การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย :
กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวสรญา กังวาล

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 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY CONSUMPTION BENCHMARKING OF UNIVERSITY BUILDINGS : A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY

Miss Soraya Kangvan

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 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย : กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นางสาวสรญา กังวาล
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

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สรญา กังวาล : การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารของมหาวิทยาลัย : กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ENERGY CONSUMPTION BENCHMARKING OF UNIVERSITY BUILDINGS :A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์{, 139 หน้า.

มหาวิทยาลัยเป็นสถานที่ที่มีความหลากหลายในการใช้งาน และจำนวนผู้ใช้อาคาร ซึ่งส่งผลให้มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก เนื่องด้วยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ดำเนินการเพื่อมุ่งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน โดยการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของแผน ทั้งนี้องค์ความรู้ในการอนุรักษ์พลังงานในสถานศึกษายังมีอยู่อย่างจำกัด การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร (Energy Benchmarking) จึงเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่จะช่วยให้ผู้บริหาร ผู้จัดการอาคารเข้าใจลักษณะการใช้พลังงานจากการเปรียบเทียบกับอาคารอื่นๆ และประเมินความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานจากฐานข้อมูลที่มี เพื่อยกระดับการอนุรักษ์พลังงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเกณฑ์มาตรฐานด้านการใช้พลังงานสำหรับมหาวิทยาลัย โดยเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน ลักษณะอาคาร และจำนวนผู้ใช้อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 92 อาคาร และ 35 หน่วยงาน ในระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึงกันยายน พ.ศ. 2557

ผลจากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ภายในอาคารต่ออาคารเท่ากับ 7,547.94 ตร.ม. ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอาคารของอาคารเท่ากับ 3,641.64 ตร.ม. คิดเป็นร้อยละ 51.72 จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานพบว่ามีการกระจายตัวเป็นลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก (Positively skewed) ที่เป็นแบบไม่ปกติส่งผลทำให้ต้องใช้ค่ามัธยฐานเป็นค่ากลางของข้อมูล โดยค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารต่อพื้นที่เท่ากับ 62.71 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m²/year) ค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานต่อพื้นที่เท่ากับ 70.59 kWh/m²/year และค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานต่อคนมีค่าเท่ากับ 1,089.31 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อคนต่อปี และในการวิเคราะห์ถดถอยพบว่าสามารถทำนายค่าการใช้พลังงานของหน่วยงานในมหาวิทยาลัยได้จากตัวแปรพื้นที่อาคาร และพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เท่ากับ 0.90 ($p<0.05$) งานวิจัยนี้เสนอให้ศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มจำนวนอาคารของกรณีศึกษา เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัยได้อย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5673559525 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: ENERGY BENCHMARKING / UNIVERSITY BUILDINGS / ENERGY INDEX / REGRESSION ANALYSIS

SORAYA KANGVAN: ENERGY CONSUMPTION BENCHMARKING OF UNIVERSITY BUILDINGS :A CASE STUDY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY. ADVISOR: ASST. PROF. VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D.{, 139 pp.

University is a place which consist of various types of functional space and building users which affects the energy consumption of the university while Chulalongkorn University has been working on becoming a sustainable university which energy conservation is one part of the plan, the knowledge of energy conservation in academic buildings, however, is limited. Energy benchmarking is one of the tools that will help administrators, building managers to understand building's energy use by comparison with others buildings and assess the feasibility of energy conservation through energy use database. This study aims to develop energy consumption benchmarking of university buildings from energy use data, buildings data and users data of university from a total of 92 buildings and 35 institutes during October 2013 to September 2014 period.

The results found that the average building area was 7,547.94 m². The average of building air conditioned space was 3,641.64 m² (51.72%). Data analysis showed that the distribution of university energy index was positively skewed. The median value of energy use index per area was 62.71 kWh/m²/year. The median value of institute energy index per area was 70.59 kWh/m²/year and 1,089.31 kWh/person/year for institution energy use index per person. The regression analysis found that the energy consumption equation can be derived from building area and air-conditioned space. The coefficient of determination (R-square) from this study equation was 0.90 ($p<0.05$). This research suggests that the further study should include more case study buildings to fully understand energy consumption behaviour of university buillldings.

Department:	Architecture	Student's Signature	.....
Field of Study:	Architecture	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2014		

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา รวมทั้งข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน กรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร และกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาริณี รามสูต ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ขอขอบพระคุณสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักงานการทะเบียน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำนักบริหารทรัพยากรมนุษย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆ ที่สำคัญสำหรับการทำวิจัย

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนสำหรับการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ขอขอบพระคุณผู้บังคับบัญชา พี่น้องเพื่อนร่วมงาน และเพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างมาก ให้กำลังใจ และให้คำแนะนำต่างๆ จนการศึกษานี้สำเร็จออกมาเป็นชิ้นเป็นอันได้

ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฐ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 6
2.2 มหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน 10
2.3 สัดส่วนค่าน้ำหนักของการประเมินอาคารในด้านพลังงาน 13
2.4 การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร 14
2.5 การศึกษาถึงการประเมินอาคารด้านพลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย 28
2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารจากสมการการวิเคราะห์ถดถอย 30
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย 40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง 40
3.2 ขั้นตอนการศึกษาเบื้องต้น 40
3.3 การวิจัยนำร่อง (Pilot study) 41
3.4 การสำรวจเก็บข้อมูลจากการขอข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 45
3.4.1 การสำรวจข้อมูลอาคารภายในมหาวิทยาลัย 45
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อหาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 49
3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการหาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัย 49
3.5.2 การหาการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน 50
3.5.3 การทำนายค่าการใช้พลังงานจากสมการการวิเคราะห์ถดถอย 50
บทที่ 4 รายละเอียดของกรณีศึกษา และผลการศึกษา 52
4.1 รายละเอียดของกรณีศึกษา 52
4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 52
4.1.2 ลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อาคารภายในอาคาร 60
4.1.2.1 ข้อมูลจำนวนนิสิต 60
4.1.2.2 ข้อมูลจำนวนคณาจารย์และบุคลากร 62
4.1.3 ข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร 68
4.2 ผลการศึกษา 86
4.2.1 ผลการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

4.2.2 ผลการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 97
4.2.3 การจัดกลุ่มประสิทธิภาพการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย 100
4.2.4 การทำนายค่าการใช้พลังงานภายในอาคารและหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 102
4.2.4.1 การทำนายค่าการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 102
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 118
5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล 118
5.2 ข้อเสนอแนะ 129
รายการอ้างอิง 131
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 136

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนคะแนนของเกณฑ์การประเมินอาคารที่ยั่งยืน 14

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร ... 17

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร ... 19

ตารางที่ 2.4 ผลสรุปพัฒนาการของระเบียบวิธีการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร 21

ตารางที่ 2.5 ผลสรุปค่าสถิติของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารเรียน ที่พักอาศัย และโรงแรม 21

ตารางที่ 2.6 ค่าดัชนีการใช้พลังงานในอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์ 28

ตารางที่ 2.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานตามเขตพื้นที่ของกรณีศึกษา 33

ตารางที่ 2.8 ผลสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของกรณีศึกษา 37

ตารางที่ 2.9 ผลสรุปการกระจายตัวของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในกรณีศึกษา ... 39

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (3.1), (3.2) และ (3.3) 43

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (3.4) 44

ตารางที่ 3.3 ค่าสถิติการวิเคราะห์การถดถอยของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของโรงเรียนสีเขียวทั้งหมด 44

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ทำการศึกษา 54

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดพื้นที่อาคารของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ทำการศึกษา 58

ตารางที่ 4.3 จำนวนนิสิตภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 61

ตารางที่ 4.4 จำนวนบุคลากรในตำแหน่งวิชาการภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ตารางที่ 4.5 จำนวนบุคลากรภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 64

ตารางที่ 4.6 ผลสรุปจำนวนผู้ใช้งานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 66

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 68

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 73

ตารางที่ 4.9 ผลสรุปข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ 75

ตารางที่ 4.10 ผลสรุปข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อคน 77

ตารางที่ 4.11 ผลการศึกษาตัวแปรและค่าการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 87

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารสำนักงาน 89

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารเรียน 90

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารอเนกประสงค์หรืออาคารอื่นๆ 93

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารวิจัย 94

ตารางที่ 4.16 ผลการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) ของอาคารประเภทต่างๆ 96

ตารางที่ 4.17 ผลการศึกษาตัวแปรและค่าการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 98

ตารางที่ 4. 18การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 101

ตารางที่ 4.19 การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 102

ตารางที่ 4.20 ค่าการทดสอบการกระจายตัวของตัวแปร (Tests of Normality) 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ตารางที่ 4. 21 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.1) และ (4.2) 107

ตารางที่ 4.22 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.3) 108

ตารางที่ 4.23 ค่าการทดสอบการกระจายตัวของตัวแปร (Tests of Normality) 109

ตารางที่ 4.24 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.5), (4.6) และ (4.7) 114

ตารางที่ 4.25 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.8) 115

ตารางที่ 4.26 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.9) 116

ตารางที่ 4.27 ผลสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงาน 117

ตารางที่ 5.1 ผลสรุปการกระจายตัวของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน 119

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน (kWh/m²/year) 121

ตารางที่ 5.3 ผลการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) ของกลุ่มอาคาร 122

ตารางที่ 5.4 การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 124

ตารางที่ 5.5 การจัดเกรดของค่าดัชนีการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 127

ตารางที่ 5. 6 ผลสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของกรณีศึกษา 129

ตารางที่ 5.7 ผลสรุปค่า RMSE ของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของกรณีศึกษา 129

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างกฎหมายอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน 9

รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน 11

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ 12

รูปที่ 2.4 การอธิบายถึงการพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ มหาวิทยาลัยสีเขียว และมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน 13

รูปที่ 2.5 กระบวนการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร 15

รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการวิจัย 40

รูปที่ 3.2 ผังบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 46

รูปที่ 4.1 ผังบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 2.1 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนในสหรัฐอเมริกา 23
แผนภูมิที่ 2.2 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนในรัฐแคลิฟอร์เนีย 24
แผนภูมิที่ 2.3 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานสะสมของอาคารทางธุรกิจของรัฐแคลิฟอร์เนีย 24
แผนภูมิที่ 2.4 การกระจายตัวของดัชนีสะสมการใช้พลังงานของโรงเรียนในไอร์แลนด์ 25
แผนภูมิที่ 2.5 การกระจายตัวสะสมดัชนีการใช้พลังงานในสถานศึกษาระดับสูงสหราชอาณาจักร 25
แผนภูมิที่ 2.6 การกระจายตัวของดัชนีสะสมการใช้พลังงานของสถานศึกษาระดับสูงในสหราชอาณาจักรตามประเภทการใช้งานอาคาร 26
แผนภูมิที่ 2.7 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 27
แผนภูมิที่ 2.8 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานสะสมในอาคารสำนักงาน 27
แผนภูมิที่ 2.9 ข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานในอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์ 28
แผนภูมิที่ 3.1 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) ... 42
แผนภูมิที่ 3.2 การกระจายตัวของความถี่ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนต่อคน (kWh/person/year) 42
แผนภูมิที่ 4.2 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) 86
แผนภูมิที่ 4.3 การกระจายตัวสะสมของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) 87
แผนภูมิที่ 4.4 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

แผนภูมิที่ 4.5 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเรียนภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) 92

แผนภูมิที่ 4.6 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารอเนกประสงค์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) 94

แผนภูมิที่ 4.7 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารวิจัยภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) 95

แผนภูมิที่ 4.8 การเปรียบเทียบของค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 96

แผนภูมิที่ 4.9 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) 97

แผนภูมิที่ 4.10 การกระจายตัวสะสมของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) 98

แผนภูมิที่ 4.11 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อคน (kWh/person/year) 99

แผนภูมิที่ 4.12 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อคน (kWh/person/year) 100

แผนภูมิที่ 4.13 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานก่อนและหลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm 104

แผนภูมิที่ 4.14 การกระจายตัวของตัวแปรพื้นที่ก่อนและหลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm 104

แผนภูมิที่ 4.15 การกระจายตัวของตัวแปรพื้นที่ปรับอากาศก่อนและหลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm 105

แผนภูมิที่ 4.16 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและพื้นที่ภายในอาคาร 106

หน้า

แผนภูมิที่ 4.17 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและพื้นที่ปรับอากาศ .. 106
แผนภูมิที่ 4.18 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคาร พื้นที่ภายในอาคาร และพื้นที่ปรับอากาศ 107
แผนภูมิที่ 4.19 การกระจายตัวของค่าการใช้พลังงานก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm..... 110
แผนภูมิที่ 4.20 การกระจายตัวของพื้นที่ก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm..... 110
แผนภูมิที่ 4.21 การกระจายตัวของพื้นที่ปรับอากาศก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วย Logarithm 111
แผนภูมิที่ 4.22 การกระจายตัวของผู้ใช้อาคารก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm 111
แผนภูมิที่ 4.23 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและพื้นที่ภายในอาคาร 112
แผนภูมิที่ 4.24 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและพื้นที่ปรับอากาศ .. 113
แผนภูมิที่ 4.25 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและจำนวนผู้ใช้อาคาร 113
แผนภูมิที่ 4.26 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคาร พื้นที่อาคาร พื้นที่ปรับอากาศ และจำนวนผู้ใช้อาคาร 114
แผนภูมิที่ 4.27 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคาร พื้นที่อาคาร 115
แผนภูมิที่ 5.2 การกระจายตัวสะสมของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)..... 125
แผนภูมิที่ 5.3 การกระจายตัวสะสมของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่หลังจากปรับฐานขั้วโมงเป็น 2,000 ชั่วโมงต่อปี (kWh/m²/year)..... 126

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มหาวิทยาลัยเป็นสถานที่ที่ประกอบไปด้วยกลุ่มอาคารที่มีความหลากหลายทั้งจากจำนวนอาคาร รูปแบบการใช้งาน ลักษณะการใช้งานจากผู้ใช้อาคารที่มีจำนวนมาก ทั้งนิสิตนักศึกษา คณาจารย์ บุคลากร รวมไปถึงบุคคลทั่วไป หรือจากการใช้งานที่มีทั้งห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ ห้องประชุม ห้องสมุด หอพักนักศึกษา สนามกีฬา โรงอาหาร เป็นต้น ซึ่งในการดำเนินการเรียนการสอนภายในมหาวิทยาลัยจำเป็นต้องใช้พลังงานจำนวนมากเพื่อตอบสนองกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น และเนื่องด้วยปัจจุบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีนโยบายการดำเนินการเพื่อบรรลุเป้าประสงค์ในการเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน โดยการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของแผนดังกล่าว การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร (Energy Benchmarking) เป็นหนึ่งในวิธีการที่จะช่วยอนุรักษ์พลังงานภายในมหาวิทยาลัยที่จะสามารถช่วยให้ผู้บริหาร ผู้จัดการอาคาร หรือผู้ออกแบบได้เข้าใจถึงลักษณะการใช้พลังงานภายในอาคารจากการเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับอาคารอื่นภายในมหาวิทยาลัย และประเมินความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานจากการใช้ฐานข้อมูลด้านการใช้พลังงานที่มีเพื่อยกระดับการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัย รวมไปถึงการพัฒนาประสิทธิภาพของการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนได้ต่อไปในอนาคต

การดำเนินการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เริ่มต้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยในช่วงปี พ.ศ.2547-2551 ได้มีการเริ่มตั้งแต่จัดทำโครงการผังแม่บทจุฬาฯ 100 ปี ที่มีการกำหนดแนวแกนสีเขียวภายในมหาวิทยาลัย เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวในมหาวิทยาลัย นอกจากนั้นยังมีโครงการรถประจำทางภายในมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อลดการสัญจรด้วยรถยนต์ส่วนตัวและลดมลภาวะจากการจราจร เป็นต้น โครงการดังกล่าวยังดำเนินการมาถึงในช่วงที่ 2 ระหว่างปี พ.ศ. 2551-2555 ที่ดำเนินการพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากการสร้างอาคารจอดรถริมถนนใหญ่ การขยายเส้นทางการเดินรถประจำทางภายในมหาวิทยาลัย การสร้างทางหลังคาคลุมทางเดิน การสนับสนุนการใช้จักรยาน ซึ่งโครงการดังกล่าวช่วยทั้งการลดจำนวนรถยนต์ที่จะวิ่งเข้ามาในมหาวิทยาลัย การลดมลภาวะและการลดใช้พลังงานภายในมหาวิทยาลัย และในช่วงปัจจุบัน ระหว่างปี พ.ศ. 2555-2559 มหาวิทยาลัยมีนโยบายพัฒนา “มหาวิทยาลัยสีเขียว” ไปสู่การเป็น “มหาวิทยาลัยที่ยั่งยืน” โดยได้มีการดำเนินการโครงการวิจัย

เพื่อกำหนดมาตรฐานอาคารเขียวภายในมหาวิทยาลัย รวมถึงการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ลดการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภายในมหาวิทยาลัย เป็นต้น เพื่อการนำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยก้าวสู่ความยั่งยืน และเป็นตัวอย่างพื้นที่สีเขียวใจกลางเมืองกรุงเทพมหานครแก่สังคม ในด้านนโยบายทางด้านพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ดำเนินการให้อาคารภายในมหาวิทยาลัยเป็นไปตามมาตรฐานของกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 เพื่อลดค่าการใช้พลังงานให้เป็นไปตามกฎกระทรวงดังกล่าว และมีการวางแผนประหยัดพลังงานให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550 (Sustainability at Chulalongkorn University. [online], 2558b) ซึ่งทางมหาวิทยาลัยได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นของอาคารต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยเพื่อรายงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ตามแผนพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการใช้พลังงานในแต่ละเดือน ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานที่มีในปัจจุบันสามารถนำไปพัฒนาต่อให้เกิดเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารที่เหมาะสมกับอาคารในมหาวิทยาลัย เพื่อให้เกิดพัฒนาการทางด้านการประหยัดพลังงาน และสามารถวางแผนการจัดการการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัยได้ต่อไปในอนาคต

ในปัจจุบันที่การอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารได้มีการดำเนินการอย่างแพร่หลายในอาคารหลากหลายประเภท ทั้งในอาคารสำนักงาน อาคารราชการ อาคารทางธุรกิจ และอาคารเรียน เป็นต้น หากแต่ในอาคารประเภทอาคารเรียนนั้นกลับไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควรและองค์ความรู้ในด้านการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารเรียนยังมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษาถึงการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารเรียนได้มีการศึกษาภายในต่างประเทศ ทั้งที่สหรัฐอเมริกาและสหราชอาณาจักร อย่างไรก็ตามในประเทศไทยได้มีการศึกษาถึงการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานเฉพาะในอาคารสำนักงานของกรุงเทพมหานคร ทำให้การศึกษาถึงการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนยังไม่มีความชัดเจนและยังเกิดช่องว่างสำหรับการประเมินการใช้พลังงานในอาคารเรียนของประเทศไทย

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยของประเทศไทยมีการศึกษาถึงการประเมินสมรรถนะทางด้านพลังงานของอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ของ รศ. อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ (2552) ที่ศึกษาถึงแนวทางการปรับปรุงอาคารให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยเสนอการลดการใช้พลังงานจากการบริหารจัดการภายในอาคาร และการศึกษาของปัทมาภรณ์ รัตนประดับ และ ผศ.ดร.ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล (2557) ที่

ศึกษาถึงเกณฑ์การประเมินอาคารสำหรับมหาวิทยาลัยของประเทศไทย ในการประหยัดพลังงานและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารเรียนในพื้นที่เขตการศึกษาและวิจัยในมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ทำการประเมินตามการประเมินอาคารเขียวของภาครัฐจากกรมควบคุมมลพิษ แต่มีข้อจำกัดจากการขาดผลการเก็บข้อมูลด้านพลังงาน จึงยังไม่มีความเกี่ยวข้องกับการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเช่นกัน ทั้งนี้จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในปัจจุบันของมหาวิทยาลัยยังไม่มีการนำข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดมาวิเคราะห์และประเมินการจัดการด้านการใช้พลังงานภายในมหาวิทยาลัย ทำให้ยังไม่มีเกณฑ์การประเมินและการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในของอาคารของมหาวิทยาลัยที่ชัดเจน การพัฒนาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัยจึงมีประโยชน์อย่างมากต่อการอนุรักษ์พลังงานและการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อไป

การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารที่เหมาะสมกับมหาวิทยาลัย จากการพัฒนาการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบ จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในช่วงระยะเวลา 1 ปี ที่มีอาคารสำหรับการประเมินทั้งสิ้น 92 อาคาร หน่วยงานและคณะภายในมหาวิทยาลัย จำนวน 35 หน่วยงาน โดยที่มีปัจจัยในการประเมินจากข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร ข้อมูลพื้นที่และลักษณะอาคาร จำนวนผู้ใช้งาน ประเภทอาคาร จำนวนชั่วโมงที่ปฏิบัติการจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัย และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical analysis) ทำการหาการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน และวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) เพื่อทำนายการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัยต่อไป

การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญที่จะช่วยให้ผู้บริหาร ผู้จัดการอาคาร หรือผู้ออกแบบ ให้เข้าใจลักษณะการใช้พลังงานของอาคารและสามารถควบคุมปริมาณการใช้พลังงาน รวมถึงค่าใช้จ่ายทางพลังงาน โดยที่สามารถนำค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ไปพัฒนาในด้านอื่นๆ ของหน่วยงานได้ ซึ่งผลจากการวิจัยจะทำให้ได้เกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานเพื่อเป็นหนึ่งในเครื่องมือสำคัญสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงานหรืออาคาร เพื่อให้เกิดการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการแข่งขันของอาคารในมหาวิทยาลัยได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต รวมไปทั้ง

การได้สมการสำหรับทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัยสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการการใช้พลังงานของอาคารหรือหน่วยงานต่อไปในอนาคต

การพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ยั่งยืนต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างสังคม สิ่งแวดล้อม รวมไปถึงการบริหารจัดการงบประมาณและทรัพยากร การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานจึงเป็นหนึ่งในวิธีการที่จะตอบสนองการบริหารและจัดการงบประมาณและทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยภายในประเทศไทยนั้นยังไม่มีความชัดเจน เนื่องจากยังไม่มีการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารและหาค่ามาตรฐานสำหรับการใช้พลังงานที่เหมาะสมของอาคารเรียนระดับมหาวิทยาลัย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันประเทศไทยมีการศึกษาในเรื่องดังกล่าวเฉพาะในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร และเนื่องด้วยการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในปัจจุบันยังไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารได้ การศึกษาถึงเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารในมหาวิทยาลัยจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เพื่อให้สามารถหาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับมหาวิทยาลัยและเพื่อเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับให้เกิดการพัฒนาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานภายในอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานและหาเกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับอาคารภายในมหาวิทยาลัย

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของแต่ละอาคารภายในมหาวิทยาลัยได้อย่างเป็นระบบ สำหรับการพัฒนาสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน

1.2.3 เพื่อหาสมการสำหรับทำนายการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเฉพาะกรณีศึกษาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.2 ศึกษาเฉพาะค่าการใช้พลังงานภายในอาคารเรียน และอาคารสำนักงาน ไม่รวมโรงพยาบาล หอพักนักศึกษา คณะแพทยศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และไม่รวมพื้นที่ภายนอกอาคาร

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยอื่นๆ และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 สำรวจเก็บข้อมูลอาคาร ข้อมูลการใช้พลังงาน ข้อมูลผู้ใช้อาคาร และอื่นๆ

1.4.3 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อหาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จัดกลุ่มการให้คะแนนสำหรับอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ทำการกระจายตัวของการใช้พลังงานภายในมหาวิทยาลัย และหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารหรือหน่วยงานในมหาวิทยาลัยด้วยการวิเคราะห์การถดถอย

1.4.4 สรุปผลและเสนอแนวทางพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในมหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้พัฒนาระบบการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานและได้เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับอาคารในมหาวิทยาลัย

1.5.2 ได้เกณฑ์การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของแต่ละอาคารภายในมหาวิทยาลัยสำหรับการพัฒนาสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน

1.5.3 ได้พัฒนาเกณฑ์การทำนายการใช้พลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัย

1.5.4 ได้พัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคารเรียน

1.5.5 มีส่วนในการช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน และนอกจากนั้นค่าใช้จ่ายในส่วนลดได้สามารถนำไปพัฒนาในด้านอื่นได้ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำการศึกษาถึงเรื่องการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัย มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในมหาวิทยาลัยอย่างเป็นระบบ เพื่อช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน และเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาทฤษฎีงานวิจัย รวมทั้งบทความวิชาการการศึกษาต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง โดยสามารถแบ่งออกเป็นส่วน ดังนี้

2.1 กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 มหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน

2.3 สัดส่วนค่าน้ำหนักของการประเมินอาคารในด้านพลังงาน

2.4 การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

2.5 การศึกษาถึงการประเมินอาคารด้านพลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย

2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารจากสมการการวิเคราะห์ถดถอย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1 กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปัจจุบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้มีนโยบายในการดำเนินการเพื่อมุ่งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว ตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 ถึง พ.ศ.2551 โดยมีการเริ่มตั้งแต่จัดทำโครงการผังแม่บทจุฬาฯ 100 ปี ที่มีการเพิ่มแนวแกนสีเขียว ทั้งในแนวแกนด้านทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก ละในแนวแกนทิศเหนือกับทิศใต้ของมหาวิทยาลัย เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวสำหรับรองรับน้ำและเพิ่มความร่มรื่นให้แก่มหาวิทยาลัย นอกจากนี้ยังมีการจำกัดขอบเขตของพื้นที่ก่อสร้างในอยู่ในเขตที่กำหนดไว้ และเริ่มต้นโครงการรถประจำทางไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย เพื่อลดมลภาวะและการสัญจรด้วยรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีโครงการนำใบไม้ไปหมักเป็นปุ๋ยเพื่อนำไปใช้กับการบำรุงรักษาต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยจนถึงปัจจุบัน

ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ.2555 มหาวิทยาลัยยังดำเนินการพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากการสร้างอาคารจอดรถสาธารณะริมถนนใหญ่เพื่อเป็นการลด

ปริมาณรถยนต์ที่จะวิ่งเข้ามาภายในมหาวิทยาลัย การขยายเส้นทางการเดินรถประจำทางภายในมหาวิทยาลัย การสร้างทางหลังคาคลุมทางเดิน การสนับสนุนการใช้จักรยาน รวมไปถึงการสนับสนุนการปลูกต้นไม้เพิ่มเติมภายในมหาวิทยาลัยเพื่อเพิ่มบรรยากาศความร่มรื่นและร่มเย็นภายในมหาวิทยาลัย ทั้งนี้ ยังมีการรื้อถอนอาคารเก่าที่มีความทรุดโทรมและทำการปลูกต้นไม้ทดแทนพื้นที่ดังกล่าว เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวสำหรับซึมซับน้ำอีกวิธีหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีการรณรงค์โครงการรีไซเคิลขยะหลากหลายประเภท และงดการใช้โฟมเป็นภาชนะใส่อาหาร และเพิ่มโครงการประหยัดพลังงานด้วยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบปรับอากาศ พร้อมทั้งรณรงค์ให้นิสิตและบุคลากรร่วมมือกันประหยัดพลังงานอย่างเป็นรูปธรรม

ในช่วงปีปัจจุบัน พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ.2559 มหาวิทยาลัยมีนโยบายนำ “มหาวิทยาลัยสีเขียว” ไปสู่การเป็น “มหาวิทยาลัยที่ยั่งยืน” เพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งแก่โครงการก่อนหน้า โดยได้มีการดำเนินการโครงการวิจัยเพื่อกำหนดมาตรฐานอาคารเขียวภายในมหาวิทยาลัย รวมถึงการปรับปรุงอาคารเดิมเพื่อยกระดับการประหยัดพลังงาน และมีการเริ่มโครงการลดการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภายในมหาวิทยาลัย การเพิ่มพื้นที่รับน้ำเพื่อเก็บน้ำสำหรับรีไซเคิลให้มีปริมาณมากขึ้น เพื่อเป็นการนำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยก้าวสู่ความยั่งยืน และเป็นตัวอย่างพื้นที่สีเขียวที่ดีในใจกลางเมืองของกรุงเทพมหานครแก่สังคม และเพื่อให้ดำรงไว้ซึ่งความเป็นอุทยานจามจุรีที่ยั่งยืน (Sustainability at Chulalongkorn University. [online], 2558b)

ในด้านการประหยัดพลังงาน ทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้มีโครงการปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน โดยอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และตามพระราชกฤษฎีกาอาคารควบคุมปี พ.ศ. 2538 ทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจะต้องดำเนินการให้อาคารควบคุมทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัยที่มีจำนวนโดยประมาณทั้งสิ้น 200 อาคาร เพื่อให้อาคารดังกล่าวมีค่าตามค่ามาตรฐานของกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 เพื่อลดค่าการใช้พลังงานให้เป็นไปตามค่ามาตรฐานของกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 และทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมรแผนการประหยัดพลังงานเพื่อให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2535 ซึ่งต้องมีการทำรายงานแผนการดำเนินงาน และเป้าหมายของการดำเนินงานในทุกๆ 3 ปี โดยส่งให้กับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ทั้งนี้ ในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2) เป็น พ.ศ. 2550 ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนให้ต้องมี

การจัดทำรายงานการจัดการพลังงานในอาคารควบคุมทุกๆ 1 ปี เพื่อเป็นแนวทางและวิธีการสำหรับการพัฒนาความยั่งยืนของการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

นอกจากนี้ ทางมหาวิทยาลัยยังมีโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพอาคารสูง เพื่อลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand charge) ของเครื่องวัดไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย โดยจะสามารถกำกับดูแลการใช้พลังงานของแต่ละอาคาร ให้มีผลในการอนุรักษ์พลังงาน โดยที่จะต้องลดลงให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 10 ตามนโยบายของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน และเพื่อให้เข้าถึงข้อมูลการบริหารจัดการการใช้พลังงานได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ รวมไปถึงสามารถเป็นแนวทางและวิธีการสำหรับการอนุรักษ์พลังงานอย่างยั่งยืน โดยมีแนวทาง ดังนี้

1.) ลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า โดยการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
2.) การบริหารจัดการการใช้พลังงานจากการใช้โปรแกรมบริหารจัดการการใช้พลังงาน

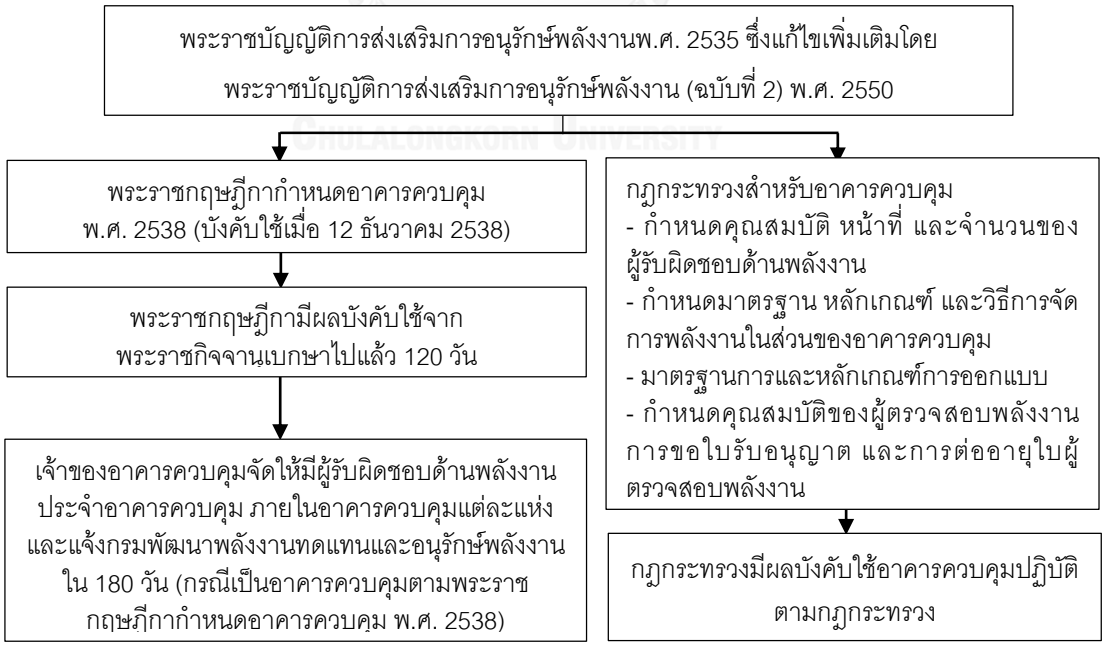
ในปัจจุบัน ทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีมาตรการสำหรับการประหยัดพลังงานของมหาวิทยาลัย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ซึ่งมีมาตรการดังต่อไปนี้

1.) ปิดไฟฟ้าแสงสว่างเมื่อออกจากห้องในช่วงพักกลางวัน หรือในช่วงที่ไม่มีการใช้งานในห้องนั้นเป็นระยะเวลานาน
2.) เปิดดวงโคมแสงสว่างทางเดินสลับแบบเปิดดวงเว้นดวง
3.) ถอดปลั๊กไฟทุกครั้งเมื่อเลิกใช้งาน
4.) ปิดหน้าจอคอมพิวเตอร์ทุกครั้งเมื่อเลิกใช้งาน หรือเมื่อไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน
5.) เปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 08.00-16.30 น. ในห้องทำงานหรือในอาคารสำนักงาน
6.) ตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่ 26 องศาเซลเซียส
7.) ปิดเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กในช่วงพักกลางวัน หรือในช่วงที่ไม่มีการใช้ห้องในระยะเวลาเกิน 1 ชั่วโมง
8.) ปิดคอมเพรสเซอร์และเปิดเฉพาะพัดลม Blower ของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ (Central air) ในช่วงพักกลางวัน
9.) ใช้บันไดแทนการใช้ลิฟต์ ในกรณีที่ขึ้นลงอาคารระหว่าง 1-2 ชั้น
10.) ช่วงเวลาที่มีการใช้ลิฟต์น้อย ให้เปิดลิฟต์เฉพาะตัวที่จำเป็น
11.) ทุกหน่วยงานต้องมีผู้ควบคุมด้านการประหยัดพลังงานอย่างน้อย 1 คน เพื่อทำหน้าที่ควบคุมดูแลการประหยัดพลังงานให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

12.) หน่วยงานทางไฟฟ้าและโทรคมนาคมที่ได้รับมอบหมายจากมหาวิทยาลัยสามารถเข้าตรวจสอบการประหยัดพลังงานของแต่ละหน่วยงานได้

โดยมาตรการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ความร่วมมือจากทั้งนิสิต บุคลากร และหน่วยงานที่รับผิดชอบเรื่องการดูแลอาคารและด้านการประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยยังมีโครงการประหยัดไฟภายในมหาวิทยาลัยได้กำไร 2 ต่อ ที่เป็นโครงการสำหรับสร้างแรงจูงใจในการประหยัดพลังงานให้เกิดผลมากยิ่งขึ้น จากการลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานไฟฟ้าให้แก่หน่วยงานที่สามารถลดหน่วยการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 10 จากการเปรียบเทียบกับหน่วยไฟฟ้าฐาน ซึ่งโครงการนี้ได้มีการเริ่มต้นมาตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 (Sustainability at Chulalongkorn University. [online], 2558a)

มาตรการที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คือ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่ถือเป็นกฎหมายหลัก และพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 ที่เป็นกฎหมายรอง สำหรับใช้กำหนดมาตรฐาน เกณฑ์ และวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุม โดยสามารถสรุปโครงสร้างของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (สไบทิพย์ บุญยงค์, 2551)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างกฎหมายอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน

ที่มา : สไบทิพย์ บุญยงค์ (2551)

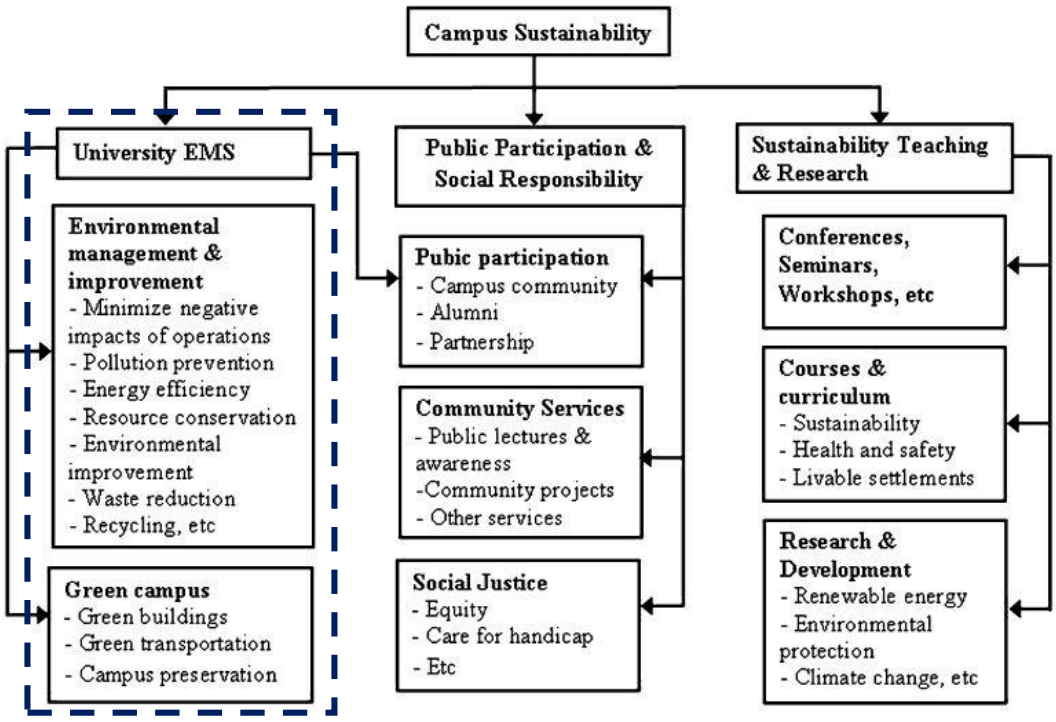
2.2 มหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน

มหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน (Sustainable University) หมายถึง สถานศึกษาในระดับสูงที่ให้ความสำคัญหรือมีความเกี่ยวข้องกับการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม และผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน ทั้งในระดับชาติและในระดับสากล ซึ่งมีวิธีการโดยการกำหนดปริมาณการใช้ทรัพยากรเพื่อตอบสนองการใช้งานภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งในการเรียนการสอน การวิจัย กิจกรรมภายนอกมหาวิทยาลัย และเพื่อการนำไปสู่การดำเนินชีวิตอย่างยั่งยืนในสังคม โดยในการพัฒนามหาวิทยาลัยไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ยั่งยืนสามารถพัฒนาได้ด้วยการใช้กระบวนการเทียบสมรรถนะ (Benchmarking process) ที่สามารถเปรียบเทียบหาวิธีปฏิบัติที่เป็นเลิศสำหรับมหาวิทยาลัยที่ยั่งยืน (Best practices) จากการเปรียบเทียบจากมหาวิทยาลัยต่างๆ (Velazquez และคณะ, 2006)

มหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนควรมีสภาพแวดล้อมที่ดีและประสบผลสำเร็จในทางเศรษฐกิจหรือการบริหารงบประมาณจากการอนุรักษ์พลังงานและทรัพยากร การลดปริมาณขยะหรือของเสียภายในมหาวิทยาลัย และการจัดการสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสนับสนุนแนวความคิดการคำนึงถึงสังคมแห่งความยั่งยืนไปสู่ชุมชนอื่นๆ ไปสู่ระดับชาติหรือในระดับสากล การพัฒนาสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนนั้นต้องมีความสมดุลระหว่างงบประมาณเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดการพัฒนาในระยะยาว และเพื่อการสร้างนโยบายในการแก้ปัญหาผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของมหาวิทยาลัย โดยขั้นตอนการพัฒนาไปสู่มหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนมีความจำเป็นต้องทำการพัฒนาทั้งในด้านการจัดการทางสิ่งแวดล้อม สังคม และการเรียนการสอนและการวิจัย ทั้งนี้กระบวนการทางการจัดการด้านพลังงานอยู่ในส่วนของการจัดการและการพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (Alshuwaikhat และ Albubakar, 2008)

การพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว ถือเป็นจุดเริ่มต้นหนึ่งของการพัฒนามหาวิทยาลัยสู่ความยั่งยืนที่สามารถมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการก่อสร้างอาคารเขียวภายในมหาวิทยาลัย ระบบการขนส่งและการเดินทางของมหาวิทยาลัย ยกตัวอย่างเช่น ทางเดินเท้า ทางรถจักรยาน เป็นต้น ในการพัฒนาอาคารเขียวจะสามารถช่วยในการลดปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร และพัฒนาสภาพความเป็นอยู่ภายในมหาวิทยาลัยให้อยู่ในสภาพที่ดี ซึ่งจากการพัฒนาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคารเขียวจะมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านแสงสว่างภายในอาคาร การควบคุมระดับอุณหภูมิ และการปรับปรุงระบบระบายอากาศ รวมทั้ง

คุณภาพอากาศภายในอากาศ (Indoor air quality) ให้ดีขึ้นจากเดิม ทั้งยังสามารถลดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้งานภายในอาคาร ปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมภายในอาคารในระยะยาว เนื่องจากในระบบปรับอากาศทั้งระบบทำความเย็นและระบบทำความร้อน รวมทั้งงานระบบประกอบอาคารอื่นๆ ล้วนส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมภายในอาคารทั้งสิ้น (Alshuwaikhat และ Albubakar, 2008)

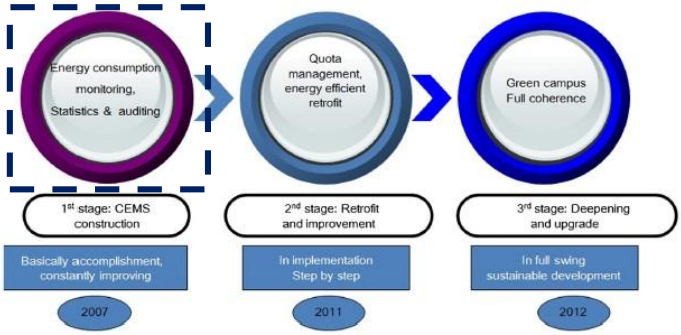


รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน

ที่มา : Alshuwaikhat และ Albubakar (2008)

จากปัญหาการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นทุกวันของสถานศึกษาในระดับสูง หรือในมหาวิทยาลัย ทำให้มีความจำเป็นในการพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้เกิดความยั่งยืนภายในสถานศึกษา ซึ่งขั้นตอนเบื้องต้นที่มหาวิทยาลัยตัวอย่างในประเทศจีนได้ทำการพัฒนาก็คือ การพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรได้อย่างประหยัดหรือมีประสิทธิภาพ (Energy and resources saving campus) โดยมีกรณีศึกษาจากมหาวิทยาลัย Tongji ประเทศจีน ในปี ค.ศ. 2007 ที่ได้สร้างระบบการบริหารจัดการพลังงานภายในมหาวิทยาลัย (CEMS : Campus Energy Management System) ซึ่ง CEMS เป็นขั้นตอนแรกสำหรับการพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรได้อย่างประหยัดหรือมี

ประสิทธิภาพ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3 โดยมีวิธีการโดยการตรวจสอบการใช้พลังงานภายในอาคาร (Energy consumption monitoring) และการตรวจสอบการใช้พลังงานด้วยการใช้วิธีการทางสถิติ (Statistics and auditing) เพื่อพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรได้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ (Tan และคณะ, 2014)

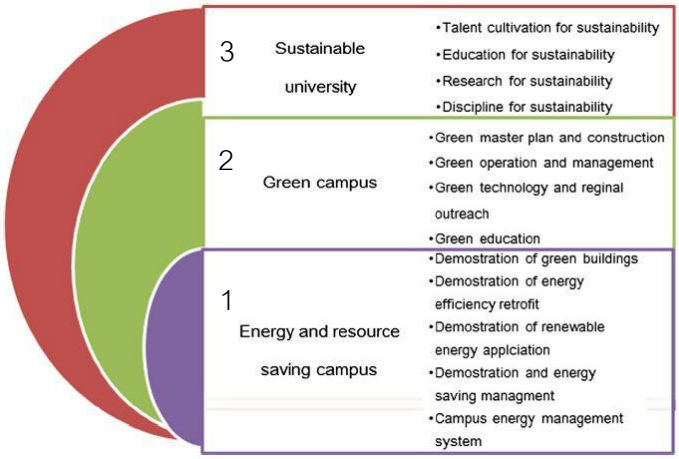


รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

ที่มา : Tan และคณะ (2014)

การพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืนนั้น มีความเกี่ยวเนื่องกับการพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ มหาวิทยาลัยสีเขียว และมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งจากรูปภาพจะเห็นได้ว่าการพัฒนามหาวิทยาลัยในระดับต่างๆ นั้นมีความต่อเนื่องและยกระดับของมหาวิทยาลัยไปด้วยกัน ซึ่งประเด็นหลักของการพัฒนานั้นเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศของมหาวิทยาลัย และการสร้างระบบการจัดทางทั้งซอฟท์แวร์และฮาร์ดแวร์ของมหาวิทยาลัย ซึ่งในส่วนฮาร์ดแวร์คือ การก่อสร้างและการปฏิบัติการดูแลระบบสาธารณูปโภค ในขณะที่ซอฟท์แวร์คือ จิตสำนึกถึงสิ่งแวดล้อมสีเขียวและการพัฒนาในด้านความยั่งยืน ที่ต้องพัฒนาไปพร้อมกันกับการพัฒนาในด้านแนวความคิดทั้งในส่วนของการเรียนการสอน การวิจัย และวัฒนธรรมของมหาวิทยาลัย ในมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมีจุดมุ่งหมายถึงการก่อสร้างและการปฏิบัติการภายในมหาวิทยาลัย ที่ส่วนมากเกี่ยวข้องกับระบบสาธารณูปโภค แต่ในส่วนของมหาวิทยาลัยสีเขียวจะขยายขอบเขตไปสู่ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานและทรัพยากรภายในหน่วยงานต่างๆ ของมหาวิทยาลัย และขยายไปถึงการการวางผัง การก่อสร้าง การคืนทุนจากการประหยัดพลังงานของอาคารเดิมของมหาวิทยาลัย และสภาพแวดล้อมที่ดีของมหาวิทยาลัย เพื่อให้ส่งผลไปถึงเป้าหมาย

สูงสุด ซึ่งก็คือ การพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน และเพื่อให้สามารถขยายการพัฒนาความยั่งยืนดังกล่าวไปสู่สังคม (Tan และคณะ, 2014)



รูปที่ 2.4 การอธิบายถึงการพัฒนาไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่ใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ มหาวิทยาลัยสีเขียว และมหาวิทยาลัยแห่งความยั่งยืน

ที่มา : Tan และคณะ (2014)

2.3 สัดส่วนค่าน้ำหนักของการประเมินอาคารในด้านพลังงาน

การประเมินทางด้านพลังงานเป็นปัจจัยเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาอาคารไปสู่อาคารเขียวหรืออาคารที่ยั่งยืน ซึ่งจากการเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินในระดับสากลจากประเทศต่างๆ เช่น การประเมิน BREEAM ของประเทศอังกฤษ การประเมิน LEED ของประเทศสหรัฐอเมริกา การประเมิน CASBEE ของประเทศญี่ปุ่น การประเมิน GBI ของประเทศมาเลเซีย การประเมิน GREENSHIP ของประเทศอินโดนีเซีย การประเมิน GREEN MARK ของประเทศสิงคโปร์ และการประเมิน TREES ของประเทศไทย พบว่ากรอบในการเปรียบเทียบแบบประเมินอาคารสามารถแบ่งการเปรียบเทียบตามขั้นตอนชีวิตของอาคาร (Building life cycle) ที่เริ่มต้นจากขั้นตอนการเขียนโปรแกรมของโครงการ (Programming phase) ขั้นตอนการออกแบบ (Designing phase) ขั้นตอนการก่อสร้าง (Construction phase) ขั้นตอนการใช้งานอาคาร (Building operation phase) และขั้นตอนการรื้อถอน (Demolition phase) ซึ่งในขั้นตอนการใช้งานอาคารเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน การดำเนินการบำรุงรักษา การควบคุมดูแลงานระบบของอาคาร เพื่อรักษาความเป็นอาคารที่ยั่งยืนตามจุดประสงค์ของการออกแบบอาคาร โดยในส่วนนี้มีรายละเอียดสัดส่วนการให้คะแนนหรือการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญในบางประเด็นของแต่ละเกณฑ์มีความใกล้เคียงกัน ดังที่

จะเห็นได้จากตารางที่ 2.1 ที่แสดงให้เห็นการเปรียบเทียบสัดส่วนการให้คะแนนของเกณฑ์ต่างๆ ดังกล่าว ซึ่งประเด็นที่แต่ละเกณฑ์นั้นให้ความสำคัญมากที่สุดและมีค่าสัดส่วนของคะแนนสูงที่สุด คือ เกณฑ์การประเมินด้านพลังงาน (Energy, Energy Efficiency, Energy and Atmosphere, Energy Efficiency and Conservation) ที่เน้นการประหยัดพลังงาน การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานทดแทน (Renewable energy) หรือพลังงานจากธรรมชาติ (Natural energy utilization) การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน และการตรวจวัดประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน (Energy efficiency measure) เป็นต้น จึงเห็นว่าทุกอาคารควรให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานภายในอาคาร เนื่องจากเป็นหัวข้อการประเมินที่มีค่าน้ำหนักมากที่สุดจากทุกเกณฑ์ที่ยกตัวอย่างมา (จักรกฤษณ์ เหลืองเจริญรัตน์ และ ผศ.ดร.สิงห์ อินทรชูโต, 2556)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนคะแนนของเกณฑ์การประเมินอาคารที่ยั่งยืน

ประเทศอังกฤษ BREEAM (BRE Global, 2011)		ประเทศสหรัฐอเมริกา LEED (USGBC, 2011)		ประเทศญี่ปุ่น CASBEE (IBEC, 2008)		ประเทศมาเลเซีย GIB (GREEN BUILDING INDEX SDN BHD, 2011)		ประเทศอินโดนีเซีย GREENSHIP (Green Building Council Indonesia, 2011)		ประเทศสิงคโปร์ GREEN MARK (Building and Construction Authority, 2010)		ประเทศไทย TREES (Thai Green Building Institute [TGBI], 2010)	
สัดส่วน	%	สัดส่วน	%	สัดส่วน	%	สัดส่วน	%	สัดส่วน	%	สัดส่วน	%	สัดส่วน	%
	11% Management		24% Sustainable Sites		20% Indoor Environment		35% Energy Efficiency 35% MAX		17% Appropriate Site Development		61% Energy Efficiency 61% MAX		5% Building Management
	14% Health & Wellbeing		9% Water Efficiency		15% Quality of Service		21% Indoor Environmental Quality		26% Energy Efficiency and Conservation 26% MAX		9% Water Efficiency		16% Site and Landscape
	17% Energy 17% MAX		32% Energy and Atmosphere 32% MAX		15% Outdoor Environment on Site		18% Sustainable Site Planning & Management		21% Water Conservation		22% Environmental Protection		10% Water Conservation
	7% Transport		13% Materials and Resources		20% Energy 20% MAX		11% Materials & Resources		14% Material Resource and Cycle		4% Indoor Environmental Quality		32% Energy and Atmosphere 32% MAX
	5% Water		14% Indoor Environmental Quality		15% Resources & Materials		10% Water Effenciency		10% Indoor Health and Comfort		4% Green Features & Innovations		11% Materials and Resources
	11% Materials		5% Innovation in Design		15% Off-site Environment		7% Innovation		13% Building Environmental Management				11% Indoor Environmental Quality
	7% Waste		4% Regional Priority										10% Environmental Protection
	9% Land Use & Ecology												5% Green Innovation
	9% Pollution												
	9% Innovation (additional)												
	100% Total		100% Total		100% Total		100% Total		100% Total		100% Total		100% Total

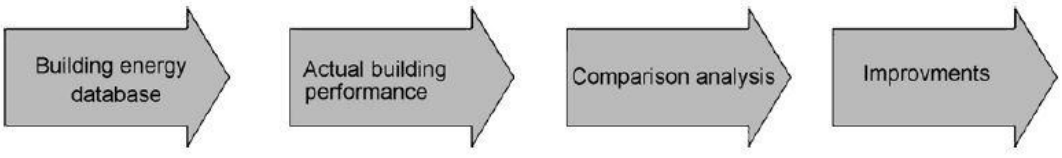
ที่มา : จักรกฤษณ์ เหลืองเจริญรัตน์ และ ผศ.ดร.สิงห์ อินทรชูโต (2556)

2.4 การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

การเทียบสมรรถนะ (Benchmarking) หมายถึง กระบวนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของกระบวนการดำเนินงานของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหากระบวนการวิธีปฏิบัติที่เป็นเลิศและกลุ่มตัวอย่างที่ดีที่สุดหรือมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน

(Energy Benchmarking) หมายถึง กระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ และการหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ด้วยการเปรียบเทียบจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยมีจุดประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ทั้งภายในหน่วยงานและระหว่างหน่วยงาน หรือเปรียบเทียบกับองค์กรอื่นๆ ที่สามารถเปรียบเทียบได้ทั้งจากกระบวนการดำเนินการ หรือจากประสิทธิภาพอาคาร (Wikipedia. [online], 2015) และอีกความหมายหนึ่งของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร คือเป็นเครื่องมือสำหรับการประหยัดพลังงาน เพื่อกำหนดและควบคุมปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารรวมไปถึงการควบคุมค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน โดยเทียบสมรรถนะและประเมินจากการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร (Whole building energy use) เพื่อหาค่าการใช้พลังงานที่เหมาะสมและเปรียบเทียบในแต่ละอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยประเมินจากการคำนวณค่าความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity : EUI) ที่วัดปริมาณการใช้พลังงานตลอดทั้งปี ในหน่วย kWh/m²/year หรือ kWh/year/person (Kinney และ Piette, 2002)

กระบวนการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารที่แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ที่เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลของอาคาร เช่น ประเภทอาคาร ขนาดของอาคาร ข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร เป็นต้น ในขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้องกับอาคาร เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอาคารจริง จากนั้นในขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารจากกลุ่มตัวอย่าง และในขั้นตอนสุดท้าย เป็นขั้นตอนของการพัฒนาประสิทธิภาพของการใช้พลังงานภายในอาคารจากการประเมินความเป็นไปได้ในด้านเทคนิคและด้านการลงทุน (Perez-Lombard และคณะ, 2009)



รูปที่ 2.5 กระบวนการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

ที่มา : Perez-Lombard และคณะ (2009)

โดยข้อมูลที่สำคัญต่อการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคาร จากงานวิจัยของ Kinney และ Piette (2002) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.) ข้อมูลจากการสำรวจสถานที่จริง

2.) ข้อมูลจากฐานข้อมูลของหน่วยงาน

ซึ่งข้อมูลที่สำคัญที่ต้องเก็บ คือ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Climate zone) ข้อมูลพื้นที่ต่อชั้นของอาคาร (Floor area) ข้อมูลการใช้อาคาร (Occupancy) จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ (Number of computers) จำนวนชั่วโมงที่ปฏิบัติการ (Hours of operation) เป็นต้น ส่วนข้อมูลทางกายภาพทั่วไปที่อาจนำมาใช้ในการประเมิน คือจำนวนชั้นของอาคาร (Number of floors) ประเภทของระบบปรับอากาศ (Cooling and heating system types) ประเภทของโครงสร้างอาคาร (Structure types) ระบบการกันแดดของอาคาร (Shading) กิจกรรมภายในอาคาร (Building activity) ประเภทของอาคาร (Building type) การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร (Whole building energy : WBE) ค่าความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (EUI) เป็นต้น (Kinney และ Piette, 2002)

ในความแตกต่างของวิธีการเก็บข้อมูลประเมินการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารระหว่างการวัดจากอาคารจริงและการจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า การเก็บข้อมูลจากการจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถให้ข้อมูลที่มีรายละเอียดได้มากกว่า รวมทั้งได้ข้อมูลที่มีความหลากหลาย แต่อย่างไรก็ตาม การจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการป้อนข้อมูลเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ต้องมีผู้เชี่ยวชาญสำหรับปฏิบัติการ และต้องใช้ระยะเวลานานสำหรับการรวบรวมข้อมูลและกรอกข้อมูลเข้าโปรแกรม รวมทั้งยังมีค่าใช้จ่ายสูง ส่วนการเก็บข้อมูลด้วยการวัดจากอาคารจริงสามารถเก็บได้จากใบเสร็จค่าใช้จ่ายการใช้ไฟฟ้า หรือจากการเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานของอาคาร (Energy monitoring) ซึ่งการเก็บข้อมูลจากใบเสร็จค่าใช้จ่ายการใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าถึงปริมาณการใช้พลังงานจากแหล่งการใช้พลังงานโดยตรง แต่กระนั้นก็ยังพบปัญหาในการแบ่งแยกประเภทการใช้พลังงานของส่วนต่างๆ ภายในอาคาร และในการเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานของอาคารอาจมีค่าใช้จ่ายสูงจากการแบ่งมิเตอร์ย่อย ซึ่งอาจมีข้อมูลเป็นจำนวนมากให้ผู้ตรวจสอบหรือผู้ดูแลระบบอาคารได้ดำเนินการต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ทั้งนี้ ความแตกต่างของข้อมูลจากการทำนายและจากการวัดจริง อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในสถานการณ์จริง เช่น สภาพภูมิอากาศระหว่างของการจำลองที่ใช้จากฐานข้อมูลกับสภาพอากาศจริงที่แตกต่างกัน หรือจากพฤติกรรมการใช้งาน

จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการใช้งานจริงที่แตกต่างกัน เป็นต้น ที่ล้วนส่งผลต่อความแตกต่างของข้อมูลทั้งสิ้น (Perez-Lombard และคณะ, 2009)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร

Concept	Simulation	Measured on-site
Input data	Detailed information	Energy bills or metering
Output data	Detailed and split	Global and non-split
Weather and use	Standard	Actual
Energy use	Estimated	Measured
Scope	New and existing buildings	Existing buildings
Cost and user skill	High	Low

ที่มา : Perez-Lombard และคณะ (2009)

การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารสามารถกระทำได้หลายวิธี ซึ่งจากการศึกษาของ Kinney และ Piette (2002) พบว่าการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารสามารถทำได้ 4 วิธี ดังนี้

1.) การประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis) จากการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน (EUI) ของกลุ่มตัวอย่าง และเพื่อความแม่นยำของการวิเคราะห์จึงมีความจำเป็นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่

2.) การประเมินแบบการให้คะแนน (Points-based rating system) โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพค่าการใช้พลังงานกับค่าเกณฑ์มาตรฐานเดิมที่มีอยู่ เช่น จากค่าที่มาจากกระบวนการวิธีปฏิบัติที่เป็นเลิศ จากค่าเกณฑ์อื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น ค่าจากเกณฑ์ LEED เป็นต้น

3.) การประเมินผ่านแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Simulation model-based benchmarking) โดยเปรียบเทียบจากค่ากลางหรือค่าเกณฑ์ในอุดมคติจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงส่งผลต่อผลการเปรียบเทียบที่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าจากการจำลองและค่าการใช้งานจริง

4.) การประเมินแบบลำดับขั้นจากการชี้วัดการใช้งาน (Hierarchal and end-use metric) โดยการเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะที่ตั้งของอาคาร สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเปรียบเทียบที่ต้องการความหลากหลายในการใช้พลังงาน

ส่วนในกรณีศึกษาของ Chung (2011) พบว่ามีวิธีการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1.) การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานกับอาคารอื่นๆ (Public benchmarking) ที่สามารถใช้วิธีการประเมินแบบ Ordinary least square, Stochastic Frontier analysis และการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ

2.) การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร หรือภายในหน่วยงาน (Internal benchmarking) ที่สามารถใช้วิธีการประเมินแบบ Data development analysis, การประเมินผ่านแบบจำลองคอมพิวเตอร์ และ Artificial neutral network application

ซึ่งจากการศึกษาของ Chung (2011) และจากการศึกษาของ Borgstein และ Lamberts (2014) ยังแบ่งวิธีการประเมินได้อีกหลากหลายวิธี ที่มีรายละเอียดโดยสรุป ดังนี้

1.) การประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (Simple normalization) ที่ประเมินได้ง่าย แต่มีขอบเขตที่จำกัดที่อาจประเมินจากพื้นที่อาคารหรือจำนวนชั่วโมงปฏิบัติการ เป็นต้น และวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง

2.) การประเมินแบบ Ordinary least square หรือ Simple regression analysis ที่ขยายขอบเขตจากการประเมินด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยสามารถใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ และสามารถช่วยในการทำนายหรือการประมาณค่าได้จากการวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis) ซึ่งการประเมินวิธีนี้มีความซับซ้อนมากขึ้นจากวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และยังสามารถใช้เป็นค่าเกณฑ์มาตรฐานได้

3.) การประเมินแบบ Stochastic Frontier analysis ที่เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลภายในหน่วยงาน โดยที่ไม่สามารถเผยแพร่ข้อมูลได้ จึงไม่เป็นที่นิยม และมีวิธีการประเมินจากการแยกตัวแปรที่มีข้อบกพร่องออกทำให้เพิ่มความแม่นยำของการวิเคราะห์ได้

4.) การประเมินแบบ Data development analysis ที่ต้องการกลุ่มตัวอย่างของข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ที่วิเคราะห์ปัจจัยหลายรูปแบบเพื่อหาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลประเภทเดียวกัน แต่วิธีนี้ไม่ค่อยเหมาะสมต่อด้านการใช้พลังงาน ซึ่งส่วนมากใช้ในการเทียบสมรรถนะของโรงงาน

5.) การประเมินผ่านแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Model-based method/ Simulation) ที่ส่วนมากใช้ในขั้นตอนการออกแบบ การศึกษา หรือในงานวิจัย เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในการป้อนเข้าสู่โปรแกรม หรือใช้สำหรับเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงกับค่าจากการจำลอง

6.) การประเมินแบบ Artificial neutral network application ที่พัฒนาจากการเก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลเดิม โดยขยายกลุ่มตัวอย่างให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และเพื่อใช้ข้อมูลเป็นฐานข้อมูลสำหรับประเมินต่อไป

จากวิธีการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารทั้งหมดนั้น สามารถเปรียบเทียบหาความแตกต่างของวิธีดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร

วิธีการประเมิน	กลุ่มตัวอย่าง/ฐานข้อมูล	ข้อดี	ข้อเสีย
Statistical analysis/ Simple normalization	ขนาดใหญ่	ค่าใช้จ่ายไม่สูง วิธีการไม่ยุ่งยาก เก็บข้อมูลจากอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน	ข้อมูลอาจไม่ครบถ้วน มีขอบเขตจำกัด
Points-based rating system	-	เป็นการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่มีอยู่	อาจมีความแตกต่างกับอาคารจริง
Simulation model-based benchmarking	-	ใช้ในการออกแบบงานวิจัย เปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นได้	ผลจริงกับผลจำลองอาจแตกต่างกันมาก ต้องมีความชำนาญ
Hierarchal and end-use metric	ขนาดใหญ่	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปัจจัย	มีความซับซ้อนในการประเมิน
Ordinary least square/ simple regression analysis	ขนาดใหญ่	ขยายขอบเขตการประเมิน เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้	มีความซับซ้อนในการประเมิน

วิธีการประเมิน	กลุ่มตัวอย่าง/ฐานข้อมูล	ข้อดี	ข้อเสีย
Data development analysis	ขนาดไม่ใหญ่มาก	เปรียบเทียบภายในองค์กร/ หน่วยงาน	ไม่เป็นที่นิยม เผยแพร่ไม่ได้
Stochastic frontier analysis	ขนาดใหญ่	-	ไม่เหมาะกับการใช้พลังงาน
Artificial neutral network	ขนาดใหญ่มาก	Application ใหม่ทันสมัย	ซับซ้อน ฐานข้อมูลกว้างมาก

สำหรับการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารเรียนพบว่า จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนมีการดำเนินการจากวิธีการ 3 วิธี คือ จากวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ (Simple normalization) ในขั้นตอนเบื้องต้นของการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบ Ordinary least square (OLS) และจากวิธีการประเมินผ่านแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Model-based method หรือ Simulation) ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และมีผลสรุปค่าทางสถิติของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้อาคารของอาคารเรียน ที่พักอาศัย และโรงแรมของการประเมินในประเทศต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 (Chung, 2011)

ตารางที่ 2.4 ผลสรุปพัฒนาการของระเบียบวิธีการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร

Method	Reference	Types of Building	Location of the buildings
Simple normalization	[35] Lee and Priyadarsini (2008)	Office	Singapore
OLS	[3] Monts and Blissett (1982)	School	USA
OLS	[5] Sharp (1996)	Office	USA
OLS	[2] Birtles and Grigg (1997)	Office	UK
OLS	[36] Sharp (1998)	Schools	USA
OLS	[37] Bloyd et al. (1999)	Hotel	USA
OLS	[38] MacDonald and Livengood (2000)	Residential	USA
OLS	[39] Westphal and Lamberts (2001)	Commercial	Brazil
OLS	[40] Olofsson et al. (2005)	Residential	Sweden
OLS	[7] Chung et al. (2006)	Supermarket	HK
OLS	[41] Bohdanowicz and Mart (2007)	Hotel	Europe
OLS	[42] Chung and Hui (2009)	Office	HK
OLS	[43] Wu et al. (2010)	Hotel	Singapore
SFA	[14] Buck and Young (2007)	Commercial	Canada
DEA	[44] Lee (2008)	Government office	Taiwan
DEA	[45] Lee and Lee (2009)	Government office	Taiwan
Simulation	[46] Kilgore and Carlson (1992)	Commercial	USA
Simulation	[6] Kinney and Piette (2002)	Office	California
Simulation	[47] Chow et al. (2003)	School	Anchorage, Alaska, USA
Simulation	[48] Olofsson et al. (2004)	Residential	USA
Simulation	[49] Chan and Yeung (2005)	Commercial	Hong Kong
Simulation	[50] Hernandez et al. (2008)	School	Irish
Simulation	[51] Lee and Burnett (2008)	Office	Hong Kong

ที่มา : Chung (2011)

ตารางที่ 2.5 ผลสรุปค่าสถิติของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารเรียน ที่พักอาศัย และโรงแรม

Year of measured data	Types of Building	Location of the buildings	Sample	Energy intensity from samples (MJ/m^2)	Reference
2005–2006	Schools	Irish	108 schools, 88 were used for detailed analysis	Median = 345.6	[50] Hernandez et al. (2008)
	Schools	Greece		Average = 205.2	
	Schools	Flanders		***Average = 709.2***	
	Schools	Northern Ireland		Average = 428.4	
	Schools	UK		Average = 565.2	
2001–2002	Schools	Anchorage, Alaska, USA,	11 K-12 school	Average = 1589.6	[47] Chow et al. (2003)
1992	Schools	USA	449 school buildings		[36] Sharp (1998)
	Census division 1			Median = 186.0	
	Census division 2			Median = 189.9	
	Census division 3			Median = 182.1	
	Census division 4			***Median = 170.5***	
	Census division 5			Median = 290.6	
	Census division 6			Median = 337.1	
	Census division 7			Median = 286.7	
	Census division 8			Median = 298.5	
	Census division 9			Median = 282.9	
1997	Residential	USA	5900 housing units	Average = 212.4	[48] Olofsson et al. (2004)
1993	Residential	USA	7041 households	Average = 1107.2	[38] MacDonald and Livengood (2000)
2005	Hotel	Singapore	29 hotels (5 3-star,13 4-star and 11 5-star)	***Average = 1537.2***	[43] Wu et al. (2010)
2004	Hotel	Europe	184 hotels in Europe		[41] Bohdanowicz and Mart (2007)
	Hilton			Median = 1210.68	
	Scandic			***Median = 971.64***	

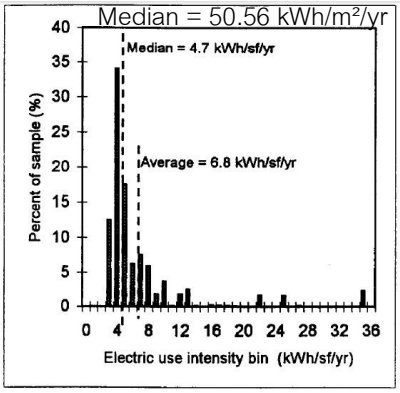
ที่มา : Chung (2011)

จากตัวอย่างงานวิจัยของ Sharp (1998) ที่ได้ทำการศึกษาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารสำหรับอาคารประเภทโรงเรียน พบว่าการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารนั้นมีประโยชน์อย่างมาก โดยสามารถหาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารได้ ซึ่งสาเหตุอาจมาจากการดำเนินการของระบบอาคาร การควบคุมระบบ

ประกอบอาคาร หรือปัญหาที่อาจมาจากตัวงานระบบอาคาร นอกจากนี้ยังสามารถช่วยพัฒนาประสิทธิภาพของอาคาร สามารถช่วยในการลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและสามารถนำค่าใช้จ่ายในส่วนที่ลดไปพัฒนาอาคารในด้านอื่นได้ ทั้งนี้ยังสามารถเปรียบเทียบหาอาคารที่มีประสิทธิภาพทางการใช้พลังงานของอาคารได้ดีที่สุดในกลุ่มอาคารตัวอย่าง เพื่อให้เกิดการพัฒนาและเกิดการแข่งขันภายในกลุ่มอาคารตัวอย่าง และยังได้ค่ามาตรฐานสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้นำไปใช้ในการเปรียบเทียบต่อไป (Sharp, 1998) และการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารยังมีประโยชน์ต่อเจ้าของอาคาร หน่วยงานบริหารจัดการอาคาร รวมทั้งผู้ออกแบบ โดยการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานสามารถเข้าถึงลักษณะการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารจากอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเพื่อเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาการใช้พลังงานของอาคาร และเพื่อให้สามารถควบคุมและตรวจสอบการประหยัดพลังงานของอาคารได้ (Energy benchmarking for buildings and industries. [online], 2015)

ในอดีตการศึกษาในเรื่องเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารได้มีการศึกษาในอาคารหลากหลายประเภท อาทิเช่น อาคารสำนักงาน อาคารเรียน เป็นต้น ทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย ซึ่งมีตัวอย่างการศึกษา ดังนี้

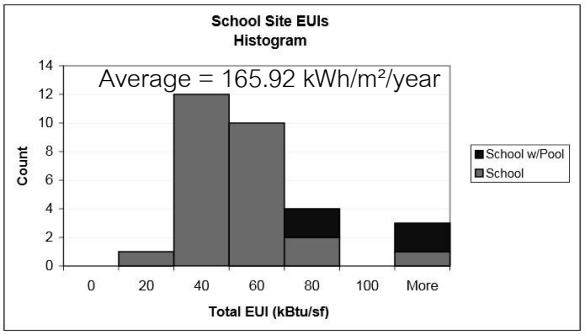
การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงเรียนของสหรัฐอเมริกา จากงานวิจัยของ Sharp (1998) ดังที่แสดงในแผนภูมิที่ 2.1 พบว่าค่าการใช้พลังงานภายในอาคารของกลุ่มตัวอย่างมีความการแจกแจงแบบไม่ปกติ (Non-normal distribution) เกิดการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะเป็นเส้นโค้งลาดมาทางบวก (Positively skewed) อาจมีสาเหตุจากกลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มอาคารโรงเรียนของรัฐบาลและอาจตั้งอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศที่ 3 ของ CBECS (Commercial Buildings Energy Consumption Survey) ที่เรียกว่าเขต Mid West, East North Central ที่มีรัฐ Indiana รัฐ Illinois รัฐ Michigan รัฐ Ohio และรัฐ Wisconsin โดยมีสภาพอากาศอยู่ในช่วงที่มี CDD (Cooling Degree Day) น้อยกว่า 2,000 CDD แต่มี HDD (Heating Degree Day) มากกว่า 7,000 HDD หมายความว่ากลุ่มตัวอย่างอยู่ในเขตสภาพอากาศหนาวเย็น ประกอบกับเป็นโรงเรียนรัฐบาล และการมีจำนวนชั่วโมงในการต้องการการปรับอากาศไม่มาก การใช้พลังงานจึงอาจไม่สูงมาก และส่งผลให้เกิดการกระจายตัวแบบไม่ปกติ โดย Sharp (1998) ได้สรุปว่า ค่ามาตรฐานของการใช้พลังงานภายในอาคารอยู่ที่ 4.7 kWh/ft²/year หรือ 50.56 kWh/m²/year ซึ่งเขตที่ตั้งและสภาพอากาศมีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร (Sharp, 1998)



แผนภูมิที่ 2.1 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนในสหรัฐอเมริกา

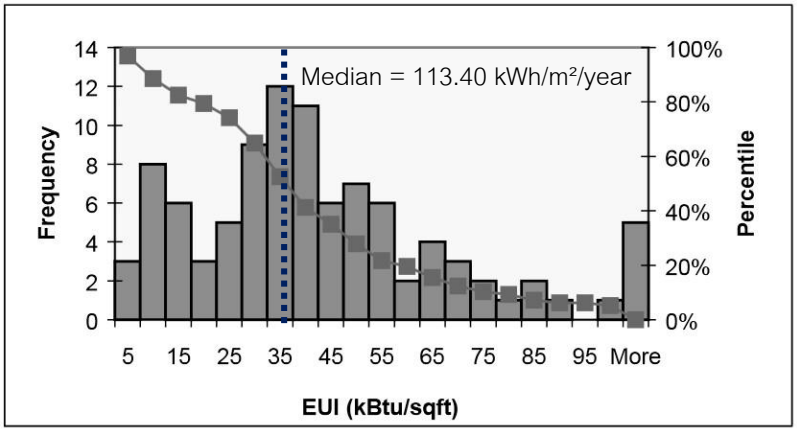
ที่มา : Sharp (1998)

กรณีศึกษาจากอาคารประเภทโรงเรียนอีกหนึ่งกรณีในงานวิจัย Kinney และ Piette (2002) พบว่าการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของโรงเรียนในรัฐ California ประเทศสหรัฐอเมริกา มีการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างเป็นปกติ มีลักษณะคล้ายรูประฆังคว่ำ (Bell curved) แต่มีการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะเป็นเส้นโค้งลาดมาทางลบ และพบว่างานระบบประกอบอาคารส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงเรียน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.2 ซึ่งพบว่าโรงเรียนที่มีสระว่ายน้ำมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าโรงเรียนทั่วไป โดยมีค่าดัชนีการใช้พลังงานมากกว่า 80 kBtu/ft²/year หรือ 252 kWh/m²/year และมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอยู่ที่ 165.92 kWh/m²/year ซึ่งสาเหตุการที่อาคารใช้พลังงานสูงอาจเกิดจากงานระบบสมัยใหม่ที่มีเทคโนโลยีที่ต้องการการดูแลหรือมีระบบอื่นๆ ประกอบอยู่ด้วย และในอาคารทางธุรกิจ (Commercial buildings) ของรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา จากงงานวิจัยชิ้นเดียวกันพบว่าการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารทางธุรกิจเป็นการกระจายตัวที่ค่อนข้างเป็นปกติ มีลักษณะคล้ายรูประฆังคว่ำ (Bell curved) แต่มีการเอียงไปทางข้างของการใช้พลังงานสูงคล้ายกับอาคารประเภทโรงเรียนของรัฐเดียวกัน ดังที่แสดงในแผนภูมิที่ 2.3 ซึ่งมีค่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานอยู่ที่ 113.40 kWh/m²/year (Kinney และ Piette, 2002)



แผนภูมิที่ 2.2 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนในรัฐแคลิฟอร์เนีย

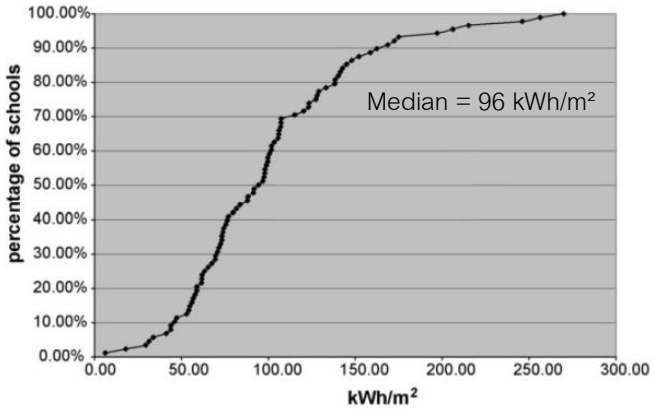
ที่มา : Kinney และ Piette (2002)



