่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานซึ่งเป็นผู้ดูแลข้อมูลส่วนที่ต้องการเก็บเพื่อนำไปทำการศึกษา ทำการนัดหมายวัน และเวลาการเก็บข้อมูลรวมถึงการเข้าสำรวจอาคาร จากนั้นทำการเข้าสำรวจเก็บข้อมูลในอาคารเป็นขั้นตอนสุดท้าย โดยในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานั้นมีกระบวนการในการติดต่อหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อเก็บข้อมูลแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

1) ติดต่อสำนักงานบริหารระบายกายภาพของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อขอข้อมูลอาคาร เช่น แปลนอาคาร พื้นที่อาคาร การใช้สอยพื้นที่ในอาคาร เป็นต้น และรวมไปถึงการขอข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั้น ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี โดยข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารที่อยู่ภายใต้การบริหารจัดการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเองนั้น จะถูกจัดเก็บลงระบบสารสนเทศของกลุ่มภารกิจงานโครงสร้างพื้นฐาน ที่จัดทำโดยฝ่ายสถาปัตยกรรมและโครงสร้างพื้นฐานของสำนักบริหารระบบกายภาพ ซึ่งมีการแจกแจงข้อมูลด้านงานระบบประกอบอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ข้อมูลค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ ค่าน้ำมัน เป็นต้น

2) ติดต่อวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เพื่อขอข้อมูล และขอเข้าสำรวจอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี และอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยชั้นที่วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีได้มีการบริหารจัดการอยู่

3) ติดต่อคณะวิทยาศาสตร์ เพื่อขอข้อมูลของอาคารคลุ้มวัชโรบล และอาคารมหามกุฏ จากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เป็นผู้ดูแลส่วนของข้อมูลที่ต้องการ ดังนี้

3.1 ติดต่อฝ่ายงานพัฒนาและบริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ของคณะวิทยาศาสตร์ เพื่อขอข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั้น

3.2 ติดต่อภาควิชาเคมี และภาควิชาชีวเคมี แผนกงานพัสดุและครุภัณฑ์ เพื่อขอข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้า ระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้งานอาคาร รวมถึงการขอเข้าสำรวจสถานที่ และสอบถามข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลที่ได้รับจากแผนกงานพัสดุและครุภัณฑ์ของภาควิชา ได้แก่ รายชื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้อง จำนวนและขนาดของเครื่องปรับอากาศรายห้อง และจำนวนของหลอดไฟส่องสว่างรายห้อง ซึ่งข้อมูลรายชื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้องมักมีการระบุชื่อ จำนวน และหมายเลขห้องที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดนั้นอยู่ แต่ไม่มีการระบุรายละเอียดชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า ชื่อรุ่น ชื่อบริษัทผู้ผลิต เป็นต้น

4) ติดต่อกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อขอสถิติอุณหภูมิรายเดือน ประจำปี ของสถานีตรวจวัดสภาพอากาศกรุงเทพมหานคร

3.2.3 การเก็บข้อมูลจากการสำรวจอาคาร

ในการวิจัยนี้ต้องทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสำรวจอาคารรายห้อง ร่วมกับการสอบถามข้อมูล และจดบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการสำรวจเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอีกครั้ง เนื่องจากในการใช้งานจริงอาจมีการเคลื่อนย้ายหรือสลับสับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าระหว่างห้องและไม่ได้ทำการบันทึกข้อมูลที่เป็นปัจจุบันลงในฐานข้อมูล โดยในการศึกษานี้ได้เลือกเฉพาะห้องที่สามารถเข้าไปทำการสำรวจภายในห้องได้ และเป็นห้องที่มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงห้องที่ยังมีการใช้งานอยู่เสมอ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการแต่ละห้อง (kWh) จากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่ภายในห้อง และวิเคราะห์หาสัดส่วนของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (%) ที่จำแนกตามลักษณะการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละระบบทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้ากำลังหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าส่องสว่าง โดยจะนำข้อมูลมาใช้ประกอบการวิเคราะห์ด้านการใช้พลังงานของห้องแต่ละประเภทในอาคารปฏิบัติการสำหรับรูปแบบปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี โดยขั้นตอนในการเก็บข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิจัยจากวิธีการสำรวจอาคาร มีรายละเอียดดังนี้

1) การเก็บข้อมูลชนิด จำนวน และค่ากำลังไฟฟ้า (watt) ของอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่ภายในห้อง (installed power) โดยการตรวจสอบชนิดของ

อุปกรณ์ไฟฟ้า และกำลังการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำการตรวจนับจำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละห้อง ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการนี้ จะรวมไปถึงเครื่องปรับอากาศ และไฟฟ้าส่องสว่าง ด้วยวิธีการสำรวจ ถ่ายภาพ และจดบันทึกประเภทการใช้งานรายห้องลงในแปลนพื้นอาคารแต่ละชั้น จากนั้นจึงทำการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้อง แล้วจดบันทึกข้อมูลชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และจำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีอยู่ภายในห้องที่ยังสามารถใช้งานได้ลงในตารางดังแสดงในภาคผนวก ก ในการจดบันทึกข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากหลอดไฟฟ้าจะทำการรวมค่ากำลังไฟฟ้าจากบัลลาสต์ร่วมด้วย ไม่รวมค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ชำรุด โดยจะทำการจดบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ไม่ชำรุด และยังถูกติดตั้งไว้ภายในห้องแม้จะไม่มีการใช้งานก็ตาม ไม่จดบันทึกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งอยู่ภายนอกห้อง เช่น บริเวณทางเดิน บริเวณระเบียง เป็นต้น แม้จะมีการใช้งานจากผู้ใช้งานรายห้องก็ตาม เนื่องจากไม่สามารถคำนวณพื้นที่ใช้สอยได้

2) การเก็บข้อมูลระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้งานรายห้อง โดยการสอบถามระยะเวลาการใช้งานห้องแต่ละประเภท (ชั่วโมง) ภายในอาคารปฏิบัติการจากผู้ใช้งานอาคารพร้อมกับจดบันทึกข้อมูล และสอบถามระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด (ชั่วโมง) ที่ติดตั้งอยู่ภายในห้อง ทำการจดบันทึกระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มากที่สุดเพื่อที่จะใช้วิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานสูงสุดจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า มีรายละเอียดของข้อมูลระยะเวลาการใช้อุปกรณ์ดังแสดงในภาคผนวก ข

จากการสำรวจห้องปฏิบัติการเคมี และชีววิทยาในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่า ภายในห้องปฏิบัติการนั้นมีอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดที่ใช้สำหรับทำการทำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่จำนวนมาก โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่พบล้วนเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเฉพาะทางที่ไม่สามารถพบได้ในอาคารทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดที่พบจากการสำรวจห้องปฏิบัติการมีลักษณะตามรูปที่ 3.2 – 3.51 ดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.2 เครื่องถ่ายภาพด้วยคลื่นรังสี (Advanced Imaging System)

รูปที่ 3.3 ตู้อบเพาะเลี้ยงแบบจำลองสภาพอากาศ (Artificial Climate Incubator)

รูปที่ 3.4 เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Aspirator)

รูปที่ 3.5 ตู้ชีวนิรภัยหรือตู้ปลอดเชื้อ (Biosafety Cabinet)

รูปที่ 3.6 เครื่องหมุนเหวี่ยงสารให้เกิดการตกตะกอน (Centrifuge)

รูปที่ 3.7 เครื่องปั่นเหวี่ยงเพิ่มความเข้มข้นของสาร (Concentrator)

รูปที่ 3.8 เครื่องหมักเพาะเลี้ยง (Continuous Fermenter)

รูปที่ 3.9 เครื่องปั่นเหวี่ยงสารแบบควบคุมอุณหภูมิ (Control Temperature Centrifuge)

รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Digital Laboratory Scale)

รูปที่ 3.11 เครื่องย่อยสารโดยเตาหลุมให้ความร้อน (Digestion Unit)

รูปที่ 3.12 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Distillation Unit)

รูปที่ 3.13 เครื่องอุ่นหลอดทดลอง (Dry bath Heat block)

รูปที่ 3.14 ตู้กันความชื้น (Dry Cabinet)

รูปที่ 3.15 เครื่องอัดแรงดัน (French Press Cell)

รูปที่ 3.16 ตู้ดูดควันสารเคมี (Fume Hood)

รูปที่ 3.17 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของสารชนิดแก๊ส (GC-MS)

รูปที่ 3.18 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบสารชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง (HP-LC)

รูปที่ 3.19 ตู้อบแบบใช้ลมร้อน (Hot Air Oven)

รูปที่ 3.20 เตาให้ความร้อน (Hot Plate)

รูปที่ 3.21 เครื่องปั่นเหวี่ยงอุณหภูมิต่ำ (Illuminated Refrigerated Incubator Shaker)

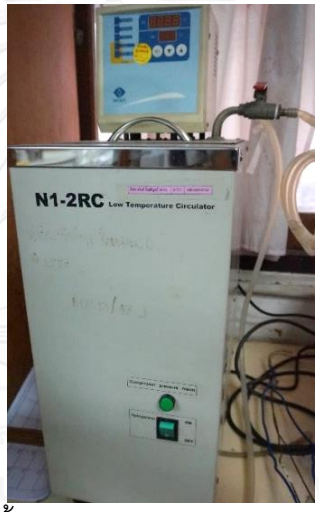
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.22 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Chromatograph)

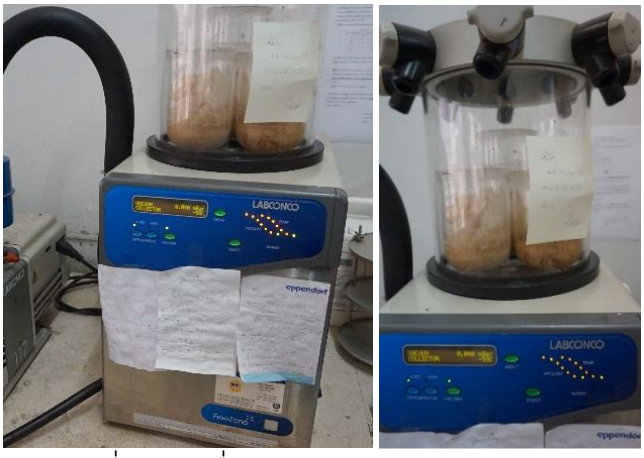
รูปที่ 3.23 ตู้บ่มเพาะเลี้ยงเซลล์หรือเนื้อเยื่อ (Incubator)

รูปที่ 3.24 ตู้เพาะเลี้ยงแบบเขย่า (Incubator Shaker)

รูปที่ 3.25 ตู้ปลอดเชื้อแบบกรองอากาศ (Laminar Flow Cabinet)



รูปที่ 3.26 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน (Low Temperature Circulator)



รูปที่ 3.27 เครื่องทำระเหิดแห้ง (Lyophilizer)

รูปที่ 3.28 เครื่องวัดปริมาณสารเรืองแสง (Luminometer)

รูปที่ 3.29 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์ใช้กับสารปริมาณน้อย (Micro Centrifuge)

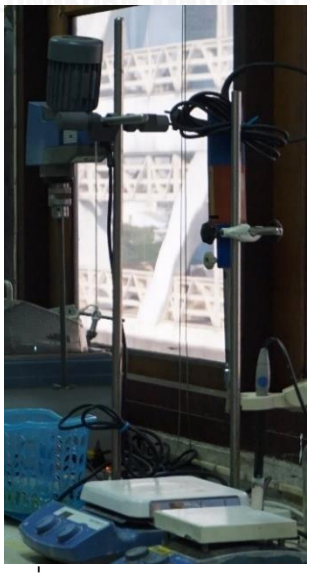
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.30 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Mini Spray Drayer)

รูปที่ 3.31 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace)

รูปที่ 3.32 เครื่องเขย่าสารแนวราบ (Obital Shaker)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.33 เครื่องปั่นผสมสารละลาย (Overhead Stirrer)

รูปที่ 3.34 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH Meter)

รูปที่ 3.35 เครื่องกลั่นระเหยด้วยระบบสุญญากาศ (Rotary Evaporator)

Chulalongkorn University

รูปที่ 3.36 เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Rotary Vane Vacuum Pump)

รูปที่ 3.37 เครื่องดักจับไอกรด (Scrubber)

รูปที่ 3.38 เครื่องสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extractor)

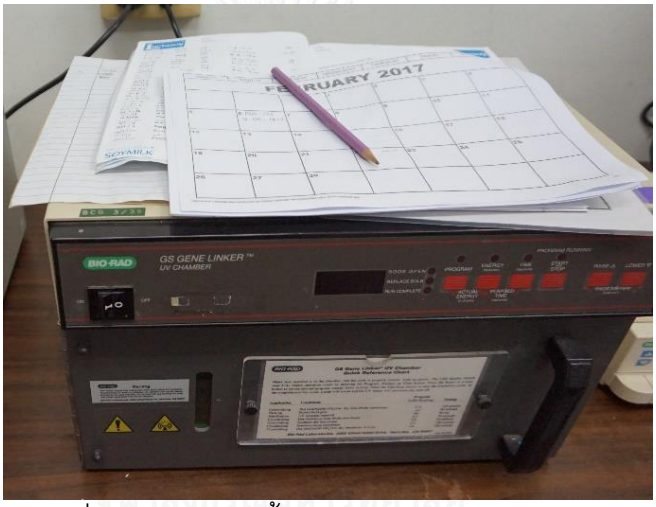
รูปที่ 3.39 เครื่องปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสารพันธุกรรม (Thermal Cycler)

รูปที่ 3.40 เครื่องปั่นเหวี่ยงสารด้วยความเร็วสูง (Ultracentrifuge)

รูปที่ 3.41 เครื่องทำความสะอาดที่ใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Cleaner)

รูปที่ 3.42 เครื่องทำปฏิกิริยาของเหลวด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Liquid Processor)

รูปที่ 3.43 เครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ (Ultra-Low Temperature Freezer)



รูปที่ 3.44 ตู้อบฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสี (UV Chamber)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.45 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer)

รูปที่ 3.46 เครื่องปั่นผสมสารละลาย (Vortex Mixer)

รูปที่ 3.47 เครื่องควบคุมอุณหภูมิหลอดทดลองด้วยน้ำ(Water Bath)

รูปที่ 3.48 เครื่องควบคุมอุณหภูมิหลอดทดลองด้วยน้ำแบบเขย่า (Water Bath Shaker)

รูปที่ 3.49 ตู้บ่มเชื้อแบบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Water-Jacketed CO_2 Incubator)

รูปที่ 3.50 เครื่องกลั่นน้ำบริสุทธิ์ (Water Purification System)

3.3 การจัดเรียงข้อมูล และอธิบายข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

เมื่อทำการเก็บข้อมูลได้ครบถ้วนสมบูรณ์ตามเป้าหมาย จึงนำข้อมูลทั้งหมดมาเข้าสู่กระบวนการจัดเรียงข้อมูล และอธิบายข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิจัย เพื่อเตรียมทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนการพัฒนาเกณฑ์การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติเคมีการในมหาวิทยาลัยต่อไป

3.3.1 การจำแนกประเภทการใช้สอยพื้นที่อาคารรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมี

อาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยล้วนอยู่ภายใต้การจัดการดูแลของหลายหน่วยงานร่วมกัน และมีการแบ่งการจัดการของแต่ละหน่วยงานออกเป็นรายชั้น ซึ่งแต่ละหน่วยงานนั้นต่างก็มีการใช้สอยพื้นที่ในรายชั้นอีกหลายประเภทการใช้งาน โดยสามารถจำแนกประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้น ตามลักษณะการใช้งานได้ทั้งสิ้น 4 ประเภท ดังนี้

1) ห้องปฏิบัติการวิจัย (research laboratory and equipment laboratory) คือ ห้องปฏิบัติการที่ใช้ทำการทดลองหรือการวิจัย รวมไปถึงห้องที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าทางวิทยาศาสตร์สำหรับใช้ทำการทดลองหรือการวิจัย ที่ไม่มีระยะเวลาการใช้งานที่แน่นอนในการใช้ห้องปฏิบัติการ

2) ห้องเรียนปฏิบัติการ (learning laboratory) คือ ห้องปฏิบัติการที่ใช้สำหรับทำการทดลอง และห้องเตรียมปฏิบัติการที่มีการใช้งานในขณะที่มีการเรียนการสอนเท่านั้น

3) ห้องเรียนบรรยาย (lecture room) คือ ห้องเรียนที่ใช้สำหรับทำการเรียนการสอนภาคทฤษฎี และมีการใช้งานในระยะเวลาที่มีการเรียนการสอน

4) ส่วนสำนักงาน (office) คือ สถานที่ทำงานของหน่วยงานผู้บริหารจัดการรายชั้น ส่วนของผู้ดูแลสนับสนุนห้องปฏิบัติการต่าง ๆ รวมไปถึงส่วนห้องพักของเจ้าหน้าที่ คณาจารย์ และนิสิตนักศึกษาผู้ใช้งานห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นส่วนที่มีการใช้งานเฉพาะในเวลาราชการเท่านั้น

ในการวิจัยนี้จะทำการจำแนกประเภทของพื้นที่ใช้สอยรายชั้นตามอัตราส่วนของประเภทการใช้งานที่มีพื้นที่ในชั้นนั้นมากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น ภายในชั้นเดียวกันประกอบด้วยประเภทพื้นที่ใช้สอยหลายประเภท แต่พบว่าประเภทห้องปฏิบัติการวิจัยมีอัตราส่วนพื้นที่ในชั้นนั้นมากที่สุด ให้ถือว่าชั้นนั้นมีการใช้สอยพื้นที่ประเภทห้องปฏิบัติการวิจัย เป็นต้น

3.3.2 การแจกแจงข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

การนำข้อมูลทั้งหมดมาจัดเรียง และอธิบายลักษณะของข้อมูลหลังจากทำการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เริ่มจากการนำข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั้น ต่อเดือน (kWh/month) มาคำนวณเป็นค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการต่อพื้นที่ ($kWh/m^2/year$) โดยหาค่าต่ำที่สุด (min) ค่ามากที่สุด (max) ค่าเฉลี่ย (mean) และค่ามัธยฐาน (median) ของข้อมูล และทำการจัดเรียงข้อมูลตามประเภทการใช้งานรายชั้น จากนั้นจึงนำไปใช้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ต้องทำการแจกแจงนั้นสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ทั้งหมด 5 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

1) รายละเอียดการใช้งานอาคารปฏิบัติการ ได้แก่ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จำนวนชั้น หน่วยงานที่บริหารจัดการรายชั้น

2) รายละเอียดแปลนพื้น ข้อมูลพื้นที่ใช้สอย และพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคารรายชั้น

3) รายละเอียดข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าดัชนีการใช้พลังงานรายชั้น จำแนกตามประเภทการใช้งานรายชั้น

4) รายละเอียดข้อมูลชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้อง ระยะเวลาการใช้พลังงานเฉลี่ยรายอุปกรณ์ไฟฟ้า และสัดส่วนการใช้พลังงานรายห้องจำแนกตามรูปแบบระบบการใช้พลังงาน

5) รายละเอียดข้อมูลอุณหภูมิของอากาศรายเดือนของกรุงเทพมหานคร

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาผลของการวิจัย

การวิจัยนี้ได้มุ่งทำการศึกษาด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลที่จะนำมาซึ่งองค์ความรู้ใหม่ในด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัยที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย โดยสามารถแบ่งหัวข้อในการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) การวิเคราะห์ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในรายห้อง (watt) โดยทำการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) และทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้พลังงานในห้องแต่ละประเภทของอาคารปฏิบัติการที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมีในมหาวิทยาลัย

2) การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานรายชั้น (kWh/month) ของอาคารปฏิบัติการเคมี โดยนำข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นมาทำการคำนวณร่วมกับขนาดพื้นที่ใช้สอยรายชั้นของอาคารปฏิบัติการ (m^2) เพื่อหาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการ (EUI) มีหน่วยเป็น kWh/m^2/year จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการ หาเกณฑ์การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นรายชั้น ทำการเปรียบเทียบ และจัดกลุ่มชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีตามประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน รวมไปถึงการหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในอนาคต ซึ่งเป็นส่วนการวิเคราะห์ที่เป็นเป้าหมายหลักของการวิจัยนี้

3.4.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างห้องแต่ละประเภทในอาคารปฏิบัติการเคมี และชีวเคมีของมหาวิทยาลัย

ทำการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) ดังสมการ (1.2) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) ดังสมการ (1.3) มีหน่วยเป็น W/m^2 จากข้อมูลกำลังไฟฟ้าของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า (watt) ทุกชิ้นที่มีอยู่ในรายห้อง เมื่อได้ค่า EPD ค่า LPD และ

สัดส่วนการใช้พลังงานภายในห้องแต่ละประเภทแล้วนั้น จึงทำการสรุปผลของค่า EPD และ LPD เฉลี่ยซึ่งในการศึกษานี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ค่า EPD และ LPD ร่วมกับค่าความหลากหลายของปัจจัย (diversity factor) หรือค่าที่ได้จากการนำช่วงเวลาที่มีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุด (peak watt) ในช่วงเวลาหนึ่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด เนื่องจากไม่มีเครื่องมือตรวจวัดที่สามารถทำการเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าขณะใช้งานจริงได้ จึงไม่สามารถทำการหา peak watt จากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ซึ่งสามารถเก็บได้เพียงข้อมูลระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยคร่าวจากการสอบถามเท่านั้น โดยข้อมูลด้านระยะเวลาการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถทำการเก็บข้อมูลในประเภทห้องที่มีการใช้งานตามระยะเวลาราชการเท่านั้น ทั้งนี้ข้อมูลด้านระยะเวลาการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชิ้น (ชั่วโมง) ที่พบในแต่ละห้องสามารถนำมาทำการคำนวณร่วมกับค่ากำลังไฟฟ้ารวม (watt) ที่พบข้างต้น เพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาอัตราส่วนร้อยละของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละระบบ ทำการจำแนกงานระบบการใช้ไฟฟ้าเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ (air conditioner) ระบบไฟฟ้ากำลังจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment) และระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (lighting) เพื่อนำค่าการใช้พลังงานรายห้องมาทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้พลังงานในห้องแต่ละประเภทของอาคารปฏิบัติการที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมีในมหาวิทยาลัยต่อไป รวมถึงทำการเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างห้องปฏิบัติการที่อยู่ในไทย และในต่างประเทศ แล้วจึงรายงานผลของการวิจัยในขั้นตอนสุดท้าย

3.4.2 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมี

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด เพื่อใช้หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในรายชั้น โดยใช้ตัวแปรปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ตามการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกับการใช้พลังงานในอาคารมาทั้ง 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) ปริมาณการใช้พลังงาน 2) ขนาดพื้นที่ใช้สอย 3) ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ 4) สัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศ 5) อุณหภูมิภายนอกอาคาร โดยนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์แบบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) หรือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) ซึ่งวิธีนี้จะสามารถบอกค่าความสัมพันธ์ (r) และหากนำค่าที่ได้มายกกำลังแล้วคูณด้วย 100 (r^2 x 100) จะสามารถบอกค่าความสัมพันธ์เป็นรูปแบบร้อยละได้ ค่า r ที่ได้หากมีจำนวนเข้าใกล้ 1 มาก ก็จะยิ่งมี

ความสัมพันธ์กันมากในทางกลับกันหากมีค่าเข้าใกล้ 0 จะยิ่งมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย โดยในการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1) ปัจจัยปริมาณการใช้พลังงานต่อเดือน (kWh/month) ใช้เป็นข้อมูลหลักที่จะนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ในการศึกษา

2) ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่ใช้สอยหรือ GFA (ตร.ม., m^2) มักเป็นปัจจัยที่พบความสัมพันธ์กันกับปริมาณการใช้พลังงานตามการทบทวนวรรณกรรม จึงเกิดเป็นค่า EUI

3) ค่า EUI (kWh/m^2/year) เป็นค่ากลางที่เกิดจากการนำปริมาณการใช้พลังงานมาหารด้วยขนาดพื้นที่ใช้สอยซึ่งเป็นพื้นที่ใช้พลังงาน ดังสมการ (1.1) โดยนำค่า EUI มาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ด้านการใช้พลังงานในการศึกษานี้

4) ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.) และสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.) นำปัจจัยทั้งสองปัจจัยนี้มาทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ร่วมกับค่า EUI

5) ปัจจัยด้านอุณหภูมิภายนอกอาคารรายเดือน (°C) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นรวมในแต่ละเดือน (kWh/month) จะทำให้ทราบว่าอุณหภูมิภายนอกอาคารส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นในแต่ละเดือนหรือไม่

6) ปัจจัยด้านระยะเวลาการใช้งานอาคาร (วัน) จำแนกตามลักษณะการใช้งานเพื่อการเรียนการสอน และการใช้งานของบุคลากร

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัย และปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นนั้น ทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมั่นในความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำการศึกษา ว่าปัจจัยใดส่งผลต่อการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการหรือไม่อย่างไร ก่อนที่จะนำปัจจัยที่พบความสัมพันธ์ต่อการใช้พลังงานไปเข้าสู่ขั้นตอนการหาเกณฑ์เปรียบเทียบการใช้พลังงาน และทำการหาสมการทำนายการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อไป

3.4.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

ในขั้นตอนการพัฒนาเกณฑ์เปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือค่า EUI (kWh/m^2/year) จัดเรียงข้อมูลที่มีค่าดัชนีการใช้พลังงานน้อยที่สุดไปยังข้อมูลที่มีค่ามากที่สุด ทำแผนภูมิแท่งแสดงการกระจายตัวขอข้อมูล (histogram) แบ่งข้อมูลตามอันตรภาคชั้น (range) เพื่อแสดงค่าความถี่ (frequency) ของข้อมูลที่กระจายตัวตามช่วงชั้น ทำการกำหนดตำแหน่งค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานลงในช่วงชั้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะการแจก

แจงของข้อมูลจากเส้นโค้ง และทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากค่า EUI ระหว่างการใช้งานรายชั้นแต่ละประเภทที่แตกต่างกันทั้ง 4 ประเภทในขั้นตอนสุดท้าย

3.4.4 การจัดกลุ่มอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแล้ว จากนั้นจึงจัดกลุ่มการให้คะแนนอาคารปฏิบัติการจากการใช้พลังงานในแต่ละชั้นตามประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้น โดยจัดกลุ่มในรูปแบบกลุ่มอันดับแบบร้อยละ (percentile ranking) และทำการแบ่งเกรดตามช่วงการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมี เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือค่า EUI (kWh/m^2/year) ของอาคารปฏิบัติการรายชั้นเป็นตัวชี้วัดที่ใช้จัดอันดับ และจะใช้อันดับร้อยละ 50 เป็นเกณฑ์มาตรฐานชี้วัดการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการอื่นทั้งในและนอกมหาวิทยาลัยได้

3.4.5 การหาสมการทำนายการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย

ทำการหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงเหตุ และผล โดยการหาตัวแปรต้นหรือปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานรายชั้น ของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย ดังสมการ (3.1) แต่ปัจจัยหรือตัวแปรที่จะสามารถนำมาใช้วิเคราะห์การถดถอยได้จะต้องมีการกระจายตัวแบบปกติเท่านั้น (normal distribution) จึงต้องทำการทดสอบตัวแปรด้วยวิธี Shapiro-Wilk test (S-W) เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนน้อยกว่า 50 ชุดข้อมูล หากข้อมูลที่มีการกระจายตัวแบบปกติจะมีค่า $p\text{-}value > 0.05$ แต่หากพบว่าข้อมูลเกิดการกระจายตัวแบบไม่ปกติหรือ $p\text{-}value < 0.05$ จะต้องใช้ logarithm เพื่อช่วยปรับให้ข้อมูลมีลักษณะการกระจายแบบปกติก่อนที่จะทำการวิเคราะห์การถดถอยในขั้นตอนต่อไป แต่หากยังพบว่าข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นปกติจะต้องทำการแจกแจงค่ามัธยฐาน (median) และค่าฐานนิยม (mode) เพื่ออธิบายข้อมูลเพิ่มเติม หลังจากทำการปรับการกระจายของตัวแปรแล้วจึงทำการวิเคราะห์สมการจากตัวแปรแต่ละตัวด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาสมการที่ดีที่สุดสำหรับใช้ทำนายปริมาณการใช้พลังงานสำหรับการใช้งานรายชั้น เพื่อหาสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด (R-square, r^2) เป็นสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายได้ ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้ทำนาย ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานต่อปี พื้นที่ใช้สอยอาคาร พื้นที่ปรับอากาศ และสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศ หลังจากได้สมการที่ใช้ในการทำนายต้องทำการหาค่า

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสมการทำนาย และนำไปเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการอื่นๆ ทีได้จากการทบทวนวรรณกรรม

โดย $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots\ldots + a_nx_n + b$ (3.1)

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม

x_n คือ ตัวแปรต้นหรือตัวแปรที่ใช้ทำนาย

a คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือค่าประมาณการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ x_n เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย

b คือ จุดตัดบนแกน Y

หลังจากได้สมการทำนายการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการแล้ว จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการทำนาย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการ โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่สามารถวัดได้จริง และค่าที่คำนวณได้จากสมการวิเคราะห์การถดถอย ดังสมการ (3.2) หากพบว่าค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง สมการทำนายนั้นไม่มีความคลาดเคลื่อน ต่อมาทำการวิเคราะห์อัตราร้อยละความเคลื่อนของสมการดังสมการ (3.3) โดยที่ค่า CV(RMSE) < 25% สำหรับการทดสอบสมการที่มีข้อมูลการใช้พลังงานเป็นช่วงระยะเวลา 12 – 60 เดือน ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเป็นระยะเวลา 12 เดือน

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N}(Y_1 - Y_2)^2} \quad (3.2)$$

$$CV(RMSE) = \frac{1}{Y_{1a}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Y_1 - Y_2)^2}{N}} \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ Y_1 คือ ค่าที่วัดได้จริง

Y_2 คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ

Y_{1a} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จริง

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์

3.5 สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการ

เมื่อสามารถทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัยได้แล้วนั้น จะช่วยให้สามารถหาแนวทางปรับปรุงด้านการจัดการอนุรักษ์พลังงานของอาคารที่มีผลการประเมินต่ำกว่าเกณฑ์ได้ด้วยการจัดลำดับการใช้พลังงานในรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย และสมการทำนายการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย ทำให้สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการ และสามารถวิเคราะห์ปัญหา จากการเสนอแนะแนวทางแก้ไขในด้านการใช้พลังงานให้สามารถเตรียมรองรับปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งเป็นข้อมูลให้กับสำหรับคณะผู้บริหารใช้ในการบริหารจัดการหรือกำหนดแนวทางในด้านการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ในการวิจัยนี้ มีรายละเอียดของข้อมูลจำนวนมากที่ทำการเก็บมาเพื่อใช้ในการศึกษา จึงมีความจำเป็นที่จะต้องแบ่งขั้นตอนของการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน เพื่อทำการจัดเรียงข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ และทำให้สามารถวิเคราะห์ผลของการวิจัยได้อย่างถูกต้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลพื้นฐาน

4.1.1 ข้อมูลอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ข้อมูลสถานที่ตั้ง ขอบเขต และแปลนพื้นของอาคารปฏิบัติการ

4.1.3 ข้อมูลหน่วยงานผู้ดูแลอาคารปฏิบัติการรายชั้น

4.1.4 ข้อมูลประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติเคมี

4.1.5 ข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอย และปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมี

4.1.6 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

4.1.7 ข้อมูลการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องแต่ละประเภทของอาคารปฏิบัติการ

4.2 ผลการวิจัย

4.2.1 การวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานรายห้องในอาคารปฏิบัติการ

4.2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4 การจัดลำดับร้อยละของค่าการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการเคมีของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.5 การทำนายค่าการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 ข้อมูลพื้นฐาน

การศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบนการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย ใช้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นกรณีศึกษาเนื่องด้วยเป็นสถานศึกษาที่ประกอบไปด้วยอาคารปฏิบัติการจำนวนมาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้มีการแบ่งการบริหารจัดการออกเป็นหลายส่วน เช่น คณะ วิทยาลัย และหน่วยงานต่าง ๆ เป็นต้น ทำให้มีรายละเอียดของข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการศึกษาจำนวนมากซึ่งมีข้อมูลดังนี้

4.1.1 ข้อมูลอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีอาคารปฏิบัติการที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์อยู่ทั้งหมดจำนวน 24 อาคาร ทั้งที่เป็นอาคารปฏิบัติการส่วนกลางของทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเอง และเป็นอาคารของคณะวิทยาศาสตร์ที่มีการใช้งานจากทุกภาควิชา ในการศึกษานี้ได้ทำการคัดเลือกเฉพาะอาคารปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่ประกอบไปด้วยห้องปฏิบัติการเคมี และห้องปฏิบัติการชีวเคมีอยู่ภายในอาคารเท่านั้น ซึ่งภายหลังการคัดเลือกอาคารปฏิบัติการพบว่าสามารถนำข้อมูลมาใช้ทำการศึกษาได้จำนวน 4 อาคาร สามารถนำข้อมูลรายชั้นมาใช้ทำการศึกษาได้จำนวน 46 ชั้น โดยอาคารที่ถูกนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัย ได้แก่ อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี อาคารคลุ้มวัชโรบล และอาคารมหามกุฏ ซึ่งมีรายละเอียดทางกายภาพของอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

ชื่ออาคาร	รหัสอาคาร	จำนวนชั้น	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)
อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	CEN84	14	49,653.64
อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	INS11	14	8,622.21
อาคารคลุ้มวัชโรบล	SCI10	8	7,274.89
อาคารมหามกุฏ	SCI25	20	12,954.50

อาคารปฏิบัติการทั้ง 4 อาคารที่ถูกนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัยนี้ ต่างก็มีหน่วยงานผู้ดูแลบริหารจัดการอาคารที่แตกต่างกันไป ดังนี้

1) อาคารที่อยู่ภายใต้การบริหารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอาคารที่สามารถขอข้อมูลจากสำนักระบบกายภาพได้โดยตรง ได้แก่ ข้อมูลด้านปริมาณการใช้พลังงาน ส่วนข้อมูลอื่น ๆ ต้องทำการติดต่อขอจากแต่ละหน่วยงานผู้ดูแลอาคารด้วยตนเอง

1.1 อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอาคารสำนักงานปฏิบัติการที่ให้หน่วยงานต่าง ๆ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเข้ามาเช่าพื้นที่เพื่อใช้ประโยชน์ในการทำเป็นห้องปฏิบัติการ โดยมีผู้เช่าพื้นที่รายชั้น เช่น วิทยาลัยปิโตรเลียมและ ปิโตรเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล เป็นต้น

1.2 อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เป็นอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แต่ในขณะเดียวกันก็มีทีมบริหารจัดการวิทยาลัยของตนเอง คล้ายกับการบริหารจัดการของคณะต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัย

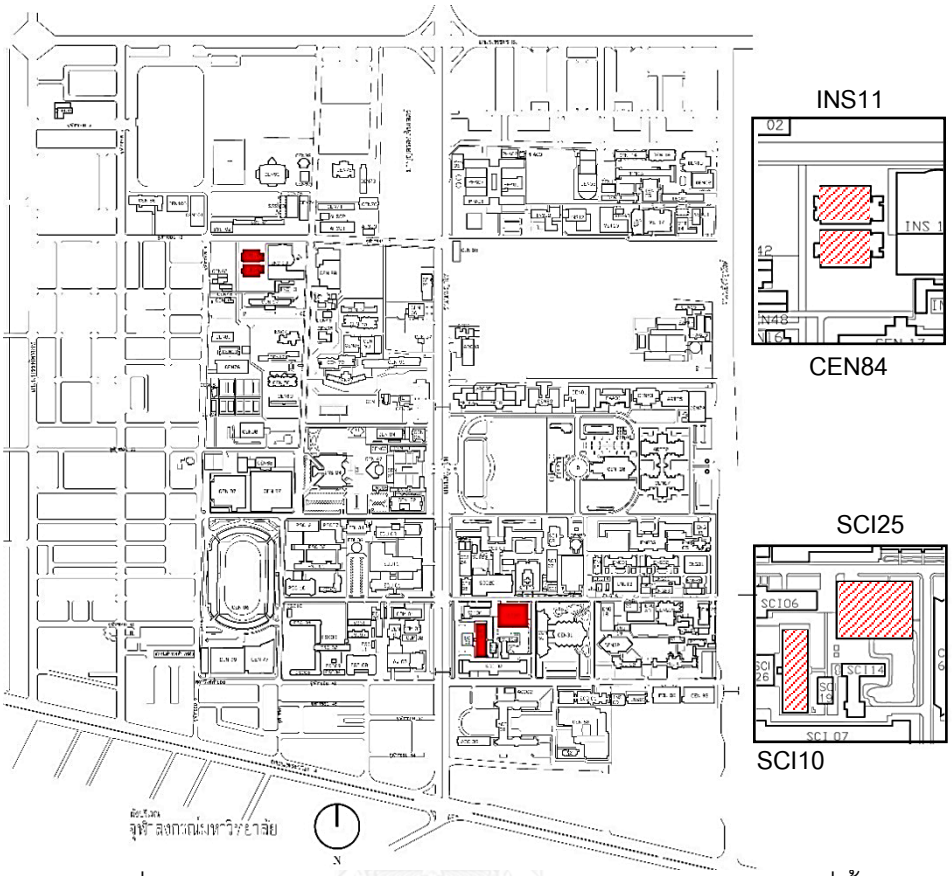
2) อาคารที่อยู่ภายใต้การบริหารของคณะวิทยาศาสตร์ เป็นอาคารที่ต้องทำการติดต่อขอข้อมูลผ่านทางคณะวิทยาศาสตร์ก่อน เพื่อขอข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานรายชั้น จากนั้นคณะวิทยาศาสตร์จะทำการแนะนำ และดำเนินเรื่องต่อไปยัง ภาควิชาต่าง ๆ ที่ต้องการขอข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ภาควิชาเคมี และภาควิชาชีวเคมี ทั้งนี้แต่ละภาควิชาเองนั้น ก็ยังมีการแบ่งเป็นหน่วยงานย่อยเพื่อบริหารจัดการแต่ละส่วนอีกทีหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทำการติดต่อขอข้อมูลจากภาควิชาด้วยเช่นกัน

2.1 อาคารคลุ้ม วัชโรบล เป็นอาคารของคณะวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วยการใช้งานของ 3 ภาควิชา ได้แก่ ภาควิชาชีววิทยา ภาควิชาชีวเคมี และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ซึ่งเป็นอาคารที่ประกอบด้วยภาควิชาชีวเคมีเป็นเป้าหมายของการศึกษาในงานวิจัยนี้

2.2 อาคารมหามกุฏ เป็นอาคารของคณะวิทยาศาสตร์ที่มีความหลากหลายทางการใช้งานอาคารมากที่สุด เนื่องจากอาคารประกอบไปด้วยภาควิชาต่าง ๆ จำนวนมาก อาทิเช่น ภาควิชาฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา เคมีเทคนิค เป็นต้น โดยมีภาควิชาเคมีเป็นส่วนหนึ่งของอาคารซึ่งเป็นเป้าหมายของการศึกษาในงานวิจัยนี้

4.1.2 ข้อมูลสถานที่ตั้ง ขอบเขต และแปลนพื้นของอาคารปฏิบัติการ

อาคารปฏิบัติการทั้ง 4 อาคาร มีสถานที่ตั้งในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูปที่ 4.1 ตามผังบริเวณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยฝั่งซ้ายของผังบริเวณเป็นตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร CEN84 และ INS11 ส่วนฝั่งขวาของผังบริเวณเป็นตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร SCI10 และ SCI25 ซึ่งอาคารทั้งคู่จะอยู่ในบริเวณของคณะวิทยาศาสตร์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

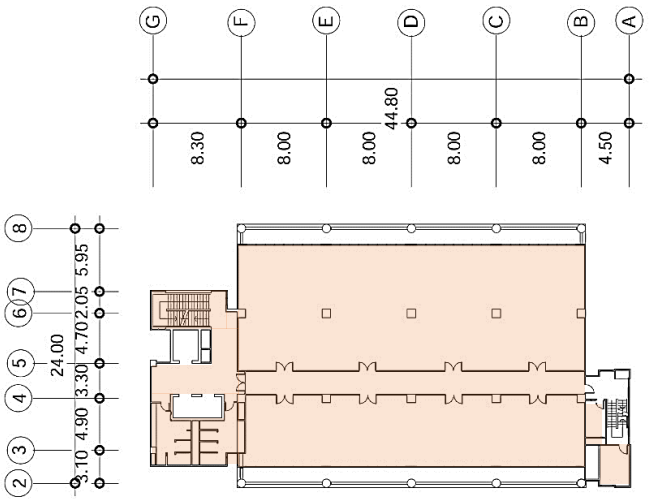


รูปที่ 4.1 ผังบริเวณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงตำแหน่งที่ตั้งของอาคารปฏิบัติการทั้ง 4 อาคาร ที่นำข้อมูลมาใช้ในการวิจัย

ในด้านลักษณะของอาคาร และแปลนพื้น (floor plan) ของอาคารปฏิบัติการแต่ละอาคารที่จะนำมาใช้ในการศึกษา ทุกอาคารนั้นมีแปลนที่คล้ายคลึงกันแต่ล้วนแตกต่างกันเพียงการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยตามลักษณะของการใช้งานรายชั้น เช่น ลักษณะการกั้นห้อง เป็นต้น โดยขนาดของพื้นที่ใช้สอยรายชั้นที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยพื้นที่ส่วนกลาง และพื้นที่ห้องที่มีการกั้นส่วนเพื่อการใช้งาน ไม่รวมพื้นที่ใช้สอยที่ไม่รวมพื้นที่ภายนอกอาคารที่ไม่ถูกใช้งาน และพื้นที่เปิดโล่งภายในอาคารที่ไม่สามารถใช้งานได้ ได้แก่ พื้นที่ดาดฟ้า พื้นที่ที่ใช้สำหรับเป็นหลังคาของชั้นล่าง พื้นที่ที่ใช้สำหรับวางคอยล์ร้อนของเครื่องปรับอากาศ (CDU) พื้นที่ช่องท่อสำหรับงานระบบ (shaft) และพื้นที่ปล่องลิฟต์ (lift core) ซึ่งการใช้งานพื้นที่ใช้สอยในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้ง 4 อาคาร มีลักษณะดังต่อไปนี้

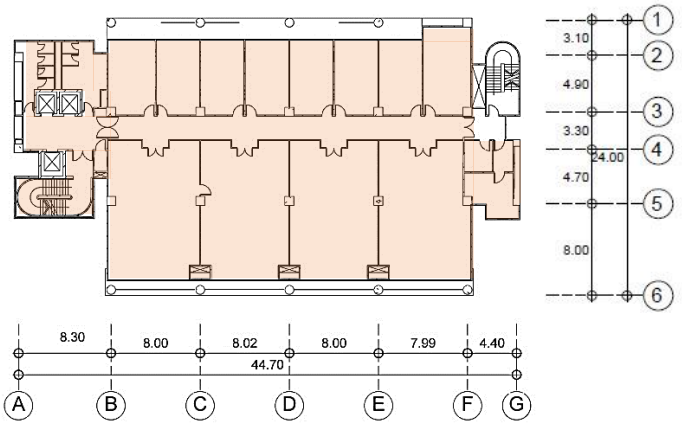
1) อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอาคารสำหรับให้หน่วยงานต่าง ๆ มาเช่าพื้นที่ จึงมีลักษณะของแปลนพื้นอาคารที่คล้ายกันเกือบทุกชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 อาคารมีระยะกว้าง

ที่สุด 24.00 เมตร และมีความยาวเท่ากับ 44.80 เมตร โดยมีชั้นที่มีพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด 1,018.80 ตร.ม. และชั้นที่มีรูปแบบแปลนมาตรฐาน (typical floor plan) ของอาคารนี้มีพื้นที่ 882.50 ตร.ม.



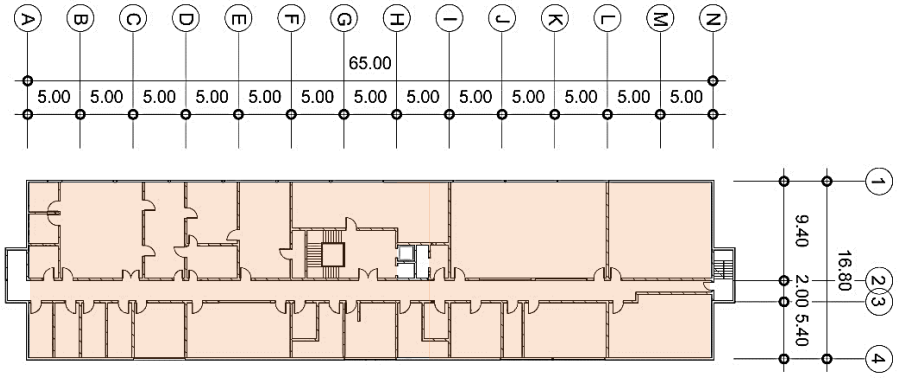
รูปที่ 4.2 แปลนพื้นชั้นที่ 8 ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เป็นอาคารที่เป็นต้นแบบของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังนั้นจึงมีลักษณะอาคาร และแปลนพื้นคล้ายคลึงกัน โดยมีความกว้าง 24.00 เมตรเช่นเดียวกัน และมีด้านยาว 44.70 เมตร เนื่องด้วยอาคารทั้งคู่มีลักษณะอาคารคล้ายกัน และตั้งอยู่ใกล้กัน จึงมีการสร้างทางเชื่อมต่อระหว่างอาคารทั้งสอง ในชั้นที่ 5 ซึ่งสถาบันปิโตรเลียมและปิโตรเคมีเป็นผู้ดูแลบริหารจัดการอยู่ โดยมีลักษณะของ typical floor plan ดังรูปที่ 4.3 และมีพื้นที่ใช้สอยรายชั้นประมาณ 845 ตร.ม.



