การประเมินประสิทธิภาพพลังงานหลังการเข้าใช้งานของอาคารประหยัดพลังงาน ที่ได้รับรางวัลตามเกณฑ์ LEED 2009

น.ส.ยศยา ภัทรภูมีมิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Post Occupancy Evaluation on Energy Efficiency of Green Building under LEED 2009

Miss Yodsaya Pattaraphumeemit

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
Inter-Department of Energy Technology and Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพพลังงานหลังการเข้าใช้งานของอาคารประหยัดพลังงานที่ได้รับรางวัลตามเกณฑ์ LEED 2009
โดย	น.ส.ยศยา ภัทรภูมีมิตร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค)

---------- กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

---------- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยศยา ภัทรภูมีมิตร : การประเมินประสิทธิภาพพลังงานหลังการเข้าใช้งานของอาคารประหยัดพลังงานที่ได้รับรางวัลตามเกณฑ์ LEED 2009. (Post Occupancy Evaluation on Energy Efficiency of Green Buildingunder LEED 2009) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ธนิต จินดาวณิค

ในการขอการรับรองการเป็นอาคารประหยัดพลังงานจากองค์กรด้านสิ่งแวดล้อม มีตั้งแต่การทำตามข้อกำหนดขององค์กรในขั้นตอนการออกแบบ มีการประเมินว่าอาคารที่ออกแบบมีค่าการประหยัดพลังงานเท่าไหร่ รวมถึงการตรวจสอบวัสดุและทดสอบระบบในช่วงการก่อสร้างแล้วเสร็จ ว่าอาคารยังสามารถประหยัดพลังงานได้ตามที่องค์กรรับรองไว้หรือไม่ แต่ยังไม่มีการตรวจสอบไปถึงการประเมินค่าการประหยัดพลังงานของอาคารจากโปรแกรมคำนวณตั้งต้นว่ามีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงของอาคารหลังการเข้าอยู่อาศัย งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาตัวแปรความแตกต่างและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารระหว่างการประเมินค่าการใช้พลังงานของอาคารโดย LEED ซึ่งใช้โปแกรม Energy Plus ในการคำนวณ เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยโปรแกรม BEC และค่าการใช้พลังงานจริงของอาคารจากใบเสร็จชำระเงินค่าไฟฟ้า พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารระหว่างโปรแกรม Energy Plus และโปรแกรม BEC คือการระบุพื้นที่ใช้งานของอาคารที่ไม่เท่ากันและตัวแปรที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ของโปรแกรม BEC ที่ถูกกำหนดไว้ตามการเลือกประเภทของอาคารคือ ชั่วโมงการใช้งาน จำนวนผู้ใช้อาคาร อัตราการระบายอากาศ และค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศด้านนอก ทั้งยังมีส่วนที่โปรแกรม BEC ไม่สามารถระบุค่าได้เทียบเท่ากับโปแกรม Energy Plus คือการกำหนดสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและสภาพภูมิอากาศ ต่อมาเมื่อทำการพิจารณาค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร พบว่าการทำนายค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารจาก LEED มีค่าความแตกต่างจากค่าการใช้พลังงานจริงมากกว่าการคำนวณจากโปรแกรม BEC อาจเกิดจากค่าตัวเลขของตัวแปรที่ใช้ในการป้อนเข้ามีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าการใช้งานจริง

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

6187544220 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: Green building, Energy saving building, Energy efficiency evaluation, Building Energy Code Program (BEC), โปรแกรม EnergyPlus, LEED2009

Yodsaya Pattaraphumeemit : Post Occupancy Evaluation on Energy Efficiency of Green Buildingunder LEED 2009. Advisor: Withaya Yongchareon Co-advisor: THANIT CHINDAVANIG

In terms of achieving green building certification from environmental organization, there are several measured to be proceeded including compliance with organization standards, estimation of building energy saving design value by using the program, examination of material and system inspection after complete the building construction to evaluate the actual energy saving value whether it has passed the organization standard. However, there is no investigation on how different between the energy saving value from the program and actual energy usage after the building has fully operated. This research has studied dissimilarity factors and compared total energy usage of the building comprising of values from LEED assumption by Energy Plus program, BEC program and actual value from electricity bill. The result has shown that factors which lead to the different output between Energy plus and BEC program are calculate the space usage area and independent variables of BEC program such as building operation hour, number of occupants, ventilation rate, and outside air film thermal resistance. Also, it cannot specify outdoor climate and environment. Despite the limitation of BEC program as mentioned, output from LEED has shown more deviation from actual value. As the results, the conclusion is that the occurred discrepancy can cause by inaccurate data entry to the Energy Plus program.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างยิ่งจากผู้มีอุปการคุณหลาย ๆ ท่าน ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณทุกท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ และ รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงคำปรึกษาและความช่วยเหลือต่อข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ในฐานะประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ ในฐานะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์นอกมหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ดีขึ้น

ขอขอบคุณ คุณวรวิทย์ เหลืองวิชชเจริญ คุณภาณุวัฒน์ ไกรจิตเมตต์ และคุณเขมธัช สุวรรณภักดี ที่ให้ข้อมูลทุกอย่างเกี่ยวกับอาคารกรณีศึกษาเป็นอย่างดีและให้คำปรึกษาตลอดมา และขอขอบคุณ คุณอัจฉรียา ชัยยะสมุทร ที่ให้แนวคิดในการทำหัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และเอกสารต่าง ๆ เกี่ยวกับข้อมูล LEED

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณวริษฎา ภัทรภูมีมิตร ผู้เป็นมารดาและครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกท่านที่ยังไม่ได้ถูกกล่าวนามไว้ในข้างต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยศยา ภัทรภูมีมิตร

สารบัญ

หน้า

.....ค

บทคัดย่อภาษาไทย.....ค

.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง

กิตติกรรมประกาศ.....จ

สารบัญ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....3

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา.....3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 อาคารเขียว.....5

2.1.1 แนวคิดเกี่ยวกับอาคารเขียว.....5

2.1.2 การออกแบบทางสถาปัตยกรรมเพื่อความเป็นอาคารเขียว.....8

2.1.3 แนวคิดในหัวข้อการใช้พลังงานและบรรยากาศ.....8

2.1.4 ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาอาคารเขียวในประเทศไทย.....9

2.1.5 การประเมินหลังการเข้าอยู่อาศัยของการใช้พลังงานในอาคาร.....11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.6 ช่องว่างด้านประสิทธิภาพพลังงาน....11
2.1.7 การประเมินหลังการเข้าอยู่อาศัยของการใช้พลังงานในอาคาร....11
2.2 มาตรฐาน LEED....12
2.3 มาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007....23
2.4 การศึกษาโปรแกรม Energy plus....32
2.5 การศึกษาโปรแกรม Building Energy Code (BEC)....35
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย....45
3.1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง....45
3.1.1 การศึกษาหมวดการใช้พลังงานและบรรยากาศตามรายงานการประเมิน LEED....45
3.1.2 การศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม Energy Plus 45
3.1.3 การศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม BEC 46
3.2 การเก็บข้อมูลจากอาคาร เพื่อนำมาใช้ในการวิจัย....46
3.2.1 รายละเอียดข้อมูลที่ต้องเก็บ และคัดเลือกข้อมูล....46
3.2.1.1 ข้อมูลแบบแปลนอาคาร....46
3.2.1.2 ข้อมูลพื้นที่อาคาร....49
3.2.1.3 ข้อมูลระบบกรอบอาคาร....50
3.2.1.4 ข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่าง....51
3.2.1.5 ข้อมูลระบบปรับอากาศ....53
3.2.1.7 ข้อมูลใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า....55
3.2.1.8 ข้อมูลชั่วโมงการใช้งาน....56
3.2.1.9 ข้อมูลรายงานการประเมิน LEED....56
3.2.2 การติดต่อขอข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ....60
3.2.3 การเก็บข้อมูลจากการสำรวจอาคาร....61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การจัดเรียงข้อมูล และอธิบายข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย....61
3.3.1 การจำแนกตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย....61
3.3.2 แจกแจงข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย....61
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาผลการวิจัย....62
3.4.1 วิเคราะห์หาตัวแปรความแตกต่างจากรายงานการประเมิน LEED และโปรแกรม BEC [16] 62
3.4.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารระหว่างรายงานการประเมิน LEED โปรแกรม BEC และค่าการใช้พลังงานจริง....62
3.4.3 แนวทางปรับปรุงตัวแปร....62
3.5 การสรุปผลการวิจัย....62
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล....63
4.1 การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม BEC....63
4.2 การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม Energy Plus....66
4.3 การเปรียบเทียบตัวแปรป้อนเข้าโปรแกรม BEC และโปรแกรม Energy Plus....67
4.4 การจำแนกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากรายการประเมิน LEED....73
4.5 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยโปรแกรม BEC และ Energy Plus กับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร....74
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....75
5.1 สรุปผลการวิจัย....75
5.2 ข้อเสนอแนะ....77
บรรณานุกรม....78
ประวัติผู้เขียน....81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการจำลองอาคารระหว่างอาคารที่ออกแบบและอาคารอ้างอิง.....25

ตารางที่ 2.2 การกำหนดกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในอาคารอ้างอิงตามประเภทของอาคาร (Building Area Method).....32

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์มาตรฐานของระบบกรอบอาคาร.....37

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....38

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก.....38

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่.....39

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนแบบระบุอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น.....40

ตารางที่ 2.8 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนแบบระบุอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้า และออกจากเครื่องควบแน่น.....40

ตารางที่ 2.9 เกณฑ์มาตรฐานของหม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน.....41

ตารางที่ 2.10 เกณฑ์มาตรฐานของหม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน.....41

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดพื้นที่แต่ละชั้นของอาคาร.....50

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของผนังทึบและค่าต่าง ๆ ของอาคาร.....51

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของกระจกและค่าต่าง ๆ ของอาคาร.....51

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบของวัสดุชั้นหลังคาของอาคาร.....51

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดชนิดและจำนวนดวงโคมไฟฟ้าแต่ละชั้นของอาคาร.....52

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดเครื่องทำความเย็นของอาคาร.....53

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดเครื่องส่งลมเย็นของอาคาร.....54

ตารางที่ 3.8 รายละเอียดระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ของอาคาร.....54

ตารางที่ 3.9 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน พ.ศ. 2562.....55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.10 Space Usage Type 57
ตารางที่ 3.11 Performance Rating - Performance Rating Method Compliance 58
ตารางที่ 3.12 Energy Use Summary 59
ตารางที่ 3.13 Total Building Energy Use Performance 59
ตารางที่ 3.14 Energy Use Intensity 59
ตารางที่ 3.15 End Use Energy Percentage 60
ตารางที่ 4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกและหลังคาของอาคารโดยโปรแกรม BEC 64
ตารางที่ 4.2 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างโดยโปรแกรม BEC 65
ตารางที่ 4.3 ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารโดยโปรแกรม BEC 65
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบตัวแปรป้อนเข้าโปรแกรม BEC และโปรแกรม Energy Plus 67
ตารางที่ 4.5 การใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ จากรายงานการประเมิน LEED 73
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยโปรแกรม BEC และ Energy Plus กับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร 74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 สัญลักษณ์มาตรฐาน LEED (Leadership in Energy & Environmental Design).....12
ภาพที่ 2.2 การแบ่งระดับอาคารเขียวตามเกณฑ์การประเมิน LEED 14
ภาพที่ 2.3 สัญลักษณ์สมาคมวิศวกรปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (ASHRAE) 23
ภาพที่ 2.4 การแบ่งภูมิอากาศของประเทศสหรัฐอเมริกาตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 24
ภาพที่ 2.5 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารที่ออกแบบ และอาคารอ้างอิง 25
ภาพที่ 2.6 การกำหนดวัสดุเปลือกอาคารตามตารางที่ 5.5.1 ข้อกำหนดของ Appendix G.....30
ภาพที่ 2.7 การกำหนดระบบปรับอากาศอาคารอ้างอิงตามประเภทของอาคารในตาราง G3.1.1A ข้อกำหนดของ Appendix G 31
ภาพที่ 2.8 การกำหนดรายละเอียดระบบปรับอากาศของอาคารอ้างอิงในตาราง G3.1.1B ตาม ข้อกำหนดของ Appendix G 31
ภาพที่ 2.9 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม Energy Plus.....33
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับป้อนข้อมูลของโปรแกรม Energy Plus.....34
ภาพที่ 2.11 หลักเกณฑ์การผ่านการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.....43
ภาพที่ 2.12 หน้าหลักของโปรแกรม BEC 44
ภาพที่ 3.1 ผังบริเวณโดยรอบของอาคารศูนย์การเรียนรู้ 47
ภาพที่ 3.2 แปลนพื้นชั้นใต้ดิน 48
ภาพที่ 3.3 แปลนพื้นชั้นที่ 1.....48
ภาพที่ 3.4 แปลนพื้นชั้นที่ 2.....48
ภาพที่ 3.5 แปลนพื้นชั้นที่ 3.....49
ภาพที่ 3.6 แปลนพื้นชั้นหลังคา.....49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความรู้ความสามารถของมนุษย์เป็นจุดเริ่มต้นของนวัตกรรมการก่อสร้างอาคารและสถาปัตยกรรมต่าง ๆ มีจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสังคม สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศเดิมก่อนการก่อสร้างขึ้น เช่น การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการก่อสร้างอาคาร การใช้หินในการทำคอนกรีต มลพิษทางเสียง การสั่นจากการก่อสร้างอาคารต่อพื้นที่ใกล้เคียง ฝุ่น ขยะจากการก่อสร้าง การกำจัดขยะมูลฝอย น้ำเสียจากอาคาร เป็นต้น จึงเกิดแนวคิดในการแก้ปัญหาเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมของชาติต่าง ๆ ขึ้น โดยมาตรฐานจากข้อกำหนดของหน่วยงานที่ได้รับการยอบรับอย่างแพร่หลาย เช่นมาตรฐาน BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) ประเทศอังกฤษ มาตรฐาน LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) ประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน GREEN MARK ประเทศสิงคโปร์ มาตรฐาน CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) ประเทศญี่ปุ่น และสำหรับประเทศไทยมีเกณฑ์ TREES (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability) หรือการประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย ของสถาบันอาคารเขียวไทย (TGBI) โดยสำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการมุ่งศึกษาไปยังเกณฑ์การประหยัดพลังงานตามมาตรฐานแบบประเมินอาคาร LEED เป็นเกณฑ์มีการใช้งานมานาน แพร่หลายและถูกปรับปรุงอย่างต่อเนื่องโดยได้พัฒนาเกณฑ์เป็นหลายประเภทเพื่อให้เลือกใช้ได้เหมาะสม รวมถึงเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรฐาน LEED จะเน้นการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) ตัวระบบการประเมินถูกออกแบบมาอย่างครอบคลุม เพื่อให้นำไปสู่การออกแบบและการก่อสร้างอาคารอย่างยั่งยืนเป็นอย่างดี เกณฑ์แต่ละเกณฑ์และหมวดหมู่การประเมินแต่ละหมวดรวมถึงการให้คะแนนล้วนแต่มีทิศทางไปเพื่อจูงใจให้ทุก ๆ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบก่อสร้างอาคารไม่ว่าจะเป็นเจ้าของอาคาร สถาปนิกผู้ออกแบบอาคารทั้งภายนอกและภายใน รวมถึงผู้รับเหมาก่อสร้างให้ความใส่ใจต่อเกณฑ์การประเมินที่เกี่ยวข้องกับตัวเองอย่างรอบด้าน โดยนิยามอาคารประหยัดพลังงานของมาตรฐาน LEED คือเป็นส่วนหนึ่งของข้อบังคับอาคารเขียว กล่าวคืออาคารที่จะอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาอย่างยั่งยืน คือ ต้องประหยัดพลังงาน ขณะเดียวกันก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ด้วย เช่น การใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างก่อสร้างและก่อสร้างเสร็จต้องไม่มี

สิ่งรบกวนพื้นที่ด้านข้างหรือรบกวนสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เช่น การฉายไฟขึ้นสู่ตัวอาคาร ซึ่งจะทำให้แสงสว่างรบกวนสัตว์ที่หากินบนท้องฟ้าในเวลากลางคืน ทั้งนี้ยังไม่นับรวมถึงการออกแบบให้ผู้ใช้อาคารสามารถเห็นทิวทัศน์ภายนอกที่สบายตา เป็นต้น ซึ่งหากสามารถทำได้ จึงจะได้รับคะแนน โดยเป้าหมายของมาตรฐาน LEED ที่ให้ความสำคัญ คือลดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศ (Reduce global climate change) สุขภาพของคน (Human Health) การใช้วัสดุรีไซเคิล (Material Recycles) สร้างเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) สร้างสังคมที่มีคุณภาพชีวิตที่ดี (Community quality life) ปกป้องทรัพยากรน้ำ (Protect water resources) ส่งเสริมความหลากหลายทางระบบนิเวศน์และความหลากหลายทางชีวภาพ (Protect biodiversity and ecosystem services) [1]

ต่อมาเมื่อมีการออกแบบ และประเมินการใช้พลังงานตามเกณฑ์อาคารเขียว เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ยั่งยืนและเป็นไปตามมาตรฐานของแบบประเมินอาคาร จนมาถึงการก่อสร้างแล้วเสร็จ จึงมีการเข้าใช้งานจริงภายในอาคาร พบว่าค่าการใช้พลังงานของอาคารที่วัดได้ มักมีค่าการใช้พลังงานที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการประเมินในขั้นตอนการออกแบบตามเกณฑ์อาคารเขียว โดยความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานนี้อาจเกิดได้หลายสาเหตุเช่น ความคลาดเคลื่อนของการประเมินจากการออกแบบ, การเปลี่ยนแปลงวัสดุหรือปัจจัยที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานของอาคารในระหว่างการก่อสร้าง หรือการบริหารจัดการการใช้พลังงานในอาคารที่ไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาตัวแปรความแตกต่างหรือปัจจัยการใช้พลังงานของอาคารที่ได้จากขั้นตอนการออกแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ถูกใช้จริงภายหลังการเข้าอยู่อาศัย จากการถอดตัวแปรที่ต้องใช้คำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม BEC เพื่อสามารถนำตัวแปรมาเปรียบเทียบกับตัวแปรที่แสดงในรายงานการประเมิน LEED และนำค่าการใช้พลังงานจากโปรแกรม BEC และรายงานการประเมิน LEED มาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารจริงตลอดทั้งปีที่ได้จากใบเสร็จชำระเงินค่าไฟฟ้า และหาแนวทางปรับปรุงตัวแปรหรือปัจจัย โดยศึกษาไปยังอาคารศูนย์การเรียนรู้แห่งหนึ่งที่ได้รับรางวัลอาคารเขียวตามเกณฑ์การประเมิน LEED ในหัวข้อประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Minimum Energy Performance) ซึ่งเป็นการจำลองค่าพลังงานทั้งหมดของอาคาร เปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ออกแบบและอาคารอ้างอิงตาม ASHRAE 90.1-2007 Appendix G และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาปรับปรุงค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารให้ดีขึ้น มีการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของเกณฑ์การประเมิน LEED

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบหาตัวแปรความแตกต่างของการคำนวณการใช้พลังงานของอาคารที่ได้จากรายงานการประเมิน LEED และโปรแกรม BEC ที่อาจมีผลต่อการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการจำลองค่าการใช้พลังงานของอาคารระหว่างค่าที่ได้จากรายงานการประเมิน LEED โปรแกรม BEC และค่าการใช้พลังงานจริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาอาคารศูนย์การเรียนรู้แห่งหนึ่งที่ได้รับรางวัลอาคารเขียวตามเกณฑ์การประเมิน LEED โดยมุ่งตรวจสอบในหัวข้อประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Minimum Energy Performance) ซึ่งอยู่ในหมวดพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) ซึ่งเป็นหัวข้อที่สามารถตรวจวัดได้ เพื่อจำลองหาค่าการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารที่มีใช้งานจริงเปรียบเทียบกับอาคารที่ออกแบบ

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1.4.1 ศึกษาไปยังอาคารศูนย์การเรียนรู้แห่งหนึ่งที่ได้รับการรับรองอาคารเขียวตามเกณฑ์การประเมิน LEED

1.4.2 ศึกษาทฤษฎี, บทความ และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 เก็บข้อมูลโครงการ เช่น พื้นที่อาคาร, ข้อมูลกรอบอาคาร, แบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง, แบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศ, อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ, ใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้าของอาคาร และรายงานการประเมิน LEED

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4.4 ศึกษาที่มาของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานจากรายงานการประเมิน LEED ในหัวข้อ ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007

1.4.5 คำนวณค่าพลังงานของอาคารทั้งหมด (Whole Building Energy Simulation) โดยโปรแกรม BEC เพื่อถอดตัวแปรที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1.4.6 ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลทั้งหมดดังนี้

(1) การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม BEC

(2) การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม Energy Plus

(3) การเปรียบเทียบตัวแปรป้อนเข้าโปรแกรม BEC และโปรแกรม Energy Plus

(4) การจำแนกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากรายการประเมิน LEED

(5) การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยโปรแกรม BEC และ Energy Plus กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร

1.4.7 สรุปผลการวิเคราะห์และรายงานผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาปรับปรุงค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารให้ดีขึ้น

1.5.2 มีการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ของเกณฑ์การประเมิน LEED

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎี ข้อมูล ผลงานวิจัย และแนวคิดจากเอกสาร บทความวิชาการต่าง ๆ ดังนี้

2.1 อาคารเขียว

2.1.1 แนวคิดเกี่ยวกับอาคารเขียว

ในปัจจุบันอาคารเขียว (Green building) กำลังเป็นสนใจของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับวงการการออกแบบและการก่อสร้าง ปัจจัยที่สำคัญคงจะเป็นภาพลักษณ์ของโครงการที่ดูน่าสนใจกว่าโครงการอื่น ๆ ทั่วไปในท้องตลาด ภาพลักษณ์ที่หลายโครงการต้องการจะให้เป็นคือการเป็นผู้ใส่ใจทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลดีต่อโครงการในหลาย ๆ ด้าน ทั้งในแง่การส่งเสริมภาพลักษณ์องค์การ การเพิ่มมูลค่าโครงการ การแข่งขันในท้องตลาด ค่าไฟฟ้าอันเนื่องมาจากาการใช้พลังงานของอาคาร เป็นต้น ด้วยผลประโยชน์เหล่านี้ผู้ประกอบการเริ่มตระหนักดีว่า การทำอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ไม่ใช่เป็นเรื่องของเจตนารมณ์การทำดีเพื่อสังคมองค์รวมเพียงอย่างเดียว หากแต่การทำโครงการอาคารเขียวเป็นลักษณะ “Win Win” สามารถส่งเสริมธุรกิจของโครงการในหลากหลายรูปแบบ หากผู้ประกอบการมีการวางแผนให้ดีย่อมส่งผลเชิงบวกต่อโครงการในด้านต่าง ๆ ตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้

อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน อาคารเขียว ได้พัฒนามาถึงจุดที่มีเกณฑ์การประเมินแล้ว ซึ่งมีสถาบันทั้งในไทยและในต่างประเทศรับรองอย่างเป็นทางการแล้ว สำหรับในต่างประเทศเกณฑ์ประเมินอาคารเขียวมีอยู่หลากหลาย ทั้ง BREEAM ของ อังกฤษ CASBEE ของ ญี่ปุ่น Green Globe ของแคนนาดา Green Star ของ ออสเตรเลีย หรือ ใกล้ๆบ้านเราก็มี Green Mark ของสิงค์โปร์ แต่เกณฑ์ที่ได้รับความนิยมสูงสุดคงหนีไม่พ้นเกณฑ์ LEED ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย USGBC โดยมีอาคารลงทะเบียนเข้าร่วมประเมินถึงกว่า 25,000 โครงการทั่วโลก สำหรับประเทศไทย เกณฑ์ที่กำลังพัฒนาและจะประกาศใช้ในเร็วๆนี้ ได้แก่ TREES (Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability) หรือ เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย ก็กำลังเป็นเกณฑ์ที่ได้รับความสนใจในวงการวิชาชีพ ซึ่งเมื่อเกณฑ์ต่าง ๆ เริ่มมีการประกาศใช้ ย่อมส่งผลต่อลักษณะของโครงการอาคารเขียวในหลายรูปแบบ ผู้เขียนได้จำแนกลักษณะของอาคารเขียวในปัจจุบันเป็น 3 เฉด คือ เขียวอ่อน เขียวกลางๆ และ เขียวเข้ม โดยในแต่ละเฉดจะมีความเข้มข้นในการออกแบบ