แผนภูมิที่ 2.3 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานสะสมของอาคารทางธุรกิจของรัฐแคลิฟอร์เนีย

ที่มา : Kinney และ Piette (2002)

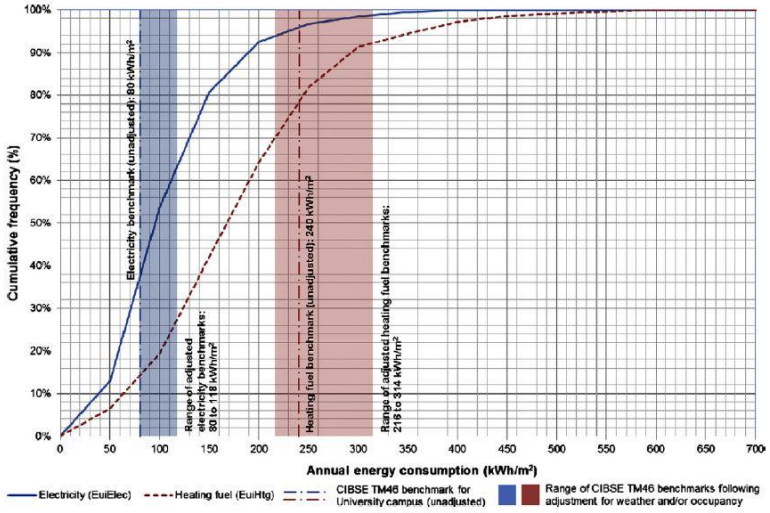
กรณีศึกษาจากการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของโรงเรียนระดับประถมในประเทศไอร์แลนด์จากงานวิจัยของ Hernandez และคณะ (2008) ที่มีลักษณะของกระจายตัวของดัชนีสะสมของค่าการใช้พลังงานของโรงเรียน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.4 จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการกระจายตัวของการใช้พลังงานภายในโรงเรียนมีการเอียงตัว และมีค่ามัธยฐานอยู่ที่ 96 kWh/m² (Hernandez และคณะ, 2008)



แผนภูมิที่ 2.4 การกระจายตัวของดัชนีสะสมการใช้พลังงานของโรงเรียนในไอร์แลนด์

ที่มา : Hernandez และคณะ (2008)

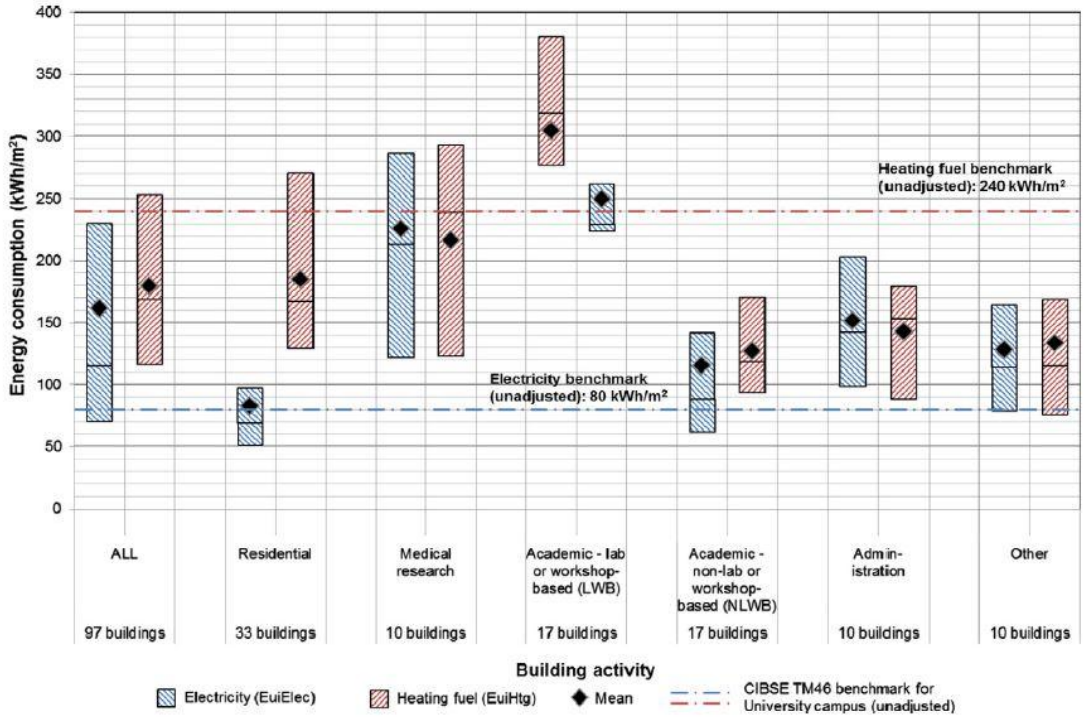
กรณีศึกษาเพิ่มเติมในอาคารเรียนสำหรับสถานศึกษาในระดับสูง (Higher education) ของสหราชอาณาจักร จากการศึกษาของ Hawkins และคณะ (2012) ที่ทำการสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัยที่มีกระจายตัวของดัชนีสะสมของค่าการใช้พลังงาน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.5 ซึ่งมีค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อปีอยู่ที่ 80-118 kWh/m² โดยที่ในเกณฑ์ของ Chartered Institution of Building Service Engineers (CIBSE) ของการประเมินในระบบ TM46 มีค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานอยู่ที่ 80 kWh/m² (Hawkins และคณะ, 2012)



แผนภูมิที่ 2.5 การกระจายตัวสะสมดัชนีการใช้พลังงานในสถานศึกษาระดับสูงสหราชอาณาจักร

ที่มา : Hawkins และคณะ (2012)

ในการศึกษาชิ้นเดียวกันนี้ได้ทำการศึกษาในการแบ่งกลุ่มอาคารตามประเภทการใช้งานอาคารภายในมหาวิทยาลัยที่ทำการศึกษาในอาคารทั้งหมด 97 อาคาร โดยทำการแบ่งอาคารออกเป็น 6 ประเภท คือ อาคารพักอาศัย จำนวน 33 อาคาร อาคารวิจัยทางการแพทย์ จำนวน 10 อาคาร อาคารเรียน วิจัย ปฏิบัติการ จำนวน 17 อาคาร อาคารเรียน จำนวน 17 อาคาร อาคารสำนักงาน จำนวน 10 อาคาร และอาคารอื่นๆ จำนวน 10 อาคาร ซึ่งแต่ละอาคารมีค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงาน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.6 โดยที่ค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารทั้งหมดมีค่าอยู่ที่ 160 kWh/m² (Hawkins และคณะ, 2012)

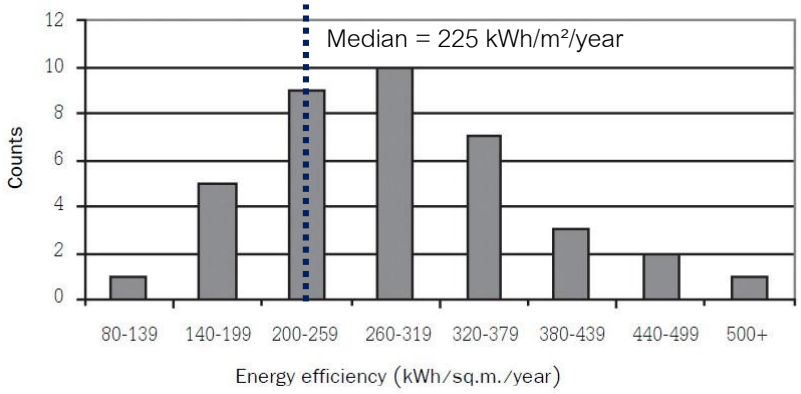


แผนภูมิที่ 2.6 การกระจายตัวของดัชนีสะสมการใช้พลังงานของสถานศึกษาระดับสูงในสหราชอาณาจักรตามประเภทการใช้งานอาคาร

ที่มา : Hawkins และคณะ (2012)

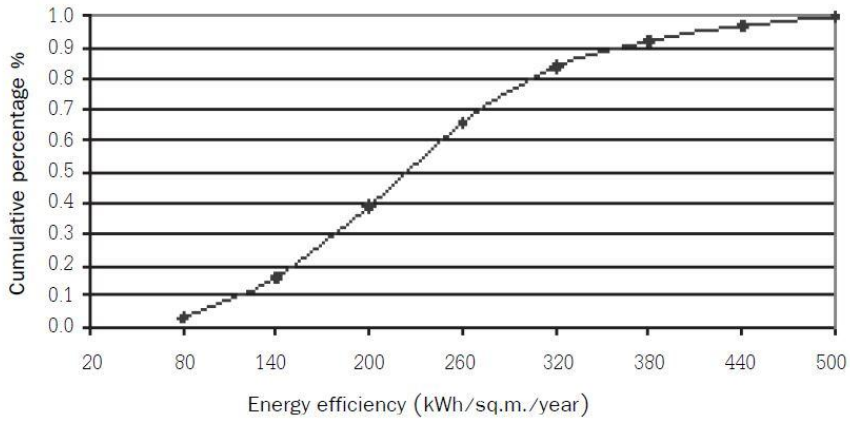
ในประเทศไทยนั้นได้มีการศึกษาถึงเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงานของกรุงเทพมหานคร จากงานวิจัยของ Tantiwanit (2007) ที่พบว่าค่าการใช้พลังงานภายในอาคารของกลุ่มตัวอย่างมีความการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.7 โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานต่างๆ ในหน่วย kWh/m²/year เพื่อหาค่าเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของสำนักงาน

ในกรุงเทพมหานคร โดยใช้ค่ามัธยฐานเป็นค่าเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร (Basecase) ซึ่งค่าเกณฑ์การใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงานอยู่ที่ 225 kWh/m²/year และการกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานเป็นแบบปกติ และมีลักษณะการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานสะสม ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.8 (Tantiwanit, 2007)



แผนภูมิที่ 2.7 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

ที่มา : Tantiwanit (2007)



แผนภูมิที่ 2.8 การกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานสะสมในอาคารสำนักงาน

ที่มา : Tantiwanit (2007)

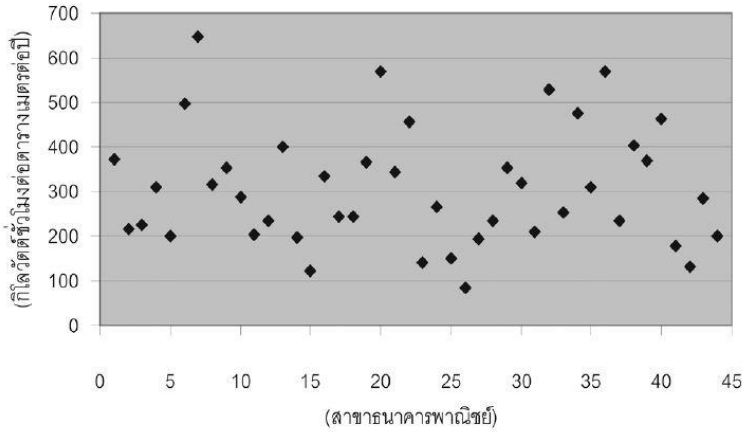
และอีกกรณีศึกษาจากการศึกษาของ กรกมล ตันติวนิช (2553) ที่ทำการศึกษาถึงเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อการบริหารจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบในอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์ จากการเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานและข้อมูลทางกายภาพของอาคารตัวอย่าง จำนวนทั้งสิ้น 44 อาคาร ในระยะเวลา 12 เดือน จากการขอข้อมูลจากการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

โดยวิเคราะห์ถึงปัจจัยของพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปี (kWh/m²/year) ซึ่งมีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 2.6 และมีการกระจายตัวของดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อปี ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2.9 (กรกมล ตันติวนิช, 2553)

ตารางที่ 2.6 ค่าดัชนีการใช้พลังงานในอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์

	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปี (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี)
ค่าต่ำสุด (Min)	83.24
ค่าสูงสุด (Max)	647.95
ค่าเฉลี่ย (Mean)	306.31

ที่มา : กรกมล ตันติวนิช (2553)



แผนภูมิที่ 2.9 ข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานในอาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์

ที่มา : กรกมล ตันติวนิช (2553)

2.5 การศึกษาถึงการประเมินอาคารด้านพลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย

ปัจจุบันการพัฒนาเกณฑ์การประเมินต่างๆ สำหรับมหาวิทยาลัยของประเทศไทย ได้มีกรณีศึกษาในมหาวิทยาลัย อาทิเช่น การศึกษาการประเมินสมรรถนะทางด้านพลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตของ รศ.อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ (2552) ที่ทำการศึกษาถึงการประเมินสมรรถนะทางด้านพลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต และ

เสนอแนวทางการดำเนินการที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงอาคารเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จากการเข้าสำรวจข้อมูลในอาคารจริง โดยทำการศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบของอาคารในด้านต่างๆ ที่ส่งผลต่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งในประเด็นการวัดสมรรถนะของอาคารได้นำพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มาตรฐานระดับความส่องสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย และคู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัยของกระทรวงพลังงาน ซึ่งผลของงานวิจัยพบว่า อาคารภายในมหาวิทยาลัยมีสมรรถนะด้านการประหยัดพลังงานต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยในด้านการประหยัดพลังงานเกิดปัญหาตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบ ทั้งในเรื่องทิศทางการวางอาคาร การเลือกใช้วัสดุผนังอาคาร การเลือกใช้กระจก อาคารส่วนมากเป็นอาคารเก่าก่อนมีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 การเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมจากการใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติมาเป็นระบบปรับอากาศ และจากพฤติกรรมผู้ใช้อาคารที่ละเลยการประหยัดพลังงาน ในการศึกษาได้เสนอวิธีการแก้ไขด้วยการบริหารจัดการภายในอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และการติดตั้งฉนวนกันความร้อนอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสม การปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในมหาวิทยาลัยให้มีความร่มรื่น รวมทั้งการบริหารหารจัดการการใช้ระบบปรับอากาศ อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยไม่ได้กล่าวถึงการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร (รศ.อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2552)

และอีกตัวอย่างในการศึกษาเกณฑ์การประเมินอาคารสำหรับมหาวิทยาลัยภายในประเทศไทย ในการประหยัดพลังงานและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารเรียนในพื้นที่เขตการศึกษาและวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นจากการศึกษาของปัทมาภรณ์ รัตนประดับ และ ผศ.ดร.ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล (2557) ที่จากการประเมินอาคารเบื้องต้นจากวิธีปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศหรือ Best practice กับอาคารเรียนที่เดิมไม่ได้มีมาตรฐานการออกแบบตามมาตรฐานอาคารเขียว โดยในการศึกษานี้มีระเบียบวิธีการศึกษาจากการเข้าสัมภาษณ์ผู้ใช้อาคาร การตรวจสอบแผนและนโยบาย และการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ในการพิจารณาด้านลักษณะทางกายภาพอาคารของอาคารทั้ง 15 อาคารภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นได้มีการพิจารณาคุณลักษณะของอาคาร และอุปกรณ์ที่ใช้ในอาคารที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร และประเมินระดับการใช้พลังงานในอาคารภายในมหาวิทยาลัยโดยใช้วิธีการประเมินอาคารเขียวของภาครัฐจากกรมควบคุมมลพิษ และผลการศึกษาพบว่าอาคารภายในมหาวิทยาลัยไม่ผ่านการประเมินดังกล่าว เนื่องจากข้อจำกัดของแบบประเมินที่เลือกนำมาใช้ และการขาดงบประมาณในการปรับปรุงอาคาร

ซึ่งการประเมินได้ประเมินตั้งแต่การจัดการอาคาร สภาพแวดล้อมของสถานที่บริเวณอาคาร การใช้น้ำ การจัดการพลังงาน คุณภาพอากาศภายในอาคาร และการป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร ซึ่งในหมวดพลังงานที่ต้องมีการเทียบสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกับค่ามาตรฐาน แต่ในงานวิจัยนี้ ไม่มีอาคารไหนที่สามารถประเมินในข้อนี้ได้ เนื่องจากการขาดข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัย จึงทำให้ยังไม่มีการประเมินด้านการใช้พลังงานภายในมหาวิทยาลัยดังกล่าว ในงานวิจัยนี้ยังได้เสนอแนะถึงการปรับปรุงอาคารในสถาบันการศึกษาให้ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยอาจพิจารณาปรับปรุงตามการแยกลักษณะการใช้งานพื้นที่ในอาคารเรียน เช่น ห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ โรงฝึกงาน เป็นต้น ที่มีความแตกต่างทั้งทางด้านพื้นที่ และการใช้งาน เพื่อให้ส่งผลถึงความเหมาะสมของการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ และ ผศ.ดร.ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2557)

2.6 การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารจากสมการการวิเคราะห์ถดถอย

การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารจากสมการการวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis) เป็นการวิเคราะห์หาสมการใหม่จากการพิจารณาตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกัน และสมการถดถอยชนิดหลายตัวแปร (Multiple regression analysis) เป็นการวิเคราะห์สมการของตัวแปรอิสระ 2 ตัว หรือมากกว่า 2 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในสมการ โดยสมการถดถอยมีรูปแบบดังแสดงในสมการ (2.1) และสมการถดถอยหลายตัวแปรมีรูปแบบดังแสดงในสมการ (2.2)

$$Y = ax + b \qquad (2.1)$$

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

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม

$x_1, x_2, \ldots, x_n$ = ตัวแปรต้น

a = Regression coefficient คือ ค่าของ Y ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อค่า x_n เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ X ตัวอื่นๆ มีค่าคงที่

b = จุดตัดแกน Y หรือค่า Intercept

ในสมการถดถอยหลายตัวแปร โดยเฉพาะ x_1, x_2 มีโอกาสที่จะเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งค่าเหล่านี้เรียกว่า Coefficients of partial regression โดยปกติตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะไม่มี

ความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ ดังนั้น ความไม่สัมพันธ์ระหว่าง Y และ x_1 กับความไม่สัมพันธ์ระหว่าง x_1 และ x_2 จึงเป็นเรื่องปกติ

การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) หรือการวิเคราะห์ปัจจัย เป็นวิธีการรวมกลุ่มหรือตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในกลุ่มหรือปัจจัยเดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจไปในทิศทางบวก (ไปในทิศทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) ส่วนในตัวแปรที่แต่ละปัจจัยไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อย ในอีกความหายหนึ่งของการวิเคราะห์องค์ประกอบ หมายถึง วิธีการทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ผลการวัด โดยใช้เครื่องมือหรือเทคนิคหลายชุดหลายด้าน อาจจากแบบทดสอบแบบวัด หรือแบบสำรวจ เป็นต้น ผลการวิเคราะห์จะทำให้ทราบว่า เครื่องมือหรือเทคนิคเหล่านั้นสามารถวัดองค์ประกอบได้มากน้อยเพียงใด เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (สไบทิพย์ บุญยงค์, 2551)

วิธีการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารจากสมการการวิเคราะห์ถดถอยจากการศึกษาของ Chung (2011) ที่เริ่มต้นจากการมีข้อจำกัดของการวิเคราะห์ทางสถิติที่ไม่สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ได้ โดยใช้การวิเคราะห์ Linear regression model ที่สามารถช่วยในการประมาณค่าของเส้นแนวโน้มของการถดถอย (Regression line) ที่สามารถใช้แสดงถึงค่าเฉลี่ยของระดับค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคาร และสามารถใช้เป็นค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะหรือค่ามาตรฐานได้จากค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการใช้พลังงาน แต่ระบบการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารอาจพบความแตกต่างจากค่าการทำนายกับค่าการใช้พลังงานจริง ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ 3 วิธี ดังต่อไปนี้

1.) การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Model) ในกรณีที่ฟังก์ชั่นของค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ของอาคารเป็นแบบเส้นตรง (Linear function) จากปัจจัย $x_1, x_2, \ldots, x_n$ ที่เป็นปัจจัยของอายุของอาคาร ระบบปฏิบัติการด้านพลังง่าน พื้นที่ภายในอาคาร เป็นต้น ซึ่งจากการที่มีหลายปัจจัยอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำนาย จึงทำให้มีความจำเป็นต้องหาค่านัยสำคัญของแต่ละปัจจัยด้วย

2.) การวิเคราะห์ด้วยวิธี Variant of Ordinary least square เนื่องด้วยการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ โดยมักพบการเอียงตัวของการกระจายตัว ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน Sharp (1998) จึงได้วิเคราะห์ถึงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ของการวิเคราะห์ถดถอยจากการทำตาราง

วิเคราะห์การกระจายตัวของการเทียบสมรรถนะ (Distribution benchmark table) ที่ส่งผลให้มีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น ด้วยการแปลงผลกระทบจากค่าผิดปกติ จนทำให้เกิดการวิเคราะห์แบบถดถอยที่เหมาะสมที่สุด ในเวลาต่อมา Chung และคณะ (2006) ได้ทำการหาสมการทำนายจากการจากตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาของ Sharp (1998) ที่วิเคราะห์จากการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ทั้งนี้ สมการของ Chung และคณะ (2006) มีรูปแบบตามสมการ (2..3)

$$EUI_{norm} = EUI_0 - b_1x_1 - b_2x_2 - \ldots\ldots - b_nx_n \qquad (2.3)$$

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

3.) การวิเคราะห์ด้วยวิธี Corrected ordinary least square (COLS) เป็นการขยายผลการวิเคราะห์จากวิธีการ Ordinary least square เดิม โดยวิธีการนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การวิเคราะห์หา เส้นแนวโน้มของการถดถอยจากการประมาณด้วย Ordinary least square จากนั้นในขั้นตอนที่ 2 จึงทำการหาเส้นแนวโน้มของการถดถอยจากการขยับเส้นแนวโน้มการถดถอยลง (Shifted downwards) ที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า COLS frontier ซึ่งครอบคลุมถึงข้อมูลทั้งหมด ส่งผลให้ข้อมูลส่วนที่เหลือมีผลเป็นบวก (โดยข้อมูลที่เหลือนั้นคือ ความแตกต่างของค่า EUI จริง กับค่า EUI จากการทำนาย) โดยวิธี Corrected ordinary least square นี้เป็นวิธีการขั้นสุดของการวิเคราะห์แบบ Ordinary least square ทำให้การวิเคราะห์นี้มีความละเอียดอ่อนมาก (Chung, 2011)

กรณีศึกษาของการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารจากสมการการวิเคราะห์ถดถอยที่ผ่านมา จากงานที่มีความใกล้เคียงกันทั้งจากประเภทอาคาร และสถานที่ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งในการศึกษานี้ คือ ประเทศไทย ซึ่งในอดีตได้มีการศึกษาถึงสมการทำนายค่าการใช้พลังงานจากสมการการวิเคราะห์ถดถอย ดังนี้

ในการศึกษาของ Sharp (1998) ที่ทำการศึกษาถึงการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานและสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของโรงเรียนในสหรัฐอเมริกา จากการใช้ข้อมูลในฐานข้อมูลของ US Energy Information Administration's Commercial Buildings Energy Consumption Survey(CBECS) ของอาคารจำนวน 115 อาคาร จากทั้งหมด 600 กว่าอาคาร โดย

ทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยปีที่ก่อสร้าง จำนวนเครื่องทำความเย็น ค่าพลังงานในการทำความเย็น ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติจำนวนผู้ดูแลระบบ HVAC และโครงสร้างหลังคา ทั้งนี้ สมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R square) อยู่ในระหว่าง 0.35-0.89 โดยสมการมีรูปแบบดังแสดงในสมการ (2.4) ในสมการนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรตามแต่ละเขตที่ตั้งของอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.7 (Sharp, 1998)

$$\ln(\text{kWh/sf}) = a + b(\text{YRCON}) + c(\text{RFGWI}) + d(\text{ELCOOL}) + e(\text{NGBTUSF}) + f(\text{OPHVAC1}) + g(\text{RFCNS3}) \quad (2.4)$$

ตารางที่ 2.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานตามเขตพื้นที่ของกรณีศึกษา

Census division	Model R**2	Model f stat.	Coeff. a	t stat.	Coeff. b	t stat.	Coeff. c	t stat.	Coeff. d	t stat.
1	0.47	2586	-8.714	-46.4	0.0106	53.7	0.271	28.3	0	
2	0.35	3234	-4.952	-39.3	0.0067	50.4	0.344	65.0	0	
3	0.42	4303	-7.027	-43.6	0.0088	51.8	0		0.318	46.9
4	0.76	10253	0.325	33.2	0		1.120	86.2	0.955	87.3
5	0.89	85590	0.000		0		0		2.433	402.94
6	0.35	3219	-11.684	-58.7	0.0143	68.7	0.206	21.5	0	
7	0.45	12211	-5.296	-35.7	0.0074	48.3			0	
8	0.64	3867	40.648	92.2	-0.0390	-86.9	-1.241	-70.2	0	
9	0.36	8362	1.757	351.2	0		0		0	

ที่มา : Sharp (1998)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการศึกษาถึงจากสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานจากการวิเคราะห์ถดถอยในประเทศไทย ได้มีการศึกษาในการศึกษาของ กรกมล ตันติวนิช (2553) ที่ทำการศึกษาในอาคารสำนักงานสาขาของธนาคารไทยพาณิชย์ จากอาคารกลุ่มตัวอย่างจำนวน 44 อาคาร โดยทำการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรข้อมูลการใช้พลังงานรวม และข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยปรับอากาศ ซึ่งพบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตามขนาดพื้นที่ใช้สอยปรับอากาศ ทั้งนี้ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.62 และมีรูปแบบของสมการตามสมการ (2.6) (กรกมล ตันติวนิช, 2553)

$$\text{พลังงานรวม (kWh/year)} = 53{,}826.23 + 145.345\ (\text{พื้นที่ใช้สอยปรับอากาศ}) \quad (2.6)$$

จากการศึกษาถึงสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานของสไบทิพย์ บุญยงค์ (2551) ที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ ซึ่งได้แบบจำลองหรือสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.88 และสมการมีรูปแบบดังแสดงในสมการ (2.7)

Total Building Energy Consumption : TBEC (kWh/year) = -388,169.466 + 145.250 (Gross floor area) + 601.517 (Number of people) + 1,114,859.026 (Type of building) (2.7)

เนื่องด้วยตัวแปรจากแบบจำลองการใช้พลังงานหรือสมการการทำนายค่าการใช้พลังงาน (2.7) เป็นตัวแปรประเภทการใช้งานในอาคารเป็นตัวแปรดัมมี่ หรือมีค่าเท่ากับ 0 จากการเป็นอาคารที่มีการใช้งานในลักษณะเดียวหรือเป็นองค์กรเดียว จึงมีการแยกสมการหรือแบบจำลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สมการสำหรับอาคารที่มีการใช้งานสำหรับองค์กรเดียว และสมการสำหรับอาคารสำนักงานประเภทให้เช่า ซึ่งสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานขององค์กรเดียว มีรูปแบบดังแสดงในสมการ (2.8) และสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานประเภทให้เช่า มีรูปแบบดังแสดงในสมการ (2.9) ที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน จากการที่อาคารสำนักงานให้เช่ามีค่าการใช้พลังงานที่สูงกว่า โดยอาจเกิดจากอาคารสำนักงานให้เช่าอาจไม่มีการจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารเท่าที่ควร เนื่องจากการขาดความร่วมมือระหว่างเจ้าของอาคารและผู้เช่า ในขณะที่อาคารสำนักงานขององค์กรเดียวสามารถผลักดันการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารได้มากกว่า จากการออกกฎระเบียบ ข้อบังคับ เพื่อให้พนักงานภายในอาคารได้ปฏิบัติตาม (สไบทิพย์ บุญยงค์, 2551)

Total Building Energy Consumption : TBEC (kWh/year) = -388,169.466 + 145.250 (Gross floor area) + 601.517 (Number of people) (2.8)

Total Building Energy Consumption : TBEC (kWh/year) = 726,690 + 145.250 (Gross floor area) + 601.517 (Number of people) (2.9)

การทำนายสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานของอาคารหน่วยราชการของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ซึ่งมีสมการคำนวณค่ามาตรฐานสำหรับกลุ่มอาคารสถาบันอุดมศึกษาและสถาบันอาชีวศึกษา โดยมีสูตรในการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Utilization Index, EUI) ตามสมการ (2.10) ซึ่งในระดับมหาวิทยาลัยมีสมการคำนวณหาค่าไฟฟ้ามาตรฐาน

(Standard Electricity Utilization, SEU) ดังแสดงในสมการ (2.11) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

ดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า (EUI) = (90% ของปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐาน) – ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง/ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง (2.10)

โดยที่ ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐาน (kWh) = Standard Electricity Utilization (SEU)

SEU = ตัวเลขการประมาณการใช้พลังงานที่เป็นของหน่วยงาน รวม 12 เดือน

90% ของปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐาน = ตัวเลขประมาณการที่ลดลงจาก SEU อย่างน้อยร้อยละ 10

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง (kWh/year) = Actual Electricity Utilization (AEU) ในระยะเวลา 12 เดือน จากข้อมูลในใบแจ้งหนี้ของการไฟฟ้าในแต่ละเดือน

ไฟฟ้ามาตรฐาน (SEU) = [2.251 (จำนวนบุคลากร) + 0.042 (พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร)) + 4.038 (จำนวนนักศึกษา x จำนวนวันที่มีการเรียนการสอน/100) + 8.090 (จำนวนเตียง) + 1.406 (จำนวนผู้ป่วยนอก) + 1.550 (จำนวนวันนอนรวมผู้ป่วยใน] x [1.111 (อุณหภูมิ)] (2.11)

ในการประเมินด้านพลังงานของคู่มือเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวภาครัฐ ในกรณีอาคารเดิมได้มีการประเมินในส่วนของปริมาณการใช้พลังงาน ซึ่งต้องคำนวณหาจากสมการการทำนายสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่เทียบเท่า หรือต่ำกว่าค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานสำหรับหน่วยราชการของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน ที่ประเมินตามประเภทการใช้งานของอาคาร ซึ่งต้องมีค่าปริมาณการใช้พลังงานของอาคารไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ของค่าเกณฑ์ของ สนพ. (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

ปัจจุบันจากโครงการส่งเสริมการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของการไฟฟ้านคร-หลวง (กฟน.) ได้มีการจัดทำโปรแกรมทดสอบค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารประเภทต่างๆ โดยในอาคารประเภทอาคารมหาวิทยาลัยมีสูตรการคำนวณตามสมการ (2.12) ที่คำนวณจากค่าการใช้พลังงานจริง (E actual) และค่าการใช้พลังงานงบประมาณ (E budget) ที่คำนวณจากสมการ (2.13) หรือ (2.14) ซึ่งสามารถคำนวณออนไลน์ผ่านเว็บไซต์ของ กฟน. (กฟน. อาคารประหยัดพลังงาน. [online], 2558)

$$MEA\ Index = \frac{\text{E actual}}{\boldsymbol{E\ budget}} \qquad (2.12)$$

โดยที่ E actual = พลังงานไฟฟ้าที่อาคารจริงใช้ต่อปี (kWh/year)

E budget = พื้นที่สำหรับแต่ละกิจกรรม x ชั่วโมงการใช้งาน/ปี x ค่าการใช้พลังงานมาตรฐาน (W/m^2) (2.13)

E budget = E ห้องเรียน x E สำนักงาน x E ศูนย์คอมพิวเตอร์ x E ห้อง Server x E ห้องสมุด x E พื้นที่ส่วนกลาง x E พื้นที่อื่นๆ (2.14)

จากการศึกษาถึงสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของกรณีศึกษาต่างๆ ทำให้ได้ผลสรุปของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแต่ละสมการ ดังแสดงในตารางที่ 2.8 ซึ่งพบว่าสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานครจากการศึกษาของกรกมล ตันติวนิช (2553) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุดเท่ากับ 0.88 และที่มีค่าน้อยที่สุดคือสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของโรงเรียนในสหรัฐอเมริกาของเขต Census Division ที่2 จากการศึกษาของ Sharp (1998) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.35

ตารางที่ 2.8 ผลสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	R square
Schools, Sharp (1998)	0.35-0.89
อาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์, กรกมล ตันติวนิช (2553)	0.62
อาคารสำนักงาน, สไบทิพย์ บุญยงค์ (2551)	0.88
อาคารเรียนในมหาวิทยาลัย, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558)	-

ในการศึกษาถึงสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานพบว่ามีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error : RMSE) ที่วิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่คำนวณได้จากสมการวิเคราะห์ถดถอย เพื่อทดสอบความถูกต้องของสมการ โดยถ้าค่า RMSE มีค่าเท่ากับศูนย์จะหมายถึงว่า สมการนั้นไม่มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งจากการศึกษาของ Hawkins และคณะ (2012) ได้ทำการสรุปสมการการวิเคราะห์หาค่า RMSE ดังแสดงในสมการ (2.15) (Hawkins และคณะ, 2012)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(Y_1 - Y_2\right)^2} \qquad (2.15)$$

โดยที่ Y_1 = ค่าที่วัดได้จริง

Y_2 = ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการนำไปสู่การพัฒนาเป็นมหาวิทยาลัยที่ยั่งยืน ที่ต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างสังคม สิ่งแวดล้อม และการบริหารจัดการงบประมาณและทรัพยากร การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานจึงเป็นหนึ่งในวิธีการที่จะตอบสนองการบริหารและจัดการงบประมาณและทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยภายในประเทศไทยนั้นยังไม่มีความชัดเจน เนื่องจากยังไม่มีการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารและหาค่ามาตรฐานสำหรับการใช้พลังงานที่

เหมาะสมของอาคารเรียนระดับมหาวิทยาลัย และจากการศึกษางานวิจัยที่กล่าวข้างต้นพบว่า การกระจายตัวของความถี่ค่าการใช้พลังงานภายในอาคารต่อพื้นที่ของอาคารประเภทโรงเรียนและอาคารทางธุรกิจของ Kinney และ Piette (2002) และอาคารประเภทสำนักงานในกรุงเทพมหานครของ Tantiwanit (2007) มีลักษณะการกระจายใกล้เคียงกันในรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ แต่ในอาคารเรียนในสหรัฐอเมริกา จากงานวิจัยของ Sharp (1998) พบการกระจายตัวเป็นแบบไม่ปกติ โดยมีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ความแตกต่างของการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของกรณีศึกษาอาจมาจากงานระบบประกอบอาคารระหว่างอาคารสำนักงานและอาคารเรียน ที่ในอาคารสำนักงานมีงานระบบที่ซับซ้อน ประกอบกับอาคารต้องทำการปรับอากาศอยู่ตลอดเวลาดำเนินการ แต่ในอาคารเรียนของโรงเรียนนั้นการปรับอากาศไม่มีความจำเป็นต้องปรับอากาศตลอดเวลาเหมือนอาคารสำนักงาน จึงเกิดความแตกต่างของการกระจายตัวการใช้พลังงานในอาคาร อย่างไรก็ตาม อาคารเรียนในระดับมหาวิทยาลัยที่ปัจจุบันเป็นห้องเรียนปรับอากาศนั้นน่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร และน่าจะมีความแตกต่างกับอาคารเรียนในระดับโรงเรียน เกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารในมหาวิทยาลัยในประเทศไทยจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจเพื่อหาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานที่เหมาะสม เพื่อเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานภายในอาคาร รวมทั้งหาสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารเพื่อช่วยในการวางแผนการบริหารจัดการการใช้พลังงานของอาคารต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.9 ผลสรุปการกระจายตัวของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน	ค่ามัธยฐาน (Median) (kWh/m²/year)
โรงเรียน, Sharp (1998) สหรัฐอเมริกา	กระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	50.56
โรงเรียน, Kinney และ Piette (2002) รัฐแคลิฟอร์เนีย	กระจายตัวแบบค่อนข้างปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางลบ	-
อาคารทางธุรกิจ, Kinney และ Piette (2002) รัฐแคลิฟอร์เนีย	กระจายตัวแบบค่อนข้างปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	113.40
โรงเรียนระดับประถมศึกษา, Hernandez และคณะ (2007) ไอร์แลนด์	-	96
สถานศึกษาระดับสูง, Hawkins และคณะ (2012) สหราชอาณาจักร	-	80-118 80 (CIBSE : TM46)
อาคารสำนักงาน, Tantiwanit (2007) กรุงเทพมหานคร	กระจายตัวแบบปกติ	225

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

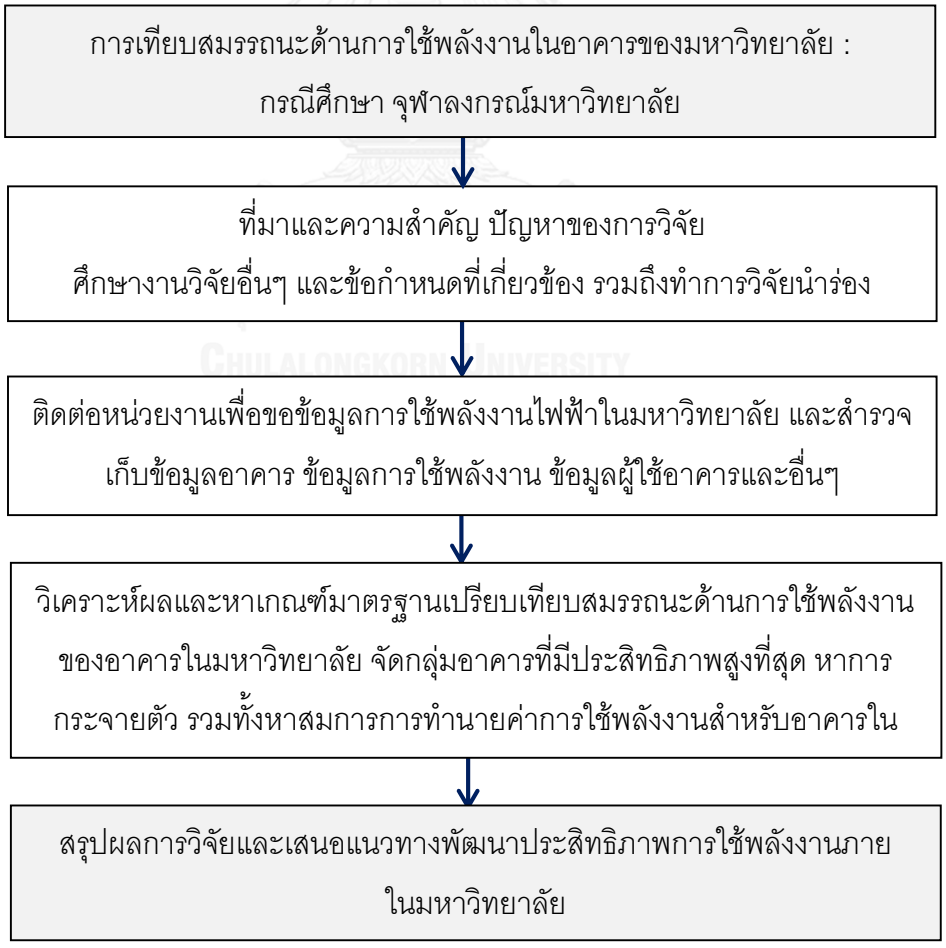
ในการศึกษานี้มีระเบียบวิธีการวิจัยที่แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเรียน รวมถึงวิธีการในการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารจากงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา ทั้งในอาคารเรียนในระดับโรงเรียน อาคารสำนักงาน อาคารทางธุรกิจ เพื่อศึกษาถึงวิธีการวิเคราะห์และดูแนวโน้ม รวมไปถึงเปรียบเทียบเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