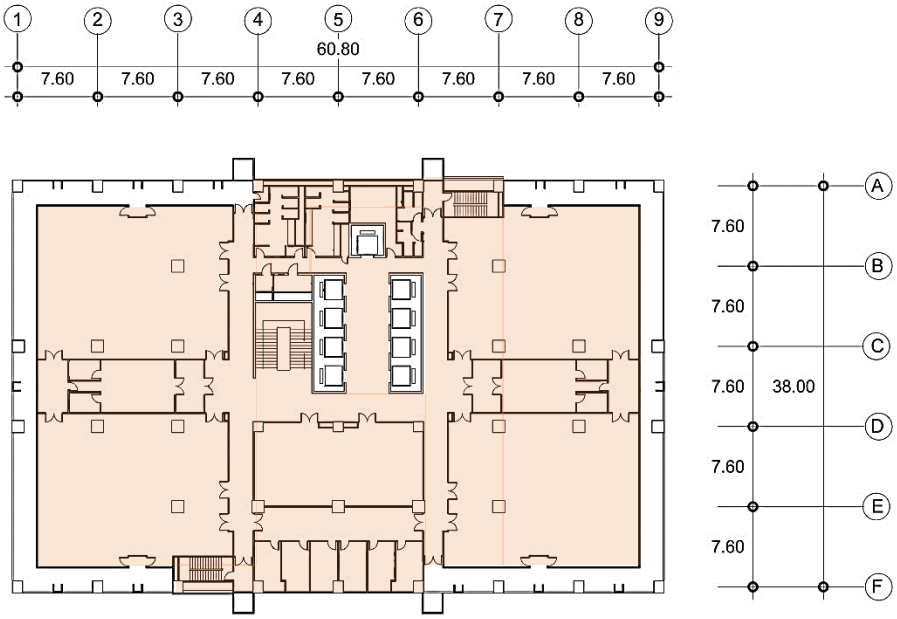
รูปที่ 4.3 แปลนพื้นชั้นที่ 6 ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) อาคารคลุ้มวัชโรบล เป็นอาคารที่อยู่ภายใต้การดูแลของคณะวิทยาศาสตร์ มีรูปแบบของแปลนพื้นทุกชั้นคล้ายกัน แตกต่างกันเพียงจำนวนของห้องที่อยู่ในแต่ละชั้น มีขนาดพื้นที่ใช้สอยใน typical floor plan เท่ากับ 1,085.00 ตร.ม. ดังแสดงในรูปที่ 4.4 อาคารมีความกว้างเพียง 16.80 ตร.ม. แต่มีด้านยาวถึง 65.00 ตร.ม.



รูปที่ 4.4 แปลนพื้นชั้นที่ 6 ของอาคารคลุ้มวัชโรบล

4) อาคารมหามกุฏ เป็นอาคารสูงขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยหน่วยงานต่าง ๆ ของคณะวิทยาศาสตร์อยู่ภายในอาคารเป็นจำนวนมาก โดยมีลักษณะของ typical floor plan ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 1,925.50 ตร.ม. มีชั้นที่มีพื้นที่ใช้สอยมากที่สุดเท่ากับ 2,918.30 ตร.ม. อาคารกว้าง 38.00 เมตร มีความยาว 60.80 เมตร



รูปที่ 4.5 แปลนพื้นชั้นที่ 7 ของอาคารมหามกุฏ

4.1.3 ข้อมูลหน่วยงานผู้ดูแลอาคารปฏิบัติการรายชั้น

การแบ่งการใช้งานภายในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย โดยแบ่งการใช้งานของแต่ละหน่วยงานออกเป็นรายชั้น แต่ละชั้นของอาคารปฏิบัติการล้วนมีการบริหารจัดการแบบแยกหน่วยงานออกจากกันอย่างชัดเจน ยกเว้นอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีที่เป็นอาคารที่อยู่ในความดูแลของทางวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีเองจึงสามารถใช้งานพื้นที่ในทุกชั้นของอาคาร จากการเก็บข้อมูลด้านการใช้งานอาคารปฏิบัติการรายชั้นพบว่า รายละเอียดในการใช้งานพื้นที่รายชั้นที่หน่วยงานต่าง ๆ มีการบริหารจัดการอยู่ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการใช้งานอาคารปฏิบัติการรายชั้นจำแนกตามหน่วยงาน

ชื่ออาคาร	ชั้นที่	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1	ส่วนกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
	2 - 4	ศูนย์บริการวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
	5 - 7	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
	11 - 12	ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล
	13 – 14	ศูนย์บริการวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	1	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ
	2 – 8	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
	9 - 14	สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ
อาคารคลุ้ม วัชโรบล	1 - 2	ภาควิชาชีววิทยา
	3 – 4	ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
	5 - 6	ภาควิชาชีวเคมี

ชื่ออาคาร	ชั้นที่	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
	7	ภาควิชาชีวเคมี และ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาคารมหามกุฏ	1M	ภาควิชาเคมีเทคนิค
	2 - 3	คณะวิทยาศาสตร์
	4	ภาควิชาชีววิทยา
	5 - 6	ภาควิชาฟิสิกส์
	7 - 15	ภาควิชาเคมี
	16	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
	17	ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
	18	ภาควิชาเคมีเทคนิค
	19	ภาควิชาฟิสิกส์
	20	คณะวิทยาศาสตร์

4.1.4 ข้อมูลประเภทการใช้สอยพื้นที่ของอาคารปฏิบัติการรายชั้น

อาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยประกอบไปด้วยการใช้สอยพื้นที่ภายในอาคารหลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทล้วนมีลักษณะในการใช้สอยพื้นที่แตกต่างกันไปอย่างชัดเจน ได้แก่ รูปแบบการใช้งาน ระยะเวลาการใช้งาน และลักษณะผู้เข้าใช้งาน จากการสำรวจอาคารและสอบถามข้อมูลจากผู้ใช้งานอาคาร ทำให้สามารถจำแนกประเภทพื้นที่ใช้สอยตามลักษณะของการใช้งานออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) ห้องปฏิบัติการวิจัย (research laboratory and equipment laboratory) เป็นห้องที่มีลักษณะการใช้งานทั้งการวิเคราะห์วิจัย การเตรียมการทดลอง รวมไปถึงเป็นห้องที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สำหรับใช้ทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์อยู่จำนวนมาก ดังรูปที่ 4.6 ผู้ใช้งานประจำภายในห้องปฏิบัติการวิจัย ได้แก่ อาจารย์ นิสิต นักศึกษาในระดับปริญญาโทและเอก โดยมีทั้งระยะเวลาการใช้งานห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับรูปแบบของห้องปฏิบัติการ และลักษณะของงานวิจัยที่ทำการศึกษา แต่มักมีระยะเวลาการใช้งาน

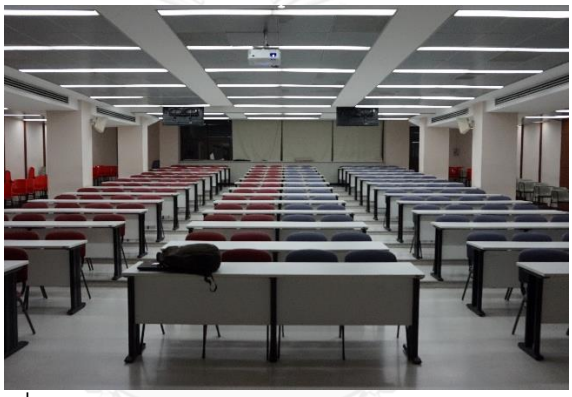
ในช่วงเวลา 8:00 น. – 20:00 น. ซึ่งพบว่าระยะเวลาของการใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12 ชั่วโมง ในวันจันทร์ - วันศุกร์ และผู้ใช้งานห้องปฏิบัติการวิจัยยังสามารถเข้ามาใช้งานในวันเสาร์และวันอาทิตย์ได้อีกด้วย พบห้องปฏิบัติการวิจัยในอาคารที่เป็นกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

รูปที่ 4.6 ลักษณะการใช้งานประเภทห้องปฏิบัติการวิจัย

2) ห้องเรียนปฏิบัติการ (learning laboratory) เป็นห้องที่มีลักษณะการใช้งานสำหรับทำการทดลองในขณะที่ทำการเรียนการสอน ให้ความรู้จากการลงมือปฏิบัติ และรวมถึงห้องที่ใช้สำหรับเตรียมการทดลองในขณะมีการเรียนการสอนด้วยเช่นกัน จึงประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีจำนวนสัมพันธ์กันกับโต๊ะปฏิบัติการ (bench) เช่น ตู้ดูดควัน เตาให้ความร้อน เป็นต้น ดังรูปที่ 4.7 ผู้ใช้งาน ได้แก่ อาจารย์ และนิสิต นักศึกษา ในระดับปริญญาตรี รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำห้องเรียนปฏิบัติการแต่ละห้องเพื่อทำหน้าที่ดูแล และสนับสนุนการใช้งานในด้านต่าง ๆ ระยะเวลาการใช้งานห้องเรียนปฏิบัติการมักมีการเป็นเวลาตามตารางสอน เฉพาะในวัน และเวลาราชการเท่านั้น มักมีการใช้งานครั้งละ 3 ชั่วโมง ในเวลา 9:00 น. – 12:00 น. และ 13:00 น. – 16:00 น. รวมมีเวลาใช้งานมากที่สุด 6 ชั่วโมงต่อวัน พบในอาคารคลุ้มวัชโรบล และอาคารมหามกุฎ

รูปที่ 4.7 ลักษณะการใช้งานประเภทห้องเรียนปฏิบัติการ

3) ห้องเรียนบรรยาย (lecture room) เป็นห้องเรียนสำหรับใช้ทำการเรียนการสอนในภาคทฤษฎีที่พบมากในสถานศึกษา ไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการทดลองหรือเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ดังรูปที่ 4.8 ผู้ใช้งานห้องเรียนบรรยาย ได้แก่ อาจารย์ และนิสิต นักศึกษาในทุกระดับการศึกษา ห้องเรียนบรรยายทางวิทยาศาสตร์นั้น มีระยะเวลาการใช้งานตามปกติ เช่นเดียวกันกับห้องเรียนปฏิบัติการ แต่อาจมีระยะเวลาการใช้งานน้อยกว่า เนื่องจากจะมีการใช้งานห้องเรียนบรรยายก่อนที่จะทำการเรียนภาคปฏิบัติที่ห้องเรียนปฏิบัติการ โดยมักมีระยะเวลาการใช้งานห้องเรียนบรรยายเป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมงต่อครั้ง ในช่วงเวลา 8:00 น. – 12:00 น. และ 13:00 น. – 17:00 น. รวมมีระยะเวลาการใช้งานมากที่สุดเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ในวันทำการ เป็นห้องที่พบในอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียม และปิโตรเคมี อาคารคลุ้มวัชโรบล และอาคารมหามกุฎ



รูปที่ 4.8 ลักษณะการใช้งานประเภทห้องเรียนบรรยาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) สำนักงาน (office) เป็นส่วนกลางการบริหารจัดการของหน่วยงานผู้บริหารอาคาร และเจ้าหน้าที่ของหน่วยงาน รวมไปถึงการใช้งานเป็นห้องพักของอาจารย์ นิสิต นักศึกษา และพนักงานเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการ และส่วนห้องเก็บสารเคมีหรือส่วนห้องอื่น ๆ ที่ใช้เพื่อสนับสนุนการใช้งานของห้องปฏิบัติการก็จะถูกนับเป็นการใช้งานส่วนสำนักงานด้วยเช่นเดียวกัน ดังแสดงลักษณะของส่วนสำนักงานตามรูปที่ 4.9 โดยมีลักษณะการใช้งานเป็นเวลา ตามวัน และเวลาราชการ ตั้งแต่ช่วงเวลา 8:00 น.–17:00 น. สำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลห้องเรียนปฏิบัติการที่จะต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ รวมถึงสถานที่ทั้งก่อน และหลังชั่วโมงเรียนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งนี้ช่วงเวลาพักกลางวันเวลา 12:00 น. – 13:00 น. คือ ช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งานส่วนสำนักงานเป็นเวลา 1 ชั่วโมง รวมมีการใช้งานส่วนสำนักงานทั้งสิ้น 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งมีสำนักงานในอาคารที่เป็นกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

รูปที่ 4.9 ลักษณะการใช้งานประเภทสำนักงาน

อีกหนึ่งปัจจัยด้านระยะเวลาการใช้งานอาคารปฏิบัติการของสถานศึกษาที่สำคัญคือระยะเวลาการใช้งานอาคารตามปฏิทินการศึกษาของมหาวิทยาลัย โดยสามารถจำแนกลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันของผู้ใช้งานอาคารออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) การใช้งานเพื่อการเรียนการสอน (class) ของนิสิตนักศึกษา และคณาจารย์ ซึ่งมีการเข้าใช้งานขึ้นอยู่กับระยะเวลา เปิด - ปิดภาคเรียน และวันหยุดนักขัตฤกษ์ต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

2) การใช้งานของพนักงาน เจ้าหน้าที่ และบุคลากร (office) เป็นผู้ที่ต้องเข้าใช้งานอาคารตลอดทั้งปีแม้ว่าจะเปิดหรือปิดภาคเรียนก็ตาม มีระยะเวลาการใช้งานตามวัน และเวลาราชการ

ตารางที่ 4.3 ระยะเวลาการเข้าใช้งานอาคารในแต่ละเดือน (วัน) ของการใช้งานเพื่อการเรียนการสอน (class day) และการใช้งานของบุคลากร (work day)

เดือน/ปี	ส.ค.58	ก.ย.58	ต.ค.58	พ.ย.58	ธ.ค.58	ม.ค.59
class day	20	22	20	21	20	20
work day	15	19	19	20	0	20

เดือน/ปี	ก.พ.59	มี.ค.59	เม.ษ.59	พ.ค.59	มิ.ย.59	ก.ค.59
class day	20	23	17	19	20	19
work day	19	19	17	0	19	14

4.1.5 ข้อมูลขนาดพื้นที่ และปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการ

ในการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารคลุ้มวัชโรบล และอาคารมหามกุฏ พบว่ามีการเก็บข้อมูลเป็นเอกสารด้วยการจดบันทึกทำให้พบปัญหาในการจัดเรียงข้อมูล ซึ่งทำให้ข้อมูลสูญหาย อาจทำให้ข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน และขาดความต่อเนื่อง ด้านข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการพบว่า ภายในอาคารปฏิบัติการมีเพียงการติดมิเตอร์ไฟฟ้ารายชั้น จึงทำให้ไม่สามารถทำการศึกษาด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการได้โดยละเอียดมากกว่าข้อมูลรายชั้น เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานรายห้อง เป็นต้น จึงทำการเก็บ และคัดเลือกข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั้นในแต่ละเดือน (kWh/month) เป็นเวลา 12 เดือน ของปีการศึกษา 2558 ระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2558 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2559 โดยทำการคัดเลือกข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษานี้ได้ทั้งสิ้นเป็นจำนวน 46 ชั้น จากอาคารปฏิบัติการทั้ง 4 อาคาร ซึ่งข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั้นที่ได้รับมาจะไม่รวมการใช้ไฟฟ้าจากงานระบบส่วนกลาง เช่น ลิฟต์โดยสาร เครื่องสูบน้ำของอาคาร เป็นต้น

ส่วนการเก็บข้อมูลขนาดพื้นที่ปรับอากาศรายชั้นของอาคารปฏิบัติการจากสำนักบริหารระบบกายภาพของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จะต้องใช้วิธีการสำรวจอาคารประกอบกับข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยรายชั้น เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมาไม่มีการระบุขนาดของพื้นที่ปรับอากาศเอาไว้ โดยข้อมูลทั้งหมดที่ทำการเก็บรวบรวมมาเพื่อนำมาใช้เป็นตัวแปรสำคัญในงานวิจัยนี้สำหรับทำการศึกษาด้านการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ ข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอย ข้อมูลขนาดของพื้นที่ปรับอากาศ สัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศรายชั้น ปริมาณการใช้พลังงานรายเดือน และค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.4 ในการศึกษานี้ โดยมีการกำหนดรหัสชั้น เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการจัดเรียง และวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

กำหนดให้	X-xx	คือ	รหัสชั้นจำแนกชื่ออาคาร และเลขชั้นของอาคาร
โดยที่	X	คือ	ตัวอักษรที่แสดงถึงอาคารแต่ละอาคาร
	xx	คือ	แทนเลขชั้นของอาคารนั้น

1) อาคาร A	หมายถึง	อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2) อาคาร B	หมายถึง	อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
3) อาคาร C	หมายถึง	อาคารคลุ้ม วัชโรบล
4) อาคาร D	หมายถึง	อาคารมหามกุฏ

การจำแนกประเภทการใช้งานอาคารปฏิบัติการรายชั้นตามการลักษณะการใช้สอยพื้นที่ทั้ง 4 ประเภท เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานระหว่างแต่ละประเภทการใช้งาน โดยมีการใช้ตัวเลขแทนประเภทการใช้งานแต่ละประเภท ดังนี้

1) การใช้งานประเภทที่ 1 หมายถึง ชั้นห้องปฏิบัติการวิจัย
2) การใช้งานประเภทที่ 2 หมายถึง ชั้นห้องเรียนปฏิบัติการ
3) การใช้งานประเภทที่ 3 หมายถึง ชั้นห้องเรียนบรรยาย
4) การใช้งานประเภทที่ 4 หมายถึง ชั้นส่วนสำนักงาน

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลขนาดพื้นที่ และปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการเคมีของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รหัสชั้น	ประเภทการใช้งานรายชั้น	ขนาดพื้นที่ใช้สอย (m^2)	ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ (m^2)	สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%)	ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/year)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/year)
A-02	4	806.20	382.19	47.4	20,993	26.04
A-03	4	1,018.80	780.80	70.4	107,333	96.80
A-04	4	927.60	463.89	50.0	51,641	55.67
A-05	1	882.50	555.37	62.9	146,197	165.66
A-06	1	882.50	584.64	66.2	209,158	237.01
A-07	4	882.50	590.38	66.9	19,358	21.94
A-09	4	882.50	576.35	65.3	59,459	67.38
A-11	1	882.50	565.72	64.1	258,463	292.88
A-12	1	882.50	564.96	64.0	51,273	58.10
B-01	1	717.00	530.32	74.0	51,220	71.44
B-02	4	724.00	406.89	56.2	59,280	81.88
B-03	3	840.00	577.14	68.7	32,720	38.95
B-04	1	840.00	551.62	65.7	166,380	198.07

รหัสชั้น	ประเภทการใช้งานรายชั้น	ขนาดพื้นที่ใช้สอย (m^2)	ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ (m^2)	สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%)	ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/year)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/year)
B-05	1	844.50	599.29	71.0	126,550	149.85
B-06	1	844.50	615.04	72.8	237,950	281.76
B-07	1	788.50	543.51	68.9	254,300	322.51
B-09	4	844.50	541.89	64.2	33,100	39.19
B-10	2	849.00	566.92	66.8	46,700	55.01
B-12	2	849.00	581.76	68.5	26,800	31.57
B-13	1	840.00	576.31	68.6	31,450	37.44
B-14	1	840.00	577.79	66.4	59,300	70.60
C-01	4	1,092.00	598.51	55.2	48,290	44.22
C-02	1	1,085.00	730.71	67.3	42,870	39.51
C-03	1	1,085.00	852.04	78.5	79,850	73.59
C-04	1	1,085.00	786.43	72.5	105,655	97.38
C-05	4	1,085.00	789.63	72.8	15,725	14.49
C-06	1	1,085.00	718.24	66.2	284,625	262.33
C-07	1	1,026.50	573.38	61.5	555,472	541.13
D-02	3	2,918.30	1,636.30	56.1	122,864	42.10
D-03	3	2.918.30	1,550.42	53.1	69,920	23.96
D-04	2	2,052.10	1,384.47	67.5	235,640	114.83
D-05	2	2,018.30	1,272.91	63.1	403,640	200.13
D-06	2	1,929.50	1,241.45	64.3	212,330	110.04
D-07	2	1,929.50	312.62	16.2	101,488	52.60
D-08	2	1,929.50	266.09	13.8	100,352	52.01
D-04	2	2,052.10	1,384.47	67.5	235,640	114.83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รหัสชั้น	ประเภทการใช้งานรายชั้น	ขนาดพื้นที่ใช้สอย (m^2)	ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ (m^2)	สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%)	ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/year)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/year)
D-05	2	2,018.30	1,272.91	63.1	403,640	200.13
D-06	2	1,929.50	1,241.45	64.3	212,330	110.04
D-07	2	1,929.50	312.62	16.2	101,488	52.60
D-08	2	1,929.50	266.09	13.8	100,352	52.01
D-09	2	1,929.50	334.56	17.3	108,388	56.17
D-10	1	1,929.50	827.53	42.9	222,472	115,30
D-11	4	1,929.50	1,358.15	70.4	538,496	279.09
D-12	1	1,929.50	1,181.83	61.3	150,016	77.75
D-13	1	1,929.50	1,182.44	61.3	973,888	504.74
D-14	1	1,929.50	851.36	44.1	378,992	196.42
D-15	1	1,929.50	1,188.29	61.6	315,552	163.54
D-16	1	1,929.50	1,167.28	60.5	250,528	129.84
D-17	1	1,929.50	1,287.33	66.7	437,714	226.85
D-18	1	1,929.50	1,349.50	69.9	262,208	135.89
D-19	1	1,956.70	1,331.11	68.0	311,970	159.44

4.1.6 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

ปัจจัยด้านอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารเป็นหนึ่งในปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารตามการทบทวนวรรณกรรม ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยได้ทำการขอข้อมูลอุณหภูมิรายเดือน (°C) ของสถานีตรวจวัดสภาพอากาศกรุงเทพมหานคร ตลอดปีการศึกษา 2558 เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

เดือน/ปี	ส.ค.58	ก.ย.58	ต.ค.58	พ.ย.58	ธ.ค.58	ม.ค.59
อุณหภูมิ (°C)	29.7	28.9	28.5	29.5	28.6	27.7

เดือน/ปี	ก.พ.59	มี.ค.59	เม.ษ.59	พ.ค.59	มิ.ย.59	ก.ค.59
อุณหภูมิ (°C)	28.1	30.0	31.7	31.8	29.6	29.6

4.1.7 ข้อมูลการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องแต่ละประเภทของอาคารปฏิบัติการ

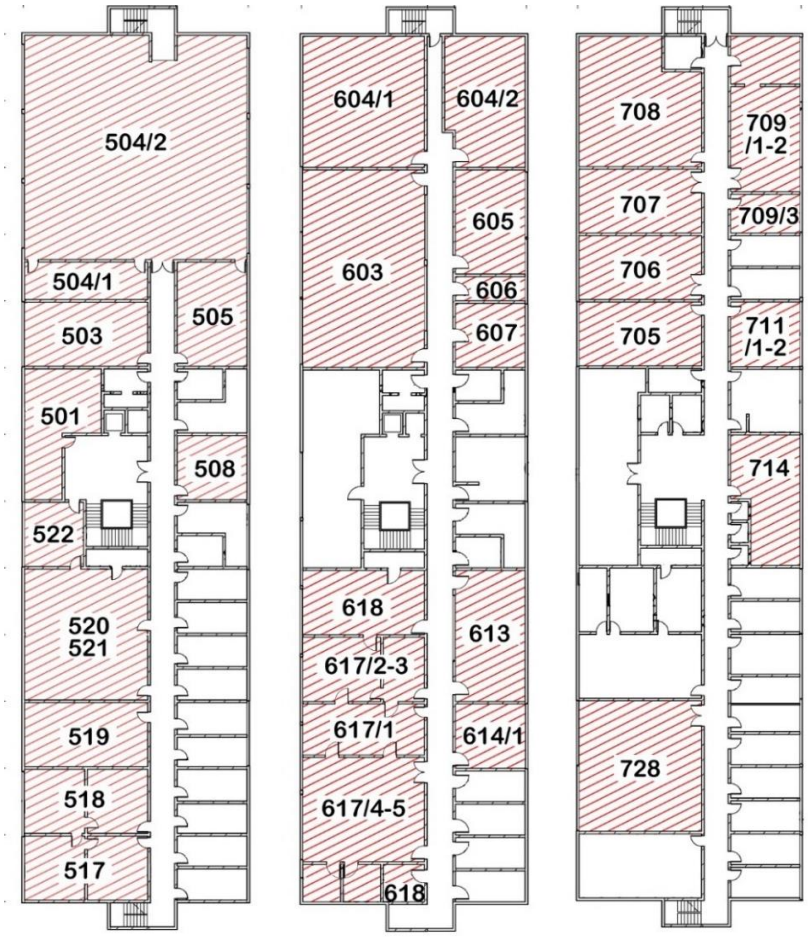
ในการสำรวจเพื่อทำการเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่ภายในห้อง ที่มีประเภทการใช้งานแตกต่างกันภายในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการศึกษานี้ต้องทำการสำรวจอาคารรายห้องเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอีกครั้ง เนื่องจากในการใช้งานจริงอาจมีการเคลื่อนย้ายหรือสลับสับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าระหว่างห้อง และไม่ได้ทำการบันทึกข้อมูลที่เป็นปัจจุบันลงในฐานข้อมูล โดยทำการสำรวจห้องในชั้นของอาคารปฏิบัติการที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี ซึ่งมีรูปแบบผังอาคารในชั้นที่ทำการเก็บข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 และมีรายละเอียดของอาคารที่ทำการสำรวจเพื่อนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัยนี้ ดังต่อไปนี้