และก่อสร้างอาคารเขียวที่แตกต่างกัน อีกทั้ง ทั้ง 3 เฉดยังมีลักษณะที่ตรงกับบางธุรกิจ หรือประเภทอาคารต่าง ๆ ดังนั้นการทำความเข้าใจกับอาคารเขียวในเฉดต่าง ๆ นี้ ย่อมส่งผลดีต่อผู้อ่านในการเข้าใจถึงโครงสร้างอาคารเขียวภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน อันจะส่งผลต่อการปรับตัวให้ทันต่ออุตสาหกรรมอาคารเขียวที่จะมีขึ้นในอนาคต

1. อาคาร [สี]เขียวอ่อน

อาคารในกลุ่มนี้จะเน้นที่ภาพลักษณ์ของการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก โดยมุ่งหวังให้สังคมและคนทั่วไปรับรู้ถึงการใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการ แต่โครงการมักไม่มีการเข้าร่วมการประเมินอาคารเขียวอย่างเป็นทางการ เนื่องจากอาคารกลุ่มนี้มีเป้าหมายเชิงธุรกิจอยู่ที่คนทั่วไปซึ่งยังไม่ทราบถึงการมีอยู่ของเกณฑ์การประเมินต่าง ๆ ตัวอาคารจึงไม่ได้มีแรงจูงใจที่จะเข้าร่วมประเมินอย่างเป็นทางการ ประกอบกับยังไม่แน่ใจว่าการเข้าร่วมประเมินและได้รางวัลระดับใดระดับหนึ่งมาจะคุ้มค่ากับการลงทุนและการทำงานที่มีความซับซ้อนขึ้นหรือไม่ แต่อย่างไรก็ดี กระแสทางสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงานก็เป็นมีการทวีความสำคัญในสังคมมากขึ้น ทั้งจากข่าวสารและการรณรงค์ของภาครัฐ ทำให้อาคารในกลุ่มเขียวอ่อนนี้ไม่อาจจะละเลยที่จะประยุกต์แนวคิดทางอาคารเขียวได้ ซึ่งอาคารเหล่านี้อาจนำประเด็นหรือแนวคิดทางสิ่งแวดล้อมที่ง่าย ๆ ชัดเจน มาประยุกต์ใช้ เช่น การเพิ่มพื้นที่สีเขียว การใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ หรือแม้กระทั่งการนำพลังงานทางเลือก เช่น เซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ ตัวอย่างกลุ่มอาคารที่ถือเป็นสีเขียวอ่อนในความเห็นของผู้เขียนคือกลุ่มอาคารคอนโดมิเนียมและที่พักอาศัยที่เน้นจุดขายทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นอาคารที่เน้นกลุ่มเป้าหมายยังเป็นคนทั่วไปที่มีรายได้ระดับต่าง ๆ ซึ่งกลุ่มนี้ยังไม่ทราบเรื่องเกณฑ์การประเมินมากนัก ทำให้อาคารแนวคิดการพัฒนาอาคารเขียวอยู่บนแนวคิดของผู้พัฒนาโครงการมักจะมุ่งเน้นที่การตลาดเป็นสำคัญ อาคารในกลุ่มนี้ถือว่าดีกว่าอาคารทั่วไปที่ไม่คำนึงถึงเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่เน้นแต่เพียงยอดขายเพียงอย่างเดียวมากนัก แต่ก็ต้องพึงระวังถึงกลุ่มอาคารที่มุ่งสร้างยอดขายโดยใช้ประเด็นทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ไม่เป็นจริง อาทิเช่น การใช้กระจกขนาดใหญ่เพื่อลดพลังงานจากแสงประดิษฐ์ด้วยแสงธรรมชาติ ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ทั้ง ๆ ที่การใช้กระจกมากเกินไปกลับเป็นการเปลืองพลังงานจากระบบปรับอากาศมากกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. อาคาร [สี]เขียวกลาง ๆ

ต่างกับอาคารสีเขียวอ่อน อาคารเขียวกลาง ๆ นี้จะเริ่มมีการอ้างอิง เกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในการออกแบบ แต่อาจจะยังไม่มีการลงทะเบียนแสดงความเจตน์จำนงเข้าร่วมประเมินอย่างเป็นทางการ อาคารในกลุ่มนี้จะมีการนำเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวมาเป็นแนวทางในการออกแบบให้มากที่สุด เจ้าของหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับอาคารกลุ่มนี้เริ่มที่จะเห็นความสำคัญของเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว ว่าสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับอาคารของตนได้ แต่เนื่องจากอาคารเขียวที่มีการประเมินอย่างเป็นระบบนั้นนับเป็นเรื่องใหม่ จึงอาจไม่มีความเข้าใจในตัวระบบการประเมิน กระบวนการขั้นตอน งบประมาณที่ต้องมีการจัดสรรรองรับไว้ ซึ่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการออกแบบแล้ว จึงมักจะไม่สามารถเข้าร่วมประเมินอย่างราบรื่นนัก ผลที่ตามมาก็คือการมอบหมายให้สถาปนิกและวิศวกรออกแบบตามเกณฑ์อาคารเขียวเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งในบางครั้งอาจตั้งเงื่อนไขว่างบประมาณการก่อสร้างต้องไม่เพิ่มขึ้นด้วย

3. อาคาร [สี]เขียวเข้ม

อาคารในกลุ่มนี้จะมีการเข้าร่วมประเมินอย่างเป็นทางการ ไม่ว่าจะเป็นเกณฑ์ LEED หรือ เกณฑ์อื่น ๆ ก็ตาม ซึ่งอาคารในกลุ่มนี้จะมีเป้าหมายที่ชัดเจนในการมุ่งเอารางวัลระดับต่าง ๆ ซึ่งส่วนมากจะเกิดจากกลุ่มเจ้าของอาคารหรือผู้บริหารระดับสูงมีนโยบายชัดเจนในด้านอาคารเขียว ดังนั้น จึงมีการวางกรอบงบประมาณที่ชัดเจน การจัดจ้างที่ปรึกษาตั้งแต่เริ่มโครงการ อีกทั้งมีความยืดหยุ่นสูงสามารถตัดสินใจได้รวดเร็ว อาคารในกลุ่มนี้จะมีการนำเกณฑ์การประเมินมาวิเคราะห์หาแนวทางและกลยุทธการทำคะแนน และมีการประยุกต์ใช้มาตรการต่าง ๆ อย่างจริงจัง ซึ่งมุ่งไปสู่การได้คะแนนสูงสุดภายใต้งบประมาณที่กำหนดไว้ อาคารจึงมีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับหัวข้อคะแนนอาคารเขียวที่ได้มีการแบ่งหมวดหมู่ที่ครอบคลุม ตั้งแต่ ที่ตั้งโครงการและภูมิสถาปัตยกรรม การประหยัดน้ำ พลังงาน การใช้วัสดุ คุณภาพชีวิต และ การใช้นวัตกรรมใหม่ ๆ เป็นต้น ความท้าทายของอาคารในกลุ่มนี้คือ ความเที่ยงตรงในการทำคะแนนซึ่งไม่มุ่งเน้นเพียงแค่การทำเอกสาร หากแต่ต้องมุ่งเน้นที่เจตนารมณ์ของการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

สรุปภาพรวมอาคารเขียวคือ โครงสร้างของอาคารเขียวในไทยในขณะนี้ ตามประสบการณ์ของผู้เขียน คงหนีไม่พ้นอาคารเขียวในสามเฉดสีนี้ ซึ่งผู้เขียนไม่ได้มีเจตนารมณ์ที่จะบอกว่าอาคารเขียวในระดับสีใดสามารถอนุรักษ์พลังงานและ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สิ่งแวดล้อมได้ดีกว่ากัน ในความเป็นจริงแล้ว อาคาร (สี)เขียวอ่อน ที่มีการใช้มาตรการทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่เข้มข้น เต็มเปี่ยมด้วยเจตนารมณ์ที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม และสังคม ก็อาจทรงคุณค่าการอาคาร (สี)เขียวเข้ม ที่เน้นการทำเอกสารและหาช่องทางในการทำคะแนนเพื่อผ่านเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวเพียงอย่างเดียว อาคารเขียวแบบต่าง ๆ ตามการจำแนกของผู้เขียนเป็นเพียงระดับของอาคารเขียวในการเข้าสู่เกณฑ์การประเมินเป็นทางการมากน้อยเพียงไร ในอุดมคติแล้ว หากเจ้าของอาคารเต็มเปี่ยมด้วยเจตนารมณ์ที่จะช่วยโลก และสิ่งแวดล้อม อย่างจริงใจ การเป็นอาคาเขียวเข้มก็เปรียบเสมือนรางวัลที่สังคมได้มอบให้แทนคำขอบคุณของทุกภาคส่วนในสังคมนั้น หากทุกฝ่ายมีแนวคิดเช่นนี้ไม่ว่าจะเป็นอาคารเขียวในเฉดใดอนาคตของอาคารที่ดีขึ้น อนุรักษ์พลังงาน และ เป็นมิตรก็สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ย่อมอยู่ไม่ไกลนัก [2]

2.1.2 การออกแบบทางสถาปัตยกรรมเพื่อความเป็นอาคารเขียว

ในปีพ.ศ. 2558 อภิวาทนสิริและยุทธวัชร [3] กล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบสถาปัตยกรรม พบว่าช่วงที่สามารถกำหนดแนวทางออกแบบเพื่อให้เป็นอาคารเขียวจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดเป้าหมายในการออกแบบ เพื่อให้ได้แนวความคิดเบื้องต้น และแสดงออกมาในช่วงการออกแบบร่างอาคาร(Schematic Design)ซึ่งจะนำมาประเมินและปรับเปลี่ยนรูปแบบตามความเหมาะสมโดยในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมเพื่อความเป็นอาคารเขียวนั้นจำเป็นต้องมีการบูรณาการออกแบบตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบร่าง ดังที่กล่าวไว้ในเอกสารการบรรยาย เรื่อง"Integrative Design Process-A Whole System Approach" (Sachin Anand and Helen J. Kessler,2012: 12) โดยได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างทีมออกแบบ (Design Team) ลูกค้า(Client)และผู้ก่อสร้างอาคาร (Builder) ในกระบวนการออกแบบอาคารแบบบูรณาการ (Integrative Design Process) ซึ่งเมื่อมีการประสานงานกันในแต่ละภาคส่วนที่เกี่ยวเนื่องกับโครงการแล้ว ทุกภาคส่วนจะมีการประชุมเพื่อกำหนดเป้าหมายร่วมกันตั้งแต่ขั้นตอนก่อนเริ่มโครงการจนถึงขั้นตอนการเข้าใช้งานอาคาร โดยในแต่ละครั้งจะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลและปัญหาต่าง ๆ ของแต่ละทีมซึ่งจะนำมาวิเคราะห์และกลั่นกรอง เพื่อให้ได้ข้อสรุปเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาไปสู่ขั้นตอนต่อไป

2.1.3 แนวคิดในหัวข้อการใช้พลังงานและบรรยากาศ

ในปีพ.ศ. 2561 กฤตยชญ์และวรภัทร์ [4] ได้ทำการวิจัยเชิงผสมผสานระหว่างการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยจากการสุ่มกลุ่มตัวอย่างสถาปนิกจำนวน 37 คน สำหรับประเด็นด้านการใช้พลังงานและบรรยากาศกลุ่มตัวอย่างมองว่าการออกแบบอาคารเขียวเป็น

การออกแบบอาคารที่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและช่วยประหยัดพลังงานโดยการออกแบบให้อาคารสามารถพึ่งพิงกับธรรมชาติให้ได้มากที่สุด เช่นการใช้แสงธรรมชาติในการให้ความส่องสว่างแก่อาคาร การระบายอากาศโดยใช้วิธีธรรมชาติ ประกอบกับการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารและการให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานทดแทนร่วมด้วย ซึ่งการออกแบบในประเด็นดังกล่าวพฤติกรรมของผู้ใช้ก็ถือว่ามีส่วนช่วยให้อาคารเกิดการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน ในขณะที่ประเด็นเรื่องการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดน้ำ กลุ่มตัวอย่างมองว่าการออกแบบอาคารที่ส่งเสริมการประหยัดน้ำจำเป็นต้องคำนึงถึงการออกแบบระบบและเลือกใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำที่เหมาะสม ตลอดจนการคำนึงถึงพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มองว่าแม้อาคารจะมีการออกแบบระบบประหยัดน้ำที่ดีเพียงใด แต่หากผู้ใช้อาคารขาดจิตสำนึกในการประหยัดน้ำก็อาจจะส่งผลให้อาคารไม่ได้ส่งเสริมให้เกิดการประหยัดน้ำเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.4 ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาอาคารเขียวในประเทศไทย

ในปีพ.ศ. 2557 กชกรและปิยนุช [5] ได้ศึกษาถึงเหตุผลและความจำเป็นที่จะต้องนำการออกแบบอาคารเขียวมาใช้ที่ก่อให้เกิดการพัฒนาอาคารเขียวในประเทศไทย พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเขียวโดยรวมมากที่สุดคือ ความต้องการของเจ้าของโครงการ เพราะการก่อสร้างอาคารเขียวส่วนใหญ่ในประเทศไทยต้องใช้เงินลงทุนที่มากกว่าการก่อสร้างอาคารปกติ ดังนั้นการลงทุนจึงต้องผ่านหรือได้รับความเห็นชอบจากผู้บริหารระดับสูง จึงทำให้ผู้บริหารโครงการ หรือเจ้าของโครงการ มีบทบาทสำคัญในการก่อสร้างอาคารเขียวในประเทศไทย รองลงมาได้แก่ เพื่อเพิ่มระดับความน่าเชื่อถือขององค์กร เนื่องจากเพื่อการสร้างภาพลักษณ์ขององค์กรในการสร้างความน่าเชื่อถือและคำนึงถึงความยั่งยืนในพลังงาน และอีกปัจจัยที่สำคัญคือนโยบายขององค์กร เหตุเพราะมีการส่งเสริมจากภาครัฐบาลให้มีการดำเนินการในภาคอุตสาหกรรมที่ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมเป็นหลัก จึงทำให้องค์กรหันมาใส่ใจด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น สำหรับปัญหาที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเขียวสามารถแบ่งได้เป็นปัจจัยหลัก 6 ด้าน ดังนี้

(1) ปัจจัยปัญหาด้านเทคนิคมากที่สุด คือไม่มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน (ไม่มีการระบุขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างชัดเจนและเข้าใจได้ทั้งในด้านการออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์) เนื่องจากที่ผ่านมาการออกแบบอาคารเขียวในประเทศไทยเป็นการออกแบบโดยอาศัยบริษัทที่ปรึกษา จึงทำให้ไม่มีองค์ความรู้ในขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(2) ปัจจัยปัญหาด้านนโยบายและทัศนคติมากที่สุด คือขาดการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูงเนื่องจากผู้บริหารไม่มีความรู้ ขาดความสนใจ หรือขาดการติดตามงานอย่างจริงจัง คำนึงถึงแนวทางการปฏิบัติจริงเป็นหลัก

(3) ปัจจัยปัญหาด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ขาดการบังคับใช้ด้านกฎหมายจากรัฐบาลเนื่องจากยังไม่มีกฎหมายอาคารเขียวบังคับใช้ ปัจจุบันเป็นแค่ความสนใจความสมัครใจของผู้เกี่ยวข้องเท่านั้น

(4) ปัจจัยปัญหาด้านเศรษฐศาสตร์และการตลาดมากที่สุด คือ ต้นทุนในการพัฒนาโครงการอาคารยั่งยืนมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีระดับของปัญหาสูงที่สุดของปัจจัยปัญหาทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ด้วยเนื่องจากต้นทุนค่าวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมีราคาสูง ต้องใช้ทักษะและเทคโนโลยีช่วยในการก่อสร้างมากงานสาธารณูปโภคต้องทำตามข้อกำหนดของอาคารเขียวมีค่าใช้จ่ายสูง ทำให้มีต้นทุนสูงกว่าการก่อสร้างแบบธรรมดามาก จึงส่งผลต่อการตัดสินใจของกลุ่มลูกค้า เหตุเพราะต้นทุนมีราคาสูงกว่าการก่อสร้างแบบทั่วไป

(5) ปัจจัยปัญหาด้านทรัพยากรมากที่สุด คือขาดแคลนด้านผู้ผลิตวัสดุก่อสร้างและวัสดุอื่น ๆ ที่ผ่านตามมาตรฐานอาคารเขียว เนื่องจากมาตรฐานอาคารเขียวเพิ่งจะกำหนดขึ้นมา และอาคารเขียวยังมีน้อย จึงไม่คุ้มค่าต่อการที่ผู้ผลิตวัสดุก่อสร้างจะลงทุนสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และอีกปัจจัยขาดแรงจูงใจในการออกแบบแบบบูรณาการ เหตุเพราะทรัพยากรที่ผ่านตามมาตรฐานอาคารเขียวมีน้อยส่งผลให้ขาดแรงจูงใจในการออกแบบ

(6) ปัจจัยปัญหาด้านเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้เป็นเครื่องมือมากที่สุด คือมาตรฐาน TREES ของสถาบันอาคารเขียวไทยเพิ่งจะเริ่มมีการใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินอาคารเขียว ทำให้ขาดความรู้ความเข้าใจในเกณฑ์ นำไปสู่ปัญหาความน่าเชื่อถือ ทั้งนี้เกณฑ์ที่ใช้ยัง จะต้องปรับปรุงเพิ่มเติมอีกจากปัญหา อุปสรรคเมื่อมีการใช้งานจริงไประยะหนึ่ง โดยอาคารที่ยื่นขอมาตรฐาน TREES ปัจจุบันยังมีน้อย ในประเทศไทยอาคารที่มุ่งสู่การเป็นอาคารเขียวจะยื่นขอมาตรฐาน LEED เป็นส่วนมาก เพราะส่วนมากเจ้าขององค์กรเป็นกลุ่มชาวต่างชาติ หรือมีการติดต่อซื้อขายกับต่างชาติ เกณฑ์ LEED เป็นที่ยอมรับจากสากลมากกว่า

2.1.5 การประเมินหลังการเข้าอยู่อาศัยของการใช้พลังงานในอาคาร

ในปีพ.ศ. 2554 Vipul Singh [6] ได้ศึกษาถึงการลดการใช้พลังงานของอาคารและการขอใบรับรองสำหรับอาคารเขียวมีจำนวนมาก แต่อาคารเหล่านี้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิการประหยัดพลังงานตามที่ตั้งเป้าหมายไว้หรือไม่ และถ้าไม่สาเหตุหรือปัจจัยอะไรที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการประเมินค่าหลังการเข้าอยู่อาศัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพของอาคารพลังงานที่ถูกใช้, คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายใน, เสียงและการใช้น้ำ

2.1.6 ช่องว่างด้านประสิทธิภาพพลังงาน

ในปี ค.ศ.2012 Anna Carolina Kossmann de Menezes Andrew Cripps Dino Bouchlaghem และ Richard Buswell [7] ได้ศึกษาหาความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าการใช้พลังงานจากการประเมินของผู้ออกแบบและค่าการใช้พลังงานของอาคารที่เกิดขึ้นจริงหลังการเข้าอยู่อาศัย โดยมีหลักฐานสำคัญที่ชี้ให้เห็นว่าอาคารไม่สามารถทำงานได้ตามที่คาดหวัง แสดงให้เห็นถึงสิ่งที่เรียกว่า 'ช่องว่างด้านประสิทธิภาพพลังงาน' การศึกษานี้กล่าวถึงสาเหตุและปัจจัยหลายประการเกี่ยวข้องกับการใช้พารามิเตอร์ป้อนเข้าที่ไม่สมจริงเกี่ยวกับพฤติกรรมการเข้าพักและอุปกรณ์อื่น ๆที่ไม่ได้ถูกระบุให้ป้อนเข้าในแบบจำลองพลังงาน ทั้งยังขาดความคิดเห็นย้อนกลับไปยังผู้ออกแบบเมื่อมีการสร้างและเข้าอยู่อาศัยแล้ว โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงให้เห็นว่าความรู้ที่ได้จากการประเมินหลังการเข้าอยู่อาศัย สามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารให้แม่นยำขึ้น ศึกษาไปที่ระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากของอาคารสำนักงาน ผลการวิจัยที่ได้สามารถนำมาปรับปรุงแบบจำลองการใช้พลังงานให้คลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง และแจ้งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ไปยังผู้ออกแบบ เพื่อการใช้พารามิเตอร์ป้อนเข้าที่สมจริง ซึ่งจะทำให้ตัวเลขที่คาดการณ์ไว้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

2.1.7 การประเมินหลังการเข้าอยู่อาศัยของการใช้พลังงานในอาคาร

ในปีค.ศ. 2015 Qian Chen, Lauren Kleinman และ Aparna Dial [8] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานและค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงของอาคารที่ได้รับรางวัล LEED พบว่าหนึ่งในสามของอาคารที่ได้เข้าไปศึกษามีค่าการใช้พลังงานจริงเกินกว่าค่าการประเมินถึงสองเท่า จึงได้ศึกษาโดยทำการเปรียบเทียบหาตัวแปรระหว่างค่าการใช้พลังงานจากการประเมินและค่าการใช้พลังงานจริง เมื่อทราบถึงตัวแปรต่าง ๆ แล้ว จึงทำการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการและการสนทนากลุ่ม พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของการศึกษานี้คือ ความแม่นยำของแบบจำลองการใช้พลังงาน การใช้โปรแกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

BAS (Building Automation System) คุณภาพของข้อกำหนดโครงการ ปัญหาจากความเข้าใจผิดในข้อมูลโครงการ ปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการอาคารและการฝึกอบรมพนังงานเกี่ยวกับการใช้อาคาร และนำตัวแปรเหล่านี้มาทำการปรับปรุงขั้นตอน นโยบาย และแนวทางปฏิบัติในการใช้งานอาคารใหม่ เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น

2.2 มาตรฐาน LEED

Leadership in Energy & Environmental Design

ภาพที่ 2.1 สัญลักษณ์มาตรฐาน LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)
ที่มา: https://www.usgbc.org/

ที่มาของ LEED และระบบเกณฑ์การประเมิน

เกณฑ์การประเมินของ LEED พัฒนาขึ้นโดย United Stated Green Building Council หรือ USGBC [9], [10] โดยเกิดจากการรวมตัวกันของผู้เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการก่อสร้าง และออกแบบอาคาร เพื่อพัฒนาให้เกิดอาคารเขียวขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1993 ปัจจุบันมีสมาชิกมากกว่า 15,000 ราย มีทั้งหน่วยงานของรัฐ เอกชน ผู้ประกอบการอสังหาริมทรัพย์ สถาปนิก วิศวกร ผู้รับเหมา โดยมีพันธกิจหลักในการเปลี่ยนแปลงวิธีการออกแบบ ก่อสร้าง และใช้อาคาร ให้มีความใส่ใจรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม และสังคมมากขึ้น

เกณฑ์นี้ได้ใช้ประเมินอาคารต่าง ๆ ทั้งในสหรัฐอเมริกา และประเทศต่าง ๆ เกือบทั่วโลก มานานกว่า 10 ปี มีการปรับปรุงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยได้จัดทำเกณฑ์เพื่อให้ใช้ประเมินอาคารหลายประเภท ผู้ใช้จึงต้องเลือกประเภทของเกณฑ์ให้ถูกต้องเหมาะสม เช่น

LEED for Building Design and Construction (LEED BD+C) ใช้สำหรับประเมินอาคารที่สร้างใหม่ หรืออาคารที่ปรับปรุงใหญ่ โดยออกแบบสำหรับอาคารสำนักงานเป็นหลัก แต่สามารถใช้กับอาคารประเภทอื่น ๆ ได้ด้วย เช่น สรรพสินค้า โรงแรม โรงงาน เป็นต้น

LEED for Operation and Maintenance (LEED O+M) สำหรับอาคารที่สร้างเสร็จแล้วที่ต้องการดูแลรักษาอาคารให้เป็นอาคารเขียว โดยอาคารที่ผ่านการรับรองประเภท

LEED BD+C แล้ว สามารถสมัครขอการรับรองประเภทนี้ต่อได้ด้วย

LEED for Homes สำหรับบ้านพักอาศัย

LEED for School สำหรับโรงเรียน ตั้งแต่อนุบาลถึงมัธยมปลาย

LEED for Health Care สำหรับสถานพยาบาลต่าง ๆ

LEED for Core and Shell (LEED CS) สำหรับอาคารที่ผู้ประกอบการจะสร้างแต่เปลือกอาคาร คือกรอบผนังภายนอก และหลังคา และส่วนที่เป็นแกนบริการของอาคาร ซึ่งส่วนใหญ่ก็คือลิฟต์ บันได และช่องท่อต่าง ๆ นั่นเอง และทำการตลาดเพื่อขาย หรือให้เช่าพื้นที่ภายใน โดยผู้เช่าจะเป็นผู้มาตกแต่งกั้นพื้นที่ภายในเอง