3.2 ขั้นตอนการศึกษาเบื้องต้น

การศึกษานี้มีกรอบของขั้นตอนการเบื้องต้นในการดำเนินการ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนี้



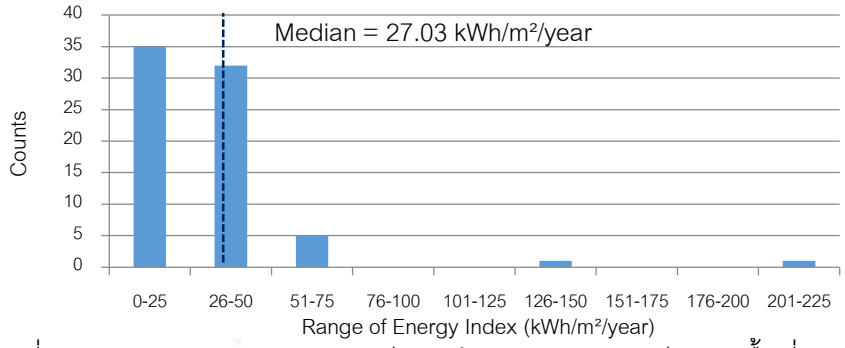
รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3 **การวิจัยนำร่อง** (Pilot study)

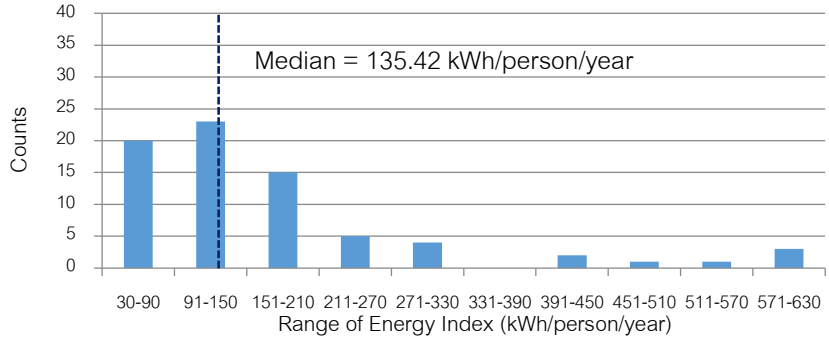
ในเบื้องต้นก่อนทำการศึกษาถึงเรื่องการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการวิจัยนำร่องในเรื่องการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารเรียนของมหาวิทยาลัย ซึ่งก็คือ การศึกษาในอาคารเรียนของโรงเรียน จากการวิจัยนำร่องของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของโรงเรียนสีเขียวในประเทศไทย เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีการศึกษาในเรื่องดังกล่าวเฉพาะในอาคารสำนักงาน การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในโรงเรียนยังไม่มีความชัดเจน การศึกษานี้จึงเลือกโรงเรียนในโครงการโรงเรียนสีเขียวที่เป็นตัวอย่างที่ดีในด้านการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นโรงเรียนในโครงการโครงการประเมินโรงเรียนสีเขียวของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จำนวน 74 โรงเรียน ในระหว่างปี พ.ศ. 2552-2556 โดยเป็นโรงเรียนระดับประถมศึกษา จำนวน 36 โรงเรียน ระดับมัธยมศึกษา 26 โรงเรียน และระดับประถมและมัธยมศึกษา จำนวน 12 โรงเรียน เพื่อหาเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานที่เหมาะสมภายในโรงเรียนและทำนายค่าการใช้พลังงาน เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับโรงเรียนอื่นๆ ต่อไป

ระเบียบวิธีการศึกษาเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในโรงเรียนสีเขียวจากการขอข้อมูลการใช้พลังงานของโรงเรียนที่ผ่านการประเมินโรงเรียนสีเขียวจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ดำเนินการโดยฝ่ายบริหารและแผนงานด้านการใช้ไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงานตลอดทั้งปี พื้นที่ภายในอาคาร และจำนวนนักเรียนทั้งหมดเพื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบหาค่าเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับโรงเรียนสีเขียว ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis) โดยทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนสีเขียว ซึ่งคิดค่าดัชนีการใช้พลังงานจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) และค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/year) จากการนำข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดของทุกโรงเรียนมาคำนวณหาค่ามัธยฐาน (Median) ค่าเฉลี่ย (Mean) และหาการกระจายตัวของความถี่ค่าดัชนีการใช้พลังงานภายในโรงเรียน รวมทั้งหาการทำนายการใช้พลังงานของโรงเรียนสีเขียว จากการหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาค่าการใช้พลังงานในอนาคตด้วยการทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) โดยคำนวณจากปัจจัยต่างๆ ของโรงเรียน ทั้งจากค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมา พื้นที่ภายในอาคารของโรงเรียน จำนวนผู้ใช้งาน สัดส่วนร้อยละพื้นที่ปรับอากาศภายในโรงเรียน เพื่อให้โรงเรียนสามารถวางแผนการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดต่อไป

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าจากของโรงเรียนสีเขียวทั้งสิ้น 74 โรงเรียน มีค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของโรงเรียนสีเขียวที่ประเมินจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) โดยพิจารณาค่ามัธยฐานเป็นค่าเกณฑ์การใช้พลังงานภายในโรงเรียน เนื่องจากมีผลการกระจายตัวของความถี่ของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่เป็นการกระจายตัวแบบไม่ปกติ (Non-normal distribution) ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งทางลาดมาทางบวก (Positively skewed) ดังแสดงในแผนภูมิที่ 3.1 โดยมีค่ามัธยฐานเท่ากับ 27.03 kWh/m²/year และค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อพื้นที่เท่ากับ 30.80 kWh/m²/year และการวิเคราะห์ด้วยค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/year) พบว่าการกระจายตัวของความถี่ของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนเป็นการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ลักษณะเป็นเส้นโค้งทางลาดมาทางบวกเช่นเดียวกัน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 3.2 และมีค่ามัธยฐานที่เท่ากับ 135.42 kWh/person/year และค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อคนเท่ากับ 173.48 kWh/person/year



แผนภูมิที่ 3.1 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)



แผนภูมิที่ 3.2 การกระจายตัวของความถี่ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงเรียนต่อคน (kWh/person/year)

จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อทำนายค่าการใช้พลังงานของโรงเรียนซึ่งจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของตัวแปรสำหรับการทำนายพบว่า มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ จึงได้ทำการแปลงข้อมูลการกระจายตัวของตัวแปรให้เป็นการกระจายตัวแบบปกติด้วยวิธี Logarithm และทำการวิเคราะห์เพื่อหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของโรงเรียนสีเขียว ($\log_{10}$ ENERGY) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยจากตัวแปรต่างๆ โดยจากการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรจำนวนคน ($\log_{10}$ PPL) ในสมการ (1) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 และพบว่าสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R square) เท่ากับ 0.69 *($p<0.05$)* ซึ่งสมการ (3.1) เป็นดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.697 (\log_{10} \text{PPL}) - 0.208 \quad (3.1)$$

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์สมการด้วยตัวแปรพื้นที่ภายในอาคาร ($\log_{10}$ AREA) ในสมการ (3.2) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 และพบว่าสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.63 *($p<0.05$)* ลดลงจากสมการ (3.1) ซึ่งสมการ (3.2) มีสมการเป็นดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.281 (\log_{10} \text{AREA}) + 0.229 \quad (3.2)$$

และจากการวิเคราะห์สมการด้วยตัวแปรสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ปรับอากาศ ($\log_{10}$ PAC) ในสมการ (3.3) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 และพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.66 *($p<0.05$)* ลดลงจากสมการ (3.1) แต่เพิ่มขึ้นจากสมการ (3.2) และมีสมการดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.204 (\log_{10} \text{PAC}) + 3.940 \quad (3.3)$$

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (3.1), (3.2) และ (3.3)

สมการ	ตัวแปร	Intercept	Coefficient	Std. error	P-value
สมการ (3.1)	$\log_{10}$ PPL	-0.208	1.697	0.26	*P<0.05*
สมการ (3.2)	$\log_{10}$ AREA	0.229	1.281	0.29	*P<0.05*
สมการ (3.3)	$\log_{10}$ PAC	3.940	1.204	0.27	*P<0.05*

ในการนี้ พบว่าการวิเคราะห์สมการด้วยตัวแปรทั้งสามตัวแปรในสมการ (3.4) มีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ

0.88 *(p<0.05)* ที่เพิ่มขึ้นจากสมการ (3.1), (3.2) และ (3.3) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งสมการ (3.4) เป็นดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.511(\log_{10} \text{PPL}) + 0.616(\log_{10} \text{AREA}) + 0.681(\log_{10} \text{PAC}) + 0.363 \quad (3.4)$$

โดยที่ $\log_{10}$ ENERGY = ค่า $\log_{10}$ ของค่าการใช้พลังงาน (kWh/year)

$\log_{10}$ PPL = ค่า $\log_{10}$ ของจำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)

$\log_{10}$ AREA = ค่า $\log_{10}$ ของพื้นที่ภายในอาคาร (ตารางเมตร)

$\log_{10}$ PAC = ค่า $\log_{10}$ ของค่าสัดส่วนร้อยละพื้นที่ปรับอากาศ (%)

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (3.4)

ตัวแปร	Coefficients	Std. error	P-value
Intercept (B)	0.363	0.33	*P<0.05*
$\log_{10}$ PPL	0.511	0.14	*P<0.05*
$\log_{10}$ AREA	0.616	0.10	*P<0.05*
$\log_{10}$ PAC	0.681	0.08	*P<0.05*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 ค่าสถิติการวิเคราะห์การถดถอยของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของโรงเรียนสีเขียวทั้งหมด

สมการ	ตัวแปร	R square	Std. error	P-value
สมการ (3.1)	$\log_{10}$ PPL	0.69	0.26	*P<0.05*
สมการ (3.2)	$\log_{10}$ AREA	0.63	0.29	*P<0.05*
สมการ (3.3)	$\log_{10}$ PAC	0.66	0.27	*P<0.05*
สมการ (3.4)	$\log_{10}$ PPL, $\log_{10}$ AREA, $\log_{10}$	0.88	0.16	*P<0.05*

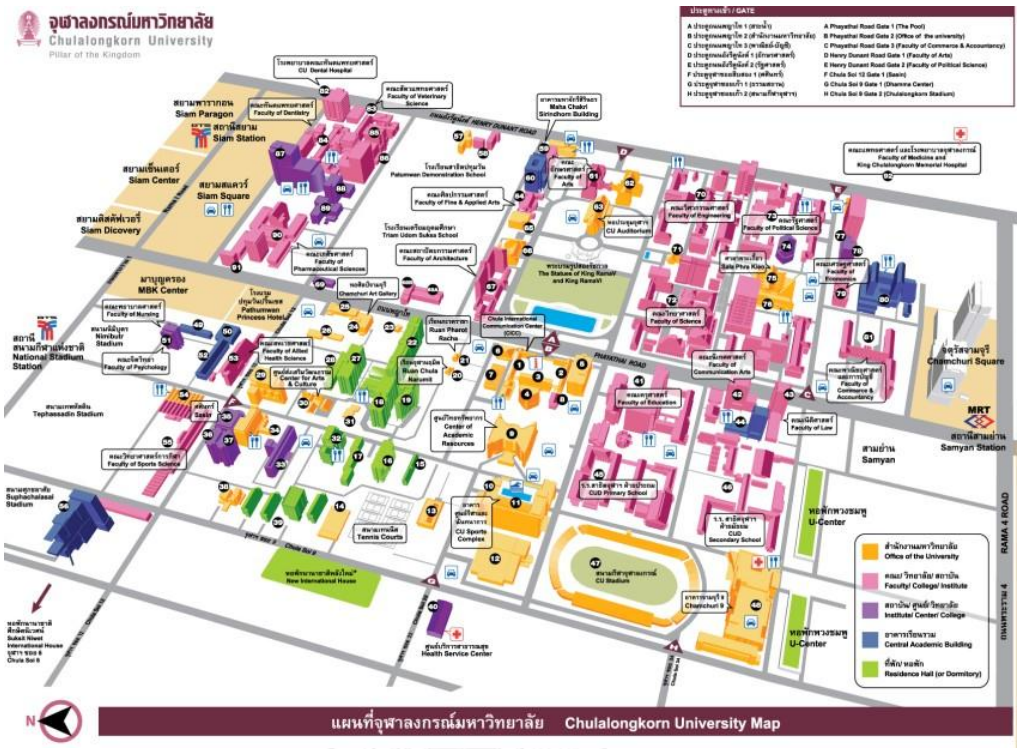
จากการทำนายค่าการใช้พลังงานของโรงเรียนด้วยการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าได้สมการทำนายค่าการใช้พลังงานหลายรูปแบบจากตัวแปร จำนวนผู้ใช้งาน พื้นที่ภายในอาคาร และสัดส่วนร้อยละพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งจากสมการ (1), (2) และ (3) ที่ใช้ตัวแปรจำนวนหนึ่งตัวแปรมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเท่ากับ 0.63-0.69 ($p<0.001$) หากแต่สมการ (4) ที่ใช้ทั้งสามตัวแปรมาวิเคราะห์ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 0.88 ($p<0.001$) และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Standard error) เท่ากับ 0.16

การวิจัยนำร่องทำให้ทราบถึงระเบียบวิธีการสำหรับการวิจัย ทั้งวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในด้านการหาค่าเกณฑ์มาตรฐาน การหาการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน และวิธีการหาสมการสำหรับการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารเรียน ซึ่งจากการวิจัยนำร่องพบว่าตัวแปรที่สามารถนำมาใช้สำหรับการทำนายค่าการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัย คือ ตัวแปรของค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมา จำนวนผู้ใช้งาน พื้นที่ภายในอาคาร และสัดส่วนร้อยละพื้นที่ปรับอากาศ ที่สามารถนำมาจำกัดขอบเขตและนำมาประยุกต์ใช้กับการหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยต่อไป

3.4 การสำรวจเก็บข้อมูลจากการขอข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.1 การสำรวจข้อมูลอาคารภายในมหาวิทยาลัย

สถานที่ในการทำการศึกษา คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ปัจจุบันได้มีการแบ่งประเภทอาคารภายในมหาวิทยาลัย เป็น 5 ประเภท ตามที่แสดงในรูปที่ 3.2 ดังนี้



รูปที่ 3.2 ผังบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มา : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [online] (2557)

1.) อาคารสำนักงานมหาวิทยาลัย มีอาคารทั้งสิ้น 47 อาคาร ประกอบไปด้วยอาคารประเภทอาคารสำนักงาน อาคารกีฬา เรือนไทย หอสมุด หอประชุม พิพิธภัณฑ์ โรงพิมพ์ อาคารสมาคม เป็นต้น

2.) อาคารเรียนรวม มีอาคารทั้งสิ้น 7 อาคาร ประกอบไปด้วยอาคารจุฬาพัฒน์ 2 อาคารจุฬาพัฒน์ 4 อาคารจุฬาพัฒน์ 5 อาคารจุฬาพัฒน์ 13 อาคารบรมราชกุมารี อาคารพินิตประชานาถ และอาคารมหิตลาธิเบศร

3.) อาคารของคณะ มีอาคารทั้งสิ้น 104 อาคาร จาก 19 คณะ (ขาดอาคารจากคณะแพทยศาสตร์) ประกอบไปด้วยอาคารประเภทอาคารเรียน อาคารปฏิบัติการ ห้องสมุด โรงอาหาร โรงพยาบาล เป็นต้น

4.) อาคารของสถาบัน ศูนย์ วิทยาลัย และอาคารอื่นๆ มีอาคารทั้งสิ้น 16 อาคาร ประกอบไปด้วยสถาบัน ศูนย์ วิทยาลัยต่างๆ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์บริการสาธารณสุข สำนักงาน เป็นต้น

5.) อาคารประเภทที่พักและหอพัก มีอาคารทั้งสิ้น 13 อาคาร

ซึ่งจากการแบ่งประเภทอาคารในปัจจุบันของทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ทำการแบ่งจากการใช้งานและสังกัดของแต่ละกลุ่มอาคาร ที่แบ่งเป็นอาคารของสำนักงานของมหาวิทยาลัย อาคารเรียนรวม อาคารของแต่ละคณะ อาคารของสถาบัน ศูนย์ วิทยาลัย และอาคารที่พักและหอพักนักศึกษา

การเลือกทำการศึกษาในอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คัดเลือกจากอาคารที่เป็นอาคารสาธารณะ และมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีการใช้งานที่หลากหลาย ในอาคารประเภท อาคารสำนักงานของมหาวิทยาลัย อาคารเรียนรวม อาคารของคณะ และอาคารของสถาบัน ศูนย์ วิทยาลัย หรืออาคารอื่นๆ โดยไม่รวมอาคารโรงพยาบาล ที่พักและหอพัก คณะแพทยศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และไม่รวมพื้นที่ภายนอกอาคาร เนื่องจากอาคารดังกล่าวมีลักษณะการใช้พลังงานที่แตกต่างกับอาคารของคณะอื่นๆ เนื่องด้วยมีพื้นที่ของส่วนรักษาพยาบาลของโรงพยาบาลที่มีความซับซ้อน ทั้งยังมีลักษณะพื้นที่ของโรงเรียนที่มีความหลากหลายในการใช้งาน และประกอบกับมีข้อมูลการใช้พลังงาน รวมถึงข้อมูลรายละเอียดอาคารไม่ครบถ้วน โดยมีจำนวนอาคารที่ทำการศึกษาเบื้องต้นโดยประมาณ 174 อาคาร ซึ่งหลังจากได้วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานแล้วนั้น พบว่ามีอาคารที่มีข้อมูลการใช้พลังงานครบถ้วนที่สามารถทำการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานได้ทั้งสิ้น 92 อาคาร และมีข้อมูลการใช้พลังงานภายในหน่วยงานทั้งสิ้น 35 หน่วยงาน

การแบ่งอาคารเพื่อทำการวิเคราะห์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร ได้ทำการแบ่งประเภทอาคารออกเป็น 4 ประเภท จากอาคารทั้งหมดที่มีข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ได้ทั้งสิ้น 92 อาคาร เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละประเภทอาคารต่อไป โดยมีประเภทอาคารต่างๆ ดังนี้

1.) อาคารประเภทที่ 1 หมายถึง อาคารสำนักงาน (Office)
2.) อาคารประเภทที่ 2 หมายถึง อาคารเรียน (Lecture)
3.) อาคารประเภทที่ 3 หมายถึง อาคารอเนกประสงค์ หรืออาคารอื่นๆ (Extra)
4.) อาคารประเภทที่ 4 หมายถึง อาคารวิจัย (Laboratory)

ลักษณะของประเภทกลุ่มอาคารในการศึกษานี้แบ่งตามการใช้งานของแต่ละอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และลักษณะรูปแบบการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งในอาคาร

ประเภทที่ 1 อาคารสำนักงานมีลักษณะการใช้งานตั้งแต่เวลา 08.00-17.00 น. ในวันจันทร์ถึงวันศุกร์ โดยมีการใช้งานโดยเฉลี่ย 9 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งกลุ่มอาคารสำนักงานมีพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคารในอัตราส่วนร้อยละ 43.02 ต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด ในอาคารประเภทที่ 2 อาคารเรียนมีลักษณะการใช้งานตั้งแต่เวลา 08.00-21.00 น. ในวันจันทร์ถึงวันเสาร์ โดยมีการใช้งานโดยเฉลี่ย 13 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งกลุ่มอาคารเรียนมีพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคารในอัตราส่วนร้อยละ 51.52 ต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด ในอาคารประเภทที่ 3 อาคารอเนกประสงค์ หรืออาคารอื่นๆ มีลักษณะการใช้งานตั้งแต่เวลา 08.00-18.00 น. ในวันจันทร์ถึงวันอาทิตย์ โดยมีการใช้งานโดยเฉลี่ย 10 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งกลุ่มอาคารอเนกประสงค์ หรืออาคารอื่นๆ มีพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคารในอัตราส่วนร้อยละ 41.16 ต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด และในอาคารประเภทที่ 4 อาคารวิจัยมีลักษณะการใช้งานตั้งแต่เวลา 08.00-18.00 น. ในวันจันทร์ถึงวันเสาร์ โดยมีการใช้งานโดยเฉลี่ย 10 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งกลุ่มอาคารวิจัยมีพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคารในอัตราส่วนร้อยละ 62.82 ต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด

3.4.2 การขอข้อมูลจากหน่วยงานจากหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัย

ในการศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัยนั้น มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลผังอาคาร พื้นที่ภายในอาคาร พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร จำนวนผู้ใช้งานทั้งจากจำนวนนิสิต คณาจารย์ และบุคลากรผู้ปฏิบัติการ ข้อมูลจำนวนชั่วโมงปฏิบัติการ ซึ่งปัจจุบันข้อมูลในปัจจัยต่างๆ ได้กระจายอยู่ตามหน่วยงานต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัย ทำให้มีความจำเป็นต้องเข้าไปขอข้อมูลเพื่อรวบรวมไว้สำหรับการวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งการรวบรวมข้อมูลได้ทำการเก็บข้อมูลจากการขอข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1.) ข้อมูลการใช้พลังงานจากสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2.) ข้อมูลพื้นที่ภายในอาคารและรายละเอียดของอาคารจากสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3.) ข้อมูลจำนวนนิสิตทำการขอข้อมูลจากสำนักงานการทะเบียน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4.) ข้อมูลจำนวนคณาจารย์ บุคลากร ทำการขอข้อมูลจากสำนักบริหารทรัพยากรมนุษย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการศึกษานี้ได้กำหนดระยะเวลาของการเก็บข้อมูลให้อยู่ในช่วงปีการศึกษา 2557 ที่เก็บข้อมูลการใช้งานทั้งข้อมูลการใช้พลังงาน จำนวนผู้ใช้งานทั้งนิสิต คณาจารย์ และบุคลากร ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2557

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อหาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูลการเทียบสมรรถนะด้านใช้พลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในการศึกษานี้ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ที่เป็นข้อมูลที่รวบรวมจากหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.) การวิเคราะห์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งมีอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ในการศึกษานี้ทั้งหมด 92 อาคาร จากทั้งหมด 174 อาคาร

2.) การวิเคราะห์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในหน่วยงาน ซึ่งมีหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ในการศึกษานี้ทั้งหมด 35 อาคาร จากทั้งหมด 42 หน่วยงาน

จากข้อมูลการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ของช่วงเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2557 พบว่ามีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในข้อมูลสรุปรวมของทั้งหน่วยงานในรายเดือนและรายปี ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารและข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานแยกตามจุดวัดหรือมิเตอร์ในรายเดือน ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานที่มีหลายรูปแบบทำให้มีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการศึกษานี้ โดยทำการวิเคราะห์จากการตรวจสอบข้อมูลการใช้พลังงานที่มีข้อมูลซ้ำกัน ตรวจสอบข้อมูลพลังงานที่ไม่เท่ากันในบางส่วน และทำการจัดกลุ่มข้อมูลให้สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น

ในการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้มีวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการหาเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูลการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis) โดยทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัยและการใช้พลังงานของหน่วยงาน ซึ่งคิดค่าดัชนีการใช้พลังงานจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/year) และค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/year) โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดของทุกอาคารและทุกหน่วยงานมาคำนวณหาค่ามัธยฐาน (Median)

ค่าเฉลี่ย (Mean/ Average) และจัดกลุ่มการให้คะแนนประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของแต่ละอาคารหรือหน่วยงานจากค่าดัชนีการใช้พลังงานในรูปแบบกลุ่มร้อยละ (Percentile ranking) เพื่อจัดกลุ่มอาคารหรือหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

3.5.2 การหาการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน

การหาการกระจายตัวของข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารหรือหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัย โดยการนำข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดมาจัดเรียงจากน้อยที่สุดไปยังมากที่สุด ทั้งจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่และค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน โดยทำการแบ่งข้อมูลตามอันตรภาคชั้น (Range) เพื่อหาความถี่ (Frequency) ของค่าดัชนีการใช้พลังงานของแต่ละโรงเรียน รวมทั้งการหาร้อยละความถี่สะสม (Cumulative percentile) และทำแผนภูมิแสดงการกระจายตัว (Histogram) สำหรับเปรียบเทียบการกระจายตัวกับการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในเกณฑ์อื่นๆ

3.5.3 การทำนายค่าการใช้พลังงานจากสมการการวิเคราะห์ถดถอย

การทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารหรือหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัย จากการหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาค่าการใช้พลังงานในอนาคต ด้วยการทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) โดยการคำนวณหาตัวแปรตามจากตัวแปรต้นดังในสมการ (3.5) จากการคำนวณสมการถดถอยหลายตัวแปรด้วยปัจจัยต่างๆ ของมหาวิทยาลัย ทั้งจากค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมา พื้นที่ภายในอาคาร พื้นที่ปรับอากาศ จำนวนผู้ใช้งาน ทั้งจำนวนนิสิต คณาจารย์และบุคลากร จำนวนชั่วโมงปฏิบัติการ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ตัวแปรตาม โดยตัวแปรที่จะใช้สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยต้องเป็นตัวแปรที่มีการกระจายตัวแบบปกติ จึงอาจทำให้ต้องมีการแปลงค่าตัวแปรด้วยวิธี Logarithm ก่อนทำการวิเคราะห์การถดถอย และทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R square) สำหรับการพยากรณ์เพื่อให้ผู้บริหาร หรือหน่วยงานจัดการอาคารสามารถวางแผนการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดต่อไป

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots\ldots + a_xx_x + b \qquad (3.5)$$

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม

$x_1, x_2, \ldots, x_n$ = ตัวแปรต้น

a = Regression coefficient คือ ค่าของ Y ที่เปลี่ยนแปลง เมื่อค่า x_n เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ X ตัวอื่นๆ มีค่าคงที่

b = จุดตัดแกน Y หรือค่า Intercept

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
รายละเอียดของกรณีศึกษา และผลการศึกษา

4.1 รายละเอียดของกรณีศึกษา

จากการศึกษาถึงการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัย ในกรณีศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีรายละเอียดของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ ดังต่อไปนี้

4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นสถานศึกษาในระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งประกอบไปด้วย บัณฑิตวิทยาลัย สถาบัน วิทยาลัย สำนักวิชาการ สถาบันวิจัย สถาบันบริการ ศูนย์ สำนัก สถาบันสมทบ รวมถึงคณะต่างๆ และภาควิชาอีกจำนวนมาก โดยมีจำนวนคณะ หน่วยงาน และสำนักต่างๆ รวมทั้งสิ้น 42 แห่ง (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [online], 2558) โดยภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยประกอบไปด้วยอาคารจำนวน 174 อาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ผังบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากอาคารทั้งหมด 174 อาคาร ปัจจุบันได้ทำการแบ่งอาคารเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1.) อาคารสำนักงานมหาวิทยาลัย มีอาคารทั้งสิ้น 47 อาคาร ประกอบไปด้วยอาคารประเภทอาคารสำนักงาน อาคารกีฬา เรือนไทย หอสมุด หอประชุม พิพิธภัณฑ์ โรงพิมพ์ อาคารสมาคม เป็นต้น

2.) อาคารเรียนรวม มีอาคารทั้งสิ้น 7 อาคาร ประกอบไปด้วยอาคารจุฬาพัฒน์ 2 อาคารจุฬาพัฒน์ 4 อาคารจุฬาพัฒน์ 5 อาคารจุฬาพัฒน์ 13 อาคารบรมราชกุมารี อาคารพินิตประชานาถ และอาคารมหิตลาธิเบศร

3.) อาคารของคณะ มีอาคารทั้งสิ้น 104 อาคาร จาก 19 คณะ (ขาดอาคารจากคณะแพทยศาสตร์) ประกอบไปด้วยอาคารประเภทอาคารเรียน อาคารปฏิบัติการ ห้องสมุด โรงอาหาร โรงพยาบาล เป็นต้น

4.) อาคารของสถาบัน ศูนย์ วิทยาลัย และอาคารอื่นๆ มีอาคารทั้งสิ้น 16 อาคาร ประกอบไปด้วยสถาบัน ศูนย์ วิทยาลัยต่างๆ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์บริการสาธารณสุข สำนักงาน เป็นต้น

5.) อาคารประเภทที่พักและหอพัก มีอาคารทั้งสิ้น 13 อาคาร

ในการศึกษานี้เลือกทำการศึกษาในอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คัดเลือกจากอาคารที่เป็นอาคารสาธารณะ และมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีการใช้งานที่หลากหลาย ในอาคารประเภทอาคารสำนักงานของมหาวิทยาลัย อาคารเรียนรวม อาคารของคณะ และอาคารของสถาบัน ศูนย์ วิทยาลัย หรืออาคารอื่นๆ โดยไม่รวมอาคารโรงพยาบาล ที่พักและหอพัก คณะแพทยศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และไม่รวมพื้นที่ภายนอกอาคาร ซึ่งมีจำนวนอาคารที่ทำการศึกษาเบื้องต้นโดยประมาณ 174 อาคาร ทั้งนี้ หลังจากได้วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานแล้วนั้น พบว่ามีอาคารที่มีข้อมูลการใช้พลังงานครบถ้วนที่สามารถทำการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานได้ทั้งสิ้น 92 อาคาร และมีข้อมูลการใช้พลังงานสำหรับวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในหน่วยงานทั้งสิ้น 35 หน่วยงาน

การเก็บข้อมูลพื้นที่ของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้งสิ้น 92 อาคาร ได้ทำการขอข้อมูลจากการขอข้อมูลจากสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และจากการค้นหาข้อมูลภายในเว็บไซต์ของสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เบื้องต้นได้ลงรายละเอียดข้อมูลอาคารบางส่วนไว้ ทั้งนี้ จากการรวบรวมข้อมูลทำให้ได้ข้อมูลรายละเอียด

ของอาคาร ดังแสดงในตารางที 4.1 และในการนี้ได้ทำการแบ่งประเภทอาคารออกเป็น 4 ประเภท เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละประเภทอาคารต่อไป โดยมีประเภทอาคารต่างๆ ดังนี้

1.) อาคารประเภทที่ 1 หมายถึง อาคารสำนักงาน (Office)
2.) อาคารประเภทที่ 2 หมายถึง อาคารเรียน (Lecture)
3.) อาคารประเภทที่ 3 หมายถึง อาคารอเนกประสงค์ หรืออาคารอื่นๆ (Extra)
4.) อาคารประเภทที่ 4 หมายถึง อาคารวิจัย (Laboratory)

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ทำการศึกษา

ชื่ออาคาร	รหัสอาคาร	ประเภทอาคาร	จำนวนพื้นที่ (ตร.ม.)
ไชยยศสมบัติ	ACC 01	2	12,483.44
อาคารบัณฑิต กันตะบุตร (ศูนย์คำนวณสถิติ)	ACC 06	2	841.47
อนุสรณ์ 50 ปี	ACC 08	2	6,484.50
จุฬาพัฒน์ 1	AHS 01	2	3,828.18
จุฬาพัฒน์ 3	AHS 03	4	981.88
อาคารสถาปัตยกรรม 1 และนารถ โพธิประสาท	ARC 01, 05	2	17,372.33
อาคารสถาปัตยกรรม 2	ARC 02	2	3,651.69
อาคารเลิศ อุรัสยะนันท์	ARC 03	2	3,840.46
อาคารโวฒยากร	ARC 04	2	2,431.37
มหาวชิราวุธ	ART 02	2	7,045.50
มหาจักรีสิรินธร	ART 05	2	13,116.34
อาคารจามจุรี 1	CEN 01	1	1,567.36
อาคารจามจุรี 6 (สนง.จัดการทรัพย์สิน)	CEN 05	1	1,157.22
สนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	CEN 06	3	30,167.71
สนามกีฬาในร่ม	CEN 07	3	5,887.01

ชื่ออาคาร	รหัสอาคาร	ประเภทอาคาร	จำนวนพื้นที่ (ตร.ม.)
ธรรมสถาน	CEN 08	3	927.51
อาคารวิทยพัฒนา	CEN 17	1	7,776.12
อาคารยานยนต์ โรงซ่อมรถ	CEN 20	3	579.01
ศาลาพระเกี้ยว	CEN 31	3	5,776.99
อาคารเปรมบูรฉัตร	CEN 32	3	5,801.84
อาคารแว่นแก้ว คลังเก็บเอกสาร	CEN 42	3	1,216.70
ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรม 3 (เรือนไทย)	CEN 46	3	1,602.51
อาคารจามจุรี 4	CEN 47	1	4,094.27
อาคารพินิตประชานาถ	CEN 51	2	10,470.12
อาคารบรมราชกุมารี	CEN 53	1	18,556.73
เรือนภะรตราชา	CEN 56	3	325.39
อาคารจามจุรี 2	CEN 58	1	1,420.76
อาคารจามจุรี 3	CEN 59	1	2,665.17
อาคารจุลจักรพงษ์	CEN 60	3	6,403.95
เรือนจุฬานฤมิต	CEN 61	3	326.80
อาคารจามจุรี 5	CEN 62	1	11,685.45
สโมสรสนามเทนนิส	CEN 65	3	122.78
อาคารจามจุรี 8 (หอศิลป์จามจุรี)	CEN 66	3	3,944.64
อาคารมหาจุฬาลงกรณ์	CEN 67	2	4,057.02
อาคารมหิตลาธิเบศร	CEN 68	2	31,651.22
อาคารจุฬาวิชช์ 1	CEN 69	2	3,936.29
อาคารจุฬาพัฒน์ 4	CEN 70	2	2,429.75
อาคารจุฬาพัฒน์ 2	CEN 71	4	2,123.23

ชื่ออาคาร	รหัสอาคาร	ประเภทอาคาร	จำนวนพื้นที่ (ตร.ม.)
อาคารจุฬาพัฒน์ 5	CEN 73	2	1,389.91
อาคารจุฬาพัฒน์ 9	CEN 74	3	693.21
อาคารจุฬาพัฒน์ 10	CEN 75	3	790.81
อาคารหน่วยบริการอาคาร	CEN 76	3	2,023.32
อาคารจามจุรี 9	CEN 77	1	46,603.04
อาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ	CEN 78	2	12,385.83
อาคารศิลปวัฒนธรรม	CEN 80	3	4,766.82
หอนิทรรศการ	CEN 81	3	3,134.05
อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	CEN 84	4	12,469.07
อาคารจุฬาพัฒน์ 13	CEN 86	2	10,452.74
อาคารศูนย์กีฬาและนันทนาการ	CEN 87	3	22,561.92
นิเทศศาสตร์ 1	COM 01	2	4,688.75
นิเทศศาสตร์ 2	COM 02	2	2,042.44
มงกุฎสมมุติเทววงค์	COM 03	2	8,849.44
เศรษฐศาสตร์	ECO 01	2	9,653.04
อาคารพูนทรัพย์ นพวงศ์ ณ อยุธยา	EDU 01	2	2,919.41
ครุศาสตร์ 3	EDU 03	2	10,862.60
ครุศาสตร์ 4	EDU 04	2	3,366.31
ครุศาสตร์ 6	EDU 06	2	1,205.39
ครุศาสตร์ศิลปศึกษา	EDU 08	2	2,145.23
เฉลิมพระเกียรติพระมิ่งขวัญการศึกษาไทย	EDU 11	2	2,500.00
วิศวกรรมศาสตร์ 3	ENG 03	2	14,469.88
กิจการนิสิต อรุณสรเทศน์	ENG 05	2	531.30

ชื่ออาคาร	รหัสอาคาร	ประเภทอาคาร	จำนวนพื้นที่ (ตร.ม.)
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีและวิศวกรรมสถาน	ENG 27	4	1,922.38
วิศวกรรมศาสตร์ 4	ENG 28	3	23,244.81
วิศวกรรมศาสตร์ 5	ENG 29	4	9,570.37
ปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธาฯ	ENG 30	4	6,940.48
อาคารศิลปกรรม 1	FAA 01	2	3,534.35
วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ	INS 01	2	3,655.14
อาคารสถาบัน 2	INS 02	4	7,727.70
อาคารมหาธีรราชานุสรณ์ (หอกลาง)	INS 04	3	22,125.98
บัณฑิตวิทยาลัย	INS 06	1	942.70
อาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี	INS 09	2	4,618.85
อาคารศศปาฐศาลา	INS 10	2	25,680.06
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	INS 11	4	9,053.90
อาคารสถาบัน 3	INS 12	4	13,428.20
เทพทวาราวดี	LAW 03	2	15,237.52
สำราญราษฎร์บริรักษ์	POL 01	2	1,572.04
วรภักดิ์พิบูลย์	POL 02	2	1,318.00
ชีววิทยาและเคมี 2	SCI 01	4	7,330.71
ฟิสิกส์	SCI 03	4	5,361.88
เทคโนโลยีทางอาหาร	SCI 05	4	2,201.28
เคมีเทคนิค (ประสม สถาปิตานนท์)	SCI 06	4	3,114.01
ธรณีวิทยาและพฤษศาสตร์	SCI 07	4	10,996.18
วิทยาศาสตร์ทั่วไป	SCI 08	4	3,295.93
อาคารคลุ้ม วัชโรบล	SCI 10	4	7,274.89