1) อาคารคลุ้มวัชโรบล (SCI10) ภาควิชาชีวเคมี

ทำการสำรวจในชั้นที่ 5 – 7 รวมทั้งสิ้น 3 ชั้น และทำการสำรวจห้องจำนวน 33 ห้อง

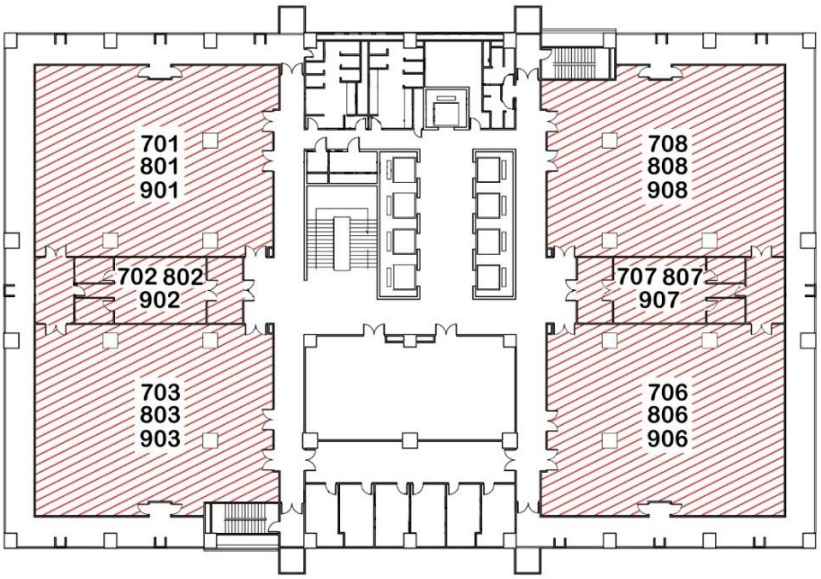
2) อาคารมหามกุฏ (SCI25) ภาควิชาเคมี

ทำการสำรวจในชั้นที่ 7 – 9 รวมทั้งสิ้น 3 ชั้น และทำการสำรวจห้องจำนวน 18 ห้อง



รูปที่ 4.10 แปลนพื้นชั้นที่ 5 – 7 อาคารคลุ้ม วัชโรบล และตำแหน่งห้องที่ทำการสำรวจเก็บข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แปลนพื้น ชั้น 7 – 9 อาคารมหามกุฏ และตำแหน่งห้องที่ทำการสำรวจเก็บข้อมูล

จากการสำรวจ และเก็บรวมรวมข้อมูลในห้องที่มีลักษณะการใช้งานแตกต่างกันรวมทั้งสิ้นจำนวน 51 ห้อง ทำให้ได้รับข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องแต่ละประเภทของอาคารปฏิบัติการ (installed power) เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) ตามลำดับ โดยข้อมูลมีค่า EPD และ LPD ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งได้ทำการจำแนกประเภทของห้องตามลักษณะการใช้งานได้ 4 ประเภทเช่นเดียวกันกับการจำแนกประเภทการใช้งานแบบรายชั้น แต่มีการจำแนกประเภทของห้องปฏิบัติการวิจัยเพิ่มเติม เนื่องจากพบว่าห้องเรียนปฏิบัติการมีการใช้งาน 2 ลักษณะ ได้แก่ ห้องเรียนปฏิบัติการที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ และไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ จึงทำการจำแนกประเภทการใช้งานรายห้องออกเป็น 5 ประเภท ดังต่อไปนี้

1) การใช้งานประเภทที่ 1	หมายถึง	ห้องปฏิบัติการวิจัย
2) การใช้งานประเภทที่ 2	หมายถึง	ห้องเรียนปฏิบัติการ ที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ
3) การใช้งานประเภทที่ 2A	หมายถึง	ห้องเรียนปฏิบัติการ ที่ไม่ใช้งานเครื่องปรับอากาศ
4) การใช้งานประเภทที่ 3	หมายถึง	ห้องเรียนบรรยาย
5) การใช้งานประเภทที่ 4	หมายถึง	ส่วนสำนักงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดรายห้องในอาคารปฏิบัติการ

ห้อง	ประเภทการใช้งานรายห้อง	ขนาดพื้นที่ใช้สอย (m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้ง (Watt)	ค่า EPD (W/m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากไฟส่องสว่างที่ติดตั้ง (Watt)	ค่า LPD (W/m^2)
<u>อาคารคลุ้ม วัชโรบล (SCI10)</u>						
501	4	41.48	5,572	134.33	690	16.63
503	3	44.16	550	12.45	1,012	22.92
504/1	3	25.76	306	11.88	368	14.29
504/2	2	274.90	2,636	9.59	5,541	20.16

ห้อง	ประเภทการใช้งานรายห้อง	ขนาดพื้นที่ใช้สอย (m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้ง (Watt)	ค่า EPD (W/m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากไฟส่องสว่างที่ติดตั้ง (Watt)	ค่า LPD (W/m^2)
505	2A	40.56	6,476	161.59	598	14.74
508	4	24.96	1,110	76.52	368	14.74
517	4	43.20	1,000	23.15	368	8.52
518	4	43.20	2,640	61.11	368	8.52
519	3	44.10	250	5.67	920	20.86
520-521	3	88.30	550	6.23	2,024	22.92
522	4	21.12	2,410	114.11	368	17.42
603	2	134.39	25,230	187.74	3,082	22.93
604/1	1	90.00	20,810	231.22	1,719	19.10
604/2	1	56.56	7,225	127.74	828	14.64
605	1	40.56	7,452	183.73	598	14.74
606	4	9.36	800	85.27	184	19.66
607	1	24.96	10,000	400.64	368	14.74
613	1	50.96	12,630	247.84	736	14.44
614/1	1	24.96	7,820	313.30	368	14.74
616	1	8.62	1,200	139.21	626	72.62
617/1	1	34.51	5,270	152.71	1,033	29.93
617/2-3	1	42.62	5,052	117.90	184	4.32
617/4-5	1	86.51	15,371	177.68	2,944	34.03
618	1	43.59	5,575	127.90	736	16.88
705	1	44.16	9,540	216.03	736	16.67
706	1	44.16	21,022	476.04	736	16.67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ห้อง	ประเภทการใช้งานรายห้อง	ขนาดพื้นที่ใช้สอย (m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้ง (Watt)	ค่า EPD (W/m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากไฟส่องสว่างที่ติดตั้ง (Watt)	ค่า LPD (W/m^2)
707	1	44.16	9,902	224.23	736	16.67
708	1	82.11	3,868	47.11	368	4.48
709/1-2	1	58.83	10,368	176.24	736	12.51
709/3	1	16.50	5,310	321.82	368	22.30
711/1-2	4	25.50	1,980	77.65	368	14.30
714	1	43.38	17,450	402.26	368	8.48
728	1	134.32	13,061	97.24	3,490	25.98
อาคารมหามกุฏ (SCI25)						
701	2A	256.98	47,138	183.43	693	2.70
702	4	76.46	1,100	14.39	180	2.35
703	2A	251.46	47,138	187.46	630	2.51
706	2A	257.85	39,530	153.31	630	2.44
707	4	76.01	2,970	39.07	180	2.37
708	2A	250.60	38,080	151.96	693	2.77
801	2A	256.98	33,220	129.97	693	2.70
802	4	76.46	1,550	20.27	126.21	2.35
803	2A	251.46	33,220	132.11	630	2.51
806	2A	257.85	37,442	145.21	630	2.44
807	4	76.01	1,490	19.60	180	2.37
808	2A	250.60	37,442	149.41	693	2.77
901	2A	256.98	33,702	131.15	693	2.70
902	4	76.46	1,300	17.00	180	2.35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ห้อง	ประเภทการใช้งานรายห้อง	ขนาดพื้นที่ใช้สอย (m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้ง (Watt)	ค่า EPD (W/m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากไฟส่องสว่างที่ติดตั้ง (Watt)	ค่า LPD (W/m^2)
903	2A	251.46	33,702	134.03	630	2.51
906	2A	257.85	31,270	121.27	630	2.44
907	4	76.01	1,180	15.52	180	2.37
908	2A	250.60	31,270	124.78	693	2.77

เมื่อทำการนำข้อมูลด้านระยะเวลาการในการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด (ชั่วโมง) มาทำการคำนวณร่วมกับค่ากำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในห้องจะทำให้ได้รับค่าการใช้พลังงานจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดภายในห้อง และสามารถทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้พลังงานในห้องแต่ละประเภท โดยทำการจำแนกการใช้พลังงานตามลักษณะการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้า 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้ากำลังจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบไฟส่องสว่าง ทำให้ได้รับข้อมูลอัตราส่วนร้อยละหรือสัดส่วนของการใช้พลังงานในห้องแต่ละประเภทที่อยู่ภายในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งประเภทห้องที่สามารถเก็บรวบรวมระยะเวลาการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามา ได้แก่ ห้องเรียนปฏิบัติการไม่ปรับอากาศ และส่วนสำนักงาน

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานรายห้องจำแนกตามรูปแบบระบบการใช้พลังงาน

ห้อง	ประเภทการใช้งานรายห้อง	การใช้พลังงาน (kWh)	สัดส่วนระบบปรับอากาศ (%)	สัดส่วนระบบไฟฟ้ากำลัง (%)	สัดส่วนระบบไฟส่องสว่าง (%)
<u>อาคารคลุ้ม วัชโรบล (SCI10)</u>					
501	4	82.51	53	40	7
505	2A	134.70	-	96	4

ห้อง	ประเภทการใช้งานรายห้อง	การใช้พลังงาน (kWh)	สัดส่วนระบบปรับอากาศ (%)	สัดส่วนระบบไฟฟ้ากำลัง (%)	สัดส่วนระบบไฟส่องสว่าง (%)
508	4	22.94	56	31	13
517	4	21.34	60	26	14
518	4	52.62	82	12	6
อาคารมหามกุฏ (SCI25)					
701	2A	157.35	-	97	3
702	4	73.84	88	10	2
703	2A	156.97	-	98	2
706	2A	171.22	-	98	2
707	4	90.22	72	27	2
708	2A	136.80	-	97	3
801	2A	155.32	-	97	3
802	4	79.24	82	16	2
806	4	164.71	-	98	2
807	4	77.84	83	15	2
808	2A	165.09	-	97	3
901	2A	187.15	-	98	2
902	4	74.24	87	11	2
903	2A	186.77	-	98	2
906	4	177.44	-	98	2
907	4	74.00	88	10	2
908	2A	177.82	-	98	2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่า มีจำนวนชั้นที่สามารถนำมาใช้เพื่อทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นได้ทั้งสิ้น 46 ชั้น จากจำนวนชั้นทั้งหมด 56 ชั้น เป็นข้อมูลที่มาจากอาคารปฏิบัติการ 4 อาคาร และในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้หาสัดส่วนการใช้พลังงานจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องจำแนกตามลักษณะของระบบการใช้พลังงาน มีห้องทั้งหมดที่ทำการสำรวจเก็บข้อมูลจำนวน 51 ห้อง ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวิจัยได้ โดยในการศึกษานี้จะแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน ดังต่อไปนี้

4.2.1 การวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานรายห้องในอาคารปฏิบัติการ

จากข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดที่ติดตั้งอยู่ในห้องแต่ละประเภทในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำให้สามารถวิเคราะห์หาค่า EPD และค่า LPD ของห้องแต่ละประเภท โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 โดยพบว่า ค่า EPD เฉลี่ยของห้องปฏิบัติการวิจัยมีค่ามากที่สุดที่ 216.89 W/m^2 และห้องเรียนบรรยายมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10.19 W/m^2 ในขณะที่ค่า LPD เฉลี่ยของห้องเรียนปฏิบัติการที่ปรับอากาศนั้นมีค่ามากที่สุด 21.55 W/m^2 แต่ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 3.54 W/m^2 ซึ่งน้อยที่สุด เนื่องจากลักษณะการใช้งานของห้องที่แตกต่างกัน โดยในขณะที่มีการใช้งานห้องเรียนปฏิบัติการที่ปรับอากาศนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องปิดหน้าต่างทั้งหมดเพื่อใช้ระบบปรับอากาศภายในห้อง ทำให้ไม่สามารถใช้แสงจากธรรมชาติเข้ามาช่วยในขณะที่ทำการเรียนการสอนได้มากนัก แตกต่างกับห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศซึ่งสามารถเปิดหน้าต่างและนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในขณะที่ทำการเรียนการสอนได้มากกว่า จึงสามารถปรับลดการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในห้องได้ และห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศทุกห้องยังเป็นห้องเรียนปฏิบัติการที่มีการปรับเปลี่ยนหลอดไฟส่องสว่างเป็นชนิด LED แล้วทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีการลดจำนวนของหลอดไฟจากปกติที่มีการใช้งานหลอดไฟ fluorescent จำนวนดวงโคมละ 3 หลอด เมื่อปรับเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอด LED แล้วเหลือเพียงการใช้งานดวงโคมละ 1 หลอดเท่านั้น ส่วนห้องปฏิบัติการวิจัยที่มีค่า EPD สูงที่สุดเกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องเพื่อรองรับการใช้ค้นคว้าทดลองทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ ในขณะที่ห้องเรียน

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ติดตั้งอยู่รายห้อง (W/m^2) จำแนกตามประเภทการใช้งานรายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเภทการใช้งาน	จำนวนห้อง	Minimum		Maximum		Median	
		EPD	LPD	EPD	LPD	EPD	LPD
ห้องปฏิบัติการวิจัย	19	47.11	4.32	476.04	72.62	183.73	16.67
ห้องเรียนปฏิบัติการที่ปรับอากาศ	2	9.52	20.16	187.74	22.93	98.67	21.54
ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศ	13	121.27	2.44	187.46	14.74	145.21	2.70
ห้องเรียนบรรยาย	3	6.23	14.29	12.45	22.92	11.88	22.92
ส่วนสำนักงาน	14	5.67	2.35	134.33	20.86	31.11	8.52

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) จำแนกตามประเภทการใช้งานรายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเภทการใช้งาน	จำนวนห้อง	ค่า EPD (W/m^2)	ค่า LPD (W/m^2)
ห้องปฏิบัติการวิจัย	19	216.89	19.68
ห้องเรียนปฏิบัติการที่ปรับอากาศ	2	98.67	21.55
ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศ	13	146.59	3.54
ห้องเรียนบรรยาย	3	10.19	20.04
ส่วนสำนักงาน	14	50.26	9.63

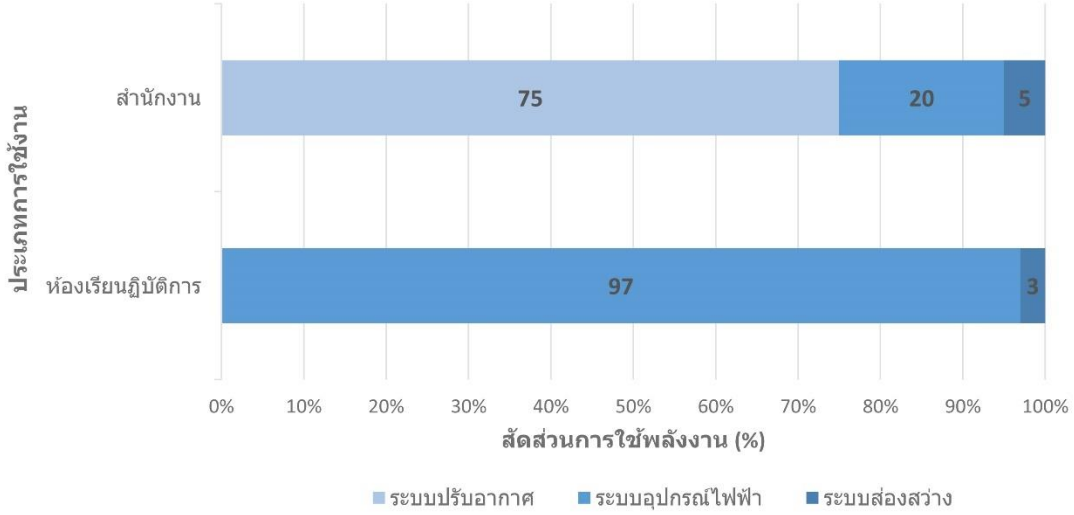
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการวิเคราะห์ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องของอาคารปฏิบัติการร่วมกับระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อหาปริมาณการใช้พลังงาน (kWh) จากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องแต่ละประเภท และทำการวิเคราะห์อัตราส่วน

ร้อยละหรือสัดส่วนการใช้พลังงานตามประเภทการใช้งานรายห้อง โดยในการวิจัยนี้สามารถทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนของห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศ และส่วนสำนักงาน ที่อยู่ในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และจำแนกสัดส่วนตามระบบการใช้พลังงานภายในห้องออกเป็น 3 รูปแบบ คือ ระบบปรับอากาศ (air conditioner) ระบบไฟฟ้ากำลังหรือระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment) และระบบไฟส่องสว่าง (lighting) ซึ่งได้ผลของการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และแผนภูมิที่ 4.1 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าสัดส่วนร้อยละของการใช้พลังงานพบว่า ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าสูงถึง 97% แม้จะมีระยะเวลาการใช้งานห้องเรียนปฏิบัติการสูงสุดเพียง 6 ชั่วโมงต่อวัน เนื่องจากจำเป็นต้องมีการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้ากำลังหรือจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อรองรับการใช้งานในขณะทำการเรียนการสอน และทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ในภาคปฏิบัติที่มีนิสิตนักศึกษาผู้ใช้งานจำนวนมาก ในขณะที่สัดส่วนการใช้พลังงานของส่วนสำนักงานต่าง ๆ ที่อยู่ภายในอาคารปฏิบัติการนั้นพบว่า มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูงถึง 75% และมีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเพียง 20% เนื่องจากในสำนักงานมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนน้อย เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร ตู้เย็น เป็นต้น มีระยะเวลาการใช้พลังงานค่อนข้างคงที่ตามเวลาทำการ

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนร้อยละของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละระบบตามประเภทการใช้งานรายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเภทการใช้งาน	สัดส่วนระบบปรับอากาศ (%)	สัดส่วนระบบไฟฟ้ากำลัง (%)	สัดส่วนระบบไฟส่องสว่าง (%)
ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศ	-	97	3
ส่วนสำนักงาน	75	20	5



แผนภูมิที่ 4.1 ร้อยละ (%) ของการใช้พลังงานภายในห้องแต่ละประเภท
จำแนกตามระบบการใช้พลังงาน

4.2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาคารปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยนั้นประกอบไปด้วยหลากหลายปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงคัดเลือกปัจจัยตัวแปรที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมี และเป็นตัวแปรสามารถทำการเก็บข้อมูลได้ครบถ้วน เพื่อมาทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดข้อมูลของตัวแปรทั้ง 8 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และได้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบสหสัมพันธ์เพียร์สัน ดังตารางที่ 4.12 พบว่า ขนาดพื้นที่ปรับอากาศรายชั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงาน และอุณหภูมิภายนอกอาคารมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นเฉลี่ยในแต่ละเดือน โดยมีค่า r เท่ากับ .451 และ .518 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าหากพื้นที่ปรับอากาศรายชั้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับและหากอุณหภูมิภายนอกเพิ่มสูงขึ้นอาจส่งผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดของข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ และปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจัย	Minimum	Maximum	Average	Median
ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/year)	15,725	973,888	182,149	115,626
ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ ($kWh/m^2/year$)	14.49	541.13	133.86	89.63
พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)	717.0	2,918.3	1,357.6	1,085.0
พื้นที่ปรับอากาศรายชั้น (ตร.ม.)	266.09	1,636.30	793.78	598.90
สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%)	13.8	78.5	61.0	65.5
อุณหภูมิภายนอกอาคาร (°C)	27.7	31.8	29.5	29.6
เวลาใช้งานเพื่อการเรียนการสอน (วัน)	9	23	19	20
เวลาใช้งานของบุคคลากร (วัน)	17	23	20	20

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัย ที่ใช้หาความสัมพันธ์	Pearson Correlation (r)
ขนาดพื้นที่ปรับอากาศรายชั้น (ตร.ม.) และปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/year)	.451**
สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%) และปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/year)	.051
ขนาดพื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.) และปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/year)	.377**
เวลาใช้งานเพื่อการเรียนการสอน (วัน) และ ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/month)	.114

ปัจจัย ที่ใช้หาความสัมพันธ์	Pearson Correlation (r)
เวลาใช้งานของบุคลากร (วัน) และปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ย (kWh/month)	.092
อุณหภูมิภายนอกอาคาร (°C) และปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ย (kWh/month)	.518

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

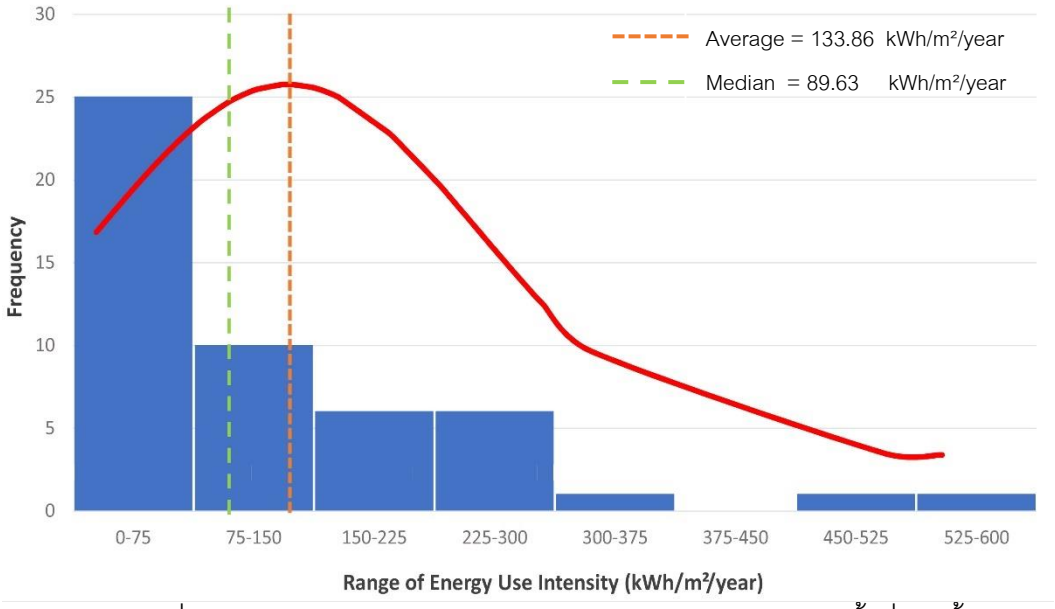
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