LEED for Interior Design & Construction เป็นแนวทางการตกแต่งภายในสำหรับผู้เช่าอาคาร และผู้ออกแบบ

LEED for Neighborhood Development เป็นแนวทางการพัฒนาชุมชน หมู่บ้าน การเข้าถึงบริการขนส่งสาธารณะ และการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกับพื้นที่พาณิชยกรรม

LEED ในทุกระบบจะประกอบด้วยเนื้อหาของการประเมินที่เหมือนกัน คือ 6 หมวดหลัก ได้แก่

1. สถานที่ตั้งเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Sites)
2. การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water Efficiency)
3. พลังงาน และบรรยากาศ (Energy and Atmosphere)
4. วัสดุ และการก่อสร้าง (Material and Resources)
5. คุณภาพสภาพแวดล้อมในอาคาร (Indoor Environmental Quality)
6. นวัตกรรมในการออกแบบ (Innovation in Design)

โดยคะแนนเต็มของหมวดที่ 1 ถึง 5 รวมกันจะเป็น 100 คะแนน และส่วนหมวดที่ 6 นวัตกรรมในการออกแบบนั้น ถือเป็นคะแนนโบนัส มีได้สูงสุด 6 คะแนน และสำหรับโครงการในสหรัฐอเมริกาจะมีคะแนนโบนัสเพิ่มให้อีก 4 คะแนน หากสามารถออกแบบ หรือพัฒนาในสิ่งที่เป็นความต้องการเร่งด่วนของภูมิภาคที่ตั้งอยู่ได้ เช่น ถ้าภูมิภาคนั้นมีปัญหาขาดแคลนน้ำ และโครงการสามารถประหยัดได้ดีมากก็ได้คะแนนโบนัสเพิ่ม เป็นต้น ดังนั้นคะแนนเต็มสูงสุดจะเป็น 110 คะแนน

สำหรับ LEED for Homes และ LEED for Neighborhood Development จะมีหมวดอื่นเพิ่มเติมจากข้างต้น

การที่จะผ่านการรับรอง

การประเมินตามเนื้อหาทั้ง 6 หมวดนั้น จะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

ประเภทแรก ถือว่าเป็น **เกณฑ์บังคับ (Prerequisite)** ที่ต้องผ่าน เช่น หมวดของการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ อาคารที่เป็นอาคารเขียวได้ จะต้องใช้น้ำน้อยกว่าอาคารทั่ว ๆ ไป หรือเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบอย่างน้อย 20% เป็นต้น เกณฑ์การบังคับนี้ไม่มีคะแนนให้ แต่ถ้าไม่ผ่านก็หมดสิทธิเป็นอาคารเขียว

ประเภทที่สอง เป็น**เกณฑ์ที่มีคะแนนให้** ส่วนใหญ่ข้อละ 1 คะแนน โดยบางหัวข้อ หากออกแบบได้ดีมาก ๆ ก็จะได้คะแนนเพิ่มเป็นพิเศษด้วยสำหรับการเป็นตัวอย่างที่ดี (Exemplary) เช่น ถ้าไม่ใช้น้ำประปาในงานภูมิสถาปัตยกรรมเลยจะได้คะแนนเพิ่มเป็น 2 คะแนน เป็นต้น

สำหรับอาคารที่จะผ่านการรับรองได้นั้น จะต้อง**ผ่านเกณฑ์บังคับครบทุกข้อ** และได้คะแนนในหมวดต่าง ๆ รวมกันอย่างน้อย 40 คะแนน โดยจะแบ่งระดับของอาคารเขียวออกเป็นดังนี้

ระดับผ่านการรับรอง (Certified)	40-49	คะแนน
ระดับเงิน	50-59	คะแนน
ระดับทอง	60-79	คะแนน
ระดับแพลตตินัม	80+	คะแนน

ภาพที่ 2.2 การแบ่งระดับอาคารเขียวตามเกณฑ์การประเมิน LEED
ที่มา: https://www.usgbc.org/

เนื้อหาการประเมินในแต่ละหมวด

ตามที่ได้กล่าวข้างต้นว่าเกณฑ์การประเมินของ LEED มีหลายระบบ ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะเนื้อหาของ LEED for Building Design and Construction (เดิมเรียก LEED for New Construction and Major Renovations) ซึ่งสามารถใช้ได้กับอาคารหลายประเภทกว้างขวางและมีการใช้กันมากกว่าแบบอื่น ๆ โดยล่าสุดในปี ค.ศ.2009 ได้ปรับปรุงเป็น Version 3 บางทีจึงเรียกว่า LEED 2009 หรือ LEED v.3

เนื่องจากเนื้อหาของ LEED นั้นมีรายละเอียดมากมาย ผู้สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก website ของ Green Building Certification Institute หรือ GBCI ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการรับรองอาคารที่สามารถผ่านเกณฑ์ของ LEED ในที่นี้จึงขออธิบายเฉพาะภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละหมวดอย่างกว้าง ๆ

1. หมวดที่ตั้งเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Sites) 26 คะแนน

หมวดนี้จัดว่ามีคะแนนรวมสูงเป็นอันดับสอง รองจากหมวดพลังงาน และบรรยากาศ เพราะถือว่าการเลือกที่ตั้งเป็นจุดสำคัญที่นำไปสู่การลดการใช้พลังงาน โดยเฉพาะพลังงานในการคมนาคมขนส่ง ประกอบด้วย

เกณฑ์บังคับ (Prerequisite) คือ จะต้องป้องกันมลภาวะจากการก่อสร้างโดย

- มีการป้องกันการสูญเสียหน้าดินของที่ก่อสร้าง โดยกองเก็บรักษาไว้ก่อน เพื่อนำกลับมาใช้ภายหลัง
- ป้องกันเศษดิน และตะกอนต่าง ๆ ไหลลงสู่ท่อรับน้ำฝน หรือคู คลองใกล้เคียง
- ป้องกันมลภาวะทางอากาศที่เกิดจากฝุ่นในระหว่างการก่อสร้าง

เกณฑ์ที่มีคะแนนให้ จะประกอบด้วย

- จะต้องไม่เลือกเอาพื้นที่ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ทางธรรมชาติมาใช้เป็นที่ก่อสร้าง เช่น พื้นที่การเกษตร พื้นที่ป่า หรือที่ใกล้ ๆ แม่น้ำทะเล เพราะไม่ต้องการให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น ที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของสัตว์
- ให้การเลือกที่ตั้งในย่านที่มีความหนาแน่นสูง และมีสิ่งอำนวยความสะดวกแก่ชุมชนพร้อม เพราะไม่ต้องการให้เมืองขยายไปรุกล้ำพื้นที่สีเขียวนอกเมืองอย่างรวดเร็ว เพราะจะทำให้ต้องขยายระบบสาธารณูปโภค เพื่อรองรับตามไปด้วย เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และทรัพยากรเพิ่มขึ้น
- การนำที่ตั้งซึ่งมีสภาพดินปนเปื้อนสารพิษ หรือติดเชื้อ (Brownfield) มาพัฒนา เพราะมักถูกทิ้งร้างเป็นปัญหากับเมือง แต่หากได้รับการพัฒนา ก็จะทำให้พื้นที่ซึ่งมีปัญหาอยู่หายไปจากเมือง แต่ทั้งนี้ผู้ลงทุนก็จะต้องแก้ปัญหาสภาพดินด้วย
- เลือกพื้นที่ตั้งใกล้บริการขอส่งสาธารณะ เพื่อลดความจำเป็นในการใช้รถยนต์ส่วนตัวในการเดินทางมาทำงาน
- ออกแบบให้มีที่จอดรถจักรยาน พร้อมที่อาบน้ำ เพื่อส่งเสริมการใช้จักรยาน เป็นการลดมลพิษจากการใช้รถยนต์
- จัดจำนวนที่จอดรถยนต์ตามที่กฎหมายกำหนดเท่านั้น โดยไม่จัดให้มากเกินที่กำหนด เพราะไม่ต้องการส่งเสริมการใช้รถยนต์ส่วนตัว เพื่อลดมลพิษจากรถยนต์
- ออกแบบให้มีพื้นที่ว่างสำหรับปลูกต้นไม้มากกว่าที่กฎหมายกำหนด เพื่อดึงธรรมชาติให้เข้ามาอยู่ใกล้ชิดผู้คนในเมืองมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- พยายามลดปริมาณน้ำฝนไหลนอง โดยออกแบบพื้นที่ว่างภายนอกอาคารให้น้ำซึมลงดินได้ และอาจจะเก็บน้ำฝนไว้ใช้รดน้ำต้นไม้
- ควบคุมคุณภาพน้ำฝนที่ไหลออกนอกพื้นที่โครงการ โดยลดปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำฝน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการตื้นเขินของท่อระบายน้ำ คู คลอง
- ลดผลกระทบจากเกาะความร้อน (Heat Island) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิในเขตเมืองที่มีการก่อสร้างอาคารหนาแน่นจะร้อนกว่าแถบชานเมือง เพราะเกิดจากการสะสมความร้อนที่ผิววัสดุที่ตากแดด โดยการออกแบบให้ร่มเงากับพื้นที่ผิวแข็งภายนอกอาคาร เช่น ปลูกต้นไม้ใหญ่ให้ร่มเงาลานจอดรถ หรือทำหลังคาคลุม
- ในส่วนตัวอาคารก็ให้ออกแบบลดผลกระทบจากเกาะความร้อนด้วย โดยการเลือกหลังคาที่มีค่าการสะท้อนความร้อนสูง ส่วนใหญ่จะเป็นสีอ่อน
- ลดมลภาวะแสงสว่างรบกวนท้องฟ้า โดยพยายามไม่ใช้โคมที่มีลักษณะแสงไฟสาดส่องขึ้นบนท้องฟ้า เพราะมีผลกระทบต่อสัตว์ที่หากินเวลากลางคืน และระบบนิเวศน์

2. **การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water Efficiency) 10 คะแนน**

เกณฑ์บังคับ สามารถลดการใช้น้ำภายในอาคารลง 20% เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารทั่วไป ปริมาณน้ำใช้ที่นำมาคำนวณ ได้แก่ น้ำใช้ในโถส้วม โถปัสสาวะชาย อ่างล้างมือ อ่างล้างจาน และฝักบัวอาบ

เกณฑ์ที่มีคะแนนให้

- **ใช้น้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ** โดยลดการใช้น้ำสะอาดสำหรับดื่ม (Potable Water) หรือน้ำประปามารดน้ำต้นไม้ เลือกใช้พันธุ์ไม้ที่กินน้ำน้อย ใช้น้ำฝน หรือน้ำใช้แล้วที่ผ่านการบำบัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อาคารเขียวหลายแห่ง ได้ออกแบบงานสถาปัตยกรรมโดย หรือใช้น้ำเพียงเล็กน้อย หรือไม่ต้องรดน้ำ เรียกว่า Xeriscape หมายถึง Zero Water Landscape ซึ่งสามารถทำให้มีความสวยงามได้ไม่แพ้งานทั่วไป โดยการเลือกพันธุ์ไม้ที่เหมาะกับสภาพดิน ส่วนใหญ่เป็นต้นไม้ท้องถิ่นที่ทนทานต่อภูมิอากาศ โรค และแมลงต่าง ๆ ทำให้ไม่ต้องใช้ยาฆ่าแมลงอันก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

- **ลดการใช้น้ำประปา** สำหรับโถส้วม และโถปัสสาวะ โดยใช้น้ำฝน หรือน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วแทน หรือบำบัดน้ำเสียงในโครงการอย่างน้อย 50% ให้มีมาตรฐานความสะอาดถึงระดับขั้นที่สาม (คือมีการกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนด้วย) และปล่อยน้ำที่

บำบัดแล้วให้ซึมลงดิน หรือใช้ในโครงการ ทั้งนี้เพื่อลดภาระของเทศบาลในการผลิตน้ำประปา และบำบัดน้ำเสีย

- **ลดการใช้น้ำในอาคาร** โดยสามารถลดได้ตั้งแต่ 30% ขึ้นไป น้ำที่นำมาคำนวณได้แก่ น้ำในโถส้วม โถปัสสาวะชาย อ่างล้างมือ อ่างล้างจาน ฝักบัวอาบ

การลดน้ำใช้ในโถส้วมเป็นสิ่งที่ทำได้ง่าย โดยการเลือกใช้โถส้วมที่มีปุ่มน้ำมากน้ำน้อยคู่กัน (Dual Flush) ก็สามารถลดการใช้น้ำได้ถึง 67% เทียบกับโถส้วมรุ่นเก่า

ในสหรัฐเมริกาได้มีกฎหมายภายใต้ EPAct 1992 กำหนดให้โถส้วมที่ผลิตขึ้นมาใหม่ ต้องใช้น้ำไม่เกิน 1.6 แกลลอน หรือ 6 ลิตรเท่านั้น

นอกจากนี้ โถปัสสาวะชายชนิดไม่ใช้น้ำเลย (Waterless Urinal) ได้ถูกนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะสถานที่ซึ่งมีการใช้งานสูง เช่น สนามกีฬา แม้แต่กองทัพของสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันก็กำหนดให้การใช้โถปัสสาวะชายชนิดไม่ใช้น้ำเป็นมาตรฐานในฐานทัพทั่วประเทศ

ส่วนการลดน้ำใช้ในอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ฝักบัว ก๊อกน้ำ Environmental Protection Agency (EPA) ก็ได้จัดทำโปรแกรม เรียกว่า WaterSense Label เป็นตราติดสินค้าเพื่อบ่งบอกว่าเป็นอุปกรณ์ประหยัดน้ำ ทำให้ผู้บริโภคเลือกซื้อได้ง่าย

3. พลังงาน และบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) 35 คะแนน

หมวดพลังงานเป็นหมวดที่มีคะแนนมากที่สุด เพราะเป็นหมวดที่ทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้มาก ประกอบด้วยเกณฑ์บังคับ 3 ข้อ

เกณฑ์บังคับ 1 มีการทดสอบการทำงานของระบบพลังงานในอาคาร (Fundamental Commissioning)

LEED ถือว่าการทดสอบการทำงานของระบบเป็นสิ่งสำคัญมาก โดยจะต้องแต่งตั้งผู้รับผิดชอบในการทดสอบ (Commissioning Authority) ที่มีประสบการณ์ด้านการทดสอบอย่างน้อย 2 ปี โดยต้องไม่เป็นบุคคลเดียวกับผู้ออกแบบ หรือผู้รับเหมา และต้องรายงานผลการตรวจสอบให้เจ้าของทราบโดยตรง ระบบที่ต้องทดสอบการทำงานอย่างน้อยที่สุดจะต้องประกอบด้วย ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบน้ำร้อน ระบบพลังงานหมุนเวียน

เกณฑ์บังคับ 2 อาคารมีสมรรถนะขั้นต่ำด้านการประหยัดพลังงานได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

ซึ่งสามารถทำได้โดยการจำลองค่าพลังงานของอาคารทั้งหมด (Whole Building Simulation) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ออกแบบ และ

อาคารอ้างอิง (Baseline Building) ตามวิธีการคำนวณที่ระบุใน ASHRAE 90.1-2007 Appendix G ทั้งนี้อาคารที่ออกแบบต้องมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำกว่าอย่างน้อย 10% แต่ถ้าเป็นอาคารสำนักงาน หรือร้านค้าปลีกขนาดไม่เกิน 20,000 ตร.ฟุต (1,858 ตร.ม.) หรือคลังสินค้าขนาดไม่เกิน 50,000 ตร.ฟุต (4,645 ตร.ม.) ก็อาจใช้วิธีทำตามข้อกำหนดที่ระบุใน ASHRAE Advance Energy Design Guide โดยไม่ต้องใช้วิธีจำลองโดยคอมพิวเตอร์ หรือทำตามข้อกำหนดใน Advanced Buildings Core Performance Guide ซึ่งสามารถใช้ได้กับอาคารขนาดไม่เกิน 100,000 ตร.ฟุต (9,290 ตร.ม.) ที่ไม่ใช่สถานพยาบาล คลังสินค้า หรือห้องปฏิบัติการ

เกณฑ์บังคับ 3 ไม่ใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่มี CFC (Chlorofluorocarbon)

เกณฑ์ที่มีคะแนนให้

- **ประหยัดพลังงานได้มากกว่าเกณฑ์บังคับ 2** (Optimize Energy Performance) โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตั้งแต่ 8% - 44% ซึ่งจะได้คะแนนตั้งแต่ 1-19 คะแนน
- **มีการใช้พลังงานหมุนเวียนในโครงการ** เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม โดยปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ จะต้องคิดเทียบเป็นจำนวนเงิน และมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 1% - 13% ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อปีของโครงการ
- **มีการทดสอบการทำงานของระบบมากกว่าเกณฑ์บังคับ (Enhanced Commissioning)** โดยให้ Commissioning Authority เข้ามามีส่วนร่วมในโคร'การตั้งแต่ช่วงต้นของการออกแบบ ขั้นตรวจสอบการส่งมอบงานของผู้รับเหมา และตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของระบบ หลังจากอาคารใช้งานแล้วภายใน 10 เดือน
- **การจัดการสารทำความเย็นสูงกว่าเกณฑ์บังคับ (Enhanced Refrigerant Management)** โดยไม่ใช้สารทำความเย็นเลย หรือเลือกใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่มี*ระดับของการทำงายโอโซน (Ozone Depletion Potential) และทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential)* ผ่านเกณฑ์ที่คำนวณได้จากสูตรที่กำหนด **และ**ไม่ใช้สารดับเพลิงที่มี CFCs, HCFCs (Hydrochlorofluorocarbons) และ Halons
- **การวัดค่าพลังงาน และตรวจสอบความถูกต้อง** โดยมีการวัด และตรวจสอบผลการดำเนินของระบบต่าง ๆ ตามวิธีการที่ระบุใน Option D ของ International

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP) - โดยต้องมีระยะเวลาการวัด และตรวจสอบอย่างน้อย 1 ปี หลังสร้างเสร็จแล้ว เพื่อดูว่าอาคารสามารถประหยัดพลังงานได้จริงตามที่ออกแบบ หสกไม่ได้จะต้องมีวิธีการแก้ไข หรือมีการวัด และตรวจสอบความถูกต้องตาม Option B ของ IPMVP โดยมีระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี หลังจากสร้างเสร็จ และหากผลการประหยัดพลังงานไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ต้องมีแผนแก้ไข

- **ใช้พลังงานสะอาด (Green Power)** มีการทำสัญญาซื้อกระแสไฟฟ้าเป็นจำนวน 35% ของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารเป็นระยะเวลา 2 ปี จากโรงไฟฟ้าที่ผลิตโดยใช้พลังงานหมุนเวียนที่เป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อมลภาวะ

4. วัสดุ และการก่อสร้าง (Material and Resources) 14 คะแนน

เกณฑ์บังคับ ต้องออกแบบให้มีห้องเก็บวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ เศษกระดาษ แก้ว อลูมิเนียม พลาสติก เพื่อรอการจำหน่ายสำหรับนำไปรีไซเคิลต่อไป

เกณฑ์ที่มีคะแนนให้

- ในกรณีปรับปรุงอาคารเดิม ให้รักษาผนัง พื้น และหลังคาไว้มากกว่า 55% เพราะต้องการยืดอายุอาคารให้ยาวออกไป ไม่ต้องกรให้ทุบทำลายกลายเป็นขยะที่ต้องนำไปทิ้ง เพราะการผลิตวัสดุขึ้นใหม่ ต้องดึงทรัพยากรธรรมชาติมาใช้เพิ่มขึ้น และสิ้นเปลืองพลังงาน

  อยากให้สังเกตว่า LEED จะไม่ให้คะแนนกับการเก็บหน้าต่างของเดิมไว้ เพราะหน้าต่างเป็นส่วนที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานมาก และอาคารรุ่นเก่ามักใช้หน้าต่างกระจกชั้นเดียว หรือวงกบทีมีการรั่วซึมของอากาศสูง จึงสนับสนุนให้เปลี่ยนหน้าต่างที่ช่วยประหยัดพลังงาน

- เก็บรักษาส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง ได้แก่ ผนังภายใน ฝ้าเพดาน ไว้มากกว่า 50% ของพื้นที่ เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะ

- มีการจัดการขยะจากการก่อสร้าง โดยขายเพื่อให้นำไปรีไซเคิลต่อ แทนการนำไปทิ้ง หรืออาจจะบริจาคให้องค์กรอื่น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น โครงไม้, พรมเก่า

- มีการนำวัสดุใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่อย่างน้อย 5% ของราคาวัสดุทั้งโครงการ ซึ่งอาจจะเป็นวัสดุในโครงการนั้นเอง หรือซื้อมาจากโครงการอื่น

- เลือกออกแบบโดยใช้วัสดุที่มีส่วนผสมวัสดุรีไซเคิล เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้เพิ่มขึ้น

- เลือกใช้วัสดุที่มีแหล่งกำเนิด ผลิต หรือประกอบชิ้นส่วนในภูมิภาค ซึ่งกำหนดไว้ภายในระยะเวลา 500 ไมล์ (804 กม.) จากที่ตั้งโครงการ เพื่อลดพลังงานในการขนส่ง
- ใช้วัสดุที่สามารถสร้างทดทนได้ในเวลา 10 ปี เช่น การใช้ไม้ไผ่ ซึ่งปลูกทดแทนได้เร็ว
- ใช้ไม้ที่ผ่านการรับรองว่ามาจากการปลูกป่าที่มีการบริหารจัดการที่ดี ทั้งนี้ เพื่อส่งเสริมการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี

5. คุณภาพสภาพแวดล้อมในอาคาร (Indoor Environmental Quality) 15 คะแนน

ประกอบด้วยเกณฑ์บังคับ 2 ข้อ คือ

เกณฑ์บังคับ 1 คุณภาพขั้นต่ำของอากาศในอาคาร

ต้องออกแบบตามมาตรฐานใน ASHRAE Standard 62.1-2007 Section 4-7 เรื่องการระบายอากาศที่ใช้ระบบกลช่วย หรือผ่านกฎหมายอาคารของท้องถิ่น ทั้งนี้แล้วแต่ว่ากฎหมายใดจะมีความเข้มงวดมากกว่ากัน

ถ้าเป็นการระบายอากาศธรรมชาติต้องผ่านมาตรฐาน ASHRAE 62.1-2007 ข้อ 5.1 ทั้งนี้ เพราะไม่ต้องการให้ผู้ออกแบบให้ความสำคัญต่อเรื่องการประหยัดพลังงานจนเกินไปจนมองข้ามเรื่องสภาวะสบาย

เกณฑ์บังคับ 2 การควบคุมควันบุหรี่

โดยห้ามสูบบุหรี่ในอาคาร และบริเวณนอกอาคารในระยะห่างประตูทางเข้า และช่องรับอากาศบริสุทธิ์ของระบบปรับอากาศในระยะ 25 ฟุต (7.6 ม.) หรือหากจะให้สูบบุหรี่ในอาคาร ต้องจัดห้องสูบบุหรี่โดยเฉพาะซึ่งต้องออกแบบเป็นพิเศษ มิให้ควันบุหรี่รั่วไหลไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของอาคารได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

เกณฑ์ที่มีคะแนนให้

- จัดให้มีระบบเฝ้าระวัง (Monitoring) การทำงานของระบบระบายอากาศ โดยต้องส่งสัญญาณเตือนให้ทราบเมื่อระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าที่ออกแบบเกิน 10%
- มีการนำอากาศบริสุทธิ์ภายนอกมาระบายอากาศมากกว่าอัตราขั้นต่ำที่กำหนดใน ASHRAE Standard 62.1-2007 ประมาณ 30%
- มีการจัดทำแผนเพื่อป้องกันปัญหาคุณภาพอากาศในอาคารในช่วงระหว่างการก่อสร้าง และช่วงก่อนเข้าใช้อาคาร