ชื่ออาคาร	รหัสอาคาร	ประเภทอาคาร	จำนวนพื้นที่ (ตร.ม.)
อาคารแถบ นีละนิธิ	SCI 20	4	10,029.91
มหามกุฏ	SCI 25	2	49,653.64
วิจัยและตรวจสอบอัญมณี	SCI 26	4	3,555.36
มหาวชิรุณหิศ (อาคารนวัตกรรมอาหารฯ)	SCI 28	4	18,432.15
จุฬาพัฒน์ 7	SSS 01	2	1,341.91
จุฬาพัฒน์ 8	SSS 02	2	886.61
จุฬาพัฒน์ 11 (อาคารล็อกเกอร์)	SSS 03	3	197.75
จุฬาพัฒน์ 12	SSS 04	2	910.64
ค่าเฉลี่ยพื้นที่ของอาคาร	-	-	7,547.94

การเก็บข้อมูลพื้นที่อาคารของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้งสิ้น 35 หน่วยงาน จากการขอข้อมูลจากสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลทำให้ได้ข้อมูลรายละเอียดพื้นที่ของหน่วยงานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดพื้นที่อาคารของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ทำการศึกษา

ชื่อหน่วยงาน	จำนวนพื้นที่ (ตร.ม.)
สำนักงานมหาวิทยาลัย	185,290.86
บัณฑิตวิทยาลัย	2,079.38
คณะครุศาสตร์	22,998.94
คณะนิติศาสตร์	15,237.52
คณะนิเทศศาสตร์	15,572.88
คณะพาณิชย์ศาสตร์และการบัญชี	23,128.62
คณะรัฐศาสตร์	26,379.45

ชื่อหน่วยงาน	จำนวนพื้นที่ (ตร.ม.)
คณะวิทยาศาสตร์	102,813.79
คณะวิศวกรรมศาสตร์	68,979.66
คณะเศรษฐศาสตร์	9,653.04
คณะศิลปกรรมศาสตร์	9,155.33
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	27,295.85
คณะอักษรศาสตร์	24,918.61
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	6,612.77
วิทยาลัยประชากรศาสตร์	1,197.27
วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข	1,441.21
สถาบันภาษา	5,801.84
สถาบันวิจัยสังคม	2,093.88
ศูนย์วิทยทรัพยากร	22,125.98
สถาบันการขนส่ง	453.65
สถาบันเอเชียศึกษา	1,122,45
สถาบันไทยศึกษา	675.38
สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์	2,895.95
สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ	607.69
สถาบันวิจัยพลังงาน	587.52
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ	4,363.61
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม	1,791.17
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	2,326.02
ศูนย์กีฬาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	54,134.62
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	5,510.50

ชื่อหน่วยงาน	จำนวนพื้นที่ (ตร.ม.)
คณะสหเวชศาสตร์	9,587.76
คณะจิตวิทยา	3,654.61
ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล	1,257.73
ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและ	1,269.09
คณะพยาบาลศาสตร์	4,292.53
ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ต่อหน่วยงาน	19,593.67

4.1.2 ลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อาคารภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีผู้ใช้งานภายในมหาวิทยาลัยหลากหลายประเภท ทั้งนิสิต คณาจารย์ เจ้าหน้าที่บุคลากร และบุคคลทั่วไป ซึ่งจำนวนผู้ใช้งานประจำในช่วงปีการศึกษา 2557 สามารถแบ่งได้เป็น จำนวนนิสิตระดับปริญญาตรีจำนวน 25,319 คน นิสิตระดับปริญญาโท จำนวน 9,364 คน นิสิตระดับปริญญาเอกจำนวน 2,628 คน จำนวนนิสิตทั้งหมดรวมทั้งนิสิตระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต และประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูงเป็นจำนวนทั้งสิ้น 38,024 คน และจำนวนบุคลากรทั้งข้าราชการและพนักงานมหาวิทยาลัยมีทั้งสิ้น 8,014 คน (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [online], 2558)

จากการเก็บข้อมูลผู้ใช้งานภายในมหาวิทยาลัยในช่วงปีการศึกษา 2557 ที่เก็บข้อมูลการใช้งานตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2557 โดยแบ่งการเก็บข้อมูลผู้ใช้อาคารเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1.2.1 ข้อมูลจำนวนนิสิต

การเก็บข้อมูลจำนวนนิสิตในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทำการโดยการขอข้อมูลจากสำนักงานการทะเบียน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ข้อมูลจำนวนนิสิตตามตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 จำนวนนิสิตภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะ/หน่วยงาน	ปริญญาตรี	ปริญญาโท	รวมทั้งหมด
บัณฑิตวิทยาลัย	-	1,099	1,099
คณะวิศวกรรมศาสตร์	3,616	1,760	5,376
คณะอักษรศาสตร์	1,649	527	2,176
คณะวิทยาศาสตร์	2,910	1,486	4,396
คณะรัฐศาสตร์	1,028	743	1,771
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	1,573	246	1,819
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี	2,859	2,201	5,060
คณะครุศาสตร์	1,981	1,168	3,149
คณะนิเทศศาสตร์	993	224	1,217
คณะเศรษฐศาสตร์	1,113	394	1,507
คณะนิติศาสตร์	1,330	547	1,877
คณะศิลปกรรมศาสตร์	612	240	852
คณะสหเวชศาสตร์	716	110	826
คณะจิตวิทยา	454	95	549
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	464	185	649
สำนักวิชาทรัพยากรการเกษตร	171	-	171
วิทยาลัยประชากรศาสตร์	-	52	52
วิทยาลัยสาธารณสุข	-	178	178
คณะพยาบาลศาสตร์	-	404	404
รวม	21,469	11,659	33,128

4.1.2.2 ข้อมูลจำนวนคณาจารย์และบุคลากร

หน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์ในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1.) คณะ จำนวนทั้งสิ้น 15 คณะ โดยประกอบไปด้วย คณะสหเวชศาสตร์ คณะนิเทศศาสตร์ คณะจิตวิทยา คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ คณะรัฐศาสตร์ คณะ-วิทยาศาสตร์ทางกีฬา คณะครุศาสตร์ คณะนิติศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ คณะพาณิชย์ศาสตร์และการบัญชี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะพยาบาลศาสตร์

2.)สถาบันและวิทยาลัย จำนวนทั้งสิ้น 14 หน่วยงาน โดยประกอบไปด้วย บัณฑิต-วิทยาลัย วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข วิทยาลัยประชากรศาสตร์ สถาบันวิจัยทรัพยากรน้ำ สถาบันภาษา สถาบันวิจัยสังคม สถาบันการขนส่ง สถาบันวิจัยพลังงาน สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ สถาบันไทยศึกษา สถาบันเอเชียศึกษา และสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม

3.)สำนักงาน จำนวนทั้งสิ้น 2 หน่วยงาน โดยประกอบด้วย สำนักงานมหาวิทยาลัย และสำนักงานจัดการทรัพย์สิน

4.)ศูนย์ จำนวนทั้งสิ้น 6 หน่วยงาน โดยประกอบด้วย ศูนย์กีฬาแห่งจุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการฯ ศูนย์บริการวิชาการ ศูนย์วิทยทรัพยากร ศูนย์-วิทยาศาสตร์ฮาลาล และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ซึ่งจากหน่วยงานทั้งหมด สามารถจำแนกผู้ใช้งานภายในอาคารประเภทจำนวนคณาจารย์และบุคลากรได้เป็น 2 ลักษณะ คือ คณาจารย์หรือบุคลากรในตำแหน่งวิชาการ และบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยจากสายวิชาการและสายสนับสนุน

การเก็บข้อมูลจำนวนบุคลากรในตำแหน่งวิชาการภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทำการโดยการขอข้อมูลจากสำนักบริหารทรัพยากรมนุษย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ข้อมูลจำนวนบุคลากรในตำแหน่งวิชาการ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 จำนวนบุคลากรในตำแหน่งวิชาการภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะ/หน่วยงาน	ศ.	รศ.	ผศ.	อ.	อ. สาธิต	นักวิจัย AR5	รวม
คณะครุศาสตร์	3	31	78	145	85	-	342
คณะจิตวิทยา	-	1	5	16	-	-	22

คณะ/หน่วยงาน	ศ.	รศ.	ผศ.	อ.	อ. สาธิต	นักวิจัย AR5	รวม
คณะนิติศาสตร์	6	6	5	25	-	-	42
คณะนิเทศศาสตร์	1	10	13	20	-	-	44
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี	2	30	31	58	-	-	121
คณะรัฐศาสตร์	5	18	23	12	-	-	58
คณะวิทยาศาสตร์	17	96	166	148	-	-	427
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	1	7	6	13	-	-	27
คณะวิศวกรรมศาสตร์	12	100	112	64	-	-	288
คณะศิลปกรรมศาสตร์	5	11	16	14	-	-	46
คณะเศรษฐศาสตร์	1	16	14	23	-	-	54
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	2	16	45	30	-	-	93
คณะสหเวชศาสตร์	-	6	21	25	-	-	52
คณะอักษรศาสตร์	5	24	43	122	-	-	194
คณะพยาบาลศาสตร์	1	7	12	8	-	-	28
สำนักวิชาทรัพยากรการเกษตร	-	-	-	9	-	-	9
วิทยาลัยประชากรศาสตร์	1	3	3	3	-	-	10
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	3	8	8	4	-	-	23
วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข	-	3	5	4	-	-	12
สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพฯ	-	-	2	7	-	1	10
สถาบันภาษา	-	6	24	62	-	-	92
สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ	-	-	-	2	-	2	4
สถาบันวิจัยพลังงาน	-	-	-	-	-	5	5
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ	-	-	3	4	-	3	10

คณะ/หน่วยงาน	ศ.	รศ.	ผศ.	อ.	อ. สาธิต	นักวิจัย AR5	รวม
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม	-	1	3	5	-	4	13
สถาบันวิจัยสังคม	-	-	-	4	-	2	6
สถาบันเอเชียศึกษา	-	-	-	-	-	2	2
สำนักงานมหาวิทยาลัย	5	-	-	-	-	-	5
รวม	70	400	638	827	85	19	2,039

การเก็บข้อมูลจำนวนบุคลากรภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทำการโดยการขอข้อมูลจากสำนักบริหารทรัพยากรมนุษย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ข้อมูลจำนวนบุคลากรทั้งสิ้นภายในมหาวิทยาลัยจากบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน ซึ่งบุคลากรสายวิชาการประกอบไปด้วย ข้าราชการ พนักงานมหาวิทยาลัย พนักงานวิสามัญ และลูกจ้างชั่วคราว ส่วนบุคลากรสายสนับสนุนประกอบไปด้วย ข้าราชการพนักงานมหาวิทยาลัย พนักงานรักษาความปลอดภัย พนักงานวิสามัญ ลูกจ้างชั่วคราว ลูกจ้างประจำเงินงบประมาณ และลูกจ้างประจำเงินนอก โดยมีรายละเอียดบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 จำนวนบุคลากรภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะ/หน่วยงาน	บุคลากรสายวิชาการ	บุคลากรสายสนับสนุน	รวม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-	9	9
คณะครุศาสตร์	334	254	588
คณะจิตวิทยา	22	29	51
คณะนิติศาสตร์	40	68	108
คณะนิเทศศาสตร์	43	55	98
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี	119	178	297
คณะรัฐศาสตร์	58	80	138

คณะ/หน่วยงาน	บุคลากรสายวิชาการ	บุคลากรสายสนับสนุน	รวม
คณะวิทยาศาสตร์	428	343	771
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	28	30	58
คณะวิศวกรรมศาสตร์	287	268	555
คณะศิลปกรรมศาสตร์	45	39	84
คณะเศรษฐศาสตร์	54	81	135
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	94	64	158
คณะสหเวชศาสตร์	53	65	118
คณะอักษรศาสตร์	192	112	304
คณะพยาบาลศาสตร์	28	25	53
บัณฑิตวิทยาลัย	-	89	89
วิทยาลัยประชากรศาสตร์	10	20	30
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	23	43	66
วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข	12	53	65
สก.ศึกษาวิจัยทรัพยากรการเกษตร	9	21	30
สถาบันการขนส่ง	-	12	12
สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและ	10	20	30
สถาบันไทยศึกษา	-	6	6
สถาบันภาษา	89	66	155
สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ	3	36	39
สถาบันวิจัยพลังงาน	5	16	21
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ	9	27	36
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม	11	30	41
สถาบันวิจัยสังคม	5	25	30

คณะ/หน่วยงาน	บุคลากรสายวิชาการ	บุคลากรสายสนับสนุน	รวม
สถาบันเอเชียศึกษา	2	40	42
สภาคณาจารย์	-	4	4
สำนักงานการทะเบียน	-	53	53
สำนักงานวิทยทรัพยากร	-	103	103
สำนักงานมหาวิทยาลัย	5	1,189	1,194
รวม	2,018	3,553	5,571

การเก็บข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานทั้งหมดภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทำการโดยการขอข้อมูลจากสำนักบริหารทรัพยากรมนุษย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำนักงานการทะเบียน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถสรุปผลข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคารทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัย ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลสรุปจำนวนผู้ใช้งานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะ/หน่วยงาน	ตำแหน่งวิชาการ	บุคลากร	รวมบุคลากร	นิสิต	รวมทั้งหมด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-	9	9	-	9
คณะครุศาสตร์	342	588	930	3,149	4,079
คณะจิตวิทยา	22	51	73	549	622
คณะนิติศาสตร์	42	108	150	1,877	2,027
คณะนิเทศศาสตร์	44	98	142	1,217	1,359
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี	121	297	418	5,060	5,478
คณะรัฐศาสตร์	58	138	196	1,771	1,967
คณะวิทยาศาสตร์	427	771	1,198	4,396	5,594
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	27	58	85	649	734

คณะ/หน่วยงาน	ตำแหน่งวิชาการ	บุคลากร	รวมบุคลากร	นิสิต	รวมทั้งหมด
คณะวิศวกรรมศาสตร์	288	555	843	5,376	6,219
คณะศิลปกรรมศาสตร์	46	84	130	852	982
คณะเศรษฐศาสตร์	54	135	189	1,507	1,696
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	93	158	251	1,819	2,070
คณะสหเวชศาสตร์	52	118	170	826	996
คณะอักษรศาสตร์	194	304	498	2,176	2,674
คณะพยาบาลศาสตร์	28	53	81	404	485
สำนักวิชาทรัพยากรการเกษตร	9	30	39	171	210
บัณฑิตวิทยาลัย	-	89	89	1,099	1,188
วิทยาลัยประชากรศาสตร์	10	30	40	52	92
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	23	66	89	-	89
วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข	12	65	77	178	255
สถาบันการขนส่ง	-	12	12	-	12
สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและ	10	30	40	-	40
สถาบันไทยศึกษา	-	6	6	-	6
สถาบันภาษา	92	155	247	-	247
สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ	4	39	43	-	43
สถาบันวิจัยพลังงาน	5	21	26	-	26
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ	10	36	46	-	46
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม	13	41	54	-	54
สถาบันวิจัยสังคม	6	30	36	-	36
สถาบันเอเชียศึกษา	2	42	44	-	44

คณะ/หน่วยงาน	ตำแหน่งวิชาการ	บุคลากร	รวมบุคลากร	นิสิต	รวมทั้งหมด
สภาคณาจารย์	-	4	4	-	4
สำนักงานการทะเบียน	-	53	53	-	53
สำนักงานวิทยทรัพยากร	-	103	103	(1,923)	2,026
สำนักงานมหาวิทยาลัย	5	1,194	1,199	-	1,199
รวม	2,039	5,571	7,610	33,128	42,661

จากข้อมูลผู้ใช้งานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสามารถแบ่งกลุ่มผู้ใช้งานภายในอาคารได้เป็น 2 ประเภท คือ นิสิต คณาจารย์หรือบุคลากรตำแหน่งวิชาการ และบุคลากร โดยในกลุ่มผู้ใช้อาคารกลุ่มนิสิตมีจำนวนทั้งหมด 33,128 คน จาก 15 คณะ และ 4 วิทยาลัย กลุ่มคณาจารย์หรือบุคลากรตำแหน่งวิชาการมีจำนวนทั้งสิ้น 2,039 คน จาก 15 คณะ 4 วิทยาลัย 8 สถาบัน และในกลุ่มบุคลากรที่ประกอบจากบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน มีจำนวนทั้งสิ้น 5,571 คน โดยที่จำนวนผู้ใช้งานภายในจุฬาลงกรณ์วิทยาลัยจากการศึกษานี้มีจำนวนทั้งหมด 42,661 คน

4.1.3 ข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร

การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคารได้เก็บข้อมูลจากการขอข้อมูลจากสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งข้อมูลการใช้พลังงานอยู่ในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ.2557 ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ.2557 รวมเป็นระยะเวลา 1 ปีเต็ม ซึ่งมีรายละเอียดการใช้พลังงานของแต่ละอาคารทั้งสิ้น 92 อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
ไชยยศสมบัติ	1,180,490	12,483.44	94.56
อาคารบัณฑิต กันตะบุตร	9,840	841.47	11.69

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อนุสรณ์ 50 ปี	735,965	6,484.50	113.50
จุฬาพัฒน์ 1	319,497	3,828.18	83.46
จุฬาพัฒน์ 3	65,399	981.88	66.61
อาคารสถาปัตยกรรม 1และนารถฯ	828,000	17,372.33	47.66
อาคารสถาปัตยกรรม 2	78,000	3,651.69	21.36
อาคารเลิศ อุรัสยะนันท์	16,800	3,840.46	4.37
อาคารโวฒยากร	185,200	2,431.37	76.17
มหาวชิราวุธ	590,009	7,045.50	83.74
มหาจักรีสิรินธร	1,022,142	13,116.34	77.93
อาคารจามจุรี 1	309,796	1,567.36	197.65
อาคารจามจุรี 6 (สนง.จัดการทรัพย์สิน)	165,924	1,157.22	143.38
สนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	225,930	30,167.71	7.49
สนามกีฬาในร่ม	150,880	5,887.01	25.63
ธรรมสถาน	39,600	927.51	42.69
อาคารวิทยพัฒนา	712,703	7,776.12	91.65
อาคารยานยนต์ โรงซ่อมรถ	32,797	579.01	56.64
ศาลาพระเกี้ยว	422,640	5,776.99	73.16
อาคารเปรมบูรฉัตร	649,600	5,801.84	111.96
อาคารแว่นแก้ว คลังเก็บเอกสาร	10,499	1,216.70	8.63
ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรม 3 (เรือนไทย)	9,373	1,602.51	5.85

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อาคารจามจุรี 4	360,360	4,094.27	88.02
อาคารพินิตประชานาถ	537,202	10,470.12	51.31
อาคารบรมราชกุมารี	832,409	18,556.73	44.86
เรือนภะรตราชา	10,920	325.39	33.56
อาคารจามจุรี 2	156,876	1,420.76	110.42
อาคารจามจุรี 3	653,998	2,665.17	245.39
อาคารจุลจักรพงษ์	426,560	6,403.95	66.61
เรือนจุฬานฤมิต	1,503	326.80	4.60
อาคารจามจุรี 5	1,477,999	11,685.45	126.48
สโมสรสนามเทนนิส	59,496	122.78	484.57
อาคารจามจุรี 8 (หอศิลป์จามจุรี)	242,000	3,944.64	61.35
อาคารมหาจุฬาลงกรณ์	176,991	4,057.02	43.63
อาคารมหิตลาธิเบศร	1,353,320	31,651.22	42.76
อาคารจุฬาวิชช์ 1	155,282	3,936.29	39.45
อาคารจุฬาพัฒน์ 4	194,864	2,429.75	80.20
อาคารจุฬาพัฒน์ 2	122,381	2,123.23	57.64
อาคารจุฬาพัฒน์ 5	21,750	1,389.91	15.65
อาคารจุฬาพัฒน์ 9	95,700	693.21	138.05
อาคารจุฬาพัฒน์ 10	19,500	790.81	24.66
อาคารหน่วยบริการอาคาร	199,194	2,023.32	98.45
อาคารจามจุรี 9	2,682,000	46,603.04	57.55
อาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ	634,000	12,385.83	51.19

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อาคารศิลปวัฒนธรรม	25,560	4,766.82	5.36
หอนิทรรศการ	138,800	3,134.05	44.29
อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1,132,000	12,469.07	90.78
อาคารจุฬาพัฒน์ 13	363,300	10,452.74	34.73
อาคารศูนย์กีฬาและนันทนาการ	855,100	22,561.92	37.90
นิเทศศาสตร์ 1	226,464	4,688.75	48.30
นิเทศศาสตร์ 2	55,664	2,042.44	27.25
มงกุฎสมมุติเทววงค์	382,320	8,849.44	43.24
เศรษฐศาสตร์	833,100	9,653.04	86.30
อาคารพูนทรัพย์ นพวงศ์ ณ อยุธยา	385,595	2,919.41	132.08
ครุศาสตร์ 3	684,000	10,862.60	62.97
ครุศาสตร์ 4	186,240	3,366.31	55.32
ครุศาสตร์ 6	84,660	1,205.39	70.23
ครุศาสตร์ศิลปศึกษา	18,060	2,145.23	8.42
เฉลิมพระเกียรติพระมิ่งขวัญการศึกษา	79,821	2,500.00	31.93
วิศวกรรมศาสตร์ 3	1,383,000	14,469.88	95.58
กิจการนิสิต อรุณสรเทศน์	11,220	531.30	21.12
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีและ	435,000	1,922.38	226.28
วิศวกรรมศาสตร์ 4	1,610,400	23,244.81	69.28
วิศวกรรมศาสตร์ 5	924,000	9,570.37	96.55
ปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธาฯ	231,000	6,940.48	33.28
อาคารศิลปกรรม 1	220,720	3,534.35	62.45

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ	111,060	3,655.14	30.38
อาคารสถาบัน 2	1,648,104	7,727.70	213.27
อาคารมหาธีรราชานุสรณ์ (หอกลาง)	2,060,000	22,125.98	93.10
บัณฑิตวิทยาลัย	45,702	942.70	48.48
อาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี	763,000	4,618.85	165.19
อาคารศศปาฐศาลา	1,814,000	25,680.06	70.64
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	1,165,760	9,053.90	128.76
อาคารสถาบัน 3	829,930	13,428.20	61.81
เทพทวาราวดี	998,798	15,237.52	65.55
สำราญราษฎร์บริรักษ์	337,360	1,572.04	214.60
วรภักดิ์พิบูลย์	173,220	1,318.00	131.43
ชีววิทยาและเคมี 2	396,480	7,330.71	54.08
ฟิสิกส์	115,280	5,361.88	21.50
เทคโนโลยีทางอาหาร	375,000	2,201.28	170.36
เคมีเทคนิค (ประสม สถาปิตานนท์)	30,240	3,114.01	9.71
ธรณีวิทยาและพฤษศาสตร์	847,000	10,996.18	77.03
วิทยาศาสตร์ทั่วไป	116,600	3,295.93	35.38
อาคารคลุ้ม วัชโรบล	1,293,399	7,274.89	177.79
อาคารแถบ นีละนิธิ	1,319,000	10,029.91	131.51
มหามกุฎ	4,350,560	49,653.64	87.62
วิจัยและตรวจสอบอัญมณี	41,760	3,555.36	11.75
มหาวชิรุณหิศ	1,094,245	18,432.15	59.37

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
จุฬาพัฒน์ 7	285,105	1,341.91	212.46
จุฬาพัฒน์ 8	52,220	886.61	58.90
จุฬาพัฒน์ 11 (อาคารล็อกเกอร์)	59,344	197.75	300.10
จุฬาพัฒน์ 12	236,916	910.64	260.16
รวม	49,001,496	694,411	-
ค่าเฉลี่ย	532,624.96	7,547.94	70.57

การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้เก็บข้อมูลจากการขอข้อมูลจากสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งข้อมูลการใช้พลังงานอยู่ในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ.2557 ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2557 รวมเป็นระยะเวลา 1 ปีเต็ม จำนวน 35 หน่วยงาน ซึ่งมีรายละเอียดการใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.8 มีรายละเอียดการใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงานต่อพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และมีรายละเอียดการใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงานต่อคน ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	จำนวนเงิน (บาท/ปี)
สำนักงานมหาวิทยาลัย	8,097,408	39,642,185.71
บัณฑิตวิทยาลัย	71,481	322,714.94
คณะครุศาสตร์	1,438,376	7,938,053.79
คณะนิติศาสตร์	998,798	4,288,321.18
คณะนิเทศศาสตร์	664,448	3,450,500.60

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	จำนวนเงิน (บาท/ปี)
คณะพาณิชย์ศาสตร์และการบัญชี	1,984,889	10,825,555.26
คณะรัฐศาสตร์	1,098,731	6,104,258.30
คณะวิทยาศาสตร์	10,047,384	47,192,631.83
คณะวิศวกรรมศาสตร์	6,317,193	31,017,519.43
คณะเศรษฐศาสตร์	833,100	4,111,753.80
คณะศิลปกรรมศาสตร์	380,538	1,811,335.71
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	1,108,000	5,406,896.81
คณะอักษรศาสตร์	1,921,676	9,505,487.60
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	1,216,877	5,724,508.00
วิทยาลัยประชากรศาสตร์	112,700	651,016.50
วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข	277,773	1,219,834.35
สถาบันภาษา	337,320	1,631,615.90
สถาบันวิจัยสังคม	104,118	530,649.50
ศูนย์วิทยทรัพยากร	2,060,000	8,246,945.58
สถาบันการขนส่ง	25,040	142,662.10
สถาบันเอเชียศึกษา	109,910	606,985.65
สถาบันไทยศึกษา	48,260	265,410.05
สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพฯ	265,000	1,122,271.95
สถาบันวิจัยทรัพยากรน้ำ	19,894	86,161.60
สถาบันวิจัยพลังงาน	41,475	171,900.05
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ	344,900	1,837,414.20
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม	212,784	883,010.30

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	จำนวนเงิน (บาท/ปี)
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ	520,039	2,356,969.28
ศูนย์กีฬาแห่งจุฬาลงกรณ์ฯ	1,227,039	6,728,685.38
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	273,869	1,263,954.28
คณะสหเวชศาสตร์	708,036	2,252,828.02
คณะจิตวิทยา	139,409	796,787.25
ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล	244,996	964,999.45
ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติฯ	62,303	234,392.25
คณะพยาบาลศาสตร์	184,190	1,098,359.65
รวม	43,497,954	210,434,576.25
ค่าเฉลี่ย	1,242,798.69	6,012,416.46

ตารางที่ 4.9 ผลสรุปข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
สำนักงานมหาวิทยาลัย	8,097,408	185,290.86	43.70
บัณฑิตวิทยาลัย	71,481	2,079.38	34.38
คณะครุศาสตร์	1,438,376	22,998.94	62.54
คณะนิติศาสตร์	998,798	15,237.52	65.55
คณะนิเทศศาสตร์	664,448	15,572.88	42.67
คณะพาณิชย์ศาสตร์และการบัญชี	1,984,889	23,128.62	85.82
คณะรัฐศาสตร์	1,098,731	26,379.45	41.65
คณะวิทยาศาสตร์	10,047,384	102,813.79	97.72

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
คณะวิศวกรรมศาสตร์	6,317,193	68,979.66	91.58
คณะเศรษฐศาสตร์	833,100	9,653.04	86.30
คณะศิลปกรรมศาสตร์	380,538	9,155.33	41.56
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	1,108,000	27,295.85	40.59
คณะอักษรศาสตร์	1,921,676	24,918.61	77.12
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	1,216,877	6,612.77	184.02
วิทยาลัยประชากรศาสตร์	112,700	1,197.27	94.13
วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข	277,773	1,441.21	192.74
สถาบันภาษา	337,320	5,801.84	58.14
สถาบันวิจัยสังคม	104,118	2,093.88	45.81
ศูนย์วิทยทรัพยากร	2,060,000	22,125.98	93.10
สถาบันการขนส่ง	25,040	453.65	55.20
สถาบันเอเชียศึกษา	109,910	1,122,45	97.92
สถาบันไทยศึกษา	48,260	675.38	71.46
สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพฯ	265,000	2,895.95	91.51
สถาบันวิจัยทรัพยากรน้ำ	19,894	607.69	32.74
สถาบันวิจัยพลังงาน	41,475	587.52	70.59
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ	344,900	4,363.61	79.04
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม	212,784	1,791.17	118.80
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ	520,039	2,326.02	223.57
ศูนย์กีฬาแห่งจุฬาลงกรณ์ฯ	1,227,039	54,134.62	22.67
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	273,869	5,510.50	49.70

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
คณะสหเวชศาสตร์	708,036	9,587.76	73.85
คณะจิตวิทยา	139,409	3,654.61	38.15
ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล	244,996	1,257.73	194.79
ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติฯ	62,303	1,269.09	49.09
คณะพยาบาลศาสตร์	184,190	4,292.53	67.52
รวม	43,497,954	666,185	-
ค่าเฉลี่ย	1,242,798.69	19,593.67	63.43

ตารางที่ 4.10 ผลสรุปข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อคน

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	จำนวนคน (คน)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/year)
สำนักงานมหาวิทยาลัย	8,097,408	1,199	6,753.47
บัณฑิตวิทยาลัย	71,481	1,188	60.17
คณะครุศาสตร์	1,438,376	4,079	352.63
คณะนิติศาสตร์	998,798	2,027	492.75
คณะนิเทศศาสตร์	664,448	1,359	488.92
คณะพาณิชย์ศาสตร์และการบัญชี	1,984,889	5,478	362.34
คณะรัฐศาสตร์	1,098,731	1,967	558.58
คณะวิทยาศาสตร์	10,047,384	5,594	1,796.10
คณะวิศวกรรมศาสตร์	6,317,193	6,219	1,015.79
คณะเศรษฐศาสตร์	833,100	1,696	491.21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	จำนวนคน (คน)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/year)
คณะศิลปกรรมศาสตร์	380,538	982	387.51
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	1,108,000	2,070	535.27
คณะอักษรศาสตร์	1,921,676	2,674	718.65
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	1,216,877	89	13,672.78
วิทยาลัยประชากรศาสตร์	112,700	92	1,225.00
วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข	277,773	255	1,089.31
สถาบันภาษา	337,320	247	1,365.67
สถาบันวิจัยสังคม	104,118	36	2,892.17
ศูนย์วิทยทรัพยากร	2,060,000	2,026	1,016.78
สถาบันการขนส่ง	25,040	12	2,086.67
สถาบันเอเชียศึกษา	109,910	44	2,497.95
สถาบันไทยศึกษา	48,260	6	8,043.33
สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพฯ	265,000	40	6,625.00
สถาบันวิจัยทรัพยากรน้ำ	19,894	43	462.65
สถาบันวิจัยพลังงาน	41,475	26	1,595.19
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ	344,900	46	7,497.83
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม	212,784	54	3,940.44
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ	520,039	42	12,381.88
ศูนย์กีฬาแห่งจุฬาลงกรณ์ฯ	1,227,039	200	6,135.20
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	273,869	734	373.12
คณะสหเวชศาสตร์	708,036	996	710.88
คณะจิตวิทยา	139,409	622	224.13

คณะ/หน่วยงาน	จำนวนหน่วย (kWh/year)	จำนวนคน (คน)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/year)
ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล	244,996	40	6,124.90
ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติฯ	62,303	22	2,831.95
คณะพยาบาลศาสตร์	184,190	485	379.77
รวม	43,497,954	42,689	-
ค่าเฉลี่ย	1,242,798.69	1,219.69	1,018.95

ข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่นำมาใช้วิเคราะห์ในงานวิจัยชิ้นนี้แบ่งออกได้เป็น 35 หน่วยงาน ซึ่งแต่ละหน่วยงานประกอบไปด้วยอาคารต่างๆ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.) สำนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 26 อาคาร ประกอบไปด้วย

1.1) อาคารธรรมสถาน

1.2) เรือนจุฬานฤมิต

1.3) เรือนภะรตราชา

1.4) ศาลาพระเกี้ยว

1.5) ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรม 3

1.6) อาคารจามจุรี 1

1.7) อาคารจามจุรี 2

1.8) อาคารจามจุรี 3

1.9) อาคารจามจุรี 4

1.10) อาคารจามจุรี 5

1.11) อาคารจามจุรี 6

1.12) อาคารจามจุรี 8

1.13) อาคารจามจุรี 9

1.14) อาคารจุลจักรพงษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.15) อาคารจุฬาพัฒน์ 9

1.16) อาคารจุฬาวิชช์ 1

1.17) อาคารมหาจุฬาลงกรณ์

1.18) อาคารยานยนต์

1.19) อาคารแว่นแก้ว

1.20) อาคารศิลปวัฒนธรรม

1.21) อาคารหน่วยบริการอาคาร

1.22) หอนิทรรศการ

1.23) อาคารจุฬาพัฒน์ 4

1.24) อาคารจุฬาพัฒน์ 5

1.25) อาคารพินิตประชานาถ

1.26) อาคารวิทยพัฒนา

2.) บัณฑิตวิทยาลัย ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 3 แห่ง ดังนี้

2.1) อาคารบัณฑิตวิทยาลัย

2.2) พื้นที่ชั้น 5 อาคารวิทยพัฒนา

2.3) พื้นที่ชั้น 13 อาคารบรมราชกุมารี

3.) ศูนย์วิทยทรัพยากร ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่อาคารมหาธีรราชานุสรณ์

4.) คณะครุศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 5 แห่ง ดังนี้

4.1) อาคารครุศาสตร์ 1,2

4.2) อาคารครุศาสตร์ 3

4.3) อาคารครุศาสตร์ 4

4.4) อาคารครุศาสตร์ 6

4.5) อาคารพระมิ่งขวัญการศึกษาไทย

5.) คณะจิตวิทยา ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 3 แห่ง ดังนี้

5.1) พื้นที่ชั้น 1,3 อาคารจุฬาพัฒน์ 5

5.2) พื้นที่ชั้น 5-8 อาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ

5.3) พื้นที่ชั้น 2 อาคารจุฬาพัฒน์ 13

6.) คณะนิติศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน1 แห่ง ที่อาคารเทพทวารวดี

7.) คณะนิเทศศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 3 แห่ง ดังนี้

7.1) อาคารนิเทศศาสตร์ 1

7.2) อาคารนิเทศศาสตร์ 2

7.3) อาคารมงกุฎสมมติวงศ์

8.) คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 5 แห่ง ดังนี้

8.1) อาคารไชยยศสมบัติ

8.2) อาคารบัณฑิต กันตะบุตร

8.3) อาคารอนุสรณ์ 50 ปี

8.4) พื้นที่ชั้น 1 ของอาคารมหิตลาธิเบศร

8.5) พื้นที่ชั้น 8-10 ของอาคารมหิตลาธิเบศร

9.) คณะรัฐศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 7 แห่ง ดังนี้

9.1) อาคารสำราญราษฎร์บริรักษ์

9.2) อาคารวรภักดิ์พิบูลย์

9.3) อาคารเกษมอุทยานิน

9.4) พื้นที่ชั้น 1 ของอาคารวิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ

9.5) พื้นที่ห้องสมุดคณะรัฐศาสตร์ที่อาคารวิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ

9.6) สถาบันความมั่นคงแห่งชาติที่อาคารวิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ

9.7) พื้นที่ชั้น 15 ของอาคารบรมราชกุมารี

10.) คณะวิทยาศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 11 แห่ง ดังนี้

10.1) อาคารชีววิทยาและเคมี 2

10.2) อาคารฟิสิกส์

10.3) อาคารเทคโนโลยีทางอาหาร

10.4) อาคารเคมีเทคนิค (ประสม สถาปิตานนท์)

10.5) อาคารธรณีวิทยาและพฤกษศาสตร์

10.6) อาคารวิทยาศาสตร์ทั่วไป

10.7) อาคารคลุ้ม วัชโรบล

10.8) อาคารแถบ นีละนิธิ

10.9) อาคารมหามกุฎ

10.10) อาคารวิจัยและตรวจสอบอัญมณี

10.11) อาคารมหาวชิรุณหิศ

11.) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 7 แห่ง ดังนี้

11.1) อาคารจุฬาพัฒน์ 7

11.2) อาคารจุฬาพัฒน์ 8

11.3) อาคารจุฬาพัฒน์ 10

11.4) อาคารจุฬาพัฒน์ 11 (อาคารล็อกเกอร์)

11.5) อาคารจุฬาพัฒน์ 12

11.6) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ

11.7) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารอาคารจุฬาพัฒน์ 13

12.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 15 แห่ง ดังนี้

12.1) อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 1-2

12.2) อาคารฮันส์ บันตลิ

12.3) อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่

12.4) อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

12.5) อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 3

12.6) อาคารกิจการนิสิต อรุณสรเทศน์

12.7) อาคารเจริญวิศวกรรม

12.8) อาคารชารลเอมส์นน เกเวอรด

12.9) อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า

12.10) อาคารทดลองเครื่องกลไฟฟ้า

12.11) อาคารศัลวิธานนิเทศ

12.12) อาคารภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีและวิศวกรรมสถาน

12.13) อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4

12.14) อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 5

12.15) อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

13.) คณะศิลปกรรมศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 6 แห่ง ดังนี้

13.1) อาคารศิลปกรรม 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

13.2) อาคารศิลปกรรม 3

13.3) พื้นที่ชั้น 1-3 ของอาคารจุฬาวิชช์

13.4) พื้นที่ชั้น 6 ของอาคารจุฬาวิชช์

13.5) พื้นที่ 1-2 ของอาคารบรมราชกุมารี

13.6) พื้นที่ชั้น 13-14 ของอาคารบรมราชกุมารี

14.) คณะเศรษฐศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่อาคารเศรษฐศาสตร์

15.) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 5 แห่ง ดังนี้

15.1) อาคารสถาปัตยกรรมศาสตร์ 1

15.2) อาคารนารถ โพธิประสาท

15.3) อาคารสถาปัตยกรรม 2

15.4) อาคารเลิศ อุรัสยะนันท์

15.5) อาคารโวฒยากร

16.) คณะสหเวชศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 7 แห่ง ดังนี้

16.1) อาคารจุฬาพัฒน์ 1

16.2) อาคารจุฬาพัฒน์ 2

16.3) อาคารจุฬาพัฒน์ 3

16.4) พื้นที่ชั้น 1 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 4

16.5) พื้นที่ชั้น 1 ของอาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ

16.6) พื้นที่ชั้น 3-4 ของอาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ

16.7) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 13

17.) คณะอักษรศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 5 แห่ง ดังนี้