4.2.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 46 ชั้น ที่เก็บจากอาคารปฏิบัติการ 4 อาคาร ที่ประกอบไปด้วยห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานดังแสดงในตารางที่ 4.13 จากการนำข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นมาทำการวิเคราะห์ร่วมกับพื้นที่รายชั้น เพื่อหาค่าดัชนีการใช้พลังงานหรือค่า EUI (kWh/m^2/year) ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดการกระจายตัวของข้อมูล ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลด้านการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมี เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัยต่อไป โดยเมื่อนำข้อมูลมาจัดเรียงตามช่วงเพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวจากความถี่ของข้อมูล ดังแผนภูมิที่ 4.2 พบว่า การกระจายตัวของข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้นมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งลาดมาทางบวก (positive skewed) ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากค่ามัธยฐาน (median) ประกอบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำแนกตามประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้น (kWh/m^2/year)

ประเภทการใช้งานรายชั้น	จำนวน(ชั้น)	Minimum	Maximum	Average	Median
ชั้นห้องปฏิบัติการวิจัย	25	37.44	541.13	184.36	159.44
ชั้นห้องเรียนปฏิบัติการ	7	31.57	200.13	80.33	55.01
ชั้นห้องเรียนบรรยาย	3	23.96	42.10	35.00	38.95
ชั้นสำนักงาน	11	14.49	279.09	80.10	63.90
รวม	46	14.49	541.13	133.86	89.63



แผนภูมิที่ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (kWh/m^2/year)

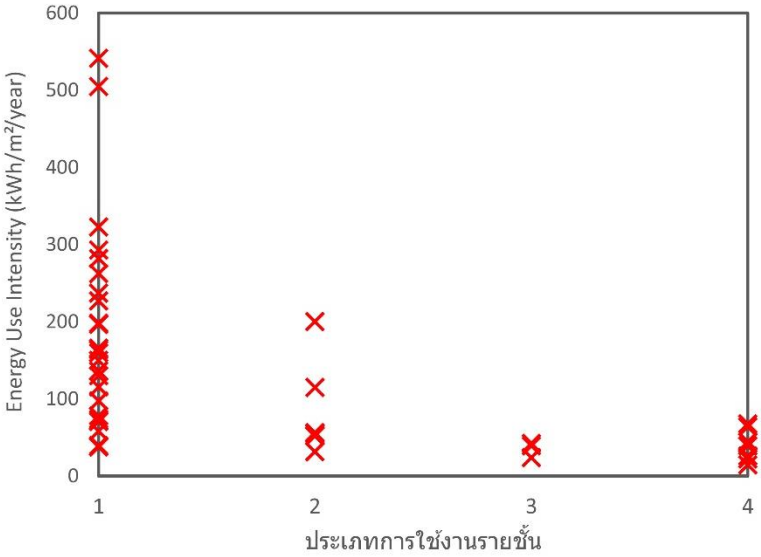
ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลนั้นมีการแจกแจงเป็นเส้นโค้งลาดมาทางบวกเนื่องจากมีข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานในชั้นห้องปฏิบัติการวิจัยที่มีค่า EUI สูงมากว่าชั้นอื่นอย่างมากจำนวน 2 ชั้น ดังต่อไปนี้

1) ชั้น C-07 มีค่า EUI 541.13 kWh/m^2/year เป็นชั้นห้องปฏิบัติการวิจัยที่อยู่ในอาคารคลุ้มวัชโรบล ประกอบด้วยการใช้งานของภาควิชาชีวเคมี และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานพบว่า มีสัดส่วนของปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/month) จากภาควิชาชีวเคมีสูงถึง 90% ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดภายในชั้น

2) ชั้น D-13 มีค่า EUI 504.74 kWh/m^2/year เป็นชั้นห้องปฏิบัติการวิจัยของภาควิชาเคมีที่อยู่ในอาคารมหามกุฎ

ในการศึกษานี้ได้ทำการสำรวจค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่ในแต่ละห้องของทั้ง 2 ชั้นนี้ด้วย ซึ่งแต่ละชั้นประกอบไปด้วยพื้นที่การใช้งานแบบห้องปฏิบัติการวิจัยมากกว่า 80% โดยจากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นห้องที่มีค่า EPD สูงที่สุด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่ารายชั้นอื่น ๆ นั้นอาจมาจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ทำการทดลอง และงานวิจัย ทั้งนี้ข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ทำให้เกิดความถี่สูง และทำให้แผนภูมิมีความโด่งนั้นเกิดจากข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานรายชั้นที่อยู่ในช่วง 0 – 75 kWh/m^2/year ที่มีจำนวนมากถึง 25 ชั้น

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการจัดกลุ่มชั้นของอาคารปฏิบัติการตามประเภทการใช้งานซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มประเภทการใช้งาน ได้แก่ 1) ชั้นห้องปฏิบัติการวิจัย 2) ชั้นห้องเรียนปฏิบัติการ 3) ชั้นห้องเรียนบรรยาย 4) ชั้นสำนักงาน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.3 เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นพบว่า ข้อมูลค่า EUI (kWh/m^2/year) ของรายชั้นแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยชั้นห้องปฏิบัติการวิจัยมีช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานสูงมากที่สุด ส่วนชั้นห้องเรียนบรรยายเป็นชั้นที่มีค่าดัชนีการใช้พลังงานต่ำที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า EUI ในรายชั้นระหว่างแต่ละประเภทการใช้งาน 4 กลุ่ม พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย ซึ่งชั้นที่มีการใช้งานห้องปฏิบัติการวิจัยจะมีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยสูงถึง 184.36 kWh/m^2/year ซึ่งมากกว่าชั้นที่มีการใช้งานห้องประเภทอื่นภายในอาคารปฏิบัติการ ในขณะที่ค่าเฉลี่ย EUI ของชั้นห้องเรียนปฏิบัติการและชั้นสำนักงานนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน และชั้นห้องเรียนบรรยายเป็นชั้นที่มีค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากภายในชั้นห้องเรียนบรรยายมักประกอบไปด้วยห้องเรียนที่มีพื้นที่ใช้สอยขนาดใหญ่เพื่อรองรับนิสิตนักศึกษาจำนวนมากที่เข้ามาใช้งาน ทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่หรือค่าดัชนีการใช้พลังงานของชั้นนี้มีค่าน้อยกว่าชั้นที่มีการใช้งานประเภทอื่น จากลักษณะการใช้งาน และมักมีการใช้พลังงานที่มาจากการใช้เพียงเครื่องปรับอากาศเป็นส่วนใหญ่



แผนภูมิที่ 4.3 การกระจายตัวของข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น ตามประเภทการใช้งานของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (kWh/m^2/year)

4.2.4 การจัดลำดับร้อยละของค่าการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการเคมีของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จะต้องทำการจัดกลุ่มเพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรายชั้น โดยใช้ค่ามัธยฐาน (median) ของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือค่า EUI (kWh/m^2/year) มาเป็นค่าชี้วัดในการเปรียบเทียบด้วยรูปแบบการจัดอันดับร้อยละ (percentile ranking) และใช้เกณฑ์มาตรฐานที่อันดับร้อยละ 50 เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการชี้วัดค่ามัธยฐานการใช้พลังงานรายชั้น หากพบว่ารายชั้นใดที่มีค่า EUI สูงเกินกว่ามาตรฐานชี้วัดตามเกณฑ์จะถือว่ารายชั้นนั้นมีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานต่ำกว่าเกณฑ์ ในขณะเดียวกันหากพบว่ารายชั้นใดมีค่า EUI ต่ำกว่ามาตรฐานชี้วัดตามเกณฑ์จะถือว่ารายชั้นนั้นมีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งค่า EUI ที่อันดับร้อยละ 50 ภายหลังจากทำการจัดอันดับร้อยละ มีค่าเท่ากับ 89.63 kWh/m^2/year ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการจัดอันดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อันดับร้อยละ (Percentile ranking)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น ($kWh/m^2/year$)
10	34.50
20	42.10
30	55.59
40	70.60
50	89.63
60	129.84
70	161.49
80	200.13
90	280.43
100	541.13

4.2.5 การทำนายค่าการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การหาสมการเพื่อทำการทำนาย (prediction) ค่าการใช้พลังงานรายชั้นในอนาคตของอาคารปฏิบัติการเคมี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ซึ่งก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ถดถอยจะต้องทำการทดสอบการกระจายตัวของตัวแปรแต่ละตัว เพื่อคัดเลือกตัวแปรที่มีการกระจายตัวแบบปกติ (normal distribution) ด้วยวิธี Shapiro-Wilk test (S-W) เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนน้อยกว่า 50 ชุดข้อมูล ซึ่งหากพบว่าตัวแปรมีค่า *p-value* > *0.05* ในค่า Significant (Sig.) จะถือว่าตัวแปรนั้นมีการกระจายตัวแบบปกติ และสามารถนำมาใช้ทำการวิเคราะห์ถดถอยได้ โดยให้ความสำคัญกับตัวแปรตามหรือตัวแปรผล (dependent, y) ที่ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลต้องมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ซึ่งตัวแปรที่จะนำมาใช้พิจารณาในการวิจัยนี้มีทั้งหมด 4 ตัวแปร ได้แก่ ค่าการใช้พลังงาน (kWh) พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.) พื้นปรับอากาศ (ตร.ม.) และสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศ (%) เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วพบว่า ตัวแปรทุกตัวมีการกระจาย

แบบไม่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ดังนั้นจึงต้องทำการปรับการกระจายตัวของข้อมูลให้มีการกระจายแบบปกติด้วยวิธี logarithm กับทุกตัวแปรก่อนที่จะนำผลลัพธ์หลังการปรับการกระจายเข้าสู่วิธีการวิเคราะห์หารถดถอยต่อไป

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการกระจายตัวของตัวแปรจากข้อมูลรวม (Test of normality)

ตัวแปร	Shapiro-Wilk test (Sig.)
ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/month)	.000
ขนาดพื้นที่ใช้สอยรายชั้น (ตร.ม.)	.000
ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	.000
สัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศ (%)	.000

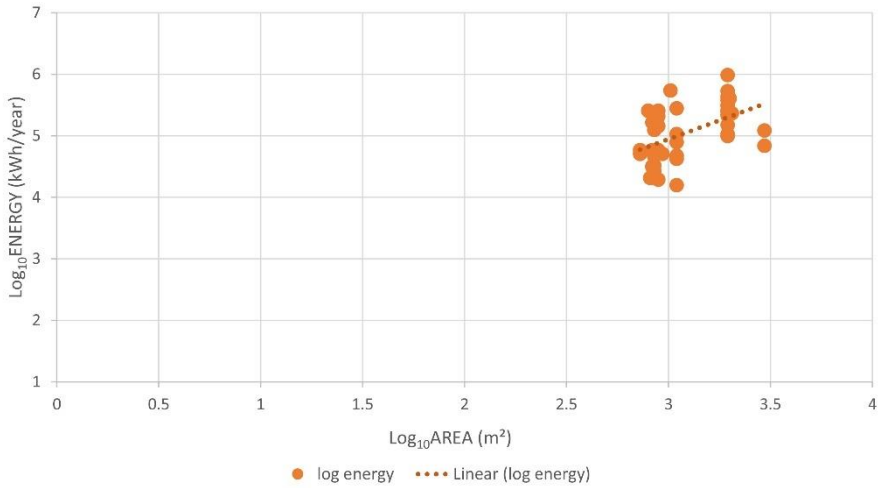
หลังจากทำการปรับการกระจายของตัวแปรแล้วจึงทำการวิเคราะห์สมการจากตัวแปรแต่ละตัวด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาสมการที่ดีที่สุดสำหรับใช้ทำนายปริมาณการใช้พลังงานสำหรับการใช้งานรายชั้น โดยใช้ตัวแปรปริมาณการใช้พลังงาน ($\log_{10}$ ENERGY) เป็นตัวแปรตามแล้วจึงทำการหาตัวแปรต้นจากตัวแปรที่เหลือ ได้แก่ ตัวแปรขนาดพื้นที่ใช้สอย ($\log_{10}$ AREA1) ตัวแปรขนาดพื้นที่ปรับอากาศ ($\log_{10}$ AC-AREA) และตัวแปรสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศ ($\log_{10}$ AC) เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ตัวแปรทั้งหมดพบว่า ตัวแปรขนาดพื้นใช้สอย ($\log_{10}$ AREA) เป็นตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) สูงที่สุดเท่ากับ 0.27 และ $p<0.05$ ดังสมการ (4.1) และมีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.5 ส่วนตัวแปรขนาดพื้นที่ปรับอากาศมีค่า r^2 เท่ากับ 0.23 ($p<0.05$) ดังสมการที่ 4.2 และมีการกระจายตัวดังแผนภูมิที่ 4.6 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทำนายการใช้พลังงานทั้ง 2 สมการดังตารางที่ 4.16 และมีสมการดังต่อไปนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.228 (\log_{10} \text{AREA}) + 1.264 \qquad r^2 = 0.27 \qquad (4.1)$$

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.072 (\log_{10} \text{AC-AREA}) + 2.002 \qquad r^2 = 0.23 \qquad (4.2)$$

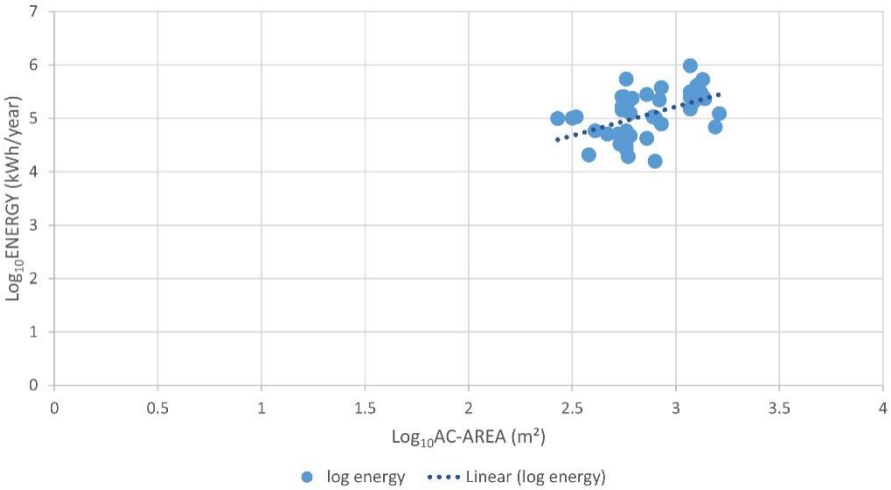
ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการที่ 4.1 – 4.2

สมการ	ตัวแปร	Coefficients	Intercept (B)	Std. Error	*P-value*
(4.1)	$\log_{10}$ AREA	1.228	1.264	0.308	0.000
(4.2)	$\log_{10}$ AC-AREA	1.072	2.002	0.295	0.001



แผนภูมิที่ 4.4 การกระจายตัวของตัวแปรทำนายการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการจากตัวแปรขนาดพื้นที่ใช้สอย ($\log_{10}$ AREA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.5 การกระจายตัวของตัวแปรทำนายการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการจากตัวแปรขนาดพื้นที่ปรับอากาศ ($\log_{10}$ AC-AREA)

ในขณะที่ตัวแปรสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศ (log_{10}AC) ไม่สามารถนำมาใช้สร้างสมการทำนายการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีได้ เช่นเดียวกันกับสมการที่มีตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร และสมการ 2 ตัวแปร ที่ปรากฏว่ามีค่า $p>0.05$ จึงไม่สามารถนำสมการนี้มาใช้ในการทำนายการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการได้ โดยสมการ 3 ตัวแปร

ในการศึกษานี้จะเลือกสมการที่มีค่า r^2 สูงที่สุดมาทำการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้พิจารณา จากผลของสมการที่ใช้ทำนายปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นของชั้นในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าในสมการ (4.1) มีค่า r^2 สูงที่สุดเท่ากับ 0.27 เป็นสมการทำนายการใช้พลังงานจากตัวแปรขนาดพื้นที่ใช้สอย (log_{10}AREA) จากสมการ (4.3) พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 0.37 โดยมีสมการในการตรวจสอบดังต่อไปนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N}(log_{10}\mathrm{ENERGY}_1 - log_{10}\mathrm{ENERGY}_2)^2} \qquad (4.3)$$

โดยที่ $log_{10}ENERGY_1$ คือ ค่าที่วัดได้จริง

$log_{10}ENERGY_2$ คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนของสมการทำนายการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมีจากตัวแปรขนาดพื้นที่ใช้สอย (log_{10}AREA) ด้วยสมการทำนายความคลาดเคลื่อน CV(RMSE) ดังสมการ (4.4) พบว่า สมการทำนายที่ได้จากการศึกษามีค่า CV(RMSE) เท่ากับ 7.3% ซึ่งได้ผลลัพธ์ต่ำกว่า 25% ตามที่มาตรฐานกำหนดสำหรับฐานข้อมูลการใช้พลังงานที่มีระยะเวลา 12 – 60 เดือน

$$CV(RMSE) = \frac{1}{Y_{1a}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(log_{10}ENERGY_1 - log_{10}ENERGY_2)^2}{N}} \times 100 \qquad (4.4)$$

โดยที่ $\log_{10}ENERGY_1$ คือ ค่าที่วัดได้จริง

$\log_{10}ENERGY_2$ คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ

Y_{1a} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จริง

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคารปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัย สามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการเคมีของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2) การหาสัดส่วนค่ากำลังไฟฟ้าจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาด้านการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัยนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนมากจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีการบริหารจัดการ และมีการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมอยู่ภายใต้ความดูแลของสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้มีการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานในระบบสารสนเทศน์ ในขณะที่อาคารคลุ้มวัชโรบล และอาคารมหามกุฎอยู่ภายใต้ความดูแลของฝ่ายงานพัฒนาและบริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานในรูปแบบเอกสาร เป็นต้น จากความแตกต่างดังกล่าวทำให้พบกับอุปสรรคในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น ข้อมูลสูญหายไม่ครบถ้วน ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน เป็นต้น อย่างไรก็ตามข้อมูลเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการวิจัยนี้ ดังนั้นจึงต้องทำการคัดเลือก วิเคราะห์ และตรวจสอบข้อมูลก่อนที่จะนำมาใช้ในการศึกษา ซึ่งการเข้าสำรวจอาคารทำให้สามารถสอบถามผู้ใช้งาน และสามารถทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้ดีที่สุด

การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในการศึกษานี้ ประกอบไปด้วยข้อมูลจากอาคารปฏิบัติการเคมีทั้งหมด 4 อาคาร เป็นข้อมูลรายชั้นที่นำมาใช้ในการศึกษาได้จำนวน 46 ชั้น และทำการเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องของอาคารปฏิบัติการจำนวน 51 ห้อง พบว่า ขนาดพื้นที่ใช้สอยรายชั้นในอาคารปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,357.6 ตารางเมตร มีขนาดพื้นที่ปรับอากาศเฉลี่ย 793.78 ตารางเมตร คิดเป็นสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศต่อพื้นที่อาคารเฉลี่ยร้อยละ 61.0 มีค่าปริมาณการใช้พลังงานต่อปีเฉลี่ย 182,149 kWh/year และมีค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) เฉลี่ย 133.86 kWh/m^2/year ส่วนค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่ใช้สอยรายห้องมีค่าเท่ากับ 97.67 ตารางเมตร โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์

ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 214.54 Watt/m^2 และ 12.90 Watt/m^2 ตามลำดับ

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในการศึกษานี้ มีการจัดกลุ่มการใช้พลังงานตามประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้นภายในอาคารปฏิบัติการเคมี โดยทำการจำแนกประเภทของพื้นที่ใช้สอยรายชั้นตามอัตราส่วนของประเภทการใช้งานที่มีพื้นที่ในชั้นนั้นมากที่สุด ซึ่งสามารถจำแนกการใช้งานรายชั้นออกเป็น 4 ได้แก่ ชั้นห้องปฏิบัติการวิจัย ชั้นห้องเรียนปฏิบัติการ ชั้นห้องเรียนบรรยาย และชั้นสำนักงาน เพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานตามกลุ่มที่มีการใช้งานประเภทเดียวกัน รวมไปถึงการใช้พลังงานในประเภทพื้นที่ที่แตกต่างกันได้ โดยพบว่าในชั้นห้องเรียนปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ย EUI สูงที่สุด และประเภทการใช้งานชั้นสำนักงานในอาคารปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ย EUI ต่ำที่สุด ทั้งนี้เมื่อนำค่ามัธยฐานการใช้พลังงานที่ได้จากศึกษามาทำการเปรียบเทียบกับค่ามัธยฐานการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตามงานวิจัยของ สรญา กังวาล (2557) ดังแสดงในตารางที่ 5.1 พบว่าค่าดัชนีการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการเคมีมีค่ามากกว่าค่าการใช้พลังงานในรายอาคารที่มีลักษณะการใช้งานประเภทอาคารปฏิบัติการ โดยค่ามัธยฐานในอาคารปฏิบัติการตามกรณีศึกษามีค่าเพียง 83.91 kWh/m^2/year แต่ในรายชั้นห้องปฏิบัติการวิจัย มีค่าเท่ากับ 159.44 kWh/m^2/year ซึ่งค่าการใช้พลังงานในรายชั้นมีค่าสูงกว่าในรายอาคารถึง 2 เท่า ทั้งนี้ยังพบว่าค่ามัธยฐานของดัชนีการใช้พลังงานในอาคารเรียน และชั้นห้องเรียนบรรยาย รวมไปถึงอาคารสำนักงาน และชั้นสำนักงานต่างก็มีค่าดัชนีการใช้พลังงานแตกต่างกันประมาณ 2 เท่าเช่นเดียวกัน อาจเนื่องมากจากอาคารมีพื้นที่ใช้สอยมากกว่าทำให้มีการใช้งานที่หลากหลายรวมอยู่ในอาคารเป็นสัดส่วนของปริมาณการใช้พลังงานต่อพื้นที่ที่มากกว่าในรายชั้น แม้การใช้พลังงานในรายอาคารจะมีการใช้พลังงานในส่วนของงานระบบประกอบอาคารรวมอยู่ด้วย เช่น การใช้พลังงานจากเครื่องสูบน้ำหรือเครื่องบำบัดเป็นต้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาข้อมูลของกรณีศึกษายังพบว่า มีความแตกต่างในเรื่องการจำแนกประเภทของอาคาร เช่น ในกรณีศึกษา อาคารมหามกุฎ ถูกจัดให้อยู่ในประเภทอาคารเรียน แต่ในการศึกษานี้พบว่าอาคารมหามกุฎประกอบไปด้วยพื้นที่การใช้สอยแบบห้องปฏิบัติการจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้ทำการเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานรายชั้นเพื่อนำมาใช้ในการศึกษานี้ จากเหตุผลดังกล่าวจึงอาจทำให้มีค่าดัชนีการใช้พลังงานในรายชั้นสูงกว่าค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารตามกรณีศึกษา

ตารางที่ 5.1 ผลสรุปการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำแนกตามประเภทการใช้งาน (kWh/m^2/year)

ประเภทการใช้งาน	Minimum	Maximum	Average	Median
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สรญา กังวาล, 2557)				
อาคารสำนักงาน (Office)	48.48	433.12	90.69	110.42
อาคารเรียน (Lecture)	21.36	260.16	69.46	70.23
อาคารอเนกประสงค์ (Extra)	24.66	138.05	61.35	66.73
อาคารปฏิบัติการ (Laboratory)	21.50	226.28	101.75	83.91
ชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2559)				
ชั้นห้องปฏิบัติการวิจัย	37.44	541.13	184.36	159.44
ชั้นห้องเรียนปฏิบัติการ	31.57	200.13	80.33	55.01
ชั้นห้องเรียนบรรยาย	23.96	42.10	35.00	38.95
ชั้นสำนักงาน	14.49	279.09	80.10	63.90