- เลือกใช้วัสดุกาว (Adhesive) และวัสดุอุดรอยต่อ (Sealant) สี และน้ำยาเคลือบผิวต่าง ๆ ที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compound, VOC) อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
- การเลือกใช้วัสดุตกแต่งผิวพื้น เช่น พรม พื้นไม้ จะต้องมีค่า VOC จากกาวต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
- ไม้คอมโพสิทที่นำมาใช้ตกแต่งภายใน ต้องไม่มีส่วนผสมของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde resins)
- มีการควบคุมแหล่งมลพิษในอาคารและสารเคมี โดยบริเวณประตูทางเข้าอาคารต้องทำตะแกรงดักฝุ่นที่ติดมากับรองเท้า และห้องต่าง ๆ ที่เก็บสารเคมีที่มีกลิ่น เช่น น้ำยาทำความสะอาด จะต้องดูดอากาศไปทิ้ง แผ่นกรองอากาศในระบบปรับอากาศต้องมีค่า Minimum Efficiency Reporting Value (MERV) = 13 หรือมากกว่า
- ออกแบบให้อย่างน้อย 90% ของผู้ใช้อาคาร สามารถควบคุมระบบแสงสว่างในอาคารได้ด้วยตนเอง เพื่อสร้างความสบายทางสายตา และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้โคมไฟตั้งโต๊ะ
- ออกแบบให้อย่างน้อย 50% ของผู้ใช้อาคาร สามารถควบคุมสภาวะสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal Comfort) ได้ด้วยตนเอง เช่น การปรับอุณหภูมิ หรือควบคุมการเปิดปิดหน้าต่างได้
- การออกแบบให้สภาพแวดล้อมเชิงอุณหภาพในอาคาร อยู่ในช่วงสภาวะสบายตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55-2004
- มีการประเมินหลักจากใช้อาคารแล้วประมาณ 6-18 เดือน ว่าผู้ใช้อาคารรู้สึกสบายหรือไม่ ถ้าผู้อยู่อาศัยมากกว่าร้อยละ 20 รู้สึกไม่สบาย ร้อน หรือหนาวไป ต้องทำแผนแก้ไข
- ออกแบบให้ร้อยละ 75 ของพื้นที่ซึ่งมีผู้ใช้งานได้รับแสงสว่างธรรมชาติ และสามารถมองเห็นทิวทัศน์ภายนอกได้ ซึ่งจะต้องแสดงให้เห็นโดยการจำลองสถานกรณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ว่าอย่างน้อย 75% ของพื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติอยู่ในช่วง 25 ฟุตแคนเดิล (269 ลักซ์) ถึง 500 ฟุตแคนเดิล (5,381 ลักซ์) ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ โดยจำลอง ณ วันที่ 21 กันยายน เวลา 9.00 น. และ 15.00 น. หรือถ้าไม่ใช้วิธีจำลอง ก็สามารถใช้วิธีปฏิบัติตามเกณฑ์ที่ LEED กำหนด เช่น ถ้าใช้ Skylight จะต้องมีพื้นที่ระหว่าง 3%-6% ของพื้นที่หลังคา โดยใช้กระจกที่มีค่า Visible Light Transmittance

(VLT) ขั้นต่ำ 0.5 หรือจะใช้วัดพื้นที่จริงเมื่อสร้างเสร็จก็ได้ว่า 75% ของพื้นที่ใช้งานมีค่าความสว่าง 25 ฟุตแคนเดิล

- ออกแบบให้ 90% ของพื้นที่ทำงาน สามารถมองผ่านกระจกเห็นทิวทัศน์ภายนอก

6. นวัตกรรมในการออกแบบ (Innovation in Design) 6 คะแนน

คะแนนในหมวดนี้ จะได้จากสองส่วนคือ ส่วนแรก เป็นนวัตกรรมในงานออกแบบซึ่งอาจเกิดจากการทำสิ่งใหม่ ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในหัวข้อใด ๆ ใน 5 หมวด ข้างต้น แต่เป็นผลดีเชิงสิ่งแวดล้อม เช่น การนำเถ้าลอย (Fly ash) มาใช้แทนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตบล็อก หรือ สามารถออกแบบในหมวดต่าง ๆ ได้ถึงระดับที่ถือว่า เป็นตัวอย่างที่ดีเป็นพิเศษ (Exemplary)

ส่วนที่สอง ได้จากการที่มี LEED AP อย่างน้อย 1 คนอยู่ในทีมงาน ซึ่งจะได้ 1 คะแนน LEED AP ย่อมาจาก LEED Accredited Professional ซึ่งเป็นคุณวุฒิในทางวิชาชีพอย่างหนึ่ง สามารถใช้ต่อท้ายชื่อสถาปนิก หรือ วิศวกร เป็นการรับรองว่าบุคคลนั้นมีความรู้ความเข้าใจในเรื่อง LEED เป็นอย่างดี สามารถช่วยบูรณาการความต้องการของฝ่ายต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อบรรลุเป้าหมายการออกแบบให้เป็นอาคารเขียวได้ง่ายขึ้น เพราะมีแนวทางการออกแบบบางอย่าง ที่ทำเรื่องเดียวแต่ได้คะแนนหลายหมวด (Credit Synergies) เช่น การซื้อวัสดุที่ใช้แล้วจากโครงการอื่นที่อยู่ใกล้ ๆ สามารถได้รับคะแนนทั้งเรื่องการนำวัสดุใช้ซ้ำ และเรื่องการใช้วัสดุในภูมิภาค หรือ การทำหลังคาปลูกต้นไม้ (Green Roof) จะได้คะแนนทั้งด้านลดปัญหาเกาะความร้อน ช่วยลดปริมาณน้ำฝนไหลนอง และช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทลงสู่อาคารด้วยด้วยทำให้ประหยัดพลังงานด้วย เป็นต้น เหล่านี้เป็นสิ่งที่ LEED-AP จะช่วยในการกำหนดกลยุทธ์ในการออกแบบได้

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดจะเห็นว่า ขอบเขตของการเป็นอาคารเขียวนั้น มีเนื้อหาครอบคลุมกว้างขวางกว่าการเป็นอาคารประหยัดพลังงานเพียงอย่างเดียวมาก และการผ่านเกณฑ์การประเมินของ LEED ก็ไม่ใช่เรื่องง่าย

ในสหรัฐอเมริการนั้นการออกแบบอาคารใหม่ที่มีชื่อเสียง ล้วนแล้วแต่มีเป้าหมายของการออกแบบที่ผ่านการรับรองจาก LEED ทั้งนั้น อยู่ที่ว่าจะให้ผ่านการรับรองในระดับใด เพราะถึงแม้อาคารเขียวอาจจะมีต้นทุนในขั้นก่อสร้างสูงขึ้น แต่เมื่อคิดตลอดอายุใช้งานของอาคารแล้วจะมีความคุ้มค่ามากกว่า เพราะจะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า และพนักงานมีความสบาย สุขภาพดี และมีประสิทธิภาพในการทำงาน ดีกว่าการอยู่ในอาคารเดิม ๆ ที่มีปัญหาเรื่อง Sick Building Syndrome

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อาคารเขียวจึงเป็นอาคารที่ผู้ใช้อาคารต้องการมากกว่า สามารถให้เช่าได้ในราคาที่สูงกว่าดด้วย โดยเมื่อเดือนมีนาคม 2553 ที่ผ่านมา ได้มีอาคารพาณิชย์ที่ผ่านการรับรองจาก LEED แล้วถึง 5,000 อาคาร[2] และมีอาคารที่ลงทะเบียนสมัครขอการรับรองอยู่ทั่วโลกประมาณ 19,000 อาคาร[3]

ปัจจุบันมีอาคารในประเทศไทยที่ผ้านการรับรองของ LEED แล้ว 2 อาคาร4 และมีอาคารที่ได้ลงทะเบียนขอรับรองเพิ่มอีกประมาณ 15 อาคาร[5] คาดว่าคงจะมีอาคารที่ได้รับการรับรองเพิ่มเติมในไม่ช้า

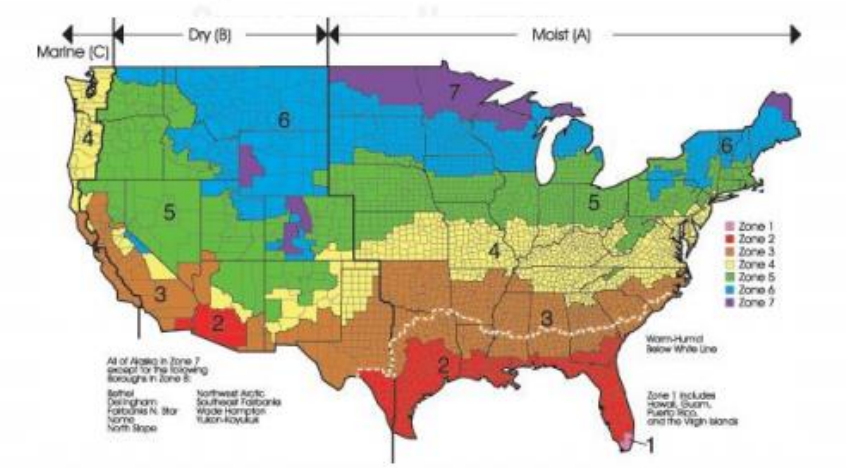
สำหรับในประเทศไทย การออกแบบอาคารเขียวจัดเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจอยู่มิใช่น้อย โดยได้มีการจัดตั้ง “สถาบันอาคารเขียวไทย” ขึ้น โคยความร่วมมือระหว่างสมาคมสถาปนิกสยาม และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และมีการพัฒนาเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของไทยขึ้น โดยใช้ชื่อเกณฑ์นี้ว่า “การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่รุ่นที่ 1” ใช้ชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า “TREES - NC Version 1.0 (Thai’s Rating of Energy Environmental Sustainability for New Construction and Major Renovation)” ซึ่งเพิ่งดำเนินเสร็จเมื่อต้นปี 2553 มีเค้าโครงที่คล้ายกับ LEED พอสมควร แต่ปรับให้เหมาะสมกับบริบทของสังคมไทยมากขึ้น ซึ่งคาดว่าวันหนึ่งในอนาคตอันใกล้ การออกแบบอาคารเขียวอาจจะกลายเป็นมาตรฐานหนึ่งในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางก็เป็นได้

2.3 มาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007

ภาพที่ 2.3 สัญลักษณ์สมาคมวิศวกรปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (ASHRAE)
ที่มา: http://letsworktogether.us

สมาคมวิศวกรปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) [11] ได้ทำการค้นคว้าวิจัย

รูปแบบการใช้พลังงานของอาคารในเมืองต่าง ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อพัฒนาฐานการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงที่มีการปรับอากาศชนิดต่าง ๆ ซึ่งตั้งอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศแบบต่าง ๆ ออกมา จนกระทั่งพัฒนาเป็นมาตรฐาน ASHRAE 90.1 ซึ่งครอบคลุมข้อมูลสภาพอากาศต่าง ๆ ที่มีอยู่ทั่วโลก ตั้งแต่เขตร้อนชื้น ร้อนแห้ง อบอุ่น เย็น หนาว หนาวจัด ตามความต้องการขั้นต่ำของแต่ละสภาพอากาศนั้น เนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่หลากหลายของประเทศสหรัฐอเมริกา จึงทำให้เกณฑ์ LEED ที่อ้างอิงมาตรฐาน ASHRAE 90.1 กลายเป็นมาตรฐานสากลได้รับความนิยมและประสบความสำเร็จในประเทศต่าง ๆ นอกเหนือจากประเทศสหรัฐอเมริกา [12]



ภาพที่ 2.4 การแบ่งภูมิอากาศของประเทศสหรัฐอเมริกาตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1
ที่มา: http://www.commercialwindows.org/codesstandards_ashrae90_1_more.php

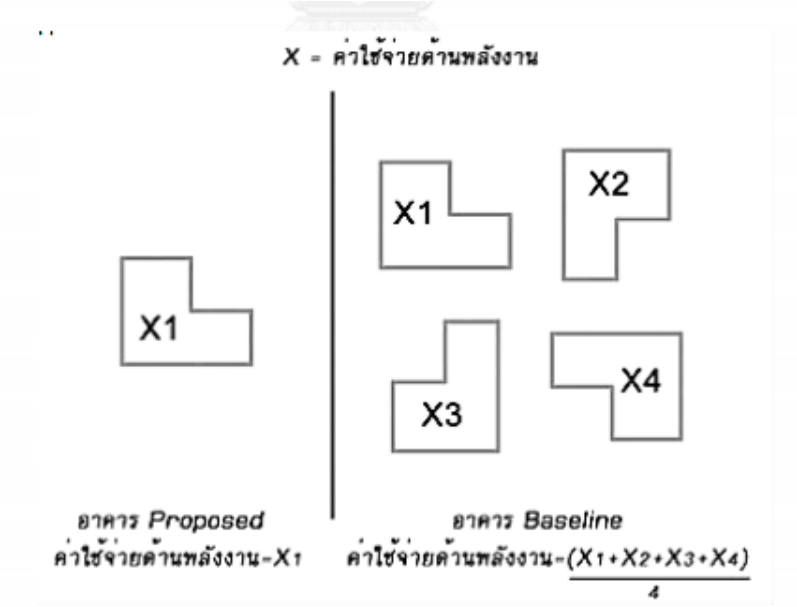
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มาตรฐาน ASHRAE 90.1 เป็นมาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับอาคารทั่วไป ยกเว้นอาคารพักอาศัย Low-Rise โดยสามารถใช้ได้กับทั้งอาคารใหม่ และอาคารเก่าที่มีการปรับปรุงระบบอาคารใหม่ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยซึ่งอยู่ในกลุ่มสภาพภูมิอากาศที่ 1 คือ ภูมิอากาศแบบร้อน - ชื้น

เกณฑ์ LEED 2009 หัวข้อ Optimize Energy Performance กำหนดให้จำลองการใช้พลังงานของอาคารโดยอ้างอิงมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ซึ่ง APPENDIX G คือ ภาคผนวกของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการวิธีการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคารที่ออกแบบ (อาคาร Proposed) กับอาคารอ้างอิง (อาคาร Baseline) ที่มีการกำหนดลักษณะต่าง ๆ ไว้เป็นลักษณะขั้นต่ำที่ควรออกแบบอาคารในสภาพอากาศแบบนั้น ๆ โดยเปรียบเทียบค่าการประหยัด

พลังงาน (%SAVE) หรืออัตราร้อยละการประหยัดพลังงานของอาคารที่ออกแบบ เทียบกับอาคารอ้างอิง

ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร อ้างอิงคำนวณจากค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานรวมของอาคาร อ้างอิงที่มีการวางอาคารในทิศทางเดียวกับอาคารที่ออกแบบและมีการหมุนอาคาร 90, 180 และ 270 องศา



ภาพที่ 2.5 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารที่ออกแบบ และอาคารอ้างอิง ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 และ 2010 Appendix G. [13]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การจำลองการใช้พลังงานรวมของอาคารกำหนดให้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลอง เช่น DOE-2, BLAST และ ENERGY PLUS เป็นต้น โดยมีเงื่อนไขว่าทั้งอาคาร Baseline และอาคาร Proposed จะต้องจำลองการใช้พลังงานรวมของอาคารด้วยโปรแกรมเดียวกัน โดยการนำข้อเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ออกแบบ และอาคารอ้างอิงที่สรุปจากมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 Appendix G ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการจำลองอาคารระหว่างอาคารที่ออกแบบและอาคารอ้างอิง

Proposed Building Performance (กรณีแบบ)	Baseline Building Performance (กรณีอ้างอิง)
การใช้งาน	
ให้ระบุการใช้งานตามจริง เว้นแต่เป็นการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน เช่น ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ เป็นต้น และต้องมีการอธิบายการใช้งานที่แตกต่างกันของทั้ง 2 กรณี	เช่นเดียวกับอาคารที่ออกแบบ
ทิศทางการวางอาคาร	
ตามที่ออกแบบ	ให้ทำการหมุนอาคารทุก 90 องศา เพื่อให้ครบทั้ง 4 กรณี ดูรายละเอียดการหมุนโมเดลในตาราง G 3.1.5 (a)
เปลือกอาคาร	
จำลองตามแบบ ข้อยกเว้นต่าง ๆ เป็นไปตามตาราง G 3.1.5 สำหรับอาคารที่มีการใช้งานแล้ว ต้องใช้องค์ประกอบตามลักษณะที่มีการปรับปรุงใหม่ เช่น การเปลี่ยนกระจก หรือการเพิ่มฉนวน	ลักษณะของการจำลองให้เป็นไปตามตาราง G 3.1.5 สำหรับอาคารสร้างใหม่ ให้ใช้ลักษณะโครงสร้างเบา เช่น โครงสร้างเหล็ก และอ้างอิงค่า U-Factor ตามตาราง 5.5-1 สำหรับอาคารที่มีการใช้งานแล้วให้ใช้ลักษณะของเปลือกอาคารก่อนมีการปรับปรุง
พื้นที่กระจกมีขนาดตามแบบ	ให้ใช้พื้นที่กระจกเท่ากับกรณีแบบ หรือไม่เกิน 40% ของพื้นที่ผนัง โดยให้ตำแหน่งกระจกเหมือนกรณีแบบ ใช้ค่า U-Factor และ SHGC อ้างอิงจากตาราง 5.5-1
จำลองระบบการบังแดดตามแบบ ไม่ต้องจำลองระบบม่านภายในอาคาร ระบบม่านภายในแบบอัตโนมัติสามารถจำลองได้	ไม่ต้องใส่แผงกันแดด หรืออุปกรณ์บังเงาใด ๆ
หากหลังคามีค่า Reflectance เกิน 0.90 และ Emittance เกิน 0.75 ให้ใช้ค่า Reflectance ที่ 0.45	ให้ระบุค่า Reflectance ของหลังคาที่ 0.30

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการจำลองอาคารระหว่างอาคารที่ออกแบบและอาคารอ้างอิง (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Proposed Building Performance (กรณีแบบ)	Baseline Building Performance (กรณีอ้างอิง)
ระบบแสงสว่าง	
จำลองตามแบบ ตามพื้นที่ใช้งาน และต้องจำลองโคมไฟส่วนบุคคล การใช้แสงสว่างที่จอดรถ และแสงสว่างภายนอกอาคาร	สามารเลือก และกำหนดกำลังไฟฟ้าตามพื้นที่อาคาร (Building Area) หรือตามพื้นที่ใช้งาน (Space by Space)
สามารถจำลองระบบควบคุมแสงอัตโนมัติประเภทต่าง ๆ เช่น ระบบเซนเซอร์ตรวจสอบการใช้งาน และระบบปรับหรี่แสงตามธรรมชาติได้	ไม่ต้องจำลองระบบควบคุมแสงอัตโนมัติประเภทต่าง ๆ
ระบบแสงประเภทอื่นที่ไม่อยู่ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุด ควรจำลองให้อยู่ในประเภทเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ (Process)	ระบบแสงอื่น ๆ ที่ถือว่ามาจากเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ (Process) ให้จำลองเหมือนกรณีแบบ
ระบบปรับอากาศ	
ให้จำลองระบบปรับอากาศตามแบบ ยกเว้นกรณีพื้นที่ปรับอากาศยังไม่มีการระบุประเภทของระบบปรับอากาศ หากพื้นที่ปรับอากาศ ไม่มีระบบปรับอากาศระบุไว้ ให้อ้างอิงระบบเดียวกับกรณีอ้างอิง	ใช้ประเภทของระบบปรับอากาศตามตาราง G3.1.1A และ G3.1.1B โดยแบ่งตามประเภทของอาคาร พื้นที่อาคาร และชนิดของแหล่งพลังงาน (ไฟฟ้า หรือเชื้อเพลง) ให้ใช้ประเภทของระบบปรับอากาศตามตาราง G3.1.1A เว้นแต่พื้นที่ที่มีการใช้งาน แต่งต่างจากพื้นที่ส่วนหลักของอาคาร
ระบุขนาดเครื่องปรับอากาศที่ใช้จริง	ให้ระบุขนาดของเครื่องปรับอากาศให้มีขนาดใหญ่กว่าภาระการทำความเย็นสูงสุด 15% และ 25% สำหรับระบบทำความร้อน
ระบุจำนวนชั่วโมงที่ระบบไม่สามารถทำความเย็น หรือความร้อนให้พอเพียง ต้องไม่เกิน 300 ชั่วโมง/ปี	จำนวนชั่วโมงที่ระบบไม่สามารถทำเย็น หรือความร้อนให้พอเพียง ต้องไม่เกิน 300 ชั่วโมง/ปี และชั่วโมงดังกล่าวต้องไม่แตกต่างกับกรณีแบบเกิน 50 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการจำลองอาคารระหว่างอาคารที่ออกแบบและอาคารอ้างอิง (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Proposed Building Performance (กรณีแบบ)	Baseline Building Performance (กรณีอ้างอิง)
อัตราการนำอากาศภายนอกเข้าตามที่ได้ออกแบบไว้	อัตราการนำอากาศภายนอกเข้า ควรเท่ากับกรณีแบบ
ใช้กำลังพัดลมตามแบบ	ให้ระบบพัดลมเปิดต่อเนื่องช่วงการใช้งานอาคาร และแบบปิดเปิดเมื่อไม่ใช้งาน เว้นแต่พื้นที่ต้องการเปิดพัดลมตลอด เพื่อความปลอดภัย และสุขลักษณะ ระบุปริมาณลมตามความแตกต่างของอุณหภูมิห้อง และหัวจ่ายที่ 12 องศาเซลเซียส หรือตามปริมาณลมที่ต้องจ่าย โดยให้ใช้ค่าที่สูงกว่าเป็นเกณฑ์ ใช้กำลังสูงสุดของพัดลม โดยการจำลองควรสะท้อนผลรวมกำลังของพัดลมจ่าย พัดลมระบายอากาศ และพัดลมนำลมกลับ
ตามที่ออกแบบ	ระบบค่าต่าง ๆ (เครื่องทำน้ำเย็น น้ำร้อน) ของระบบปรับอากาศระบุตาม G3.1.3
เครื่องมือเครื่องใช้ *	
จำลองตามแบบ แต่ควรจำลองระบบเครื่องมือเครื่องใช้ให้เหมือนจริงที่สุด ตัวอย่างเช่น โคมไฟใช้งาน ระบบไฟตกแต่งระบบไฟภายนอก	กำลังและการใช้งานของเครื่องมือเครื่องใช้ ควรเหมือนกับกรณีแบบ ยกเว้นสามารถยืนยันว่าเครื่องมือเครื่องใช้ของกรณีแบบ มีประสิทธิภาพเหนือกว่าตามที่ปฏิบัติ และการใช้งานทั่วไป
* ตาราง G-B ระบุถึงประเภทของกำลังเครื่องมือเครื่องใช้ที่ใช้ในการจำลองได้ ควรตระหนักว่าค่าใช้จ่ายพลังงานจากเครื่องมือเครื่องใช้ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 25% ของกรณีอ้างอิง	

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการจำลองอาคารระหว่างอาคารที่ออกแบบและอาคารอ้างอิง (ต่อ)

Proposed Building Performance (กรณีแบบ)	Baseline Building Performance (กรณีอ้างอิง)
ค่าพลังงานต่อหน่วย	
ให้ใช้ค่าพลังงานตามค่าใช้จ่ายจริงของพื้นที่นั้น ๆ โดยวิธีการคิดต้องเหมือนกันทั้งกรณีแบบและกรณีอ้างอิง	ตามกรณีแบบ
ระบบน้ำร้อน	
จำลองตามแบบ	ระบบทำน้ำร้อนต้องเป็นประเภทเดียวกับกรณีแบบ ประสิทธิภาพระบบเป็นไปตามตาราง G3.11
* หมายเหตุ : จากตารางข้างต้นในหมวดเครื่องมือเครื่องใช้ (ปลั๊กโหลด และอุปกรณ์อื่น ๆ) มีที่มาจากคู่มือสำหรับเกณฑ์ประเมินความยั่งยืนทางพลังงาน และสิ่งแวดล้อมไทย ซึ่งมีการ Input ค่าของเครื่องมือเครื่องใช้ที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบจากตารางที่ G3.1.12 ใน ASHRAE Standard 90.1-2007 ที่ไม่ได้กำหนดให้อาคารที่ออกแบบ ต้องใช้พลังงานในหมวดนี้มากกว่า หรือเท่ากับ 25% ของกรณีอ้างอิง	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

TABLE 5.5-1 Building Envelope Requirements For Climate Zone 1 (A, B)*

Opaque Elements	Nonresidential		Residential		Semiheated	
	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value
Roofs						
Insulation Entirely above Deck	U-0.063	R-15.0 c.i.	U-0.048	R-20.0 c.i.	U-0.218	R-3.8 ci
Metal Building[a]	U-0.065	R-19.0	U-0.065	R-19.0	~~U-1.280~~ U-0.167	~~NR~~ R-6.0
Attic and Other	U-0.034	R-30.0	U-0.027	R-38.0	U-0.081	R-13.0
Walls, Above-Grade						
Mass	U-0.580	NR	U-0.151[a,b]	R-5.7 c.i.[a,b]	U-0.580	NR
Metal Building	~~U-0.113~~ U-0.093	~~R-13.0~~ R-16.0	~~U-0.113~~ U-0.093	~~R-13.0~~ R-16.0	~~U-1.180~~ U-0.113	~~NR~~ R-13.0
Steel-Framed	U-0.124	R-13.0	U-0.124	R-13.0	U-0.352	NR
Wood-Framed and Other	U-0.089	R-13.0	U-0.089	R-13.0	U-0.292	NR
Walls, Below-Grade						
Below-Grade Wall	C-1.140	NR	C-1.140	NR	C-1.140	NR
Floors						
Mass	U-0.322	NR	U-0.322	NR	U-0.322	NR
Steel-Joist	U-0.350	NR	U-0.350	NR	U-0.350	NR
Wood-Framed and Other	U-0.282	NR	U-0.282	NR	U-0.282	NR
Slab-On-Grade Floors						
Unheated	F-0.730	NR	F-0.730	NR	F-0.730	NR
Heated	F-1.020	R-7.5 for 12 in.	F-1.020	R-7.5 for 12 in.	F-1.020	R-7.5 for 12 in.
Opaque Doors						
Swinging	U-0.700		U-0.700		U-0.700	
Nonswinging	U-1.450		U-1.450		U-1.450	
Fenestration	**Assembly Max. U**	**Assembly Max. SHGC**	**Assembly Max. U**	**Assembly Max. SHGC**	**Assembly Max. U**	**Assembly Max. SHGC**
Vertical Glazing, 0%–40% of Wall						
Nonmetal framing (all)[b,c]	U-1.20		U-1.20		U-1.20	
Metal framing (curtainwall/storefront)[c,d]	U-1.20	SHGC-0.25 all	U-1.20	SHGC-0.25 all	U-1.20	SHGC-NR all
Metal framing (entrance door)[c,d]	U-1.20		U-1.20		U-1.20	
Metal framing (all other)[c,d]	U-1.20		U-1.20		U-1.20	
Skylight with Curb, Glass, % of Roof						
0%–2.0%	U_{all}-1.98	$SHGC_{all}$-0.36	U_{all}-1.98	$SHGC_{all}$-0.19	U_{all}-1.98	$SHGC_{all}$-NR
2.1%–5.0%	U_{all}-1.98	$SHGC_{all}$-0.19	U_{all}-1.98	$SHGC_{all}$-0.16	U_{all}-1.98	$SHGC_{all}$-NR
Skylight with Curb, Plastic, % of Roof						
0%–2.0%	U_{all}-1.90	$SHGC_{all}$-0.34	U_{all}-1.90	$SHGC_{all}$-0.27	U_{all}-1.90	$SHGC_{all}$-NR
2.1%–5.0%	U_{all}-1.90	$SHGC_{all}$-0.27	U_{all}-1.90	$SHGC_{all}$-0.27	U_{all}-1.90	$SHGC_{all}$-NR
Skylight without Curb, All, % of Roof						
0%–2.0%	U_{all}-1.36	$SHGC_{all}$-0.36	U_{all}-1.36	$SHGC_{all}$-0.19	U_{all}-1.36	$SHGC_{all}$-NR
2.1%–5.0%	U_{all}-1.36	$SHGC_{all}$-0.19	U_{all}-1.36	$SHGC_{all}$-0.19	U_{all}-1.36	$SHGC_{all}$-NR

ภาพที่ 2.6 การกำหนดวัสดุเปลือกอาคารตามตารางที่ 5.5.1 ข้อกำหนดของ Appendix G

ที่มา: American Society of Heating Refrigerating and Air-Condition Engineers, Inc. ANSI/ASHRAE STANDARD 90.1-2007 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (SI Edition) (Atlanta : n.p.,2007), 19.