17.1) อาคารมหาวชิราวุธ

17.2) อาคารมหาจักรีสิรินธร

17.3) ห้อง 204 ของอาคารจุฬาวิชช์ 1

17.4) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารบรมราชกุมารี

17.5) พื้นที่ชั้น 7-13 ของอาคารบรมราชกุมารี

18.) วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 3 แห่ง ดังนี้

18.1) พื้นที่ชั้น 1-8 ของอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

18.2) พื้นที่ชั้น 1 ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

18.3) พื้นที่ชั้น 5-7 ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19.) สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 2 แห่ง ดังนี้

19.1) พื้นที่ชั้น 1 ของอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

19.2) พื้นที่ชั้น 9-14 ของอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

20.) สถาบันไทยศึกษา ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 2 แห่ง ดังนี้

20.1) พื้นที่ชั้นลอย ของอาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี

20.2) พื้นที่ชั้น 9 ของอาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี

21.) สถาบันเอเชียศึกษา ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 2 แห่ง ดังนี้

21.1) พื้นที่ชั้น 1-3 ของอาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี

21.2) พื้นที่ชั้น 7 ของอาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี

22.) วิทยาลัยประชากรศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 3 แห่ง ดังนี้

22.1) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารประชาธิปกรำไพพรรณี

22.2) พื้นที่ชั้น 8 ของอาคารประชาธิปกรำไพพรรณี

22.3) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารวิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ

23.) สถาบันวิจัยสังคม ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 4 แห่ง ดังนี้

23.1) ชั้นลอยของอาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี

23.2) พื้นที่ชั้น 1 ของอาคารวิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ

23.3) พื้นที่ชั้น 3-4 ของอาคารวิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ

23.4) พื้นที่ชั้น 9 ของอาคารสถาบัน 3

24.) สถาบันการขนส่ง ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 2 แห่ง ดังนี้

24.1) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี

24.2) พื้นที่ชั้น 6 ของอาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี

25.) สถาบันภาษา ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่อาคารเปรมบูรฉัตร

26.) ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่พื้นที่ชั้น 11-12 ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

27.) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่พื้นที่ชั้น 9-10 ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

28.) ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 2 แห่ง ดังนี้

28.1) พื้นที่ชั้น 1 ของอาคารสถาบัน 2

28.2) พื้นที่ชั้น 3-4 ของอาคารสถาบัน 3

29.) สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่พื้นที่ชั้น 2-3 ของอาคารสถาบัน 2

30.) วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 2 แห่ง ดังนี้

30.1) พื้นที่ชั้น 3-5 ของอาคารสถาบัน 2

30.2) พื้นที่ชั้น 10-11 ของอาคารสถาบัน 3

31.) สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุกรรมศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่พื้นที่ชั้น 1และพื้นที่ชั้น 5-8 ของอาคารสถาบัน 3

32.) สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่ชั้น 9 ของอาคารสถาบัน 3

33.) สถาบันวิจัยพลังงาน ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 1 แห่ง ที่พื้นที่ชั้น 12 ของอาคารสถาบัน 3

34.) ศูนย์กีฬาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 4 แห่ง ดังนี้

34.1) สนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

34.2) สนามกีฬาในร่ม

34.3) อาคารศูนย์กีฬาและนันทนาการ

34.4) สโมสรสนามเทนนิส

35.) คณะพยาบาลศาสตร์ ประกอบไปด้วยพื้นที่จำนวน 4 แห่ง ดังนี้

35.1) พื้นที่ชั้น 3 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 4

35.2) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 5

35.3) พื้นที่ชั้น 9-12 ของอาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ

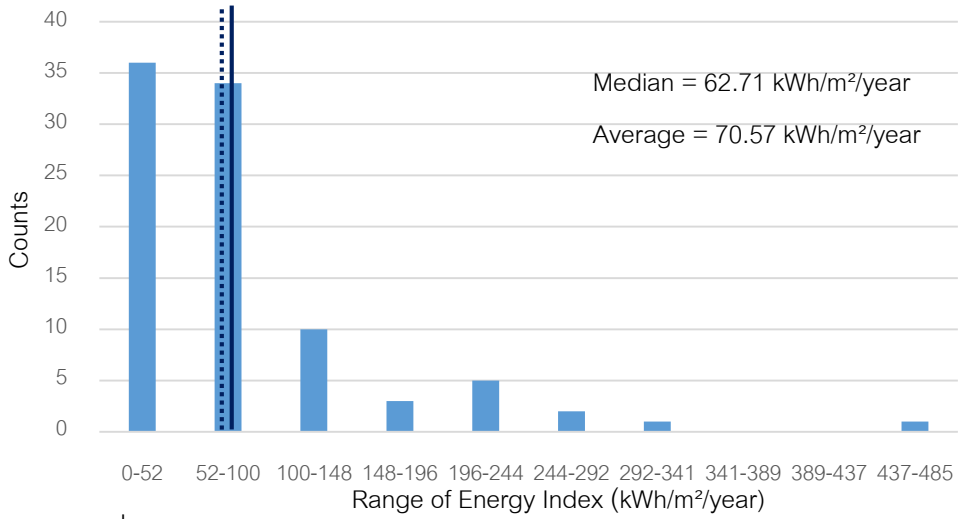
35.4) พื้นที่ชั้น 2 ของอาคารจุฬาพัฒน์ 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

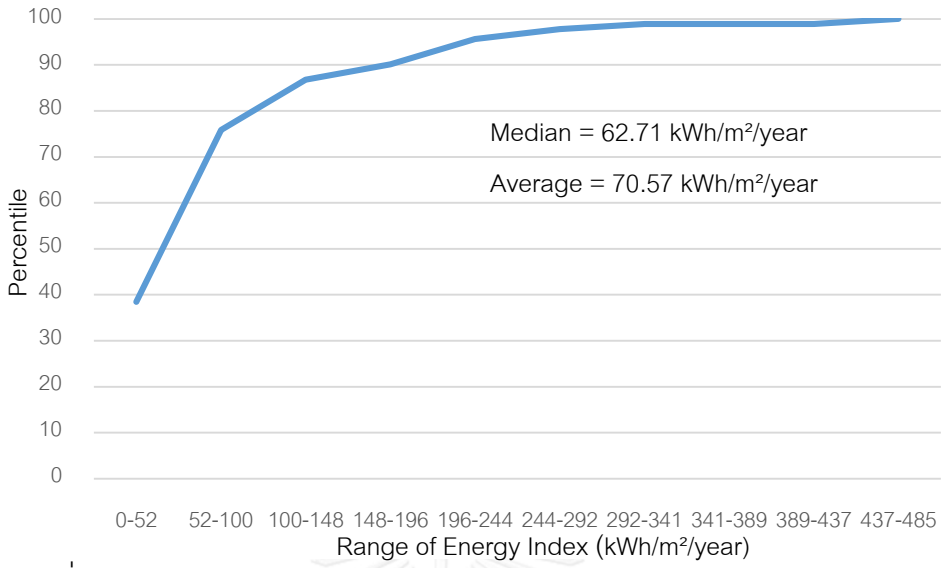
4.2 ผลการศึกษา

4.2.1 ผลการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการเก็บข้อมูลในการศึกษาการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัยในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่ามีอาคารที่สามารถเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารได้ทั้งสิ้น 92 อาคาร จากอาคารทั้งหมด 174 อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการประเมินจากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร ข้อมูลพื้นที่อาคาร เพื่อทำการประเมินหรือเทียบสมรรถนะจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m²/year) ซึ่งพิจารณาจากค่ามัธยฐานเป็นค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากผลการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ (Non-normal distribution) ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งทางลาดมาทางบวก (Positively skewed) ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.1 มีลักษณะการกระจายตัวสะสมค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารต่อพื้นที่ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.2 โดยที่มีค่ามัธยฐานเท่ากับ 62.71 kWh/m²/year และมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อพื้นที่เท่ากับ 70.57 kWh/m²/year ทั้งนี้มีข้อมูลสรุปของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.11



แผนภูมิที่ 4.1 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)



แผนภูมิที่ 4.2 การกระจายตัวสะสมของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)

ตารางที่ 4.11 ผลการศึกษาตัวแปรและค่าการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจัย/ ตัวแปร	Median	Average	Minimum	Maximum
พื้นที่ภายในอาคาร (ตารางเมตร)	3,940.47	7,547.94	122.78	49,653.64
พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร)	2,045.29	3,641.64	0	27,332.88
สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%)	53.53	51.72	0	87.48
ค่าการใช้พลังงาน (kWh)	263,552.50	532,624.96	1,503	4,350,560
ค่าใช้จ่ายการใช้พลังงาน (Baht)	1,464,183	2,750,388	9,073	25,052,005
ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/yr)	62.71	70.57	4.37	484.57

ทั้งนี้ ในเบื้องต้นของการเทียบสมรรถนะด้านการพลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าค่าการใช้พลังงานมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากในอาคารทั้งหมดมีรูปแบบการใช้อาคารที่หลากหลาย และมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้มีความจำเป็นในการจัดกลุ่มอาคาร

ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อทำการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร เพื่อให้สามารถได้ค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่มีการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน และได้ผลค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยในการศึกษานี้ได้แบ่งกลุ่มอาคารออกเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และมีรายละเอียดของแต่ละกลุ่ม ดังนี้

1.) อาคารสำนักงาน (Office) จำนวน 9 อาคาร ประกอบไปด้วย อาคารจามจุรี 1 อาคารจามจุรี 2 อาคารจามจุรี 3 อาคารจามจุรี 4 อาคารจามจุรี 5 อาคารจามจุรี 6 อาคารจามจุรี 9 อาคารวิทยพัฒนา และอาคารบัณฑิตวิทยาลัย

2.) อาคารเรียน (Lecture) จำนวน 35 อาคาร ประกอบไปด้วย อาคารจุฬาวิชช์ 1 อาคารมหาจุฬาลงกรณ์ อาคารจุฬาพัฒน์ 4 อาคารจุฬาพัฒน์ 13 อาคารบรมราชกุมารี อาคารพินิตประชานาถ อาคารมหิตลลาธิเบศร อาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ อาคารพูนทรัพย์ (ครุศาสตร์ 1) อาคารครุศาสตร์ 3 อาคารครุศาสตร์ 4 อาคารครุศาสตร์ 6 อาคารครุศาสตร์ศิลปศึกษา อาคารเฉลิมพระเกียรติพระมิ่งขวัญการศึกษาไทย อาคารเทพทวารวดี อาคารนิเทศศาสตร์ 1 อาคารนิเทศศาสตร์ 2 อาคารมงกุฎสมมติเทววงศ์ อาคารไชยยศสมบัติ อาคารบัณฑิต กันตะบุตร อาคารอนุสรณ์ 50 ปี อาคารสำราญราษฎร์บริรักษ์ อาคารวรภักดิ์พิบูลย์ อาคารมหามกุฎ อาคารจุฬาพัฒน์ 7 อาคารจุฬาพัฒน์ 8 อาคารจุฬาพัฒน์ 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 3 อาคารศิลปกรรม 1 อาคารเศรษฐศาสตร์ อาคารสถาปัตยกรรม 1 และอาคารนารถ โพธิประสาท อาคารสถาปัตยกรรม 2 อาคารโวฒยากร อาคารจุฬาพัฒน์ 1 อาคารมหาวชิราวุธ อาคารมหาจักรีสิรินธร อาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี และอาคารศศปาฐศาลา

3.) อาคารอเนกประสงค์และอาคารอื่นๆ (Extra) จำนวน 15 อาคาร ประกอบไปด้วย อาคารธรรมสถาน เรือนภะรตราชา สนามกีฬาในร่ม อาคารจามจุรี 8 อาคารจุฬาพัฒน์ 9 อาคารมหาธีรราชานุสรณ์ อาคารยานยนต์ อาคารศูนย์กีฬาและนันทนาการ อาคารหน่วยบริการอาคาร หอนิทรรศการ อาคารจุฬาพัฒน์ 10 ศาลาพระเกี้ยว อาคารจุลจักรพงษ์ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 และอาคารเปรมบูรฉัตร

4.) อาคารวิจัย (Laboratory) จำนวน 15 อาคาร ประกอบไปด้วย อาคารจุฬาพัฒน์ 2 อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารชีววิทยาและเคมี 2 อาคารฟิสิกส์ อาคารเทคโนโลยีทางอาหาร อาคารธรณีวิทยาและพฤกษศาสตร์ อาคารวิทยาศาสตร์ทั่วไป อาคารคลุ้ม วัชโรบล อาคารแถบ นีละนิธิ อาคารภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีและวิศวกรรมสถาน อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 5

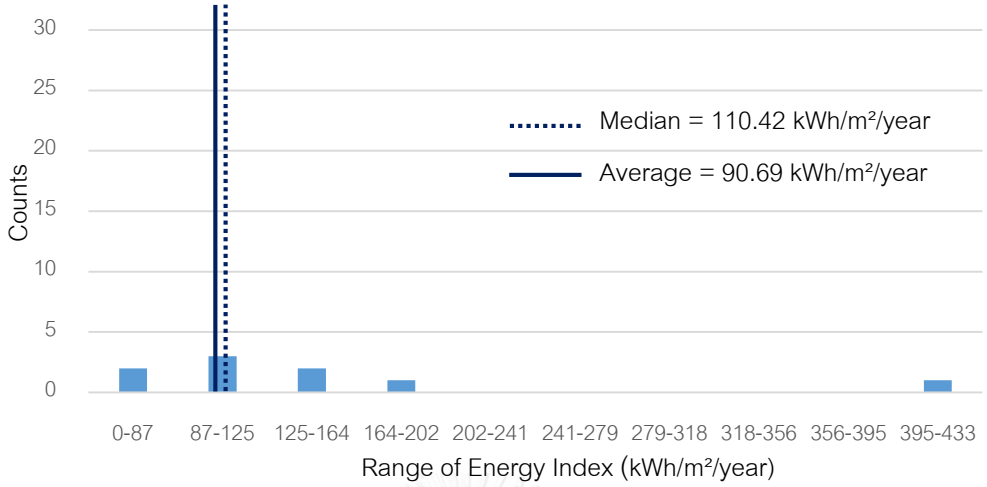
อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม อาคารจุฬาพัฒน์ 3 อาคารวิทยาลัย-ปิโตรเลียมและปิโตรเคมี อาคารสถาบัน 2 และอาคารสถาบัน 3

การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารสำนักงาน (Office) ทั้ง 9 อาคารนั้น พบว่า ผลการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารสำนักงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.3 ซึ่งมีค่ามัธยฐานที่ใช้เป็นค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารสำนักงานเท่ากับ 110.42 kWh/m²/year และมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 90.69 kWh/m²/year และมีค่าการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารสำนักงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารสำนักงาน

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อาคารจามจุรี 1	309,796	1,567.36	197.65
อาคารจามจุรี 2	156,876	1,420.76	110.42
อาคารจามจุรี 3	1,154,338	2,665.17	433.12
อาคารจามจุรี 4	360,360	4,094.27	88.02
อาคารจามจุรี 5	1,477,999	11,685.45	126.48
อาคารจามจุรี 6	165,924	1,157.22	143.38
อาคารจามจุรี 9	2,682,000	46,603.04	57.55
อาคารวิทยพัฒนา	712,703	7,776.12	91.65
บัณฑิตวิทยาลัย	45,702	942.70	48.48
ค่าเฉลี่ย	785,077.56	8,656.90	90.69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 4.3 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)

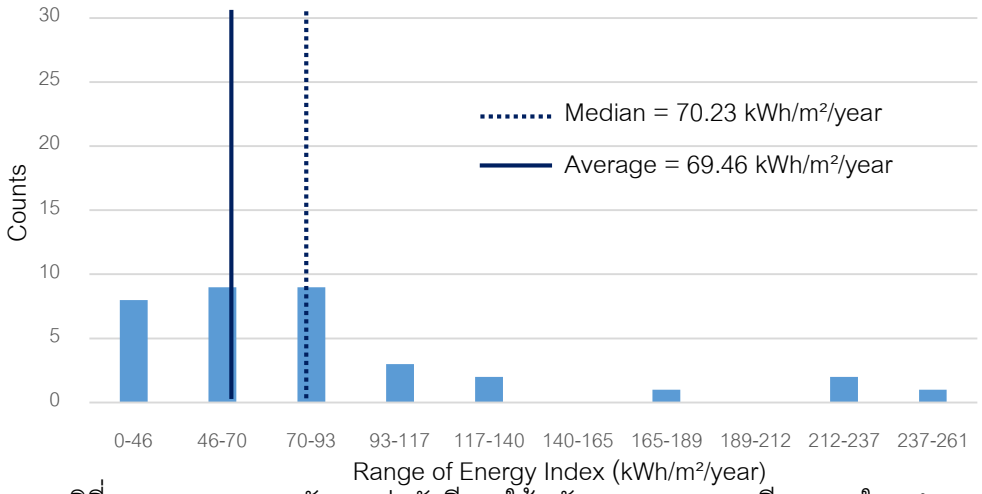
การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารเรียน (Lecture) ทั้ง 35 อาคารนั้น พบว่า ผลการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารเรียนภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.4 ซึ่งมีค่ามัธยฐานที่ใช้เป็นค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารเรียนเท่ากับ 70.23 kWh/m²/year และมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 69.46 kWh/m²/year และมีค่าการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารเรียน ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารเรียน

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อาคารจุฬาวิชช์ 1	155,282	3,936..29	39.45
อาคารมหาจุฬาลงกรณ์	176,991	4,057.02	43.63
อาคารจุฬาพัฒน์ 4	194,864	2,429.75	80.20
อาคารจุฬาพัฒน์ 13	363,000	10,452.74	34.73
อาคารบรมราชกุมารี	832,409	18,556.73	44.86

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อาคารพินิตประชานาถ	537,202	10,470.12	51.31
อาคารมหิตลาธิเบศร	1,353,320	31,651.22	42.76
อาคารบรมราชชนนีศรีศตพรรษ	634,000	12,385.83	51.19
อาคารพูนทรัพย์ฯ (ครุศาสตร์1)	385,595	2,919.41	132.08
อาคารครุศาสตร์ 3	684,000	10,862.60	62.97
อาคารครุศาสตร์ 4	186,240	3,366.31	55.32
อาคารครุศาสตร์ 6	84,660	1,205.39	70.23
อาคารเทพทวารวดี	998,798	15,327.52	65.55
อาคารนิเทศศาสตร์ 1	226,464	4,688.75	48.30
อาคารนิเทศศาสตร์ 2	55,664	2,042.44	27.25
อาคารมงกุฎสมมติเทววงศ์	382,320	8,841.69	43.24
อาคารไชยยศสมบัติ	1,180,490	12,483.44	94.56
อาคารอนุสรณ์ 50 ปี	735,965	6,484.50	113.50
อาคารสำราญราษฎร์บริรักษ์	337,360	1,572.04	214.60
อาคารรวรภักดิ์พิบูลย์	173,220	1,318.00	131.43
อาคารมหามกุฎ	4,350,560	49,653.64	87.62
อาคารจุฬาพัฒน์ 7	285,105	1,341.91	212.46
อาคารจุฬาพัฒน์ 8	52,220	886.61	58.90
อาคารจุฬาพัฒน์ 12	236,916	910.64	260.16
อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 3	1,383,000	14,469.88	95.58
อาคารศิลปกรรม 1	220,720	3,534.35	62.45
อาคารเศรษฐศาสตร์	833,100	9,653.04	86.30

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อาคารสถาปัตยกรรม1 และนารถฯ	828,000	17,372.33	47.66
อาคารสถาปัตยกรรม 2	78,000	3,651.69	21.36
อาคารโวฒยากร	185,200	2,431.37	76.17
อาคารจุฬาพัฒน์ 1	319,497	3,828.18	83.46
อาคารมหาวชิราวุธ	590,009	7,045.50	83.74
อาคารมหาจักรีสิรินธร	1,022,142	13,116.34	77.93
อาคารประชาธิปก-รำไพพรรณี	763,000	4,618.85	165.19
อาคารศศปาฐศาลา	1,814,000	25,680.06	70.64
ค่าเฉลี่ย	646,837.51	9,233.03	69.46



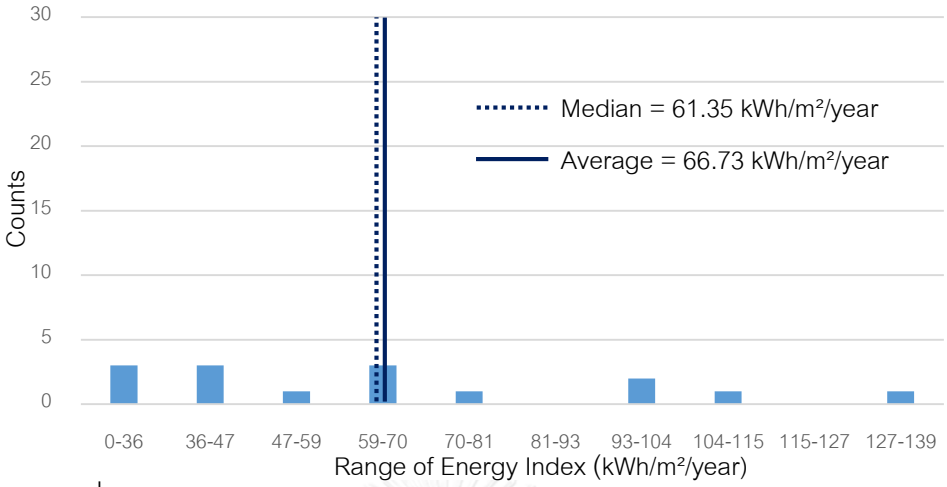
แผนภูมิที่ 4.4 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเรียนภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)

การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารอเนกประสงค์หรืออาคารอื่นๆ (Extra) ทั้ง 15 อาคารนั้น พบว่า ผลการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่

ของอาคารอเนกประสงค์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.5 ซึ่งมีค่ามัธยฐานที่ใช้เป็นค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารอเนกประสงค์หรืออาคารอื่นๆ เท่ากับ 61.35 kWh/m²/year และมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 66.73 kWh/m²/year และมีค่าการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารอเนกประสงค์หรืออาคารอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารอเนกประสงค์หรืออาคารอื่นๆ

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
ธรรมสถาน	39,600	927.51	42.69
เรือนภะรตราชา	10,920	325.39	33.56
สนามกีฬาในร่ม	150,880	5,887.01	25.63
อาคารจามจุรี 8 (หอศิลป์จามจุรี)	242,000	3,944.64	61.35
อาคารจุฬาพัฒน์ 9	95,700	693.21	138.05
อาคารมหาธีรราชานุสรณ์	2,060,000	22.125.98	93.10
อาคารยานยนต์ โรงซ่อมรถ	32,797	579.01	56.64
อาคารศูนย์กีฬาและนันทนาการ	855,00	22,561.92	37.90
อาคารหน่วยบริการอาคาร	199,194	2,013.93	98.91
หอนิทรรศการ	138,800	3,134.05	44.29
อาคารจุฬาพัฒน์ 10	19,500	790.81	24.66
ศาลาพระเกี้ยว	422,640	5,776.99	73.16
อาคารจุลจักรพงษ์	426,560	6,403.95	66.61
อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4	1,610,400	23,244.81	69.28
อาคารเปรมบูรฉัตร	649,600	5,801.84	111.96
ค่าเฉลี่ย	463,579.40	6,947.40	66.73



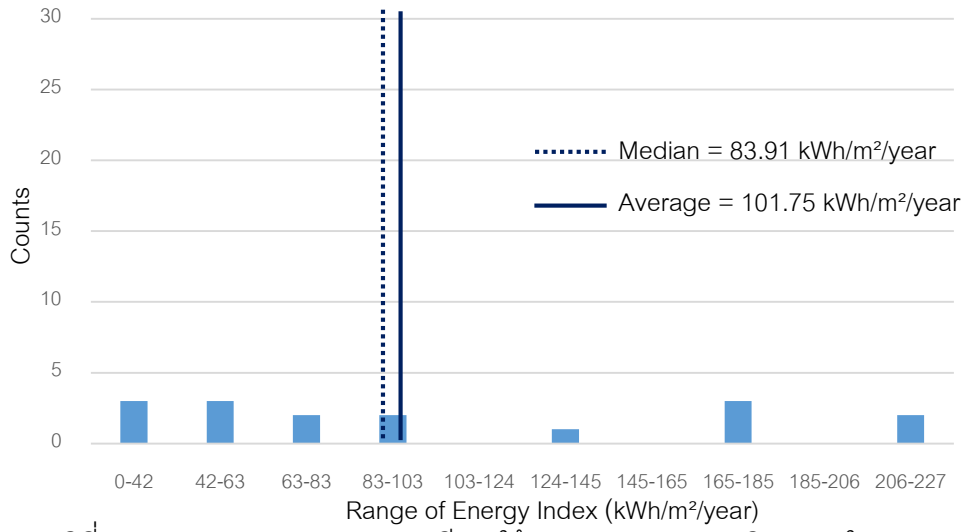
แผนภูมิที่ 4.5 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารอเนกประสงค์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)

การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารวิจัย (Laboratory) ทั้ง 15 อาคารพบว่า การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารวิจัยภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.6 ซึ่งมีค่ามัธยฐานที่ใช้เป็นค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารวิจัยเท่ากับ 83.91 kWh/m²/year และมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 101.75 kWh/m²/year และมีค่าการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารประเภทอาคารวิจัย

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อาคารจุฬาพัฒน์ 2	122,381	2,123.23	57.64
อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1,132,000	12,469.07	90.78
อาคารชีววิทยาและเคมี 2	396,480	7,330.71	54.08
อาคารฟิสิกส์	115,280	5,361.88	21.50
อาคารเทคโนโลยีทางอาหาร	375,000	2,201.28	170.36
อาคารธรณีวิทยาและพฤษศาสตร์	847,000	10,996.18	77.03

ชื่ออาคาร	จำนวนหน่วย (kWh/year)	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
อาคารวิทยาศาสตร์ทั่วไป	116,600	3,295.93	35.38
อาคารคลุ้ม วัชโรบล	1,293,399	7,274.89	177.79
อาคารแถบ นีละนิธิ	1,319,000	10,029.91	131.51
อาคารภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีฯ	435,000	1,922.38	226.28
อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 5	924,000	9,570.37	96.55
อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา	231,000	6,940.48	33.28
อาคารจุฬาพัฒน์ 3	65,399	981.88	66.61
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	1,165,760	6,612.77	176.29
อาคารสถาบัน 2	1,648,104	7,727.70	213.27
อาคารสถาบัน 3	829,930	13,428.20	61.81
ค่าเฉลี่ย	688,520.81	6,766.68	101.75



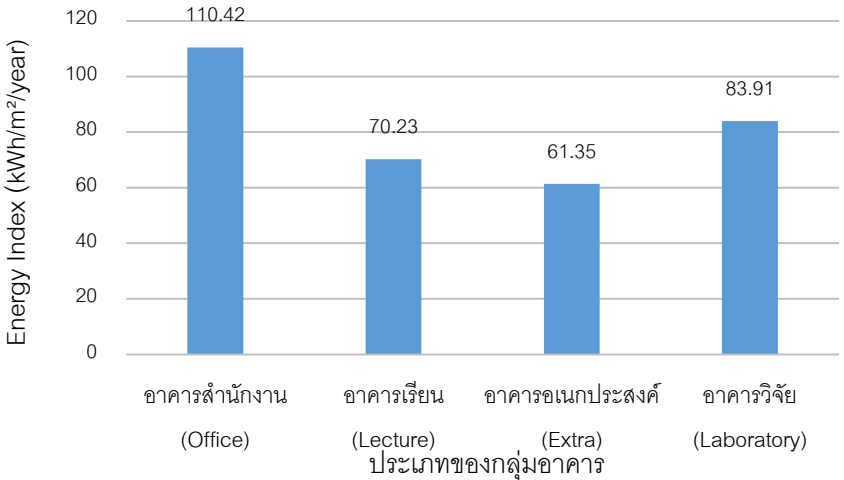
แผนภูมิที่ 4.6 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารวิจัยภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)

จากการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารทั้ง 4 ประเภท ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ผลการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของแต่ละประเภทอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งพบว่าค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารสำนักงานมีค่าการใช้พลังงานสูงที่สุดถึง 110.42 kWh/m²/year ที่มีค่ามากกว่าค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารอเนกประสงค์ที่มีค่าต่ำที่สุดถึงร้อยละ 54 และมีค่ามากกว่าค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานอาคารประเภทอาคารเรียนถึงร้อยละ 45 รวมทั้งมีค่ามากกว่าค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารวิจัยถึงร้อยละ 35 โดยมีความแตกต่างของค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของแต่ละประเภทอาคาร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.7

ตารางที่ 4.16 ผลการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) ของอาคารประเภทต่างๆ

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

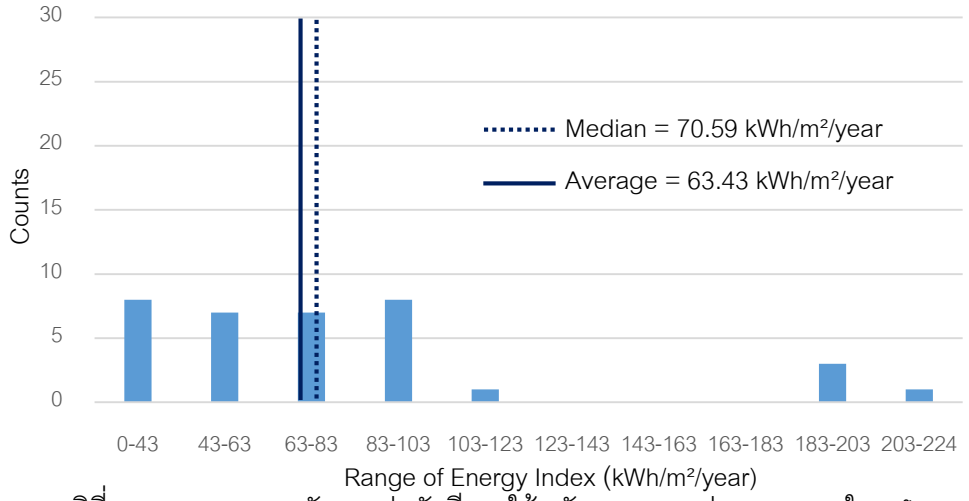
Chulalongkorn University



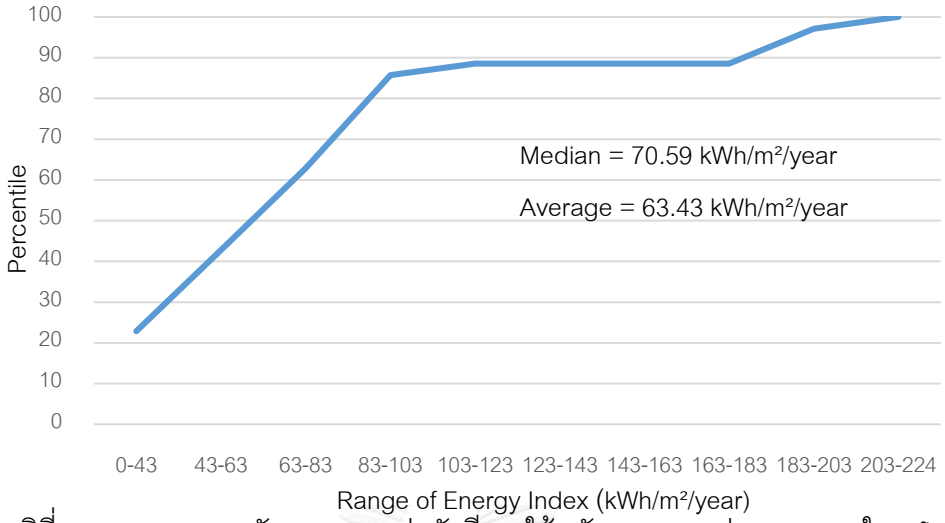
แผนภูมิที่ 4.7 การเปรียบเทียบของค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ผลการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการเก็บข้อมูลในการศึกษาการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของมหาวิทยาลัยในกรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจากหน่วยงานต่างๆ ของมหาวิทยาลัย พบว่ามีหน่วยงานที่สามารถเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานได้ทั้งสิ้น 35 หน่วยงาน จากทั้งหมด 42 หน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการประเมินจากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร ข้อมูลพื้นที่อาคาร ข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานภายในอาคาร ทั้งจากนิสิต คณาจารย์ และบุคลากร เพื่อทำการประเมินหรือเทียบสมรรถนะจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m²/year) ซึ่งพิจารณาจากค่ามัธยฐานเป็นค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน เนื่องจากผลการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งทางลาดมาทางบวก ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.8 มีลักษณะการกระจายตัวสะสมค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานต่อพื้นที่ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.9 ซึ่งที่มีค่ามัธยฐานเท่ากับ 70.59 kWh/m²/year และมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อพื้นที่เท่ากับ 63.43 kWh/m²/year ดังแสดงในตารางที่ 4.17



แผนภูมิที่ 4.8 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)

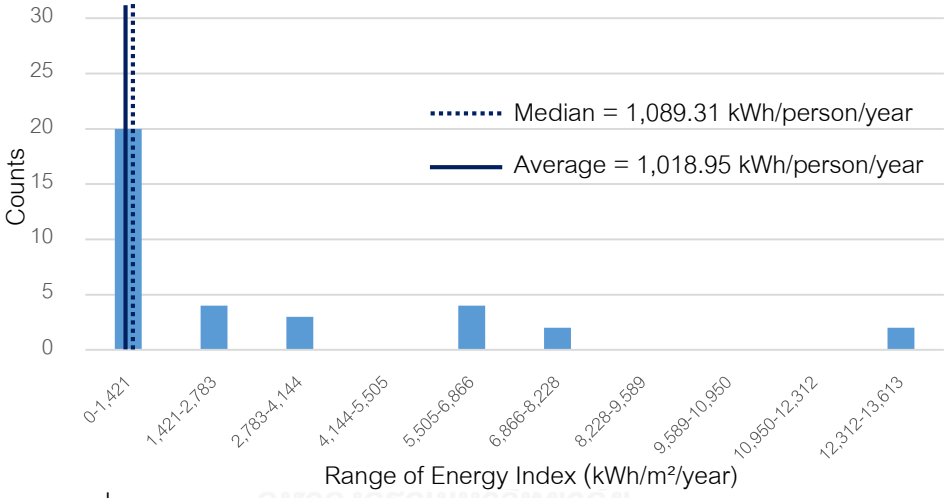


แผนภูมิที่ 4.9 การกระจายตัวสะสมของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)

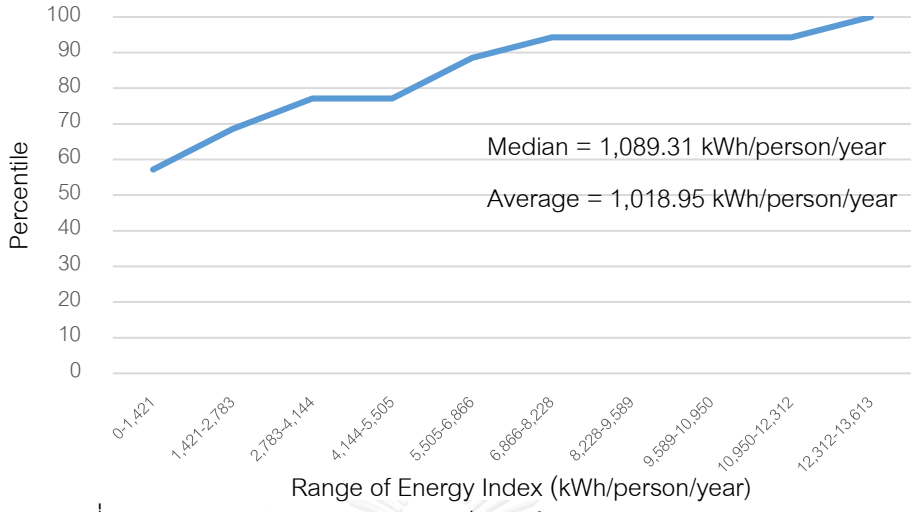
ตารางที่ 4.17 ผลการศึกษาตัวแปรและค่าการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจัย/ ตัวแปร	Median	Average	Minimum	Maximum
พื้นที่ (ตารางเมตร)	5,656.17	19,593.67	453.65	185,290.86
พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร)	3,825.12	9,072.96	435.02	73,454.95
สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%)	66,45	67.87	9.38	95.89
จำนวนผู้ใช้งาน (คน)	485	1,220	6	6,219
ค่าการใช้พลังงาน (kWh)	344,900	1,242,799	19,894	10,047,384
ค่าใช้จ่ายการใช้พลังงาน (Baht)	1,811,336	6,012,416	86,162	47,192,632
ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/ m²/yr)	70.59	63.43	22.67	223.57
ดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/yr)	1,089.31	1,018.95	60.17	13,672.78

การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในกรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจากหน่วยงานต่างๆ โดยทำการประเมินจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผู้ใช้อาคาร (คน) หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อคนต่อปี (kWh/person/year) ซึ่งพิจารณาจากค่ามัธยฐานเป็นค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน เนื่องจากการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งทางลาดมาทางบวก ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.10 ลักษณะการกระจายตัวสะสมค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานต่อคน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.11 ซึ่งที่มีค่ามัธยฐานเท่ากับ 1,089.31 kWh/person/year และมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อพื้นที่เท่ากับ 1,018.95 kWh/person/year ดังแสดงในตารางที่ 4.17



แผนภูมิที่ 4.10 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อคน (kWh/person/year)



แผนภูมิที่ 4.11 การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อคน (kWh/person/year)

4.2.3 การจัดกลุ่มประสิทธิภาพการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย

ในการจัดกลุ่มสำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารต่างๆ หรือหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Index) เพื่อหาอาคารหรือหน่วยงานที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สุด ด้วยการเรียงลำดับข้อมูลแบบร้อยละ (Percentile Ranking) และทำการเปรียบเทียบจากค่าดัชนีการใช้พลังงานในหน่วย kWh/m²/year และ kWh/person/year ในการศึกษานี้ใช้ค่ามัธยฐานเป็นค่าเกณฑ์สำหรับวัดหรือเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน และมีค่าอยู่ในลำดับที่ร้อยละ 50 ดังนั้นอาคารหรือหน่วยงานที่มีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์จะถือว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน

ทั้งนี้ในการวัดประสิทธิภาพของการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากอาคารทั้งสิ้น 92 อาคาร ที่เทียบจากค่าดัชนีการใช้พลังงานในหน่วย kWh/m²/year โดยมีค่ามัธยฐาน หรือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานในลำดับร้อยละที่ 50 ที่ใช้เป็นค่าเกณฑ์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเท่ากับ 62.71 kWh/m²/year ดังแสดงในตารางที่ 4.18 ในกรณีที่อาคารมีค่าดัชนีการใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเกณฑ์จะหมายความว่าอาคารมีประสิทธิภาพการใช้