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารปฏิบัติการเคมี และค่าการใช้พลังงานในอาคารจากกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 5.2 พบว่าค่ามัธยฐานของอาคารปฏิบัติการรายชั้นในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีค่าเท่ากับ 89.63 kWh/m^2/year ซึ่งน้อยกว่าค่ามัธยฐานที่พบในโรงเรียนเกือบทุกแห่ง ยกเว้นโรงเรียนในประเทศสหรัฐอเมริกาตามการวิจัยของ (Sharp, 1998) ที่มีค่าเท่ากับ 50.56 kWh/m^2/year รวมไปถึงมีค่ามัธยฐานน้อยกว่าอาคารประเภทสำนักงานจากการวิจัยของ กรกมล ตันติวนิช (2553) ถึง 3 เท่า แต่ค่ามัธยฐานในการวิจัยนี้มีค่ามากกว่าในกรณีศึกษาของ สรญา กังวาล (2557) ทั้งจากอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มีค่ามัธยฐาน 62.71 kWh/m^2/year และ 70.59 kWh/m^2/year ตามลำดับ เนื่องด้วยค่า EUI ในรายอาคารมีสัดส่วนของการใช้พลังงานต่อพื้นที่มากกว่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น ทำให้ได้ค่า EUI ที่มีความละเอียดมากกว่าจึงทำให้มีค่ามัธยฐานในรายชั้นสูงกว่ารายอาคารหรือรายหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในขณะเดียวกันข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานจากกรณีศึกษาอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในบางส่วน เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารมหามกุฎถูกรวบรวมจากเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าหรือ

มิเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งกับหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 4 เครื่อง เพื่อนำมาใช้คำนวณปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคารในแต่ละเดือน (kWh/month) แต่ไม่มีรายละเอียดขอบเขตของการใช้พลังงานที่บ่งบอกว่าหม้อแปลงไฟฟ้า และมิเตอร์ไฟฟ้าเครื่องใดใช้จ่ายกระแสไฟในส่วนของพื้นที่ใช้สอยใดบ้าง เนื่องจากเป็นส่วนการทำงานของเจ้าหน้าที่จากการไฟฟ้านครหลวงเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลที่นำมาศึกษาเกิดความคลาดเคลื่อนในเรื่องของขอบเขตขนาดพื้นที่ใช้สอยต่อปริมาณการใช้พลังงานหรือในข้อมูลปริมาณการใช้พลังงาน ต่างจากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานรายชั้นที่สามารถทำการวิเคราะห์ขอบเขตของพื้นที่ใช้สอยได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 5.2 ผลสรุปการเปรียบเทียบค่าเกณฑ์การเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคาร (kWh/m^2/year)

ประเภทการใช้งาน	Minimum	Maximum	Average	Median
โรงเรียนในประเทศสหรัฐอเมริกา (Sharp, 1998)	32.27	376.53	63.15	50.56
โรงเรียนในรัฐแคลิฟอร์เนีย (Kinney and Piette, 2002)	63.00	378.00	165.92	189.00
โรงเรียนประถมศึกษาในประเทศไอร์แลนด์ (Hernandez et al., 2008)	-	-	-	96.00
สถานศึกษาระดับสูงในประเทศอังกฤษ (Hawkins et al., 2012)	-	-	-	80-118
อาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร	90.00	488.00	233.00	255.00
อาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์ (กรกมล ตันติวนิช, 2553)	83.24	647.95	306.31	285.17
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	4.37	484.57	70.57	62.71
หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สรญา กังวาล, 2557)	22.64	223.57	63.43	70.59
อาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยรายชั้น (2559)	14.49	541.13	133.86	89.63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ติดตั้งภายในห้องแต่ละประเภท โดยจำแนกประเภทการใช้งานรายห้องภายในอาคารปฏิบัติการออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ห้องปฏิบัติการวิจัย ห้องเรียนปฏิบัติการปรับอากาศ และไม่ปรับอากาศ ห้องเรียนบรรยาย และส่วนสำนักงาน เมื่อทำการจำแนกค่ากำลังไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) โดยทำการเปรียบเทียบค่า EPD และค่า LPD จากกรณีศึกษาของ USEPA (2005, 2010) ดังตารางที่ 5.3 แสดงให้เห็นถึงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าปริมาณมากในห้องปฏิบัติการวิจัยที่มีค่า EPD สูงที่สุดเท่ากับ 216.89 W/m^2 เนื่องจากในการศึกษานี้ได้ทำการจำแนกห้องปฏิบัติการวิจัย และห้องอุปกรณ์ปฏิบัติการให้อยู่ในประเภทการใช้งานรูปแบบเดียวกัน จึงทำการเปรียบเทียบค่า EPD จากห้องอุปกรณ์ปฏิบัติการในสหรัฐอเมริกาในกรณีศึกษาที่มีค่า EPD 150 W/m^2 ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ได้จากการศึกษานี้ เช่นเดียวกันกับค่า LPD ของห้องปฏิบัติการวิจัยที่มีค่าสูงกว่าค่า LPD ตามกรณีศึกษา ส่วนห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศมีการใช้ไฟส่องสว่างน้อยที่สุดมีค่า LPD เพียง 3.54 W/m^2 เท่านั้น ในขณะที่ห้องเรียนที่ปรับอากาศมีค่า LPD สูงที่สุดเท่ากับ 21.55 W/m^2 เนื่องจากห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศมีการเปิดหน้าต่างเพื่อระบายอากาศในขณะทำการเรียนการสอน จึงสามารถใช้แสงสว่างธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟ และสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากไฟส่องสว่างได้ แต่กลับกันห้องเรียนปฏิบัติการที่ปรับอากาศไม่สามารถนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้มากนัก จึงมีค่ากำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้าส่องสว่างสูง

จากการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการกับกรณีศึกษา พบว่า ห้องอุปกรณ์ปฏิบัติการหรือห้องปฏิบัติการที่มีเฉพาะการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ไม่มีการใช้งานโต๊ะปฏิบัติการ (bench) เพื่อเตรียมการทดลอง และมีค่า EPD สูงถึง 150 W/m^2 แต่ก็ยังต่ำกว่าค่า EPD ของห้องปฏิบัติการวิจัยที่ได้จากการศึกษานี้ เนื่องด้วยการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยมีพื้นที่จำกัด และต้องมีอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากให้เพียงพอต่อนิสิตนักศึกษาที่เป็นผู้ทำการวิจัย รวมไปถึงการมีอุปกรณ์ไฟฟ้าหลากหลายชนิดเพื่อรองรับโครงการงานวิจัยตามความสนใจของอาจารย์ และนิสิตนักศึกษาด้วยเช่นกัน ด้านค่าเฉลี่ย LPD ในห้องปฏิบัติการตามแนวทางของ ASHRAE มีค่าเท่ากับ 13 W/m^2 ซึ่งน้อยกว่าค่า LPD ที่พบในการศึกษานี้ อาจเนื่องจากห้องปฏิบัติการอยู่ในสถานศึกษาจึงต้องใช้แสงสว่างปริมาณมากเพื่อใช้ในการเรียนการสอน และในประเทศไทยมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเครื่องปรับอากาศจึงไม่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ได้มากเท่ากับอาคารปฏิบัติการในประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้ารายห้องจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (EPD) และค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD)

ประเภทการใช้งาน	ค่า EPD (W/m^2)	ค่า LPD (W/m^2)
ห้องปฏิบัติการในประเทศสหรัฐอเมริกา (USEPA, 2005)		
ห้องปฏิบัติการชีววิทยา	10.00-100.00	-
ห้องปฏิบัติการเคมี	40.00	-
ห้องอุปกรณ์ปฏิบัติการ	150.00	-
อาคารปฏิบัติการในรัฐแคลิฟอร์เนีย	-	13.00
ประเทศสหรัฐอเมริกา (USEPA, 2010)		
ASHRAE 90.1-2007	-	18.00
ห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2559)		
ห้องปฏิบัติการวิจัยเคมี	216.89	19.68
ห้องเรียนปฏิบัติการที่ปรับอากาศ	98.67	21.55
ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศ	146.59	3.54
ห้องเรียนบรรยาย	10.19	20.04
ส่วนสำนักงาน	50.26	9.63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สัดส่วนของการใช้พลังงานจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้องในอาคารปฏิบัติการ โดยจำแนกตามระบบของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้จากการศึกษา มีค่าสัดส่วนที่แตกต่างกันกับค่าที่พบในกรณีศึกษาจากกรณีศึกษา พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานจากกรณีศึกษาล้วนมีค่าสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบไฟส่องสว่างที่ 60% 25% และ 15% ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.4 เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนการใช้พลังงานของส่วนสำนักงานในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่า มีการใช้พลังงานในสัดส่วน 70% 20% และ 10% ตามลำดับ แตกต่างจากสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานตามกรณีศึกษา โดยมีสัดส่วนจากการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นถึง 10% เนื่องจากอาคารของมหาวิทยาลัยส่วนมากนิยมใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมากกว่าการใช้ระบบปรับ

อากาศแบบรวมศูนย์ ซึ่งอาจเกิดจากอาคารที่มีอายุการใช้งานยาวนาน และไม่ได้มีการออกแบบเพื่อรองรับการใช้เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ จึงมีค่าสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศเพิ่มสูงขึ้นกว่าอาคารสำนักงานทั่วไป ทั้งนี้ยังพบว่าในอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยยังคงมีการใช้ห้องเรียนปฏิบัติการแบบไม่ปรับอากาศ และมีการใช้สัดส่วนในระบบไฟส่องสว่างเพียง 3% เนื่องจากเทคโนโลยีของหลอดไฟที่เปลี่ยนไปทำให้มีการเปลี่ยนหลอดไฟส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังสามารถลดจำนวนหลอดลงได้ โดยมีการใช้แสงสว่างธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติการร่วมกับการใช้พลังงานจากไฟฟ้าส่องสว่างอีกด้วย

ตารางที่ 5.4 ผลสรุปการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนการใช้พลังงาน (%)

ประเภทการใช้งาน	สัดส่วนระบบปรับอากาศ (%)	สัดส่วนระบบไฟฟ้ากำลัง (%)	สัดส่วนระบบไฟส่องสว่าง (%)
ห้องปฏิบัติการวิจัยในสถานศึกษาประเทศสหรัฐอเมริกา (USEPA, 2003)	30	60	10
สำนักงานในประเทศไทย (กระทรวงพลังงาน, 2555)	60	25	15
สำนักงานสาขาธนาคารพาณิชย์ (กรกมล ตันติวนิช, 2553)	60	-	-
สำนักงานมหาวิทยาลัยขอนแก่น (กนกอร สีแสง, 2558)	60	25	15
อาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2559)			
-ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ปรับอากาศ	-	97	3
-สำนักงาน	75	20	5

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้น มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลแบบไม่ปกติ ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการจึงใช้ค่ามัธยฐาน (median) ของค่า EUI (kWh/m^2/year) เป็นค่ากลางใน

การใช้พิจารณา เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวที่ได้จากงานวิจัยนี้กับลักษณะการกระจายตัวจากกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 5.5 พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของค่า EUI ของอาคารที่อยู่ในประเทศไทยล้วนมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ โดยมีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวกเช่นเดียวกันกับลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มีชั้นที่ใช้พลังงานต่ำจำนวนมาก โดยค่ามัธยฐานที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 89.63 kWh/m^2/year ซึ่งมากกว่าค่ามัธยฐานจากกรณีศึกษาจากงานวิจัยของ สรญา กังวาล (2557) ที่มีค่าเท่ากับ 62.71 kWh/m^2/year จากรายอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และจากหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มีค่าเท่ากับ 62.71 kWh/m^2/year และ70.59 kWh/m^2/year ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 ผลสรุปการเปรียบเทียบการกระจายตัวของประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานในอาคาร

กรณีศึกษา	การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่	ค่ามัธยฐาน (kWh/m^2/year)
โรงเรียนในประเทศสหรัฐอเมริกา (Sharp, 1998)	การกระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	50.56
โรงเรียนในรัฐแคลิฟอร์เนีย (Kinney and Piette, 2002)	การกระจายตัวแบบค่อนข้างปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางลบ	-
อาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร (Tantiwanit, 2007)	การกระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	225
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สรญา กังวาล, 2557)	การกระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	62.71
หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สรญา กังวาล, 2557)	การกระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	70.59
อาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยรายชั้น (2559)	การกระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	89.63

การจัดลำดับร้อยละของการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการจำแนกประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้นตามลักษณะการใช้งาน เนื่องจากภายในอาคารปฏิบัติการประกอบด้วยการใช้สอยพื้นที่หลายประเภทที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการอื่นที่อยู่ภายในมหาวิทยาลัยรวมไปถึงอาคารปฏิบัติการภายนอกมหาวิทยาลัยได้ จึงทำการจำแนกอันดับร้อยละของชั้นในอาคารปฏิบัติการที่มีประเภทแตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารด้วยค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่หรือค่า EUI ($kWh/m^2/year$) เป็นตัวชี้วัด ดังแสดงในตารางที่ 5.6 ซึ่งใช้ค่ามาตรฐานในอันดับร้อยละ 50 เป็นเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานรายชั้น หากพบข้อมูลที่มีค่าดัชนีการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการสูงเกินกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานในอันดับร้อยละ 50 ให้ถือว่าชั้นนั้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์

ตารางที่ 5.6 การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น และค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่รายห้องในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อันดับร้อยละ (Percentile ranking)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น ($kWh/m^2/year$)				
	ชั้นห้องปฏิบัติการวิจัย	ชั้นห้องเรียนปฏิบัติการ	ชั้นห้องเรียนบรรยาย	ชั้นส่วนสำนักงาน	รวมทุกประเภท
10	63.10	43.83	26.96	21.94	34.50
20	73.16	52.13	29.96	26.04	42.10
30	100.96	52.48	32.96	39.19	55.59
40	133.47	53.56	35.95	44.22	70.60
50	159.44	55.01	38.95	63.90	89.63
60	177.97	55.71	39.58	67.38	129.84
70	221.10	67.91	40.21	81.88	161.49
80	226.21	103.10	40.84	110.04	200.13
90	310.66	148.95	41.47	132.97	280.43
100	541.13	200.13	42.10	279.09	541.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

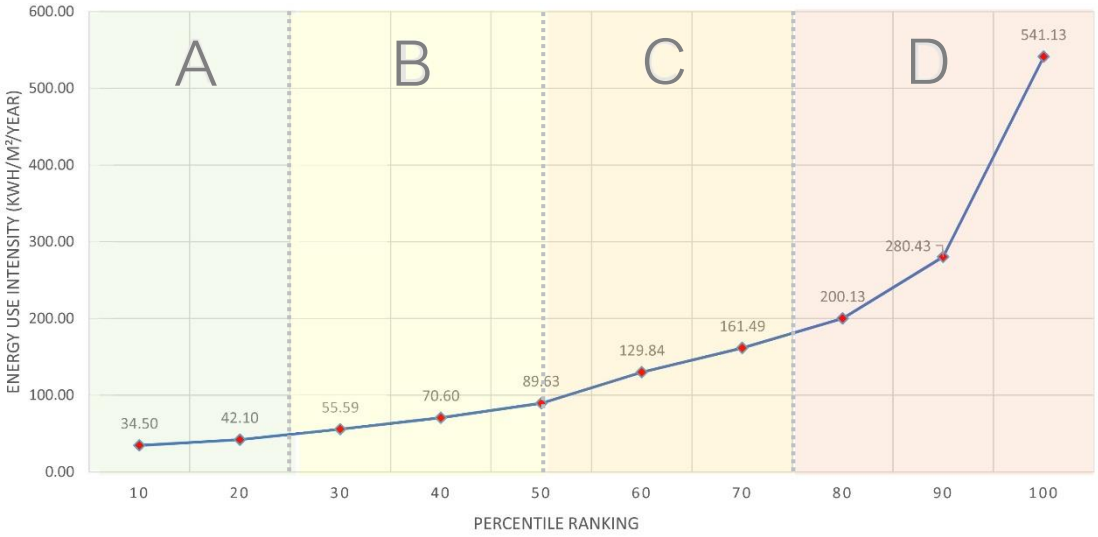
ทั้งนี้เพื่อสนับสนุนให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย จึงควรทำการจัดอันดับประสิทธิภาพของการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการด้วยวิธีจัดเกรดอาคารตามช่วงของค่าการใช้พลังงานในอาคาร ให้เกิดการแข่งขันระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ อีกทั้งยังเป็นการช่วยส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานของแต่ละหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยได้อีกทางหนึ่ง โดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ (quartile deviation) ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐานที่มีค่าเท่ากับ 89.63 kWh/m^2/year มาทำการแบ่งเกรดตามช่วง ออกเป็น 4 ช่วง คือ เกรด A, B, C และ D ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 การจัดเกรดค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกรด	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้น (kWh/m^2/year)
A	X – 52.16
B	52.16 – 89.63
C	89.63 – 188.73
D	188.73 < X

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สามารถทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการได้โดยการใช้แผนภูมิเกณฑ์ ดังแผนภูมิที่ 5.1 ทำการจัดเกรดการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการ โดยการนำค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการภายในมหาวิทยาลัยมาทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในแผนภูมิดังกล่าว ซึ่งได้กำหนดให้ชั้นที่มีค่า EUI ต่ำกว่า 89.62 kWh/m^2/year ได้เกรด A และ B หรือมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงกว่ามาตรฐาน และกำหนดให้ตั้งเป้าหมายสำหรับการออกแบบอาคารปฏิบัติการแห่งใหม่หรือการปรับปรุงอาคารปฏิบัติการ ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการอยู่ในเกรด A หรือ มีค่า EUI ต่ำกว่า 52.16 kWh/m^2/year หรือที่ตำแหน่งร้อยละ 25 ตามแนวทางของ Energy Star (EPA, 2014) ทำการจัดเกรดค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการเคมีในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 5.1 เกณฑ์สำหรับการเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (kWh/m^2/year)

จากการใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เพื่อทำการหาสมการสำหรับทำนายการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่าข้อมูลตัวแปรของทั้ง 46 ชั้นมาใช้ในการทำนายได้ เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติจึงต้องทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี logarithm เพื่อหาสมการสำหรับทำนายการใช้พลังงานรายชั้น พบว่าในสมการ (5.1) และ (5.2) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) คือ 0.27 และ 0.23 ตามลำดับ โดยมีค่า $p<0.05$ คือ สามารถนำสมการนี้มาใช้ทำนายได้ แต่ในการสร้างสมการทำนายค่าการใช้พลังงานรายชั้นจากการใช้ทั้ง 3 ตัวแปรมาทำการทำนายมีค่า $p>0.05$ จึงไม่สามารถนำสมการนี้มาใช้ทำนายได้ เมื่อเปรียบเทียบค่า r^2 ระหว่างสมการทำนายค่าการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้จากงานวิจัยนี้ และจากกรณีศึกษา ดังตารางที่ 5.8 พบว่าสมการที่ได้จากการวิจัยนี้มีค่า r^2 ต่ำกว่าสมการทำนายทุกสมการจากกรณีศึกษา อาจเนื่องมาจากตัวแปรขนาดพื้นที่ใช้สอยอาคารไม่ใช่ตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ทำนายค่าการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย เนื่องจากอาคารปฏิบัติการเป็นอาคารที่มีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างจากอาคารประเภทอื่นในมหาวิทยาลัย ซึ่งตัวแปรที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการทำนายได้ดีกว่าคือ ตัวแปรค่า EPD แต่เนื่องมาจากในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องได้ครบทุกห้องในชั้นนั้น จึงไม่สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นตัวแปรในการสร้างสมการทำนายได้

$\log_{10}$ ENERGY = 1.228 ($\log_{10}$ AREA) + 1.264 $r^2 = 0.27$ (5.1)

$\log_{10}$ ENERGY = 1.072 ($\log_{10}$ AC-AREA) + 2.002 $r^2 = 0.23$ (5.2)

ตารางที่ 5.8 ผลสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานจากกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	Correlation (r^2)
Schools (Sharp, 1998)	0.35-0.89
สำนักงานสาขาธนาคารพาณิชย์ (กรกมล ตันติวนิช, 2553)	0.62
อาคารสำนักงาน (สไบทิพย์ บุญยงค์, 2551)	0.88
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สรญา กังวาล, 2557)	0.63
หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สรญา กังวาล, 2557)	0.90
อาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยรายชั้น (2559)	0.27

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกสมการที่มีค่า r^2 สูงที่สุดมาทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อน ด้วยวิธี RMSE และ CV(RMSE) ของสมการ ซึ่งสมการที่มีค่า r^2 สูงที่สุดคือ สมการ (5.1) จากตัวแปรขนาดพื้นที่ใช้สอย ($\log_{10}$ AREA) มีค่า RMSE เท่ากับ 0.37 และมีค่า CV(RMSE) เท่ากับ 7.3% เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ ดังตารางที่ 5.9 พบว่าค่า RMSE ของสมการทำนายการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในงานวิจัยนี้ มีค่าต่ำกว่าค่าของกรณีศึกษาจากงานวิจัยของ สรญา กังวาล (2557) ที่มีค่าเท่ากับ 9.15 และ 4.08 จากสมการทำนายการใช้พลังงานของอาคาร และหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตามลำดับ เนื่องจากสมการทำนายค่าการใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการเป็นกลุ่มที่จำเพาะเจาะจงมากกว่ากรณีศึกษา

ตารางที่ 5.9 ผลสรุปการเปรียบเทียบค่า RMSE ของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษา	RMSE	CV(RMSE)
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคาร/ปี (สรญา กังวาล, 2557)		
$\log_{10}$ ENERGY = 0.578 ($\log_{10}$ Area) + 0.431 ($\log_{10}$ AC) + 1.856	9.15	-
หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน่วยงาน/ปี (สรญา กังวาล, 2557)		
$\log_{10}$ ENERGY = 0.528 ($\log_{10}$ Area) + 0.522 ($\log_{10}$ AC) + 1.765	4.08	-
อาคารปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยรายชั้น ชั้น/ปี (2559)		
$\log_{10}$ ENERGY = 1.228 ($\log_{10}$ AREA) + 1.264	0.37	7.3%

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเรื่อง การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย และทำการหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย ศึกษาเฉพาะอาคารที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการเคมี และชีวเคมี รวมถึงมีการเก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงานเป็นรายชั้น โดยมีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นกรณีศึกษา สามารถจำแนกประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้นของอาคารปฏิบัติการออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ชั้นห้องปฏิบัติการวิจัย ชั้นห้องเรียนปฏิบัติการ ชั้นห้องเรียนบรรยาย และชั้นสำนักงาน ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนั้นพบว่า มีข้อมูลจำนวนมากที่ต้องทำการเก็บเพื่อนำมาใช้ในการศึกษา แต่ข้อมูลสำคัญที่ต้องนำมาใช้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ข้อมูลประเภทการใช้สอยพื้นที่รายชั้น ข้อมูลขนาดพื้นที่รายชั้น (m^2) ข้อมูลขนาดพื้นที่ปรับอากาศรายชั้น (m^2) ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/month) และข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารรายเดือน (°C) ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่อง การหาสัดส่วนการใช้พลังงานจากค่ากำลังไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องของอาคารปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาควิชาเคมี และชีวเคมี เพื่อจัดทำฐานข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้า และหาสัดส่วนของระบบการใช้พลังงานจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารปฏิบัติการจากการจำแนกประเภทการใช้งานรายห้อง 5 ประเภท ได้แก่ ห้องปฏิบัติการวิจัย ห้องเรียนปฏิบัติการปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ห้องเรียนบรรยาย และส่วนสำนักงาน โดยมีข้อมูลสำคัญที่ต้องทำการเก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการศึกษา ได้แก่ ข้อมูลประเภท

การใช้สอยพื้นที่รายห้อง ข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยรายห้อง (ตร.ม.) และข้อมูลชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้า (Watt) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดรายห้อง และข้อมูลระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเฉลี่ยในหนึ่งวัน

ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่า มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนมากจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีการบริหารจัดการ และมีการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดอุปสรรคต่อการเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องด้วยข้อมูลที่มีการสูญหาย มีความคลาดเคลื่อน ทำให้เกิดข้อกำจัดในการศึกษาดังนี้ ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการที่สามารถเก็บรวบรวมได้มีเพียงข้อมูลการใช้พลังงานรายอาคาร และรายชั้นภายในอาคารปฏิบัติการเท่านั้น เนื่องจากไม่มีการติดมิเตอร์ไฟฟ้าเป็นรายห้อง ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้เลือกเก็บข้อมูลรายชั้นของอาคารปฏิบัติการ ซึ่งเป็นข้อมูลด้านการใช้พลังงานที่มีขนาดเล็กที่สุดในปัจจุบัน (2559) การเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการใช้พลังงานจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในรายห้องเพิ่มเติมให้เกิดเป็นฐานข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้น ส่วนช่วงเวลาเป้าหมายของข้อมูลที่จะนำมาใช้ทำการศึกษานั้น สามารถใช้งานข้อมูลได้เพียง 1 ปีการศึกษา เนื่องจากข้อมูลในปีการศึกษาอื่น ๆ สูญหายจากการเปลี่ยนแปลงบุคลากร ซึ่งข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารคลุ้ม วัชโรบล และอาคารมหามกุฏ ไม่ได้ถูกจัดเก็บอยู่ในระบบสารสนเทศเช่นเดียวกับอาคารที่เหลือ และข้อมูลที่ได้รับมาเป็นเพียงข้อมูลจากการจดบันทึกตัวเลขจากมิเตอร์ไฟฟ้าในแต่ละเดือน และมิเตอร์ไฟฟ้านั้นได้มีการต่อร่วมกับหม้อแปลงกระแส (CT) จึงต้องทำการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการในแต่ละเดือนด้วยตนเอง อาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานได้ ในขณะที่ข้อมูลตารางสอน ตารางสอบ และจำนวนนิสิตที่ลงทะเบียนในแต่ละรายวิชานั้นถูกจัดเก็บให้อยู่ในระบบสารสนเทศ แต่มีระยะเวลาในการเข้าถึงข้อมูลอย่างจำกัด และไม่สามารถค้นหาข้อมูลย้อนหลังได้เกิน 2 ภาคการศึกษา กล่าวคือ เมื่อมีข้อมูลใหม่ของภาคการศึกษาต่อไปมาลงในระบบ ข้อมูลเก่าจะถูกลบออกจากระบบสารสนเทศทันที ส่วนอุปสรรคในด้านการเก็บข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้องในอาคารปฏิบัติการพบว่า ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน และไม่เป็นปัจจุบันเมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลกับการสำรวจในสถานที่จริง เนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายระหว่างห้องปฏิบัติการ และการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ไฟฟ้าอันเกิดมาจากการชำรุดหรือมีการซื้ออุปกรณ์ไฟฟ้าใหม่ด้วยทุนวิจัยส่วนตัวของคณาจารย์ จึงไม่ได้มีการจดบันทึกข้อมูลเอาไว้ในฐานข้อมูลส่วนกลาง ซึ่งอุปสรรคเหล่านี้ส่งผลให้ต้องมีการคัดเลือกข้อมูลอย่างละเอียดก่อนที่จะนำข้อมูลมาใช้ในการวิจัย

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในมหาวิทยาลัยนั้นมีความยากลำบาก เนื่องจากมหาวิทยาลัยเป็นองค์กรขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยงานจำนวนมาก ทำให้มีการแบ่งการบริหารจัดการภายในหน่วยงานออกเป็นหลายส่วน จึงเกิดอุปสรรคในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยอุปสรรคส่วนหนึ่งเกิดจากการสื่อสาร และการให้ความร่วมมือของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแล ที่จำเป็นจะต้องทำการอธิบายจุดประสงค์ ทำความเข้าใจ และอธิบายถึงความต้องการในการเก็บข้อมูลอย่างละเอียด อย่างไรก็ตามในการสำรวจอาคารก็พบว่ามีบางส่วนของพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าไปทำการสำรวจได้ แม้จะทำการส่งเอกสารติดต่ออย่างเป็นทางการถึงผู้บริหารแล้วก็ตาม แต่จะต้องทำการขออนุญาตผู้ดูแลห้องปฏิบัติการอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งทำให้ไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ทันเนื่องจากเวลาที่จำกัด โดยในงานวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานผู้บริหารจัดการ และผู้ดูแลอาคารปฏิบัติการดังนี้ ทางหน่วยงานควรมีการจัดเก็บบันทึกลงในระบบสารสนเทศน์ เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการสืบค้น รวมถึงสามารถปรับแก้ไขข้อมูลให้เป็นปัจจุบันได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว แม่นยำ มีข้อมูลที่ครบถ้วน และสามารถนำข้อมูลมาใช้เปรียบเทียบวิเคราะห์หรือใช้ทำการศึกษาได้ในอนาคต เพื่อป้องกันข้อมูลสูญหายจากการจัดเก็บ และการจดบันทึกลงบนเอกสาร ซึ่งการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบริหารจัดการข้อมูลก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในปัจจุบัน เช่น การเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม Autodesk Revit เป็นต้น

ทั้งนี้ในการออกแบบอาคารปฏิบัติการใหม่หรือการปรับปรุงอาคารปฏิบัติการ ควรมีการสนับสนุนให้ทำการติดมิเตอร์ไฟฟ้าแยกส่วนตามระบบการใช้พลังงาน เช่น ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น และรวมไปถึงการติดมิเตอร์ไฟฟ้าแยกเป็นรายห้อง จะสามารถช่วยให้ทำการประเมินการใช้พลังงานที่ละเอียดมากขึ้นได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถหาสาเหตุ และหาแนวทางการแก้ไขได้อย่างแม่นยำ จากผลของการวิจัยนี้พบว่า การใช้พลังงานรายชั้นของอาคารปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ยสูงจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมาก จึงควรส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปฏิบัติการ โดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นหรือการงดเว้นการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเดิมที่มีอายุการใช้งานยาวนาน ซึ่งอาจส่งผลให้มีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองมากกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ารูปแบบใหม่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไปในด้านการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารปฏิบัติการเคมี และได้พบกับอุปสรรคในขั้นตอนการเก็บข้อมูล ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลบางส่วนได้ตามเป้าหมาย ซึ่งในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิตินั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด ในการเก็บรวบรวม และจะต้องทำการคัดเลือกข้อมูลที่ถูกต้อง และครบถ้วนสมบูรณ์มาใช้ใน

การศึกษา โดยในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานรายห้อง ข้อมูลจำนวนผู้ใช้งาน ข้อมูลช่วงระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในห้องในหนึ่งวัน และมีการศึกษาข้อมูลด้านการใช้พลังงานเพียง 1 ปีการศึกษา ดังนั้นงานวิจัยต่อไปในอนาคตควรทำการศึกษาการใช้พลังงานรายชั้นในอาคารประเภทอื่น ๆ เช่น อาคารสำนักงาน อาคารเรียน เป็นต้น หากสามารถทำการเก็บข้อมูลเป็นรายห้องจะช่วยให้เกิดเกณฑ์การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่มีความแม่นยำและมีฐานข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้น ทั้งนี้หากทำการเก็บข้อมูลในปริมาณมากจะช่วยทำให้ผลของการศึกษามีความน่าเชื่อถือ และจะทำให้สมการทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารมีความแม่นยำมากขึ้นเช่นกัน ส่วนการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องของอาคารปฏิบัติการนั้นพบว่า มีข้อมูลอุปกรณ์จำนวนมากที่ไม่ถูกจดบันทึกโดยเจ้าหน้าที่ของภาควิชา ทำให้ต้องใช้การสืบค้นเปรียบเทียบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรูปแบบ และลักษณะใกล้เคียงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่พบในสถานที่จริงมากที่สุด ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการวิจัยนี้ ดังนั้นจึงต้องทำการคัดเลือก วิเคราะห์ และตรวจสอบข้อมูลก่อนที่จะนำมาใช้ในการศึกษา ซึ่งการเข้าสำรวจอาคารทำให้สามารถสอบถามผู้ใช้งาน และสามารถทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้ดีที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กนกทิพย์ ภักดีบำรุง. (2560). หัวหน้าภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สัมภาษณ์. 7 กุมภาพันธ์ 2560.

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

กระทรวงพลังงาน. (2556). การอนุรักษ์พลังงาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2555). แผนยุทธศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล. (2551). คู่มือการออกแบบห้องปฏิบัติการ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฝ่ายสถาปัตยกรรมและโครงสร้างพื้นฐาน สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2556). from http://www.et.prm.chula.ac.th

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

สรญา กังวาล. (2557). การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย, กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). โครงการลดการใช้พลังงานในภาคราชการ. from http://www.e-report.energy.go.th

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2547). ขั้นตอนการบริการการใช้พลังงานภายในอาคาร. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 01-2547.

ภาษาอังกฤษ

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

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

Chung, W. (2011). Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. *Applied Energy,* 88(5), 1470-1479.

Davis, J. A., & Nutter, D. W. (2010). Occupancy diversity factors for common university building types. *Energy and Buildings,* 42(9), 1543-1551.

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. (2012). International Performance Mesurement and Verification Protocol. *Concepts and Options foe Determining Energy and Water Savings,* 1.

EISA section 432. (2010). Benchmarking of Federal Facilities (pp. 1-12): Building Energy Use Benchmarking Guidance.

Environmental Protection Agency. (2014). Energy Star Score. United States.

Gao, X., & Malkawi, A. (2014). A new methodology for building energy performance benchmarking: An approach based on intelligent clustering algorithm. *Energy and Buildings,* 84, 607-616.

Guideline, A. (2002). Guideline 14-2002, Measurement of Energy and Demand Savings. *American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia*.

Hawkins, D., Hong, S., Raslan, R., Mumovic, D., & Hanna, S. (2012). Determinants of energy use in UK higher education buildings using statistical and artificial neural network methods. *International Journal of Sustainable Built Environment,* 1(1), 50-63.

Hernandez, P., Burke, K., & Lewis, J. O. (2008). Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: An example for Irish primary schools. *Energy and Buildings,* 40(3), 249-254.

International Energy Agency. (2013). Southeast Asia energy outlook 2015. France.

Kinney, S., & Piette, M. A. (2002). Development of a California commercial building benchmarking database. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 7.109-107.120.

Laboratories for the 21st Century. (2007). Peak Equipment Loads – Technical Bulletin. United States.

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

Park, H. S., Lee, M., Kang, H., Hong, T., & Jeong, J. (2016). Development of a new energy benchmark for improving the operational rating system of office buildings using various data-mining techniques. *Applied Energy,* 173, 225-237.

Sharp, T. R. (1998). *Benchmarking energy use in schools.* Paper presented at the Proceedings of the ACEEE 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings (3.

Tantiwanit, K. (2007). Establishing energy consumption benchmarks of office buildings in Bangkok. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies,* 5, 55-63.

United States Environmental Protection Agency. (2003). Energy Analysis. United States.

United States Environmental Protection Agency. (2005). Right-sizing Laboratory Equipment Loads. United States.

United States Environmental Protection Agency. (2007). Metrics and Benchmarks for Energy Efficiency in Laboratories. United States.

United States Environmental Protection Agency. (2010). Guidance on Using the Labs21 Benchmarking Tool for LEED-EB:O&M. United States.

University of California at Santa Cruz. (2016). UCSC Green Labs. Retrieved October 20, 2016, from http://sustainability.ucsc.edu/get-involved/student-projects/green-labs

University of Illinois. (2013). UIC Office of sustainability. Retrieved October 20, 2016, from https://sustainability.uic.edu/campus-resources/green-labs/

Yalcintas, M. (2006). An energy benchmarking model based on artificial neural network method with a case example for tropical climates. *International Journal of Energy Research,* 30(14), 1158-1174.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการสำรวจพื้นที่ใช้สอยรายห้องในอาคารปฏิบัติการ สามารถจำแนกประเภทการใช้งานรายห้องออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) การใช้งานประเภทที่ 1 หมายถึง ห้องปฏิบัติการวิจัย
2) การใช้งานประเภทที่ 2 หมายถึง ห้องเรียนปฏิบัติการที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ
3) การใช้งานประเภทที่ 2A หมายถึง ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ใช้งานเครื่องปรับอากาศ
4) การใช้งานประเภทที่ 3 หมายถึง ห้องเรียนบรรยาย
5) การใช้งานประเภทที่ 4 หมายถึง ส่วนสำนักงาน

ตารางที่ ก-1 ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดภายในอาคารคลุ้มวัชโรบล รายห้อง (ภาควิชาชีวเคมี)

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
5	501	4	41.48	หลอดไฟ fluorescent 36 W	15	46	690
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	1	1,600	1,600
				เครื่องปรับอากาศ 42,000 Btu	1	3,900	3,900
				คอมพิวเตอร์	7	450	3,150
				เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,800	1,800
				เครื่องพิมพ์	2	200	400
				แฟกซ์	1	110	110
				พัดลมเพดาน	2	56	112
	ห้องธุรการ			รวม	283.56 W/m^2		11,762
	503	3	44.16	หลอดไฟ fluorescent 36 W	22	46	1,012
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				เครื่องฉายแผ่นใส	1	300	300
	ห้องบรรยาย			รวม	119.16 W/m^2		5,262

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
	504/1	3	25.76	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 25,000 Btu	1	2,100	2,100
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				พัดลมเพดาน	1	56	56
	ห้องบรรยาย			รวม	107.69 W/m^2		2,774
	504/2	2	274.90	หลอดไฟ fluorescent 36 W	120	46	5,520
				หลอดไฟ fluorescent 18 W	1	21	21
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	1	3,500	3,500
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	5	3,700	18,500
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	2	150	300
				พัดลมเพดาน	6	56	336
				Fume Hood	2	500	1,000
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	106.14 W/m^2		29,177
	505	2 A	40.56	หลอดไฟ fluorescent 36 W	13	46	598
				พัดลมตั้งพื้น	1	78	78
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	1	150	150
				คอมพิวเตอร์	1	450	450
				ไมโครเวฟ	1	800	800
				พัดลมเพดาน	1	56	56
				Digital Laboratory Scale	1	20	20
				Incubator	1	2,000	2,000
				Water Purification System (ขนาดใหญ่)	1	3,000	3,000
	ห้องเตรียมปฏิบัติการ			รวม	176.33 W/m^2		7,152
	508	4	24.96	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	1	1,600	1,600
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	1	150	150

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				โทรทัศน์	1	80	80
				ไมโครเวฟ	1	800	800
				ตู้กดน้ำดื่ม	1	80	80
	ห้องรับประทานอาหาร			รวม	155.37 W/m^2		3,878
	517	4	43.20	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	1	1,600	1,600
				ตู้เย็น 9 คิวบิกฟุต	2	100	200
				ไมโครเวฟ	1	800	800
	ห้องรับประทานอาหาร และห้องเก็บข้อสอบ			รวม	68.70 W/m^2		2,968
	518	4	43.20	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	2	2,700	5,400
				เครื่องพิมพ์	1	200	200
				เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,800	1,800
				เครื่องทำลายเอกสาร	1	640	640
	ห้องพักเจ้าหน้าที่			รวม	194.63 W/m^2		8,408
	519	3	44.10	หลอดไฟ fluorescent 36 W	20	46	920
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
	ห้องประชุม			รวม	110.43 W/m^2		4,870
	520 521	3	88.30	หลอดไฟ fluorescent 36 W	44	46	2,024
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	1	3,500	3,500
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				เครื่องฉายแผ่นใส	1	300	300
	ห้องบรรยาย			รวม	110.69 W/m^2		9,774

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
	522	4	21.12	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	1	1,600	1,600
				คอมพิวเตอร์	1	450	450
				เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,800	1,800
				โทรทัศน์	2	80	160
	ห้องหัวหน้าภาควิชา			รวม	207.29 W/m^2		4,378
6	603	2	134.39	หลอดไฟ fluorescent 36 W	67	46	3,082
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	4	3,500	14,000
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	3	150	450
				ไมโครเวฟ	1	800	800
				Digital Laboratory Scale	3	20	60
				Fume Hood	2	500	1,000
				UV-Visible Spectrophotometer	8	120	960
				Centrifuge	1	1,700	1,700
				Micro Centrifuge	4	550	2,200
				Muffle Furnace	1	3,600	3,600
				Dry Cabinet	1	330	330
				Incubator	1	2,000	2,000
				Distillation Unit	1	2,100	2,100
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	1	2,400	2,400
				Water Bath (ขนาดเล็ก)	3	1,800	5,400
				Solvent Extractor	1	950	950
				Digestion Unit	1	1,100	1,100
				Scrubber	1	140	140
				Orbital Shaker	1	40	40
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	314.84 W/m^2		42,312

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
	604/1	1	90.00	หลอดไฟ fluorescent 36 W	36	46	1,656
				หลอดไฟ fluorescent 18 W	3	21	63
				เครื่องปรับอากาศ 44,000 Btu	2	4,100	8,200
				คอมพิวเตอร์	1	450	450
				เครื่องพิมพ์	2	200	400
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	2	150	300
				ตู้แช่ฝาบน	2	175	350
				ไมโครเวฟ	1	800	800
				Ultra-Low Temperature Freezer	1	680	680
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	3	1,000	3,000
				Incubator Shaker (ขนาดเล็ก)	2	400	800
				Laminar Flow Cabinet	2	800	1,600
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
				Incubator	1	2,000	2,000
				Artificial Climate Incubator	1	860	860
				Centrifuge	2	1,700	3,400
				Micro Centrifuge	4	550	2,200
				Luminometer	1	50	50
				pH Meter	1	30	30
				UV-Visible Spectrophotometer	2	120	240
				Hot Plate	2	680	1,360
				Dry bath Heat block	2	350	700
				Orbital Shaker	3	40	120
				Digital Laboratory Scale	2	20	40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				Water Purification System (ขนาดเล็ก)	1	130	130
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	341.43 W/m^2		30,729
	604/2	1	56.56	หลอดไฟ fluorescent 36 W	18	46	828
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	2	150	300
				ตู้แช่ฝาบน	3	175	525
				ไมโครเวฟ	1	800	800
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	1	1,000	1,000
				Rotary Evaporator	1	1,300	1,300
				Laminar Flow Cabinet	1	800	800
				Water Bath Shaker	1	1,200	1,200
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	207.80 W/m^2		11,753
	605	1	40.56	หลอดไฟ fluorescent 36 W	13	46	598
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	1	3,500	3,500
				พัดลมเพดาน	2	56	112
				Mini Spray Dryer	1	3,500	3,500
				UV-Visible Spectrophotometer	2	120	240
				Water Purification System (ขนาดกลาง)	2	1,800	3,600
	ห้องอุปกรณ์วิจัย			รวม	284.76 W/m^2		11,550
	606	4	9.36	หลอดไฟ fluorescent 36 W	4	46	184
				เครื่องปรับอากาศ 12,000 Btu	1	1,100	1,100
				ไมโครเวฟ	1	800	800
	ห้องพักนักวิจัย			รวม	222.65 W/m^2		2,084

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
	607	1	24.96	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	1	1,600	1,600
				คอมพิวเตอร์	1	450	450
				Biological Safety Cabinet	2	800	1,600
				Centrifuge	1	1,700	1,700
				Concentrator	1	1,500	1,500
				French Press Cell	1	800	800
				Lyophilizer	1	800	800
				Rotary Vane Vacuum Pump	1	550	550
				GC-MS	1	2,600	2,600
	ห้องอุปกรณ์วิจัย			รวม	479.49 W/m^2		11,968
	613	1	50.96	หลอดไฟ fluorescent 36 W	16	46	736
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	1	3,500	3,500
				คอมพิวเตอร์	7	450	3,150
				เครื่องพิมพ์	4	200	800
				Ultra-Low Temperature Freezer	1	680	680
				HP-LC	2	1,500	3,000
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	3	3,000	3,000
				Ultracentrifuge	2	1,000	2,000
	ห้องเครื่องมือวิจัย			รวม	403.57 W/m^2		20,566
	614/1	1	24.96	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 36,000 Btu	1	3,400	3,400
				คอมพิวเตอร์	1	450	450
				Dry Cabinet	1	330	330

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				Incubator Shaker (ขนาดเล็ก)	3	400	1,200
				Illuminated Refrigerated Incubator Shaker	1	1,600	1,600
				Continuous Fermenter	1	1,700	1,700
				Orbital Shaker	1	40	40
				Incubator Shaker	1	2,500	2,500
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	464.26 W/m^2		11,588
	616	1	8.62	หลอดไฟ fluorescent 36 W	13	46	598
				หลอดไฟ compact fluorescent 18 W	1	21	28
				เครื่องปรับอากาศ 12,000 Btu	2	1,100	2,200
				เครื่องเขย่าเพาะเลี้ยงขนาดใหญ่	2	600	1,200
	ห้องเพาะเลี้ยงสาหร่าย			รวม	467.05 W/m^2		4,026
	617/1	1	34.51	หลอดไฟ fluorescent 36 W	22	46	1,012
				หลอดไฟ fluorescent 18 W	1	21	21
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	1	3,500	3,500
				UV-Visible Spectrophotometer	1	120	120
				Low Temperature Circulator	1	350	350
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	2,400	4,800
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	284.06 W/m^2		9,803
	617/2 617/3	1	42.62	หลอดไฟ fluorescent 36 W	4	46	184
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				เครื่องปรับอากาศ 25,000 Btu	1	2,100	2,100
				โทรทัศน์	2	80	160

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				ไมโครเวฟ	1	800	800
				ตู้เย็น 1.7 คิวบิกฟุต	1	180	180
				ตู้แช่ฝาบน	1	175	175
				Digital Laboratory Scale	1	20	20
				pH Meter	1	30	30
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
				Hot Plate	2	680	1,360
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	1	1,000	1,000
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	258.31 W/m^2		11,009
	617/4 617/5	1	86.51	หลอดไฟ fluorescent 36 W	64	46	2,944
				เครื่องปรับอากาศ 44,000 Btu	2	4,100	8,200
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	2	1,600	3,200
				พัดลมเพดาน	2	56	112
				พัดลมตั้งพื้น	3	78	234
				คอมพิวเตอร์	3	450	1,350
				เครื่องพิมพ์	2	200	400
				ไมโครเวฟ	1	800	800
				ตู้แช่ฝาบน	1	175	175
				ตู้แช่แบบกระจกใส	1	280	280
				Digital Laboratory Scale	3	20	60
				Laminar Flow Cabinet	2	800	1,600
				GC-MS	1	2,600	2,600
				HP-LC	2	1,500	3,000
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	1	1,800	1,800
				Micro Centrifuge	4	550	2,200
				Hot Plate	1	680	680

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				pH Meter	1	30	30
				Vortex Mixer	1	50	50
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	343.49 W/m^2		29,715
	618	1	43.59	หลอดไฟ fluorescent 36 W	16	46	736
				เครื่องปรับอากาศ 44,000 Btu	1	4,100	4,100
				ตู้แช่ฝาบน	1	175	175
				Fume Hood	1	500	500
				Laminar Flow Cabinet	1	800	800
				Hot Plate	2	680	1,360
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	1	1,000	1,000
				Digital Laboratory Scale	2	20	40
				Centrifuge	1	1,700	1,700
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	238.84 W/m^2		10,411
7	705	1	44.16	หลอดไฟ fluorescent 36 W	16	46	736
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	1	150	150
				พัดลมเพดาน	2	56	112
				พัดลมตั้งพื้น	1	78	78
				คอมพิวเตอร์	2	450	900
				เครื่องพิมพ์	1	200	200
				ไมโครเวฟ	1	800	800
				Digital Laboratory Scale	3	20	60
				Biological Safety Cabinet	1	800	800
				Hot Plate	1	680	680
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	1	1,000	1,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				Ultrasonic Cleaner	2	150	300
				Micro Centrifuge	1	800	800
				Ion Chromatograph	1	1,500	1,500
				pH Meter	1	30	30
				Water Bath (ขนาดเล็ก)	1	1,800	1,800
				Dry Cabinet	1	330	330
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	316.49 W/m^2		13,976
	706	1	44.16	หลอดไฟ fluorescent 36 W	16	46	736
				เครื่องปรับอากาศ 44,000 Btu	1	4,100	4,100
				เครื่องปรับอากาศ 42,000 Btu	1	3,900	3,900
				พัดลมเพดาน	2	56	112
				คอมพิวเตอร์	7	450	3,150
				เครื่องพิมพ์	4	200	800
				ตู้แช่บ่มเพาะเซลล์ (-40°C)	2	500	1,000
				Ultra-Low Temperature Freezer	2	680	1,360
				Water Bath Shaker	2	2,400	4,800
				Water Bath (ขนาดเล็ก)	1	1,800	1,800
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	3	1,000	3,000
				Centrifuge	1	1,700	1,700
				Advanced Imaging System	1	600	600
				Thermal Cycler	2	600	1,200
				HP-LC	1	1,500	1,500
	ห้องอุปกรณ์วิจัย			รวม	673.87 W/m^2		29,758
	707	1	44.16	หลอดไฟ fluorescent 36 W	16	46	736
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	1	3,500	3,500

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				พัดลมเพดาน	2	56	112
				เครื่องพิมพ์	2	200	400
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	3	150	450
				Digital Laboratory Scale	2	20	40
				Water Bath (ขนาดเล็ก)	1	1,800	1,800
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	1	1,000	1,000
				Hot Plate	4	680	2,720
				pH Meter	1	30	30
				Ultrasonic Cleaner	1	150	150
				Centrifuge (ขนาดเล็ก)	4	800	3,200
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	320.15 W/m^2		14,138
	708	1	82.11	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	2	3,500	7,000
				พัดลมตั้งพื้น	1	78	78
				คอมพิวเตอร์	1	450	450
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	1	150	150
				ตู้แช่แบบกระจกใส	1	280	280
				ไมโครเวฟ	2	800	1,600
				Fume Hood	1	500	500
				Hot Plate	1	680	680
				pH Meter	1	30	30
				Vortex Mixer	2	50	100
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	181.90 W/m^2		14,936
	709/1 709/2	1	58.83	หลอดไฟ fluorescent 36 W	16	46	736
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	1	3,500	3,500

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	1	1,600	1,600
				พัดลมตั้งพื้น	1	78	78
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	1	150	150
				Water Bath (ขนาดเล็ก)	2	1,800	3,600
				Incubator	1	2,000	2,000
				Hot Plate	2	680	1,360
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	2	1,000	2,000
				pH Meter	1	30	30
				Digital Laboratory Scale	2	20	40
				Overhead Stirrer	2	130	260
				Vortex Mixer	1	50	50
	ห้องปฏิบัติการวิจัย			รวม	275.44 W/m^2		16,204
	709/3	1	16.50	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 25,000 Btu	1	2,100	2,100
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	1	150	150
				ไดร์เป่าผม	1	1,300	1,300
				Water Purification System (ขนาดเล็ก)	2	130	260
				Water Purification System (ขนาดใหญ่)	2	1,800	3,600
	ห้องอุปกรณ์วิจัย			รวม	471.39 W/m^2		7,778
	711/1 711/2	4	25.50	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	1	1,600	1,600
				คอมพิวเตอร์	3	450	1,350
				เครื่องพิมพ์	2	200	400
				ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	1	150	150

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				โทรทัศน์	1	80	80
	ห้องพักนิสิต			รวม	154.82 W/m^2		3,948
	714	1	43.38	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	46	368
				เครื่องปรับอากาศ 25,000 Btu	2	2,100	4,200
				เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	1	1,100	1,100
				Biological Safety Cabinet	2	800	1,600
				Ultra-Low Temperature Freezer	2	680	1,360
				Control Temperature Centrifuge	1	5,000	5,000
				Centrifuge (ขนาดใหญ่)	1	1,950	1,950
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
				Incubator	2	2,000	4,000
				Water-Jacketed CO_2 Incubator	1	460	460
				Ultrasonic Liquid Processor	1	500	500
				UV Chamber	1	180	180
	ห้องอุปกรณ์วิจัย			รวม	532.92 W/m^2		23,118
	727 728	1	134.32	หลอดไฟ fluorescent 36 W	64	46	2,944
				หลอดไฟ fluorescent 18 W	26	21	546
				เครื่องปรับอากาศ 40,000 Btu	1	3,700	3,700
				เครื่องปรับอากาศ 38,000 Btu	2	3,500	7,000
				พัดลมเพดาน	4	56	224
				พัดลมตั้งพื้น	4	78	312
				ตู้แช่ฝาบน	5	175	875
				Ultra-Low Temperature Freezer	3	680	2,040

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				คอมพิวเตอร์	3	450	1,350
				HP-LC	1	1,500	1,500
				Laminar Flow Cabinet	1	800	800
				Incubator Shaker (ขนาดใหญ่)	1	1,000	1,000
				Thermal Cycler	3	600	1,800
				Hot Plate	1	680	680
				Micro Centrifuge	2	550	1,100
				Dry bath Heat block	3	350	1,050
				Dry Cabinet	1	330	330
	ห้องปฏิบัติการวิจัยและห้องพักนิสิต			รวม	202.88 W/m^2		27,251

ตารางที่ ก-2 ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดภายในอาคารมหามกุฏ รายห้อง (ภาควิชาเคมี)

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
7	701	2A	256.98	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				หลอดไฟ LED 9 W	7	9	63
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมตั้งพื้น	16	78	1,248
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Micro Centrifuge	9	550	4,950
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	6	2,400	14,400

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				Digital Laboratory Scale	9	20	180
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	186.13 W/m^2		47,831
	702	4	76.46	หลอดไฟ LED 18 W	10	18	180
				เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	3	2,700	8,100
				คอมพิวเตอร์	2	450	900
				เครื่องพิมพ์	1	200	200
	ห้องพักเจ้าหน้าที่			รวม	122.68 W/m^2		9,380
	703	2A	251.46	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมตั้งพื้น	16	78	1,248
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Micro Centrifuge	9	550	4,950
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	6	2,400	14,400
				Digital Laboratory Scale	9	20	180
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	189.96 W/m^2		47,768
	706	2A	257.85	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมตั้งพื้น	10	78	780
				โทรทัศน์	2	80	160
				เครื่องขยายเสียง	1	200	200
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				เครื่องทำน้ำแข็ง	1	150	150
				Fume Hood	6	500	3,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Micro Centrifuge	12	550	6,600

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	2,400	4,800
				Digital Laboratory Scale	9	20	180
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	155.75 W/m^2		40,160
	707	4	76.01	หลอดไฟ LED 18 W	10	18	180
				เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	3	2,700	8,100
				คอมพิวเตอร์	4	450	1,800
				เครื่องพิมพ์	1	200	200
				เครื่องขยายเสียง	1	200	200
				กระติกน้ำร้อน	1	700	700
				ตู้เย็น 5 คิวบิกฟุต	1	70	70
	ห้องพักเจ้าหน้าที่			รวม	148.01 W/m^2		11,250
	708	2A	250.60	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				หลอดไฟ LED 9 W	7	9	63
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมตั้งพื้น	10	78	780
				โทรทัศน์	2	80	160
				เครื่องขยายเสียง	1	200	200
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				Fume Hood	6	500	3,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Micro Centrifuge	12	550	6,600
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	2,400	4,800
				Digital Laboratory Scale	9	20	180
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	154.72 W/m^2		38,773
8	801	2A	256.98	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				หลอดไฟ LED 9 W	7	9	63

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมตั้งพื้น	5	78	390
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				โทรทัศน์	2	80	160
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	2,400	4,800
				Digital Laboratory Scale	3	20	60
				pH Meter	5	30	150
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	131.97 W/m^2		33,913
	802	4	76.46	หลอดไฟ LED 18 W	10	18	180
				เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	3	2,700	8,100
				คอมพิวเตอร์	2	450	900
				เครื่องฉายแผ่นใส	1	300	300
				เครื่องพิมพ์	1	200	200
				ตู้เย็น 5 คิวบิกฟุต	1	150	150
	ห้องพักเจ้าหน้าที่			รวม	128.56 W/m^2		9,830
	803	2A	251.46	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมตั้งพื้น	5	78	390
				เครื่องฉายภาพ	1	250	250
				โทรทัศน์	2	80	160
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	2,400	4,800

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				Digital Laboratory Scale	3	20	60
				pH Meter	5	30	150
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	134.61 W/m^2		33,850
	806	2A	257.85	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมติดผนัง	16	56	832
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	2,400	4,800
				Micro Centrifuge	4	550	2,200
				Rotary Evaporator	1	1,300	1,300
				Aspirator	4	150	600
				Digital Laboratory Scale	3	20	60
				UV-Visible Spectrophotometer	2	120	240
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	147.65 W/m^2		38,072
	807	4	76.01	หลอดไฟ LED 18 W	10	18	180
				เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	3	2,700	8,100
				คอมพิวเตอร์	2	450	900
				เครื่องเสียง	1	200	200
				เครื่องพิมพ์	1	200	200
				โทรทัศน์	1	80	80
				ตู้เย็น 13 คิวบิกฟุต	1	110	110
	ห้องพักเจ้าหน้าที่			รวม	128.54 W/m^2		9,770
	808	2A	250.60	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				หลอดไฟ LED 9 W	7	9	63

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมติดผนัง	16	56	832
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Hot Air Oven	1	1,300	1,300
				Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	2,400	4,800
				Micro Centrifuge	4	550	2,200
				Rotary Evaporator	1	1,300	1,300
				Aspirator	4	150	600
				Digital Laboratory Scale	3	20	60
				UV-Visible Spectrophotometer	2	120	240
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	152.17 W/m^2		38,135
9	901	2A	256.98	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				หลอดไฟ LED 9 W	7	9	63
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมติดผนัง	16	56	832
				โทรทัศน์	2	80	160
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Hot Air Oven	2	1,300	2,600
				Micro Centrifuge	5	550	2,750
				Aspirator	5	150	750
				Digital Laboratory Scale	10	20	200
				pH Meter	10	30	300
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	133.84 W/m^2		34,395

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
	902	4	76.46	หลอดไฟ LED 18 W	10	18	180
				เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	3	2,700	8,100
				คอมพิวเตอร์	2	450	900
				เครื่องพิมพ์	2	200	400
	ห้องพักเจ้าหน้าที่			รวม	125.29 W/m^2		9,580
	903	2A	251.46	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมติดผนัง	16	52	832
				โทรทัศน์	2	80	160
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	32	680	21,760
				Hot Air Oven	2	1,300	2,600
				Micro Centrifuge	4	550	2,750
				Aspirator	5	150	750
				Digital Laboratory Scale	10	20	200
				pH Meter	10	30	300
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	136.53 W/m^2		34,332
	906	2A	257.85	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมตั้งพื้น	10	78	780
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	30	680	20,400
				Hot Air Oven	2	1,300	2,600
				Rotary Evaporator	2	1,300	2,600
				Aspirator	2	150	300
				UV-Visible Spectrophotometer	2	120	240
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	123.72 W/m^2		31,900

ชั้น	ห้อง	ประเภท	พื้นที่ (m^2)	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (Watt)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
	907	4	76.01	หลอดไฟ LED 18 W	10	18	180
				เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	3	2,700	8,100
				คอมพิวเตอร์	2	450	900
				เครื่องพิมพ์	1	200	200
				โทรทัศน์	1	80	80
	ห้องพักเจ้าหน้าที่			รวม	124.46 W/m^2		9,460
	908	2A	250.60	หลอดไฟ LED 18 W	35	18	630
				หลอดไฟ LED 9 W	7	9	63
				พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	1	350	350
				พัดลมตั้งพื้น	10	78	780
				Fume Hood	8	500	4,000
				Hot Plate	30	680	20,400
				Hot Air Oven	2	1,300	2,600
				Rotary Evaporator	2	1,300	2,600
				Aspirator	2	150	300
				UV-Visible Spectrophotometer	2	120	240
	ห้องเรียนปฏิบัติการ			รวม	127.55 W/m^2		31,963

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข
ระยะเวลาการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ารายห้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการสำรวจพื้นที่ใช้สอยรายห้องในอาคารปฏิบัติการ สามารถจำแนกประเภทการใช้งานรายห้องออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) การใช้งานประเภทที่ 1 หมายถึง ห้องปฏิบัติการวิจัย
2) การใช้งานประเภทที่ 2 หมายถึง ห้องเรียนปฏิบัติการที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ
3) การใช้งานประเภทที่ 2A หมายถึง ห้องเรียนปฏิบัติการที่ไม่ใช้งานเครื่องปรับอากาศ
4) การใช้งานประเภทที่ 3 หมายถึง ห้องเรียนบรรยาย
5) การใช้งานประเภทที่ 4 หมายถึง ส่วนสำนักงาน

ตารางที่ ข-1 ผลการเก็บข้อมูลระยะเวลาการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดภายในอาคารคลุ้มวัชโรบลรายห้อง (ภาควิชาชีวเคมี)

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
	501	4	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	690	5,520
			เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	8	1,600	12,800
			เครื่องปรับอากาศ 42,000 Btu	8	3,900	31,200
			คอมพิวเตอร์	8	3,150	25,200
			เครื่องถ่ายเอกสาร	2	1,800	3,600
			เครื่องพิมพ์	8	400	3,200
			แฟกซ์	8	110	880
			พัดลมเพดาน	1	112	112
			รวม	82.51 kWh		82,512
	505	2 A	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	598	4,784
			พัดลมตั้งพื้น	8	78	624
			ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	24	150	3,600
			คอมพิวเตอร์	8	450	3,600
			ไมโครเวฟ	2	800	1,600

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
			พัดลมเพดาน	8	56	448
			Digital Laboratory Scale	2	20	40
			Incubator	24	2,000	48,000
			Water Purification System (ขนาดใหญ่)	24	3,000	72,000
			รวม	134.696 kWh		134,696
	508	4	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	368	2,944
			เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	8	1,600	12,800
			ตู้เย็น 18 คิวบิกฟุต	24	150	3,600
			โทรทัศน์	1	80	80
			ไมโครเวฟ	1	800	800
			ตู้กดน้ำดื่ม	24	80	1,920
			รวม	22.944 kWh		22,944
	517	4	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	368	2,944
			เครื่องปรับอากาศ 18,000 Btu	8	1,600	12,800
			ตู้เย็น 9 คิวบิกฟุต	24	200	4,800
			ไมโครเวฟ	1	800	800
			รวม	21.344 kWh		21,344
	518	4	หลอดไฟ fluorescent 36 W	8	368	2,944
			เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	8	5,400	43,200
			เครื่องพิมพ์	8	200	1,600
			เครื่องถ่ายเอกสาร	2	1,800	3,600
			เครื่องทำลายเอกสาร	2	640	1,280
			รวม	52.624 kWh		52,624

ตารางที่ ข-2 ผลการเก็บข้อมูลระยะเวลาการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดภายในอาคารมหามกุฎรายห้อง (ภาควิชาเคมี)

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
7	701	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			หลอดไฟ LED 9 W	6	63	378
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมตั้งพื้น	6	1,248	7,488
			เครื่องฉายภาพ	6	250	1,500
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Micro Centrifuge	2	4,950	9,900
			Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	14,400	28,800
			Digital Laboratory Scale	2	180	360
			รวม	157.35 kWh		157,346
	702	4	หลอดไฟ LED 18 W	8	180	1,440
			เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	8	8,100	64,800
			คอมพิวเตอร์	8	900	7,200
			เครื่องพิมพ์	2	200	400
			รวม	73.84 kWh		73,840
	703	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมตั้งพื้น	6	1,248	7,488
			เครื่องฉายภาพ	6	250	1,500
			Fume Hood	2	4,000	16,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Micro Centrifuge	4	4,950	9,900
			Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	14,400	28,800

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
			Digital Laboratory Scale	9	20	360
			รวม	156.97 kWh		156,968
	706	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมตั้งพื้น	6	780	4,680
			โทรทัศน์	6	160	960
			เครื่องขยายเสียง	6	200	1,200
			เครื่องฉายภาพ	6	250	1,500
			เครื่องทำน้ำแข็ง	24	150	3,600
			Fume Hood	4	3,000	12,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Micro Centrifuge	2	6,600	13,200
			Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	4,800	9,600
			Digital Laboratory Scale	2	180	360
			Hot Air Oven	24	1,300	31,200
			รวม	171.22 kWh		171,220
	707	4	หลอดไฟ LED 18 W	8	180	1,440
			เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	8	8,100	64,800
			คอมพิวเตอร์	8	1,800	14,400
			เครื่องพิมพ์	2	200	400
			เครื่องขยายเสียง	6	200	12,000
			กระติกน้ำร้อน	9	700	36,000
			ตู้เย็น 5 คิวบิกฟุต	24	70	1,680
			รวม	90.22 kWh		90,220
	708	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			หลอดไฟ LED 9 W	6	63	378

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมตั้งพื้น	6	780	4,680
			โทรทัศน์	6	160	960
			เครื่องขยายเสียง	6	200	1,200
			เครื่องฉายภาพ	6	250	1,500
			Fume Hood	4	3,000	12,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Micro Centrifuge	2	6,600	13,200
			Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	4,800	9,600
			Digital Laboratory Scale	2	180	360
			รวม	136.798 kWh		136,798
	801	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			หลอดไฟ LED 9 W	6	63	378
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมตั้งพื้น	6	390	2,340
			เครื่องฉายภาพ	6	250	1,500
			โทรทัศน์	6	160	960
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Hot Air Oven	24	1,300	31,200
			Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	4,800	9,600
			Digital Laboratory Scale	2	60	120
			pH Meter	2	150	300
			รวม	155.318 kWh		155,318
	802	4	หลอดไฟ LED 18 W	8	180	1,440
			เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	8	8,100	64,800

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
			คอมพิวเตอร์	8	900	7,200
			เครื่องฉายแผ่นใส	6	300	1,800
			เครื่องพิมพ์	2	200	400
			ตู้เย็น 5 คิวบิกฟุต	24	150	3,600
			รวม	79.24 kWh		79,240
	803	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมตั้งพื้น	6	390	2,340
			เครื่องฉายภาพ	6	250	1,500
			โทรทัศน์	6	160	960
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Hot Air Oven	24	1,300	31,200
			Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	4,800	9,600
			Digital Laboratory Scale	2	60	120
			pH Meter	2	150	300
			รวม	154.94 kWh		154,940
	806	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมติดผนัง	6	832	4,992
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Hot Air Oven	24	1,300	31,200
			Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	4,800	9,600
			Micro Centrifuge	2	2,200	4,400
			Rotary Evaporator	2	1,300	2,600

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
			Aspirator	4	600	2,400
			Digital Laboratory Scale	2	60	120
			UV-Visible Spectrophotometer	2	240	480
			รวม	164.712 kWh		164,712
	807	4	หลอดไฟ LED 18 W	8	180	1,440
			เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	8	8,100	64,800
			คอมพิวเตอร์	8	900	7,200
			เครื่องเสียง	6	200	1,200
			เครื่องพิมพ์	2	200	400
			โทรทัศน์	2	80	160
			ตู้เย็น 13 คิวบิกฟุต	24	110	2,640
			รวม	77.84 kWh		77,840
	808	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			หลอดไฟ LED 9 W	6	63	378
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมติดผนัง	6	832	4,992
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Hot Air Oven	24	1,300	31,200
			Water Bath (ขนาดใหญ่)	2	4,800	9,600
			Micro Centrifuge	2	2,200	4,400
			Rotary Evaporator	2	1,300	2,600
			Aspirator	4	600	2,400
			Digital Laboratory Scale	2	60	120
			UV-Visible Spectrophotometer	2	240	480
			รวม	165.09 kWh		165,090

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
9	901	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			หลอดไฟ LED 9 W	6	63	378
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมติดผนัง	6	832	4,992
			โทรทัศน์	6	160	960
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Hot Air Oven	24	2,600	62,400
			Micro Centrifuge	2	2,750	5,500
			Aspirator	4	750	3,000
			Digital Laboratory Scale	2	200	400
			pH Meter	2	300	600
			รวม	187.15 kWh		187,150
	902	4	หลอดไฟ LED 18 W	8	180	1,440
			เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	8	8,100	64,800
			คอมพิวเตอร์	8	900	7,200
			เครื่องพิมพ์	2	400	800
			รวม	74.24 kWh		74,240
	903	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมติดผนัง	6	832	4,992
			โทรทัศน์	6	160	960
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	21,760	87,040
			Hot Air Oven	24	2,600	62,400
			Micro Centrifuge	2	2,750	5,500

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
			Aspirator	4	750	3,000
			Digital Laboratory Scale	2	200	400
			pH Meter	2	300	600
			รวม	186.772 kWh		186,772
	906	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมตั้งพื้น	6	780	4,680
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	20,400	81,600
			Hot Air Oven	24	2,600	62,400
			Rotary Evaporator	2	2,600	5,200
			Aspirator	4	300	1,200
			UV-Visible Spectrophotometer	2	240	480
			รวม	177.44 kWh		177,440
	907	4	หลอดไฟ LED 18 W	8	180	1,440
			เครื่องปรับอากาศ 30,000 Btu	8	8,100	64,800
			คอมพิวเตอร์	8	900	7,200
			เครื่องพิมพ์	2	200	400
			โทรทัศน์	2	80	160
			รวม	74 kWh		74,000
	908	2A	หลอดไฟ LED 18 W	6	630	3,780
			หลอดไฟ LED 9 W	6	63	378
			พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่	6	350	2,100
			พัดลมตั้งพื้น	6	780	4,680
			Fume Hood	4	4,000	16,000
			Hot Plate	4	20,400	81,600

ชั้น	ห้อง	ประเภท	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ปริมาณการใช้พลังงาน (Wh)
			Hot Air Oven	24	2,600	62,400
			Rotary Evaporator	2	2,600	5,200
			Aspirator	4	300	1,200
			UV-Visible Spectrophotometer	2	240	480
			รวม	177.818 kWh		177,818

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว มาริสา จิวเวชดำรงค์กุล เกิดเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2531 จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบดินทรเดช (สิงห์ สิงหเสนี) ระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในปี พ.ศ. 2555 และได้เข้าศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิต หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขานวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตย์ (Innovation Design in Ecological Architecture) จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558

ด้านการทำงานหลังจบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ได้ทำงานตำแหน่งสถาปนิกออกแบบที่บริษัท เอ็นทีบี. อาร์คิเทค ระหว่าง พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2559 ปัจจุบันเป็นสถาปนิกอิสระ มีความสนใจด้านการออกแบบ และบริหารจัดการอาคารอนุรักษ์พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University