TABLE G3.1.1A *Baseline* HVAC System Types

Building Type	Fossil Fuel, Fossil/Electric Hybrid, and Purchased Heat	Electric and Other
Residential	System 1—PTAC	System 2—PTHP
Nonresidential and 3 Floors or Less and <25,000 ft^2	System 3—PSZ-AC	System 4—PSZ-HP
Nonresidential and 4 or 5 Floors and <25,000 ft^2 or 5 Floors or Less and 25,000 ft^2 to 150,000 ft^2	System 5—Packaged VAV w/ Reheat	System 6—Packaged VAV w/PFP Boxes
Nonresidential and More than 5 Floors or >150,000 ft^2	System 7—VAV w/Reheat	System 8—VAV w/PFP Boxes

ภาพที่ 2.7 การกำหนดระบบปรับอากาศอาคารอ้างอิงตามประเภทของอาคารในตาราง G3.1.1A ข้อกำหนดของ Appendix G

ที่มา: American Society of Heating Refrigerating and Air-Condition Engineers, Inc. ANSI/ASHRAE STANDARD 90.1-2007 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (SI Edition) (Atlanta : n.p.,2007), 181.

TABLE G3.1.1B *Baseline* System Descriptions

System No.	System Type	Fan Control	Cooling Type	Heating Type
1. PTAC	Packaged terminal air conditioner	Constant volume	Direct expansion	Hot water fossil fuel boiler
2. PTHP	Packaged terminal heat pump	Constant volume	Direct expansion	Electric heat pump
3. PSZ-AC	Packaged rooftop air conditioner	Constant volume	Direct expansion	Fossil fuel furnace
4. PSZ-HP	Packaged rooftop heat pump	Constant volume	Direct expansion	Electric heat pump
5. Packaged VAV with Reheat	Packaged rooftop VAV with reheat	VAV	Direct expansion	Hot water fossil fuel boiler
6. Packaged VAV with PFP Boxes	Packaged rooftop VAV with reheat	VAV	Direct expansion	Electric resistance
7. VAV with Reheat	Packaged rooftop VAV with reheat	VAV	Chilled water	Hot water fossil fuel boiler
8. VAV with PFP Boxes	VAV with reheat	VAV	Chilled water	Electric resistance

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 2.8 การกำหนดรายละเอียดระบบปรับอากาศของอาคารอ้างอิงในตาราง G3.1.1B ตาม ข้อกำหนดของ Appendix G

ที่มา: American Society of Heating Refrigerating and Air-Condition Engineers, Inc. ANSI/ASHRAE STANDARD 90.1-2007 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (SI Edition) (Atlanta : n.p.,2007), 181.

ตารางที่ 2.2 การกำหนดกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในอาคารอ้างอิงตามประเภทของอาคาร (Building Area Method)

Building Area Type	LPD (W/m^2)
Convention Center	13
Courthouse	13
Dining : cafeteria / fast food	15
Gymnasium	12
Hospital	13
Hotel	11
Library	14
Motion picture theater	13
Museum	12
Office	11
Parking garage	3
School / University	13
Sports arena	12

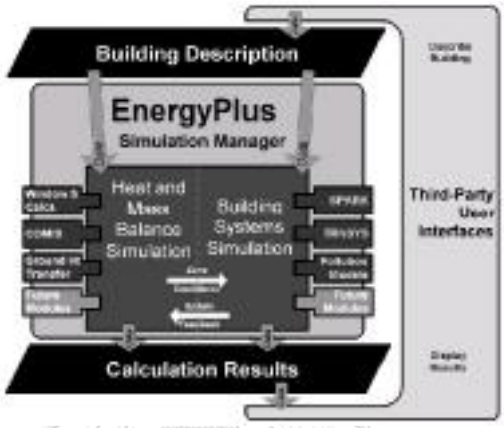
ที่มา: American Society of Heating Refrigerating and Air-Condition Engineers, Inc. ANSI/ASHRAE STANDARD 90.1-2007 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (SI Edition) (Atlanta : n.p.,2007), 62.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 การศึกษาโปรแกรม Energy plus

โปรแกรม Energy Plus เป็นโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารที่พัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ.2539 โดยกระทรวงพลังงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Energy) ร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ อีกหลายหน่วยงาน โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ทดแทนโปรแกรม DOE-2 ของกระทรวงพลังงานที่ใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2503 และโปรแกรม BLAST ของกระทรวงกลาโหม (U.S. Department of Defense) ที่ใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2513 โปรแกรมทั้งสองได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมขีดความสามารถเรื่อยมา แต่ก็ทำให้โปรแกรมนั้นซับซ้อนขึ้นตามไปด้วย ผู้ใช้จึงต้องศึกษา และมีความชำนาญจริง จึงจะใช้งานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ กระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐฯ จึงได้คิดที่จะพัฒนาโปรแกรม Energy

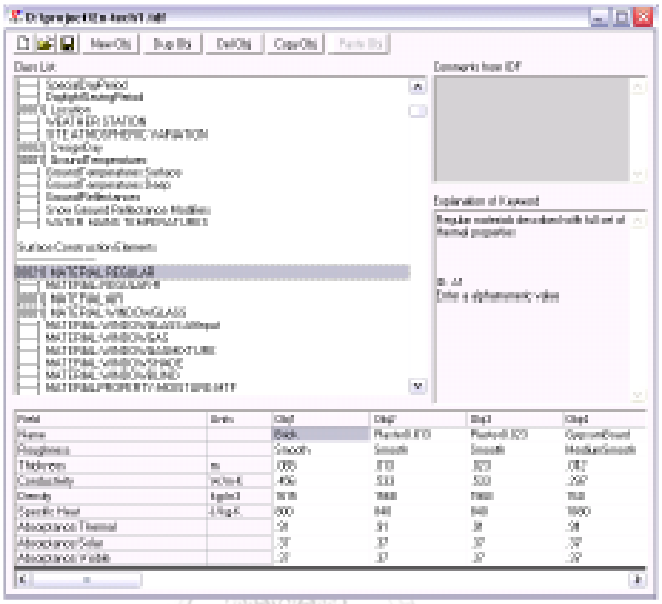
Plus นี้ขึ้นโดยรวมเอาข้อดีของโปรแกรมต้นแบบทั้งสองเข้าด้วยกัน ทำให้เป็นโปรแกรมเชิงวัตถุมากขึ้น โปรแกรมย่อยต่าง ๆ มีความเป็นอิสระต่อกันมากขึ้น (Modularity) และจะเรียกใช้งานเฉพาะโปรแกรมย่อยที่ต้องการเท่านั้น ทำให้โปรแกรมทำงานได้เร็วขึ้น ไม่สิ้นเปลืองทรัพยากร และสามารถพัฒนาต่อไปได้สะดวกขึ้น นอกจากนี้แล้ว โปรแกรมนี้ยังอนุญาตให้บุคคลทั่วไปนำไปใช้งานได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใด ๆ อีกทั้งโปรแกรมยังจะมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีการออกรุ่นใหม่ทุก 6 เดือน [14]



ภาพที่ 2.9 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม Energy Plus
ที่มา: การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาโดยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์,ทสพล เขตเจนการ,2550

ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม Energy Plus แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุมหลัก (Simulation Manager) ส่วนการคำนวณ ภาระการปรับอากาศ (Heat and Mass Balance Simulation) ส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ (Building Systems Simulation) และข้อมูล สภาพอากาศ (Weather Data) ภาพรวมของการทำงานของโปรแกรม แสดงอยู่ในรูปที่ 2.9 โดยเริ่มต้น ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลของอาคาร (Building Description) เช่น พิกัด วัสดุ ตารางการใช้งาน ฯลฯ โดยตัวอย่างหน้าจอที่ใช้ป้อนข้อมูลแสดงอยู่ในรูปที่ 2.10 ข้อมูลส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปยังส่วนการคำนวณภาระการปรับอากาศเพื่อคำนวณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Gain) และภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ข้อมูลอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปยังส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ ซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบของระบบปรับอากาศได้อย่างอิสระ ต่างจากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST ที่มีรูปแบบให้เลือกตายตัว จากนั้นส่วนควบคุมหลักจะทำการเชื่อมโยงรับส่งข้อมูลไปมาระหว่างทั้งสอง ส่วนในระหว่างการคำนวณคล้ายลักษณะของการคำนวณแบบวนรอบ (Iteration) แทนที่จะเป็นการส่งข้อมูลจากส่วนการคำนวณภาระการปรับอากาศไปยังส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ

ในทิศทางเดียวเหมือนในโปรแกรมต้นแบบ ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ในส่วนของข้อมูลสภาพอากาศจะถูกดึงมาใช้ในระหว่างการคำนวณ เมื่อสิ้นสุดการคำนวณทั้งหมดก็จะได้ผลลัพธ์ที่ต้องการออกมาเช่น ปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละพื้นที่และทั้งอาคาร สภาวะของอากาศภายในแต่ละพื้นที่ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร ฯลฯ



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับป้อนข้อมูลของโปรแกรม Energy Plus

ที่มา: การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาโดยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์,ทสพล เขตเจนการ,2550

ในการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร จุดแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างการคำนวณด้วยมือที่ใช้สภาวะออกแบบเพียงสภาวะเดียวกับการคำนวณด้วยโปรแกรมจำลอง ก็คือการคำนวณพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ ในขณะที่พลังงานที่ใช้ในระบบอื่น เช่น แสงสว่างหรืออุปกรณ์จะไม่แตกต่างกันมากนักในการคำนวณด้วยมือเพื่อหาความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ภาระการทำความเย็น และพลังงานที่ใช้ของระบบปรับอากาศ มักจะใช้การสมมติให้เป็นสภาวะคงตัว (Steady-state Condition) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อม ซึ่งแปรเปลี่ยนตามเวลา (Transient Condition) ส่วนในการใช้โปรแกรม Energy Plus จากการที่ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลของวัสดุ และโครงสร้างของอาคารที่ซับซ้อนกว่าได้กำหนดลักษณะการใช้งานอาคารที่ละเอียดซับซ้อนขึ้นได้ และใช้ข้อมูลอากาศที่ละเอียดเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี รวมทั้งโปรแกรมยังนำการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods) เข้ามาช่วย จึงทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ดังกล่าวได้ใกล้เคียงกับลักษณะของการแปรเปลี่ยนตามเวลาได้มากกว่า

อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการคำนวณภาระการปรับอากาศ ในการคำนวณด้วยมือ ภาระการทำความเย็นจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่เข้าสู่อาคาร เนื่องจากการสมมติให้เป็นสภาวะคงตัว และไม่คำนึงถึงผลของการสะสมความร้อนในเนื้อมวลสารของอาคาร แต่ในการใช้โปรแกรมจะคำนึงถึงผลในส่วนนี้ด้วย โดยจะแปลงค่าความร้อนที่เข้าสู่อาคารให้เป็นภาระการทำความเย็นด้วยวิธีการทำสมดุลความร้อน (Heat Balance Method) หรือวิธีฟังก์ชั่นการถ่ายโอนความร้อน (Conduction Transfer Function Method, CTF) ส่งผลให้ภาระการทำความเย็นในแต่ละชั่วโมงไม่เท่ากับความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ณ ชั่วโมงนั้น ๆ ซึ่งตรงกับสภาพความเป็นจริงมากกว่าปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศต่อเนื่องไปถึงปริมาณการใช้พลังงานของทั้งอาคารที่คำนวณได้จากโปรแกรมจึงใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าการคำนวณด้วยมือ

นอกจากนี้ การใช้โปรแกรม Energy Plus ยังคำนึงถึงการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างบริเวณหรือโซนที่อยู่ติดกัน รวมไปถึงการปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบที่ใช้พลังงานที่มีผลต่อกันและกันอีกด้วย ตัวอย่างเช่น การปิดไฟฟ้าแสงสว่าง นอกจากจะลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบแสงสว่างโดยตรงแล้ว ยังลดความร้อนที่หลอดไฟปล่อยเข้าสู่บริเวณพื้นที่ปรับอากาศ ทำให้พลังงานที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศลดลงอีกต่อหนึ่งด้วย ซึ่งการคำนวณด้วยมือจะทำให้ครอบคลุมพฤติกรรมเหล่านี้ได้ลำบาก

2.5 การศึกษาโปรแกรม Building Energy Code (BEC)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ออกกฎกระทรวงว่าด้วยกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามมาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) ซึ่งประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2552 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอาคาร

สาระเนื้อหาของกฎกระทรวงฯ ได้กำหนดให้อาคาร 9 ประเภท ได้แก่ สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงานอาคารชุด อาคารชุมนุมคน อาคารโรงมหรสพ อาคารโรงแรม อาคารสถานบริการ และอาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า ที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงฯ และได้ออกประกาศกระทรวงพลังงานที่สอดคล้องกันอีก 2 ฉบับ คือ เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการ

ใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ และเรื่องการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร รวมถึงจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Building Energy Code Program (BEC) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ประกอบการคำนวณเพื่อตรวจสอบแบบอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่ โดยมีค่าเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพด้านพลังงานตามกฎกระทรวงฯ ของแต่ละระบบ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ออกแบบและผู้ตรวจสอบอาคาร [15]

มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

กระทรวงพลังงานได้ประกาศกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยอาศัยความตามมาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) สาระของกฎกระทรวงฯ ฉบับนี้แบ่งเป็น 3 หมวด ดังนี้

หมวดที่ 1 ประเภทและขนาดของอาคาร

หมวดที่ 2 มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร

หมวดที่ 3 หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร

หมวดที่ 1 ประเภทและขนาดของอาคาร

การก่อสร้าง หรือดัดแปลงอาคารดังต่อไปนี้ หากมีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกัน ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ตามกฎกระทรวงนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(1) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล

(2) สถานศึกษา

(3) สำนักงาน

(4) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

(5) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(6) อาคารโรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(7) อาคารโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

(8) อาคารสถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

(9) อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

หมวดที่ 2 มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร

มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร ประกอบด้วย 6 ส่วน ได้แก่ ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ระบบกรอบอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall thermal transfer value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof thermal transfer value, RTTV) ในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทอาคาร ต้องมีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์มาตรฐานของระบบกรอบอาคาร

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร)	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร)
สถานศึกษา สำนักงาน	50	15
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40	12
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30	10

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศ ให้คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้านรวมกัน

อาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ พื้นที่แต่ละส่วนต้องใช้ข้อกำหนดของระบบกรอบอาคารตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่แต่ละส่วนนั้น

2. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถ ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอ และเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารหรือกฎหมายเฉพาะว่าด้วยการนั้นกำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคาร ต้องใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละประเภทของอาคาร มีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
สถานศึกษา สำนักงาน	14
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	18
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	12

อาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ พื้นที่แต่ละส่วนต้องใช้ค่าในตารางตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ส่วนนั้น

3. ระบบปรับอากาศ

ประเภทและขนาดต่าง ๆ ของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งภายในอาคาร ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดไว้ใน ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำา ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

“เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก” หมายความว่า เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วนที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ หรือระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยออกแบบแยกเป็นสองชุดทำงานร่วมกัน ซึ่งได้แก่ ชุดคอนเดนซิง (Condensing unit) และชุดแฟนคอยล์ (Fan-coil unit) ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ สำหรับใช้เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ไหลผ่านชุดแฟนคอยล์

เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP) หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio, EER) ขั้นต่ำดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (วัตต์)	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (วัตต์ต่อวัตต์)	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (บีทียูต่อชั่วโมงต่อวัตต์)
ไม่เกิน 12,000	3.22	11

3.2 ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่

ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ ต้องมีค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น และส่วนประกอบอื่นของระบบปรับอากาศดังต่อไปนี้

3.2.1 เครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ ต้องมีค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ		ขนาดความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระพิกัดของเครื่องทำน้ำเย็น (ตันความเย็น)	ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)
ชนิดการระบายความร้อน	แบบของเครื่องอัด		
ระบายความร้อนด้วยอากาศ	ทุกชนิด	น้อยกว่า 300 มากกว่า 300	1.33 1.31
ระบายความร้อนด้วยน้ำ	แบบลูกสูบ	ทุกขนาด	1.24
	แบบโรตารี่ แบบสกรู หรือแบบสครอลล์	น้อยกว่า 150 มากกว่า 150	0.89 0.78
	แบบแรงเหวี่ยง	น้อยกว่า 500 มากกว่า 500	0.76 0.62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.2 ส่วนประกอบอื่นของระบบปรับอากาศที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ระบบระบายความร้อน ระบบจ่ายน้ำเย็น และระบบส่งลมเย็น ต้องมีค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นรวมกันไม่เกิน 0.5 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

3.3 เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน

เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำแล้วแต่กรณีดังต่อไปนี้ ทั้งนี้การคิดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะให้คิดเฉพาะค่าความร้อนเท่านั้น โดยไม่รวมกำลังไฟฟ้าในระบบ

3.3.1 กำหนดภาวะพิกัดโดยระบุอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนแบบระบุอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น

ชนิดของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน	ภาวะพิกัด				ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ
	ด้านน้ำเย็น		ด้านน้ำระบายความร้อน		
	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้า	อุณหภูมิน้ำเย็นออก	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องควบแน่น	อัตราการไหลของน้ำเข้าเครื่องควบแน่น	
	(องศาเซลเซียส)			(ลิตรต่อวินาทีต่อกิโลวัตต์)	
ก. ชั้นเดียว	12.0	7.0	32.0	0.105	0.65
ข. สองชั้น	12.0	7.0	32.0	0.079	1.10

3.3.2 กำหนดภาวะพิกัดโดยระบุอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้า และออกจากเครื่องควบแน่นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนแบบระบุอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้า และออกจากเครื่องควบแน่น

ชนิดของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน	ภาวะพิกัด				ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ
	ด้านน้ำเย็น		ด้านน้ำระบายความร้อน		
	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้า	อุณหภูมิน้ำเย็นออก	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องควบแน่น	อุณหภูมิน้ำออกเครื่องควบแน่น	
	(องศาเซลเซียส)				
ก. ชั้นเดียว	12.0	7.0	32.0	37.5	0.65
ข. สองชั้น	12.0	7.0	32.0	37.5	1.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นที่กำหนดไว้ในข้อ 3 ไม่ใช้บังคับกับระบบปรับอากาศที่ใช้แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์

4. อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน

อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่ติดตั้งภายในอาคาร ต้องมีค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำดังต่อไปนี้

4.1 หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน

ตารางที่ 2.9 เกณฑ์มาตรฐานของหม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน

ประเภท		ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำ (ร้อยละ)
(ก)	หม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง	85
	(Oil fired steam boiler)	80
(ข)	หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง	80
	(Oil fired hot water boiler)	80
(ค)	หม้อไอน้ำที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง	
	(Gas fired steam boiler)	
(ง)	หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง	
	(Gas fired hot water boiler)	

4.2 เครื่องทำน้ำร้อนชนิดฮีตปั๊มแบบใช้อากาศเป็นแหล่งพลังงาน (Air-source heat pump water heater)

ตารางที่ 2.10 เกณฑ์มาตรฐานของหม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน

ภาวะพิกัด				ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ
ลักษณะการออกแบบ	อุณหภูมิน้ำเข้า (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำออก	อุณหภูมิอากาศ	
(ก) แบบที่ 1	30.0	50.0	30.0	3.5
(ข) แบบที่ 2	30.0	60.0	30.0	3.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

การขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารตามกฎกระทรวงกำหนด ที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในข้อที่ 1 ข้อที่ 2 และข้อที่ 3 ให้พิจารณาตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ต้องมีค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงที่มีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และมีค่าของระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ เป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบ

6. การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร

เมื่อมีการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร ให้ยกเว้นการนับรวมการใช้ไฟฟ้าบางส่วนในอาคารในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารมีการออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติเพื่อการ

ส่องสว่างภายในอาคารในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร ให้ถือเสมือนว่าไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคารนั้น โดยการออกแบบดังกล่าวต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ต้องแสดงอย่างชัดเจนว่า มีการออกแบบสวิตช์ที่สามารถเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้กับพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างต้องมีระยะห่างจากกรอบอาคารไม่เกิน 1.5 เท่าของความสูงของหน้าต่างในพื้นที่นั้น และ

2. กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารตามข้อ 1. ต้องมีค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด (Effective shading coefficient) ไม่น้อยกว่า 0.3 และอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน (Light to solar gain) มากกว่า 1.0 และต้องมีพื้นที่กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารตามข้อ 1. ต้องไม่น้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบ

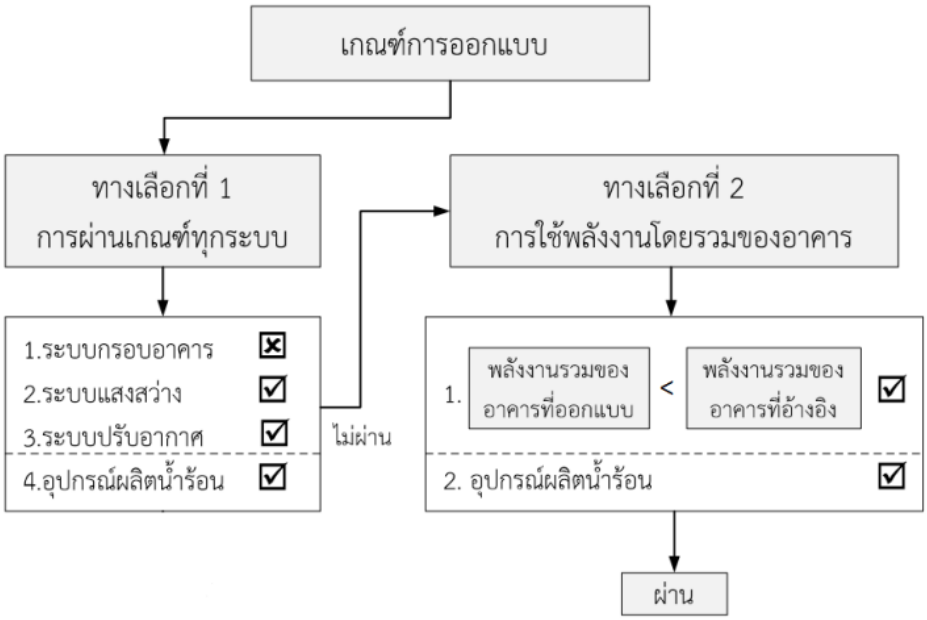
อาคารที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอาคาร สามารถนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

7. เกณฑ์การผ่านการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

หลักเกณฑ์การผ่านของการตรวจประเมินแบบอาคารให้พิจารณาจากเกณฑ์การออกแบบ แบ่งการผ่านเกณฑ์เป็น 2 ทางเลือก ดังรูปที่ 1 โดยพิจารณาจากทางเลือกที่ 1 คือ การผ่านเกณฑ์ทุกระบบ หากผลการตรวจประเมินผ่านทุกรายระบบในข้อที่ 1 ข้อที่ 2 และข้อที่ 3 ก็จะถือว่าอาคารนี้ผ่านเกณฑ์การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน แต่ถ้าหากมีบางส่วนไม่ผ่านเกณฑ์รายระบบใด ระบบหนึ่ง ให้พิจารณาทางเลือกที่ 2 คือการผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อปี โดยนำค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ออกแบบมาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงตามกฎกระทรวง ถ้ามีค่าต่ำกว่าจึงถือว่าเป็นการผ่านเกณฑ์การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานเช่นกัน

ทั้งนี้ ทางเลือกที่ 1 และ ทางเลือกที่ 2 นั้น หากในอาคารมีการใช้อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน อุปกรณ์ดังกล่าว จะต้องผ่านข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพพลังงานของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนตามที่ระบุไว้ในข้อ 4 ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2.11 หลักเกณฑ์การผ่านการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
ที่มา: คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรผู้ตรวจประเมินค่าอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร หรือโปรแกรม Building Energy Code (BEC) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร จัดทำขึ้น ภายใต้ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ว่าจ้างให้บริษัท เอเบิล คอนซัลแตนท์ จำกัด เป็นที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำโปรแกรมรุ่นทดลองใช้งาน ซึ่งแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2547 และเปิดให้มีการดาวน์โหลดทดลองนำไปใช้งานเพื่อจะนำข้อมูลการใช้งานกลับมาพัฒนาโปรแกรม แต่เนื่องจากยังไม่ได้มีการใช้ พ.ร.บ. ดังกล่าว จึงทำให้มีผู้สนใจทดลองดาวน์โหลดโปรแกรมไปใช้งานเพียงเล็กน้อย ซึ่งทำให้สามารถเก็บข้อมูลการใช้งานได้น้อย จึงไม่สามารถพัฒนาโปรแกรมให้สมบูรณ์ได้เต็มที่ แต่อย่างไรก็ดีทีมงานผู้พัฒนายังคงยืนยันว่า หลักการและเนื้อหาด้านเทคนิคของโปรแกรม ยังคงถูกต้องและสอดคล้องกับ พ.ร.บ. ที่ประกาศใช้งานโดยสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (www.2e-building.com) สำหรับเวอร์ชั่นของโปรแกรม BEC ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการพัฒนาครั้งนี้คือโปรแกรม BEC เวอร์ชั่น 1.0.6 ซึ่งเป็นเวอร์ชั่นล่าสุด

ภาพที่ 2.12 หน้าหลักของโปรแกรม BEC

ที่มา: โปรแกรม BEC เวอร์ชั่น 1.0.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การประเมินประสิทธิภาพพลังงานหลังการเข้าใช้งานของอาคารประหยัดพลังงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงมีระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนและมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.2 การเก็บข้อมูลจากอาคาร เพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

3.3 การจัดเรียงข้อมูล และอธิบายข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาผลการวิจัย

3.5 การสรุปผลการวิจัย

3.1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงการหาตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานในหัวข้อประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Minimum Energy Performance) อยู่ในหมวดพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) ซึ่งจะนำไปสู่การคำนวณหาค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตามเกณฑ์การประเมิน LEED โดยใช้โปรแกรม Energy Plus และศึกษาตัวแปรจากแบบ As-Built ของอาคารเพื่อหาตัวแปรป้อนเข้าสำหรับนำมาเปรียบเทียบและคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารโดยโปรแกรม BEC สามารถศึกษาได้ดังนี้

3.1.1 การศึกษาหมวดการใช้พลังงานและบรรยากาศตามรายงานการประเมิน LEED

ศึกษาในหัวข้อประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Minimum Energy Performance) ในหมวดพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) ของมาตรฐานเกณฑ์การประเมิน LEED 2009 โดยจะอ้างอิงการหาค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 ภาคผนวก G โดยบอกวิธีการคำนวณการหาค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยคำนวณจากโปรแกรมที่มาตรฐาน ASHRAE ได้กำหนดไว้

3.1.2 การศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม Energy Plus

ศึกษาการใช้โปรแกรม Energy Plus เพื่อเข้าใจถึงตัวแปรป้อนเข้าข้อมูลสำหรับการคำนวณตามรายงานการประเมินโดย LEED และตามมาตรฐาน ASHRAE กำหนดไว้ และนำตัวแปรที่ได้มาเปรียบเทียบกับตัวแปรป้อนเข้าของโปรแกรม BEC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1.3 การศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม BEC

ศึกษาการใช้โปรแกรม BEC เพื่อเข้าใจถึงตัวแปร และขั้นตอนการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร ประกอบไปด้วยตัวแปรที่ใช้คือ ประเภทของอาคาร พื้นที่อาคาร ข้อมูลแบบสถาปัตยกรรมเพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบกรอบอาคาร ข้อมูลระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ และระบบไฟฟ้าอื่น ๆ โดยการหาข้อมูลดังกล่าวจากแบบ As-Built ของอาคาร

3.2 การเก็บข้อมูลจากอาคาร เพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

3.2.1 รายละเอียดข้อมูลที่ต้องเก็บ และคัดเลือกข้อมูล

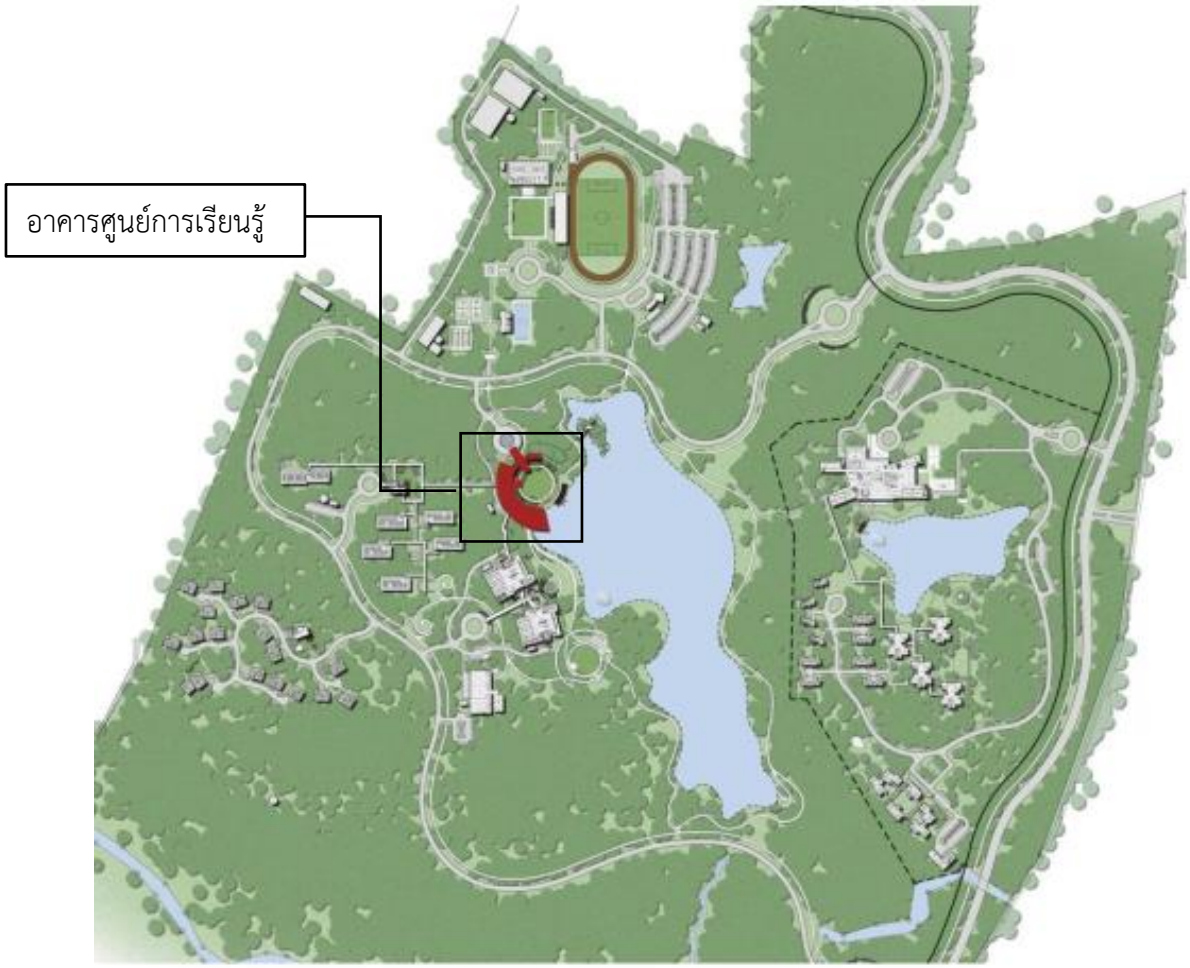
จากการศึกษาทบทวนข้อมูลและเนื้อหาเกี่ยวกับการจัดทำรายงานการประเมิน LEED ในหมวดพลังงานและบรรยากาศพบว่าข้อมูลที่ต้องการเก็บจะสามารถจำแนกได้ออกเป็น 5 ส่วนคือ

3.2.1.1 ข้อมูลแบบแปลนอาคาร

ศึกษาไปยังอาคารศูนย์การเรียนรู้แห่งหนึ่ง ภายในสถาบันอุดมศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นอาคารที่ออกแบบและก่อสร้างโดยคำนึงถึงความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้รับรางวัลระดับโกล (Gold) จากหน่วยงาน LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ของสภาอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา USGBC (U.S. Green Building Council)

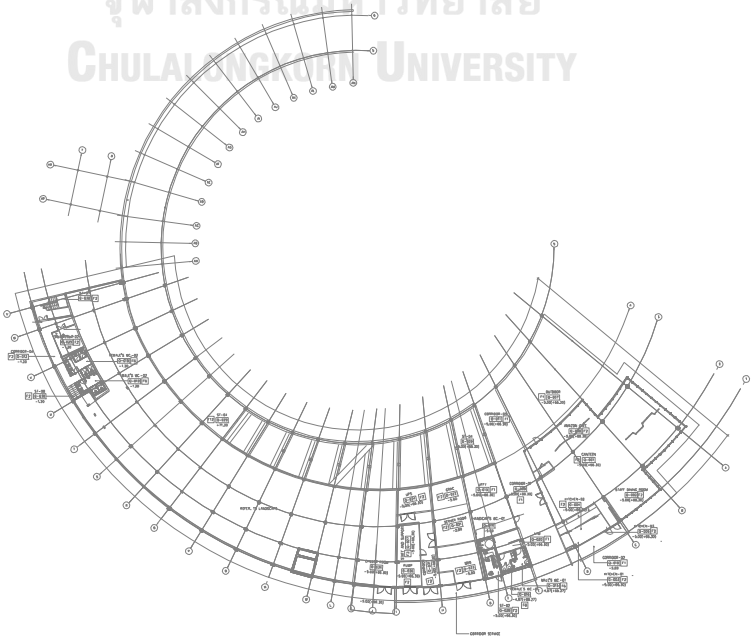
อาคารประกอบไปด้วย 5 ชั้นคือ ชั้นใต้ดิน ชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3 และชั้นหลังคา ดังแสดงดังรูปที่ 3.1-3.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

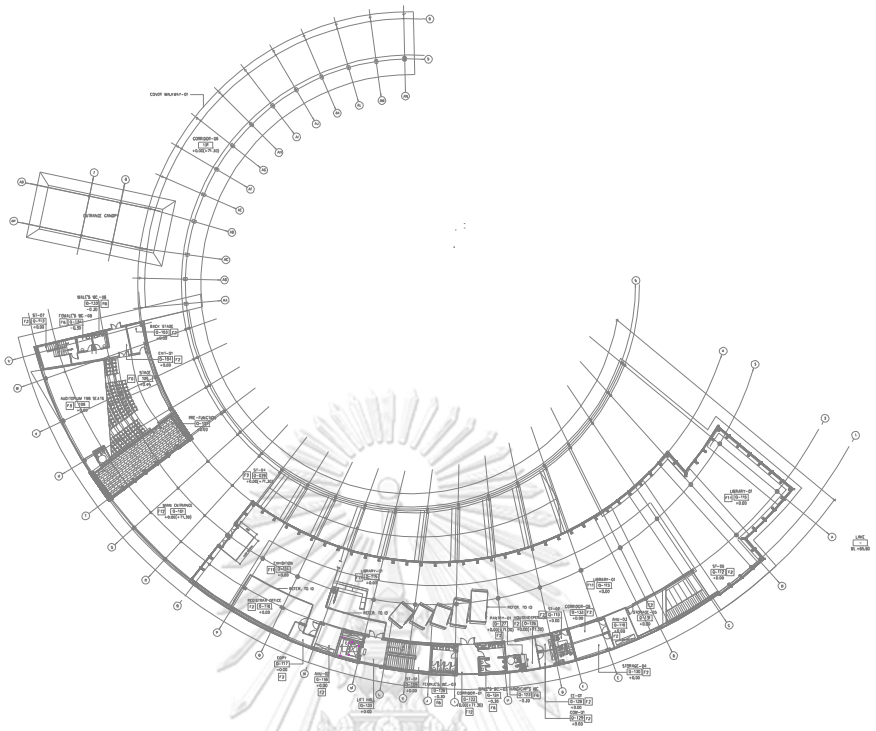


ภาพที่ 3.13 ผังบริเวณโดยรอบของอาคารศูนย์การเรียนรู้

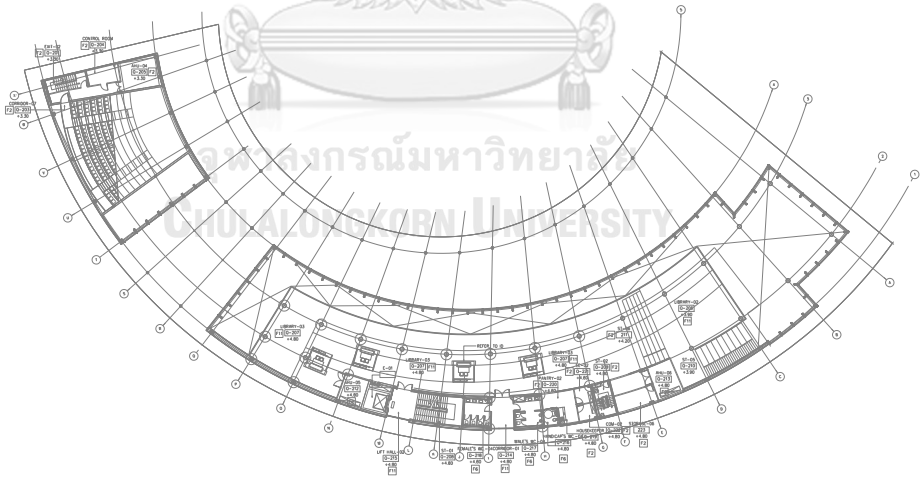
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



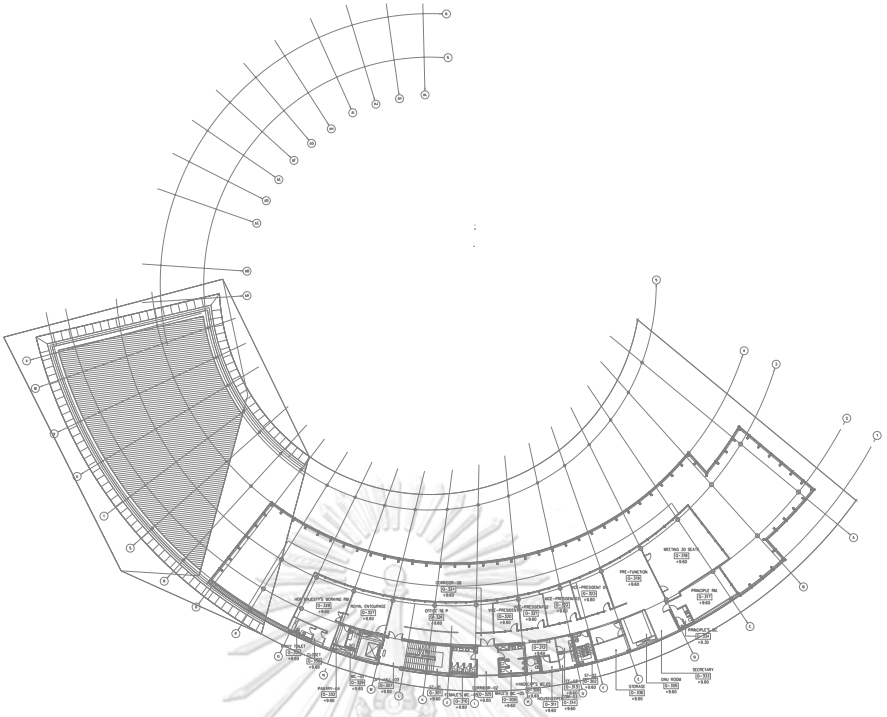
ภาพที่ 3.14 แปลนพื้นชั้นใต้ดิน



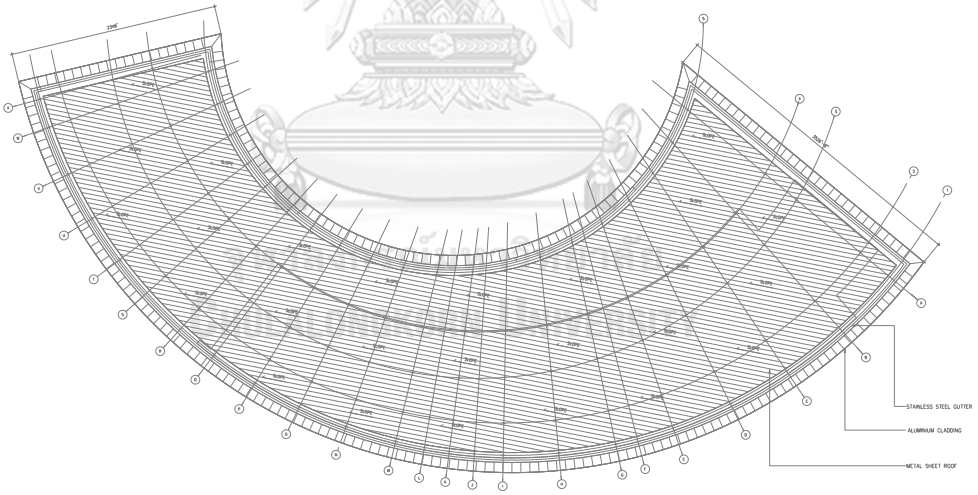
ภาพที่ 3.15 แปลนพื้นชั้นที่ 1



ภาพที่ 3.16 แปลนพื้นชั้นที่ 2



ภาพที่ 3.17 แปลนพื้นชั้นที่ 3



ภาพที่ 3.18 แปลนพื้นชั้นหลังคา

3.2.1.2 ข้อมูลพื้นที่อาคาร

อาคารศูนย์การเรียนรู้มีพื้นที่การใช้ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สำหรับห้องสมุดเพื่อการเรียนรู้ภายในสถาบันการศึกษา มีพื้นที่ใช้สอยรวม 4,112 ตารางเมตร ประกอบด้วยจำนวน 5 ชั้นคือ ชั้นใต้ดิน ชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3 และชั้นหลังคา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.11 รายละเอียดพื้นที่แต่ละชั้นของอาคาร

ระดับชั้น	รายละเอียดพื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)
ชั้นใต้ดิน	Dining	32
	Canteen	387
	Server	106
	UPS	102
	Chiller room	100
	Corridor	330
ชั้นที่ 1	Library1	600
	Library2	600
ชั้นที่ 2	Auditorium	342
	Library3	295
	Library4	292
ชั้นที่ 3	Secretary	30
	Principal	42
	Vice president	190
	Office	103
	Royal	61
	Majesty	65
	Meeting	61
	Pre-function	85
	Corridor	288
พื้นที่รวม (ตารางเมตร)		**4,112**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.1.3 ข้อมูลระบบกรอบอาคาร

แบบแปลนอาคารศูนย์การเรียนรู้มีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลม สามารถแบ่งระบบกรอบอาคารออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นหนังทึบ กระจก และหลังคา มีข้อมูลดังนี้

(1) ผนังทึบ มีองค์ประกอบของผนังทึบดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.12 องค์ประกอบของผนังทึบและค่าต่าง ๆ ของอาคาร

องค์ประกอบของผนัง	U-Value (W/m^2K)
ผนังอิฐมวลเบา (1.6ซม.กระเบื้องเซรามิค + 7.5ซม.อิฐมวลเบา + 30ซม. ช่องอากาศ + 1ซม.ปูนฉาบ)	1.393

(2) กระจก แสดงชนิดของกระจกและค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.13 องค์ประกอบของกระจกและค่าต่าง ๆ ของอาคาร

องค์ประกอบของกระจก	U-Value (W/m^2K)
กระจกลามิเนต Low-E (0.6ซม. HS Low-E glass + 0.14 ซม. PVB + 0.6ซม. HS Low-E glass)	2.82

ค่า U-Value ของกระจกอ้างอิงจาก Thai-German Specialty Glass Co.,Ltd.