พลังงานในเกณฑ์ที่ดี แต่ถ้าอาคารมีค่าดัชนีการใช้พลังงานสูงกว่าค่าเกณฑ์จะหมายความว่า อาคารมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าเกณฑ์หรือมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานน้อย

ตารางที่ 4. 18การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับร้อยละ (Percentile ranking)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)
10	12.14
20	32.20
30	43.36
40	54.58
50	62.71
60	76.68
70	91.39
80	123.88
90	177.05
100	484.57

ในส่วนของการวัดประสิทธิภาพของการใช้พลังงานภายในหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากอาคารทั้งสิ้น 35 หน่วยงาน ที่เทียบจากค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในหน่วย kWh/m²/year และ kWh/person/year โดยใช้ค่ามัธยฐาน หรือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานในลำดับร้อยละที่ 50 ที่ใช้เป็นค่าเกณฑ์เปรียบเทียบประสิทธิภาพซึ่งมีค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่เท่ากับ 70.59 kWh/m²/year และค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนเท่ากับ 1,089.31 kWh/person/year ดังแสดงในตารางที่ 4.19 ในกรณีที่หน่วยงานมีค่าดัชนีการใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเกณฑ์จะหมายความว่าหน่วยงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานในเกณฑ์ที่ดี แต่ถ้าหน่วยงานมีค่าดัชนีการใช้พลังงานสูงกว่าค่าเกณฑ์จะหมายความว่า หน่วยงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าเกณฑ์หรือมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานน้อย

ตารางที่ 4.19 การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับร้อยละ (Percentile ranking)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/year)
10	39.12	366.65
20	42.26	447.62
30	49.21	501.25
40	60.78	715.54
50	70.59	1,089.31
60	77.89	1,675.56
70	90.47	2,765.15
80	94.85	6,126.96
90	157.93	7,200.08
100	223.57	13,672.78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.4 การทำนายค่าการใช้พลังงานภายในอาคารและหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์สำหรับการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานจากค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารและหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีความจำเป็นที่ต้องมีการหาสมการใหม่เพื่อใช้สำหรับทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารหรือหน่วยงานในอนาคต สำหรับใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการการใช้พลังงานเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารหรือหน่วยงานต่อไป ซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ในการหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงาน

4.2.4.1 การทำนายค่าการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเลือกตัวแปรสำหรับทำการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อหาค่าการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้การวิเคราะห์ตัวแปรจากการศึกษานำร่องในการวิเคราะห์ของ

โรงเรียนสีเขียวในประเทศไทยที่ใช้ตัวแปรค่าการใช้พลังงาน (kWh/year) พื้นที่อาคาร (m^2) และร้อยละพื้นที่ปรับอากาศ (%) มาวิเคราะห์ การศึกษานี้จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลในตัวแปรดังกล่าว

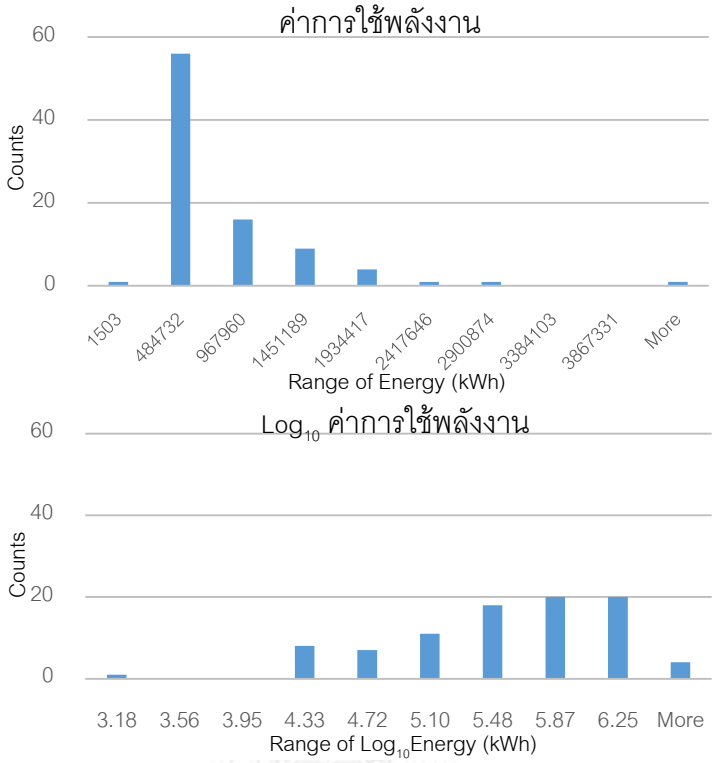
ในการวิเคราะห์ถดถอยตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องเป็นตัวแปรที่มีการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งเบื้องต้นต้องทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของแต่ละตัวแปรด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov ที่แต่ละตัวแปรต้องมีค่า *p-value* > *0.05* ที่จะหมายความว่าตัวแปรนั้นมีการกระจายตัวแบบปกติ เพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์ถดถอยสำหรับสมการหาค่าการใช้พลังงานต่อไปได้ โดยพิจารณาจากตัวแปรค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมา (kWh) พื้นที่อาคาร (m^2) ร้อยละพื้นที่ปรับอากาศ (%) ซึ่งตัวแปรมีค่า *p-value* < *0.05* จึงต้องทำการแปลงค่าด้วยวิธี Logarithm เพื่อให้ตัวแปรมีการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งหลังจากแปลงค่าตัวแปรต่างๆ แล้วพบว่าตัวแปรมีค่า *p-value* > *0.05* ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าการทดสอบการกระจายตัวของตัวแปร (Tests of Normality)

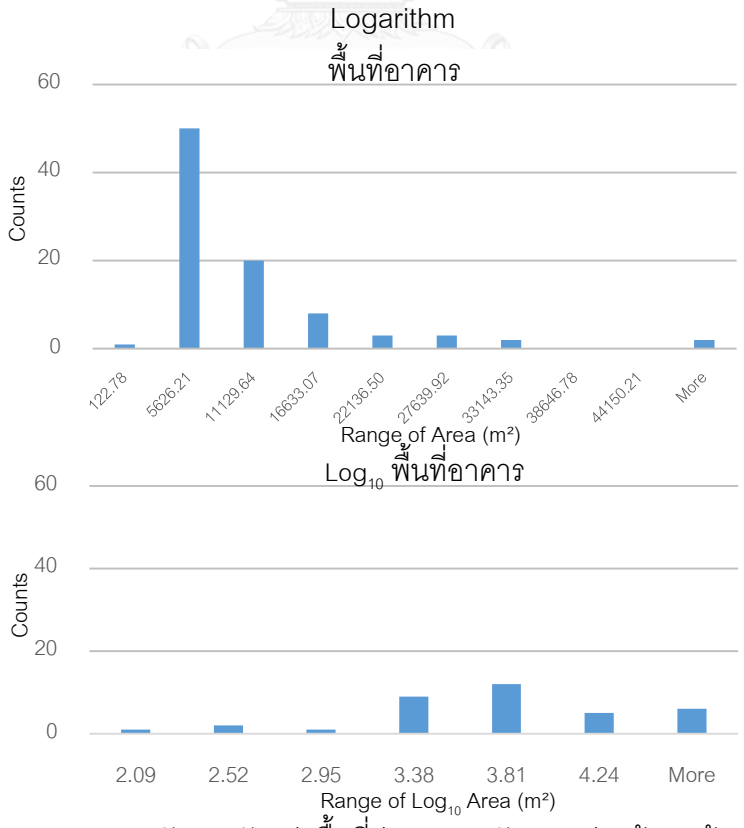
ตัวแปร	Kolmogorov-Smirnov Siq.	
	ก่อน	หลัง Log_{10}
ค่าการใช้พลังงาน (kWh)	*0.000*	*0.079*
พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร)	*0.000*	*0.200*
สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%)	*0.013*	*0.000*
พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร)	*0.000*	*0.084*

CHULALONGKORN UNIVERSITY

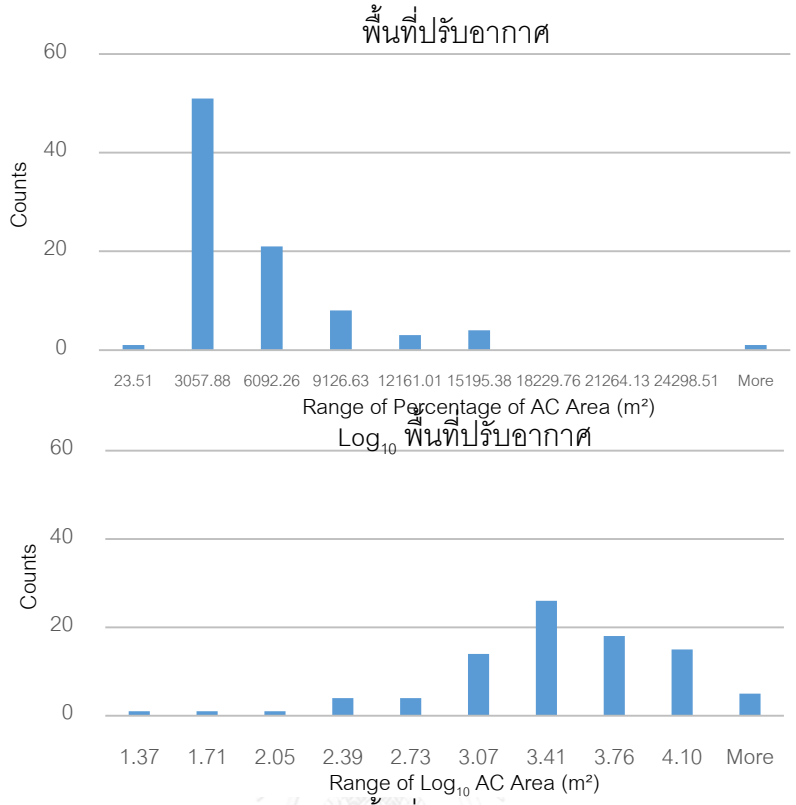
การวิเคราะห์ตัวแปรที่จะใช้ในการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่า ตัวแปรต่างๆ มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ จึงทำการแปลงข้อมูลการกระจายตัวของตัวแปรให้เป็นการกระจายตัวแบบปกติด้วยวิธี Logarithm กับตัวแปรค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมา (kWh) พื้นที่อาคาร (m^2) ร้อยละพื้นที่ปรับอากาศ (%) แต่จากการแปลงข้อมูลตัวแปรร้อยละพื้นที่ปรับอากาศพบการกระจายตัวไม่ปกติ จึงใช้การแปลงข้อมูลตัวแปรพื้นที่ปรับอากาศ (m^2) ที่มีกระจายตัวปกติแทน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.12, 4.13 และ 4.14



แผนภูมิที่ 4.12 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานก่อนและหลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm



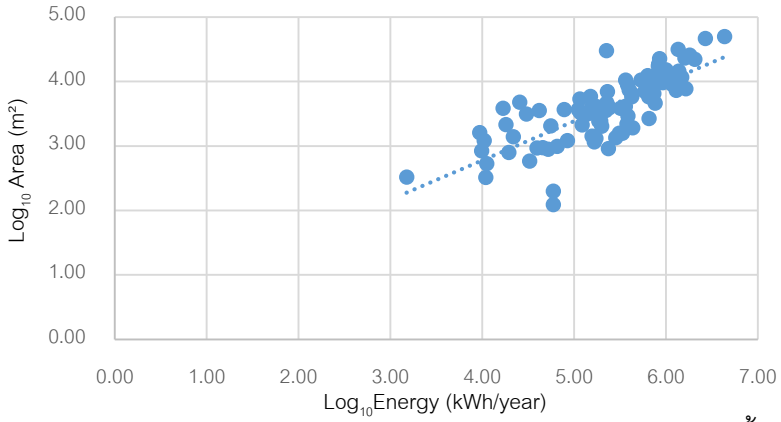
แผนภูมิที่ 4.13 การกระจายตัวของตัวแปรพื้นที่ก่อนและหลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm



แผนภูมิที่ 4.14 การกระจายตัวของตัวแปรพื้นที่ปรับอากาศก่อนและหลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm

การวิเคราะห์สำหรับหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารต่างๆ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยด้วยการวิเคราะห์ถดถอยจากตัวแปรพื้นที่อาคาร ($\log_{10}$ Area) ในสมการ (4.1) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าการใช้พลังงานและพื้นที่ภายในอาคาร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.15 ซึ่งพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 4.21 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R square) เท่ากับ 0.61 *($p<0.05$)* ซึ่งสมการ (4.1) เป็นดังนี้

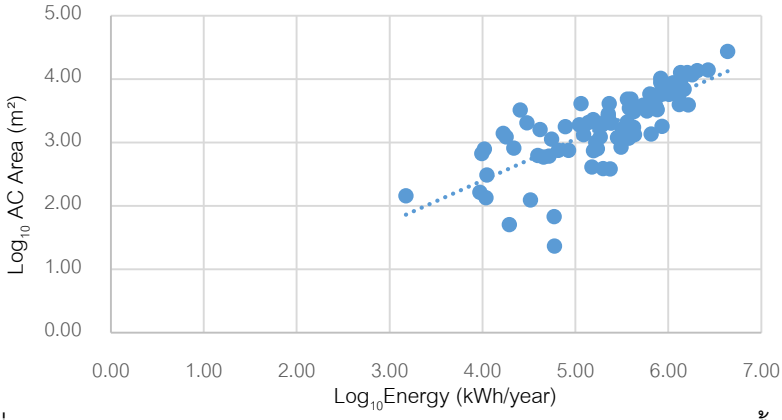
$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.006 (\log_{10} \text{Area}) + 1.730 \quad (4.1)$$



แผนภูมิที่ 4.15 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและพื้นที่ภายในอาคาร

ส่วนการวิเคราะห์สมการการทำนายค่าการใช้พลังงานด้วยตัวแปรพื้นที่ปรับอากาศ ($\log_{10}$ AC) ในสมการ (4.2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าการใช้พลังงานและพื้นที่ภายในอาคาร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.16 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 4.21 และสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.60 *($p<0.05$)* มีค่าลดลงจากสมการ (4.1) ซึ่งสมการ (4.2) เป็นดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.921 (\log_{10} \text{AC}) + 2.329 \quad (4.2)$$



แผนภูมิที่ 4.16 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและพื้นที่ปรับอากาศ

ตารางที่ 4. 21 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.1) และ (4.2)

สมการ	ตัวแปร	Intercept(B)	Coefficients	Std. error	*P-value*
สมการ (4.1)	$\log_{10}$ Area	1.730	1.006	0.43	*1.40E-19*
สมการ (4.2)	$\log_{10}$ AC	2.329	0.921	0.44	*4.83E-19*

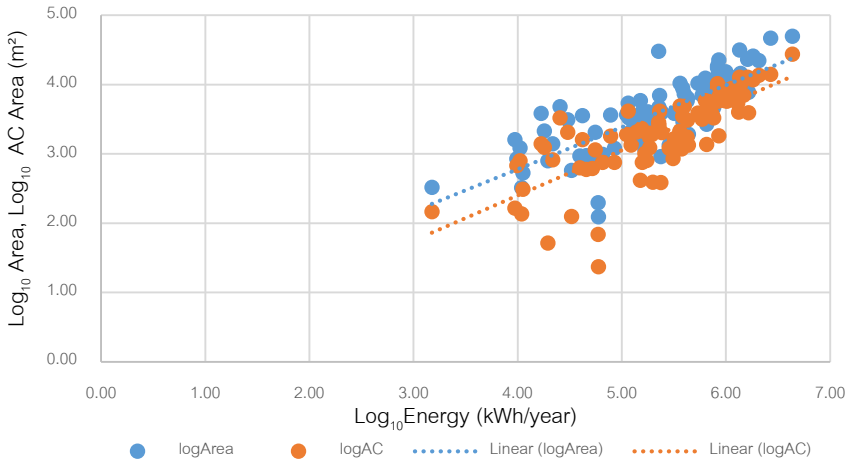
อย่างไรก็ตาม พบว่าการวิเคราะห์สมการด้วยตัวแปรทั้งสองตัวแปรในสมการ (4.3) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.17 ซึ่งทั้งจากพื้นที่อาคารและพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคารมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรดังแสดงในตารางที่ 4.22 ซึ่งสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.63 *($p<0.05$)* มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสมการ (4.1) และ (4.2) โดยสมการ (4.3) เป็นดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.578\ (\log_{10} \text{Area}) + 0.431\ (\log_{10} \text{AC}) + 1.856 \qquad (4.3)$$

โดยที่ $\log_{10}$ ENERGY = ค่า $\log_{10}$ ของค่าการใช้พลังงาน (kWh/year)

$\log_{10}$ AREA = ค่า $\log_{10}$ ของพื้นที่ภายในอาคาร (ตร.ม.)

$\log_{10}$ AC = ค่า $\log_{10}$ ของพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร (ตร.ม.)



แผนภูมิที่ 4.17 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคาร พื้นที่ภายในอาคาร และพื้นที่ปรับอากาศ

ตารางที่ 4.22 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.3)

ตัวแปร	Coefficients	Std. error	*P-value*
Intercept (B)	1.856	0.31	*5.24E-08*
$\log_{10}$ Area	0.578	0.21	*0.0076*
$\log_{10}$ AC	0.431	0.19	*0.03*

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการทำนายค่าการใช้พลังงานจากการวิเคราะห์ถดถอยในสมการ (4.3) ที่ใช้เป็นสมการในการทำนายค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากตัวแปรพื้นที่ภายในอาคาร และพื้นที่ปรับอากาศ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.63 *($p<0.05$)* ซึ่งจากการวิเคราะห์เพื่อหาความถูกต้องของข้อมูลจากค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error : RMSE) โดยจากการคำนวณพบว่าในสมการ (4.3) มีค่า RMSE จากการคำนวณด้วยสมการ (4.4) เท่ากับ 9.15 ซึ่งสมการ (4.4) มีลักษณะดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\log 10\ \text{Energy}_T - \log 10\ \text{Energy}_F\right)^2} \qquad (4.4)$$

โดยที่ $\log_{10}\text{Energy}_T$ = ค่า $\log_{10}$ Energy จากการวัดได้จริง

$\log_{10}\text{Energy}_F$ = ค่า $\log_{10}$ Energy จากการคำนวณด้วยสมการ (4.3)

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์

4.2.4.2 การทำนายค่าการใช้พลังงานภายในหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเลือกตัวแปรสำหรับทำการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อหาค่าการใช้พลังงานภายในหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้การวิเคราะห์ตัวแปรจากการศึกษาถึงการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อหาค่าการใช้พลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ผ่านมา ที่ใช้ตัวแปรค่าการใช้พลังงาน (kWh/year) พื้นที่อาคาร (m^2) และพื้นที่ปรับอากาศ (m^2) มาวิเคราะห์ถดถอยต่อไป

ในการวิเคราะห์ถดถอยตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องเป็นตัวแปรที่มีการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งเบื้องต้นต้องทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของแต่ละตัวแปรด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov แต่ละตัวแปรต้องมีค่า *p-value > 0.05* ที่จะหมายความว่าตัวแปรนั้นมีการ

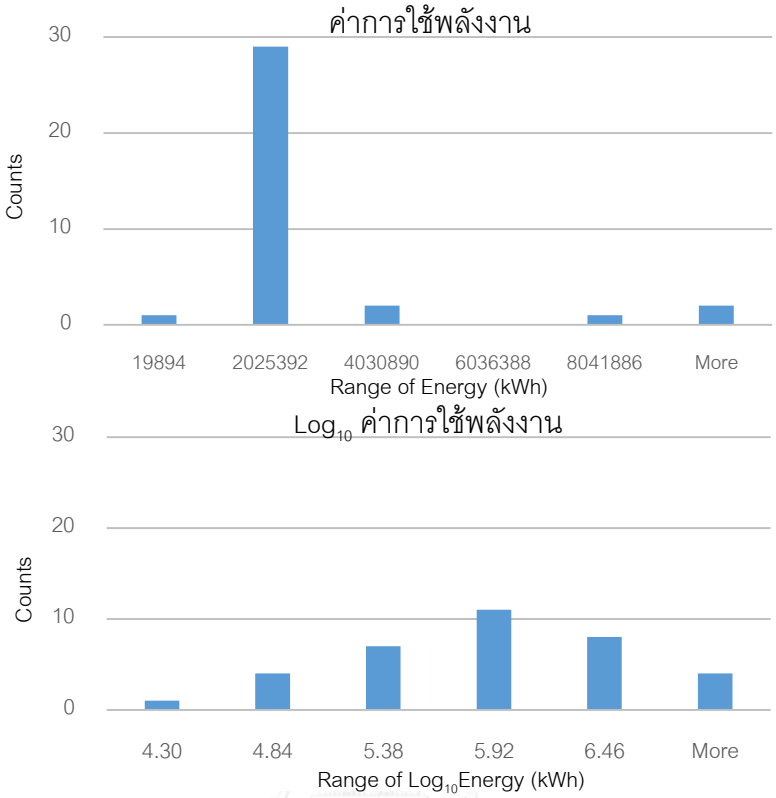
กระจายตัวแบบปกติ เพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์ถดถอยสำหรับสมการหาค่าการใช้พลังงานต่อไปได้ โดยพิจารณาจากตัวแปรค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมา (kWh) พื้นที่อาคาร (m^2) พื้นที่ปรับอากาศ (m^2) ซึ่งตัวแปรมีค่า *p-value* < *0.05* จึงต้องทำการแปลงค่าด้วยวิธี Logarithm เพื่อให้ตัวแปรมีการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งหลังจากแปลงค่าตัวแปรต่างๆ แล้วพบว่าตัวแปรมี*ค่า p-value* > *0.05* ดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ค่าการทดสอบการกระจายตัวของตัวแปร (Tests of Normality)

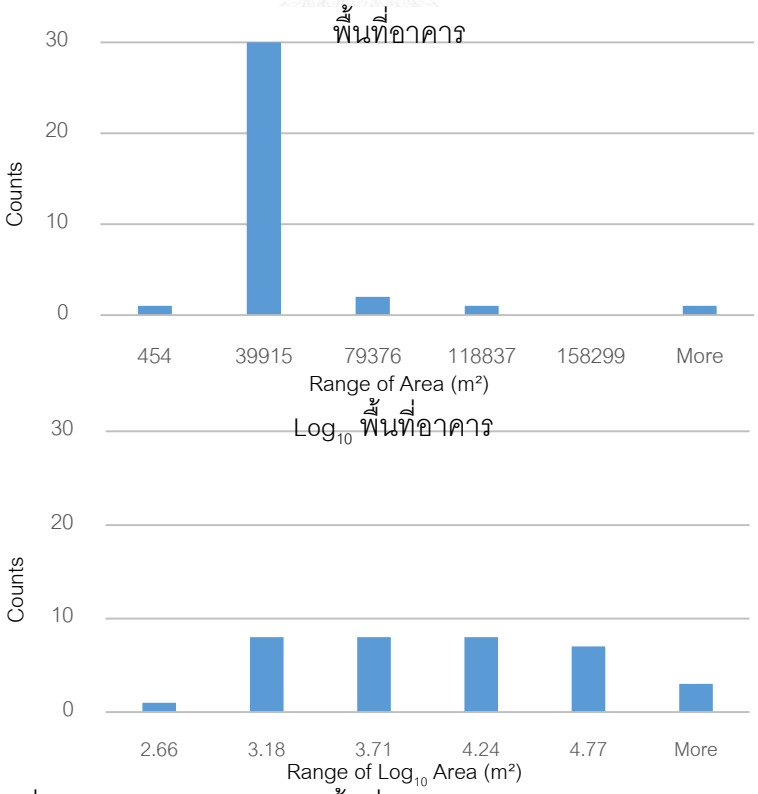
ตัวแปร	Kolmogorov-Smirnov Siq.	
	ก่อน	หลัง Log_{10}
ค่าการใช้พลังงาน (kWh)	*0.000*	*0.200*
พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร)	*0.000*	*0.200*
สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (%)	*0.013*	*0.000*
พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร)	*0.000*	*0.200*
จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	*0.000*	*0.200*

ในการวิเคราะห์ตัวแปรที่จะใช้ในการทำนายค่าการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่า ตัวแปรต่างๆ มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ จึงทำการแปลงข้อมูลการกระจายตัวของตัวแปรให้เป็นการกระจายตัวแบบปกติด้วยวิธี Logarithm กับตัวแปรค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมา (kWh) พื้นที่อาคาร (m^2) พื้นที่ปรับอากาศ (m^2) จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน) ที่ทำการจำกัดการวิเคราะห์ตัวแปรจากการศึกษานำร่องที่ผ่านมาและพิจารณาตัวแปรจากการกระจายตัวของข้อมูล ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21

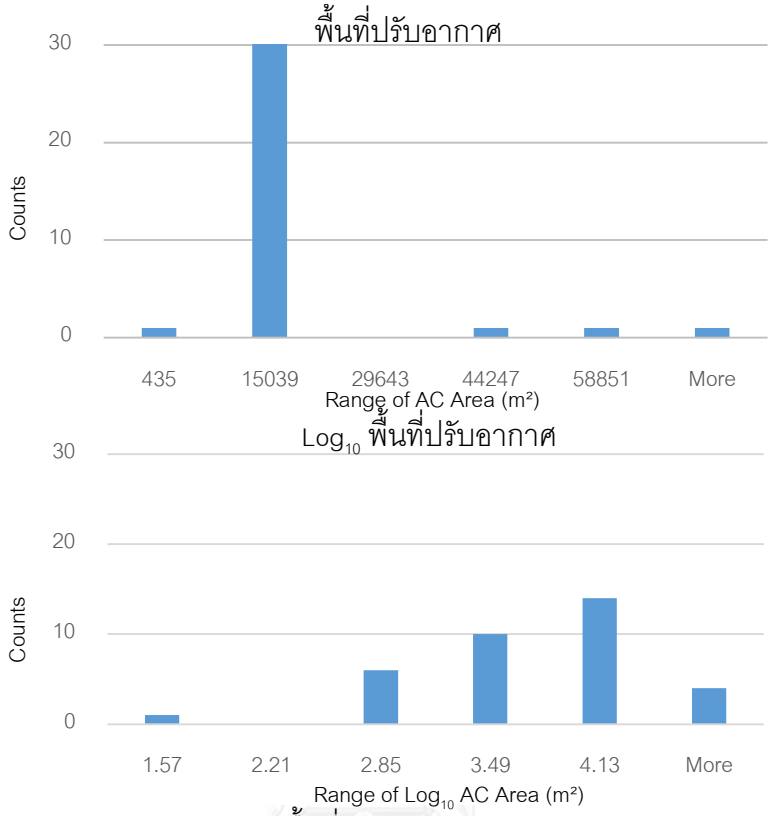
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



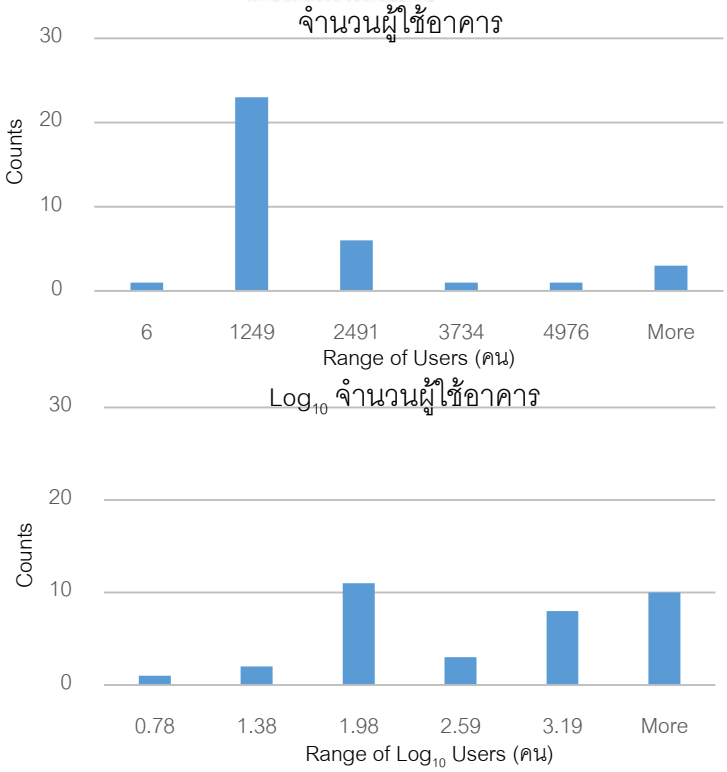
แผนภูมิที่ 4.18 การกระจายตัวของค่าการใช้พลังงานก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยวิธีLogarithm



แผนภูมิที่ 4.19 การกระจายตัวของพื้นที่ก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm



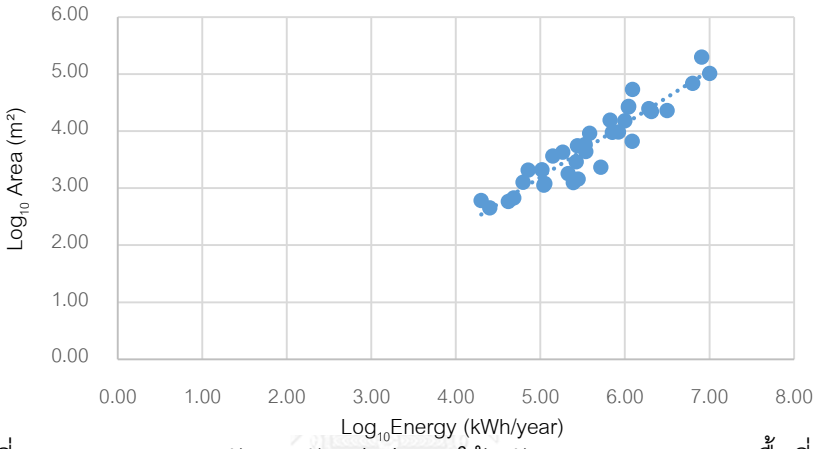
แผนภูมิที่ 4.20 การกระจายตัวของพื้นที่ปรับอากาศก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วย Logarithm



แผนภูมิที่ 4.21 การกระจายตัวของผู้ใช้อาคารก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยวิธี Logarithm

การวิเคราะห์สำหรับหาสมการทำนายค่าการใช้พลังงานสำหรับหน่วยงานต่างๆ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยด้วยการวิเคราะห์ถดถอยจากตัวแปรพื้นที่อาคาร (Log_{10} Area) ในสมการ (4.5) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าการใช้พลังงานและพื้นที่ภายในอาคาร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.22 ซึ่งพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 4.24 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.88 *($p<0.05$)* ซึ่งสมการ (4.5) เป็นดังนี้

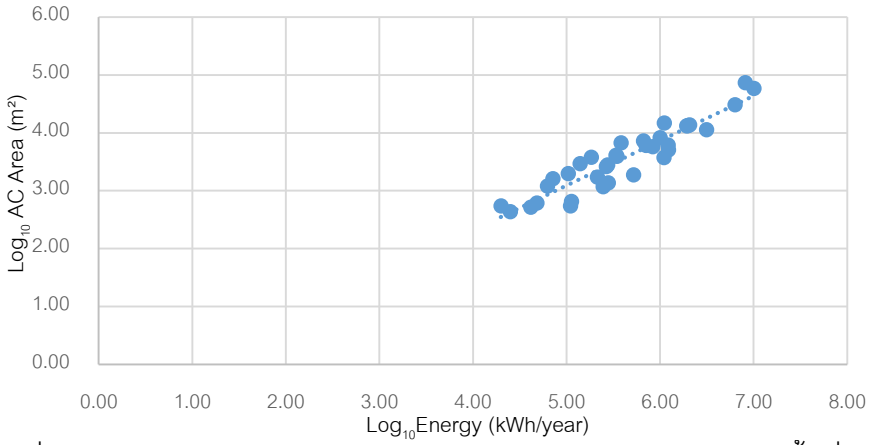
$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.944 (\log_{10} \text{Area}) + 2.057 \quad (4.5)$$



แผนภูมิที่ 4.22 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและพื้นที่ภายในอาคาร

ในการวิเคราะห์สมการทำนายค่าการใช้พลังงานด้วยตัวแปรพื้นที่ปรับอากาศ (Log_{10} AC) ในสมการ (4.6) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าการใช้พลังงานและพื้นที่ภายในอาคาร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.23 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 4.24 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.87 *($p<0.05$)* โดยลดลงจากสมการ (4.5) ซึ่งสมการ (4.6) มีดังนี้

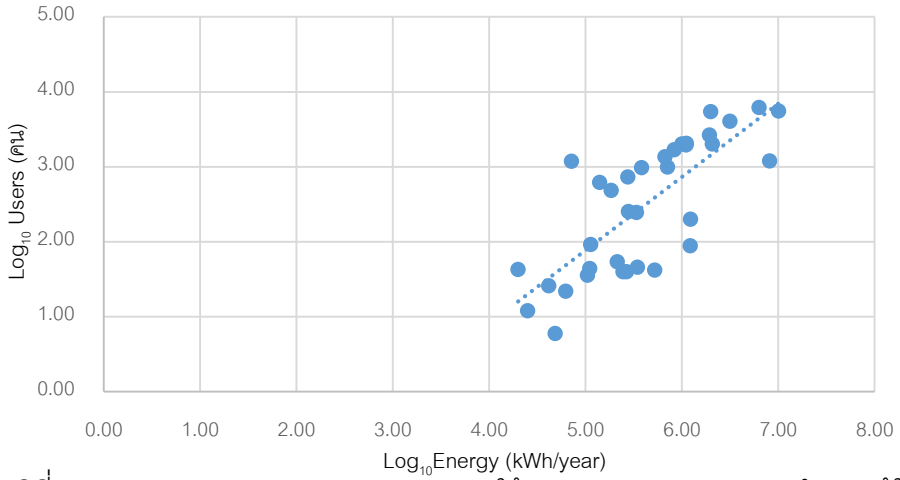
$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.126 (\log_{10} \text{AC}) + 1.601 \quad (4.6)$$



แผนภูมิที่ 4.23 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและพื้นที่ปรับอากาศ

ในการวิเคราะห์สมการการทำนายค่าการใช้พลังงานด้วยตัวแปรจำนวนผู้ใช้อาคาร (Log_{10} Users) ในสมการ (4.7) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าการใช้พลังงานและพื้นที่ภายในอาคาร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.24 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 4.24 และสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.60 *($p<0.05$)* มีค่าลดลงจากสมการ (4.5) และ (4.6) ซึ่งสมการ (4.7) เป็นดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.611 (\log_{10} \text{Users}) + 4.095 \quad (4.7)$$



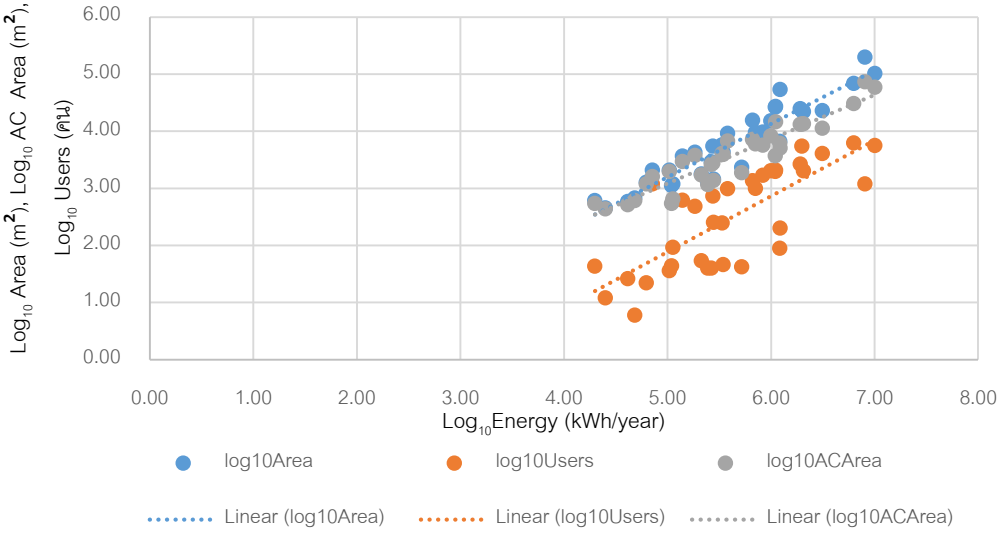
แผนภูมิที่ 4.24 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคารและจำนวนผู้ใช้อาคาร

ตารางที่ 4.24 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.5), (4.6) และ (4.7)

สมการ	ตัวแปร	Intercept (B)	Coefficients	Std. error	*P-value*
สมการ (4.5)	$\log_{10}$ Area	2.057	0.944	0.24	*1.76E-16*
สมการ (4.6)	$\log_{10}$ AC	1.601	1.126	0.25	*6.16E-16*
สมการ (4.7)	$\log_{10}$ Users	4.095	0.611	0.45	*5.61E-08*

อย่างไรก็ตาม พบว่าการวิเคราะห์สมการด้วยตัวแปรทั้งสามตัวแปรในสมการ (4.8) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.25 ซึ่งทั้งจากพื้นที่อาคาร พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร และจำนวนผู้ใช้อาคาร มีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรดังแสดงในตารางที่ 4.25 ซึ่งสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.90 *($p<0.05$)* มีค่าเพิ่มขึ้นจากสมการ (4.5), (4.6) และ (4.7) แต่ไม่สามารถใช้ตัวแปรจำนวนผู้ใช้อาคารมาทำการวิเคราะห์ในสมการ เนื่องจากมีค่า *$p>0.05$* โดยสมการ (4.8) เป็นดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.548\ (\log_{10} \text{Area}) + 0.537\ (\log_{10} \text{AC}) - 0.031\ (\log_{10} \text{Users}) + 1.711 \quad (4.8)$$



แผนภูมิที่ 4.25 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคาร พื้นที่อาคาร พื้นที่ปรับอากาศ และจำนวนผู้ใช้อาคาร

ตารางที่ 4.25 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.8)

ตัวแปร	Coefficients	Std. error	*P-value*
Intercept (B)	1.711	0.29	*3.25E-06*
$\log_{10}$ Area	0.548	0.20	*0.009*
$\log_{10}$ AC	0.537	0.24	*0.031*
$\log_{10}$ Users	-0.031	0.08	*0.824*

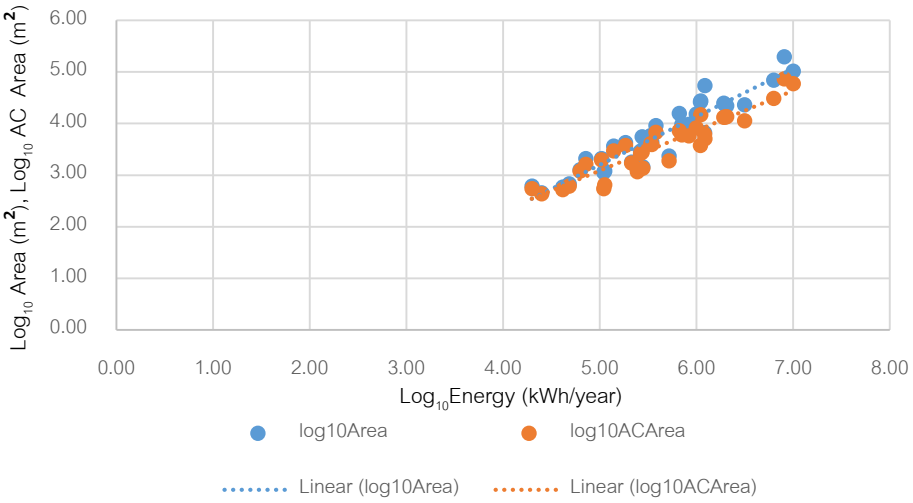
ในการนี้จึงมีความจำเป็นที่ต้องตัดตัวแปรจำนวนผู้ใช้อาคารออก และทำการวิเคราะห์สมการด้วยตัวแปรสองตัวแปรในสมการ (4.9) มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.26 ซึ่งทั้งจากพื้นที่อาคาร และพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรดังแสดงในตารางที่ 4.26 ซึ่งสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.90 *($p<0.05$)* มีค่าเพิ่มขึ้นจากสมการ (4.5), (4.6) และ (4.7) โดยสมการ (4.9) เป็นดังนี้

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.528\,(\log_{10} \text{Area}) + 0.522\,(\log_{10} \text{AC}) + 1.765 \qquad (4.9)$$

โดยที่ $\log_{10}$ ENERGY = ค่า $\log_{10}$ ของค่าการใช้พลังงาน (kWh/year)

$\log_{10}$ AREA = ค่า $\log_{10}$ ของพื้นที่ภายในอาคาร (ตร.ม.)

$\log_{10}$ AC = ค่า $\log_{10}$ ของพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร (ตร.ม.)



แผนภูมิที่ 4.26 การกระจายตัวของตัวแปรค่าการใช้พลังงานของอาคาร พื้นที่อาคาร และพื้นที่ปรับอากาศ

ตารางที่ 4.26 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการ (4.9)

ตัวแปร	Coefficients	Std. error	*P-value*
Intercept (B)	1.765	0.25	*1.61E-07*
$\log_{10}$ Area	0.528	0.19	*0.007*
$\log_{10}$ AC	0.522	0.23	*0.028*

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการทำนายค่าการใช้พลังงานจากการวิเคราะห์ถดถอยในสมการ (4.9) ที่ใช้เป็นสมการในการทำนายค่าการใช้พลังงานสำหรับหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากตัวแปรพื้นที่ภายในอาคาร และพื้นที่ปรับอากาศ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.90 *($p<0.05$)* ซึ่งจากการวิเคราะห์เพื่อหาความถูกต้องของข้อมูลจากค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) โดยจากการคำนวณพบว่าในสมการ (4.10) มีค่า RMSE จากการคำนวณด้วยสมการ (4.10) เท่ากับ 4.08 ซึ่งสมการ (4.10) มีลักษณะดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\log 10\ \text{Energy}_T - \log 10\ \text{Energy}_F\right)^2} \qquad (4.10)$$

โดยที่ $\log_{10}\text{Energy}_T$ = ค่า $\log_{10}$Energy จากการวัดได้จริง

$\log_{10}\text{Energy}_F$ = ค่า $\log_{10}$Energy จากการคำนวณด้วยสมการ (4.9)

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้วิเคราะห์

ในการศึกษาถึงสมการทำนายค่าการใช้พลังงานทั้งหมด สามารถสรุปผลค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากการวิเคราะห์ถดถอยในตัวแปรต่างๆ ของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารและหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยของกรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในตารางที่ 4.27 ที่พบว่า สมการจากตัวแปร $\log_{10}$ Area, $\log_{10}$ AC ของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในสมการ (4.9) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงที่สุดที่ 0.90 และสมการจากตัวแปร $\log_{10}$ Users ของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในสมการ (4.7) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจน้อยที่สุดที่ 0.60 ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์สมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ที่ 0.61-0.63 และสำหรับหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ที่ 0.60-0.90

ตารางที่ 4.27 ผลสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงาน

สมการ		R^2
(4.1) อาคาร	$\log_{10}$ ENERGY = 1.006 ($\log_{10}$ Area) + 1.730	0.61
(4.2) อาคาร	$\log_{10}$ ENERGY = 0.921 ($\log_{10}$ AC) + 2.329	0.60
(4.3) อาคาร	$\log_{10}$ ENERGY = 0.578 ($\log_{10}$ Area) + 0.431 ($\log_{10}$ AC) + 1.856	0.63
(4.5) หน่วยงาน	$\log_{10}$ ENERGY = 0.944 ($\log_{10}$ Area) + 2.057	0.88
(4.6) หน่วยงาน	$\log_{10}$ ENERGY = 1.126 ($\log_{10}$ AC) + 1.601	0.87
(4.7) หน่วยงาน	$\log_{10}$ ENERGY = 0.611 ($\log_{10}$ Users) + 4.095	0.60
(4.9) หน่วยงาน	$\log_{10}$ ENERGY = 0.528 ($\log_{10}$ Area) + 0.522 ($\log_{10}$ AC) + 1.765	0.90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการศึกษา 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาถึงการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้งในส่วนของอาคารภายในมหาวิทยาลัย และหน่วยงานต่างๆ ในมหาวิทยาลัย ส่วนที่สองเป็นการศึกษาถึงการจัดกลุ่มประสิทธิภาพการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และในส่วนสุดท้ายเป็นการศึกษาถึงการทำนายค่าการใช้พลังงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจากสมการวิเคราะห์การถดถอย โดยสามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารของมหาวิทยาลัย ในกรณีศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่จะช่วยในการอนุรักษ์พลังงานและจัดการการใช้พลังงานภายในอาคารและภายในหน่วยงาน และสามารถช่วยให้ผู้บริหาร ผู้จัดการอาคาร หน่วยงานบริหารจัดการอาคาร หรือผู้ออกแบบ สามารถวางแผนการบริการจัดการการใช้พลังงานภายในอาคารหรือภายในหน่วยงานให้เกิดประสิทธิภาพของการใช้พลังงานสูงที่สุด

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาจากการเก็บข้อมูลแบบทุติยภูมิ (Secondary data) เป็นข้อมูลที่รวบรวมจากหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์ ทั้งการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในข้อมูลสรุปรวมของทั้งหน่วยงานในรายเดือนและรายปี ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร และข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานแยกตามจุดวัดหรือมิเตอร์ในรายเดือน ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานที่มีหลายรูปแบบทำให้มีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการศึกษานี้ โดยทำการวิเคราะห์จากการตรวจสอบข้อมูลการใช้พลังงานที่มีข้อมูลซ้ำกัน คัดแยกข้อมูลทั้งข้อมูลอาคาร ตรวจสอบข้อมูลพลังงานที่ไม่เท่ากันในบางส่วน และทำการจัดกลุ่มข้อมูลให้สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น เพื่อการทำงานในเรื่องการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในมหาวิทยาลัยที่ง่ายขึ้น โดยจากการวิเคราะห์ข้อมูลของอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้ง 92 อาคารที่มีข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลพื้นที่อาคารครบถ้วน จากอาคารทั้งสิ้น 174 อาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าอาคารมีพื้นที่ภายในอาคารโดยเฉลี่ย 7,547.94 ตารางเมตรต่ออาคาร มีพื้นที่ปรับอากาศโดยเฉลี่ย 3,641.64 ตารางเมตรต่ออาคาร โดยเป็นสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศต่อพื้นที่อาคารโดยเฉลี่ยร้อยละ 51.72 ต่ออาคาร มีค่าการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย

532,624.96 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ต่อปีต่ออาคาร เป็นค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย 2,750,388.26 บาท ต่ออาคารต่อปี

ค่าเกณฑ์สำหรับการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในอาคารและหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ (Non-normal distribution) ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งทางลาดมาทางบวก (Positively skewed) ส่งผลให้การพิจารณาค่ากลางของข้อมูลต้องใช้ค่ามัธยฐาน (Median) เป็นค่ากลางและเป็นค่าเกณฑ์สำหรับเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคาร โดยมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Sharp (1998) และงานวิจัยของ Kinney และ Piette (2002) ที่ประเมินในอาคารเรียนของโรงเรียนในต่างประเทศ แต่มีความแตกต่างกับงานวิจัยของ Kinney และ Piette (2002) ที่ประเมินอาคารทางธุรกิจในรัฐแคลิฟอร์เนีย และงานวิจัยของ Tantiwanit (2007) ที่ประเมินอาคารสำนักงานในประเทศไทยโดยในอาคารสำนักงานมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ (Normal distribution) ซึ่งความแตกต่างมีสาเหตุมาจากงานระบบภายในอาคารที่อาคารเรียนมีความแตกต่างกับอาคารสำนักงาน อาคารสำนักงานที่พื้นที่เกือบทั้งหมดเป็นพื้นที่ที่ต้องปรับอากาศ จึงส่งผลให้การใช้พลังงานมีค่าสูงเท่าๆ กัน ในขณะที่อาคารเรียนในมหาวิทยาลัยมีพื้นที่ปรับอากาศภายในโรงเรียนไม่เท่ากันในแต่ละอาคาร ซึ่งการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในเกณฑ์ต่างๆ มีผลสรุป ดังที่แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลสรุปการกระจายตัวของการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน

กรณีศึกษา	การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน	ค่ามัธยฐาน (kWh/m²/year)
โรงเรียน, Sharp (1998) สหรัฐอเมริกา	กระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	50.56
โรงเรียน, Kinney และ Piette (2002) รัฐแคลิฟอร์เนีย	กระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทาง	-

กรณีศึกษา	การกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงาน	ค่ามัธยฐาน (kWh/m²/year)
อาคารทางธุรกิจ, Kinney และ Piette (2003) รัฐแคลิฟอร์เนีย	กระจายตัวแบบค่อนข้างปกติ มีลักษณะเส้นโค้ง	113.40
โรงเรียนประถม, Hernandez และคณะ (2007) ไอร์แลนด์	-	96
สถานศึกษาระดับสูง, Hawkins และคณะ (2012) สหราชอาณาจักร	-	80-118 80 (CIBSE : TM46) 160 (ทุกอาคาร)
อาคารสำนักงาน, Tantiwanit (2007) กรุงเทพมหานคร	กระจายตัวแบบปกติ	225
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	62.71
หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กระจายตัวแบบไม่ปกติ มีลักษณะเส้นโค้งลาดมาทางบวก	70.59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทั้งนี้ เกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารที่จะใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานต่อพื้นที่จากค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 62.71 kWh/m²/year เป็นค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 188.13 บาทต่อตารางเมตรต่อปี และมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 70.57 kWh/m²/year เป็นค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 211.71 บาทต่อตารางเมตรต่อปี คำนวณจากราคาไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงโดยประมาณ 3 บาทต่อหน่วย

(kWh) จากอาคารประเภทที่ 3 อาคารกิจการขนาดกลาง (การไฟฟ้านครหลวง. [online], 2557) นอกจากนี้ การเปรียบเทียบเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกัน ทั้งประเภทอาคารและสถานที่ตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน (kWh/m²/year)

เกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน	Median	Average	Minimum	Maximum
โรงเรียนในเขต Census ที่ 3 สหรัฐอเมริกา (Sharp,1998)	50.56	63.15	32.27	376.53
โรงเรียนในรัฐแคลิฟอร์เนีย (Kinney และ Piette, 2002)	189.00	165.92	63.00	378.00
อาคารธุรกิจในรัฐแคลิฟอร์เนีย (Kinney และ Piette, 2002)	113.40	-	-	-
โรงเรียนในประเทศไอร์แลนด์ (Hernandez และคณะ, 2008)	96.00	-	-	-
สถานศึกษาระดับสูงในสหราชอาณาจักร (Hawkins และคณะ, 2012)	80-118	-	-	-
อาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร (Tantiwanit,2007)	225.00	233.00	90.00	488.00
อาคารสาขาธนาคารไทยพาณิชย์ (กรกมล ตันติวนิช, 2553)	285.17	306.31	83.24	647.95
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	62.71	70.57	4.37	484.57
หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	70.59	63.43	22.67	223.57

แต่จากการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารทั้งหมดในการศึกษานี้ มีค่าการใช้พลังงานมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากในอาคารทั้งหมดมีรูปแบบการใช้อาคารที่หลากหลายและมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้มีความจำเป็นในการจัดกลุ่มอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยออกเป็น 4 ประเภท คือ อาคารสำนักงาน อาคารเรียน อาคารอเนกประสงค์และอื่นๆ และอาคารวิจัย เพื่อทำการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในกลุ่มอาคาร เพื่อให้สามารถได้ค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้การเปรียบเทียบเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในตารางที่ 5.3 พบว่าค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารอเนกประสงค์ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีค่าน้อยที่สุด และค่าเกณฑ์ที่มากที่สุดคือค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งความแตกต่างมาจากการใช้งานภายในอาคารและงานระบบประกอบอาคารนั้นๆ

ตารางที่ 5.3 ผลการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) ของกลุ่มอาคาร

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
อาคารอเนกประ สงค์ (Extra)	61.35	66.73	24.66	138.05
อาคารวิจัย (Laboratory)	83.91	101.75	21.50	226.28

การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจากการวิเคราะห์ข้อมูลของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้ง 35 หน่วยงานที่มีข้อมูลการใช้พลังงาน ข้อมูลจำนวนผู้ใช้งาน และข้อมูลพื้นที่อาคารครบถ้วน จากหน่วยงานทั้งสิ้น 42 หน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีจำนวนผู้ใช้อาคารทั้งหมด 42,661 คน แบ่งออกเป็น จำนวนนิสิตรวมทั้งสิ้น 33,128 คน จำนวนคณาจารย์และบุคลากรทั้งสิ้น 7,610 คน และพบว่าแต่ละหน่วยงานมีพื้นที่ภายในอาคารโดยเฉลี่ย 19,593.67 ตารางเมตรต่อหน่วยงาน มีพื้นที่ปรับอากาศโดยเฉลี่ย 9,072.96 ตารางเมตรต่อหน่วยงาน โดยเป็นสัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศต่อพื้นที่อาคารโดยเฉลี่ยร้อยละ 67.87 ต่อหน่วยงาน มีค่าการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 1,242,799

กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ต่อปีต่อหน่วยงาน เป็นค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย 6,012,416 บาทต่อหน่วยงานต่อปี มีจำนวนผู้ใช้งานโดยเฉลี่ย 1,220 คนต่อหน่วยงานต่อปี

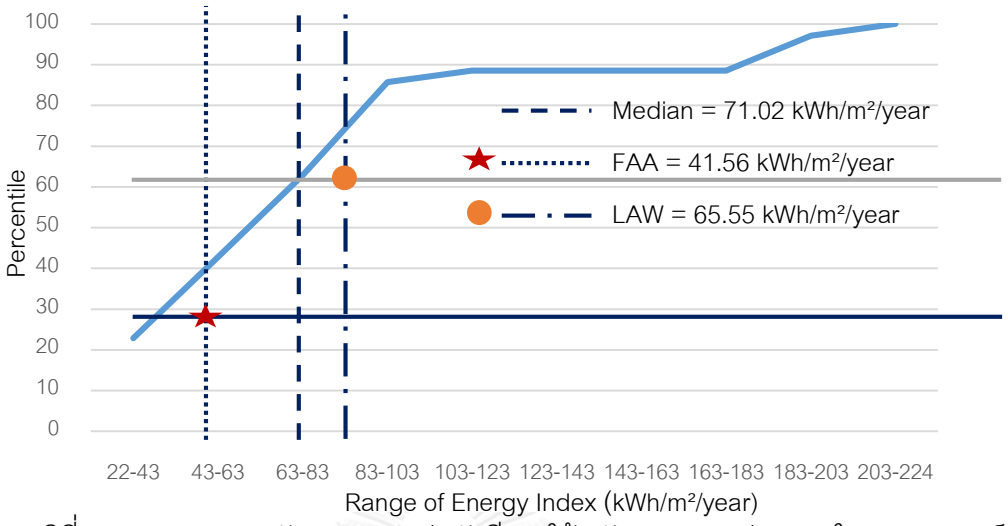
ค่าเกณฑ์สำหรับการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในหน่วยงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งทางลาดมาทางบวก ทั้งค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่และค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคน ส่งผลให้การพิจารณาค่ากลางของข้อมูลต้องใช้ค่ามัธยฐานเป็นค่ากลางและเป็นค่าเกณฑ์สำหรับเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของหน่วยงานที่จะใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงาน มีค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของหน่วยงานต่อพื้นที่จากค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 70.59 kWh/m²/year เป็นค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 211.77 บาทต่อตารางเมตรต่อปี และมีค่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของหน่วยงานต่อคนจากค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 1,018.95 kWh/person/year เป็นค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 3,056.85 บาทต่อคนต่อปี นอกจากนี้ การเปรียบเทียบเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกัน ทั้งประเภทอาคารและสถานที่ตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 5.1

การจัดกลุ่มสำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารต่างๆ หรือหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Index) เพื่อหาอาคารหรือหน่วยงานที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สุด ด้วยการเรียงลำดับข้อมูลแบบร้อยละ (Percentile Ranking) และทำการเปรียบเทียบจากค่าดัชนีการใช้พลังงานในหน่วย kWh/m²/year และ kWh/person/year ในการศึกษานี้ใช้ค่ามัธยฐานเป็นค่าเกณฑ์สำหรับวัดหรือเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน และมีค่าอยู่ในลำดับที่ร้อยละ 50 ซึ่งค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารมีค่าเท่ากับ 62.71 kWh/m²/year ค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของหน่วยงานมีค่าเท่ากับ 70.59 kWh/m²/year และค่ามัธยฐานของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนของหน่วยงานมีค่าเท่ากับ 1,089.31 kWh/person/year ดังแสดงในตารางที่ 5.4 ดังนั้น อาคารหรือหน่วยงานที่มีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์จะถือว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน และเพื่อสร้างการแข่งขันการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารหรือหน่วยงานจากการจัดอันดับอาคารหรือหน่วยงานที่มีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานสูงที่สุด

ตารางที่ 5.4 การจัดลำดับร้อยละของค่าดัชนีการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

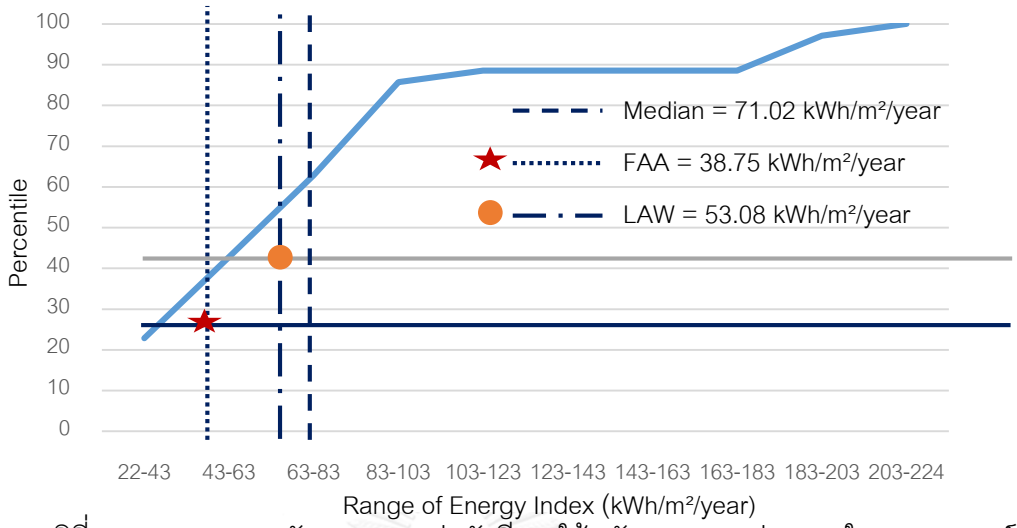
ลำดับร้อยละ (Percentile ranking)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคาร (kWh/m²/year)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของหน่วยงาน (kWh/m²/year)	ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อคนของหน่วยงาน (kWh/person/year)
10	12.14	39.12	366.65
20	32.20	42.26	447.62
30	43.36	49.21	501.25
40	54.58	60.78	715.54
50	62.71	70.59	1,089.31
60	76.68	77.89	1,675.56
70	91.39	90.47	2,765.15
80	123.88	94.85	6,126.96
90	177.05	157.93	7,200.08
100	484.57	223.57	13,672.78

กรณีตัวอย่างในการจัดอันดับค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อให้เกิดการแข่งขันภายในมหาวิทยาลัยนั้น ในตัวอย่างจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของคณะศิลปกรรมศาสตร์ที่มีค่าเท่ากับ 41.56 kWh/m²/year โดยจากการหาตำแหน่งของค่าดัชนีการใช้พลังงานในแผนภูมิการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของหน่วยงาน พบว่าคณะศิลปกรรมศาสตร์มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อพื้นที่อยู่ในลำดับ 20-30 ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5.1 ที่ค่าดัชนีการใช้พลังงานของคณะศิลปกรรมศาสตร์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และในค่าค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของคณะนิติศาสตร์ที่มีค่าเท่ากับ 65.55 kWh/m²/year โดยจากการหาตำแหน่งของค่าดัชนีการใช้พลังงานในแผนภูมิการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของหน่วยงาน พบว่าคณะนิติศาสตร์มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อพื้นที่อยู่ในลำดับ 60-70 ที่มีค่าสูงกว่าระดับเกณฑ์มาตรฐานในช่วงลำดับที่ 50 ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5.1



แผนภูมิที่ 5.1 การกระจายตัวสะสมของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่ (kWh/m²/year)

แต่ในการเปรียบเทียบดังกล่าวพบว่า ในตัวแปรชั่วโมงการใช้งานของทั้งสองคณะไม่เท่ากัน ทำให้มีความจำเป็นต้องปรับฐานชั่วโมงการใช้งานให้มีค่าเท่ากัน ที่จำนวน 2,000 ชั่วโมงต่อปี โดยหลังจากการปรับฐานชั่วโมงการใช้งานได้ค่าดัชนีการใช้พลังงานของคณะศิลปกรรมศาสตร์เป็น 38.75 kWh/m²/year และคณะนิติศาสตร์เท่ากับ 53.08 kWh/m²/year ซึ่งคณะศิลปกรรมศาสตร์มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อพื้นที่อยู่ในลำดับ 20-30 และคณะนิติศาสตร์มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อพื้นที่อยู่ในลำดับ 40-50 ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5.2 ซึ่งทั้งสองคณะมีค่าดัชนีการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน และสำหรับการพัฒนาของคณะในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น ทางคณะมีความจำเป็นต้องบริหารจัดการการใช้พลังงานภายในหน่วยงาน เพื่อลดช่วงอันดับลง และเพื่อให้มีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานที่สูงขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้ ในการศึกษานี้เป็นการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานเบื้องต้น (Preliminary Audit) จากการวัดค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงาน จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมอย่างละเอียดด้วยการทำ Detailed Audit หรือศึกษาในตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานให้ดียิ่งขึ้นไป



แผนภูมิที่ 5.2 การกระจายตัวสะสมของค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยต่อพื้นที่หลังจากปรับฐานชั่วโมงเป็น 2,000 ชั่วโมงต่อปี (kWh/m²/year)

ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการจัดลำดับประสิทธิภาพของกรณีตัวอย่างได้ง่ายขึ้น จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจากการจัดลำดับโดยการแบ่งเกรดจากค่าดัชนีการใช้พลังงาน ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานพบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) เท่ากับ 49.03 จึงทำการแบ่งเกรดตามช่วงลำดับของค่า SD โดยแบ่งเกรดออกเป็น 4 เกรด คือ A, B, C และ D ซึ่งมีช่วงลำดับค่าดัชนีการใช้พลังงานตามที่แสดงในตารางที่ 5.5 ในกรณีตัวอย่างที่ค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ปรับฐานชั่วโมงของคณะศิลปกรรมศาสตร์มีค่าเท่ากับ 38.75 kWh/m²/year และคณะนิติศาสตร์เท่ากับ 53.08 kWh/m²/year โดยเมื่อทำการประเมินค่าดัชนีของทั้งสองคณะแล้วพบว่า ทั้งคณะศิลปกรรมศาสตร์และคณะนิติศาสตร์มีค่าดัชนีการใช้พลังงานอยู่ในเกรด B อย่างไรก็ตาม การศึกษาในการแบ่งเกรดนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น ในการพิจารณาเกรดของแต่ละหน่วยงานจึงอาจต้องพิจารณาในตัวแปรอื่นเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.5 การจัดเกรดของค่าดัชนีการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกรด	ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ต่อพื้นที่ของหน่วยงาน (kWh/m²/year)
A	X < 21.55
B	21.56 – 70.59
C	70.60 – 119.62
D	119.63 < x

จากการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) พบว่าได้สมการทำนายค่าการใช้พลังงานหลายรูปแบบจากตัวแปรพื้นที่ภายในอาคาร และพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งจากสมการ (5.1) และ (5.2) ที่ใช้หนึ่งตัวแปรมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R square) เท่ากับ 0.60-0.61 *($p<0.05$)* หากแต่สมการ (5.3) ที่ใช้ทั้งสามตัวแปรมาวิเคราะห์ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 0.63 *($p<0.05$)* และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Standard error) เท่ากับ 0.42 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่า $\log_{10}$ ENERGY จากค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมากับค่า $\log_{10}$ ENERGY จากการคำนวณผ่านสมการ (5.3) พบว่า มีความแตกต่างกันอยู่ที่ค่า -1.09 ถึง 1.12 ที่คิดเป็นร้อยละ -33.53 ถึง 23.46

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.006 (\log_{10} \text{Area}) + 1.730 \quad (5.1)$$

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.921 (\log_{10} \text{AC}) + 2.329 \quad (5.2)$$

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.578 (\log_{10} \text{Area}) + 0.431 (\log_{10} \text{AC}) + 1.856 \quad (5.3)$$

นอกจากนี้ ในการทำนายค่าการใช้พลังงานของหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยด้วยการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าได้สมการทำนายค่าการใช้พลังงานหลายรูปแบบจากตัวแปรพื้นที่ภายในอาคาร พื้นที่ปรับอากาศ และจำนวนผู้ใช้อาคาร ซึ่งจากสมการ (5.4), (5.5) และ (5.6) ที่ใช้หนึ่งตัวแปรมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.60-088 *($p<0.05$)* หากแต่สมการ (5.7) ที่ใช้ทั้งสองตัวแปร ซึ่งก็คือพื้นที่อาคารและพื้นที่ปรับอากาศมาวิเคราะห์ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 0.90 *($p<0.05$)* และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าเท่ากับ 0.23 ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า

$\log_{10}$ENERGY จากค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมากับค่า $\log_{10}$ ENERGY จากการคำนวณผ่านสมการ (5.7) พบว่า มีความแตกต่างกันอยู่ที่ค่า -0.36 ถึง 0.46 ที่คิดเป็นร้อยละ -8.48 ถึง 8.12

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.944 (\log_{10} \text{Area}) + 2.057 \quad (5.4)$$

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 1.126 (\log_{10} \text{AC}) + 1.601 \quad (5.5)$$

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.611 (\log_{10} \text{Users}) + 4.095 \quad (5.6)$$

$$\log_{10} \text{ENERGY} = 0.528 (\log_{10} \text{Area}) + 0.522 (\log_{10} \text{AC}) + 1.765 \quad (5.7)$$

ผลสรุปจากการทำนายสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของหน่วยงานจากการวิเคราะห์ถดถอย ทั้งจากสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารและหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นสามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมาเปรียบเทียบในเกณฑ์การเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานและสมการวิเคราะห์การถดถอยของค่าการใช้พลังงานที่ผ่านมา โดยสมการดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Sharp (1998) และงานวิจัยของ สไบทิพย์ บุญยงค์ (2551) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในช่วง 0.88-0.91 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ กรกมล ตันติวนิช (2553) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.61-0.67

ในการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจากสมการวิเคราะห์ถดถอยดังกล่าว มีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อหาความถูกต้องของข้อมูลจากค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error : RMSE) ที่วิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่คำนวณได้จากสมการวิเคราะห์ถดถอย โดยจากการคำนวณพบว่าในสมการ (5.3) สำหรับอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และในสมการ (5.7) สำหรับหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่า RMSE เท่ากับ 9.15 และ 4.08 ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5. 6 ผลสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการการทำนายค่าการใช้พลังงานของกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	R square
Schools, Sharp (1998)	0.35-0.89
Commercial bank branch, กรกมล ตันติวนิช (2553)	0.62
อาคารสำนักงาน, สไบทิพย์ บุญยงค์ (2551)	0.88
อาคารเรียนในมหาวิทยาลัย, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	-
อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (5.3)	0.63
หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (5.7)	0.90

ตารางที่ 5.7 ผลสรุปค่า RMSE ของสมการทำนายค่าการใช้พลังงานของกรณีศึกษา

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

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปในการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัย เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการวิจัยที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิที่เป็นข้อมูลที่รวบรวมจากหน่วยงานภายในจุฬาลงกรณ์ ทั้งการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในข้อมูลสรุปรวมของทั้งหน่วยงานในรายเดือนและรายปี ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร และข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานแยกตามจุดวัดหรือมิเตอร์ในรายเดือน ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานที่มีหลายรูปแบบทำให้มีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการศึกษานี้ โดยทำ

การวิเคราะห์จากการตรวจสอบข้อมูลการใช้พลังงานที่มีข้อมูลซ้ำกัน คัดแยกข้อมูลทั้งข้อมูลอาคาร ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารตามมิเตอร์ของตามจุดอาคารและตามจุดของหน่วยงาน ตรวจสอบข้อมูลพลังงานที่ไม่เท่ากันในบางส่วน เนื่องจากในบางอาคารมีค่าการใช้ไฟฟ้าอาคารรวมทั้งอาคาร แต่เมื่อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจากมิเตอร์ย่อยของแต่ละหน่วยงานภายในอาคารกลับได้ผลรวมค่าการใช้พลังงานไม่เท่ากัน จึงพิจารณาใช้ค่าการใช้ไฟฟ้ารวมของอาคารที่มีค่ามากกว่า สาเหตุจากการที่ใช้ค่ามากกว่าเพราะเป็นค่าพลังงานที่รวมพื้นที่ส่วนกลางแล้ว โดยมีความแตกต่างประมาณร้อยละ 10-20 และต้องมีการจัดกลุ่มข้อมูลให้สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากมิเตอร์มีการกระจายตัวอยู่ในหลายส่วน ทำให้ต้องจัดกลุ่มและรวมข้อมูลการใช้พลังงานตามอาคารนั้นๆ และในบางอาคารยังไม่มีการรวมค่าการใช้พลังงานจึงต้องทำการรวบรวมค่าการใช้พลังงานจากมิเตอร์จุดต่างๆ

ในการทำงานในเรื่องการเทียบสมรรถนะด้านการใช้พลังงานภายในมหาวิทยาลัยที่ง่ายขึ้น การเก็บข้อมูลจึงควร เก็บข้อมูลโดยการแบ่งตามอาคารและหน่วยงานให้มีความชัดเจน ไม่เก็บข้อมูลซ้ำซ้อนกัน แยกแยะตามอาคาร และรวมแต่ละหน่วยงานอย่างละเอียด เพราะในการทำงานปัจจุบันต้องนำข้อมูลที่หลากหลาย และมีที่มาหลายที่มารวมกัน จึงต้องทำการแยกแยะและวิเคราะห์ ให้ข้อมูลนั้นมาใช้ในงานวิจัยได้ อีกทั้งข้อมูลการใช้พลังงานในบางส่วนมีการรวมมิเตอร์หลายอาคาร ส่งผลให้ไม่สามารถหาค่าการใช้พลังงานต่ออาคารได้ จึงควรแยกการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละอาคาร และการรวบรวมข้อมูลจากข้อมูลเดิมที่มีมาวิเคราะห์ปัจจัยอื่นๆ ที่ทางหน่วยงานไม่เคยรวบรวมมาก่อน เช่น พื้นที่ปรับอากาศที่ต้องมาคำนวณใหม่ในงานวิจัยนี้ จึงควรทำการเก็บข้อมูลที่ลงรายละเอียดมากยิ่งขึ้นและบันทึกข้อมูลดังกล่าวให้สามารถนำมาใช้งานต่อได้โดยไม่ต้องมาหาใหม่

ในด้านปัจจัยอื่นๆ งานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้เก็บข้อมูลในปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ ลักษณะของอาคาร งานระบบประกอบอาคาร เป็นต้น จึงควรเก็บข้อมูลในปัจจัยอื่นๆ และทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ค่าเกณฑ์การใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำมากขึ้น หรือประเมินในมหาวิทยาลัยอื่นๆ นอกเหนือจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือทำการศึกษาเพิ่มเติมในช่วงเวลาที่หลากหลายหรือยาวนานมากขึ้น หรือเก็บข้อมูลในปัจจัยเรื่องชั่วโมงปฏิบัติการของอาคารต่างๆ ที่มีความละเอียดมากขึ้น ที่สามารถส่งผลต่อการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากการศึกษานี้ข้อมูลชั่วโมงปฏิบัติการยังไม่ส่งผลในการวิเคราะห์ จึงควรเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาการใช้พลังงานภายในโรงเรียนให้มีประสิทธิภาพและแพร่หลายมากยิ่งขึ้นไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฟน. อาคารประหยัดพลังงาน. โปรแกรมทดสอบค่าดัชนีการใช้พลังงานของ กฟน. [online]. 2558. Available from http://www.meaenergysavingbuilding.net/program-calculate- manu.html [2558, พฤษภาคม 10].

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

กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวภาครัฐ (กรณีอาคารเดิม). กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2556.

การไฟฟ้านครหลวง. เกี่ยวกับค่าไฟฟ้า. [online]. 2557. Available from http://www.mea.or.th/profile/index.php?tid=3&mid=111&pid=109 [2557, พฤศจิกายน 19]

จักรกฤษณ์ เหลืองเจริญรัตน์ และ ผศ.ดร.สิงห์ อินทรชูโต. เกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืน : ความเหมือน ความต่าง และค่าความสำคัญที่ให้ต่อสิ่งแวดล้อม ทรัพยากร และพลังงาน. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 10 (2556) : 1-18.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แผนที่และการเดินทาง. [online]. 2557. Available from http://www.chula.ac.th/about/map-and-direction [2557, พฤศจิกายน 19].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ข้อมูลและสถิติ. [online]. 2558 Available from http://www.chula.ac.th/about/fact [2558, พฤษภาคม 10].

ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ และผศ.ดร.ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. การประหยัดพลังงานและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารเรียนในพื้นที่เขตการศึกษาและวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ใน การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 1, หน้า 153-162. 28 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2557 ณ ห้องบรรยาย 1 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2557.

รศ.อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของอาคาร : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 6 (2552) : 13-29.

สไบทิพย์ บุญยงค์. การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. กรอบการประเมินผลการปฏิบัติราชการประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ของสถาบันอุดมศึกษา. [online]. 2558. Available from http://www.e-report.energy.go.th/eva58_files/KPI_Energy_58_University.pdf [2558, พฤษภาคม 10].

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. โครงการลดการใช้พลังงานในภาคราชการ. [online]. 2557. Available from http://www.e-report.energy.go.th/ [2557, ธันวาคม 9].

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. สมการคำนวณค่ามาตรฐาน. [online]. 2558. Available from http://www.e-report.energy.go.th/stdmodel.htm [2558, พฤษภาคม 10]

สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ข้อมูลกายภาพพื้นฐาน. [online]. 2557. Available from http://www.prm.chula.ac.th/building.html [2557, พฤศจิกายน 19]

Sustainability at Chulalongkorn University. โครงการปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน. [online] 2558. Available from http://www.green.chula.ac.th/energy01.html [2558, พฤษภาคม 10].

Sustainability at Chulalongkorn University. มหาวิทยาลัยสีเขียว. [online]. 2558. Available from http://www.green.chula.ac.th/mission.html [2558, พฤษภาคม 10].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาษาอังกฤษ

Alshuwaikhat, H. M. and Abubakar, I. An integrated approach to achieving campus sustainability : assessment of the current campus environmental management practices. Journal of Cleaner Production 16 (2008) : 1777-1785.

Borgstein, E. H. and Lamberts, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings : Bank branches in Brazil. Energy and Buildings, 82 (2014) : 82-91.

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

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

Energy benchmarking for buildings and industries. Energy benchmarking for buildings and industries. [online]. 2015. Available from http://energybenchmarking.lbl.gov/ [2015, May 10].

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

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

Kinney, S. and Piette, M. A. Development of a California commercial building energy benchmarking database. Information and Electronic Technologies : Promises and Pitfalls (2002) : 7.109-107.120.

Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Gonzalez, R. and Maestre, I. R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. Energy and Buildings 3 (2009) : 272-278.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sharp, T. R. Benchmarking energy use in schools. Proceedings of the ACEEE 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings 3 (1998) : 3.305-303.316.

Tan, H., Chen, S., Shi, Q. and Wang, L. Development of green campus in China. Journal of Cleaner Production 64 (2014) : 646-653.

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

Velazquez, L., Munguia, N., Platt, A. and Taddei, J. Sustainable university : what can be the matter?. Journal of Cleaner Production 14 (2006) : 810-819.

Wikipedia. Benchmarking. [online]. 2015. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Benchmarking [2015, May 10]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ น.ส. สรญา กังวาล

เกิด 27 ธันวาคม พ.ศ. 2529

การศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์)

- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์)

- ระดับอุดมศึกษา สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม-เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2552

- เข้าศึกษาหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

การทำงาน

พ.ศ. 2553 – ปัจจุบัน ตำแหน่ง สถาปนิก ระดับ 5 แผนกออกแบบกองบำรุงรักษาโยธา ฝ่ายบริการ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University