(3) หลังคา แสดงชนิดของหลังคาและค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.14 องค์ประกอบของวัสดุชั้นหลังคาของอาคาร

องค์ประกอบของกระจก	U-Value (W/m^2K)
หลังคา Metal sheet (0.35ซม.Metal sheet + 150ซม. ช่องอากาศ + 1ซม.แผ่นยิปซั่มบอร์ด + 5ซม.ฉนวนใยแก้ว)	0.551

3.2.1.4 ข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ดวงโคมไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับอาคารนี้เลือกใช้เป็นชนิด LED ทั้งหมดเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยสามารถจำแนกออกเป็นแต่ละพื้นที่ใช้งานได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.15 รายละเอียดชนิดและจำนวนดวงโคมไฟฟ้าแต่ละชั้นของอาคาร

ชั้นที่	พื้นที่โซน (ตร.ม.)	ชนิดดวงโคม	จำนวนชุด (ชุด)	กำลังไฟฟ้าต่อชุด (วัตต์/ชุด)	กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)
1	1,738	AJ7	15	76	1140
		AJ9	29	23	667
		AJ12	6	76	456
		DL1	14	20	280
		DL4	50	30	1,500
		DL6	10	36	360
		E1	8	28	224
		E2	2	56	112
		FL3	420	28	11,760
		FR3	26	56	1456
		RD2	33	52	1716
		SPT1	17	32	544
		SPT1f	19	32	608
กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)					**20,823**
กำลังงไฟฟ้าต่อพื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)					**11.98**
2	828	A2	6	76	456
		AJ10	1	46	46
		E1	14	28	392
		E2	2	56	112
		DL1	93	20	1,860
		DL9	20	14	280
		FL3	275	28	7,700
		FR3	13	56	728
		RD2	25	52	1,300
		SPT1f	5	32	160
กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)					**13,034**
กำลังงไฟฟ้าต่อพื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)					**15.78**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้นที่	พื้นที่โซน (ตร.ม.)	ชนิดดวงโคม	จำนวนชุด (ชุด)	กำลังไฟฟ้าต่อชุด (วัตต์/ชุด)	กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)
3	638	DL1	56	20	1,120
		DL11	1	13	13
		DL13	2	36	72
		DL4	13	30	390
		DL9	1	14	14
		E1	4	28	112
		E2	2	56	112
		FL3	126	28	3,528
		FR3	15	56	840
		PD2	12	112	1,344
		RD2	22	52	1,144
กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)					**8,689**
กำลังงไฟฟ้าต่อพื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)					**13.62**
กำลังไฟฟ้ารวมทั้งอาคาร (วัตต์)					**42,546**
กำลังงไฟฟ้าต่อพื้นที่รวมทั้งอาคาร (วัตต์/ตร.ม.)					**13.28**

3.2.1.5 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศของอาคารเลือกใช้เป็นระบบทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller) และส่งความเย็นผ่านเครื่องส่งลมเย็นชนิด AHU และ FCU ตามพื้นที่ต่าง ๆ ภายในอาคารดังแสดงในตารางที่ 3.6-3.7

ตารางที่ 3.16 รายละเอียดเครื่องทำความเย็นของอาคาร

ชนิดระบบปรับอากาศ	รหัส	จำนวน (ชุด)	ขนาดทำความเย็น (ตัน)	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
Water Cooled Chiller (Screw)	CH-1 - 2	2	150	105
Cooling Tower	CT-1 - 2	2	255	5.5
Primary Chilled Water Pump	CHP-1 - 2	2	-	15
Condenser Water Pump	CDP-1 - 2	2	-	11
Softener Pump	SFP-1 -2	2	-	1.5

ตารางที่ 3.17 รายละเอียดเครื่องส่งลมเย็นของอาคาร

ชั้นที่	ชนิดระบบปรับอากาศ	รหัส	จำนวน	ขนาดทำความเย็น (BTUH)	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
1	AHU	Q-1A-1	1	480,000	11
	AHU	Q-1A-2	1	480,000	11
2	AHU	Q-2A-1	1	480,000	11
	AHU	Q-2A-2	1	480,000	11
	AHU	Q-2A-3	1	480,000	11
3	AHU	Q-3A-1	1	1,163,400	7.5
	FCU	Q-3F-1,2	2	30,000	0.37
	FCU	Q-3F-3	1	36,000	0.37
	FCU	Q-3F-4,5	2	36,000	0.37
	FCU	Q-3F-6-9	4	24,000	0.25
	FCU	Q-3F-10,11	2	36,000	0.37
	FCU	Q-3F-12	1	30,000	0.37
	FCU	Q-3F-13	1	48,000	0.75
	FCU	Q-3F-14	1	18,000	0.25

3.2.1.6 ข้อมูลระบบไฟฟ้าอื่น ๆ

เก็บรวบรวมระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ของอาคารจากแบบ As-Built ตามพื้นที่ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.18 รายละเอียดระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ของอาคาร

ระดับชั้น	รายละเอียดพื้นที่	กำลังไฟฟ้า (วัตต์/ตรม.)
ชั้นใต้ดิน	Dining	50.82
	Canteen	50.06
ชั้นที่ 1	Library1	24.75
	Library2	26.75
ชั้นที่ 2	Auditorium	49.96
	Library3	50.05
	Library4	50.08

ระดับชั้น	รายละเอียดพื้นที่	กำลังไฟฟ้า (วัตต์/ตรม.)
ชั้นที่ 3	Secretary	50.15
	Principal	50.44
	Vice president	49.96
	Office	50.03
	Royal	49.8
	Majesty	49.89
	Meeting	50.42
	Pre-function	49.77
	รวมเฉลี่ย	40.89

3.2.1.7 ข้อมูลใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้าของโครงการจำนวน 12 เดือน ของปี พ.ศ.2562 เพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งปี

ตารางที่ 3.19 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน พ.ศ. 2562

เดือน	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)
ม.ค. 2562	50,823.00
ก.พ. 2562	49,751.00
มี.ค. 2562	56,438.00
เม.ย. 2562	63,183.00
พ.ค. 2562	66,071.00
มิ.ย 2562	62,847.00
ก.ค. 2562	64,182.00
ส.ค. 2562	60,248.00
ก.ย. 2562	57,898.00
ต.ค. 2562	58,514.00
พ.ย. 2562	53,615.00
ธ.ค. 2562	37,526.00
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปี(kWh/y)	**681,096.00**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.1.8 ข้อมูลชั่วโมงการใช้งาน

อาคารศูนย์การเรียนรู้แห่งนี้ เปิดทำการตั้งแต่ช่วงเวลา 8.30น. ถึง 17.30น. ตั้งแต่วันจันทร์ ถึงวันศุกร์ ซึ่งเป็นเวลาทั้งหมด 9 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 180 ชั่วโมงต่อเดือน หรือ 2,160 ชั่วโมงต่อปี

3.2.1.9 ข้อมูลรายงานการประเมิน LEED

ศึกษาการประเมินค่าการใช้พลังงานของอาคารในหัวข้อประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Minimum Energy Performance) ซึ่งอยู่ในหมวดพลังงาน และบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) มีรายละเอียดดังนี้

Simulation Program	:	Energy Plus
Principal heating source	:	Electricity
Energy Code Used	:	ASHRAE 90.1-2007
Zip/Postal Code	:	21210
Weather File	:	BANGKOK-THA IWEC Data WMP#=484560
Climate Zone	:	1A
Heating Degree Days	:	0
Cooling Degree Days	:	12,430
New Construction Gross Square Footage	:	61,718
Existing, Renovated Gross Square Footage	:	0
Existing, Unrenovated Gross Square Footage	:	0
Total Gross Square Footage	:	61,718
New Construction percent	:	100%
Existing Renovation percent	:	0%
Existing Unrenovated percent	:	0%
Gross Square Footage Used in The Energy Model, If Different than Gross Square Footage Above (Optional)	:	33,362.03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.20 Space Usage Type

Space Name/ Description	Space Usage Type	Space Area (sf)	Regularly Occupied Area (sf)	Unconditioned Area (sf)	Typical Hours/Week in Operation
Auditorium	Auditorium	3684.12	3684.12	0	62.57
Dining	Dining	349.48	349.48	0	62.57
Canteen	Canteen	4160.78	4160.78	0	62.57
Library1	Library1	3194.43	3194.43	0	62.57
Library2	Library2	3459.99	3459.99	0	62.57
Library3	Library3	3172.05	3172.05	0	62.57
Library4	Library4	3137.94	3137.94	0	62.57
Secretary	Secretary office	321.94	321.94	0	62.57
Principal	Principal room	448.15	448.15	0	62.57
Vice President	Vice president room	2046.66	2046.66	0	62.57
Office	Administrative Office	1108.06	1108.06	0	62.57
Royal	Royal Entourage	659.27	659.27	0	62.57
Majesty	Her Majesty Working Room	701.23	701.23	0	62.57
Server	Server	1143.25	1143.25	0	0
UPS	UPS	1096.44	1096.44	0	0
Meeting	Meeting	661.85	661.85	0	0
Pre-function	Pre-function	919.23	919.23	0	0
Corridor	Corridor	3097.16	0	3097.16	0
Totals		33362.03	30264.87	3097.16	
Percentage of Total (%)			90.72	9.28	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.21 Performance Rating - Performance Rating Method Compliance

		Baseline			Proposed				
End Use	Process	Units of Annual Energy & Peak Demand		Building Results	Design Energy Type	Units of Annual Energy & Peak Demand		Building Results	% Saving
Interior Lighting		Energy Use	kWh	110305.8	Electricity	Energy Use	kWh	25250.4	77.11
		Demand	kW	36.91		Demand	kW	17.48	
Exterior Lighting		Energy Use	kWh	118260	Electricity	Energy Use	kWh	49491	58.15
		Demand	kW	0		Demand	kW	0	
Space Heating		Energy Use	kWh	8.1	Electricity	Energy Use	kWh	0	100
		Demand	kW	0		Demand	kW	0	
Space Cooling		Energy Use	kWh	251474.55	Electricity	Energy Use	kWh	214984.8	14.51
		Demand	kW	202.48		Demand	kW	124.93	
Pumps		Energy Use			Electricity	Energy Use	kWh	42840.9	0
		Demand				Demand	kW	14.99	
Heat Rejection		Energy Use			Electricity	Energy Use	kWh	28239.3	0
		Demand				Demand	kW	8.97	
Fans-Interior		Energy Use	kWh	103241.25	Electricity	Energy Use	kWh	47725	53.77
		Demand	kW	18.91		Demand	kW	4.58	
Fans-Parking Garage		Energy Use				Energy Use			
		Demand				Demand			
Service Water Heating		Energy Use				Energy Use			
		Demand				Demand			
Receptacle Equipment	×	Energy Use	kWh	310910.4	Electricity	Energy Use	kWh	310910.4	0
		Demand	kW	134.67		Demand	kW	128.28	
Interior Lighting-Process		Energy Use	kWh			Energy Use	kWh		
		Demand	kW			Demand	kW		
Refrigeration Equipment		Energy Use	kWh			Energy Use	kWh		
		Demand	kW			Demand	kW		
Cooking		Energy Use	kWh			Energy Use	kWh		
		Demand	kW			Demand	kW		
Industrial Process		Energy Use	kWh			Energy Use	kWh		
		Demand	kW			Demand	kW		
Elevators and Escalators		Energy Use	kWh			Energy Use	kWh		
		Demand	kW			Demand	kW		
Total Energy Use (MMBtu/yr)				3051.01				2454.74	
Process Energy (MMBtu/yr)				1060.83				1060.83	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.22 Energy Use Summary

Energy Type	Units	Process Subtotal	Total Energy Cost	Process Energy Cost
Electricity	kWh	310910.4	894200.1	719441.8
Natural Gas		0	0	0
Totals	MMBtu	1060.83	3051.01	2454.74

ตารางที่ 3.23 Total Building Energy Use Performance

		Baseline		Proposed			
Energy Type	Units	Process Subtotal	Total Energy Use	Total Energy Use	Energy Saving	Renewable Energy Saving	Total Energy Use
Electricity	kWh	310910.4	894200.1	719441.8	0	0	719441.8
Natural Gas		0	0	0	0	0	0
Totals	MMBtu	1060.83	3051.01	2454.74	0	0	2454.74
Energy Use Savings (%)							19.54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.24 Energy Use Intensity

	Baseline EUI	Proposed EUI
Electricity (kWh/sf)		
Interior Lighting	1.787	0.409
Space Heating	0	0
Space Cooling	4.075	3.483
Fans-Interior	1.673	0.773
Service Water Heating	0	0
Receptacle Equipment	5.038	5.038
Miscellaneous	1.915	1.954
Subtotal	14.488	11.657

	Baseline EUI	Proposed EUI
Natural Gas (kBtu/sf)		
Space Heating	0	0
Service Water Heating	0	0
Miscellaneous	0	0
Subtotal	0	0
Other (kBtu/sf)		
Miscellaneous	0.002	-0.001
Subtotal	0.002	-0.001
Total Energy Use Intensity (kBtu/sf)		
Total	49.435	39.773

ตารางที่ 3.25 End Use Energy Percentage

	Baseline Case (%)	Proposed Case (%)	End Use Energy Saving (%)
Interior Lighting	12.33	3.51	48.66
Space Heating	0	0	0
Space Cooling	28.13	29.88	20.91
Fans-Interior	11.55	6.63	31.78
Service Water Heating	0	0	0
Receptacle Equipment	34.77	43.22	0
Miscellaneous	13.22	16.76	-1.35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 การติดต่อขอข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ

ทำการติดต่อขอเข้าไปศึกษาอาคารตัวอย่างโดยการประสานงานเบื้องต้นโดยเลือกอาคารที่ได้รับการประเมินทางด้านพลังงานที่ผู้วิจัยรู้จักบุคลากรภายในองค์กร และทำการร่างจดหมายขอเข้าพื้นที่ที่ออกโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอย่างถูกต้อง และนำส่งไปพร้อมร่างของโครงงานวิจัยนี้ พร้อมทั้งอธิบายข้อมูลถึง

วัตถุประสงค์ และประโยชน์ของงานวิจัยในครั้งนี้แก่ผู้มีอำนาจในการอนุมัติการเข้าพื้นที่

3.2.3 การเก็บข้อมูลจากการสำรวจอาคาร

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 แบบคือ

1. การเก็บข้อมูลโดยการอ่านข้อมูลจากแบบ As-Built ของอาคาร ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลพื้นที่อาคารของส่วนและชั้นต่าง ๆ ชนิดของห้องต่าง ๆ รูปด้าน ชนิดของผนังและกระจกทั้งหมด จำนวนดวงโคมไฟฟ้า ขนาดกำลังของดวงโคมไฟฟ้า ชนิดของระบบปรับอากาศ จำนวนของอุปกรณ์ระบบปรับอากาศ ชนิดของระบบทำน้ำร้อน จำนวนของอุปกรณ์ระบบทำน้ำร้อน และอุปกรณ์ไฟฟ้าหลักที่ทำให้มีผลต่อการใช้พลังงาน และใบเสร็จชำระเงินค่าไฟฟ้าของอาคาร

2. การเก็บข้อมูลโดยการเก็บข้อมูลจากสำรวจหน้างานจริง โดยเมื่อทำการศึกษาแบบของอาคารจากแบบ As-built ก็จะทราบถึงชนิดและจำนวนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องทำการศึกษา จึงเข้าสำรวจอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามแบบโดยการสุ่มตามประเภทของการศึกษา เช่น ทำการสำรวจชนิดของผนังและกระจก ทำการตรวจสอบค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ระบุไว้กับอุปกรณ์ (nameplate) เพื่อตรวจสอบค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ รวมถึงการสอบถามข้อมูลระยะเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ และระยะเวลาในการใช้พื้นที่นั้น ๆ จากผู้ดูแลอาคาร

3.3 การจัดเรียงข้อมูล และอธิบายข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

เมื่อทำการเก็บข้อมูลที่ต้องการนำมาศึกษาวิจัยแล้ว จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการจัดเรียงข้อมูล และอธิบายข้อมูล เพื่อใช้ในการเตรียมการวิเคราะห์ผลของข้อมูลในขั้นตอนถัดไป

3.3.1 การจำแนกตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

จำแนกตัวแปรที่สามารถนำมาหาค่าการใช้พลังงานของอาคารออกเป็นหัวข้อใหญ่คือ

(1) ระบบกรอบอาคาร

(2) ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

(3) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

(4) อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ

3.3.2 แจกแจงข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

แจกแจงตัวแปรความแตกต่างของข้อมูลวิจัยระหว่างข้อมูลของตัวแปรที่ระบุในรายการการประเมิน LEED และตัวแปรป้อนค่าของโปรแกรม BEC

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาผลการวิจัย

3.4.1 วิเคราะห์หาตัวแปรความแตกต่างจากรายงานการประเมิน LEED และโปรแกรม BEC [16]

วิเคราะห์ข้อมูลการป้อนเข้าตัวแปรของโปรแกรม Energy Plus ที่ใช้สำหรับคำนวณรายงานการประเมิน LEED เปรียบเทียบกับการกรอกข้อมูลของตัวแปรจากแบบ As-Built ของอาคารเพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารโดยโปรแกรม BEC

3.4.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารระหว่างรายงานการประเมิน LEED โปรแกรม BEC และค่าการใช้พลังงานจริง

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารระหว่างรายงานการประเมิน LEED โปรแกรม BEC และค่าการใช้พลังงานจริง

3.4.3 แนวทางปรับปรุงตัวแปร

นำเสนอการระบุตัวแปรที่แม่นยำขึ้นในการจัดทำเล่มรายงานการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมอาคารของ LEED เพื่อให้ใกล้เคียงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงอาคารให้ได้มากที่สุด

3.5 การสรุปผลการวิจัย

เมื่อสามารถทำการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อความแตกต่างของการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร และนำตัวแปรดังกล่าวนำเสนอต่อผู้จัดทำรายงานการคำนวณ LEED เพื่อทำการปรับปรุงการคำนวณของการจัดทำรายงานคำนวณของโครงการในครั้งถัดไป บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

การศึกษาการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารศูนย์การเรียนรู้แห่งนี้โดยโปรแกรม BEC ทำให้สามารถเข้าถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการใช้คำนวณค่าพลังงานของอาคาร ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณากับตัวแปรที่ใช้ในการประเมิน LEED และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร พบว่าสามารถคำนวณและเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม BEC

4.2 การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม Energy Plus

4.3 การเปรียบเทียบตัวแปรป้อนเข้าโปรแกรม BEC และโปรแกรม Energy Plus

4.4 การจำแนกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากรายการประเมิน LEED

4.5 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยโปรแกรม BEC และ Energy Plus กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร

4.1 การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม BEC

ทำการใส่ข้อมูลของอาคารทั้งหมดในบทที่ 3 ที่ต้องใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรม BEC โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 รายละเอียดโปรแกรม

1. ข้อมูลทะเบียนอาคาร

   Project Name ชื่ออาคาร

   Type ประเภทอาคาร

   Location จังหวัดที่ตั้งอาคาร

2. **Database** ข้อมูลรายละเอียดของวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ

   Envelope ข้อมูลกรอบอาคาร

   Material วัสดุกรอบอาคาร

   Component of Section ส่วนประกอบของผนัง

   Section of Wall รายละเอียดของผนังแต่ละชุด

   Wall รายละเอียดของผนังแต่ละด้าน

   Lighting System ข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

   A/C System ข้อมูลระบบปรับอากาศ

   Other ข้อมูลอุปกรณ์อื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. **Building Model** ข้อมูลรายละเอียดพื้นที่ภายในซึ่งประกอบด้วยข้อมูล **Database** ที่ถูกระบุในแต่ละชั้นของอาคาร
4. **Report**

   Envelope System รายงานข้อมูลของกรอบอาคารแสดงผลในรูปของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารหรือ OTTV (Overall Thermal Transfer Value) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาหรือ RTTV (Overall Thermal Transfer Value)

   Lighting System รายงานข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่าง แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในแต่ละพื้นที่ของอาคาร

   DX Air-Conditioning รายงานข้อมูลระบบปรับอากาศแสดงค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ของอาคาร

   Whole Building Energy รายงานข้อมูลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร

4.1.2 ผลการคำนวณค่ากรอบอาคาร

จากการสร้างกรอบอาคารและคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยโปรแกรม BEC สามารถแสดงค่า OTTV และ RTTV (Overall Thermal Transfer Value) ของอาคารได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.26 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกและหลังคาของอาคารโดยโปรแกรม BEC

	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W/m^2)
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)	47.12
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)	13.88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางจะพบว่าค่า OTTV ของอาคารผ่านค่ามาตรฐานตามที่กระทรวงพลังงานกำหนดสำหรับสถานศึกษาและสำนักงานคือต้องมีค่าไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร และ RTTV ต้องมีค่าไม่เกิน 15 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งถือว่าอาคารนี้มีระบบกรอบอาคารที่เหมาะสมผ่านค่าเกณฑ์มาตรฐานเพราะมีการใช้กระจกชนิดลามิเนต Low-E (Low emissivity) เป็นกระจกกันความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อนต่ำทำให้ป้องกันรังสีความร้อนแพร่ผ่านจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารได้ดี

4.1.3 ผลการคำนวณค่าระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

จากการใส่ชนิดดวงโคมและค่ากำลังไฟฟ้าของดวงโคมในพื้นที่ต่าง ๆ ของอาคารในโปรแกรม BEC สามารคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.27 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างโดยโปรแกรม BEC

Zone name	Power Density (W/m^2)
ชั้นใต้ดิน	12.41
ชั้นที่ 1	13.62
ชั้นที่ 2	22.82
ชั้นที่ 3	9.77
ค่า Power Density เฉลี่ย	14.52

จากตางรางจะพบว่าค่า Power Density เฉลี่ยของอาคารมีค่าเท่ากับ 14.52 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าเกินค่ามาตรฐานที่ทางกระทรวงพลังงานกำหนดของสถานศึกษาและสำนักงาน คือ 14 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเมื่อดูจากค่าในตารางจะเห็นว่าค่าความส่องสว่างที่มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ชั้น 2 เนื่องจากมีฝั่งที่เป็นห้อง Auditorium ซึ่งมีไว้สำหรับจัดประชุม บรรยาย และจัดการแสดงในโอกาสต่าง ๆ จึงทำให้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ของชั้น 2 มีค่าที่สูงเท่ากับ 22.82 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนในพื้นที่ของชั้นอื่น ๆ คือ ชั้นใต้ดิน ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 ยังมีค่าความส่องสว่างอยู่ในค่าที่กระทรวงพลังงานกำหนด

4.1.4 ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร

จากข้อมูลทั้งหมดของแบบ As-Built ของอาคารสามารถนำมาคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมโดยโปรแกรม BEC ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.28 ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารโดยโปรแกรม BEC

Zone name	Energy consumption of (kWhr/year)			Total energy consumption (kWhr/year)
	A/C system	Lighting system	Equipment	
ชั้นใต้ดิน	27,751.16	30,705.52	49,139.74	107,596.41
ชั้นที่ 1	80,727.23	38,230.92	72,306.00	191,264.15
ชั้นที่ 2	61,837.61	49,568.65	108,693.11	220,099.37
ชั้นที่ 3	41,484.45	21,163.38	74,645.91	137,293.73
ภายนอก	0	12,473.14	0	12,473.14
Total	211,800.45	152,141.61	304,784.76	668,726.80

จากตารางจะได้ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารเท่ากับ 668,726.80 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ประกอบไปด้วยค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศเท่ากับ 211,800.45 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปีคิดเป็นร้อยละ 32 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงว่างเท่ากับ 152,141.61 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปีคิดเป็นร้อยละ 23 และค่าการใช้พลังงานอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ เท่ากับ 304,784.76 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปีคิดเป็นร้อยละ 45

4.2 การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม Energy Plus

จากข้อมูลในรายงานการประเมิน LEED ทางผู้คำนวณได้ใช้การคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารโดยโปรแกรม Energy plus โดยงานวิจัยนี้ศึกษาจาก Energy plus เวอร์ชั่น 8.1 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานในอาคาร สามารถคำนวณ Heating และ Cooling Load ของระบบอุปกรณ์ในอาคาร โดยมีรายละเอียดข้อมูลป้อนเข้าโปรแกรมดังนี้

4.2.1 Simulation Parameters ข้อมูลสำหรับกำหนดรูปแบบการคำนวณ สำหรับจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

4.2.2 Location and Climate ข้อมูลรายละเอียดที่ตั้งของอาคาร

4.2.3 Schedules ข้อมูล วัน เวลา และปริมาณการใช้งานในแต่ละระบบอาคาร

4.2.4 Surface Construction Elements ข้อมูลรายละเอียดด้านต่าง ๆ ของวัสดุประกอบอาคาร

4.2.5 Thermal Zones and Surfaces รายละเอียดการแบ่งโซนพื้นที่อาคาร ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง อุปกรณ์บังแดด และหลังคา

4.2.6 Internal Gains ข้อมูลแหล่งความร้อนที่มาจากปัจจัยภายในอาคาร ได้แก่ คน อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ

4.2.7 Zone Ventilation Design Flow Rate ข้อมูลอัตราและปริมาณการระบายอากาศแต่ละโซน

4.2.8 Zone HVAC Controls and Thermostats ข้อมูลการควบคุมอุณหภูมิ

4.2.9 Report: Meter แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน (Monthly) ของแต่ละระบบได้แก่ ระบบปรับอากาศ (District Cooling: Facility) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Interior Light: Electricity) และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ (Interior Equipment: Electricity) โดยแสดงผลเป็นตารางในโปรแกรม Microsoft Excel

4.2.10 Report: Envelope Summary แสดงค่า Reflectance, U-Factor, Gross area, Azimuth, Tilt ของวัสดุอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 การเปรียบเทียบตัวแปรป้อนเข้าโปรแกรม BEC และโปรแกรม Energy Plus

ศึกษาความแตกต่างของการระบุตัวแปรป้อนเข้า (Input) ระหว่างโปรแกรม BEC และโปรแกรม Energy Plus 8.1 ที่คาดว่าจะส่งผลให้ค่าการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลตัวเลขป้อนเข้าตัวแปรของโปรแกรม Energy Plus ได้จึงแสดงการเปรียบเทียบตัวแปรป้อนเข้าโปรแกรมเท่านั้น เพื่อดูความแตกต่างของการกำหนดค่าของทั้งสองโปรแกรม ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.29 เปรียบเทียบตัวแปรป้อนเข้าโปรแกรม BEC และโปรแกรม Energy Plus

รายการ	BEC v.1.0.6	Energy Plus 8.1
ที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ		
ที่ตั้งอาคาร	กำหนดเอง - เลือกจังหวัดในประเทศไทย	กำหนดเอง - ระบุพิกัดที่ตั้ง - Latitude - Longitude - Time zone
สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร	ไม่สามารถกำหนดได้	กำหนดเอง - เลือก Terrain - Country
สภาพภูมิอากาศ	ไม่สามารถกำหนดได้	กำหนดเอง - Weather Data - Station name
การใช้งานอาคาร		
พื้นที่อาคาร	กำหนดเอง - 4,112 ตร.ม	กำหนดเอง - 3,099 ตร.ม
ประเภทการใช้งาน	กำหนดเอง - เลือกประเภทอาคาร	ไม่จำเป็นต้องระบุ
จำนวนชั่วโมงใช้งาน/วัน	ค่า Default - ถูกกำหนดวันเวลาทำการของอาคารจากการเลือกประเภทการใช้งาน - 9 ชม./วัน - 45 ชม./สัปดาห์	กำหนดเอง Schedule:Day:Hourly - จำนวนชั่วโมงการใช้ระบบปรับอากาศ, ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง, ระบบไฟฟ้าอื่น ๆ - 62.57 ชม./สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการ	BEC v.1.0.6	Energy Plus 8.1
จำนวนผู้ใช้งาน	ค่า Default 0.10 คน/ตร.ม	กำหนดเอง - People > Number of people - กำหนดจำนวนผู้ใช้อาคาร
คุณสมบัติของวัสดุ		
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผนังด้านนอก	ค่า Default[1] 0.044 m^2C/W	กำหนดเอง - เลือก Roughness
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผนังด้านใน	กำหนดเอง - เลือก Inner surface type	กำหนดเอง - เลือก Roughness
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่หลังคาด้านนอก	ค่า Default[1] 0.055 m^2C/W	กำหนดเอง - เลือก Roughness
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่หลังคาด้านใน	กำหนดเอง - เลือก Inner surface type	กำหนดเอง - เลือก Roughness
ค่าความต้านทานความร้อนช่องอากาศใต้หลังคา	กำหนดเอง - กำหนดลักษณะของช่องอากาศ	กำหนดเอง - Surface construction elements>Material :Air Gap
สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	กำหนดเอง - เลือก Outer surface color	กำหนดเอง - Solar Aborptance
ผนังทึบ	กำหนดเอง - เลือกองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดเอง - เลือกองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุ
ผนังโปร่งแสง	กำหนดเอง - เลือกองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดเอง - เลือกองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุ
หลังคา	กำหนดเอง - เลือกองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุ	กำหนดเอง - เลือกองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุ
พื้น	ไม่สามารถกำหนดได้	กำหนดเอง - เลือกองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการ	BEC v.1.0.6	Energy Plus 8.1
ประสิทธิผลการบังแดดของอุปกรณ์บังแดด	กำหนดเอง - เลือกพิกัด และขนาดของอุปกรณ์บังแดด	กำหนดเอง - สร้างโมเดลอาคารและแผงบังแดดคำนวณค่าโดยโปรแกรม OpernStudio SketchUp Plug-in - กำหนดให้ Solar distribution เป็น Full Exterior With Reflections
ระบบปรับอากาศ		
ชนิดและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ	กำหนดเอง - ระบุชนิด ขนาด และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ	กำหนดเอง - โปรแกรมคำนวณหา Ideal Loads
ชั่วโมงการใช้งาน	ค่า Default - ตามการเลือกประเภทอาคาร	กำหนดเอง - โปรแกรมคำนวณหา Ideal Loads และหารด้วยค่า COP
ภาระความร้อนของระบบปรับอากาศ	ค่า Default[2] - ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่าง = 0.84 - อุปกรณ์ไฟฟ้า = 0.85 - ผู้ใช้อาคาร = 0.85 - การระบายอากาศ = 0.90	กำหนดเอง - กำหนดความร้อนจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า และจำนวนผู้ใช้อาคาร
อัตราการระบายอากาศ	ค่า Default - 0.25 ลิตร/วินาที/ตร.ม.	กำหนดเอง - Zone Ventilation Design Flow Rate Ventilation Type
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง		
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	กำหนดเอง - กำหนดชนิดและขนาดกำลังไฟฟ้าของดวงโคมเพื่อใส่ในแต่ละพื้นที่ของอาคาร	กำหนดเอง - กำหนดชนิดและขนาดกำลังไฟฟ้าของดวงโคมเพื่อใส่ในแต่ละพื้นที่ของอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการ	BEC v.1.0.6	Energy Plus 8.1
ชั่วโมงการใช้งาน	ค่า Default - ตามการเลือกประเภทอาคาร	กำหนดเอง - กำหนดชั่วโมงการใช้งานเอง
อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ		
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	กำหนดเอง - กำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ลงในแต่ละพื้นที่	กำหนดเอง - กำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ลงในแต่ละพื้นที่
ชั่วโมงการใช้งาน	ค่า Default - ตามการเลือกประเภทอาคาร	กำหนดเอง - กำหนดชั่วโมงการใช้งานเอง

หมายเหตุ: [1] ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร พ.ศ.2552

[2] จากสูตรการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ในประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารฯ พ.ศ. 2552

จากตารางการเปรียบเทียบตัวแปรป้อนเข้าข้อมูลระหว่างโปรแกรม BEC และ Energy Plus สามารถอภิปรายได้ดังนี้

1. ที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ

ที่ตั้งอาคาร :

- โปรแกรม BEC ให้ระบุที่ตั้งอาคารเป็นจังหวัดในประเทศไทย
- โปรแกรม Energy Plus ให้ระบุเป็นที่ตั้งอาคาร Time zone

สภาพแวดล้อมรอบอาคาร :

- โปรแกรม BEC ไม่สามารถกำหนดได้
- โปรแกรม Energy Plus สามารถเลือกสภาพแวดล้อมรอบอาคารได้ เช่น พื้นที่โล่ง เมือง ย่านอุตสาหกรรม และริมทะเลเป็นต้น เนื่องจากมีผลต่อ Wind speed ที่จะนำมาคำนวณค่า Surface exterior convective heat transfer coefficient ของวัสดุ

สภาพภูมิอากาศ :

- โปรแกรม BEC ไม่สามารถกำหนดได้
- โปรแกรม Energy Plus ใช้ข้อมูล Weather file ของพื้นที่ตั้งอาคารนั้นเป็นข้อมูลเฉลี่ยตลอด 10 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. การใช้งานอาคาร

ประเภทการใช้งาน :

- โปรแกรม BEC ต้องกำหนดประเภทของอาคารนั้นเพื่อจะนำไปสู่การกำหนดค่า Default ของโปรแกรมต่อชั่วโมงการใช้งานอาคารและการผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานต่าง ๆ ตามที่กฎกระทรวงฯ กำหนด
- โปรแกรม Energy Plus ไม่จำเป็นต้องกำหนดประเภทอาคาร

จำนวนชั่วโมงใช้งานอาคาร :

- โปรแกรม BEC จะสัมพันธ์กับการเลือกประเภทของอาคารซึ่งเป็นค่า Default ที่ถูกกำหนดไว้แล้วของโปรแกรม
- โปรแกรม Energy Plus สามารถกำหนดเวลาและชั่วโมงการใช้งานของอาคาร รวมถึงการใช้งานของระบบต่าง ๆ แยกจากกันได้

จำนวนผู้ใช้งาน :

- โปรแกรม BEC เป็น Default ของโปรแกรมคือ 0.10 คน/ตร.ม.
- โปรแกรม Energy Plus สามารถกำหนดจำนวนคนได้ทั้งแบบ จำนวนคน(คน) จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/ตร.ม.) และพื้นที่/จำนวนคน(ตร.ม./คน)

3. คุณสมบัติของวัสดุ

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ :

- โปรแกรม BEC เลือกชนิดพื้นผิว วัสดุ องศา การแผ่รังสีของผนังและหลังคา
- โปรแกรม Energy Plus เลือกลักษณะของวัสดุโดยพิจารณาจากความหยาบของพื้นผิว เมื่อคำนวณร่วมกับความเร็วลม จะได้ค่า Surface exterior convective heat transfer coefficient

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าความต้านทานความร้อนช่องอากาศใต้หลังคา :

- โปรแกรม BEC สามารถระบุขนาดของช่องว่าง และการแผ่รังสีของผนังและหลังคาได้
- โปรแกรม Energy Plus ให้ระบุ Thermal resistance

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ :

- โปรแกรม BEC เลือกสีภายนอกของวัสดุผนังและหลังคา
- โปรแกรม Energy Plus ให้ระบุค่าใน Solar absorptance

ค่า U Factor ของผนังทึบและหลังคาทึบ :

- โปรแกรม BEC ให้ระบุค่า Thickness, Conductivity, Density และ Specific Heat

- โปรแกรม Energy Plus ให้ระบุค่า Thickness, Conductivity, Density และ Specific Heat

ค่า U Factor ของประตู พื้น และผนัง ที่อยู่ภายในอาคาร :

- โปรแกรม BEC ไม่มีการกำหนดวัสดุภายในอาคาร เนื่องจากโปรแกรมจะคำนวณเฉพาะการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาของภายนอกอาคารเท่านั้น
- โปรแกรม Energy Plus สามารถกำหนดวัสดุภายในอาคารได้ ซึ่งโปรแกรมจำลองผนังภายในโซนทั้งหมด ซึ่งอาจมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากผนังระหว่างโซน รวมถึงพื้นอาคารที่สัมผัสดินอาจส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้วยเช่นกัน

ค่า U Factor และ SHGC ของกระจก :

- โปรแกรม BEC ใส่ค่าวัสดุกระจกเพื่อใช้คำนวณ U Factor และ SHGC
- โปรแกรม Energy Plus ใส่ค่าวัสดุกระจกเพื่อใช้คำนวณ U Factor และ SHGC

อุปกรณ์บังแดด :

- โปรแกรม BEC กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์บังแดดของแต่ละด้านเป็นค่าพิกัดเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดในแต่ละด้านของอาคาร
- โปรแกรม Energy Plus สร้างโมเดลอาคารและแผงบังแดดในโปรแกรม OpenStudio SketchUp Plug-in เพื่อให้ได้พิกัดของแผงบังแดด

4. ระบบปรับอากาศ

การใช้พลังงานไฟฟ้า

- โปรแกรม BEC กำหนดชนิดและค่ากำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ แต่ไม่สามารถจำหนดชั่วโมงการใช้งานได้
- โปรแกรม Energy Plus กำหนดชนิดและค่ากำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ และสามารถจำหนดชั่วโมงการใช้งานได้

ภาระความร้อน

- โปรแกรม BEC มีการกำหนดสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ ได้แก่ ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผู้ใช้อาคาร และการระบายอากาศ เป็นค่า Default ของโปรแกรม
- โปรแกรม Energy Plus ต้องระบุค่า Fraction Radiant, Fraction Visible และ Fraction Convicted

อัตราการระบายอากาศ

- โปรแกรม BEC กำหนดค่า Default การระบายอากาศของทุกพื้นที่เท่ากับ 0.25 ลิตร/วินาที/ตร.ม.
- โปรแกรม Energy Plus สามารถกำหนดค่าได้

5. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การใช้พลังงานไฟฟ้า

- โปรแกรม BEC กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าของดวงโคมในแต่ละพื้นที่ แต่ไม่สามารถจำหนดชั่วโมงการใช้งานได้
- โปรแกรม Energy Plus กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าของดวงโคมในแต่ละพื้นที่ และสามารถจำหนดชั่วโมงการใช้งานได้

6. อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ

การใช้พลังงานไฟฟ้า

- โปรแกรม BEC กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในแต่ละพื้นที่ แต่ไม่สามารถจำหนดชั่วโมงการใช้งานได้
- โปรแกรม Energy Plus กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในแต่ละพื้นที่ และสามารถจำหนดชั่วโมงการใช้งานได้

4.4 การจำแนกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากรายการประเมิน LEED

จากตารางที่ 3.21 แสดงประมาณการใช้ไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ จากรายการการประเมิน LEED สามารถนำมาสรุปเป็นหัวข้อใหญ่ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับโปรแกรม BEC ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.30 การใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ จากรายงานการประเมิน LEED

รายการ	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)
ระบบปรับอากาศ	290,949.1
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	74,741.4
ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ	353,751.3
รวม	719,441.8

จากตารางจะเห็นว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ สูงที่สุดถึงร้อยละ 49.17 รองลงมาเป็นระบบปรับอากาศที่ร้อยละ 40.44 และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ร้อยละ 10.39

4.5 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยโปรแกรม BEC และ Energy Plus กับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร

ทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ได้จากการนำค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในแบบ As-built มาทำการคำนวณในโปรแกรม BEC และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่แสดงในรายการการประเมิน LEED มาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารที่แสดงในใบเสร็จชำระเงินค่าไฟฟ้าในปีพ.ศ. 2562 มาแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.31 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยโปรแกรม BEC และ Energy Plus กับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร

รายการ	โปรแกรม BEC (kWh/year)		โปรแกรม Energy Plus (kWh/year)		ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง [1] (kWh/year)
	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)	คิดเป็น (%)	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)	คิดเป็น (%)	
ระบบปรับอากาศ	211,800.45	31.67	290,949.1	40.44	
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	152,141.61	22.75	74,741.4	10.39	
ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ	304,784.76	45.58	353,751.3	49.17	
รวม	668,726.80		719,441.8		681,096.00
ความแตกต่างของค่าการใช้พลังงาน	น้อยกว่า 12,369.20 คิดเป็น 1.82 %		มากกว่า 38,345.80 คิดเป็น 5.63 %		

หมายเหตุ: [1] ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงที่ได้จากใบเสร็จชำระเงินค่าไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2562 ไม่สามารถแยกการใช้พลังงานไฟฟ้าออกเป็นระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ได้เนื่องจากไม่ได้มีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าแยกให้ในแต่ละระบบ

จากตารางเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารจากโปรแกรม BEC, LEED และค่าการใช้พลังงานจริงพบว่า ค่าการประเมินการใช้พลังงานของโปรแกรม BEC มีค่าน้อยกว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงร้อยละ 1.82 และค่าการประเมินการใช้พลังงานของอาคารโดย LEED มีค่ามากกว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงร้อยละ 5.63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารศูนย์การเรียนรู้แห่งนี้โดยศึกษาเปรียบเทียบหาตัวแปรป้อนเข้าข้อมูลระหว่างรายงานการประเมิน LEED และโปรแกรม BEC และศึกษาเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมที่ได้จากการทำนายโดย LEED โปรแกรม BEC และค่าการใช้พลังงานจริงของอาคาร สามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ตัวแปรป้อนเข้าข้อมูลที่ส่งผลต่อความแตกต่างต่อการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารระหว่างรายงานการประเมิน LEED ที่ผู้คำนวณได้ใช้โปรแกรม Energy Plus ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยใช้โปรแกรม BEC สามารถสรุปความแตกต่างได้เป็นหัวข้อดังนี้

1. ที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ

การระบุที่ตั้งอาคารระหว่างโปรแกรม Energy Plus และโปรแกรม BEC มีความใกล้เคียงกันเนื่องจากมีการอ้างอิง Latitude และ Longitude ในทางภูมิศาสตร์เดียวกัน แต่สิ่งที่ทำให้การคำนวณโดยโปรแกรม Energy Plus มีความชัดเจนในข้อมูลมากกว่าคือความสามารถในการกำหนดสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศโดยรอบอาคารได้ ซึ่งมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวภายนอกอาคาร

2. การใช้งานอาคาร

ในหัวข้อนี้เป็นหัวข้อสำคัญที่ทำให้การคำนวณโดยโปรแกรม Energy Plus และ โปรแกรม BEC มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน และจะส่งผลทำให้การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารของทั้ง 2 โปรแกรมมีค่าแตกต่างกันมากคือการกำหนดพื้นที่ใช้งานอาคารที่แตกต่างกันและตัวแปรประเภทการใช้งานอาคารของโปรแกรม BEC จะทำให้จำนวนชั่วโมงการใช้งานอาคาร และจำนวนผู้ใช้งานเป็นค่า Default ของโปรแกรมทั้งหมดซึ่งไม่สามารถกำหนดเองได้ แตกต่างจากการคำนวณโดยโปรแกรม Energy Plus จะสามารถกำหนดชั่วโมงการใช้งานอาคารและแยกชั่วโมงการใช้งานรายอุปกรณ์ของระบบ และจำนวนผู้อยู่อาศัยในอาคารได้อิสระ ทำให้การกำหนดค่าการใช้งานมีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. คุณสมบัติวัสดุ

การกำหนดคุณสมบัติวัสดุของผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา ของโปรแกรม Energy Plus และ โปรแกรม BEC สามารถกำหนดได้เอง แต่มีส่วนที่โปรแกรม BEC กำหนดค่าเป็น Default ของโปแกรมคือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟิล์มอากาศของผนัง และหลังคา ซึ่งค่าจะเป็นไปตามที่กฎกระทรวงกำหนด และมีส่วนที่โปรแกรม BEC ไม่ได้สามารถระบุได้คือ วัสดุประตู พื้น และผนังภายในอาคาร เนื่องจากโปรแกรมจะจำลองการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาภายนอกที่สัมผัสกับอากาศและได้รับรังสีอาทิตย์เท่านั้น จึงทำให้การคำนวณโดยโปรแกรม Energy Plus อาจทำให้การคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารมีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า เพราะมีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนจากผนังระหว่างโซนและพื้นอาคารที่สัมผัสกับดิน ที่อาจมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารเช่นกัน

4. ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ

การคำนวณค่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ของโปรแกรม Energy Plus และโปรแกรม BEC มีความแตกต่างกันคือ การกำหนดชั่วโมงการทำงานของของอุปกรณ์ ซึ่งการคำนวณโดยโปรแกรม BEC จะกำหนดชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ยเท่ากันตลอดทั้งวัน ตามประเภทของของอาคาร แต่โปรแกรม Energy Plus สามารถกำหนดชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ตามการทำงานจริงของอุปกรณ์ได้ และสำหรับระบบปรับอากาศโปรแกรม BEC ยังกำหนดอัตราการระบายอากาศเป็นค่า Default ของโปรแกรมคือ 0.25 ลิตร/วินาที/ตร.ม. แต่โปรแกรม Energy Plus สามารถกำหนดค่าเองได้

5.1.2 ผลการจำลองค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารระหว่างค่าที่ได้จากรายงานการประเมิน LEED โปรแกรม BEC และค่าการใช้พลังงานจริง ในตารางที่ 4.5 พบว่าการทำนายค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารจาก LEED มีค่าความแตกต่างจากค่าการใช้พลังงานจริงมากกว่าการคำนวณจากโปรแกรม BEC ซึ่งผิดไปจากการคาดการณ์ของการกำหนดตัวแปรป้อนเข้าโปรแกรมในการสรุปข้อที่ 5.1.1 ที่แสดงให้เห็นว่าการทำนายค่าการใช้พลังงานจากรายงานการประเมิน LEED ที่ใช้โปรแกรม Energy Plus ในการคำนวณนั้นสามารถระบุข้อมูลป้อนเข้า

โปรแกรมได้ค่อนข้างแม่นยำและหลากหลายกับการใช้งานจริงของอาคารได้มากกว่า การใส่ตัวแปรป้อนเข้าของโปรแกรม BEC ที่ซึ่งบางค่าจะเป็น Default ของโปรแกรม โดยอาจเกิดได้จากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ หรือเต้ารับไฟฟ้า ที่ไม่ถึงค่าพิกัดและไม่ได้ใช้งานอุปกรณ์ทุกชุดที่ระบุมาในแบบ ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบสภาพและลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 แนวทางการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารหลังการเข้าใช้งาน

การประเมินค่าการใช้พลังงานของอาคารศูนย์การเรียนรู้แห่งนี้ ได้เลือกใช้โปรแกรม Energy Plus ในการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งเป็นการประเมินค่าการใช้พลังงานก่อนการเข้าอยู่อาศัยจริง หากเมื่อมีการเข้าอยู่อาศัยจริงแล้ว ทางผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรมีการนำค่าต่าง ๆ ที่ทำการใส่ข้อมูลไปยังโปรแกรมตั้งต้น นำมากลับมาตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการประเมินใหม่อีกครั้ง เพื่อสามารถปรับปรุงประสิทธิการประเมินค่าการใช้พลังงานให้ดีขึ้นและเหมาะสมแม่นยำกับค่าการใช้พลังงานจริงมากยิ่งขึ้น ทั้งยังสามารถเก็บเป็นข้อมูลเพื่อแจ้งไปยังผู้ทำการประเมินให้ทราบถึงค่าตัวแปรใดมีความคลาดเคลื่อนไปจากความต้องการการประหยัดพลังงานเริ่มต้นได้อีกด้วย

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการทำการศึกษาครั้งต่อไป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรความแตกต่างของการประเมินค่าการใช้พลังงานของอาคารจากการใช้โปรแกรมในการประเมินที่แตกต่างกันและนำมาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานจริงของอาคารหลังการเข้าอยู่อาศัย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการระบุตัวแปรสำคัญเด่นชัดที่ผลต่อการประเมินค่าการใช้พลังงานของอาคารควรจะทำการศึกษาอาคารตัวอย่างมีเพิ่มขึ้น และหลากหลาย หรืออาจแบ่งเป็นหลาย ๆ ประเภทการใช้งาน เพื่อประเมินว่าการระบุค่าตัวแปรต่าง ๆ นั้นสำหรับอาคารชนิดใดมีความเหมาะสมมากน้อย และเกิดการทำนายค่าการใช้พลังงานของอาคารได้ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

1. ตั้งอมรสุขสันต์, ท., มาตรฐานอาคารเขียว *LEED.* 2562.
2. วโรดมพันธ์, จ., อาคารเขียว. สถาบันอาคารเขียวไทย, 2561.
3. สิริ, อ.น. and ย. วัชร, อาคาร สำนักงาน เขียว. มหาวิทยาลัย ศิลปากร.
4. ณ์, ก.ช.ญ.ธ.น.ก. and ว.ภ.ท.ร.อ.ค.โ.ฤ.J.B.E. Inquiry, ความ เข้าใจ และ การ ให้ ความ สำคัญ ต่อ เกณฑ์ การ ประเมิน ความ ยั่งยืน ทาง พลังงาน และ สิ่งแวดล้อม ไทย ใน มุม มอง สถาปนิก. 2018. **17**(2): p. 1-10.
5. น้อย, ก.อ. and ป.น.เ.ว.J.K.E. Journal, ปัญหา และ อุปสรรค ใน การ พัฒนา อาคาร เขียว: กรณี ศึกษา อาคาร เขียว ใน ประเทศไทย. 2014. **27**(90): p. 33-46.
6. Singh, V., *Analysis Methods for Post Occupancy Evaluation of Energy-Use in High Performance Buildings Using Short-Term Monitoring*. 2011, Arizona State University.
7. Menezes, A.C., et al., *Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap.* 2012. **97**: p. 355-364.
8. Chen, Q., L. Kleinman, and A.J.J.o.g.b. Dial, *Energy performance of campus LEED® buildings: Implications for green building and energy policy.* 2015. **10**(3): p. 137-160.
9. USGBC, *LEED Reference Guide for Building Design and Construction.* U.S Green Building Council, 2013.
10. USGBC, *LEED 2009 For New Construction and Major Renovations.* U.S Green Building Council, 2008.
11. Standard, A., *Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Building.* American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc., 2009.
12. ปู่เพ็ชร์, ม., แนวทางการพัฒนาเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของอาคารในแบบประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย. มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2555.
13. เจียรนัยพานิชย์, อ., ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน *ASHRAE 90.1 2007.* จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

14. เขตเจนการ, ท., การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษา ด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2550.
15. กระทรวงพลังงาน, ก.แ., คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรผู้ตรวจประเมินค่าอนุรักษ์พลังงาน. 2552.
16. โสพิศ ชัยชนะ %J Veridian E-Journal, S.U., แนวทาง การ ปรับปรุง อาคาร สำนักงาน สาธารณสุข จังหวัด เพื่อ ประหยัด พลังงาน. 2016. **9**(1): p. 1703-1716.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล ยศยา ภัทรภูมีมิตร

วัน เดือน ปี เกิด 28 August 1991

สถานที่เกิด กระบี่

ที่อยู่ปัจจุบัน 102/10 คอนโดไอริสแอเวนิว ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กทม 10520

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY