การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทย

นางสาวสไบทิพย์ บุญยงค์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPING ENERGY CONSUMPTION MODEL FOR OFFICE BUILDING IN THAILAND

Miss Sabaitip Boonyong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทย
โดย	นางสาวสไบทิพย์ บุญยงค์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย วิจิรวนิช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สไบทิพย์ บุญยงค์ : การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทย. (DEVELOPING ENERGY CONSUMPTION MODEL FOR OFFICE BUILDING IN THAILAND) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์, 155 หน้า.

การศึกษาวิจัยเรื่องการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทย จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางการใช้พลังงานมาตรฐานของอาคารประเภทสำนักงานในประเทศไทย ซึ่งจะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเอง และสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเองเทียบกับผู้อื่นได้ โดยขั้นตอนการวิจัยจะประกอบด้วย การศึกษาและรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ

ผลการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้แก่ พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร จำนวนพนักงานในอาคารสำนักงาน และประเภทการใช้งานในอาคาร

ส่วนแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานนั้นหลังจากที่ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้วได้แบ่งแบบจำลองออกเป็น 2 รูปแบบจำแนกตามประเภทการใช้งานในอาคารสำนักงาน กล่าวคือ อาคารประเภทที่มีการใช้งานโดยองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียวมีแบบจำลองดังนี้ การใช้พลังงานในอาคารทั้งปี(TBEC, kWh/yr) = -388,169.466 + 145.250Gross floor area + 601.517Number of People ส่วนแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานประเภทอาคารให้เช่าคือ TBEC (kWh/yr) = 726,690 +145.250Gross floor area + 601.517Number of People ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าอาคารทั้งสองประเภทมีตัวแปรทางด้านพื้นที่ใช้สอยและจำนวนพนักงานเท่ากัน การใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารให้เช่าจะมากกว่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการสำรวจการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานทั้ง 20 แห่ง กล่าวคือสำหรับอาคารให้เช่านั้นไม่ค่อยมีการจัดการทางด้านการอนุรักษ์พลังงานเท่าที่ควร เนื่องจากขาดความร่วมมือกันระหว่างเจ้าของอาคารและผู้เช่า ในขณะที่อาคารประเภทที่มีการใช้งานองค์กรเดียวนั้น มีการจัดการทางด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้มากกว่า เพราะทางอาคารเองสามารถออกกฎระเบียบ ข้อบังคับ เพื่อให้พนักงานภายในอาคารปฏิบัติตามได้นั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต สไบทิพย์ บุญยงค์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2551

4970807621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: ENERGY CONSUMPTION MODEL / ENERGY / OFFICE BUILDING

SABAITIP BOONYONG : DEVELOPING ENERGY CONSUMPTION MODEL FOR OFFICE BUILDING IN THAILAND. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASSOC.PROF. JEERAPAT NGAOPRASERTWONG, 155 pp.

The purpose of this study was to Develop an Energy Consumption Model for Thai office buildings to be a guideline and benchmarking in office buildings in Thailand. The research procedures were to collect and analyze variables that affect to the energy consumption in office buildings by using a multiple regression analysis.

The results showed that there are 3 factors concerning office building which affected the maximum energy consumption. The factors are internal floor area, number of occupancy and types of buildings.

Also the model of Energy consumption for office buildings was divided into 2 categories by types of building. The first one are buildings which have been used by one organization and another one have been used for Tenant building. The Energy Consumption Model in the first category was TBEC (kWh/yr) = -388,169.466 +145.250Gross floor area + 601.517Number of People and in secondary was TBEC (kWh/yr) = 726,690 +145.250Gross floor area + 601.517Number of People. The result showed that if both types of buildings have the same value of variations in floor area and number of people, the energy consumption amount in the Tenant buildings will be greater. This result supports the energy usages observation in 20 office buildings. In the Tenant buildings, there is sufficient management in energy saving because they lack in cooperation between the owners and the tenants. Whereas, one-organization buildings are more efficient in energy saving management since the organization can issue policies and regulations for the employee to follow and behave.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department....Industrial Engineering.....Student's signature.....สุไบทัยย์ บุญยศ์.....

Field of study....Industrial Engineering..... Principal Advisor's signature .....J. Ngaoprasertwong.....

Academic year 2008

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ. จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ และเป็นผู้เสนอแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.ปารเมศ ชุติมา รศ.ดร. วันชัย วิจิรวนิช ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมาก รวมทั้งขอขอบคุณสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อใช้ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ เชด โม่ โพ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือในด้านเอกสาร การพิมเอกสาร ขอขอบคุณ ปุณ โย สำหรับการเตือนให้จัดเตรียมเอกสารรวมทั้งการเตรียมตัวจัดทำบทความ เพื่อให้ทันตามกำหนด รวมไปจนถึงขั้นตอนต่างๆ ในการส่งรูปเล่มจนสำเร็จลุล่วงออกมาด้วยดี

ขอขอบคุณ สพ.ญ.เสธินี บุญยงค์ สำหรับการตรวจทานการพิมบทคัดย่อและ นตท.สุริยง บุญยงค์ สำหรับกำลังใจที่ดี มาตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ พลเอกสมาน บุญยงค์ และนางวรรณี บุญยงค์ บิดาและมารดา ซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ตลอดจนเพื่อนร่วมรุ่นทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 : บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 5

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 5

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

บทที่ 2 : เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน..... 7

2.1.1 กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศ..... 8

2.1.2 กลุ่มตัวแปรด้านตัวอาคารและระบบอาคาร..... 9

2.1.3 กลุ่มตัวแปรด้านผู้ใช้อาคารและการใช้งาน..... 9

2.2 แนวคิดการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงาน..... 10

2.2.1 ที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร..... 13

2.2.2 การออกแบบกรอบอาคาร..... 15

2.2.3 ตัวอย่างอาคารสำนักงานประหยัดพลังงานในประเทศไทย..... 18

2.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร..... 19

2.4 มาตรฐานการใช้พลังงาน..... 22

2.4.1 รูปแบบของ Energy Benchmark..... 22

2.4.2 หน่วยสำหรับการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน..... 23

2.5 ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน..... 24

2.5.1 ความเข้มพลังงาน..... 24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.2 ความยืดหยุ่นพลังงาน..... 27
2.6 การบริหารจัดการในอาคาร..... 28
2.6.1 ระบบการจัดการพลังงาน..... 28
2.6.2 การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม..... 30
2.7 การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปร..... 36
2.7.1 การวิเคราะห์ตัวประกอบ..... 36
2.7.2 วิธีการคัดเลือกตัวแปร..... 38
2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 39
2.8.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 39
2.8.2 แนวทางการศึกษา อนุรักษ์พลังงานของต่างประเทศ..... 48
บทที่ 3 : วิธีการดำเนินการวิจัย..... 57
3.1 การรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 57
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 58
3.2.1 ประชากรเป้าหมาย..... 58
3.2.2 การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง..... 58
3.2.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 60
3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 61
3.3 การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานที่เหมาะสม..... 65
3.4 การจัดทำแผนส่งเสริมการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 66
บทที่ 4 : ผลการดำเนินงาน..... 67
4.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 67
4.1.1 การใช้แนวทางพิจารณากลุ่มตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน 67
4.1.2 การออกแบบรูปทรงเพื่อประหยัดพลังงาน..... 67
4.1.3 การพิจารณาจากปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ของการใช้พลังงานในอาคาร..... 68
4.1.4 การรวบรวมตัวแปรจากการวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 69
4.1.5 สรุปตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการวิจัย..... 72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารสำนักงานจากการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 75
4.3 ผลการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานที่เหมาะสม..... 82
4.3.1 การ Normalization การใช้พลังงานในอาคารและพื้นที่ใช้สอย..... 82
4.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 84
4.3.3 สรุปผลแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานที่เหมาะสม. 88
4.3.4 การทดสอบความแม่นยำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 90
4.3.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน..... 92
4.4 แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 101
4.4.1 แนวคิดและที่มา..... 101
4.4.2 กรอบแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน..... 102
4.4.3 แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 107
4.4.4 แผนการดำเนินงาน 111
บทที่ 5 : สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 117
5.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร..... 117
5.2 แบบจำลองการใช้พลังงานในอาคาร..... 118
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 120
รายการอ้างอิง..... 121
ภาคผนวก..... 124
ภาคผนวก ก การคำนวณจำนวนตัวอย่าง..... 125
ภาคผนวก ข การจัดทำแบบสอบถาม..... 128
ข.1 แบบสอบถามฉบับร่าง..... 128
ข.2 แบบสอบถามฉบับจริง..... 134
ภาคผนวก ค ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม..... 137
ภาคผนวก ง ตารางแจกแจงความถี่ของค่าเปอร์เซนต์ไทล์..... 142

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 151
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 155

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ผลการศึกษาหาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 40 แห่ง..... 43

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร Good Practice และ อาคาร Typical..... 44

ตารางที่ 3.1 จำนวนอาคารควบคุมตามภูมิภาค..... 59

ตารางที่ 3.2 สรุปข้อคำถามและรูปแบบของคำถามที่ใช้..... 64

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่รวบรวมจากแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 72

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 73

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าทางสถิติที่ได้จากการสำรวจ..... 76

ตารางที่ 4.4 ค่า Spearman Correlation Coefficient ของตัวแปร X_1 ถึง X_{10}..... 85

ตารางที่ 4.5 ผลสรุปการวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 86

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรด้านพื้นที่ใช้สอยแยกตามประเภทอาคารสำนักงานให้เช่า (Tenant Building)..... 87

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรด้านพื้นที่ใช้สอยแยกตามประเภทอาคารที่ใช้งานโดยองค์กรหรือกลุ่มบริษัทเดียว (Whole Building)..... 88

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 89

ตารางที่ 4.9 ค่า MAD MSE และ MAPE ที่ได้จากแบบจำลองการใช้พลังงาน..... 91

ตารางที่ 4.10 ตาราง ANOVA TABLE แสดง Lack of Fit Test..... 92

ตารางที่ 4.11 ตารางเปอร์เซนไทล์ของการใช้พลังงานต่อพื้นที่..... 95

ตารางที่ 4.12 ตารางเปอร์เซ็นต์ไทล์ของการใช้พลังงานต่อจำนวนพนักงานต่อปี..... 97

ตารางที่ 4.13 ตารางเปอร์เซ็นต์ไทล์ของ % Energy Efficiency Score..... 100

ตารางที่ 4.14 ปัญหาและแนวทางการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน..... 102

ตารางที่ 4.15 มาตรการและศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานตัวอย่าง..... 104

ตารางที่ 4.16 เป้าหมายแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน..... 111

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 การออกใบอนุญาตก่อสร้างอาคารสำนักงานทั้งประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2549..... 2
รูปที่ 1.2 ผลรวมปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดรายปียกเว้นพื้นที่จอดรถ..... 2
รูปที่ 1.3 สัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบต่างๆ ของอาคารควบคุมประเภทสำนักงาน..... 4
รูปที่ 1.4 สัดส่วนตัวแปรที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นในอาคารสำนักงาน..... 4
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร..... 8
รูปที่ 2.2 การใช้ประโยชน์จากปัจจัยต่างๆ ของที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร..... 14
รูปที่ 2.3 แหล่งที่มาของความร้อนเข้าสู่อาคาร และการปรับอากาศภายในอาคาร..... 14
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างอาคารสำนักงานประหยัดพลังงานในประเทศไทย..... 18
รูปที่ 2.5 โครงสร้างกฎหมายอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน..... 21
รูปที่ 2.6 แสดง GDP per capital ต่อ Economic Energy Efficiency ของประเทศที่มี GDP สูงสุด 40 ประเทศ..... 25
รูปที่ 2.7 องค์ประกอบในการพัฒนาระบบจัดการพลังงาน..... 29
รูปที่ 2.8 ระบบการจัดการด้านพลังงาน..... 29
รูปที่ 2.9 โครงสร้างการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม..... 34
รูปที่ 2.10 วงจรเดมมิ่ง (Deming Cycle)..... 34
รูปที่ 2.11 การกระจายตัวของเกณฑ์การใช้พลังงานของกลุ่มอาคารตัวอย่าง..... 44
รูปที่ 2.12 สัดส่วนการใช้พลังงานระบบต่างๆ..... 45
รูปที่ 4.1 Process of transforming inputs into outputs..... 68
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอายุอาคาร..... 79
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร..... 79
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของชั่วโมงการทำงาน..... 80
รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของจำนวนพนักงานในอาคารแต่ละแห่ง..... 80
รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารแต่ละแห่ง..... 81
รูปที่ 4.7 การกระจายตัวความสูงของอาคารแต่ละแห่ง..... 81
รูปที่ 4.8 การกระจายตัวการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในแต่ละแห่ง..... 92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 4.9 เกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานกรณีใช้ตัวแปรหลักด้านพื้นที่ใช้สอยเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา..... 94
รูปที่ 4.10 กราฟการกระจายความถี่สะสมของการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี..... 95
รูปที่ 4.11 กราฟการกระจายความถี่สะสมของการใช้พลังงานต่อจำนวนพนักงานต่อปี..... 96
รูปที่ 4.12 กราฟการกระจายระหว่าง % EES และการใช้พลังงานต่อพื้นที่..... 98
รูปที่ 4.13 กราฟการกระจายความถี่สะสมของ % EES และการใช้พลังงานต่อพื้นที่..... 99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

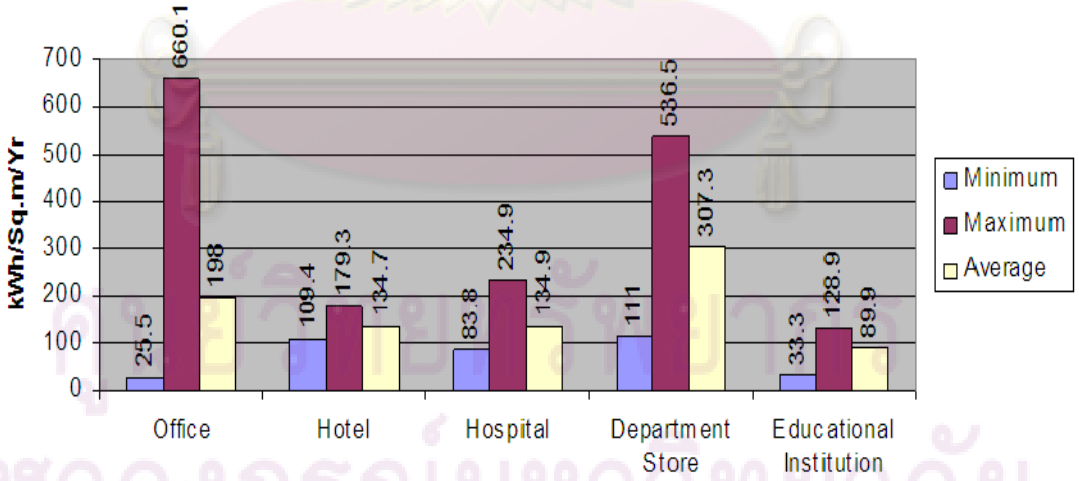
พลังงานเป็นสิ่งที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาประเทศ เนื่องจากเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่ง ทั้งในการดำเนินชีวิตและประกอบกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมาก จึงจำเป็นต้องใช้งบประมาณจำนวนมหาศาลสำหรับสร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าให้พอเพียงกับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น เช่น การสร้างโรงไฟฟ้า การสร้างเขื่อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม รวมถึงประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ที่มีการก่อสร้าง หากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นถึงระดับที่ไม่สามารถจัดหาแหล่งผลิตพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการได้แล้ว ความเสียหายจากการขาดแคลนพลังงานจะเกิดขึ้นมาทันที

ปัจจุบัน ปัญหาวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกขณะ ส่งผลให้ทางรัฐบาลได้ออกกฎระเบียบขึ้นมาควบคุมการใช้พลังงานพร้องทั้งทำการรณรงค์ให้ประชาชนมีจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงานเพื่อช่วยแก้ปัญหาวิกฤติการณ์ที่เกิดขึ้น จะเห็นได้จากพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และพระราชกฤษฎีกา กำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 เพื่อเป็นการควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคารให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม อาคารสาธารณะที่อยู่ในขอบเขตของการควบคุม ได้แก่อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล ศูนย์การค้า และอาคารสถานศึกษา ซึ่งอาคารสำนักงานเป็นอาคารสาธารณะประเภทหนึ่งที่มีจำนวนมากและมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากเป็นอันดับต้นๆ

อาคารสำนักงาน หมายถึง อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้ทำการ ซึ่งเป็นความหมายที่กำหนดไว้ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2517) ออกมาตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2479 สามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้ 5 รูปแบบ คือ อาคารสำนักงาน อาคารสำนักงาน และที่อยู่ อาคารสำนักงานและพาณิชย์ อาคารสำนักงานและศูนย์การค้า อาคารสำนักงานที่อยู่อาศัยและพาณิชย์ ซึ่งจากข้อมูลการออกใบอนุญาตก่อสร้างอาคารสำนักงานทั่วประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 – 2549 พบว่ามีจำนวนอาคารสำนักงานประมาณ

รูปที่ 1.1 การออกใบอนุญาตก่อสร้างอาคารสำนักงาน ทั่วประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 – 2549

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักการโยธา กทม.



รูปที่ 1.2 ผลรวมปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดรายปียกเว้นพื้นที่จอดรถ

ที่มา : กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

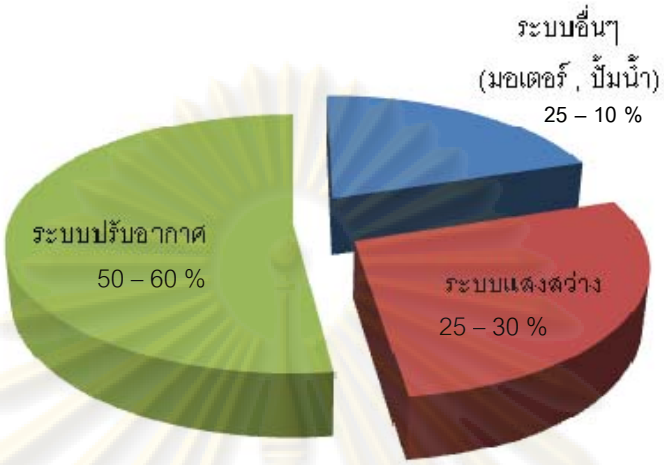
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

220 อาคาร มีพื้นที่ใช้สอยรวมประมาณ 1,664,104 ตารางเมตร ซึ่งถือว่ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนขึ้นในอนาคต

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาประกอบกับผลรวมปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดรายปียกเว้นพื้นที่จอดรถดังแสดงในรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าอาคารสำนักงานมีแนวโน้มที่จะมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่สูง ทั้งนี้เนื่องจากการประกอบกิจกรรมต่างๆภายในอาคารจำเป็นต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่างและระบบอื่นๆเพื่อช่วยอำนวยความสะดวก จากการสำรวจและศึกษาการใช้พลังงานในอาคารของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพบว่า อาคารสำนักงานส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากปัจจัยหลัก 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีสัดส่วนประมาณ 50 - 60% ส่วนไฟฟ้าแสงสว่างประมาณ 25 - 30% และระบบอื่นๆ ประมาณ 25 - 10% ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ดังนั้นการใช้พลังงานในส่วนระบบปรับอากาศนี้จึงมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานอย่างมากและเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำมาพิจารณาในเรื่องของการประหยัดพลังงานในอาคาร

เมื่อพิจารณาทางด้านการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้ปัจจัยภายนอกอาคาร ได้แก่ ภูมิอากาศ ณ ที่ตั้งของอาคาร (Micro-Climate) คุณสมบัติของเปลือกอาคาร เช่น หลังคา ผนัง พื้น กระจก ลักษณะรูปทรงของอาคาร การรั่วซึมของอากาศเป็นต้น ปัจจัยภายในอาคาร ได้แก่ จำนวนผู้ใช้งาน ความร้อนที่เกิดจากแสงไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.4 นอกจากนั้นการใช้งานก็ส่งผลกระทบด้วยเช่นกัน จากการศึกษา พบว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดภาระการทำความเย็นในอาคารที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในส่วนปรับอากาศมากซึ่งควรแก่การนำมาพิจารณาคือ เปลือกอาคาร ถ้าหากมีการออกแบบในส่วนนี้ให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและสามารถใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมภายนอกที่ดีแล้ว จะช่วยลดการใช้พลังงานในส่วนปรับอากาศของอาคารได้มาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.3 สัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบต่างๆ ของอาคารควบคุมประเภทสำนักงาน

ที่มา : ชุดคู่มือการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

รูปที่ 1. 4 สัดส่วนตัวแปรที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นในอาคารสำนักงาน

ที่มา: จากการคำนวณด้วยโปรแกรม DOE-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การออกแบบอาคารสำนักงานในปัจจุบันไม่ได้คำนึงถึงประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเท่าที่ควร ส่วนใหญ่จะเน้นที่การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใช้สอยและรูปร่างหน้าตาอาคารมากกว่า ซึ่งมีระยะเวลาในการออกแบบและก่อสร้างมีอย่างจำกัดเพื่อให้ทันต่อกระแสเศรษฐกิจที่มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา จึงทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงและเกิดการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ ในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน โดยพิจารณาประกอบกับการใช้พลังงานในระบบหลักภายในอาคารเช่น ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบลิฟต์ และระบบอื่นๆ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานแตกต่างกันออกไป เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) และใช้เป็นส่วนหนึ่งของดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานเบื้องต้นของอาคารสำนักงานแต่ละแห่งได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานขงอาคารสำนักงานในประเทศไทย เพื่อเป็นเครื่องมือหนึ่งในการประเมินการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน และเป็นส่วนหนึ่งของดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานเบื้องต้นของอาคารสำนักงานแต่ละแห่งได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังนี้

1) ศึกษาและรวบรวมตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงาน
2) ศึกษาหาแบบจำลองการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารสำนักงานที่เหมาะสมกับสภาพการใช้พลังงานและการใช้งานที่แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) อาคารสำนักงานที่ประกอบการวิจัยคืออาคารสำนักงานประเภทอาคารควบคุม โดยมีช่วงการใช้งานจำนวนอย่างน้อย 250 วัน/ปี หรือ 2,000 ชม./ปี
2) ทำการศึกษาเฉพาะอาคารที่มีการใช้ระบบปรับอากาศเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษาการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานในระบบต่างๆที่ทำให้เกิดการใช้พลังงาน
3) สำรวจ เก็บข้อมูลอาคารสำนักงาน ด้านลักษณะทางกายภาพของอาคาร สภาพแวดล้อมภายใน-ภายนอกอาคาร การจัดพื้นที่ใช้สอย ลักษณะผู้ใช้อาคาร (ลักษณะการใช้งาน)
4) จัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน
5) สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบสถานภาพการใช้พลังงาน และเกณฑ์ที่เหมาะสมของการใช้พลังงานต่อพื้นที่หรือต่อระบบ-อุปกรณ์ต่างๆ ของอาคารประเภทสำนักงาน
2) ผลจากการศึกษาสามารถนำมากำหนดมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) และใช้เป็นส่วนหนึ่งของดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานเบื้องต้นของอาคารสำนักงานแต่ละแห่ง
3) ผลจากการศึกษาสามารถทราบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของกลุ่มอาคารประเภทสำนักงาน และแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานอย่างเป็นระบบ เพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
4) ผลจากการศึกษาสามารถทราบค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารประเภทสำนักงานในภาพรวม (Energy Intensity และ Energy Elasticity) ของอาคารสำนักงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาทางด้านวิกฤตพลังงานและปัญหาการใช้พลังงานในอาคารจำนวนมาก จึงได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาตัวแปรและปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร และได้พัฒนาไปสู่แนวคิดใหม่ในการออกแบบอาคารที่คำนึงถึงประสิทธิภาพด้านพลังงานโดยแนวคิดที่ผสมผสานเทคโนโลยีในการออกแบบนอกจากนี้ การตระหนักถึงปัญหาด้านพลังงานนี้ยังก่อให้เกิดข้อกำหนด หรือข้อบังคับสำหรับอาคารในด้านพลังงาน เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร

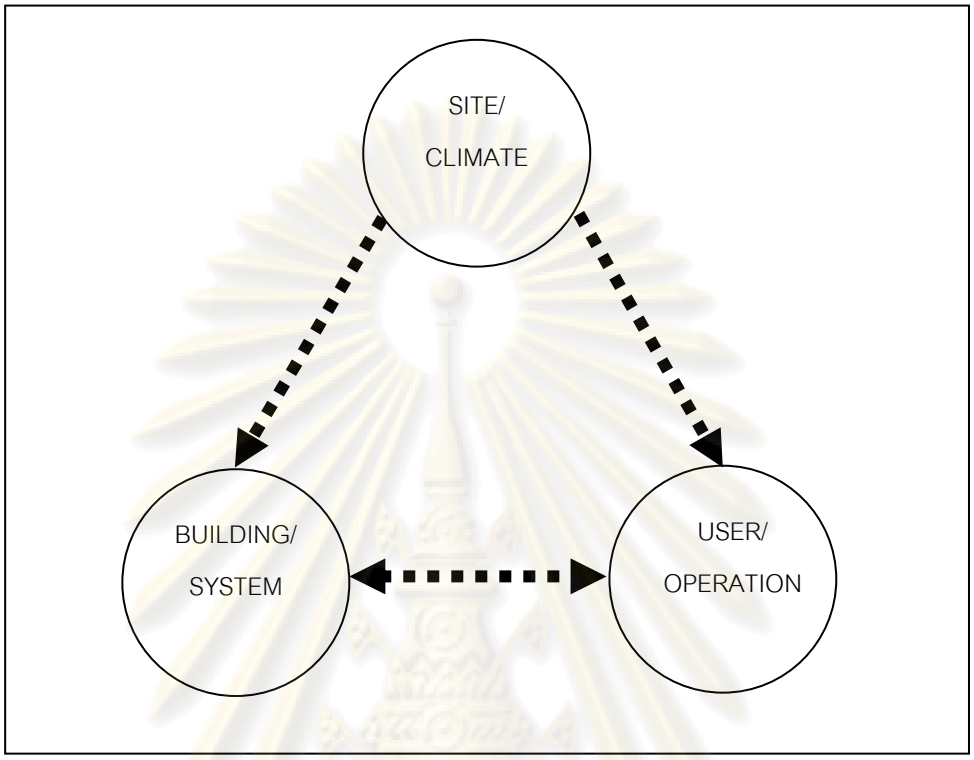
2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร (Energy factor)

จากการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ พบว่าในการใช้พลังงานในอาคาร มีกลุ่มตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังนี้ (สุนทร บุญญาธิการ, 1982)

1) กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศ (site and climate)
2) กลุ่มตัวแปรด้านอาคารและระบบอาคาร (building and system)
3) กลุ่มตัวแปรด้านผู้ใช้อาคารและการใช้งาน (user and occupancy)

ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 กลุ่มนี้นอกจากจะส่งผลต่อการใช้พลังงานแล้ว ยังมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ตัวแปรในกลุ่มที่ตั้งอาคารและสถาพภูมิอากาศ จะเป็สตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อกลุ่มตัวอาคารและระบบอาคาร และกลุ่มผู้ใช้อาคารและการใช้งาน และทั้งหมดจะส่งผลถึงการใช้พลังงานในอาคารและสามารถแสดงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 2.1 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร (Energy factor)
ที่มา : Boonyatikarn, Soontorn. A method for developing energy budgets and energy design guildlines for institutional buildings. P. 22

2.1.1 กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศ (site and climate)

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ตัวแปรที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย องค์ประกอบด้านดินฟ้าอากาศ (Climate elements) และองค์ประกอบด้านที่ตั้ง (Site element)

โดยที่องค์ประกอบทางดินฟ้าอากาศ หมายถึง อุณหภูมิอากาศ (air temperature) ความเร็วลม (wind speed) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (solar radiation) และสภาพท้องฟ้า (cloud) โดยองค์ประกอบเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น อุณหภูมิอากาศ ตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิที่สูง แต่ตอนกลางคืนมีอุณหภูมิต่ำ รวมถึงเมื่ออยู่ในฤดูร้อนจะมีอุณหภูมิสูง และในฤดูหนาวจะมีอุณหภูมิต่ำนั้นคือ ใน

องค์ประกอบนี้มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล แบ่งวงจรเวลาแบบกลางวัน กลางคืน และวงจรแบบฤดูกาล

ส่วนองค์ประกอบที่ตั้ง คือ พืชพรรณ (vegetation) น้ำ (water bodies) เนินดิน (land slope) ค่าความจุความร้อน (thermal capacity) หรืออีกอย่างหนึ่งว่า สภาพแวดล้อมเฉพาะ (micro climate) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบที่ปรับแต่ง สภาพอากาศโดยรอบอาคาร ให้อยู่ในสภาวะน่าสบายเพิ่มมากขึ้น

2.1.2 **กลุ่มตัวแปรด้านตัวอาคารและระบบอาคาร** (Building and system)

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคาร ตัวแปรในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย องค์ประกอบด้านอาคาร (Building) และองค์ประกอบด้านระบบอาคาร (Systems) ซึ่งผู้ออกแบบต้องแสวงหารูปแบบอาคาร และงานระบบต่างๆ ที่สอดคล้องกันเพื่อให้ได้มาซึ่งอาคารที่ใช้พลังงานน้อยในทุกสถานการณ์ โดยองค์ประกอบด้านอาคาร หมายถึง รูปร่างและรูปทรงอาคาร (Shape/form) ตำแหน่งที่ตั้ง ส่วนประกอบของเปลือกอาคาร (Envelop component) ค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านเปลือกอาคาร (U value) ตำแหน่งการติดตั้งฉนวน สีของผนัง (Placement of insulation) และคุณสมบัติของวัสดุ หน้าต่าง (Windows and fenestrations) การควบคุมแสงอาทิตย์ (Solar control) เป็นต้น และองค์ประกอบด้านระบบอาคารหมายถึง ระบบหรือเครื่องกลที่ใช้ในอาคารเพื่อสร้างสภาวะสบาย

2.1.3 **กลุ่มตัวแปรด้านผู้ใช้อาคารและการใช้งาน** (User and occupancy)

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้อาคารและการควบคุมตัวแปรในกลุ่มนี้ ได้แก่ ประเภทผู้ใช้อาคาร (Occupancy) รูปแบบการใช้งานหรือลักษณะของกิจกรรมต่างๆ (Activities) ความสบายที่ผู้ใช้อาคารต้องการ ทั้งทางความรู้สึกร้อนหนาวที่พอเหมาะ แสงสว่างที่พอเหมาะ ตลอดจนการใช้งานและการควบคุมระบบต่างๆ ในอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 แนวคิดการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงาน

จากความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานที่อธิบายข้างต้นแล้วดังนั้นในการจะทำให้อาคารที่ออกแบบ เป็นอาคารที่การใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ผู้ออกแบบต้องขยายขอบเขตของการออกแบบ โดยรวมการพิจารณาเรื่องพลังงานเข้าไปด้วย พลังงานสามารถจะถูกมองเป็นหัวข้อหลักของการพิจารณาการออกแบบ ขั้นตอนพื้นฐานของการออกแบบที่สำนึกเรื่องพลังงาน (Energy Conscious Design) มีดังนี้

1) ลดภาระพลังงานที่ใช้ในอาคาร
2) เลือกใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียน ให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้
3) ใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ตามที่จำเป็นอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

สิ่งสำคัญอีกอันหนึ่งคือ การพิจารณาทบทวนเรื่องการใช้พลังงาน (Energy Performance) ที่ได้ออกแบบไปในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบ จากประสบการณ์ที่ได้ปฏิบัติผ่านๆ มา ระดับของความเป็นไปได้ในการประหยัดพลังงาน ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบ พอจะสรุปได้ว่า ในช่วงต้นของการออกแบบอาคารมีความเป็นไปได้และศักยภาพของการประหยัดพลังงานมากถึงร้อยละ 40-50 แต่เมื่ออาคารก่อสร้างแล้วเสร็จการดำเนินการเพื่อประหยัดพลังงานนั้นจะมีความเป็นไปได้และศักยภาพเพียงร้อยละ 10-20 เท่านั้น

ในหลักการของการออกแบบสำนึกเรื่องพลังงาน (Energy Conscious Design) นั้น อาคารควรพึ่งพาระบบธรรมชาติให้มากที่สุดก่อน เพื่อทำให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ออกแบบนั้นอยู่ในสภาวะน่าสบายมากที่สุด การออกแบบอาคารที่สอดคล้องและเข้ากับสภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศเป็นสิ่งสำคัญ นอกจากนั้นผู้ออกแบบอาคารควรพึ่งพาการออกแบบระบบที่ไม่ใช้เครื่องกล (Passive System) และใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ให้มากที่สุดก่อนเท่าที่จะทำได้ สำหรับการออกแบบอาคารขนาดเล็ก และขนาดกลาง การใช้ระบบ Passive และการใช้พลังงานหมุนเวียนสามารถกระทำได้มากกว่าอาคารขนาดใหญ่และอาคารสูง

การประหยัดพลังงานในอาคารนั้น โดยหลักใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่พลังงานที่ใช้ในการดำเนินการใช้ (Operating) อาคาร พลังงานที่ใช้ในอาคารที่ออกแบบจะต้องให้ความสำคัญ คือ พลังงานที่ใช้ในระบบทำความเย็น (Cooling Load) และพลังงานที่ใช้ในระบบแสงสว่าง (Lighting Load) การออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงาน โดยมุ่งเน้นเฉพาะการออกแบบระบบทำความเย็นและระบบแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยที่ ตัวอาคารเองไม่มีประสิทธิภาพในการลดภาระ

การทำความเย็น และภาระการทำแสงสว่างแล้ว การประหยัดพลังงานก็ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้ ในทางกลับกันก็เช่นเดียวกัน ถ้าตัวอาคารเองมีการออกแบบที่คำนึงถึงพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่ดีแล้ว แต่ระบบทำความเย็น และระบบแสงสว่างมีประสิทธิภาพต่ำ และไม่สอดคล้องกับอาคารที่ได้ออกแบบไว้แล้ว การประหยัดพลังงานก็จะไม่บรรลุประสิทธิผลดังที่ได้ตั้งใจไว้ การทำงานร่วมกันระหว่างสถาปนิกและวิศวกรนั้นจึงมีความสำคัญมาก ดังนั้นการออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงานต้องเริ่มต้นที่ตัวอาคารเองให้มีภาระการทำความเย็นและภาระการให้แสงสว่างน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ จากนั้นจึงออกแบบเลือกระบบทีสอดคล้องกับการใช้งานและมีประสิทธิภาพสูง ผลลัพธ์ที่ได้คือ อาคารประหยัดพลังงานอย่างแท้จริง

การที่จะออกแบบลดภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ให้กับอาคารนั้น ผู้ออกแบบจะต้องใช้ยุทธวิธีในการออกแบบที่จะลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นในอาคาร (Heat Gain) ความร้อนที่จะเกิดขึ้นในอาคารนั้น มาจากแหล่งหลักๆ ดังนี้

1) การนำความร้อนจากภายนอกผ่านผนัง หลังคา และกระจก (Conduction Heat Gain)
2) ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain) ผ่านช่องทางเปิด (Fenestration)
3) ความร้อนจากการระบายอากาศ (Ventilation Heat Gain)
4) ความร้อนจากการรั่วซึมอากาศ (Infiltration Heat Gain)
5) ความร้อนจากแสงประดิษฐ์ (Lighting Heat Gain)
6) ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร (Occupant Heat Gain)
7) ความร้อนจากอุปกรณ์ในอาคาร (Equipment Heat Gain)

อาคารแต่ละประเภทการใช้งาน ขนาดอาคาร รูปทรงของอาคาร ตำแหน่งที่ตั้งภูมิอากาศ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้มีผลทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร (Heat Gain) แต่ละอาคารแตกต่างกันออกไป ผู้ออกแบบจะต้องมีความสามารถในการประเมินผล และการวิเคราะห์ว่าอาคาร ที่ได้ออกแบบไปนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร (Heat Gain) มาจาก แหล่งไหนที่เป็นผลกระทบหลักต่อภาระการทำความเย็น (Cooling Load) และจะเลือกวิธีการออกแบบใดบ้างที่สามารถลดความร้อน (Heat Gain) เหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบลดภาระแสงสว่าง (Lighting Load) ในอาคารนั้น มีข้อดีที่ส่งผลถึงภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ด้วย หลักการที่สำคัญในการลดภาระการทำแสงสว่างก็คือ การนำแสงธรรมชาติ (Day Lighting) เข้ามาทดแทนแสงประดิษฐ์ (Artificial Lighting) และการออกแบบระบบแสงประดิษฐ์ให้เหมาะสมแก่การใช้งานและมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากแสงสว่างธรรมชาติภายนอกมีปริมาณมากเกินพอเกือบตลอดทั้งวัน การออกแบบอาคารที่มีการใช้งานในช่วงกลางวัน โดยการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ส่องสว่างแก่พื้นที่ภายในอาคารให้มากที่สุดจะเป็นแนวทางที่จะลดภาระการทำแสงสว่าง ลงได้อย่างมีประสิทธิผล เมื่อพื้นที่ภายในอาคารมีแสงสว่างธรรมชาติอย่างเพียงพอ การใช้แสงประดิษฐ์ก็หมดความจำเป็น การที่ไม่เปิดใช้ระบบแสงประดิษฐ์นั้น นอกจากจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการส่องสว่างแล้วยังสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นและภาระสูงสุด (Peak Load) ของระบบทำความเย็นอีกด้วย เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปสู่ดวงโคมนั้น นอกจากพลังงานไฟฟ้า จะถูกเปลี่ยนเป็นแสงสว่างแล้วยังเปลี่ยนมาเป็นความร้อนด้วย ดังนั้นถ้ามีการใช้แสงประดิษฐ์เป็นจำนวนมากความร้อนที่ออกมาจากดวงโคมก็จะเป็นภาระต่อระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศก็ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น และทำงานมากขึ้นเพื่อดึงความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารออกไปทิ้งข้างนอก เพื่อคงระดับสภาวะน่าสบายภายในอาคารนั้นไว้ ท้ายสุดความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงประดิษฐ์ และระบบทำความเย็นก็จะสูงขึ้นด้วย

องค์ประกอบหลักของแนวทางการออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงาน จะประกอบด้วยแนวทางต่างๆ ดังนี้

1) การเลือกที่ตั้งอาคาร (Site Selection) การออกแบบรูปทรงของอาคารและการจัดวางอาคาร (Building Configuration and Placement) ให้เหมาะสม

2) การออกแบบกรอบอาคาร (Building Envelope) เพื่อป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยเลือกใช้วัสดุ (Material) ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อกันป้องกันความร้อน การออกแบบอุปกรณ์กันแสงแดด (Shading) และการใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ (Day Lighting)

3) การออกแบบระบบ HVAC ให้เหมาะสมกับสภาวะความต้องการการปรับอากาศและให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูง

4) การออกแบบระบบเชิงกลอื่นๆ เช่น ระบบลิฟท์ บันไดเลื่อน หรือระบบทำน้ำร้อน ฯลฯ (Other Mechanical systems) ให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง

5) การเลือกเครื่องใช้อุปกรณ์ (Appliances and Equipment) ภายในอาคารที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง

6) การเลือกใช้พลังงานทดแทนอื่นๆ เป็นต้น

2.2.1 ที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร

การใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมโดยรอบบริเวณที่ตั้งอาคาร หรือการปรับแต่งสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร เป็นขั้นตอนแรกที่ผู้ออกแบบควรพิจารณาโดยมีแนวคิดที่สำคัญคือ การทำให้สภาวะแวดล้อมโดยรอบภายนอกอาคาร (Microclimate) มีอุณหภูมิลดต่ำลงกว่าสภาพภูมิอากาศปกติ และลดผลกระทบที่เกิดจากความร้อนของรังสีอาทิตย์ในเวลากลางวัน ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดภาระในการทำความเย็นให้กับตัวอาคารได้ โดยมีตัวแปรต่างๆ ที่ควรพิจารณาใช้ได้แก่ ต้นไม้ พุ่มไม้ พืชคลุมดิน แหล่งน้ำ กระแสลม ความลาดเอียงของพื้นดิน เป็นต้น

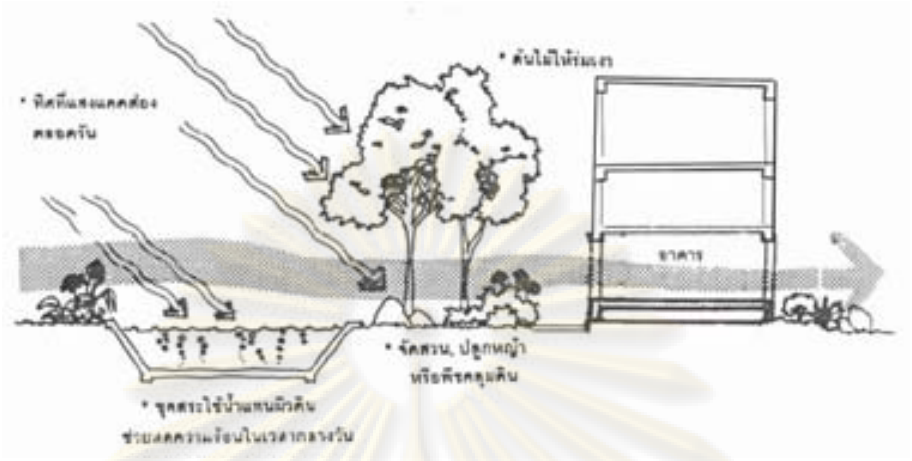
ตำแหน่งการปลูกต้นไม้ใหญ่และไม้พุ่มที่เหมาะสมในงานภูมิสถาปัตยกรรม มีผลต่อการประหยัดพลังงานในอาคารมากกว่าจำนวนต้นไม้ โดยทิศทางที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชพันธุ์ คือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้ ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับแสงแดดและกระแสลมเป็นประจำ แนวทางการปลูกพืชพันธุ์และงานภูมิสถาปัตยกรรมเพื่อออกแบบอาคารประหยัดพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งได้แก่

- ปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีทรงแผ่กว้างและพุ่มใบโปร่งบริเวณรอบๆ อาคาร เพื่อให้ร่มเงาช่วยลดความร้อนที่เกิดจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun)

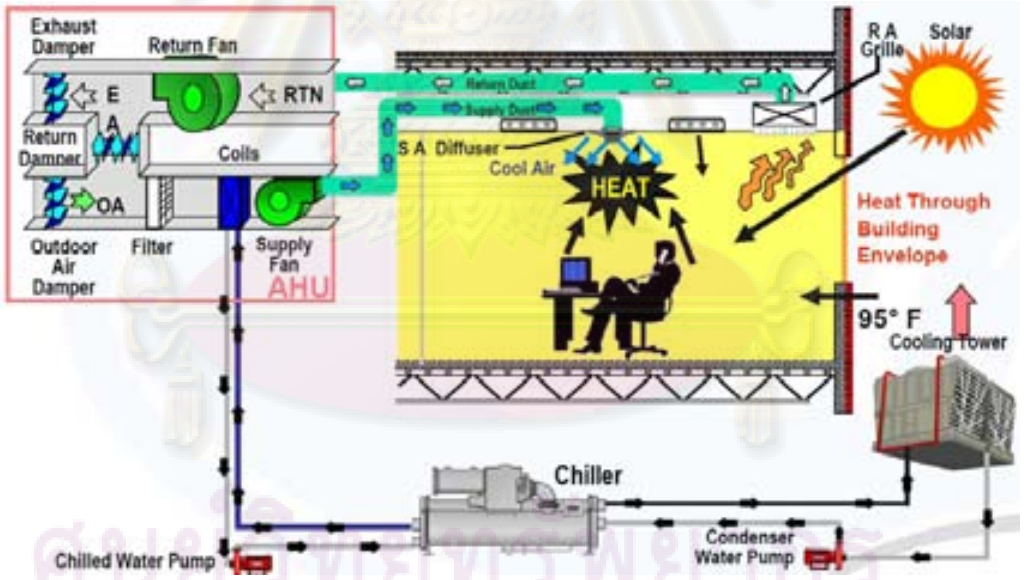
- ใช้ไม้พุ่มเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็น โดยให้มีลมพัดผ่านทำให้เกิดการระเหยน้ำ

- ปลูกหญ้าหรือพืชคลุมดินเพื่อป้องกันความร้อนให้กับดิน และทำให้อุณหภูมิผิวของสภาพแวดล้อมเย็นลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 การใช้ประโยชน์จากปัจจัยต่างๆ ของที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร



รูปที่ 2.3 แหล่งที่มาของความร้อนเข้าสู่อาคาร และการปรับอากาศภายในอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 การออกแบบกรอบอาคาร (Building Envelope)

ภาระการทำความเย็นของอาคารส่วนใหญ่ (ประมาณมากกว่า 60%) จะมาจากความร้อนที่ผ่านวัสดุกรอบอาคาร (Building Envelope) เข้ามาภายในอาคารดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนั้นการออกแบบอาคารให้สามารถลดปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารจึงเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารได้ วัสดุกรอบอาคารโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วัสดุทึบแสง (Opaque) และวัสดุโปร่งแสง (Transparent) ซึ่งนำมาใช้เป็นส่วนของผนัง ช่องเปิด และหลังคาของอาคาร

1) **แนวคิดในการลดความร้อนผ่านผนังภายนอกอาคาร** สรุปได้ดังนี้

- เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับผนัง (ค่า R สูง) หรือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U value) ต่ำ เช่น การติดตั้งหรือบุฉนวนกันความร้อนที่ผนังด้านนอกของอาคาร หรือใช้ผนัง 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ (Air Gap) ระหว่างชั้นของผนังเป็นอากาศหรือติดตั้งฉนวน
- หลีกเลี่ยงรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Solar Radiation) ที่จะส่องผ่านช่องเปิดของอาคาร โดยเฉพาะอาคารปรับอากาศควรมีหน้าต่างน้อยที่สุด หรือมีเฉพาะด้านทิศเหนือและใต้ของอาคาร
- พิจารณาให้มีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผิวของอาคาร (Window-to-Wall Ratio; WWR) เฉพาะเท่าที่จำเป็น
- มีส่วนยื่น ชายคา กันสาด หรือปลูกต้นไม้เพื่อบังแสงแดดให้กับช่องเปิดทุกๆ ทิศ โดยเฉพาะหน้าต่าง ประตู หรือผนังกระจกด้านทิศตะวันออกและตะวันตก
- สีของผนังภายนอกอาคารควรเป็นสีอ่อนหรือใช้วัสดุผิวมันเพื่อสะท้อนความร้อน
- ในกรณีของอาคารขนาดใหญ่ที่มีความหนาของผนังบริเวณแกน (Core) หรือช่องลิฟท์หนามาก ควรให้อยู่ในทิศตะวันตกเพื่อใช้เป็นส่วนป้องกันความร้อน (Buffer Zone) ที่ร้อนจัดในช่วงบ่าย
- ทำที่บังแดดเพื่อให้ผนังอยู่ในร่มเงาตลอดทั้งวัน โดยเว้นช่องว่างระหว่างที่บังแดดกับผนังเพื่อลดการสะสมความร้อน

- ออกแบบผนังที่มีพื้นผิว (Texture) เพิ่มพื้นที่ผิว เพื่อลดผลกระทบจากความร้อน

2) **แนวคิดในการลดความร้อนผ่านหลังคาอาคาร** สรุปได้ดังนี้

- พิจารณาออกแบบขนาดของอาคารให้มีความเหมาะสม โดยลดผลการส่งผ่านความร้อนทางหลังคา เพราะหลังคาเป็นส่วนที่รับความร้อนตลอดทั้งวันและมีอิทธิพลต่อภาระการปรับอากาศในอาคารเป็นอย่างมาก
- ออกแบบเป็นหลังคาจั่วเพื่อเพิ่มช่องว่างอากาศใต้หลังคา หรือทำเป็นหลังคา 2 ชั้น หรือหลังคาทรงสูงระบายอากาศร้อนออกด้านบน หลีกเลี่ยงการออกแบบหลังคาให้เป็นหลังคาแบนและหนา
- เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับหลังคา (ค่า R สูง) โดยการติดตั้งหรือบุฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาหรือระหว่างชั้นฝ้าเพดานกับหลังคา
- ติดตั้งแผ่นฟิล์มอลูมินั่ม (Reflective Aluminum Film) บางๆ ที่สะท้อนความร้อนได้ดีไว้ที่ด้านล่างของหลังคา
- เลือกใช้หลังคาสีอ่อนเพื่อสะท้อนรังสีอาทิตย์
- หลีกเลี่ยงการทำช่องแสงบนหลังคา (Skylight)

ตัวอย่างฉนวนป้องกันความร้อนชนิดต่างๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

- ใยแก้วหรือไฟเบอร์กลาสมีคุณสมบัติในการกันความร้อนได้ดี มีค่าการกันไฟได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียส และกันเสียงได้ด้วย แต่ไม่ทนต่อความชื้น
- ร็อควูล (Rockwool) กันความร้อนเทียบเท่าฉนวนใยแก้ว แต่ทนไฟได้ดีกว่าและดูดซับเสียงได้ดี แต่ไม่ทนต่อความชื้น
- โฟมชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติในการกันความร้อนได้ดี (ใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้วและร็อควูล) และกันน้ำได้ แต่ไม่ทนต่อรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV) และความร้อนสูงๆ (จุดหลอมเหลวมักต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส)
- เซลลูโลสกันความร้อนดีพอๆ กับใยแก้วและร็อควูล ต้องใส่สารกันไฟลามเพราะทำจากเยื่อไม้หรือกระดาษ

- อลูมินั่มฟอยล์ให้มีประสิทธิภาพในการกันความร้อน ต้องทำให้มีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นฟอยล์กับฝ้าเพดานไม่น้อยกว่า 1 นิ้วเพื่อเพิ่มค่าความเป็นฉนวน

3) **การเลือกใช้กระจกเพื่อการประหยัดพลังงาน** มีดังนี้

- ใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) ต่ำเพื่อลดปริมาณรังสีอาทิตย์ (คลื่นสั้น) ที่ผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคารและเปลี่ยนเป็นความร้อน

- ใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสง (Light Transmittance; LT) ในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็น (Visible Light) สูงมากพอที่จะนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในอาคารได้ (LT ไม่ควรน้อยกว่า 20%)

- ควรพิจารณากระจกที่มีค่าอัตราส่วน LSG (Light-to-Solar-Gain Ratio) สูง ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบปริมาณของแสงสว่างกับปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจก (LT/SC) ซึ่งค่า LSG ที่มากกว่า 1 แสดงว่ามีแสงสว่างผ่านเข้ามาภายในอาคารมากกว่าความร้อน และเป็นกระจกที่เหมาะสำหรับนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร

- ใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ต่ำ เพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการนำ (Conduction) จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เช่น กระจก 2 ชั้น (Double Glazing) หรือ 3 ชั้น (Triple Glazing) เป็นต้น

- ควรเลือกวัสดุกระจกที่มีค่า SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) ต่ำ ค่า SHGC เป็นผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกกับส่วนของรังสีที่ถูกดูดซับอยู่ภายในกระจก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3 ตัวอย่างอาคารสำนักงานประหยัดพลังงานในประเทศไทย

อาคารสำนักงานแห่งใหม่ของ กฟผ. ได้เริ่มเปิดใช้งานไปเมื่อวันที่ 8 พ.ย. 2550 โดยเป็นอาคารสูง 20 ชั้น มีพื้นที่ใช้งานรวม 37,000 ตารางเมตร สามารถรองรับผู้ปฏิบัติงานได้ราว 3,000 คน แนวคิดการออกแบบอาคาร ได้คำนึงถึงการประหยัดพลังงาน ดังนี้

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างอาคารสำนักงานประหยัดพลังงานในประเทศไทย

- การออกแบบที่ตั้งและทิศทางของอาคาร ได้ออกแบบพื้นที่ส่วนสำนักงานให้ได้รับแสงธรรมชาติทางทิศเหนือ ทิศตะวันออกและทิศใต้ และให้มีพื้นที่ส่วน Service ไว้ทางทิศตะวันตกเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร
- ระบบเปลือกหุ้มอาคาร เป็นกระจก 2 ชั้น (Insulate Laminated Glass) เพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ส่วนผนังทึบได้ใช้ Aluminums Composite Sheet ด้านในกรุแผ่นยิบซั่มบอร์ดหนา 12 มม. และมีฉนวนกันความร้อนตรงกลาง
- มีการใช้พลังงานสะอาด โดยติดตั้งแผง Solar Cell ชนิด Amorphous Silicon มาเป็นส่วนประกอบของผนังด้านหน้าอาคาร โดยติดแผง Solar Cell ขนาดแผง 1.00 x 1.50 เมตร จำนวน428 แผ่น มีกำลังผลิตไฟฟ้ารวม 27.82 กิโลวัตต์ เพื่อนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้ในอาคารและเพื่อเป็นกรณีศึกษาแก่อาคารต่างๆ ทั้งนี้การติดแผง Solar Cell บนผนังอาคารดังกล่าว

นับว่าเป็นอาคารเป็นแห่งแรกของประเทศไทย และถือเป็นการติดตั้งระบบ Solar Cell สูงที่สุดบนผนังอาคาร ติดอันดับ 1 ใน 5 ของโลก

- มีการใช้ระบบกักเก็บความเย็นเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Peak โดยจะทำความเย็นเก็บไว้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำเพื่อนำมาใช้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง โดยใช้ระบบ CHS ซึ่งเป็นสารตัวกลางในการกักเก็บความเย็น ทำให้ใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าระบบ Ice Thermal Storage และใช้พื้นที่น้อยกว่าระบบ Chilled Water Storage

- มีการใช้ระบบจัดการอาคารอัตโนมัติ (Building Automation System) เพื่อการควบคุมตรวจสอบ และประเมินผลการทำงาน และการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศระบายอากาศ และระบบไฟฟ้าของอาคาร เพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

- สร้างสภาพแวดล้อมรอบอาคารตามหลักการภูมิสถาปัตยกรรมเพื่อลดการสะท้อนความร้อนเข้าสู่อาคาร

2.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

มาตรการที่เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุมที่เกี่ยวข้องโดยตรงและโดยอ้อมกับการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารคือ พระราชบัญญัติการส่งเสริมอนุรักษ์พลังงาน พระราชกฤษฎีกา กฎกระทรวง ตลอดจนประกาศต่างๆ ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติฉบับดังกล่าว รวมทั้งกฎหมายควบคุมอาคารซึ่งบังคับใช้กับการก่อสร้างอาคารควบคุมทุกอาคาร อันได้แก่ พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไปปรับปรุงข้อกฎหมายวิธีการบังคับใช้ ตลอดจนกระบวนการบริหารจัดการที่บังคับใช้ในปัจจุบัน ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีด้วยกัน 3 ฉบับ คือ

1) พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 โดยพระราชาบัญญัติฉบับดังกล่าวถือเป็นกฎหมายหลัก

2) พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538 ซึ่งเป็นกฎหมายรองกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) กฎกระทรวงในเรื่องการจัดการพลังงานอาคารควบคุม ซึ่งเป็นกฎหมายรองกำหนดหลักเกณฑ์และการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2550

โดยหลักการของกฎหมายมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- กำกับดูแลส่งเสริม และสนับสนุนให้ผู้ที่อยู่ภายใต้บังคับของกฎหมาย(อาคารควบคุม และโรงงานควบคุม) มีการอนุรักษ์พลังงานด้วยการผลิต และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัด
- ส่งเสริม และสนับสนุนให้เกิดการผลิตเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ และวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานขึ้นภายในประเทศ และมีการใช้อย่างแพร่หลาย
- ส่งเสริม และสนับสนุนให้การอนุรักษ์พลังงานเป็นรูปธรรม ด้วยการจัดตั้ง "กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน" เพื่อใช้เป็นกลไกในการให้การอุดหนุนช่วยเหลือทางการเงินในการอนุรักษ์พลังงาน

ส่วนเหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 คือโดยที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มีบทบัญญัติบางประการไม่เหมาะสมกับสภาวการณ์ในปัจจุบันสมควรแก้ไขเพิ่มเติมบทบัญญัติดังกล่าวเพื่อให้สามารถกำกับและส่งเสริมการใช้พลังงาน การอนุรักษ์พลังงานให้มีประสิทธิภาพและสามารถปรับเปลี่ยนแนวทางการอนุรักษ์พลังงานให้ทันต่อเทคโนโลยี กำหนดมาตรฐานด้านประสิทธิภาพของการผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ การเก็บรักษาเงินและทรัพย์สินของกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานตลอดจนการมอบหมายให้บุคคลหรือนิติบุคคลตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานการใช้พลังงานในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ และคุณภาพวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานแทนพนักงานเจ้าหน้าที่เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคม จึงจำเป็นต้องตราพระราชบัญญัตินี้ซึ่งกฎหมายใหม่ดังกล่าวจะสามารถแก้ไขปัญหาได้ดังนี้

1) ระเบียบและขั้นตอนที่เป็นข้อปลีกย่อยสามารถปฏิบัติได้สะดวกรวดเร็วทันต่อความเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี

2) การอนุรักษ์พลังงานจะมุ่งเน้นพฤติกรรมบุคคลและองค์กร มากกว่ามุ่งเน้นเปลี่ยนวัสดุอุปกรณ์ สร้างความตระหนักร่วมกัน ประกอบกับขั้นตอนที่สั้นง่าย สะดวกรวดเร็ว มุ่งสัมฤทธิ์ผลเพื่อการจูงใจด้านอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) การแก้ปัญหาจากต้นทาง การคำนึงถึงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน การตระหนักถึงประสิทธิภาพวัสดุอุปกรณ์เครื่องจักร ตลอดจนการคุ้มครองผู้บริโภคให้ได้ใช้เครื่องจักรวัสดุอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างหน่วยงานได้รวดเร็วทั่วถึงเต็มระบบทั้งกรมโยธาธิการและผังเมือง สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค

สามารถสรุปโครงสร้างของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 โครงสร้างกฎหมายอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน

2.4 มาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmark and Benchmarking Tools)

Energy Benchmark เป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานหรือประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารใดอาคารหนึ่งกับอาคารอื่นที่มีสภาพการใช้งานประเภทเดียวกันกับอาคารนั้น หรือเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้นในปีปัจจุบันกับค่าการใช้พลังงานในปีที่ผ่านมา เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานของอาคารนั้นว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่และเปลี่ยนแปลงอย่างไร

2.4.1 รูปแบบของ Energy Benchmark

โดยทั่วไปจะแบ่ง Benchmark เป็น 2 แบบ คือ

1) Internal Benchmark เป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารนั้นกับการใช้พลังงานที่ผ่านมาของอาคาร โดยจะเปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงการใช้พลังงาน ของอาคาร โดยใช้เป็นตัวชี้วัดว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานหรือไม่ อย่างไร โดยการเปรียบเทียบในรูปแบบ Internal benchmark สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1.1) Annual Energy Consumption เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการ benchmark โดยเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานทั้งหมดในปีที่ผ่านมา

1.2) Average Annual Energy Use Benchmark เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น สามารถใช้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน (Average Energy Consumption) จากค่าการใช้พลังงานในอดีตมากกว่า 1 ปี แต่ไม่ควรเกิน 3 ปี ถือว่าเป็นวิธีที่แม่นยำมากขึ้นแต่ไม่สามารถบอกได้ถึงลักษณะการใช้พลังงานระหว่างปีได้

1.3) Average Seasonal or Monthly Benchmark ดีกว่าการเปรียบเทียบด้วย ค่าพลังงานรวมตลอดปี (Annual Energy Consumption) เนื่องจากสามารถทราบถึงประสิทธิภาพการใช้งานเดือนต่อเดือน หรือต่อช่วงฤดู ต้องการข้อมูลย้อนหลังหลายปี เพื่อใช้หาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเป็นรายเดือนหรือราย 3 เดือน สามารถทราบถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดปี

1.4) Climate-Corrected Benchmark เป็นสมการการคำนวณ โดยต้องการข้อมูลทางด้านสภาพอากาศมาใช้ในสมการ สามารถคาดการณ์ค่าการใช้พลังงานในเดือนที่ต้องการได้ ซึ่งดีกว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของช่วงฤดูกาลหรือรายเดือน เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละปีมีความแตกต่างกัน ใช้ค่า cooling และ heating degree day ในการแสดงว่าในแต่ละเดือนมีค่าอุณหภูมิร้อนหนาวแตกต่างกันอย่างไร และใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการสร้าง correction

เพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานในแต่ละช่วงสภาพอากาศ จะมีความถูกต้องในการคาดการณ์การใช้พลังงานในแต่ละเดือน

1.5) Climate-and-Activity-Corrected Benchmark เป็นแบบเดียวกันกับ climate-corrected benchmark แต่เพิ่มเติม activity เช่น จำนวนของพนักงานภายในอาคาร เป็นวิธีที่มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด แต่ต้องการขั้นตอนที่ยุ่งยากและต้องการความเชี่ยวชาญ หากเป็นอาคารที่มีการใช้งานแปรเปลี่ยนไปตามสภาพของกิจกรรมจำนวนพนักงานและผู้ใช้อาคาร ต้องมีการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้เพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อาจต้องการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย

2) External benchmark เป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้นกับอาคารอื่นในประเภทอาคารเดียวกันทั่วประเทศ ใช้ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้จากหน่วยงานของรัฐบาลหรือบริษัทจัดการด้านพลังงาน (ESCOs) ในระดับประเทศและระดับภูมิภาค โดยจะใช้เพื่อประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารนั้นว่าดีหรือไม่เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารอื่น และอาจใช้เป็นเป้าหมายในการปรับปรุงค่าการใช้พลังงานในอนาคต

2.4.2 หน่วยสำหรับการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบอาคารโดยการใช้ค่าใช้จ่ายการใช้พลังงาน (Energy Expenditures) โดยมีหน่วยเป็น “ค่าการใช้พลังงานทั้งปี/ตารางเมตร” นั้นค่อนข้างสะดวก หากมีรูปแบบเหมือนกัน โดยทั่วไปจะเปรียบเทียบการใช้พลังงานด้วยหน่วยการใช้พลังงาน (Energy Metric) เช่นบีทียู (Btu) เพื่อป้องกันการสับสน สามารถใช้หน่วยบีทียู (Btu) หรือ จูล (joules) โดยอาจเลือกใช้หน่วยใดหน่วยหนึ่งหรือทั้งสองหน่วย นอกจากนี้ในการวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ายังนิยมใช้หน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kilowatt-hours (kWh)) ส่วนในการวัดค่าปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ นิยมใช้เทอม (therms) หรือลูกบาศก์เมตร (cubic meters) การเลือกใช้หน่วยใดนั้นขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบ หากต้องการเพียงเพื่อกระตุ้นให้เกิดการลดการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้งาน ควรเลือกใช้หน่วยที่ง่ายในการวัดค่าและเข้าใจง่าย

การใช้หน่วย “ค่าการใช้พลังงานทั้งปี/ตารางเมตร” ทำให้สามารถเปรียบเทียบค่า energy intensity ของอาคารที่มีขนาดต่างกันได้ นอกจากนี้ยังอาจใช้การเปรียบเทียบให้เหมาะสมกับประเภทของอาคาร เช่น ค่าการใช้พลังงานต่อห้องพัก สำหรับอาคารประเภทโรงแรม หรือ ค่าการใช้พลังงานต่อนักเรียนสำหรับอาคารประเภทโรงเรียน

2.5 ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน

เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการผลิต ดังนั้นการใช้พลังงานและปริมาณของผลผลิตจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด การใช้พลังงานโดยทั่วไปจะมีทิศทางในการขยายตัวสอดคล้องกับการขยายตัวของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ฉะนั้นเราสามารถประเมินความต้องการพลังงานจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจได้ โดยมีปัจจัยที่ใช้ประเมินระดับการใช้พลังงานทางเศรษฐกิจ 3 ปัจจัยด้วยกันคือ ระดับการผลิต โครงสร้างทางเศรษฐกิจและผลผลิตหรือกิจกรรมต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ทั้งนี้ในการกำหนดนโยบายของทางภาครัฐในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน นำเสนอมาตรการการอนุรักษ์พลังงานและติดตามผล รวมถึงการสำรวจสถานการณ์การใช้พลังงานที่ผ่านมาหรือการคาดการณ์แนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคตล้วนต้องการดัชนีชี้วัดเพื่อบ่งบอกหรือประเมินค่าทั้งสิ้น

2.5.1 ความเข้มพลังงาน (Energy Intensity: EI)

ความเข้มพลังงาน เป็นเครื่องมือชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตของประเทศในทางเศรษฐศาสตร์ เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อมูลค่าผลผลิตในภาคกิจการนั้นๆ หรืออัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ต่อGDP สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของภาคกิจการนั้นเองที่ช่วงเวลาต่างๆ กันได้หรือนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงของต่างประเทศได้ อัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อ GDP เป็นตัวบ่งบอกถึงค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการสนับสนุนกิจกรรมทางสังคมและเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นตัวแทนของมวลรวมของการใช้พลังงานที่ใช้ในกิจกรรมการผลิตและการบริโภค โดยมีหน่วยเป็น ค่าพลังงานต่อหน่วยของ GDP ความเข้มพลังงานสามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{Energy Intensity (It)} = \frac{\text{ผลรวมของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในภาค (MJ)}}{\text{ผลรวมของผลผลิตทั้งหมดในภาคหรือ GDP (หน่วยนับเงิน)}}$$

$$= \frac{E_t}{P_t} = \frac{\sum_i E_{i,t}}{P_{i,t}} \frac{P_{i,t}}{P_t} = \sum I_{i,t} S_{i,t} \qquad (2.1)$$

โดยที่ E_t = total energy consumption in year t

$E_{i,t}$ = energy consumption in sector i

P_t = total production

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

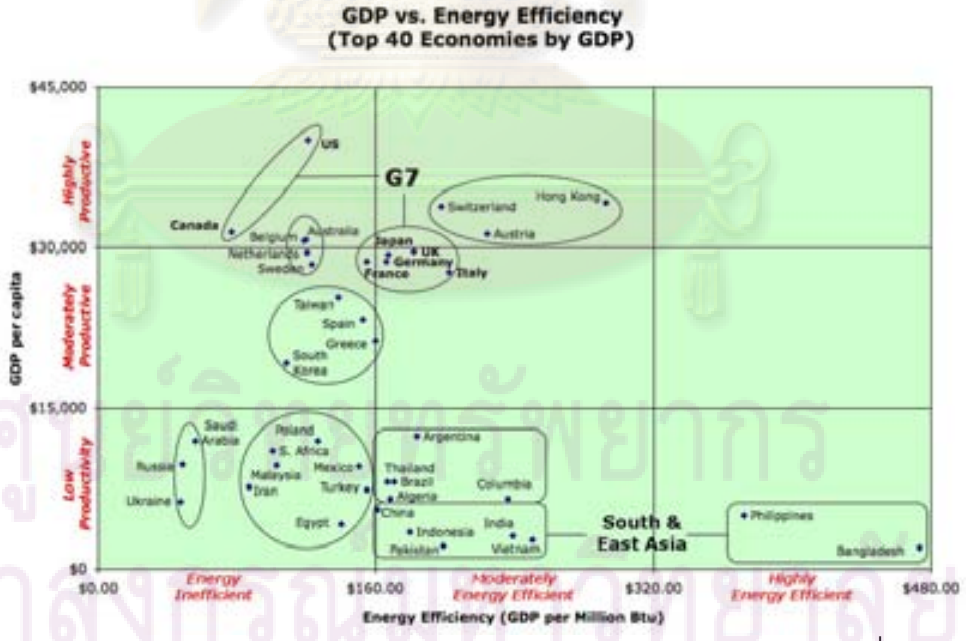
$P_{i,t}$ = production of sector i

It = energy intensity

$I_{i,t}$ = energy intensity in sector I = $E_{i,t} / P_{i,t}$

$s_{i,t}$ = production share of sector = $P_{i,t} / P_t$

และผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) เป็นมูลค่าของสินค้าและบริการขั้นสุดท้ายทั้งหมดที่ผลิตภายในประเทศ ในระยะเวลาหนึ่งโดยไม่คำนึงว่าทรัพยากรที่ใช้ผลิตสินค้าและบริการจะเป็นของพลเมืองในประเทศหรือของชาวต่างประเทศ แต่ไม่รวมถึงทรัพยากรของพลเมืองในประเทศที่นำไปผลิตสินค้าและบริการในต่างประเทศ การแสดงค่า GDP อาจแสดงได้ 2 รูปแบบ คือ ตามราคาปัจจุบันและราคาคงที่ โดย GDP ณ ราคาปัจจุบันจะคิดมูลค่าของผลผลิตเป็นเงินตามราคาตลาดของสินค่าและบริการ ส่วน GDP ณ ราคาคงที่จะคิดมูลค่าผลผลิตและบริการเป็นเงินตามราคาปีที่กำหนดเป็นปีฐาน ส่วนการจัดทำ GDP สามารถกระทำได้ 3 แนวทางด้วยกัน คือ จัดทำจากมูลค่าของผลผลิตและบริการ, จากมูลค่าของรายได้จากผลผลิตและบริการ และจากค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้าและบริการขั้นสุดท้าย



รูปที่ 2. 6 แสดง GDP per capita ต่อ 'Economic Energy Efficiency' ของประเทศที่มี GDP สูงสุด 40 ประเทศ

ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

โดยปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) ของแต่ละประเทศนั้นได้แก่ คุณภาพและมาตรฐานในการครองชีพทั่วไป สภาพภูมิอากาศ ความต้องการพลังงานสำหรับการปรับอากาศนอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์และอาคาร ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของยานพาหนะและระยะทางการเดินทาง กรรมวิธีการจัดการและรูปแบบของระบบขนส่ง แหล่งพลังงานสำรอง off-grid และการขาดแคลนพลังงานอันเนื่องมาจากภัยธรรมชาติและสงคราม

ความเข้มของการใช้พลังงานในภาคธุรกิจและบริการ (Intensity of energy use: Commercial and service sectors) หมายถึงการใช้พลังงานต่อหน่วยของผลผลิตที่เกิดขึ้นของภาคบริการต่อหน่วยของพื้นที่ใช้สอยมักจะมีหน่วยวัดค่าเป็น เมกกะจูลต่อตารางเมตร หรือเมกกะจูลต่อหน่วยเงิน

ในกระบวนการการวัดค่าความเข้มของการใช้พลังงาน จะมี 2 ส่วนด้วยกันคือ

1) **ค่าการใช้พลังงานรวม** (Energy consumption)

การใช้พลังงานรวมนั้นจะวัดค่าที่หน่วยการใช้งาน (Point of use) เช่น เฉพาะอาคาร (Building) หรือ ทั้งกิจการ (Enterprise) ทั้งนี้ข้อมูลของอาคารนั้นจำได้จากการสำรวจของเจ้าของอาคาร ผู้จัดการอาคารหรือผู้ใช้อาคาร ในขณะที่ข้อมูลของทั้งกิจการจะได้จากค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการซื้อพลังงาน โดยการใช้พลังงานรวมนี้จะมีหน่วยเป็น จูล (Jules)

2) **ผลผลิตที่ได้จากการใช้พลังงาน** (Output)

การวัดค่าผลผลิตที่ได้จากการใช้พลังงานมีหลายแนวทาง สำหรับภาคธุรกิจและบริการนี้การวัดที่มูลค่าเพิ่ม (Value Added) นั้นถือเป็นแนวทางที่ใกล้เคียงที่สุดในการวัดค่าผลผลิตทางเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามในการประมาณค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน นิยมใช้พื้นที่ใช้สอยในอาคารเป็นหน่วยวัดเนื่องจากพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ เช่น การทำความร้อน การทำความเย็นหรือไฟฟ้าแสงสว่างจะเกี่ยวข้องกับขนาดอาคารหรือพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร โดยจะมีหน่วยเป็นตารางเมตร บางครั้งจะใช้ค่าพื้นที่เฉพาะที่มีการปรับอากาศ (ทำความร้อนหรือความเย็น)

การวัดค่าผลผลิตในอีกแนวทางหนึ่งคือ การวัดค่าการใช้พลังงานรวมที่สัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) ของภาคการผลิต ซึ่งหน่วย

ในการวัดค่าจะเป็นหน่วยเงินของแต่ละประเทศ และแปลงค่าเงินเป็นค่าเงินที่ใช้แพร่หลาย เช่น ดอลลาร์สหรัฐอเมริกา จากแนวทางที่กล่าวมาข้างต้นอาจแบ่งลักษณะดัชนีได้เป็น 2 แบบดังนี้

- **ดัชนีชี้วัดความเข้มพลังงานทางกายภาพ** (Physical Energy Intensity Indicators)

คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้หรือพลังงานที่ใส่ให้แก่ระบบกับผลผลิตที่ผลิตได้ โดยที่พลังงานที่ใช้มีหน่วยเป็นกำลังงาน เช่น จูล ส่วนผลผลิตที่ได้จะมีหน่วยเป็นหน่วยทางกายภาพ เช่น ตัน, ลิตร เป็นดัชนีที่ทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ต้องการใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วย แต่ทั้งนี้การใช้งานดัชนีชี้วัดชนิดนี้อาจมีปัญหาได้ในกรณีที่มีหลายผลผลิตซึ่งมีหน่วยทางกายภาพต่างกัน เช่น ตัน, ลิตร, ลูกบาศก์เมตร เป็นต้น

- **ดัชนีชี้วัดความเข้มพลังงานทางเศรษฐศาสตร์** (Economic Energy Intensity Indicators)

เป็นการใช้หน่วยทางการเงินเช่นดอลลาร์ เพื่อแก้ปัญหาของ Physical Energy Intensity Indicators เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้กับมูลค่าของผลผลิต เช่น GDP

2.5.2 **ความยืดหยุ่นพลังงาน** (Energy Elasticity: EE)

ความยืดหยุ่นพลังงาน (Energy Elasticity: EE) เป็นดัชนีชี้วัดที่แสดงถึงผลของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่มีต่อการใช้พลังงาน เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมนั้นเปลี่ยนแปลงไปในอัตราเท่าใดเมื่อมูลค่าผลผลิตของภาคอุตสาหกรรมเปลี่ยนแปลงจากการผลิตเพิ่มขึ้นหรือลดลง หากค่า Energy Elasticity มีค่าต่ำกว่า 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมนั้นดีขึ้นหรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูงมาสู่อุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานต่ำลง เช่น มีการเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีที่ประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น เป็นต้น เหมาะสำหรับใช้ทำนายแนวโน้มการใช้พลังงานในภาคการผลิตต่างๆ หรือโดยภาพรวมของการผลิตของประเทศ

$$\text{Energy Elasticity} = \frac{\Delta \text{ การใช้พลังงาน (\%)}}{\Delta \text{ GDP (\%)}} \qquad (2.2)$$

สำหรับการวิเคราะห์ค่า Energy Elasticity และ Energy Intensity ความละเอียดในการประเมินขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูล GDP และข้อมูลการใช้พลังงานที่มีการเก็บรวบรวมไว้ด้วย ระดับของความละเอียดที่มีการเก็บรวบรวมและทำการวิเคราะห์ไว้ในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป เช่น แสดงค่าในระดับประเทศ ระดับภาค (Industries) ระดับกลุ่ม (Sub-sectors) และระดับกลุ่มย่อย (Sectors)

2.6 การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร

เนื่องจากการอนุรักษ์พลังงานในสถานประกอบการต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยบุคลากรภายในองค์กร และระบบการจัดการต่างๆ เพื่อเอื้ออำนวยต่อการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีการจัดการด้านพลังงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำทั้งระบบการจัดการด้านพลังงาน และระบบการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม มาประยุกต์ใช้ในสถานประกอบการต่างๆ

2.6.1 ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System: EnMS) เป็น

ระบบการจัดการด้านพลังงาน ซึ่งแบ่งได้ออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การกำหนดโครงสร้างการจัดการพลังงาน

ขั้นที่ 2 การประเมินสถานะเบื้องต้น

ขั้นที่ 3 การกำหนดนโยบายและการประชาสัมพันธ์

ขั้นที่ 4 การประเมินศักยภาพด้านเทคนิค

ขั้นที่ 5 การกำหนดมาตรการ เป้าหมาย และการคำนวณผลตอบแทนทางการเงิน

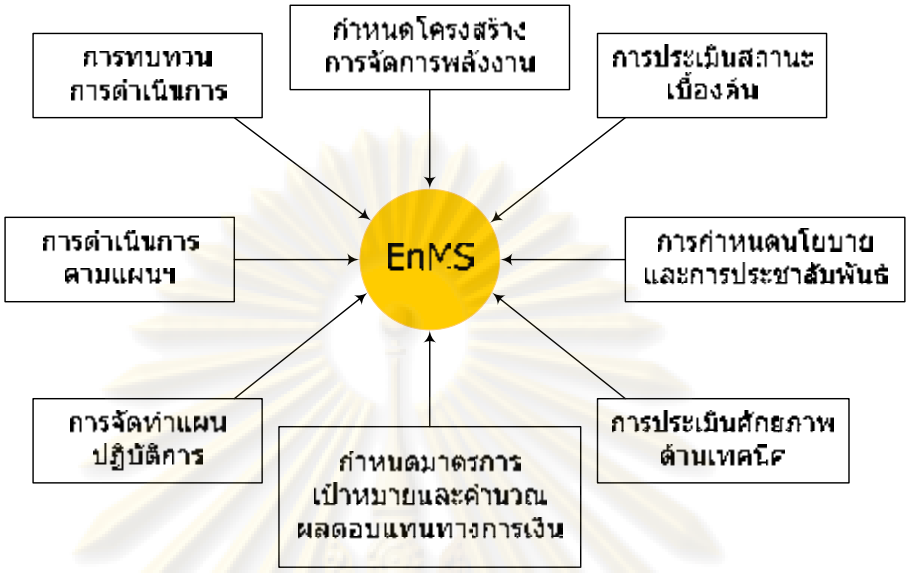
ขั้นที่ 6 การจัดแผนปฏิบัติการ

ขั้นที่ 7 การดำเนินการตามแผนปฏิบัติการ

ขั้นที่ 8 การทบทวนผลการดำเนินการ

ความสัมพันธ์และองค์ประกอบของขั้นตอนเหล่านี้กับระบบการจัดการพลังงานได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 และ 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2. 7 องค์ประกอบในการพัฒนาระบบจัดการพลังงาน

รูปที่ 2.8 ระบบการจัดการด้านพลังงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.2 การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม

คือ การที่ทุกคนในสถานประกอบการร่วมมือร่วมใจกันทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน มิใช่ทำเฉพาะฝ่ายหรือแผนกการผลิตสินค้า หรือฝ่ายบำรุงรักษาเท่านั้น เพราะทุกคนในโรงงานเป็นผู้ใช้พลังงานเหมือนกัน มากน้อยแตกต่างกันตามภารกิจ หากฝ่ายหนึ่งเห็นความสำคัญของ การอนุรักษ์พลังงานอย่างเต็มที่แต่อีกฝ่ายหนึ่งกลับปล่อยปละละเลย ก็ทำให้การใช้พลังงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร อีกทั้งยังเป็นการบั่นทอนกำลังใจแก่ผู้ดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

การอนุรักษ์พลังงานมี 4 ระดับ คือ

1. การออกแบบและแนวคิดที่ดี
2. การมีจิตสำนึกการใช้งานและการดูแลรักษาที่ดี
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต
4. การเปลี่ยนเครื่องจักรหลัก

- **การออกแบบและแนวคิดที่ดี** คือ การออกแบบระบบหรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมกับฟังก์ชั่นการใช้งานจริง โดยอาศัยหลักวิชาทางวิศวกรรม สถาปัตยกรรม เพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายการดำเนินการและบำรุงรักษาในอนาคต เช่น การออกแบบโดยการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ในโรงงานหรืออาคารให้มากที่สุด โดยไม่เกิดผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ในโรงงานหรือผู้ใช้อาคาร การออกแบบโดยป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายในอาคาร หรือ การนำความร้อน ความเย็นในระบบการผลิตกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น นอกจากนี้การออกแบบดังกล่าวยังช่วยให้สิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในการทำงานดีขึ้นด้วย

- **การมีจิตสำนึกการใช้งานและการดูแลรักษาที่ดี** คือ การดูแลรักษาให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพลดการรั่วไหลและการสูญเปล่าของพลังงาน เช่น ลดการรั่วของไอน้ำ ลมอัด หรือการสูญเสียความร้อน / ความเย็น ลดการใช้พลังงานที่ฟุ่มเฟือย เช่น ใช้หลอดไฟที่กินกำลังไฟต่ำแต่ให้ความว่างที่เหมาะสม ปรับอุณหภูมิอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส นำแสงธรรมชาติมาใช้ จัดกลุ่มหลอดไฟให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงลดการเดินเครื่องตัวเปล่า เป็นต้น ซึ่งการดำเนินการข้างต้นแทบจะไม่ต้องลงทุน หรือลงทุนน้อยมาก เพราะเป็นเรื่องการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของคนในองค์กรให้มีจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงาน

- **การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต** เป็นการดำเนินงานที่ต้องใช้หลักวิชาวิศวกรรมมากขึ้น ใช้เงินลงทุนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพ เลือกอุปกรณ์ที่ช่วยประหยัดค่าพลังงานกินไฟน้อยลง โดยเฉพาะเมื่ออุปกรณ์เดิมหมดสภาพเมื่อเปลี่ยนใหม่ควรเลือกที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เลือกใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง (เบอร์ 5) ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ใช้บัลลาสต์อิเลคโทรนิค หรือบัลลาสต์โลว์ลอส ใช้ระบบ VSD (Variable speed drive) กับมอเตอร์ทั้งนี้ผู้ประกอบการควรคำนึงถึงผลประหยัด และเงินลงทุนด้วยว่าสมารถคืนทุนภายในเวลาที่ยอมรับได้หรือไม่

- **การเปลี่ยนเครื่องจักรหลัก** เป็นการอนุรักษ์พลังงานขั้นสูงสุดที่ต้องใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์รวมทั้งเงินลงทุนมากที่สุด เพราะต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ เครื่องจักรใหม่ จึงต้องตรวจสอบความคุ้มค่าการลงทุน อย่างไรก็ตาม หากเทคโนโลยีการผลิตเปลี่ยนแปลงไปแล้ว เราก็ไม่อาจอยู่กับระบบผลิตแบบเดิม ๆ ได้ จำเป็นต้องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้ทันเวลาด้วย

ส่วนองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมประสบผลสำเร็จนั้นมี 3 ประการคือ

1) ผู้บริหารเห็นความสำคัญ และกำหนดเป็นนโยบายของบริษัท พร้อมทั้งให้การสนับสนุนส่งเสริมอย่างจริงจัง เพราะผู้บริหาร คือ กลไกลสำคัญที่ทำให้การอนุรักษ์พลังงานเกิดขึ้นและยั่งยืนดังนั้น ผู้บริหารระดับสูงควรเป็นผู้นำในการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม บางครั้งผู้ปฏิบัติงานอาจเห็นว่าการทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานเป็นการเพิ่มภาระงาน ทำให้ไม่ได้ความร่วมมือเท่าที่ควร จึงเป็นหน้าที่ของผู้บริหารระดับสูง หรือคณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานที่จะต้องชี้แจงให้เกิดความเข้าใจ ตลอดจนอาจจะต้องมีการจูงใจที่เหมาะสมกับพนักงานแต่ละระดับ เช่น พนักงานระดับล่าง การจูงใจอาจจะเป็นการเปิดโอกาสให้แสดงออก หรือรับผิดชอบงานที่สูงขึ้น หรือการได้สิทธิพิเศษบางประการ เช่น มีที่จอดรถเฉพาะเป็นกรณีพิเศษ เป็นต้น

2) ทีมงานหรือคณะกรรมการการอนุรักษ์พลังงาน ควรมาจากตัวแทนของฝ่ายต่าง ๆ เพื่อรับนโยบายจากผู้บริหารระดับสูงนำมาจัดทำแผนปฏิบัติการ เป้าหมาย กลยุทธ์ วิธีการทำงานตลอดจนการประเมินผลและประชาสัมพันธ์ผลงาน กำหนดให้แต่ละฝ่ายนำไปปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งเป็นผู้ประสานงานระหว่างผู้บริหารระดับสูงกับผู้ปฏิบัติงานระดับล่างให้มีความเข้าใจและร่วมมือกันทำงานด้วย

3) ผู้ปฏิบัติระดับล่าง เป็นผู้ที่ทราบข้อมูลการใช้พลังงานมากที่สุด เพราะเป็นผู้ปฏิบัติเอง มาตรการการอนุรักษ์พลังงานส่วนใหญ่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานระดับล่างพิจารณาร่วมกันและนำเสนอขึ้นมาโดยจัดเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ประมาณ 5-7 คน ซึ่งมาจากพื้นที่ทำงาเดียวกัน เพื่อร่วมคิดทำกิจกรรมของกลุ่มตนเอง

ในทางปฏิบัติการจูงใจเพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกัน ถือว่าเป็นศิลปะที่วิศวกรหรือช่างหลายคนไม่มี บางคนถึงกับกล่าวว่า ถ้าต้องจูงใจผู้อื่น ขอทำเองดีกว่า เพราะง่ายกว่ามาก แต่ดังที่กล่าวแล้วว่า การอนุรักษ์พลังงานต้องอาศัยความร่วมมือ ความคิดนี้จึงไม่ถูกต้องนัก และหากเริ่มศึกษาและทดลองปฏิบัติไม่นานนักจะพบว่าการสามารถจูงใจผู้อื่นให้เข้าร่วมทำงานด้วยความสมัครใจ จะนำมาซึ่งความสำเร็จของการอนุรักษ์พลังงานที่ไม่ยาก

การแข่งขัน หรือการประชาสัมพันธ์ผลงานของแต่ละกลุ่ม ก็เป็นกลยุทธ์ที่สำคัญอันหนึ่งที่จะผลักดันให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่อง จึงควรให้ทุกกลุ่มมีบอร์ดประกาศผลความก้าวหน้าของกลุ่มตัวเอง ประจำไว้ใกล้กับพื้นที่ที่ทำงาน หากผลงานกลุ่มใดดี ผู้บริหารควรสนับสนุนส่งเข้าประกวดในระดับโรงงาน ระดับจังหวัด หรือระดับประเทศต่อไป

เมื่อจัดตั้งกลุ่มอนุรักษ์พลังงานแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงต่อมา คือ กิจกรรมอะไรที่จะใช้ในการอนุรักษ์ พลังงาน ถ้ายังไม่เคยทำกิจกรรมแบบมีส่วนร่วมมาก่อน สามารถร่วมกันทำกิจกรรม 5 ส. ก่อนเป็นอันแรก เพราะเป็นเรื่องใกล้ตัวมากที่สุดและเห็นผลทันที ต่อจากนั้นจึงเริ่มทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานโดยทำเป็นกิจกรรมกลุ่มย่อย มีระบบเสนอแนะ ภายในหน่วยงาน เช่น กำหนดให้แต่ละกลุ่มย่อยเสนอวิธีการปรับปรุงการอนุรักษ์พลังงาน 1 มาตรการ/กลุ่ม/เดือน มาตรการใดผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการและผู้บริหารอนุมัติให้ดำเนินการ กลุ่มนั้นก็ได้รับการประกาศเป็นกลุ่มตัวเอย่างประจำเดือน และมาตรการใดดีเด่นทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้มากด้วยเงินลงทุนน้อย สมควรได้รับประกาศเป็นกลุ่มดีเด่นประจำเดือนนั้นและมีรางวัลตอบแทนเล็กน้อยเพื่อเป็นการจูงใจให้เกิดการระดมสมองทำงานร่วมกันนั่นเอง นอกจากนี้ควรมีการอบรมเพิ่มพูนทักษะการทำงานร่วมกันหรืออบรมเรื่องการบริหารจัดการแบบ TQM (Total quality management) และ TPM (Total productive management) ภายในองค์กรโดยเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานเอง หรือเชิญวิทยากรผู้เชี่ยวชาญมาบรรยายเสริมสร้างความรู้ให้กับพนักงาน เพื่อให้เกิดความมั่นใจ เกิดทักษะการทำงานต่อไป

นอกจากศิลปะการทำงานร่วมกันแล้ว สิ่งที่ขาดไม่ได้ก็คือ หลักวิชาการทางด้านวิศวกรม ซึ่งจะนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหา ความฟุ่มเฟือย ความสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในขบวนการผลิต เพราะขาดการประสานงานระหว่างหน่วยต่าง ๆ ภายในโรงงาน เมื่อมีการประสานงานที่ดี มองปัญหาร่วมกัน ร่วมมือกันใช้ปัญญาแก้ปัญหา แทบจะไม่ต้องลงทุนเลยก็สามารถประหยัดค่าพลังงานได้ปีละเป็นล้านบาท

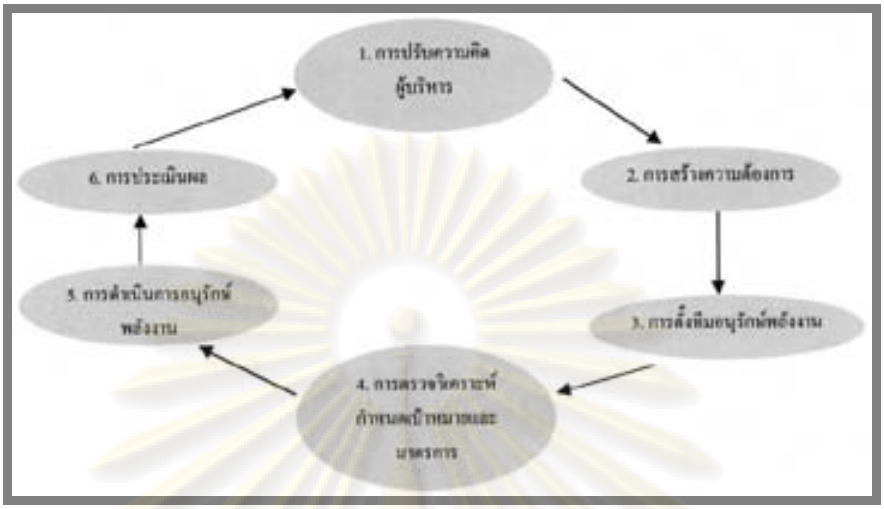
จากหลักการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมดังกล่าว กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้พิสูจน์ชัดเจนแล้วว่าช่วยให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างเป็นรูปธรรม ตัวอย่างเช่น โรงงาน ทั้ง 5 แห่ง ที่เข้าร่วมโครงการนี้สามารถประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ได้ 48 ล้านบาทต่อปี ด้วยเงินลงทุนเพียง 2.8 ล้านบาท คือทุนเฉลี่ยภายใน 21 วันโดยใช้เวลาดำเนินการโครงการทั้งหมด 9เดือน เริ่มตั้งแต่มีการอบรมสัมมนาเจ้าหน้าที่โรงงาน กำหนดและวิเคราะห์มาตรการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขประเมินผล โดยมีผู้เชี่ยวชาญเข้าไปโรงงานเพื่อแนะนำติดตามผลการทำงานเดือนละ 1 ครั้ง รวม 7 ครั้ง ให้กับทีมงานของแต่ละโรงงาน

ซึ่งผลการเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม นอกจากเป็นการลดต้นทุนการผลิตเพิ่มคุณภาพสินค้าให้ดีขึ้น สิ่งแวดล้อมดีขึ้นเป็นที่ยอมรับของสังคมมากขึ้น ยังเป็นการปรับปรุงขบวนการทำงานภายในใหม่ เปิดโอกาสให้พนักงานได้ระดมสมอง ช่วยกันแก้ปัญหา ทำให้ได้รับความรู้ เพิ่มพูนทักษะการทำงานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมอื่นได้เป็นอย่างดี

เพื่อเป็นแนวทางให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมแก่ผู้ประกบการทั่วไป กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงขอนำเสนอมาตรการตัวอย่างที่ดำเนินการแล้วเสร็จชุดที่หนึ่ง ให้ผู้สนใจศึกษา เปรียบเทียบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ดำเนินการในโรงงานของท่านเอง ดังนี้

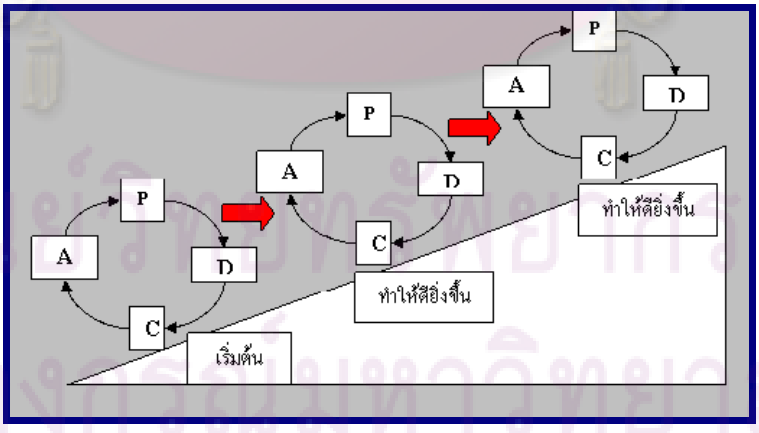
ตัวอย่างการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมด้วยเทคนิคการจัดการ

1. การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
2. การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบทำความร้อน
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักร
4. การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์



รูปที่ 2. 9 โครงสร้างการการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม

โดยสรุปแล้วทั้งระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) และระบบการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม ก็คือการประยุกต์นำวงจรเดมมิ่ง (Demming Cycle) ซึ่งเป็น แนวความคิดในการแก้ไขปัญหา (Problem Solving) และการพัฒนากระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง (Process Continuous Improvement) โดยนำมาใช้กับระบบจัดการด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในสถานประกอบการต่างๆ กระบวนการแก้ไขปัญหาตามแนวทางวงจรเดมมิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ประกอบด้วย



รูปที่ 2. 10 วงจรเดมมิ่ง (Demming Cycle)

- ***การวางแผนและเตรียมการ*** *(Plan)* ซึ่งจะครอบคลุมถึงการ กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย วิธีการแก้ไขและจัดทำแผนดำเนินงาน จากนั้นจึงนำไปสู่ขั้นตอนที่สอง

- ***การลงมือปฏิบัติตามแผน*** *(Do)*

- ***การตรวจสอบ*** *(Check)* ผลลัพธ์ที่เกิดจากการลงมือปฏิบัติตามแผนงานเพื่อให้สามารถเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นและดำเนินการแก้ไขจนได้กระบวนการหรือวิธีการปฏิบัติงานที่สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานได้

- ***การปฏิบัติการใด ๆ ตามผลลัพธ์จากการตรวจสอบ*** *(Action)* หากผลลัพธ์ไม่เป็นไปตามเป้าหมายจะต้องทำการปรับปรุงแก้ไข ในกรณีผลลัพธ์เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ให้จัดทำเป็นมาตรฐาน ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า การนำไปปฏิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปร (Multiple Regression Analysis)

การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปรเป็นการวิเคราะห์สมการของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกันซึ่งพิจารณา สำหรับตัวแปรอิสระ 2 ตัวหรือมากกว่าสองตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในสมการ และมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร คือ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องเป็นอิสระต่อกันและไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยสมการถดถอยหลายตัวแปรดังแสดงในสมการที่ 2.1 คือ

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots b_nX_n \qquad (2.3)$$

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม

$X_1, X_2, \dots, X_n$ = ตัวแปรต้น

a = จุดตัดแกน Y

b_n = Regression coefficient คือค่าของ Y ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อค่า X_n เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ X ตัวอื่นๆ คงที่

ในสมการถดถอยหลายตัวแปร โดยเฉพาะ X_1, X_2 มีโอกาสที่จะเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์โดยค่าเหล่านี้เรียกว่า coefficients of partial regression ปรกติ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ ดังนั้นความไม่สัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1 กับความไม่สัมพันธ์ระหว่าง X_1 และ X_2 จึงเป็นเรื่องปรกติ

2.7.1 การวิเคราะห์ตัวประกอบ (Factor Analysis)

การวิเคราะห์ตัวประกอบ (Factor Analysis) หรือบางครั้งเรียกว่า การวิเคราะห์ปัจจัย เป็นเทคนิคที่จะจับกลุ่มหรือรวมกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือปัจจัยเดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจเป็นไปในทิศทางบวก (ไปในทิศทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) ก็ได้ ส่วนตัวแปรที่คนละปัจจัยจะไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือในอีกความหมายหนึ่งของการวิเคราะห์องค์ประกอบ หรือเรียกว่า การวิเคราะห์ตัวประกอบ เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ผลการวัด โดยใช้เครื่องมือหรือเทคนิคหลายชุดหรือหลายด้าน อาจใช้แบบทดสอบแบบวัด แบบสำรวจ ฯลฯ อาจใช้ชุดเดียวแต่มีการวัดแยกเป็นรายด้าน หรือหลายชุดก็ได้ ผลการ

วิเคราะห์จะช่วยให้ทราบว่า เครื่องมือหรือเทคนิคเหล่านั้นวัดแต่ละองค์ประกอบมากน้อยเพียงใด สำหรับการพิจารณาผลจากการวิเคราะห์จะใช้หลักเหตุผล ระบุ (หรือกำหนดชื่อ) องค์ประกอบที่วัดนั้น ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบจะปรากฏค่าต่างๆ ที่สำคัญ คือ Communality ซึ่งเขียนด้วย h2 เป็นค่าความแปรปรวนที่แต่ละด้าน แบ่งให้กับแต่ละองค์ประกอบ เป็นส่วนที่ชี้ว่าแต่ละด้าน วัดองค์ประกอบนั้นร่วมกับตัวแปรอื่นมากน้อยเพียงใด ค่า Eigenvalues เป็นผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธ์ ขององค์ประกอบร่วมในแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 จึงจะถือว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งๆ ที่แท้จริง ส่วน Factor Loading เป็นค่าน้ำหนัก องค์ประกอบที่แต่ละฉบับ (ด้าน) วัดในองค์ประกอบนั้น นอกจากนี้ ส.วาสนา ก็ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบว่าจะยึดหลักที่ว่าตัวแปรหรือข้อมูลต่างๆ มีความสัมพันธ์กันมาก เนื่องมาจากตัวแปรเหล่านี้มีองค์ประกอบร่วมกัน (Common Factor) สังเกตได้จาก การจัดกลุ่มของ ตัวแปรหรือค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังนั้น สามารถใช้องค์ประกอบร่วม แทนตัวแปรกลุ่มนั้นได้ ทำให้ทราบถึงโครงสร้างและแบบแผนของข้อมูล ทำให้หาองค์ประกอบร่วมของตัวแปรได้ และสามารถหาน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) ของตัวแปรแต่ละตัวได้ ซึ่งค่าน้ำหนักองค์ประกอบนี้สามารถอธิบายได้ถึง ความแปรปรวนร่วมระหว่างกันของตัวแปร ทำให้ทราบถึงโครงสร้างและแบบแผนของข้อมูล ทำให้หาองค์ประกอบร่วมของแต่ละตัวได้ ซึ่งค่าน้ำหนักองค์ประกอบนี้ สามารถอธิบายได้ถึงความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรกับองค์ประกอบนั้นอันแสดงถึงขนาด (Magnitude) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับองค์ประกอบ

1) วัตถุประสงค์ของเทคนิค Factor Analysis มีดังนี้

- เพื่อศึกษาว่าตัวประกอบร่วมที่จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างตัวแปรต่างๆ โดยที่จำนวนตัวประกอบร่วมที่หาได้จะมีจำนวนน้อยกว่า จำนวนตัวแปรนั้นมีตัวประกอบร่วมอะไรบ้าง โมเดลนี้ เรียกว่า Exploration Factor Analysis Model

- เพื่อศึกษาการทดสอบสมมติฐาน เกี่ยวกับโครงสร้างของตัวประกอบว่า ตัวประกอบแต่ละตัวประกอบด้วยตัวแปรอะไรบ้าง และตัวแปรแต่ละตัวควรมีน้ำหนักหรืออัตราความสัมพันธ์กับตัวประกอบมากน้อยเพียงใดตรงกับที่คาดคะเนไว้หรือไม่ หรือสรุปได้ว่าเพื่อต้องการทดสอบว่าตัวประกอบอย่างนี้ตรงกับโมเดลหรือตรงกับทฤษฎีที่มีอยู่หรือไม่ โมเดลนี้เรียกว่า Confirmatory Factor Analysis Model

2) ประโยชน์ของเทคนิค Factor Analysis มีดังนี้

- ลดจำนวนตัวแปร โดยการรวมตัวแปรหลายๆ ตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน ปัจจัยที่ได้ถือเป็นตัวแปรใหม่ที่สามารถหาค่าข้อมูลของปัจจัยที่สร้างขึ้นได้ เรียกว่า Factor Score แล้ว จึงสามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป เช่น การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์ (Regression and Correlation Analysis) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การทดสอบสมมติฐาน t-test Z- test และการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) เป็นต้น

- ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาอันเนื่องมาจากการที่ตัวแปรอิสระของเทคนิคการวิเคราะห์สมการความถดถอย มีความสัมพันธ์กัน (Multicollinearity) ซึ่งวิธีการอย่างหนึ่งในการแก้ปัญหานี้ คือ การรวมตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ไว้ด้วยกัน โดยการสร้างเป็นตัวแปรใหม่หรือเรียกว่าปัจจัย โดยใช้เทคนิค Factor Analysis แล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยต่อไป

- ทำให้เห็นโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากเทคนิค Factor Analysis จะหาค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรทีละคู่แล้วรวมตัวแปรที่สัมพันธ์กันมากไว้ในปัจจัยเดียวกัน จึงสามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ทีอยู่ในปัจจัยเดียวกันได้ ทำให้สามารถอธิบายความหมายของแต่ละปัจจัยได้ ตามความหมายของตัวแปรต่างๆที่อยู่ในปัจจัยนั้น ทำให้สามารถนำไปใช้ในด้านการวางแผนได้ เช่น ศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้า

2.7.2 **วิธีการคัดเลือกตัวแปร**

วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการเพื่อให้สมการสามารถทำนายตัวแปรตามได้ดีที่สุด โดยจะใช้วิธีคัดเลือกตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward Selection) ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการนำตัวแปรทำนายทั้งหมดเข้าสมการจากนั้นก็จะค่อยๆ ขจัดตัวแปรทำนายออกทีละตัว โดยจะหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่อยู่ในสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรทำนายอื่นๆ ออกแล้ว หากทดสอบค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะขจัดออกจากสมการ แล้วดำเนินการทดสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ในสมการต่อไป จนกระทั่งสหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรทำนายแต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรอื่นๆ ออกแล้วพบว่ามีระดับนัยสำคัญทางสถิติ

ก็จะหยุดการคัดเลือกและได้สมการการทดสอบที่มีสัมประสิทธิ์การทำนายสูงสุด ขั้นตอนการวิเคราะห์การคัดเลือกตัวแปรและการหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ

2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆจะแบ่งการศึกษาออกเป็นการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน การจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ และส่วนที่สองคือ การศึกษาแนวทางอนุรักษ์พลังงานของต่างประเทศ

2.8.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

1) **การุณย์ ศุภมิตรโยธิน** (2550) จากผลการศึกษา “เกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น” พบว่าปัจจัยการออกแบบอาคารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ประกอบด้วย

- อัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะรูปทรงอาคาร พื้นที่ใช้สอย และจำนวนชั้น เช่น อาคารรูปทรงกระบอกความกว้างและความสูงใกล้เคียงกันพื้นที่ใช้สอย 10,000 ตารางเมตร ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 0.59 จะมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานสูงสุด สำหรับอาคารทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้ามีคอร์ดกลาง ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 2.3 มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานต่ำสุด

- วัสดุเปลือกอาคารต้องสามารถลดการถ่ายเทความร้อยเข้าสู่อาคาร โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของวัสดุควรมีค่าต่ำ เช่น ผนัง EIFS (0.06 Btu/h.sq.ft F) เป็นต้น

- การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ พิจารณาจากอัตราส่วนปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากช่องแสงต่อพลังงานที่ประหยัดลงได้เนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ ซึ่งอัตราส่วนนี้มีควรค่าน้อยกว่า 1 (อัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.8)

ทั้งนี้ผลการศึกษาดังกล่าว ได้ระบุถึงศักยภาพในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของอาคารที่คำนึงถึงการออกแบบอย่างประหยัดพลังงาน จะสามารถลดการใช้

พลังงานลงได้ถึง 41 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ไม่มีการคำนึงถึงปัจจัยการประหยัดพลังงานในขั้นตอนการออกแบบ อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวได้พิจารณาเฉพาะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเท่านั้น

2) H. sun et al., (2006) จากงานวิจัยเรื่อง Building energy performance benchmarking and simulation under tropical climatic conditions ได้ศึกษาการจัดทำเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในประเทศสิงคโปร์ โดยวิธีที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่ การจัดทำแบบสอบถามโดยทำการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์และออกสำรวจตามอาคารต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร ได้แก่ อายุอาคาร ลักษณะการใช้งานในอาคาร ชนิดของระบบปรับอากาศ ระบบที่ใช้ควบคุมอาคาร ชั่วโมงการทำงาน

ส่วนที่ 2 การใช้พื้นที่ภายในอาคารซึ่งรวมถึงพื้นที่อื่นๆ ซึ่งมีความหลากหลายในการใช้งานในพื้นที่นั้นๆ พื้นที่ใช้สอยจริง จำนวนพนักงาน และจำนวนคอมพิวเตอร์

ส่วนที่ 3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทั้งหมด

จากข้อมูลแบบสอบถามตัวแปรที่นำมาพิจารณาสำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้

- อายุอาคาร (ปี)
- ประเภทการใช้งานในอาคาร (อาคารราชการและอาคารเอกชน)
- ลักษณะการใช้งาน (อาคารสำนักงานและอาคารสำนักงานที่มีร้านค้า)
- พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร)
- พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)
- ร้อยละของพื้นที่ใช้สอยจริง (%)
- ความหนาแน่นของพนักงานในอาคาร (จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร)

หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานคือ พื้นที่ใช้สอยและประเภทการใช้งานอาคาร ที่ระดับความเชื่อมั่น 89%

3) Terry Sharp (1996) จากงานวิจัยเรื่อง Energy benchmarking in commercial-office buildings ได้ใช้ข้อตกลงเดียวกับ Simple normalized EUI ซึ่งไม่ดีพอที่จะให้คะแนนในด้านการจัดลำดับการใช้พลังงานดังนั้นในการคำนวณผลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานนั้นจึงมีการปรับพัฒนาเกณฑ์ตัดสินโดยใช้ 'Multi variance linear - regression' เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะสำคัญบางประการของอาคารกับค่า EUI และนอกจากนี้ Sharp ยังเห็นด้วยกับที่ว่าค่า Mean EUI เป็นเกณฑ์ที่ไม่ดีนักในฐานะที่จะใช้เป็นตัวชี้วัดการกระจายตัว ดังนั้น Sharp จึงใช้ค่าของ Standard error ของผลจาก regression model ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของเกณฑ์ออกมาในรูปแบบตารางซึ่งมีความน่าเชื่อถือกว่าในกรณีของเกณฑ์ที่ใช้กับอาคารที่มีลักษณะจำเพาะจะใช้ "Best – fitted regression model" ในการคำนวณค่า Predicted EUI ซึ่งค่า Predicted EUI นี้ ตารางเกณฑ์การกระจายตัว (% table) ถูกคำนวณจากค่า mean of standard error distribution โดยที่แท้จริงของ EUI "actual EUI" สามารถเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในรูปแบบแต้มที่เป็นตาราง Sharp Method ถูกนำมาใช้ใน Asia – Pacific Economic Cooperation Energy Benchmark System และนำมาประยุกต์เป็น Energy star Benchmarkส่วนเกณฑ์อื่นๆ ที่ใช้อยู่บน Model regression (Distribution of residuals) ในทางตรงกันข้าม (ใช้พื้นฐานบน Standard error distribution) ใน Sharp's Method นั้น Residual เป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่า Predictive EUI ค่า Residual อาจถูก treat ในกรณีที่เป็นตัววัดการไม่มีประสิทธิภาพโดยได้หาตัวแปรที่ส่งผลกระทบกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานจำนวนทั้งสิ้น 33 ตัวแปร หลังจากทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบ Stepwise เพื่อหาตัวแปรที่แท้จริงที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งหลังจากการวิเคราะห์จะได้แบบจำลองโดยตัวแปรที่มีความสำคัญมากสำหรับแบบจำลองนี้คือ

- ความหนาแน่นของพนักงาน (คนต่อตารางเมตร)
- จำนวนผู้ใช้คอมพิวเตอร์ภายในอาคาร (คน)

4) William Chung, Y.V. Hui, Y. Miu Lam (2005) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings ซึ่งงานวิจัยนี้อธิบายถึงกระบวนการในการหาเกณฑ์สำหรับบอกประสิทธิภาพของพลังงานโดยใช้ค่า means ในการใช้สถิติแบบ Multiple regression analysis ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการใช้พลังงาน (EUIs) กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (เช่น ชั่วโมงการทำงาน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จาการใช้ Regression model พบว่าค่าความเข้มการใช้พลังงานเป็น normal โดยการที่กำจัดปัจจัยที่ส่งผลต่อ Explanatory factor ออกแล้ว และเมื่อนำค่าการกระจายตัวสะสมของ Normal EUI จะให้ตาราง Benchmark เพื่อเป็นเกณฑ์ในการสังเกตค่า EUI

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือให้ตารางแสดงค่าที่เป็นการกระจายตัวปกติของค่า EUI เมื่อนำมาคำนวณกับ Explanatory factor ที่มีผลต่อการใช้พลังงานโดยการนำไปใช้ในซุปเปอร์มาร์เก็ต ปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยปัจจัยที่ได้นำมาศึกษาและมีผลต่อการใช้พลังงานคือ

- อายุอาคาร
- พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
- จำนวนลูกค้าที่มาใช้บริการต่อปี
- ชั่วโมงการทำงานต่อปี
- พฤติกรรมการปฏิบัติและบำรุงรักษา
- ชนิดของระบบทำความเย็นภายในอาคาร

5) **Wen Shing Lee** (2007) จากงานวิจัยเรื่อง Benchmark the energy efficiency of government building with data envelopment analysis โดยได้สร้างสมการระหว่างการใช้พลังงานและปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารเท่านั้น และตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้แก่

- ความหนาแน่นของคน (people/100m^2)
- ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก
- ค่าเฉลี่ยของชั่วโมงที่ฝนตกต่อเดือน (h/month)

6) **Patterson MG. และ Haas R.** (1997) ได้ทำการศึกษาการกำหนดนิยามและความสำคัญของตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานกล่าวว่า ในการบอกประสิทธิภาพของพลังงานนี้มักอ้างถึงการใช้พลังงานที่น้อยกว่าเพื่อผลิตสินค้าออกมาในปริมาณที่เท่ากัน โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพของพลังงานจะใช้ในการกำหนดระดับการใช้พลังงานในระบบ

7) **Federspiel C, Zhang Q, Arens E.** (2002) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Model – based benchmarking with application to laboratory building พบว่า เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน สามารถใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของพลังงานได้ ซึ่ง

Model ของเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของพลังงานนั้น พัฒนามาจากตัวชี้วัดที่มีคุณภาพ ทั้งจากภาครัฐและเอกชน โดยในส่วนของภาครัฐนั้น Federspiel และคณะได้นำเครื่องมือนี้มาเป็นสูตรในการกำหนดนโยบายสำหรับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคาร

8) Filippin C. (2000) ใช้ข้อมูลตัวอย่างการใช้พลังงานกับพื้นที่ใช้สอยในการคำนวณค่าการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity: EUI) ในหน่วย Kwh/ft^2 หรือ MJ/m^2 ในการคำนวณอาคารในโรงเรียนที่ Central Agentina

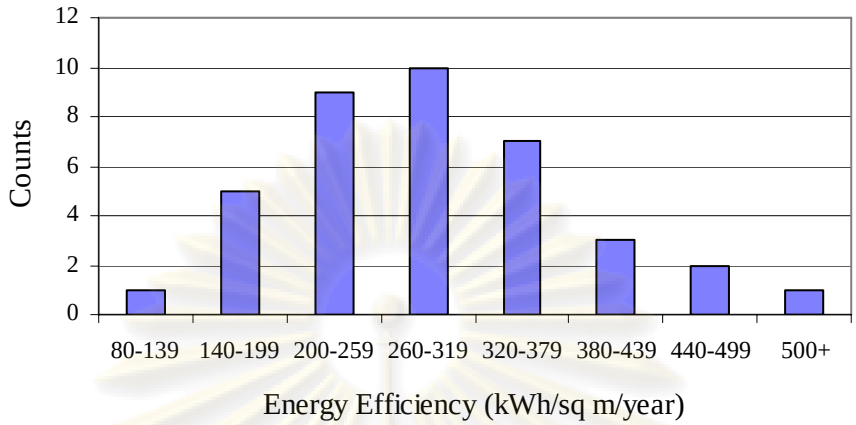
9) Monts และ Blissett (1982) ได้วิเคราะห์ถึงข้อจำกัดของการใช้ Simple normalized EUI ในอาคารการค้า ว่าอาจมีปัจจัยอื่น (เช่น HVAC system) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการใช้พลังงานในระบบอาคารที่จำเพาะขึ้น (สูงขึ้นหรือต่ำลง) เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่เท่ากัน

10) Lovell-Smith และ Baldmin (1988) ใช้ค่า residuals ที่คล้ายกันแต่ไม่ได้มาจาก Regression Model อย่างไรก็ตามการใช้ Mean EUI จากตัวอย่างให้เป็น Predicted EUI โดยไม่คำนึงถึง normalize ปัจจัยอื่นที่ Significant ยิ่งไปกว่า นั่นคือตารางประเภทนี้ไม่ได้ให้ค่า Actual EUI distributed แทน

11) กรกมล ตันติวนิช (2549) การจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในกรุงเทพฯจากผลการศึกษา “การจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในกรุงเทพฯ” ได้นำเสนอเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร ในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีและกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน โดยได้เก็บข้อมูลอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารควบคุมและเป็นอาคารสูงมากกว่า 15 ชั้น ใช้ระบบปรับอากาศในอาคารแบบรวมศูนย์ จำนวนทั้งสิ้น 41 อาคาร โดยสามารถวิเคราะห์หาค่าเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ผลการศึกษาหาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 40 แห่ง

เกณฑ์การใช้พลังงาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยมัธยฐาน (Median)	SD
kWh/m^2/year	90	488	233	225	89



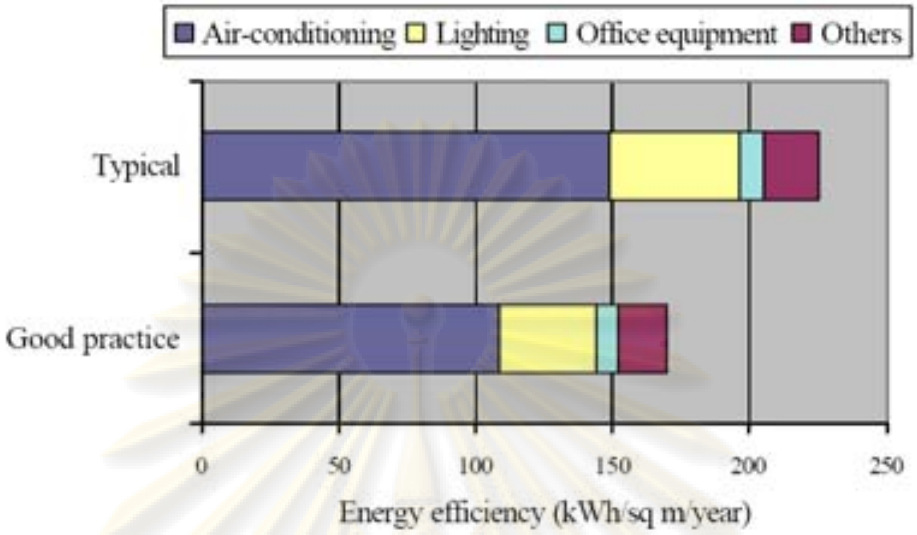
รูปที่ 2. 11 การกระจายตัวของเกณฑ์การใช้พลังงานของกลุ่มอาคารตัวอย่าง

นอกจากนี้ผลการศึกษายังได้จัดแบ่งลักษณะการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานออกเป็น อาคารที่มีการดำเนินงานที่ดี (Good Practice) และอาคารทั่วไป (Typical) ซึ่งอาคารทั้ง 2 ประเภท จะมีเกณฑ์การใช้พลังงานที่แตกต่างกัน คือมีค่าประมาณ 170 kWh/m^2/year และ 225 kWh/m^2/year ตามลำดับ โดยสามารถแบ่งสัดส่วนเกณฑ์การใช้พลังงานในแต่ละประเภทอาคารได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร Good Practice และอาคาร Typical

Systems	Good Practice	Typical
	(kWh/m2/year)	(kWh/m2/year)
Air-conditioning	109	149
Lighting	35	47
Office equipment	8	9
Others	19	20
Total	170	225

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2. 12 สัดส่วนการใช้พลังงานระบบต่างๆ

ผลการศึกษาได้สรุปไว้ว่า เพื่อริเริ่มให้มีการบริหารจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานอย่างเป็นระบบ เกณฑ์การใช้พลังงานสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานต่างๆ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบกับการกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงานของกลุ่มอาคารสำนักงาน (Benchmark)

12) **ปริมลาภ วสุวัต** (2542) จากวิทยานิพนธ์เรื่อง กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ: กรณีศึกษา อาคารกองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศ ดอนเมือง ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อหากลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมในเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น สำหรับอาคารสำนักงานราชการขนาด 2,460 ตารางเมตร โดยทำการสำรวจ ประเมิน และวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมอุณหภูมิและการใช้พลังงานในอาคาร แบบจำลองสภาพการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1 D เพื่อประเมินผลการใช้พลังงานในอาคารเมื่อทำการปรับปรุงองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของแต่ละวิธี

พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ของอาคารกรณีศึกษาได้ถูกนำไปใช้กับระบบปรับอากาศ เนื่องจากคุณสมบัติองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมได้แก่ ลักษณะเปลือกอาคารประกอบด้วยผนังทึบ ช่องแสง และการรั่วไหลอากาศผ่านรอยรั่วของหน้าต่างที่ไม่สามารถต้านทานการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารก็มีผลต่อความร้อนเนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ปรับอากาศส่งผลต่อการเพิ่มภาระความเย็นในอาคารเช่นกัน

ผลการศึกษาสามารถนำเสนอเป็นแผนกลยุทธ์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 4 แนวทาง ซึ่งการปรับปรุงแต่ละแนวทางสามารถลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 10.18 – 18.56 และมีมูลค่าการลงทุนระหว่าง 411,950 ถึง 1,050,910 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 10 ปี

13) **รัชฎา พิทยานนท์** (2548) จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำ : การประยุกต์กับประสิทธิภาพของการอนุรักษ์พลังงาน สรุปได้ว่า วัตถุประสงค์สำคัญอยู่ที่การศึกษา และวิเคราะห์แนวโน้มประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำของประเทศไทยโดยใช้ดัชนีดิวิเซีย (Divisia Index) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) ซึ่งผลการวิเคราะห์จะถูกนำไปเชื่อมโยงกับข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ และพลังงาน เพื่อจัดทำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการด้านพลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำซึ่งประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมเสื้อผ้าที่ผลิตจากผ้าถัก และอุตสาหกรรมเสื้อผ้าที่ผลิตจากผ้าทอ ประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำทั้งหมดนี้ยังถือได้ว่าขาดประสิทธิภาพ และมีโอกาสที่จะเพิ่มสูงขึ้นในทุกแหล่งพลังงาน

สำหรับข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการด้านพลังงานนั้นถูกรวบรวมขึ้นมาจากกรณีศึกษาโครงการด้านพลังงานที่สำคัญ และเทคนิคการจัดการด้านวิศวกรรมแบบต่างๆ ซึ่งค่าการอนุรักษ์พลังงานที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้เป็นค่าประเมินในการประเมินการอนุรักษ์พลังงานในส่วนของการวิเคราะห์สถานการณ์ ซึ่งเป็นส่วนที่จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของเหตุการณ์ในอนาคตที่ส่งผลต่อความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งผลของการวิเคราะห์สถานการณ์ชี้ให้เห็นว่าการดำเนินการ และความสามารถในการปรับปรุงค่าความเข้มพลังงานในสถานการณ์ต่างๆ จะแตกต่างกันออกไป และกลไกที่สำคัญในแต่ละสถานการณ์ก็แตกต่างกันออกไปด้วย

14) **กันต์ธร เก่งพล** (2541) จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงแรม กรณีศึกษา: โรงแรมขนาดกลางและเล็ก สรุปได้ว่า วิธีการประหยัดพลังงานนั้นควรทำทุกส่วนของการใช้พลังงาน โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้ 1. การประหยัดพลังงานในอาคาร 2. การประหยัดพลังงานในภาคอุตสาหกรรม 3. การประหยัดพลังงานในภาคขนส่ง 4. การประหยัดพลังงานในด้านการใช้ไฟฟ้า จากการศึกษาวิธีการที่เหมาะสม ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงแรมขนาดกลางและเล็กพบว่ามีปัจจัยอยู่ 2 ประการในการควบคุมเพื่อให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ คือ

1. ลักษณะการใช้งานของผู้ใช้
2. อุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ใช้งานร่วม

การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า ผู้ใช้งานมักจะละเลยเรื่องการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า จึงควรมีการตรวจวัดและบำรุงรักษา เช่น

- เปิดใช้ Cooling Towerให้มีปริมาณการระบายความร้อนใกล้เคียงกับปริมาณการทำความเย็นของ Chiller
- การทำความสะอาด Cooling Tower
- การทำความสะอาดส่วนถ่ายเทความร้อนในระบบปรับอากาศแบบ Split Type
- การปรับ Tap หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าลดลง ทำให้ Iron Loss ลดลง

ในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์การใช้งานร่วมมักใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพต่ำและมีการสูญเสียสูง สามารถแก้ไขได้ดังนี้

- ใช้หลอด Compact Fluorescent แทนหลอด Incandescent
- ใช้หลอด Fluorescent แบบประหยัดพลังงานแทนแบบไม่ประหยัดพลังงาน
- ใช้บัลลาสต์ Low Loss แทนบัลลาสต์ธรรมดา

15) **สุพงศ์ ชยุตสาหกิจ** (2524) จากบทความเรื่อง ประสบการณ์ประหยัดพลังงานในโรงงานของบริษัท เทยิน ลิเอสเตอร์ สรุปได้ว่า หลักสำคัญในการทำโครงการประหยัดพลังงานไม่ใช่เป็นการห้ามใช้พลังงาน แต่เป็นการหาทางใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด ให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด การประหยัดพลังงาน หมายถึง การทำให้ต้นทุนการผลิตสินค้าส่วนของพลังงานลดลง การประหยัดพลังงานจึงหมายถึง การหยุดยั้ง ลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นซ่อมและเปลี่ยนเครื่องจักรให้เหมาะป้องกันพลังงานรั่วไหล เก็บคืนพลังงานที่ทิ้งแล้ว ทดลองการใช้เชื้อเพลิงชนิดใหม่ พลังงานแหล่งใหม่ และการเพิ่มกำลังการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8.2 แนวทางการศึกษาแนวทางอนุรักษ์พลังงานของต่างประเทศ

1) ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.1) Energy Star Program

ใน ปี ค.ศ.1999 สำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U. S. Environmental Protection Agency: EPA) ได้จัดทำวิธีการในการประเมินค่าหรือเกณฑ์มาตรฐานในการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน โดยเทียบเคียงกับอาคารประเภทเดียวกันทั่วทั้งสหรัฐอเมริกา ประเมินค่าจากตัวแปรสำคัญในการใช้พลังงาน เช่น สภาพภูมิอากาศและลักษณะทางกายภาพของอาคาร หากอาคารใดที่มีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ใน 25 เปอร์เซ็นต์แรกของอาคารทั่วประเทศ หรือเท่ากับค่าประสิทธิภาพที่มีคะแนน 75 คะแนน หรือมากกว่าจากช่วงคะแนน 1-100 และสามารถรักษาสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้ได้คุณภาพแล้ว ก็จะได้รับคัดเลือกให้เป็นอาคาร ENERGY STAR

ENERGY STAR เป็นโครงการภาคสมัครใจที่ได้รับการสนับสนุนจากกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Energy: DOE) และ สำนักงาน EPA ในการคิดค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้นจะไปคิดรวมพลังงานที่ผลิตได้เองของอาคารโดยตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานคือ พื้นที่ใช้สอยในอาคารและค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร

1.2) การกำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำของอุปกรณ์

กระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริกา (DOE) ได้กำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำของอุปกรณ์ที่ใช้ในครัวเรือน และใช้ในอาคารเชิงพาณิชย์ ซึ่งผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าอุปกรณ์มาจำหน่ายในประเทศสหรัฐอเมริกา จะต้องมีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตามเกณฑ์ประสิทธิภาพขั้นต่ำดังกล่าว โดยปัจจุบันมีรายการอุปกรณ์ที่ได้กำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3) **โครงการ** LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

องค์กรอิสระในประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ได้จัดทำโปรแกรมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ซึ่งเป็นองค์กร U.S. Green Building Council โดยได้ทำการออกระบบการจัดลำดับคะแนนอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม (Green Building Rating Systems™) ที่เรียกว่าโครงการ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ซึ่งเป็นโปรแกรมเพื่อการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของอาคารอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

โปรแกรม LEED ดังกล่าวจะมีการออกใบรับรอง (Certificate) ให้กับอาคารที่สามารถอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในประเด็นต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ความสามารถในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร การประหยัดน้ำ การเลือกใช้วัสดุ และการปรับปรุงคุณภาพของอากาศภายในอาคาร โดยแบ่งเป็น Rating System สำหรับอาคารสร้างใหม่และอาคารที่มีอยู่เดิม นอกจากนี้ภายใต้โครงการดังกล่าวยังมีการออกใบรับรองผู้ประกอบวิชาชีพสถาปนิก (LEED Accredited Professionals: LEED APs) ปัจจุบันมีผู้ได้ใบรับรองดังกล่าวแล้วมากกว่า 43,000 คน ตั้งแต่เริ่มต้นโครงการเมื่อปี 2001

1.4) Building Energy Codes

กระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Energy: DOE) ได้กำหนดมาตรฐานการใช้พลังงานของอาคาร (Building Energy Codes) โดยได้ดำเนินการร่วมกับรัฐบาลของแต่ละมลรัฐ ในการจัดทำข้อกำหนดมาตรฐานของการใช้พลังงานในอาคาร และได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารตามข้อกำหนดมาตรฐานการใช้พลังงาน ได้แก่

- REScheck (สำหรับอาคารบ้านพักที่อยู่อาศัย)

- COMcheck (สำหรับอาคารเชิงพาณิชย์)

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของอาคารที่ใช้งานเชิงพาณิชย์ (Commercial Building) ได้มีการพัฒนาโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารให้อยู่ในรูปแบบ Web Based โดยจะประเมินในกรอบหัวข้อต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้แก่ กรอบอาคาร (Envelope) ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้งาน (Lighting System) และระบบทางกลของอาคาร (ได้แก่ ระบบ HVAC, ระบบทำความร้อน)

1.5) กิจกรรมด้านการวิจัยและพัฒนา (Research & Development)

DOE ได้สนับสนุนและส่งเสริมการค้นคว้าวิจัยและพัฒนา เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร โดยได้แบ่งโปรแกรมการวิจัยและพัฒนาออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

- **Emerging Technology**

เป็นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารในอนาคตอันใกล้ ซึ่งครอบคลุมหัวข้อการวิจัยต่างๆ ได้แก่ Appliances, Heating/Cooling and Commercial Refrigeration, Lighting, Walls/Roofs and Foundations, Windows and Doors

- **Technology Integration**

เป็นการสนับสนุนการใช้นำเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้งานเข้าด้วยกันเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยมีตัวอย่างของโครงการ ดังนี้

Building America: เป็นโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยโดยมีเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานลง 70% และเพิ่มการใช้พลังงานทดแทนขึ้น 30% ภายในปี 2020

Zero Energy Building: เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนต่างๆ เช่น PV System มาประยุกต์ใช้กับบ้านพักอาศัย เพื่อให้สามารถผลิตพลังงานทดแทนได้เพียงพอกับการใช้งานของอาคาร กับระบบปรับ

High Performance Building: สนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร และเครื่องมือจำลองต่างๆ (Simulation Tools) รวมถึงการวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ และการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารเชิงพาณิชย์

2) ประเทศสหราชอาณาจักร

โปรแกรมการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรัฐบาลอังกฤษ ได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสาร Energy Consumption Guide 19 (ECON 19) ในเดือนธันวาคม 2001 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ตระหนักถึงการปรับรูปแบบการใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดการจัดการที่ดีภายในอาคารสำนักงาน นอกจากนี้ยังจัดทำเพื่อสร้างเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อให้ผู้จัดการอาคารหรือเจ้าของอาคารได้เปรียบเทียบศักยภาพของอาคารสำนักงานของตัวเองกับอาคารสำนักงานอื่น โดยเกณฑ์ที่ใช้จะมีหน่วยเป็น kWh/m^2 และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อปีมีหน่วยเป็น £/m^2 และค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งปีมีหน่วยเป็น kg-CO_2/m^2 นอกจากนี้ ECON 19 ยังจัดทำขึ้นเพื่อรวมเกณฑ์ในระบบต่างๆ ได้แก่

- ระบบทำความร้อน
- ระบบทำความเย็น
- ระบบการควบคุมความชื้น
- ระบบแสงสว่าง
- อุปกรณ์สำนักงาน
- ห้องคอมพิวเตอร์

และยังได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการพลังงานให้ดีขึ้นซึ่งจะประกอบด้วยระบบทั่วไปและระบบ Good Practice สำหรับ 4 ประเภทที่แตกต่างกันของอาคารสำนักงานได้แก่

- Naturally ventilated cellular มีขนาดพื้นที่ 100 – 3,000 ตรม.
- Naturally ventilated open-plan มีขนาดพื้นที่ 500 – 4,000 ตรม.
- Air-conditioned standard มีขนาดพื้นที่ 2,000 – 8,000 ตรม.
- Air-conditioned prestige มีขนาดพื้นที่ 4,000 – 20,000 ตรม.

และในส่วนท้ายของคู่มือนี้ยังเป็น Checklist สำหรับผู้จัดการอาคารอีกด้วย ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นประเภทของอาคารสำนักงานที่มีระบบปรับอากาศจะมีเฉพาะแค่ประเภทที่ 4 ซึ่งจะมีพื้นที่ขนาด 4,000 – 20,000 ตรม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ประเทศแคนาดา

ประเทศแคนาดา โดยหน่วยงาน Natural Resources Canada (NRCan) เป็นหน่วยงานหลักในการสนับสนุนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยได้ดำเนินการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารดังนี้

3.1) ต้นแบบข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคาร (The Model National Energy Code for Building, MNECB)

เนื่องจากประเทศแคนาดาเป็นประเทศที่มีการปกครองแบบสมาพันธรัฐ (Confederation) โดยเขตการปกครองแต่ละเขตมีอำนาจในการปกครองตนเอง และมีอำนาจในการออกกฎหมายต่างๆ รวมถึงข้อกำหนดการใช้พลังงานอย่างอิสระ ดังนั้นต้นแบบข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคาร(MNECB) จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้เขตการปกครองนำทั้งหมดหรือบางส่วนของต้นแบบมาบังคับใช้เพื่อเป็นข้อกำหนดสำหรับท้องถิ่นตนเอง ต้นแบบข้อกำหนดการใช้พลังงานดังกล่าวมีผลบังคับใช้กับอาคารเชิงพาณิชย์ (Commercial Building) ที่มีขนาดตั้งแต่ 10 ตารางเมตรขึ้นไป และอาคารที่พักอาศัยที่มีความสูงมากกว่า 3 ชั้น โดยสามารถแบ่งเนื้อหาของข้อกำหนดฯ ออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

(1) ข้อกำหนดกรอบอาคาร
(2) ข้อกำหนดระบบแสงสว่าง
(3) ข้อกำหนดระบบทำความร้อน ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ (HVAC)
(4) ข้อกำหนดระบบทำน้ำร้อน
(5) ข้อกำหนดระบบไฟฟ้าและมอเตอร์

3.2) การกำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำของอุปกรณ์

“Energy Efficiency Act” เป็นกฎหมายที่กำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำของอุปกรณ์ใช้พลังงาน ซึ่งครอบคลุมรายการอุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่ 4-39 ทั้งนี้ภายใต้ Energy Efficiency Act ได้กำหนดให้อุปกรณ์ 8 ชนิดซึ่งได้แก่ เครื่องอบผ้า (Clothes Dryers) เครื่องซักผ้า (Clothes Washers) เครื่องซักผ้า-อบผ้า (Integrated Over/Under Washer-Dryers) เครื่องล้างจาน (Dishwashers) เตาหุงต้ม-เตาอบไฟฟ้า (Electric Ranges) ตู้แช่ (Freezers) ตู้เย็นหรือตู้เย็นแบบมีตู้แช่ในตัว (Refrigerators

and Combination Refrigerator-Freezers) และเครื่องปรับอากาศ (Room Air Conditioners) จะต้องติดฉลากพลังงาน โดยฉลากพลังงานจะต้องมีข้อมูลที่ผู้บริโภคสามารถใช้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานระหว่างผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเดียวกัน อาทิเช่น

- บาร์สเกลเปรียบเทียบการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเดียวกัน
- ข้อมูลการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูงที่สุดและต่ำที่สุดในผลิตภัณฑ์กลุ่มเดียวกัน
- หมายเลขโมเดลของผลิตภัณฑ์

3.3) ecoENERGY Retrofit Incentive for Buildings

โครงการ ecoENERGY Retrofit ซึ่งได้เริ่มดำเนินการโดย Office of Energy Efficiency (OEE) เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2007 ลักษณะโครงการจะเป็นการให้เงินสนับสนุนแก่เจ้าของบ้าน อาคารเชิงพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรมที่ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยจะได้รับเงินสนับสนุน 10 USD ต่อพลังงานที่ประหยัดได้ 1 GJ (3,600 kWh) ไม่เกินวงเงิน 25% ของมูลค่าวงเงินลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานดังกล่าว และสูงสุดไม่เกิน 50,000 USD ต่อโครงการ ปัจจุบันได้เปิดรับข้อเสนอเป็นรอบที่ 4 นับตั้งแต่เริ่มดำเนินโครงการ (ช่วงเดือนพฤษภาคม 2551 – กุมภาพันธ์ 2552) โดยมีขั้นตอนการสมัครเข้าร่วมโครงการดังนี้

- กรอกใบสมัคร
- เจ้าของอาคาร-สถานประกอบการว่าจ้างผู้ชำนาญการ เพื่อทำการศึกษาการใช้พลังงานเบื้องต้นของอาคาร (Pre-Project Energy Audit)
- เจ้าของอาคาร-สถานประกอบการส่งใบสมัครพร้อมรายการคำนวณผลประหยัดภายในช่วง 22 พฤษภาคม – 27 กุมภาพันธ์ 2552
- OEE ประเมินและแจ้งผลประเมินต่อเจ้าของอาคาร
- เจ้าของอาคาร-สถานประกอบการดำเนินการตามแผนให้แล้วเสร็จภายใน 12 เดือน
- เจ้าของอาคาร-สถานประกอบการส่งรายงานฉบับสุดท้ายภายในระยะเวลา 120 วันภายหลังดำเนินมาตรการแล้วเสร็จ
- OEE อาจส่งเจ้าหน้าที่ไปประเมินและตรวจสอบอาคาร ตามเงื่อนไขของโครงการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- หากการปรับปรุงประสิทธิภาพอาคารดังกล่าว เป็นไปตามเงื่อนไขของโครงการ OEE จะจ่ายเงินสนับสนุนให้แก่เจ้าของอาคาร-สถานประกอบการ

4) ประเทศสิงคโปร์

ในปัจจุบัน องค์การอาคารและการก่อสร้างแห่งประเทศสิงคโปร์ ได้จัดทำแผนงานอาคารอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความพยายามที่จะส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร แผนนี้ประกอบไปด้วยแผนและวิธีการต่าง ๆ ที่จะช่วยในการประหยัดพลังงาน ซึ่งมีผลทำให้อายุการใช้งานของอาคารยืนยาวขึ้น ความต้องการที่จะส่งเสริมอาคารประหยัดพลังงานให้ประสบความสำเร็จในระดับที่สูงขึ้นกระตุ้นให้องค์การฯ มุ่งความสนใจไปที่การกำหนดมาตรฐานของประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารให้สูงขึ้นสำหรับอาคารในประเทศสิงคโปร์ เพื่อยกระดับอาคารจากมาตรฐานทั่วไปที่กำหนดในคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและระบบการจัดการอาคาร หลักเกณฑ์ในการปฏิบัติมากมายได้ถูกแก้ไขปรับปรุงเพื่อการนี้ โดยคณะกรรมการผลิตผลและมาตรฐานแห่งประเทศสิงคโปร์ ในปี พ.ศ. 2542 อาทิเช่น

- Singapore Standard CP 13 : 1999 หลักเกณฑ์ในการปฏิบัติสำหรับการระบายอากาศโดยวิธีกลและการปรับอากาศในอาคาร
- Singapore Standard CP 24 1999 หลักเกณฑ์ในการปฏิบัติสำหรับมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในระบบการจัดการอาคารและอุปกรณ์ประกอบอาคาร
- Singapore Standard CP 38 1999 หลักเกณฑ์ในการปฏิบัติสำหรับระบบแสงสว่างประดิษฐ์ในอาคาร

รัฐบาลสิงคโปร์เชื่อว่า อุตสาหกรรมอาคารต้องใช้เวลาในการปรับตัวเองเพื่อรองรับข้อกำหนดที่ปรับปรุงใหม่ดังกล่าว ดังนั้นอาคารควบคุมที่จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดใหม่นี้ จึงได้แก่อาคารที่ยื่นแบบขออนุญาตหลังวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2543 เป็นต้นมาเท่านั้น ในปัจจุบันรัฐบาลสิงคโปร์กำลังมีความพยายามที่จะกวดขันค่า OTTV ไม่ให้เกิน 35 วัตต์ต่อตารางเมตร (จากเดิม 45 วัตต์ต่อตารางเมตร) รวมทั้งใช้สูตรในการคำนวณแบบใหม่ที่มีชื่อว่า สูตรการคำนวณค่า ETTV (Envelope Thermal Transfer Value) และ RTTV (Roof Transfer Value) หลังจากช่วงที่มีการทดลองใช้สูตรนี้แล้ว ผลที่ได้ จะได้รับการตรวจสอบและพิจารณา ก่อนที่จะประกาศใช้บังคับเป็นมาตรฐานใหม่ต่อไป

ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณค่า ETTV และ RTTV ได้มาจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความแม่นยำสูงที่มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (National University of Singapore) ในช่วงปลายทศวรรษที่ 90 โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศท้องถิ่น ความแตกต่างพื้นฐานระหว่าง OTTV และ ETTV คือ ความเกี่ยวพันสัมพัทธ์ของการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบ ได้แก่ การนำ การพา และการแผ่รังสีผ่านเปลือกอาคาร เชื่อว่า ETTV ให้ผลการคำนวณการส่งผ่านความร้อนผ่านเปลือกอาคารทั้งปี ที่ถูกต้องกว่าการคำนวณแบบ OTTV ดังนั้นมันจึงส่งผลไปถึงการคำนวณค่าการใช้พลังงานในอาคารที่ถูกต้องกว่าด้วย ค่า ETTV เกี่ยวข้องโดยตรงกับความร้อนที่เข้ามาในอาคารและให้ค่าที่ถูกต้องกว่าในการคำนวณประสิทธิภาพของมาตรการต่าง ๆ ที่นำมาปรับปรุงอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าอาคาร

4.1) แผนแม่บทการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคาร (The Building Energy Efficiency Master Plan: BEEMP)

องค์กร IACEE หรือ The Inter–Agency Committee on Energy Efficiency จัดตั้งขึ้นเมื่อปี 1998 มีหน้าที่ในการดูแลเรื่องของการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นของประเทศสิงคโปร์ โดยการออกมาตรการต่างๆ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในส่วนของอาคาร อุตสาหกรรม และระบบขนส่ง โดยมีหน่วยงาน Building and Construction Authority (BCA) เป็นหน่วยงานที่กำหนดแผนแม่บทการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคาร (The Building Energy Efficiency Master Plan: BEEMP) ซึ่งประกอบด้วย

- การทบทวนและปรับปรุงมาตรฐานการใช้พลังงาน
- การสำรวจการใช้พลังงานในอาคาร
- ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Indices: EEI) และการจัดทำ Performance Benchmark
- การจัดการการใช้พลังงานในอาคารสาธารณะ
- Performance Contracting โดยบริษัทจัดการด้านพลังงานหรือ ESCO
- การวิจัยพัฒนา โดย BCA ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (National University of Singapore) ในการวิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2) Code of Practice for Energy Efficiency Standard for Building Services and Equipment (SS 530:2006)

SS 530:2006 เป็นข้อกำหนดและมาตรฐานล่าสุดสำหรับการอนุรักษ์พลังงานในส่วนการใช้งานอาคารและอุปกรณ์ในอาคาร ที่ได้ปรับปรุงจาก Singapore Standard CP24 โดยมาตรฐานดังกล่าวได้อ้างอิงมาจากมาตรฐานของสมาคมปรับอากาศแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาฉบับใหม่ (ASHRAE Standard 90.1) ซึ่งได้ปรับปรุงล่าสุดเมื่อ พฤศจิกายน 2004 โดยมาตรฐาน SS 530:2006 ได้ระบุถึงประสิทธิภาพขั้นต่ำของอุปกรณ์ประกอบอาคารที่ครอบคลุมรายการอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- อุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ ได้แก่ Chiller, เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) เครื่องปรับอากาศขนาดและประเภทต่างๆ เป็นต้น
- Cooling Tower ของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central Air Conditioning System)
- เครื่องทำน้ำร้อน (Water Heater)
- มอเตอร์ ที่ใช้ในระบบสูบน้ำ ระบบส่งถ่ายกำลัง ระบบอัดอากาศ เป็นต้น
- ระบบแสงสว่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีส่งแบบสอบถามด้านการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ตามเค้าโครงของแบบสอบถามที่ได้จัดเตรียมไว้ ทั้งนี้เพื่อให้เข้าถึงปัจจัยที่ต้องการศึกษาอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อนำมาสร้างเป็นแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน จึงได้มีการดำเนินการวิจัยอย่างเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน
ขั้นตอนที่ 2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน
ขั้นตอนที่ 3 การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานที่เหมาะสม

3.1 การรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

ในขั้นตอนนี้ของการวิจัยเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่รวบรวมได้จากทฤษฎี แนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะหาตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้

1. ตัวแปรต้น ในการวิจัยนี้หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร ประกอบด้วย
   - ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประเภทการใช้งานในอาคาร (Building-type factor)
   - ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยภายในอาคาร (Occupancy factor)
   - ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศในอาคาร (Air-condition system)
   - ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะรูปทรงอาคาร (Building shape)
2. ตัวแปรตามในการวิจัยนี้หมายถึง การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน (Energy Consumption) ตลอดทั้งปีโดยมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีส่งแบบสอบถามด้านการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ตามเค้าโครงของแบบสอบถามที่ได้จัดเตรียมไว้ ทั้งนี้เพื่อให้เข้าถึงปัจจัยที่ต้องการศึกษาอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อนำมาสร้างเป็นแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน จึงได้มีการดำเนินการวิจัยอย่างเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ประชากรเป้าหมาย

ประชากรสำหรับงานวิจัยนี้ คือ อาคารสำนักงานที่ขึ้นทะเบียนเป็นอาคารควบคุมประเภทอาคารเดี่ยว และได้แบ่งแหล่งที่มาของข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ข้อมูลแบบปฐมภูมิ (Primary Data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บจากแหล่งข้อมูลโดยตรง (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548) โดยประชากรเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ ผู้จัดการอาคาร ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในอาคารสำนักงาน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องซึ่งทางอาคารได้มอบหมายให้ทำหน้าที่เป็นผู้ให้ข้อมูล ที่ทางผู้ทำวิจัยได้เล็งเห็นแล้วว่ามีประสบการณ์ ความรู้ และความเหมาะสมที่สามารถจะให้ข้อมูลที่มีประโยชน์และถูกต้องตรงตามจุดประสงค์ของงานวิจัยได้

2. ข้อมูลแบบทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เช่น ข้อมูลอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร มาตรการอนุรักษ์ที่อาคารได้ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งได้รับอนุญาตจากองค์กรให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประกอบในงานวิจัยได้

3.2.2 การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ ผู้ศึกษาวิจัยได้คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยการพิจารณาถึงความสามารถในการเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรที่เป็นอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารเดี่ยวในขั้นตอนสุดท้าย โดยมีขั้นตอนและวิธีการ ดังต่อไปนี้

1) สำรวจข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มประชากร

จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ปัจจุบันอาคารที่ถูกควบคุมตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน มีจำนวนทั้งสิ้น 1,646 อาคาร มีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้จำแนกอาคารควบคุมออกเป็น 6 ประเภท

ได้แก่ สำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล ศูนย์การค้า สถาบันการศึกษา และอื่นๆ การกระจายตัวอาคารตามภูมิภาคต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.1

สำหรับในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะของอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารเดี่ยวเท่านั้น กล่าวคือจากอาคารสำนักงานทั้งหมด 636 แห่งซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38.6 ของอาคารควบคุมทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็นอาคารสำนักงานเดี่ยวทั้งสิ้น 273 แห่งและเป็นกลุ่มอาคาร 363 แห่ง (ข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, พพ.)

ตารางที่ 3.1 จำนวนอาคารควบคุมตามภูมิภาค

ชนิดของอาคาร	**จำนวนอาคาร**					**รวม**	**%**
	กรุงเทพฯ	ภาคกลาง	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคใต้		
สำนักงาน	425	101	34	47	29	636	38.6
โรงแรม	99	61	22	24	54	260	15.8
โรงพยาบาล	66	57	35	30	26	214	13.0
ศูนย์การค้า	117	40	18	27	24	226	13.7
สถาบันการศึกษา	65	38	17	24	17	161	9.8
อื่นๆ	109	35	2	1	2	149	9.1
รวม	881	332	128	153	152	1,646	100

แหล่งที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2) **คัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง**

ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยใช้เกณฑ์ในการเลือกคือ จะทำการศึกษาอาคารสำนักงานเฉพาะอาคารเดี่ยวเท่านั้น

3) **จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548)

สูตรที่ใช้

$$n = \frac{NZ^2P(1-P)}{Ne^2 + Z^2P(1-P)} \qquad (3.1)$$

โดยที่ n คือ ขนาดของตัวอย่างที่จะทำการศึกษา

N คือ จำนวนประชากร (อาคารควบคุม) เป้าหมายทั้งหมด โดยใช้จำนวนอาคารจากฐานข้อมูลอาคารควบคุม พพ.

Z คือ ค่าที่กำหนดจากค่าความเชื่อมั่นที่ผู้วิจัยต้องการจะใช้เพื่อสรุปผล ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าระดับความเชื่อมั่น (ในงานวิจัยนี้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 90 %)

P คือ ระดับความหลากหลายของการตอบคำถามของกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจ (Degree of Variability) ซึ่งแสดงเป็นสัดส่วนของคำตอบของประชากรที่อาจจะเบี่ยงเบนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งของประเด็นที่ทำการสำรวจ โดยทั่วไปจะใช้ค่าที่ 0.5 หรือ 50% ซึ่งเป็นค่าในกรณีที่มีความหลากหลายของการตอบคำถามมากที่สุด หรือเป็นค่าที่ Conservative ที่สุด

E คือ ระดับความแม่นยำผลการสำรวจ (Margin of Error) จะต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 หรือ มีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5, ± 5% (ซึ่งหมายถึงช่วงความแม่นยำของผลการสำรวจ) ตัวอย่างเช่น 60% ของผลการสำรวจของกลุ่มตัวอย่างประชากรอยู่ในเกณฑ์ดี จะหมายถึงจำนวนประชากรในช่วง 55%-65% อยู่ในเกณฑ์ดี

จากสมการที่ 3.1 แทนค่าตัวแปร N = 273 องค์กร ค่า Z = 1.28, P = 0.5 และ e = 0.05 ที่ความเชื่อมั่น 90% จะได้จำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลจำนวน 100 ตัวอย่าง (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก)

3.2.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) ข้อมูลแบบปฐมภูมิ

เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความถูกต้องและครบถ้วน ผู้วิจัยจะทำการสัมภาษณ์ตามเค้าโครงของแบบสอบถามที่ได้จัดทำไว้ โดยในตอนแรกผู้วิจัยจะใช้การสนทนาเบื้องต้น เพื่อสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ข้อมูลเบื้องต้นขององค์กร หลังจากนั้นจึงจะเป็นการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (Intensive Interview) เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร การใช้พลังงานในอาคาร นโยบายการอนุรักษ์พลังงาน วิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน และแนวทางในการจัดการพลังงาน

2) ข้อมูลแบบทุติยภูมิ

เป็นข้อมูลที่ผู้ทำวิจัยได้ส่งแบบสอบถาม ข้อมูลดังกล่าวเป็นเอกสารที่เกี่ยวกับข้อมูลเบื้องต้นและการใช้พลังงาน ข้อมูลอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร และมาตรการอนุรักษ์พลังงานเบื้องต้นที่อาคารได้ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน หรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ

งานวิจัย ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้รับในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับผู้ตอบแบบสอบถาม เนื่องจากข้อมูลบางส่วนอาจถือเป็นความลับขององค์กร

3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนามาจากพื้นฐานของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม

1) การพัฒนาแบบสอบถาม

สำหรับการพัฒนาแบบสอบถามนั้นผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบสอบถามตามขั้นตอนการสร้างแบบสอบถาม (รศ. ศิริวรรณและคณะ, 2549) ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ระบุข้อมูลที่ต้องการ

การระบุข้อมูลที่ต้องการนี้เป็นการตัดสินใจว่ามีข้อมูลอะไรบ้างที่ผู้วิจัยต้องการ เป็นขั้นตอนขั้นแรกที่สำคัญในกระบวนการวิจัย และการสร้างแบบสอบถาม โดยข้อมูลเหล่านี้จะระบุไว้ในวัตถุประสงค์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อ

1. รวบรวมปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานในอาคาร กับปัจจัยที่จะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นข้อมูลทางด้านประชากรศาสตร์ ซึ่งในการวิจัยนี้ข้อมูลทางประชากรศาสตร์เกี่ยวกับผู้วิจัยได้แก่ ชื่อ และตำแหน่งของผู้ให้ข้อมูล และได้ทำการชี้แจงอย่างชัดเจนแล้วว่าข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามจะเป็นความลับ ไม่ถูกเปิดเผยต่อสาธารณะในลักษณะที่ระบุว่าผู้ใดเป็นผู้ให้ข้อมูล แต่จะเปิดเผยในรูปของผลสรุปงานวิจัยเท่านั้น

ขั้นที่ 2 ระบุวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลนี้ผู้วิจัยจะแบ่งการรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือการเข้าสำรวจการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานซึ่งจะทำการเข้าสำรวจ 20 แห่งโดยบันทึกข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชอ.) โดยตรงและการส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และถ้าหากอัตราการตอบสนองมีน้อย ผู้วิจัยจะติดตามข้อมูลทางโทรศัพท์ซึ่งในการจัดส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ได้มีการจัดส่งซีดีคู่มืออนุรักษ์พลังงานแนบไปกับแบบสอบถามด้วยเพื่อให้มีสิ่งจูงใจ (ศิวฤทธิ์ พงศกรรังศิลป์, 2547) ในการส่งแบบสอบถามกลับคืน

ขั้นที่ 3 กำหนดเนื้อหาของคำถามแต่ละคำถาม

จากวัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม สามารถกำหนดเป็นเนื้อหาได้ดังนี้

<u>ส่วนที่</u> <u>1</u> : ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบแบบสอบถาม ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารสำนักงานและการใช้พลังงานในอาคาร ใช้รวบรวมข้อมูลทั่วไปของการใช้พลังงานในอาคาร มีรายละเอียดดังนี้

- ชื่ออาคาร
- ชื่อนิติบุคคล
- TSIC ID, หมายเลขรหัสอาคาร
- ที่ตั้ง
- โทรสาร
- ชื่อผู้ประสานงาน ตำแหน่งผู้ประสานงาน
- จำนวนพนักงานทั้งหมด (คน)
- เริ่มเปิดดำเนินการ (เดือน/ปี)
- เวลาทำการของอาคาร (เวลา น. ถึงเวลา น.)
- จำนวนวันทำงานต่อปี (วัน)
- จำนวนชั้นของอาคาร (ชั้น)
- พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)
- อายุอาคาร (ปี)

<u>ส่วนที่</u> <u>2</u> : ข้อมูลด้านสถิติการใช้พลังงาน ใช้รวบรวมข้อมูลทั่วไปด้านการใช้พลังงานรวมและสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคาร มีรายละเอียดดังนี้

- สถิติการใช้ไฟฟ้า (kWh/ปี) และค่าไฟฟ้า (บาท/ปี) ของปี พ.ศ.2549 - 2550
- สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

<u>ส่วนที่</u> <u>3</u> : ข้อมูลอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร มีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่ จำนวน ขนาดติดตั้ง (kVA)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ข้อมูลชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็น ได้แก่ Chiller Package unit และSplit type (จำนวน, kW, BTU/hr)
- ข้อมูลกำลังไฟฟ้าติดตั้งของระบบลิฟท์หรือบันไดเลื่อน

ส่วนที่ 4 : ข้อมูลด้านกรอบอาคาร มีรายละเอียดดังนี้

- พื้นที่ผิวกรอบอาคารที่เป็นผนังทึบในทิศต่างๆ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและหลังคา
- พื้นที่ผิวกรอบอาคารที่เป็นผนังโปร่งใสในทิศต่างๆ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกทิศตะวันตกและหลังคา

ขั้นที่ 4 กำหนดรูปแบบของคำถาม

หลังจากกำหนดเนื้อหาคำถามในแต่ละส่วนแล้ว ผู้วิจัยจะทำการกำหนดประเภทของคำถามและรูปแบบของคำถามให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ต้องการรวบรวม โดยรูปแบบของคำถามที่นำมาใช้ประกอบด้วย

(1) รูปแบบถามตอบสั้นๆ คือ มีการเว้นที่ว่างไว้ให้ผู้ตอบคำถามเขียนคำตอบลงไปสั้น ๆ

(2) รูปแบบเลือกคำตอบ คือ คำถามในแต่ละข้อจะมีคำตอบระบุไว้ให้ผู้ตอบเลือก โดยมีทั้งแบบที่เลือกคำตอบได้เพียงคำตอบเดียว กับแบบที่เลือกคำตอบได้มากกว่า 1 ข้อ และในงานวิจัยนี้มีคำตอบบางข้อจำเป็นที่จะต้องระบุข้อความบางส่วนลงไปด้วย

ขั้นที่ 5 กำหนดคำพูดที่ใช้ในแต่ละคำถาม

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบว่า ภาษาที่ใช้ในแบบสอบถามควรใช้ให้เหมาะกับระดับความเข้าใจของผู้ตอบแบบสอบถาม และตรงตามวัตถุประสงค์ในการเก็บข้อมูล รวมทั้งมีการตรวจสอบดูว่า วลี ถ้อยคำ และประโยคต่างๆ ที่ใช้ในแบบสอบถามมีความถูกต้องเหมาะสมหรือไม่

ขั้นที่ 6 กำหนดลำดับของคำถาม และ

ขั้นที่ 7 ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของแบบสอบถาม

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบว่าแบบสอบถามได้มีลำดับของคำถามและมีลักษณะทางกายภาพจะมีผลกระทบต่อการตอบคำถามโดยเฉพาะงานวิจัยนี้เป็นแบบสอบถามที่ส่งทาง

ไปรษณีย์ ความยาวของแบบสอบถาม (Questionnaire size) เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากแบบสอบถามที่สั้นจะทำให้ผู้ตอบตอบเสร็จได้โดยเร็วใช้เวลาน้อยและทำให้ผู้ตอบให้ความร่วมมือดีกว่าแบบสอบถามที่ยาวเกินไปซึ่งแบบสอบถามฉบับร่างแสดงในภาคผนวก ข.1

ตารางที่ 3.2 สรุปข้อคำถามและรูปแบบของคำถามที่ใช้

ส่วนหลัก	ส่วนย่อยที่	จุดประสงค์	จำนวนคำถาม	รูปแบบของคำถาม
1. ข้อมูลเบื้องต้น	1	ชื่ออาคาร	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	2	ชื่อนิติบุคคล	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	3	รหัสประจำอาคาร (TSIC ID)	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	4	ที่ตั้งอาคาร	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	5	โทรศัพท์	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	6	ชื่อและตำแหน่งผู้ให้ข้อมูล	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	7	จำนวนพนักงานทั้งหมด	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	8	เวลาทำการของอาคาร	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	9	จำนวนวันทำงานต่อปี	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	10	จำนวนชั้นและความสูงของอาคาร	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	11	อายุอาคาร	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	12	ประเภทการใช้บริการของอาคารและพื้นที่ใช้สอย	2	รูปแบบเลือกคำตอและถามตอบสั้นๆ
2. ข้อมูลด้านสถิติการใช้พลังงาน	1	พลังงานไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าปี พ.ศ. 2549 - 2550	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	2	ค่าไฟฟ้าทั้งหมด	1	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	3	สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบต่างๆ	3	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
3. ข้อมูลอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร	1	ขนาดและจำนวนหม้อแปลงไฟฟ้า	2	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
	2	ชนิดและขนาดระบบปรับอากาศ	3	รูปแบบเลือกคำตอบ
	3	ข้อมูลกำลังไฟฟ้าติดตั้งของระบบลิฟท์หรือบันไดเลื่อน	2	รูปแบบถามตอบสั้นๆ
4. ข้อมูลกรอบอาคาร	1	พื้นที่ผนังทึบและผนังโปร่งใส	5	รูปแบบถามตอบสั้นๆ

ขั้นที่ 8 ตรวจสอบขั้นตอนที่ 1-7 ใหม่และปรับปรุงแบบสอบถามใหม่ถ้าจำเป็น

โดยผู้ทำวิจัยได้ทำการตรวจสอบแบบสอบถามตามขั้นตอนที่ 1-7 ใหม่เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าคำถามที่ใช้ในแบบสอบถามมีความเหมาะสมไม่สับสน ไม่คลุมเครือ ตลอกจนง่ายต่อการตอบ โดยสำรวจการใช้คำพูด ถ้อยคำทุกคำถาม ความหมาย หลังจากได้ทำการตัดข้อคำถามที่ไม่ตรงประเด็น และเพิ่มจำนวนข้อคำถามในแต่ละข้อให้มีความเหมาะสมและสมดุลขึ้นแล้ว ได้มีการปรับปรุงประโยคคำถาม คำศัพท์ วลีที่ใช้เพื่อให้ตรงประเด็นและง่ายต่อการทำความความเข้าใจมากขึ้น

ขั้นที่ 9 นำแบบสอบถามไปทดสอบล่วงหน้าและปรับปรุงในสิ่งที่จำเป็น

เป็นการนำแบบสอบถามที่สร้างเสร็จแล้วไปทดสอบก่อนใช้จริง โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความคล้ายคลึงกับกลุ่มที่ใช้ในงานวิจัย เพื่อให้ทราบถึงข้อเสนอแนะและปัญหาเกี่ยวกับแบบสอบถาม เพื่อการปรับปรุงแก้ไขในสิ่งที่จำเป็นแล้วนำไปทดสอบซ้ำครั้งที่ 2 อีกเพื่อค้นหาปัญหาจากแบบสอบถาม โดยรายละเอียดแบบสอบถามหลังจากที่นำไปทดสอบแล้วแสดงในภาคผนวก ข. 2

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในแต่ละส่วนของแบบสอบถาม จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติ ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานกับการใช้พลังงานฟ้าในอาคารสำนักงานแล้วนำมาจัดทำเป็นแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารที่เหมาะสมต่อไป

3.3 การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากแบบสอบถามตามขั้นตอนที่ 3.2 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรต้นและกลุ่มของตัวแปรตามเพื่อจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ

เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความเหมาะสมจะมีการทดสอบด้วยวิธีการ Lack of Fit หมายถึงการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมกับข้อมูลที่นำมาใช้หรือไม่

3.4 การจัดทำแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดทำแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อเป็นแนวทางให้กับอาคารสำนักงานที่มีการใช้พลังงานที่อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง นำมาเป็นมาตรการในอาคารนั้นๆ เพื่อลดการใช้พลังงานให้น้อยลง โดยทำการรวบรวมจากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลของการดำเนินงาน

จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานแล้วนำมาจัดทำแบบสอบถาม โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นส่วน ๆ ตามลักษณะของข้อมูลและจุดประสงค์ในการศึกษาได้ 3 ส่วน คือ ส่วนแรกคือการหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานโดยทำการศึกษาจากแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หลังจากนั้นในส่วนที่สองก็จะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการส่งแบบสอบถามการใช้พลังงานไปยังอาคารสำนักงานเมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้ว ในส่วนสุดท้ายก็จะทำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณเพื่อจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานที่เหมาะสม

4.1 ตัวแปรที่ส่งต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อสรุปตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน และการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับสถาพการใช้พลังงานและการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงได้ดำเนินการรวบรวมความรู้ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อสรุปเป็นความสัมพันธ์ที่มีความสมเหตุสมผลในการนำมาสู่การทำนายค่าการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้ ดังนี้

4.1.1 การใช้แนวทางพิจารณากลุ่มตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน (สุนทร บุญญาธิการ, 2525)

ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังนี้

1) กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศ (site and climate)
2) กลุ่มตัวแปรด้านอาคารและระบบอาคาร (building and system)
3) กลุ่มตัวแปรด้านผู้ใช้อาคารและการใช้งาน (user and occupancy)

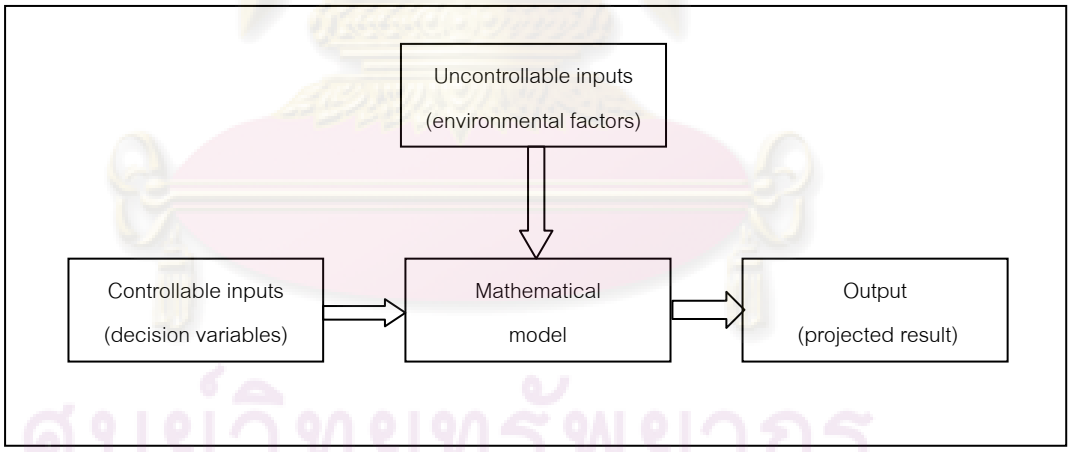
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 การออกแบบรูปทรงเพื่อการประหยัดพลังงาน (สุนทร บุญญาธิการ, 2536)

โดยได้กล่าวถึงการออกแบบรูปทรงที่มีความเหมาะสมต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน จะต้องมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดและมีพื้นที่ใช้สอยมากที่สุดหรือกล่าวได้ว่าต้องมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยน้อยที่สุด (Minimize surface area) เนื่องจากปริมาณความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารจะแปรผันตามกับพื้นที่เปลือกอาคารเมื่ออาคารมีพื้นที่ผิวน้อยจะส่งผลให้ปริมาณความร้อนน้อยด้วย

4.1.3 การพิจารณาจากปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ของการใช้พลังงานในอาคาร (Anderson et al,1997)

โดยได้กล่าวถึงปัจจัยที่นำเข้ามาในกระบวนการจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ซึ่งเมื่อรวมปัจจัยทั้งสองเข้าด้วยกันในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นการใช้พลังงานในอาคารดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 Process of transforming inputs into outputs (Anderson et al., 1997)

โดยปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors) ได้แก่ ลักษณะการออกแบบอาคาร วิธีการปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง การตัดสินใจในด้านการวางชนิดและอุปกรณ์ในระบบต่างๆ ซึ่งจะเหมือนกันกับการจัดสภาพแวดล้อมและการสร้างนโยบายทางด้านการจัดการพลังงาน ในขณะที่ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) นั้นได้แก่ สภาพภูมิอากาศ พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ลักษณะการใช้งานในพื้นที่ ชั่วโมงการทำงาน อายุอาคาร และ จำนวนพนักงานในอาคาร

4.1.4 การรวบรวมตัวแปรจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) H. sun et al., 2006 จากงานวิจัยเรื่อง Building energy performance benchmarking and simulation under tropical climatic conditions ได้ศึกษาการจัดทำเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในประเทศสิงคโปร์ โดยวิธีที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่ การจัดทำแบบสอบถามโดยทำการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์และออกสำรวจตามอาคารต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร ได้แก่ อายุอาคาร ลักษณะการใช้งานในอาคาร ชนิดของระบบปรับอากาศ ระบบที่ใช้ควบคุมอาคาร ชั่วโมงการทำงาน

ส่วนที่ 2 การใช้พื้นที่ภายในอาคารซึ่งรวมถึงพื้นที่อื่นๆ ซึ่งมีความหลากหลายในการใช้งานในพื้นที่นั้นๆ พื้นที่ใช้สอยจริง จำนวนพนักงาน และจำนวนคอมพิวเตอร์

ส่วนที่ 3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทั้งหมด

จากข้อมูลแบบสอบถามตัวแปรที่นำมาพิจารณาสำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้

- อายุอาคาร (ปี)
- ประเภทการใช้งานในอาคาร (อาคารราชการและอาคารเอกชน)
- ลักษณะการใช้งาน (อาคารสำนักงานและอาคารสำนักงานที่มีร้านค้า)
- พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร)
- พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)
- ร้อยละของพื้นที่ใช้สอยจริง (%)
- ความหนาแน่นของพนักงานในอาคาร (จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร)

หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานคือ พื้นที่ใช้สอยและประเภทการใช้งานอาคาร ที่ระดับความเชื่อมั่น 89%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) Terry Sharp (1996) จากงานวิจัยเรื่อง Energy benchmarking in commercial-office buildings โดยได้หาตัวแปรที่ส่งผลกระทบกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานจำนวนทั้งสิ้น 33 ตัวแปร หลังจากทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบ Stepwise เพื่อหาตัวแปรที่แท้จริงที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งหลังจากการวิเคราะห์จะได้แบบจำลองโดยตัวแปรที่มีความสำคัญมากสำหรับแบบจำลองนี้คือ

- ความหนาแน่นของพนักงาน (คนต่อตารางเมตร)
- จำนวนผู้ใช้คอมพิวเตอร์ภายในอาคาร (คน)

3) William Chung, Y.V. Hui, Y. Miu Lam (2005) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings ซึ่งงานวิจัยนี้อธิบายถึงกระบวนการในการหาเกณฑ์สำหรับบอกประสิทธิภาพของพลังงานในซุปเปอร์มาเก็ท โดยได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการใช้พลังงาน (EUIs) กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยปัจจัยที่ได้นำมาศึกษาและมีผลต่อการใช้พลังงานคือ

-อายุอาคาร
-พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
-จำนวนลูกค้าที่มาใช้บริการต่อปี
-ชั่วโมงการทำงานต่อปี
-พฤติกรรมการปฏิบัติและบำรุงรักษา
-ชนิดของระบบทำความเย็นภายในอาคาร

4) Wen Shing Lee (2007) จากงานวิจัยเรื่อง Benchmark the energy efficiency of government building with data envelopment analysis โดยได้สร้างสมการระหว่างการใช้พลังงานและปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารเท่านั้น และตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้แก่

- ความหนาแน่นของคน (people/100m^2)
- ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก
- ค่าเฉลี่ยของชั่วโมงที่ฝนตกต่อเดือน (h/month)

5) การุณย์ ศุภมิตรโยธิน (2548) จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น ได้ทำการศึกษารวบรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แปรด้วยโปรแกรม DOE-2 จากผลการศึกษาพบว่าปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารที่มีผลต่อการออกแบบอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารดังนี้

- อัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะรูปทรงอาคาร พื้นที่ใช้สอย และจำนวนชั้น
- วัสดุเปลือกอาคาร
- การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

6) กรกมล ตันติวนิช (2550) จากการศึกษาเรื่องการจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานในกรุงเทพฯ ทำการศึกษาอาคารสำนักงานที่ตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพฯ ที่มีการใช้ไฟอย่างน้อย 1 MW ในช่วงสูงสุดและมีพื้นที่ปรับอากาศมากว่า 10,000 ตารางเมตร ซึ่งตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้แก่

- ชั่วโมงการทำงานต่อปี
- ความสูงของอาคาร
- พื้นที่ปรับอากาศ
- อุณหภูมิแวดล้อม (Cooling degree day ,CDD)

จากการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานรายปีในอาคารสำนักงานกรุงเทพฯจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ปรับอากาศ และชั่วโมงการทำงานต่อปี แต่ถ้านำการพิจารณาการใช้พลังงานรายเดือนอุณหภูมิแวดล้อมก็จะส่งผลต่อการใช้พลังงานด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.5 สรุปตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการวิจัย

จากการรวบรวมตัวแปรจาก ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นพบว่ามีตัวแปรจำนวนมากที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งสามารถสรุปแยกตามกลุ่มตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่รวบรวมจากแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

ประเภทของตัวแปร	ชื่อตัวแปร	ชนิดตัวแปร	รายละเอียด
อายุอาคาร	อายุอาคาร (ปี)	ตัวแปรเชิงปริมาณ	เนื่องจากจะเป็นตัวแปรที่แสดงถึงอุปกรณ์ภายในของอาคารสำนักงานทั้งหมดและเป็นข้อมูลที่มีการบันทึกไว้อยู่แล้วทำให้ลดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการส่งแบบสอบถามได้
Occupancy	-พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (ตร.ม.) -ชั่วโมงการทำงานต่อปี (ชม./ปี) -จำนวนพนักงาน (คน)	ตัวแปรเชิงปริมาณ	เป็นตัวแปรหลักที่คาดว่าจะส่งต่อการใช้พลังงานมากที่สุด เนื่องจากงานวิจัยเกี่ยวข้องส่วนใหญ่แล้วจะพิจารณาตัวแปรด้าน Occupancy
ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นในอาคาร	-ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นระบบ Chiller A/C -ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นระบบ Package -เครื่องปรับอากาศชนิด Split type	ตัวแปรหุ่น	เนื่องจากระบบปรับอากาศเป็นระบบหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานมากที่สุด
ประเภทการใช้งานในอาคาร	-ประเภทอาคารที่ใช้งานโดยองค์กรหรือกลุ่มบริษัทและประเภทอาคารสำนักงานให้เช่า -ประเภทอาคารราชการและอาคารเอกชน	ตัวแปรหุ่น	พิจารณาคัดเลือกประเภทอาคารแบบที่เป็นองค์กรหรือกลุ่มบริษัทและ ประเภทอาคารสำนักงานให้เช่า เนื่องจากสามารถแบ่งลักษณะการใช้งานได้ดีกว่า
ปัจจัยทางด้านเปลือกอาคาร	-อัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย -วัสดุเปลือกอาคาร -การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ	ตัวแปรเชิงปริมาณ	พิจารณาเฉพาะอัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย เนื่องจากอีก 2 ตัวแปรที่เหลือเป็นการพิจารณาด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินผล อีกทั้งเป็นตัวแปรที่แฝงอยู่ในอัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยอยู่แล้ว (การุญ ศุภมิตรโยธิน , 2548)

เนื่องจากการคำนวณจำนวนตัวอย่างเพื่อส่งแบบสอบถามการใช้พลังงานไปยังอาคารสำนักงานนั้น ได้ 100 แห่ง (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาค ผนวก ก.) เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือได้ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานทั้งสิ้น 10 ตัวแปร (จำนวนตัวแปรอิสระจะต้องน้อยว่าจำนวนแบบสอบถามประมาณ 10 เท่า (รศ. ดร. ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2548)) โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาตัวแปรต่างๆดังนี้

1) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณหรือถ้าในกรณีที่เป็นตัวแปรเชิงคุณจะพิจารณาตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนตัวแปรหุ่นได้ (Dummy variable)
2) เป็นตัวแปรที่ทางอาคารนั้นได้จัดเก็บและจัดทำเป็นรายงานเพื่อส่งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลลงได้

จากหลักเกณฑ์การคัดเลือกตัวแปรเพื่อจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานข้างต้น สามารถสรุปผลการพิจารณาคัดเลือกได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

ปัจจัย	ตัวแปรตาม	รายละเอียดตัวแปร
อายุ	X_1	อายุอาคาร (ปี)
Occupancy	X_2	พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (ตารางเมตร)
	X_3	ชั่วโมงการทำงานต่อปี (ชั่วโมงต่อปี)
	X_4	จำนวนพนักงาน (คน)
Energy-system	X_5	ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นระบบ Chiller A/C (1) และถ้าระบบอื่นๆ (0)
	X_6	ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็น ระบบ Package A/C (1) และถ้าระบบอื่นๆ (0)
	X_7	ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็น ระบบ Split type A/C (1) และถ้าระบบอื่นๆ (0)
Building type	X_8	ประเภทอาคารที่ใช้งานโดยองค์กรหรือกลุ่มบริษัทเดียว (0) ประเภทอาคารสำนักงานให้เช่า (1)
การออกแบบรูปทรงอาคาร	X_9	อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย (WWR)
	X_{10}	ความสูงอาคาร (เมตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการพิจารณาคัดเลือกตัวแปรเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยต่อไปมีทั้งสิ้น 10 ตัวแปรซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อายุอาคาร (X_1) เป็นตัวแปรที่จะแสดงถึงประสิทธิภาพโดยรวมอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงานทั้งหมดเนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆจากระบบหลักภายในอาคารจะทำการติดตั้งมาอยู่แล้วตั้งแต่ตอนสร้างอาคาร (Piper, 1999) โดยข้อมูลดังกล่าวจะบรรจุอยู่ในรายงานที่จะต้องนำเสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (X_2) หมายถึงพื้นที่ภายในอาคารทั้งหมดที่มีการใช้สอย ชั่วโมงการทำงานต่อปี (X_3) หมายถึงชั่วโมงในการทำงานทั้งปีหาได้จากผลรวมของชั่วโมงการทำงานในแต่ละวันคูณกับจำนวนวันต่อปี

ส่วนตัวแปรทางด้านระบบปรับอากาศ ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้ ชนิดอุปกรณ์ทำความเย็นภายในอาคารเนื่องจากจะส่งผลถึงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นระบบ Chiller A/C ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นระบบ Package และเครื่องปรับอากาศชนิด Split type (X_5 X_6 และ X_7 ตามลำดับ)

ส่วนประเภทของการใช้งานในอาคารจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะมีการแบ่งลักษณะของอาคารออกเป็น 2 ประเภท แบบแรกจะแบ่งออกเป็นอาคารเอกชนและอาคารราชการ แบบที่สองจะเป็นออกตามลักษณะการใช้งานในอาคารซึ่งแบ่งออกเป็นประเภทใช้งานโดยองค์กรหรือกลุ่มบริษัทเดียวและประเภทอาคารให้เช่าดังนั้นในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากประเภทที่ 2 คือแบ่งด้วยประเภทการใช้งานเนื่องจากจะครอบคลุมในแบบที่แบ่งเป็นอาคารเอกชนและอาคารราชการด้วย (อาคารราชการจะจัดอยู่ในประเภทการใช้งานโดยองค์กรเดียว ในส่วนอาคารเอกชนจะรวมอยู่ในประเภทใดก็จะขึ้นกับลักษณะการใช้งานของบริษัทหรือองค์กรนั้นๆ) ซึ่งใช้สัญลักษณ์แทนด้วย X_8

กลุ่มตัวแปรสุดท้ายที่จะนำมาพิจารณาคือตัวแปรทางด้านรูปทรงอาคารโดยพิจารณาคัดเลือกตัวแปร 2 ตัวได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย(x_9) และความสูงทั้งหมดของอาคาร (x_{10}) ซึ่งรายละเอียดตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาคัดเลือกแสดงในตารางที่ 4.2

หลังจากที่รวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานแล้วก็จะทำข้อมูลดังกล่าวไปจัดทำแบบสอบถามการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วนำไปการวิเคราะห์การถดถอยต่อไป

4.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารสำนักงานที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลใช้วิธีการสัมภาษณ์ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในอาคาร (ผชอ.) จากการเข้าสำรวจตรวจวัดการใช้พลังงานในอาคารจำนวน 20 แห่ง จากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่างๆ (อาคารประเภทสำนักงาน) พพ. และจากการจัดส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ จำนวนทั้งหมด 270 แห่ง โดยได้รับแบบสอบถามกลับทั้งสิ้น 104 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 40 ของแบบสอบถามที่ได้จัดส่งไปทั้งหมด ภายหลังจากการนำแบบสอบถามการใช้พลังงานมาทำการการคัดกรองข้อมูล (Data screening) ต่อไป

สำหรับในขั้นตอนการคัดกรองข้อมูล พบว่ามีอาคารบางแห่ง มีลักษณะการใช้งานที่ผิดปกติ จากอาคารสำนักงานทั่วไป ได้แก่ อาคารสำนักงานบางแห่งมีลักษณะเป็นอาคารสำนักงานที่มีศูนย์การค้าอยู่ด้วย โดยไม่ได้แยกการใช้พลังงานของส่วนอาคารสำนักงานกับส่วนของศูนย์การค้าออกจากกัน (จากการสอบถามข้อมูลอีกครั้งทางโทรศัพท์) รวมถึงอาคารสำนักงานที่มีศูนย์คอมพิวเตอร์หรือมีห้อง Data center ซึ่งเป็นส่วนที่มีพื้นที่ใช้สอยน้อยมากแต่มีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง ซึ่งการเก็บข้อมูลอาคารสำนักงานเหล่านี้ บางแห่งได้มีการจัดทำข้อมูลทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกเอาไว้ และสำหรับบางแห่งที่ไม่มีการเก็บแยกไว้ ก็จะไม่สามารถนำมาพิจารณาได้ เนื่องจากเป็นสาเหตุให้เกิดข้อมูลที่ผิดปกติ นั่นเอง โดยหลังจากการคัดกรองข้อมูลแล้วพบว่า อาคารสำนักงานที่ส่งแบบสอบถามกลับและสามารถนำข้อมูลมาพิจารณาได้มีจำนวนทั้งสิ้น 81 แห่ง รายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการส่งแบบสอบถาม แสดงในตารางที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าทางสถิติที่ได้จากการสำรวจ

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Building Age (years)	81	38.00	1.00	39.00	12.9136	6.02951
Gross floor area (m^2)	81	102,151.00	5,000.00	107,151.00	32,540.6465	23,581.07593
% Occupancy rate	81	70	30	100	84.20	22.51
Operating Hours (hr/yr)	81	6,760.00	2,000.00	8,760.00	2,764.0136	1,138.68346
Number of People	81	3,980.00	20.00	4,000.00	974.1975	835.46570
Chiller A/C (1), other (0)	81	1	0	1	0.43	0.498
Package A/C (1), other (0)	81	1	0	1	0.51	0.503
Split Type A/C (1), other (0)	81	1	0	1	0.43	0.498
Whole building (0), Tenant building (1)	81	1	0	1	0.90	0.300
Ratio	81	1.78	0.02	1.80	0.7526	0.52587
High (m)	81	145.00	5.00	150.00	59.7378	32.28020
Total Building Energy Consumption (kWh/year)	81	25,171,580.06	100,000.00	25,271,580.06	5,530,798.0079	4,905,747.42207
Valid N (listwise)	81					

จากตารางที่ 4.3 จำนวนอาคารที่จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลมีทั้งสิ้น 81 แห่ง เมื่อพิจารณาแยกตามตัวแปรต่างๆ และค่าการใช้พลังงานในอาคาร ได้ดังนี้

1) อายุอาคาร มีหน่วยเป็นปี โดยคำนวณอายุจนถึงปี พ.ศ. 2551 ซึ่งตัวแปรนี้เป็นตัวแปรที่คาดว่าจะสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบต่างๆ ภายในอาคาร โดยจากการสำรวจพบว่ามีอาคารสำนักงานที่ส่งแบบสอบถามกลับมีอายุอาคารอยู่ในช่วง 1 ถึง 38 ปี และมีอายุอาคารเฉลี่ยเท่ากับ 21 ปี

2) พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (Gross floor area) มีหน่วยเป็น ตารางเมตร ซึ่งตัวแปรนี้ถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่คาดว่าจะส่งให้เกิดการใช้พลังงาน โดยจากการสำรวจพบว่า อาคารสำนักงานมีพื้นที่ใช้สอยอยู่ในช่วง 5,000 ถึง 102,151 ตารางเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าอาคารบางแห่งที่มีการใช้พื้นที่ใช้สอยไม่เต็มพื้นที่ ดังนั้นจึงทำการ Normalized ข้อมูลพื้นที่ใช้สอยด้วย เปอร์เซ็นพื้นที่ใช้สอยจริง (% Occupancy) ส่วนรายละเอียดในการ Normalization นั่นจะแสดงในหัวข้อถัดไป

3) เปอร์เซ็นพื้นที่ใช้สอยจริง (% Occupancy) โดยที่ทำการจัดเก็บข้อมูลไว้เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่ใช้สอยที่แท้จริง ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ใช้สอยอยู่ในช่วง 30 – 100 % และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 84.20 %

4) ชั่วโมงการทำงาน มีหน่วยเป็น ชั่วโมงต่อปี จากการสำรวจพบว่าชั่วโมงการทำงานต่อปีของอาคารสำนักงาน อยู่ในช่วง 2,000 – 2,860 ชั่วโมงต่อปี และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,764 ชั่วโมงต่อปี โดยชั่วโมงการทำงานนี้ก็จะนำมา Normalized ข้อมูลกับปริมาณการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ส่วนรายละเอียดในการ Normalization นั่นจะแสดงในหัวข้อถัดไป

5) จำนวนพนักงานมีหน่วยเป็น คน จากการสำรวจพบว่าจำนวนพนักงานภายในอาคารสำนักงานอยู่ในช่วง 20 – 4,000 คน และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 974.19 โดยที่อาคารสำนักงานที่มีจำนวนพนักงานน้อยๆ นั้นพบว่าเป็นอาคารประเภทราชการที่มีลักษณะเป็นอาคารสำนักงานขนาดเล็กมีพื้นที่ใช้สอยไม่มากนักแต่ก็ยังถือว่าเข้าข่ายประเภทอาคารสำนักงาน

6) ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นในระบบปรับอากาศประเภท Chiller จากการสำรวจพบว่าอุปกรณ์ทำความเย็นในระบบปรับอากาศประเภท Chiller นั้นส่วนใหญ่แล้วจะมีอยู่ในอาคารทั้งสองประเภท โดยอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ชนิดนี้อยู่ 35 แห่ง

7) ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นในระบบปรับอากาศประเภท Package จากการสำรวจพบว่าอุปกรณ์ทำความเย็นในระบบปรับอากาศประเภท Package นั้นส่วนใหญ่แล้วจะมีอยู่ในอาคารประเภทให้เช่า เนื่องจากเวลาเปิดปิดของผู้เช่ามีไม่เท่ากัน โดยอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ชนิดนี้อยู่ 31 แห่ง

8) ชนิดของอุปกรณ์ทำความเย็นในระบบปรับอากาศประเภท Split type จากการสำรวจพบว่าอุปกรณ์ทำความเย็นในระบบปรับอากาศประเภท Split type นั้นส่วนใหญ่แล้วจะมีอยู่

ในอาคารที่มีการติดตั้ง Chiller A/C เนื่องจากเอาไว้เปิดในเวลาที่หลังจากระบบ Chiller A/C ปิดแล้ว โดยอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ชนิดนี้อยู่ 32 แห่ง

9) ลักษณะการใช้งานในอาคาร จากการสำรวจพบว่าเป็นอาคารราชการจำนวน 3 แห่ง (อยู่ในประเภทอาคารที่ใช้งานโดยองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียว) และในส่วนอาคารเอกชนที่มีการใช้งานโดยองค์กรเดียวมีจำนวน 5 แห่ง และส่วนในอาคารประเภทให้เช่ามีจำนวน 73 แห่ง

10) อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย จากการสำรวจพบว่าอัตราส่วนพื้นที่ใช้สอยอยู่ในช่วง 0.02 – 1.8 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.75

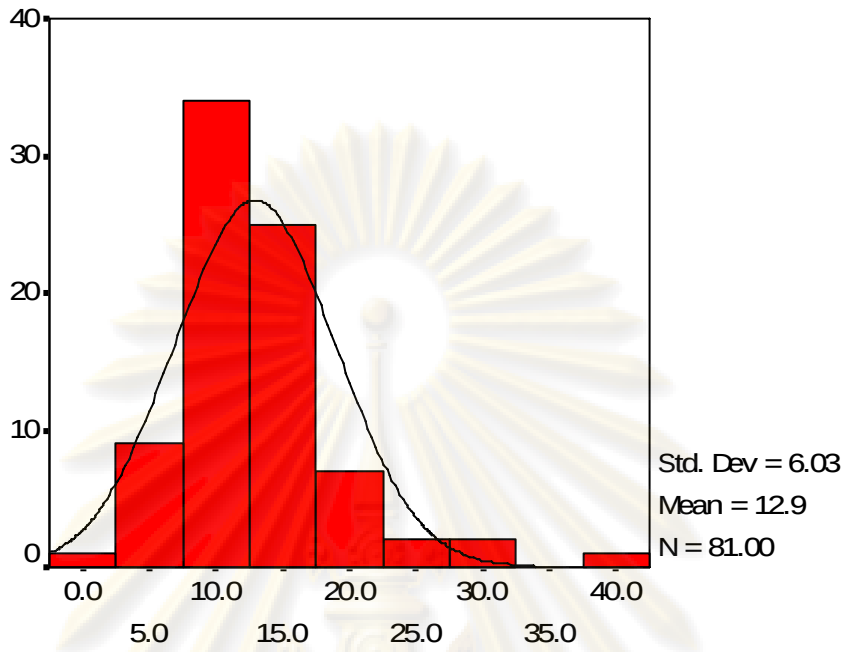
11) ความสูง จากการสำรวจพบว่า ความสูงของอาคารสำนักงานอยู่ในช่วง 5 – 150 เมตรโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 59.73 เมตร

12) ค่าการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานรวมต่อปี จากการสำรวจพบว่า การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานอยู่ในช่วง 0.1 – 2.5 GWhต่อปีโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5 GWh

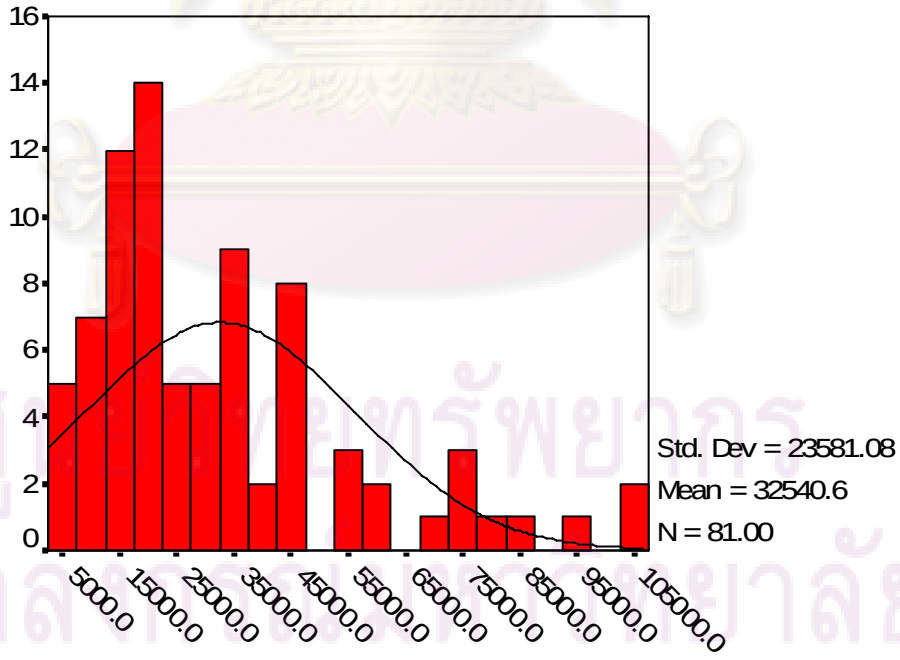
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย อายุอาคาร พื้นที่ใช้สอย ชั่วโมงการทำงานต่อปี จำนวนพนักงาน อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย ความสูงและ ค่าการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานต่อปี แสดงในรูปที่ 4.2 – 4.8 ตามลำดับ ดังนี้

ส่วนตัวแปรอื่นๆ ที่เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพแล้วทำการเปลี่ยนให้เป็นตัวเป็นเชิงปริมาณโดยทำให้เป็นตัวแปรหุ่น ได้แก่ตัวแปรเกี่ยวกับระบบทำความเย็นในระบบปรับอากาศ และตัวแปรทางด้านลักษณะการใช้งานในอาคาร จึงไม่ได้มีการแสดงการกระจายข้อมูล

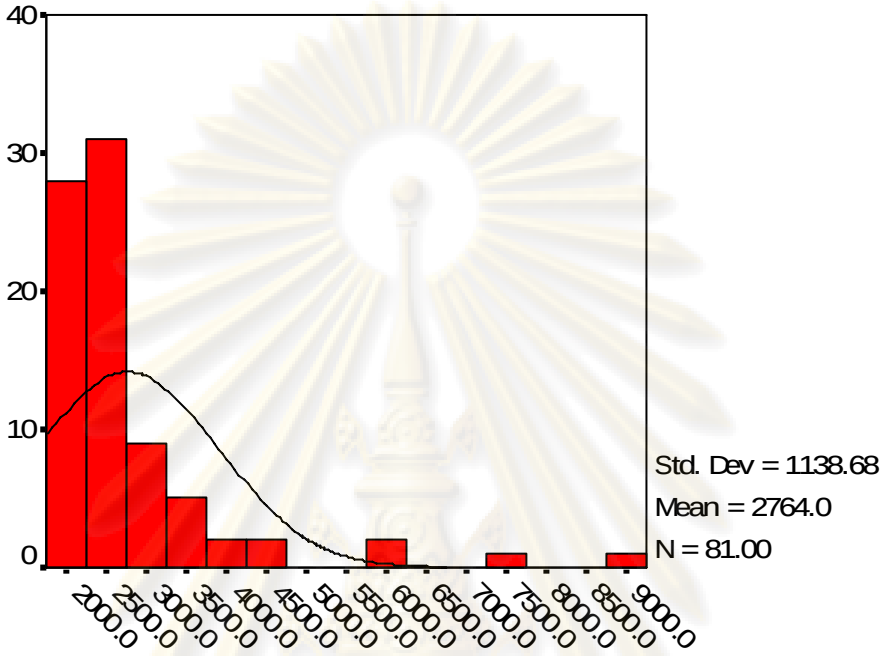
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



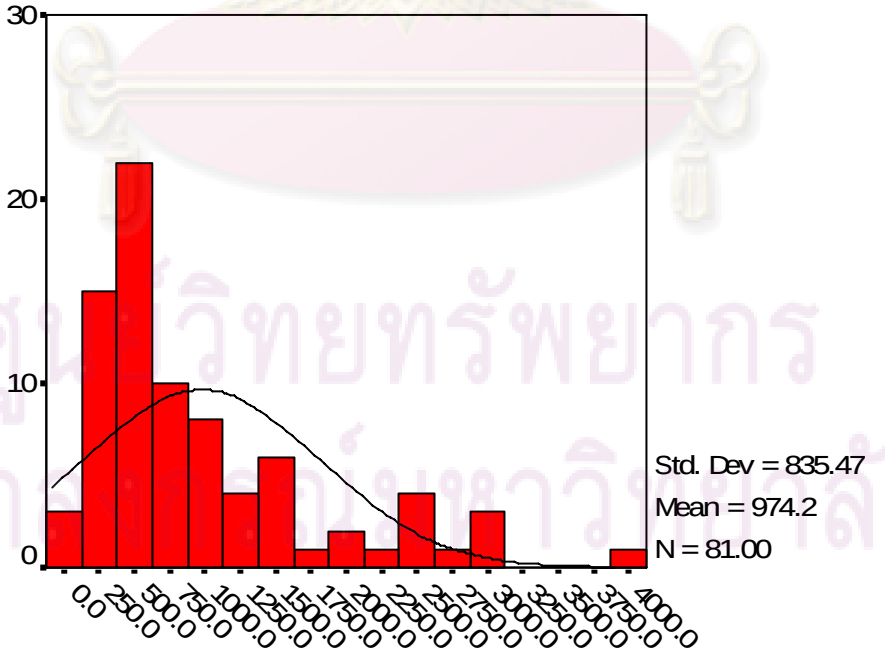
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอายุอาคาร



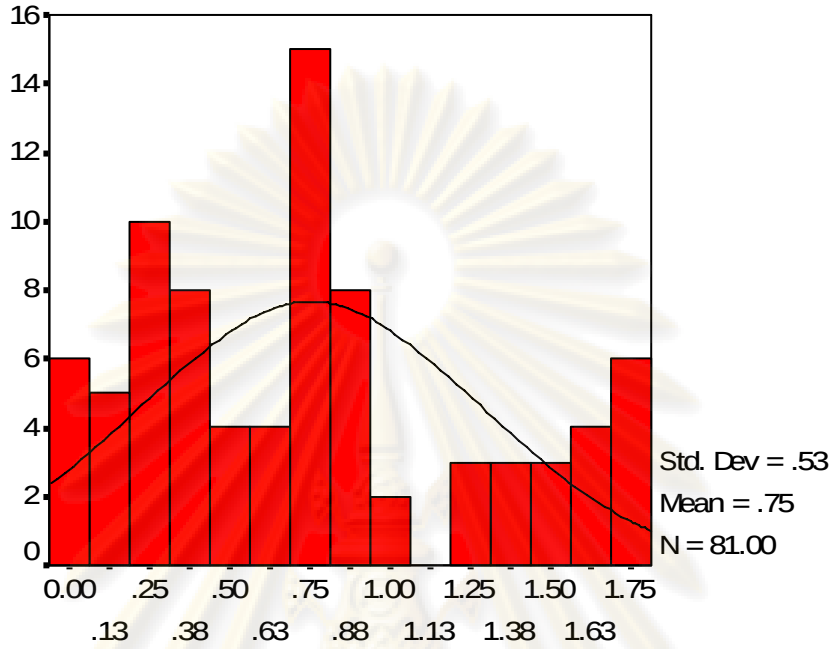
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร



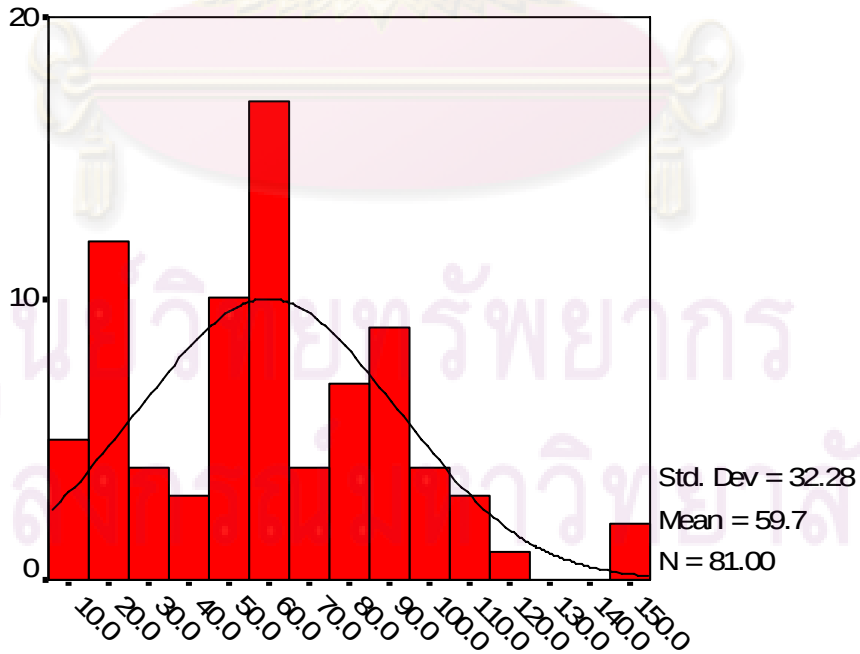
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของชั่วโมงการทำงานต่อปี



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของจำนวนพนักงานในอาคารแต่ละแห่ง

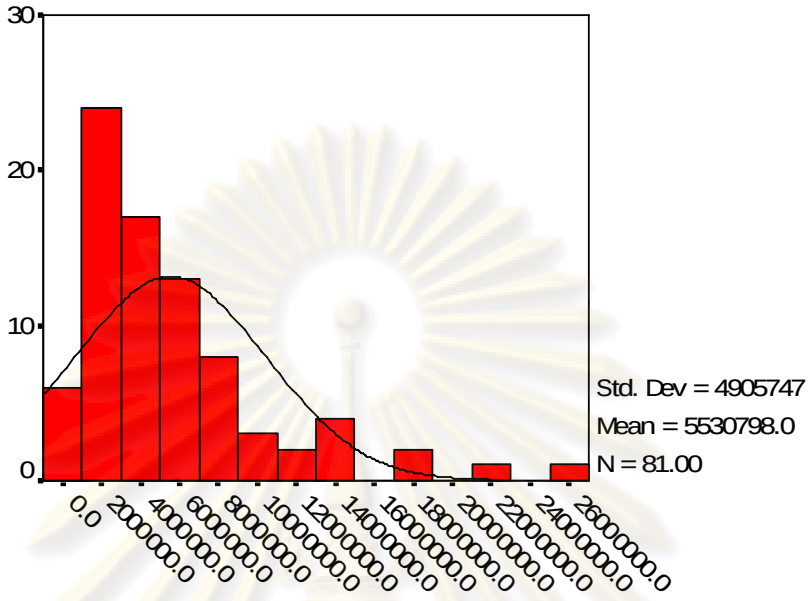


รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารแต่ละแห่ง



รูปที่ 4.7 การกระจายตัวความสูงของอาคารแต่ละแห่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 การกระจายตัวการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในแต่ละแห่ง

4.3 ผลการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานที่เหมาะสม

เพื่อให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานที่เหมาะสมและแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่แท้จริงที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยครั้งนี้แล้ว การจัดทำแบบจำลองดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดทำเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) เพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้อีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จึงมีการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

4.3.1 การ Normalization การใช้พลังงานในอาคารและพื้นที่ใช้สอย

โดยทั่วไปแล้วหลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร การคำนวณการใช้พลังงานนั้นจะต้องมีการ Normalize การใช้พลังงานด้วยอุณหภูมิ (Cooling degree day) (กรกมล ตันติวนิช, 2550) แต่จากการศึกษาพบว่าสภาพภูมิอากาศของแต่ละปีมีค่าคลาดเคลื่อนแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549) เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศเดียวคือสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น (สุนทร บุญญาธิการ, 2526) ซึ่งทำให้การใช้พลังงานไม่มีการใช้ Weather Normalization

ในส่วนขั้นตอนถัดมาคือการ Normalized การใช้พลังงานทั้งหมดในอาคารสำนักงาน (Total building energy consumption ,TBEC) มาทำการ Normalize ด้วยชั่วโมงการทำงานต่อปีดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$\text{Normalized TBEC} = \text{TBEC} * (2{,}860/\text{OH}) \quad (4.1)$$

โดยที่ TBEC คือ การใช้พลังงานรวมทั้งหมดในอาคาร
OH คือ ชั่วโมงการทำงานต่อปี
2,860 คือ ชั่วโมงการทำงานมาตรฐานของอาคารสำนักงาน (กรกมล ตันติวนิช, 2550)

หลังจากนั้นเมื่อพิจารณาพื้นที่ใช้สอยในอาคารตามนิยามของพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และพระราชกฤษฎีกา กำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 นั่นหมายถึง พื้นที่ภายในอาคารยกเว้นพื้นที่จอดรถ แต่จากการสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานของโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่างๆ (SEC) (อาคารประเภทสำนักงาน) พ.ศ. 2550 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าในอาคารสำนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 70) พื้นที่ใช้สอยที่ทำการบันทึกในข้อมูลเพื่อประเมินค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (SEC) เป็นการรวมพื้นที่ใช้สอยที่มิได้มีการใช้พื้นที่นั้นๆ เต็มพื้นที่จริงและมีพื้นที่ใช้สอยที่ไม่ได้มีการใช้งาน (Unoccupied gross floor area) เช่น อาคารให้เช่า (Tenant Building) ที่มีบริษัทหรือองค์กรมาเช่าแต่ไม่เต็มพื้นที่ทั้งหมด หรืออาคารสำนักงานที่เป็นอาคารราชการ อาคารประเภทที่ใช้งานโดยองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียว (Whole Building) ที่มิได้มีการใช้พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อจัดทำแบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้นจึงได้มีการ Normalized พื้นที่ใช้สอยด้วย Percentage of Occupied gross floor area (H. Sun et al, 2007) ดังแสดงในสมการที่ 4.2

$$\text{Normalized GFA} = \text{GFA} * \text{OCR} \quad (4.2)$$

โดยที่ GFA คือ พื้นที่ใช้สอยทั้งหมดภายในอาคาร
OCR คือ Percentage of occupied gross floor area

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภายหลังจากการทำ Normalize การใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร (Normalized TBEC) และพื้นที่ใช้สอยแล้วขั้นตอนถัดไปก็คือการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานซึ่งจะนำมาสู่แบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมนั่นเอง

4.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยตัวแปรแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

- ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ในงานวิจัยนี้ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณคือการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน (Total Building Energy Consumption, TBEC)
- ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ในงานวิจัยนี้ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงปริมาณทั้งหมดมีทั้งสิ้น 9 ตัวแปร (ไม่คิดตัวแปรชั่วโมงการทำงานต่อปี , X_3)

การตรวจสอบระดับและทิศทางความสัมพันธ์

ในกรณีที่ตัวแปรทั้งคู่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ และตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษามีมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป จะต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ในการศึกษาว่าปัจจัยหรือตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยมีสมมติฐานในการทดสอบความสัมพันธ์ดังนี้

สมมติฐาน H_0 : ตัวแปรตามไม่ได้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ

H_1 : ตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ

การวิเคราะห์ในเบื้องต้นจะทำการตรวจสอบระดับและทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (Spearman Correlation Coefficient) และเมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยแล้ว จะวัดระดับและทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามจากค่า Beta หรือ Standardized Coefficients ถ้า Beta มีค่ามากแสดงว่ามีระดับความสัมพันธ์ระหว่างกันมาก และถ้าเครื่องหมายแสดงค่าเป็นบวกแสดงว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน (ถ้าตัวแปรอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวแปรตามก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม) เป็นลบแสดงว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม

- **การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆที่ใช้พิจารณา**

ขั้นที่ 1 หาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน โดยวัดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ถ้าค่าดังกล่าวมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่า ตัวแปรคู่นั้นมีระดับความสัมพันธ์กันมาก และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน แต่ถ้าค่าเป็นลบแสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในทิศทางที่ตรงกันข้าม และถ้ามีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงตามตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 ได้แสดงให้เห็นว่าตัวแปรคู่ที่มีระดับความสัมพันธ์กัน คือNORM GFA กับ ความสูงของอาคาร (X_{10}) โดยมีระดับความสัมพันธ์เท่ากับ 0.579 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.4 ค่า Spearman Correlation Coefficient ของตัวแปร x_1 ถึง x_{10}

	X1	NORM GFA	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1.000	-0.217	0.178	-0.064	0.041	0.095	-0.140	0.024	-0.337[2]
NORMGFA	-0.217	1.000	0.340[2]	0.119	-0.159	0.067	-0.271[1]	0.166	0.507[2]
X4	0.178	0.340[2]	1.000	0.192	-0.307[2]	0.028	0.140	0.325[2]	0.262[1]
X5	-0.064	0.119	0.192	1.000	-0.883[2]	0.094	0.205	0.042	0.162
X6	0.041	-0.159	-0.307[2]	-0.883[2]	1.000	-0.086	-0.161	-0.139	-0.213
X7	0.095	0.067	0.028	0.094	-0.086	1.000	-0.380[2]	-0.163	-0.075
X8	-0.140	-0.271[1]	0.140	0.205	-0.161	-0.380[2]	1.000	0.133	0.246[1]
X9	0.024	0.166	0.325[2]	0.042	-0.139	-0.163	0.133	1.000	0.194
X10	-0.337[2]	0.507[2]	0.262[1]	0.162	-0.213	-0.075	0.246[1]	0.194	1.000

หมายเหตุ [2] Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

[1] Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นการแสดงให้เห็นว่าตัวแปรใดที่มีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานในอาคาร (Normalized total building energy consumption) โดยใช้ตัวแปรตามเป็นการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ตัวแปรอิสระเป็นข้อมูลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งมีทั้งหมด 9 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ยกเว้นตัวแปรชั่วโมงการทำงานต่อปี (X_3) ซึ่งได้ทำการ normalized ไปกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานแล้ว หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณและทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการแบบ Stepwise Selection ซึ่งเป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าไปก่อน จากนั้นก็จะทดสอบตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในสมการว่าจะมีตัวแปรอิสระตัวใดที่มีสิทธ์เข้ามาอยู่ในสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบก้าวหน้า (Forward Selection) และขณะเดียวกันก็จะทดสอบตัวแปรที่อยู่ในสมการด้วยว่าตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการตัวแปรใดมีโอกาสจะถูกขจัดออกจากสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง (Backward Selection) โดยจะกระทำการคัดเลือกผสมทั้งสองวิธีนี้จนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดถูกคัดออกจากสมการ กระบวนการก็จะยุติและได้ระดับความสัมพันธ์ของสมการสูงสุด ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลสรุปการวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน (kWh/yr)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.919(a)	.844	.842	1532555.57
2	.930(b)	.864	.861	1441021.99
3	.933(c)	.871	.866	1411990.88

a Predictors: (Constant), NORMGFA

b Predictors: (Constant), NORMGFA, Number of people

c Predictors: (Constant), NORMGFA, Number of people, Building type

d Dependent Variable: NORMTBEC

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าในโมเดลที่ 3 ซึ่งเป็นโมเดลสุดท้าย พบว่ามีตัวแปรทั้งสิ้น 3 ตัวแปรคือ พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร จำนวนพนักงาน (Number of People) และลักษณะการใช้งานในอาคาร (Building type) ซึ่งทำให้ได้ค่า Adjusted R^2 = 0.866 ซึ่งแสดงถึงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งสามตัวกับตัวแปรตาม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่

มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้แก่ พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร จำนวนพนักงาน (Number of People) และลักษณะการใช้งานในอาคาร (Building type)

เมื่อพิจารณาเฉพาะค่าพื้นที่ใช้สอยเพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ชัดเจนว่าส่งผลต่อการใช้พลังงานถึงร้อยละ 84.2 ดังนั้นจึงถือว่าพื้นที่ใช้สอยเป็นตัวแปรหลักที่ใช้กำหนดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานนั่นเอง ส่วนตัวแปรทางด้านจำนวนพนักงานและประเภทการใช้งานในอาคารนั้นเป็นตัวแปรที่ช่วยเสริมให้ค่า adjusted R square เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.9 สำหรับตัวแปรจำนวนพนักงานและเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 0.5 สำหรับตัวแปรลักษณะการใช้งานในอาคาร) และช่วยลดค่า standard error ลดลง (ลดลง 91,533 สำหรับตัวแปรจำนวนพนักงานและลดลง 29,031.11 สำหรับตัวแปรลักษณะการใช้งานในอาคาร)

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้างต้นเมื่อพิจารณาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานรองลงมาจากพื้นที่ใช้สอยก็คือ ตัวแปรทางด้านจำนวนพนักงานทั้งนี้เนื่องจาก การใช้พลังงานในอาคารแต่ละแห่งผู้ใช้ภายในอาคารจะเป็นตัวกำหนดหลักในการประหยัดพลังงาน ซึ่งจะเห็นได้จากการประหยัดพลังงานส่วนใหญ่นั้นจะมุ่งเน้นไปที่การดำเนินการใช้ (Operating) อาคารหรือการใช้มาตรการด้านการบริหารและการจัดการใช้อุปกรณ์ในอาคารให้มีความเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานจริงซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยการจัดอบรมให้ความรู้แก่พนักงานและผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้มีความเข้าใจในระบบต่างๆ ซึ่งจะนำไปสู่การประหยัดพลังงานในอาคารได้นั่นเอง

นอกจากตัวแปรทางด้านพนักงานแล้วจากสมการการวิเคราะห์การถดถอยอาคารสำนักงานตัวแปรที่มีผลอีกตัวหนึ่งก็คือประเภทการใช้งานในอาคาร ดังนั้นเมื่อพิจารณาวิเคราะห์การถดถอยแยกตามกลุ่มย่อยของลักษณะการใช้งานในอาคารได้แก่ อาคารที่ใช้งานโดยองค์กรหรือกลุ่มบริษัทเดียว (Whole Building) และ อาคารสำนักงานให้เช่า (Tenant Building) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรด้านพื้นที่ใช้สอยแยกตามประเภทอาคารสำนักงานให้เช่า (Tenant Building)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.753(a)	.567	.481	1,097,035.84016

a Predictors: (Constant), NORMGFA

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรด้านพื้นที่ใช้สอยแยกตามประเภทอาคารที่ใช้งานโดยองค์กรหรือกลุ่มบริษัทเดียว (Whole Building)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.936(a)	.876	.874	1,433,405.69200

a Predictors: (Constant), NORMGFA

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า พื้นที่ใช้สอยเฉพาะในกลุ่มอาคารสำนักงานให้เช่ายังเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน โดยทำให้ค่า adjusted R square เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.32 จากโมเดลที่รวมกันทั้ง 2 ประเภท ส่วนในกลุ่มอาคารสำนักงานที่ใช้งานโดยองค์เดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียวพบว่าค่า adjusted R square ลดลงร้อยละ 36.1 จากโมเดลที่รวมกันทั้ง 2 ประเภทดังแสดงในตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นจากจำนวนตัวอย่างในกลุ่มอาคารสำนักงานที่ใช้งานโดยองค์เดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียวมีจำนวนน้อยกว่าค่อนข้างมาก (จำนวนอาคารตัวอย่าง 8 แห่ง) นอกจากนี้ยังมีความซับซ้อนของกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร ดังนั้นในการจัดทำเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmarking) ควรที่จะมีการแยกออกเป็น 2 กลุ่ม แต่อย่างไรก็ตามพบว่าข้อจำกัดที่เกิดขึ้นก็คือ ขนาดจำนวนตัวอย่างของอาคารสำนักงานที่เป็นประเภทการใช้งานโดยองค์กรเดียวนั้นมีค่อนข้างน้อย อีกทั้งค่า adjusted R square หลังจากที่เพิ่มตัวแปรทางด้านประเภทการใช้งานในอาคารนั้นเพิ่มขึ้นเพิ่งร้อยละ 0.5 เท่านั้น ดังนั้นในการทำแบบจำลองครั้งนี้จึงใช้แบบจำลองที่รวมกันทั้งสองประเภท เนื่องจากข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้น

4.3.3 สรุปผลแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานดังแสดงในหัวข้อ 4.3.2 นั้น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยอีกประการหนึ่งก็คือแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยจากตารางที่ 4.8 เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมได้

จากตารางที่ 4.8 สามารถสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้ดังนี้

TBEC (kWh/yr) = -388,169.466 +(145.250 x Gross floor area) + (601.517 x Number of People) + (1,114,859.026 x Type of building) (4.3)

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1056393.540	269512.980		3.920	.000
	NORMGFA	150.334	7.266	.919	20.690	.000
2	(Constant)	613487.737	285474.241		2.149	.035
	NORMGFA	142.472	7.220	.871	19.734	.000
	Number of People	686.659	203.774	.149	3.370	.001
3	(Constant)	-388169.466	561118.735		-.692	.491
	NORMGFA	145.250	7.202	.888	20.169	.000
	Number of People	601.517	203.905	.130	2.950	.004
	Type of building	1114859.026	541398.079	.087	2.059	.043

a Dependent Variable: NORMTBEC

จากตารางที่ 4.8 สรุปได้ว่า

1) ตัวแปรด้านพื้นที่ใช้สอย มีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานในอาคารในทิศทางเดียวกัน ความสัมพันธ์ (วัดจากค่า Standardized Coefficencts หรือค่า Beta) = 0.888 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Sig. 0.000<0.01)

2) ตัวแปรด้านจำนวนพนักงาน มีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานในอาคาร ในทิศทางเดียวกัน โดยมีระดับความสัมพันธ์ = 0.130 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (Sig. 0.004<0.01)

3) ตัวแปรด้านประเภทผู้ใช้งานในอาคาร มีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานในอาคาร ในทิศทางเดียวกันโดยมีระดับความสัมพันธ์ = 0.087 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Sig. 0.043<0.05)

เนื่องจากตัวแปรจากแบบจำลองการใช้พลังงานข้างต้นนี้ตัวแปรที่เป็นประเภทการใช้งานในอาคารเป็นตัวแปรดัมมี่ (0 คืออาคารประเภทที่มีการใช้งานโดยองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียว และ 1 คืออาคารประเภทให้เช่า) ดังนั้นจึงสามารถแยกแบบจำลองการใช้พลังงานออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) แบบจำลองของอาคารประเภทที่มีการใช้งานโดยองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียว (Type of building = 0)

TBEC (kWh/yr) = - 388,169.466 +(145.250 x Gross floor area)
+ (601.517 x Number of People) (4.4)

2) แบบจำลองของอาคารประเภทให้เช่า (Type of building = 1)

TBEC (kWh/yr) = 726,690 +(145.250 x Gross floor area)
+ (601.517 x Number of People) (4.5)

4.3.4 การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

หลังจากที่ได้ดำเนินการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานแล้ว และก่อนที่จะนำแบบจำลองการใช้พลังงานดังกล่าวนี้ไปใช้พยากรณ์การใช้พลังงานนั้นควรจะมีการทดสอบความแม่นยำของค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่เกิดขึ้นจริง โดยพิจารณาวัดค่าความถูกต้อง 3 ค่า ซึ่งต่างก็เป็นฟังก์ชั่นของค่าความคลาดเคลื่อน e_i โดยที่ e_i เป็นผลต่างของค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ด้วยวิธีการคำนวณค่า MSE (Mean Squared Error) MAD (Mean Absolute Deviation) และ MAPE (Mean Absolute Percentage Error) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n}|e_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (4.6)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}e_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (4.7)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^{n}|e_i/Y_i|}{n} \times 100 \quad (4.8)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูล

Y คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปี (kWh/yr)

$\hat{Y}$ คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย (kWh/yr)

เมื่อค่า MSE (Mean Squared Error) MAD (Mean Absolute Deviation) และ MAPE (Mean Absolute Percentage Error) มีค่าต่ำ แสดงถึง วิธีการพยากรณ์นั้นมีความถูกต้องมาก หลังจากการคำนวณค่าดังกล่าวผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่า MAD MSE และ MAPE ที่ได้จากแบบจำลองการใช้พลังงาน

ค่าความถูกต้อง	ผลลัพธ์
1 Mean Squared Error, MSE	1,092,171.31
2 Mean Absolute Deviation , MAD	1,818,531,817,811.92
3 Mean Absolute Percentage Error, MAPE	38.49

จากผลการคำนวณค่า MAD MSE และ MAPE สรุปได้ว่าแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานที่ได้นั้นมีค่าผิดพลาดจากการใช้พลังงานจริง 38.49 % ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามจากเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นถึงแม้ว่าจะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุจากทางด้านจำนวนตัวอย่างที่ได้รับจากแบบสอบถามน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้นั่นคือจำนวนตัวอย่างที่คำนวณได้คือ 100 ตัวอย่างแต่แบบสอบถามซึ่งหลังจากตัดบางตัวอย่างออกเนื่องจากผู้กรอกแบบสอบตอบมาไม่สมบูรณ์จึงไม่สามารถนำมาพิจารณาได้และอีกประการหนึ่งคือเมื่อทำการเก็บรวมรวมข้อมูลได้แล้วพบว่าอาคารบางแห่งมีค่าการใช้พลังงานที่ผิดปกติทำให้เกิดค่า Outlier ขึ้นนั่นเอง

นอกจากนี้การทดสอบแบบจำลองนอกจากจะใช้วิธีการดังกล่าวแล้ว ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่นำมาทดสอบความเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลหรือไม่นั่นก็คือวิธีการทดสอบ Lack of Fit โดยขั้นตอนการทดสอบจะแบ่ง Residual Sum of Square (SSE) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Lack of Fit Sum of Square (SS_L) และ Pure Error Sum of Square (SS_P) ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตาราง ANOVA TABLE แสดง Lack of fit test

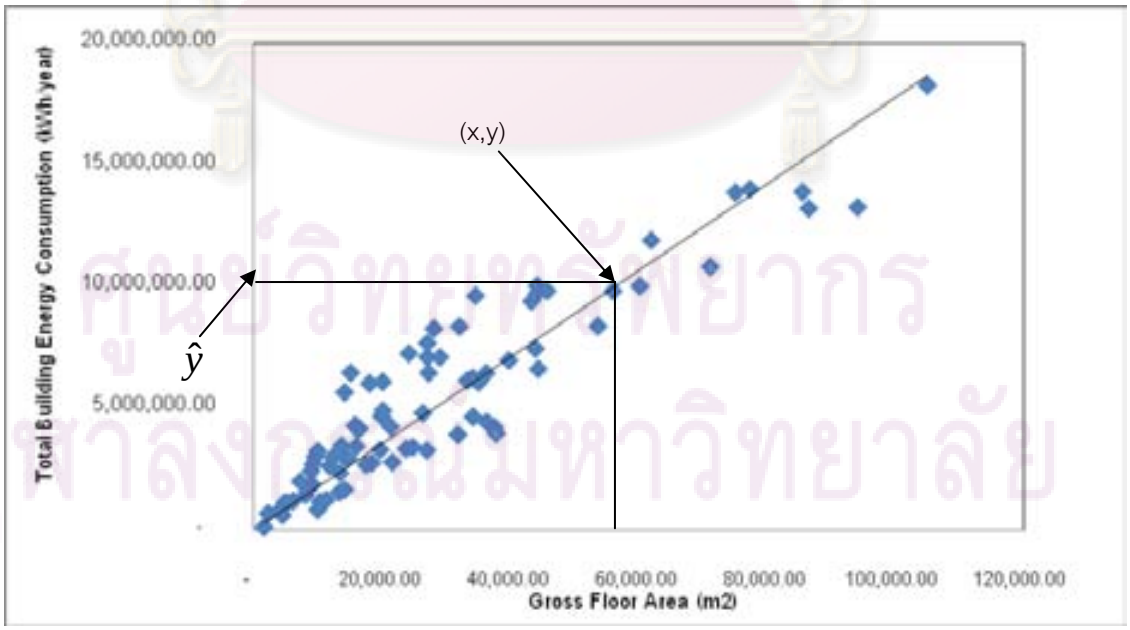
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Lack of Fit	153516306645247.100	77	1993718268120.092	.	.
Pure Error	.000	1	.		

Dependent Variable: NORMTBEC

จากตารางที่ 4.10 เมื่อพิจารณาจากค่า F และค่าระดับนัยสำคัญสามารถสรุปได้ว่ายังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่ามี Lack of Fit เกิดขึ้นดังนั้นจึงสามารถใช้แบบจำลองดังกล่าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy performance indicators)

จากแบบจำลองการใช้พลังงานจะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานก็คือ พื้นที่ใช้สอย จำนวนพนักงานและประเภทการใช้งานในอาคาร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่น่าสนใจที่นำไปใช้บ่งชี้การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานนั้นๆ เช่น การใช้พลังงานต่อจำนวนคน และการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอย เป็นต้น



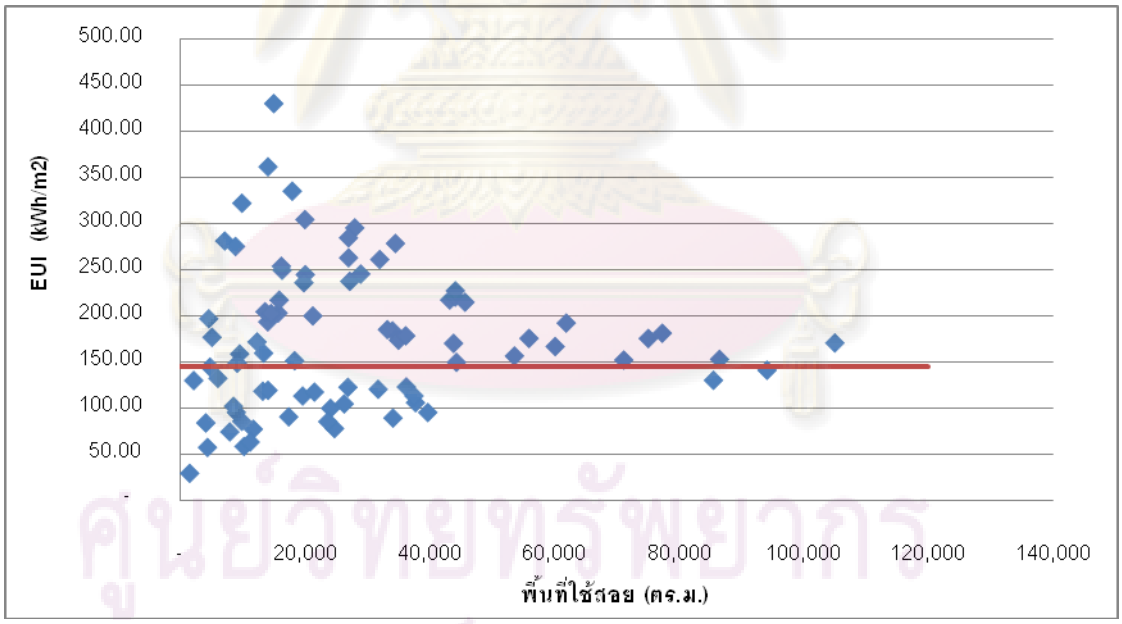
รูปที่ 4. 8 เส้นสมการถดถอยและจุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

สำหรับตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (H.sun et al, 2006) ได้แก่

1) สัดส่วนการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอย

สำหรับตัวชี้วัดประสิทธิภาพประเภทแรกนี้ ตัวแปรที่นำมาใช้เป็นอัตราส่วนก็คือพื้นที่ใช้สอยซึ่งก็คือตัวแปรหลักในแบบจำลองการใช้พลังงานนั่นเอง มีหน่วยคือ $kWh/m^2.year^{-1}$ ซึ่งก็มักจะใช้เป็นการกำหนดมาตรฐาน (Benchmarking) โดยทั่วไปนั่นเอง

จากรูปที่ 4.8 แสดงเส้นสมการถดถอยและจุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สามารถนำมาทำการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานโดยใช้เฉพาะตัวแปรหลักจากแบบจำลองซึ่งก็คือพื้นที่ใช้สอย ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยจะมีเกณฑ์การใช้พลังงานได้เท่ากับ 145.25 kWh/m^2



รูปที่ 4.9 เกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานในกรณีที่ใช้ตัวแปรหลักเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำการใช้พลังงานต่อพื้นที่มาจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อเป็นแนวดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยการนำมาแปลงเป็น เปอร์เซนต์ไทล์ เพื่อสามารถหาอาคารที่มีการใช้พลังงานทั่วไป (Typical) และอาคารที่มีการปฏิบัติการที่ดี (Good practice) ดังแสดงในตารางที่ 4.11

โดยเปอร์เซนต์ไทล์ หาได้จากการนำค่าการใช้พลังงาน (Energy Consumption) ในหน่วยของ kWh/m^2/ปี ของอาคารสำนักงานแต่ละแห่งมาคำนวณหาความถี่สะสมและเปอร์เซ็นต์ความถี่สะสมและนำเปอร์เซนต์ความถี่สะสมมาสร้างกราฟ ก็จะสามารถอ่านค่าเปอร์เซนต์ไทล์ได้จากกราฟ โดยดูที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ของความถี่สะสมแล้วลากมาบรรจบเส้นกราฟ จากนั้นลากให้ลงมาตั้งฉากกับเส้นการใช้พลังงานต่อพื้นที่จะสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 4-10 และ เพื่อให้สะดวกต่อการพิจารณาค่าการใช้พลังงานและง่ายต่อการทราบสถานภาพการใช้พลังงานในอาคารนั้นๆ สามารถแสดงเป็นตารางเปอร์เซนต์ไทล์ โดยสามารถหาตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ได้โดยปราศจากกราฟเปอร์เซ็นต์ความถี่สะสม ใช้ตารางการแจกแจงความถี่ ในตารางสามารถจะคำนวณหาตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ ดังแสดงในสมการที่ 4.9 (รายละเอียดการแจกแจงเปอร์เซนต์ไทล์แสดงในภาคผนวก ง)

$$Percentile\ Rank = \frac{Cf_u + \left(\frac{X - X_u}{I}\right)}{N} \times 100 \qquad (4.9)$$

โดยที่ Cf_u คือ ความถี่สะสมของชั้นที่มีการใช้พลังงานต่ำกว่าชั้นที่ตำแหน่งเปอร์เซนต์ไทล์อยู่

X คือ ค่าพลังงานต่อพื้นที่ที่ต้องการหาตำแหน่งเปอร์เซนไทล์

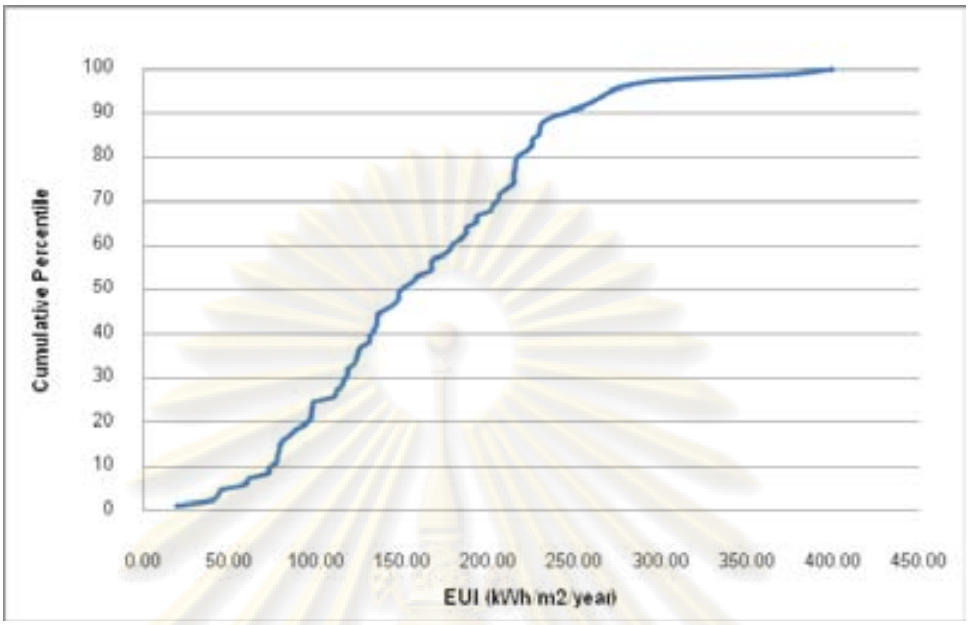
X_u คือ ขีดจำกัดล่างแท้จริงของชั้นที่เปอร์เซนต์ไทล์อยู่

I คือ ความกว้างอันตรภาคชั้น

fi คือ จำนวนความถี่ของชั้นที่เปอร์เซนต์ไทล์อยู่

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 กราฟการกระจายความถี่สะสมของการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปี (Cumulative percentile distribution of EUI , kWh/m^2.$year^{-1}$)

ตารางที่ 4.11 ตารางเปอร์เซนไทล์ของการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/yr)

Percentile	kWh/m^2/yr
10	74.04
20	95.64
25	105.15
30	117.88
40	133.43
50	151.69
60	180.81
70	206.40
75	215.17
80	220.59
90	252.69

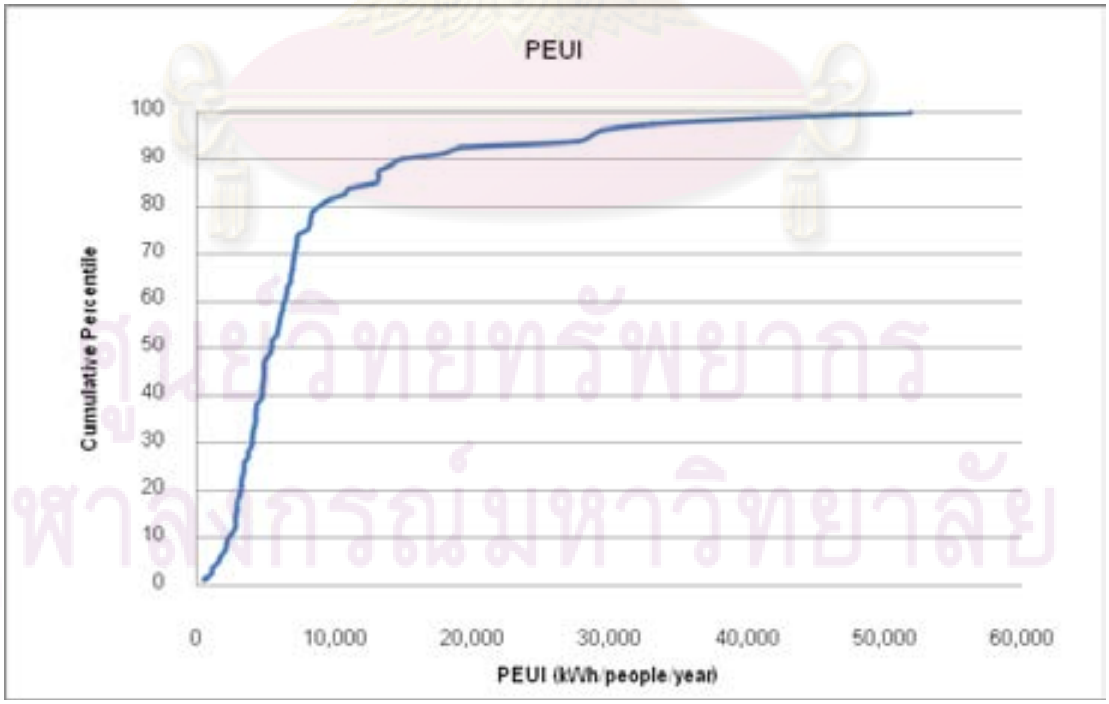
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารสำนักงานโดยทั่วไป (Typical office building) จะเท่ากับค่าที่เปอร์เซนไทล์ที่ 50 คือ 151.69 kWh/m^2/yr และการใช้พลังงานต่อพื้นที่สำหรับอาคารที่มีการปฏิบัติการที่ดี (Good practice building) จะเท่ากับค่าที่เปอร์เซนไทล์ที่ 25 คือ 95.64 kWh/m^2/yr

2) สัดส่วนการใช้พลังงานต่อจำนวนพนักงานในอาคาร

สำหรับตัวชี้วัดประสิทธิภาพประเภทที่ 2 นี้ ตัวแปรที่นำมาใช้เป็นอัตราส่วนก็คือจำนวนพนักงานในอาคาร ซึ่งก็คือตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่ส่งผลกับการใช้พลังงานในอาคารที่อยู่ในแบบจำลองการใช้พลังงานนั่นเอง มีหน่วยคือ kWh/people.$year^{-1}$

และเมื่อนำการใช้พลังงานต่อจำนวนพนักงานต่อปีมาจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อเป็นแนวดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยการนำมาแปลงเป็น เปอร์เซนต์ไทล์ เพื่อสามารถหาอาคารที่มีการใช้พลังงานทั่วไป (Typical) และอาคารที่มีการปฏิบัติการที่ดี (Good practice) ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และเมื่อนำมาแปลงเป็นตารางเปอร์เซนไทล์จะได้ค่าการใช้พลังงานต่อจำนวนพนักงานในอาคารดัง ตารางที่ 4.12



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.11 กราฟการกระจายความถี่สะสมของการใช้พลังงานต่อจำนวนพนักงานต่อปี (Cumulative percentile distribution of PEUI , kWh/people.year^{-1})

ตารางที่ 4.12 ตารางเปอร์เซนไทล์ของการใช้พลังงานต่อจำนวนพนักงานต่อปี (kWh/people.year^{-1})

Percentile	kWh/people.yr^{-1}
10	2,501.67
20	3,255.17
25	3,486.30
30	4,062.08
40	4,784.56
50	5,494.94
60	6,464.72
70	7,171.84
75	8,141.08
80	9,141.33
90	16,165.56

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ของอาคารสำนักงานโดยทั่วไป (Typical office building) จะเท่ากับค่าที่เปอร์เซนไทล์ที่ 50 คือ 5,494.94 kWh/people.year^{-1} และการใช้พลังงานต่อพื้นที่สำหรับอาคารที่มีการปฏิบัติการที่ดี (Good practice building) จะเท่ากับค่าที่เปอร์เซนไทล์ที่ 25 คือ 3,486.30 kWh/people.year^{-1}

3) Energy Efficiency Score (ESS)

สำหรับตัวชี้วัดประสิทธิภาพประเภทสุดท้ายนั้นก็คือการคำนวณโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายหรือการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณนั่นเอง (Wober, 2002) โดยการใช้อัตราส่วนของผลต่างค่าทำนายจากแบบจำลองการใช้พลังงานกับค่าการใช้พลังงานจริงในอาคารกับค่าทำนายการใช้พลังงาน ดังแสดงในสมการที่ 4.10

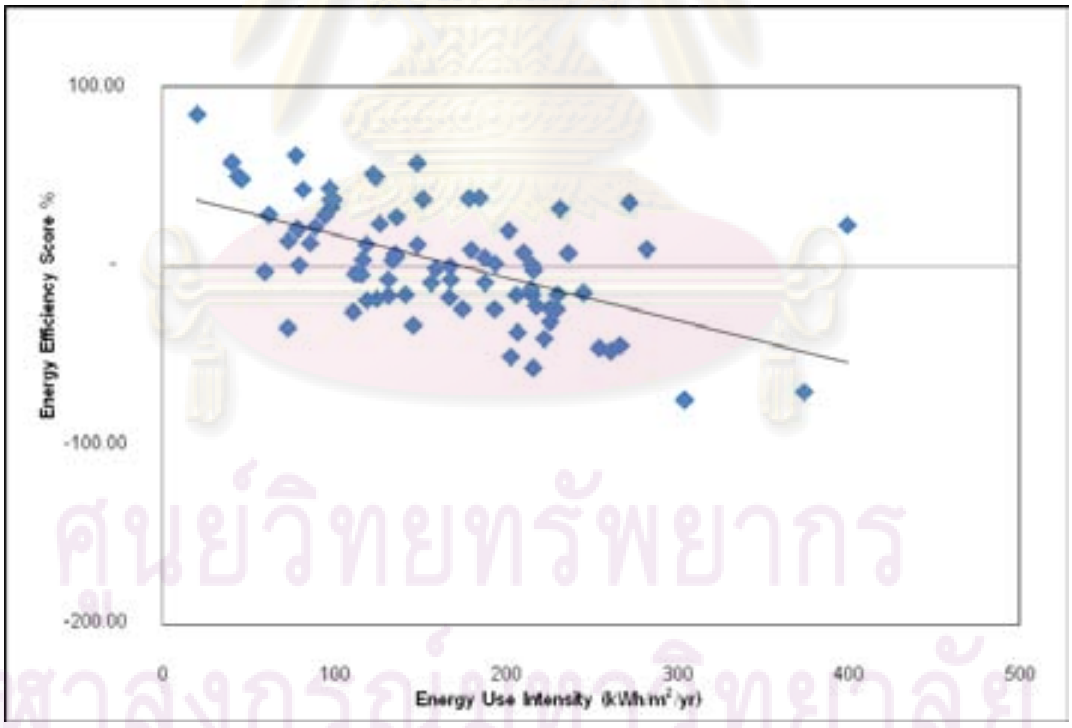
$$EES = \frac{\hat{Y} - Y}{\hat{Y}} \tag{4.10}$$

โดยที่ EES คือ Energy efficiency score

$\hat{Y}$ คือ ค่าทำนายการใช้พลังงานในอาคาร

Y คือ ค่าสังเกตการใช้พลังงานในอาคาร

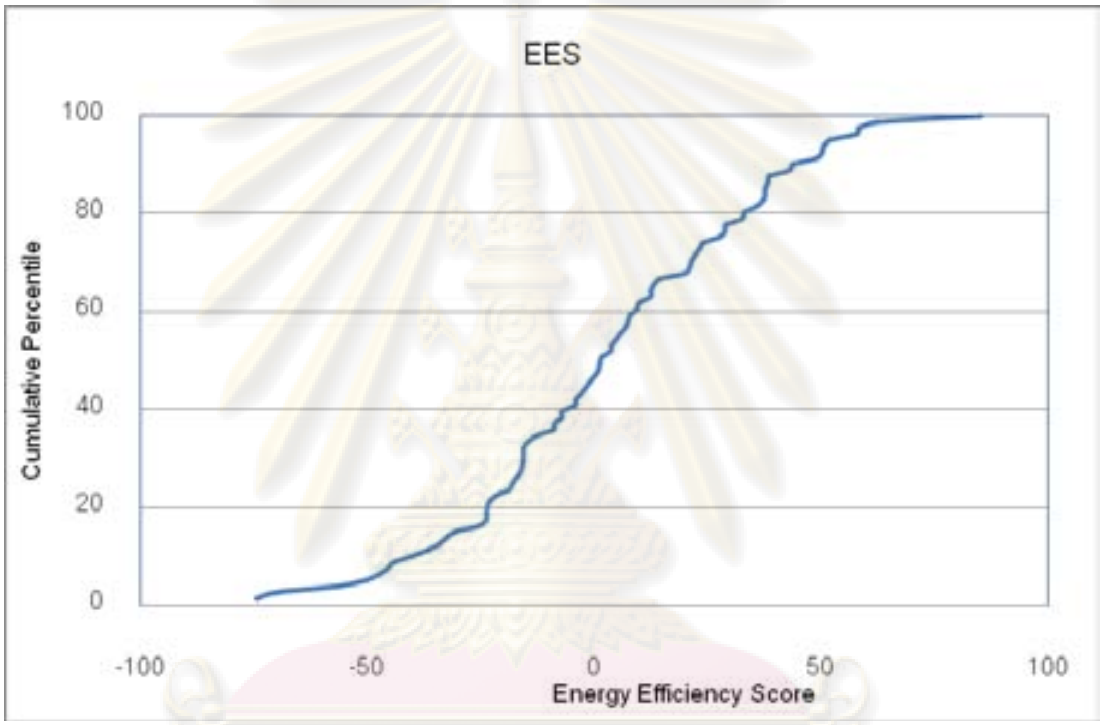
หลังจากการแทนค่าลงในสมการที่ 4.10 แล้วนำมาพล๊อตกราฟการกระจายระหว่างค่า Energy Efficiency Score % และค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (Energy Use Intensity, EUI) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Energy Efficiency Score % และค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งการใช้ตัวชี้วัดประเภทนี้จะเป็นประโยชน์ก็ต่อเมื่อมีตัวแปรหลักมากกว่าหนึ่งตัวหรือกล่าวอีกนัยนึงก็คือใช้เป็นตัวชี้วัดในแบบจำลองการใช้พลังงานที่มีตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัวแปรในสมการนั่นเอง



รูปที่ 4.12 กราฟการกระจายตัวระหว่าง % Energy Efficiency Score และค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (Energy Use Intensity, EUI)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกราฟการกระจายตัวระหว่าง % Energy Efficiency Score และค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (Energy Use Intensity, EUI) ในรูปที่ 4.10 เมื่อนำมาจัดทำเป็นตารางเปอร์เซนต์ไทล์ เพื่อสามารถหาอาคารที่มีการใช้พลังงานทั่วไป (Typical) และอาคารที่มีการปฏิบัติการที่ดี (Good practice) ดังแสดงในตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟการกระจายความถี่สะสมของ Percent of Energy Efficiency Score (Cumulative percentile distribution of EES)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ตารางเปอร์เซนไทล์ของ % Energy Efficiency Score

Percentile	% Energy Efficiency Score
10	-38.11
20	-23.29
25	-17.39
30	-15.62
40	-4.62
50	1.64
60	9.43
70	21.58
75	28.03
80	33.84
90	45.84

จากตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า% Energy Efficiency Score ของอาคารสำนักงานโดยทั่วไป (Typical office building) จะเท่ากับค่าที่เปอร์เซนไทล์ที่ 50 คือ 1.64 และการใช้พลังงานต่อพื้นที่สำหรับอาคารที่มีการปฏิบัติการที่ดี (Good practice building) จะเท่ากับค่าที่เปอร์เซนไทล์ที่ 25 คือ -17.39

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ต้องระวังอย่างยิ่งในการเปรียบเทียบตัวชี้วัดประสิทธิ์ภาพพลังงานกับ Cumulative % Energy Efficiency Score โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นในกรณีที่มีอาคาร 2 แห่งมีการใช้พลังงานที่เหมือนกัน ไม่สามารถตอบได้ว่าอาคารสำนักงานที่มีค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 180 kWh/m^2 จะมีประสิทธิภาพดีกว่าอาคารสำนักงานที่มี ค่าดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 190 kWh/m^2 เนื่องจากการใช้พลังงานที่สูงกว่าอาจจะเกิดจากตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ เช่น มีลักษณะการใช้อาคารที่หลากหลาย พฤติกรรมของพนักงานที่แตกต่างกัน หรือการสร้าง data center ขึ้นมาใหม่ในช่วงปีที่ผ่านมา ซึ่งในกรณีนี้การใช้วิธีการ Normalized ก็อาจจะไม่สามารถแก้ไขผลกระทบเหล่านี้ได้ แต่ในกรณีนี้อาจแก้ไขได้โดยการแบ่งกลุ่มอาคารให้ใกล้เคียงกับลักษณะการใช้งานนั่นเอง

4.4 แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน

จากการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน (Energy performance indicators) ซึ่งแสดงอยู่ในรูปแบบของเปอร์เซนต์ไทล์ ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.3.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานแล้ว พบว่าอาคารสำนักงานมีการใช้พลังงานที่มากกว่าเกณฑ์หรืออยู่ในตำแหน่งเปอร์เซนต์ไทล์ที่มากกว่า 50 มีสภาพเป็นอาคารปรับอากาศขนาดใหญ่ และมีการติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ ที่มีการใช้พลังงานในระดับสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับลดการใช้พลังงานในอาคารเพื่อให้อาคารแต่ละแห่งมีแนวทางในการปฏิบัติการที่ดีขึ้น ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมแนวคิดเกี่ยวกับแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้อาคารมีการปรับปรุงการใช้พลังงานให้เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อได้แก่ กรอบแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานเพื่อชี้แจงให้เห็นถึงปัญหาในการจัดการพลังงานและแนวทางการจัดการให้เหมาะสม ส่วนหัวข้อที่สองคือแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานซึ่งจะช่วยให้เป็นแนวทางให้อาคารมีการปรับปรุงการใช้พลังงานโดยแบ่งออกเป็นการจัดทำแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว และหัวข้อสุดท้ายคือแนวทางในการดำเนินการของแผนการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละช่วงและดัชนีชี้วัดความสำเร็จ

4.4.1 กรอบแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน

1) ปัญหาการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน

เนื่องจากธรรมชาติของอาคารสำนักงานมีลักษณะและรูปแบบการจัดการที่มีลักษณะเฉพาะที่ค่อนข้างแตกต่างจากอาคารประเภทอื่น โดยอาคารสำนักงานส่วนหนึ่งจะมีการแบ่งพื้นที่เช่าให้กับลูกค้า ทำให้ภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และการบริหารจัดการด้านพลังงานในพื้นที่เช่าจะขึ้นกับลูกค้าผู้เช่าพื้นที่เอง จึงสามารถพิจารณารูปแบบของปัญหาและแนวทางการจัดการพลังงานของอาคารสำนักงานได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ปัญหาและแนวทางการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน

ปัญหาการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน	แนวทางจัดการ
<u>โครงสร้างอาคาร</u> โครงสร้างอาคารสำนักงานใหม่ มักจะมีการออกแบบอาคารที่มีลักษณะทรงตรง-สูง และมีกรอบอาคารที่เป็นผนังกระจก (Curtain Wall) โดยปราศจากการบังเงา ทำให้ค่าส่งผ่านความร้อนผ่านกรอบอาคารมีค่าสูง ส่งผลกระทบเป็นภาระต่อการใช้เครื่องปรับอากาศของอาคาร ทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่สูงขึ้น	กำหนดให้การใช้ผนังกระจก (Curtain Wall) ที่ปราศจากการบังเงา โดยเฉพาะที่มีการปะทะกับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ โดยเฉพาะในทิศตะวันตก ทิศตะวันออก และทิศใต้ จะต้องให้ผู้ออกแบบและผู้ก่อสร้างอาคารเลือกใช้ผนังกระจก ที่มีค่าส่งผ่านความร้อนต่ำ เช่น Double Gass เป็นต้น หรือหากเป็นอาคารที่สามารถออกแบบติดตั้งบังเงาแบบนอกอาคารได้ก็จะต้องมีการติกตั้งอุปกรณ์บังเงานอกอาคาร ซึ่งกรณีนี้อาจจะเป็นเฉพาะอาคารที่ไม่ได้สูงมาก
<u>บุคลากร</u> อาคารสำนักงานส่วนใหญ่มักจะขาดเจ้าหน้าที่ระดับวิศวกรที่จะผลักดัน ตรวจสอบโครงการด้านการอนุรักษ์พลังงานของตนเอง ดังนั้นแม้ภาครัฐจะพยายามผลักดันเกี่ยวกับการพัฒนาบุคลากรเพื่อให้สามารถดำเนินการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานได้ ก็จะเกิดผลเฉพาะอาคารบางส่วนที่มีบุคลากรเท่านั้น ส่วนอาคารที่ไม่มีเจ้าหน้าที่ดูแลเฉพาะก็จะยังคงเป็นเช่นเดิม	แบ่งกลุ่มเป้าหมายในการพัฒนาบุคลากรเป็น 2 กลุ่มตามศักยภาพของอาคาร แล้วดำเนินโครงการพัฒนาบุคลากรให้เหมาะสมกับอาคารแต่ละกลุ่ม <u>กลุ่มที่ 1</u> อาคารที่มีบุคลากรด้านการจัดการพลังงาน ภาครัฐอาจสามารถดำเนินโครงการเพื่อส่งเสริมศักยภาพของบุคลากรดังกล่าวได้โดยตรง <u>กลุ่มที่ 2</u> อาคารที่ขาดบุคลากรด้านการจัดการพลังงาน ภาครัฐควรทำโครงการในลักษณะการตรวจวัด ประเมินผล และให้คำแนะนำด้านการจัดการพลังงานโดยตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาการจัดการพลังงาน ในอาคารสำนักงาน	แนวทางจัดการ
การจัดการ	
ลักษณะของประเภทอาคารสำนักงานส่วนใหญ่ จะเป็นอาคารที่ให้เช่าพื้นที่ ซึ่งมีการเช่าในลักษณะสัญญาปีต่อปี โดยเหตุผลที่ผู้เช่าไม่แน่ใจต่อช่วงระยะเวลาการเช่า จึงมักจะไม่ลงทุนในการติดตั้งอุปกณ์ประหยัดพลังงาน และหากการลงทุนอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวมีผลตอบแทนการลงทุนยาวนาน ก็จะทำให้การลงทุนเป็นไปไม่ได้เลย เจ้าของอาคารก็จะไม่เห็นความจำเป็นของการอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากภาระค่าไฟฟ้าเป็นของผู้เช่า หากผู้เช่าใช้ไฟฟ้ามากก็ยิ่งทำให้เจ้าของอาคารได้ส่วนต่างของค่าไฟฟ้าเป็นผลกำไรมากยิ่งขึ้น	หากภาครัฐจะส่งเสริมการจัดการพลังงานของอาคารสำนักงานโดยพิจารณาจากประเภทอุปกรณ์ที่ใช้ อาจแบ่งเป็นสองกลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 ระบบใช้พลังงานหลักของอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ ภาครัฐควรกำหนดที่จะให้มีการตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานทุกช่วงระยะเวลา หรือมีการกำหนดอายุการใช้งานที่ชัดเจน กลุ่มที่ 2 เครื่องใช้ในสำนักงานต่างๆ ซึ่งภาครัฐอาจต้องใช้แนวทางการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์สำนักงานที่มีประสิทธิภาพ เช่น MEPs เป็นต้น

โดยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การผลักดันนโยบายการอนุรักษ์พลังงานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน ควรมุ่งเน้นที่จะให้อาคารสำนักงานใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง ซึ่งอาจเป็นมาตรการจูงใจหรือบังคับ แต่ภาครัฐควรมีเป้าหมายและแผนดำเนินการที่ชัดเจน ที่ปรึกษาจึงขอเสนอที่จะผลักดันให้เกิดการประหยัดพลังงานโดยการกำหนดมาตรฐานอุปกรณ์พลังงานขึ้นต่ำ โดยผลักดันให้อาคารหยุดที่จะเลือกใช้งานอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำในระบบแสงสว่างและระบบทำความเย็น

2) ตัวอย่างเทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานตัวอย่าง

จากการสำรวจลักษณะการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานตัวอย่าง (จากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550) สามารถสรุปมาตรการและเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานตัวอย่างได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-15 มาตรการและศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานตัวอย่าง

ลำดับ	มาตรการ	จำนวนอาคาร	การลงทุน (บาท)	จำนวน (หน่วย/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
1	เลือกเดินคูลลิ่งทาวเวอร์ชุดที่มีประสิทธิภาพสูง บ่อยกว่าชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำ	1	-	4,335	14,066	-
2	เลือกเดินปั๊มน้ำระบายความร้อนชุดที่มีประสิทธิภาพสูง บ่อยกว่าชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำ	2	-	22,526	74,570	-
3	เลือกเดิน Chiller ชุดที่มีประสิทธิภาพสูง บ่อยกว่าชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำ	1	-	21,834	73,223	-
4	ปรับเพิ่มอุณหภูมิเทอร์โมสแตทเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น 1-2°C	1	-	74,310	261,020	-
5	ติดตั้งแอร์ Package สำหรับร้านค้าแทนการเดิน Chiller ที่โหลดต่ำ	1	802,500	217,807	680,238	1.18
6	เปลี่ยนระบบปรับอากาศจาก Air Cooled Chiller เป็น Water Cooled Chiller	1	4,387,000	221,400	722,008	6.08
7	การเปลี่ยนใบพัดคูลลิ่งทาวเวอร์เป็นไฟเบอร์กล๊าส	12	3,315,000	372,724	1,221,374	2.71
8	ติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์	8	9,012,025	765,282	2,630,727	3.43
9	ลดพื้นที่กระจกเพื่อลดความร้อนจากแสงแดด (ติดยิบซั่มบอร์ดเพื่อลดพื้นที่กระจก)	8	3,365,346	823,617	2,769,939	1.21
10	การปรับตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมที่ 25 °C ด้วยการติดตั้งชุดเทอร์โมสแตทที่ไม่สามารถตั้งค่าได้ต่ำกว่า 24 °C	12	1,597,980	1,760,804	6,052,762	0.26
11	การใช้เครื่องทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อัตโนมัติ	6	12,960,000	1,775,174	5,752,421	2.25
12	ลดจำนวนหลอดไฟแสงสว่างบริเวณ	1	-	6,447	22,647	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับ	มาตรการ	จำนวนอาคาร	การลงทุน (บาท)	จำนวน (หน่วย/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
	บันไดหนีไฟ					
13	ใช้บัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์ในบริเวณที่ต้องการไฟฟ้าแสงสว่าง 24 ชั่วโมง	3	266,000	29,630	96,708	2.75
14	ลดขนาดหลอดไฟบริเวณบันไดหนีไฟ	5	96,400	60,847	199,685	0.48
15	การเพิ่มแผ่นสะท้อนแสงโคมไฟ เพื่อลดจำนวนหลอดไฟ	1	2,320,200	213,974	899,877	2.58
16	การติดตั้งอุปกรณ์ Light Save กับหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ 36 w	5	7,945,125	513,784	1,690,478	4.70
17	เปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W ลงเหลือ 28 W (หลอด T5)	14	35,886,980	2,838,661	9,150,925	3.92
18	รวมโหลดหม้อแปลง	6	-	145,416	513,896	-
	รวม		81,954,555	9,868,572	32,826,566	2.50

จากตารางสรุปศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าสำหรับอาคารสำนักงานยังคงมีความจำเป็นต่อการสร้างความรู้ความเข้าใจต่อการอนุรักษ์พลังงานต่อผู้ประกอบการ โดยศักยภาพมาตรการส่วนหนึ่งที่นำเสนอยังคงเป็นมาตรการในลักษณะของ House Keeping เช่น การตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสม การเลือกใช้ Chiller หรือปั๊มน้ำชุดที่มีประสิทธิภาพสูง บ่อยกว่าชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า เป็นต้น

สำหรับมาตรการที่ต้องมีการลงทุน ส่วนหนึ่งเกิดจากจะเป็นการลงทุนเพื่อให้ระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าเดิมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีขึ้น เช่น ระบบทำความสะอาดท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติด้วยเทคนิค Ball Cleanning ในระบบ Chiller การติดตั้งอุปกรณ์ Light Save เป็นต้น สำหรับอีกกลุ่มจะเป็นการลงทุนในอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า เช่น ระบบปรับอากาศใหม่ทดแทนระบบเดิมซึ่งอาจมีอายุการใช้งานยาวนานหรือมีการออกแบบไม่เหมาะสมกับการใช้งาน การใช้หลอด T5 ทดแทนหลอด T8 เดิม ซึ่งผลของการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ดังกล่าวมักมีมีการลงทุนสูง แต่ก็มีระยะเวลาคืนทุนที่เหมาะสมต่อการลงทุน

3) **แนวคิดจากการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี** (Technology Change)

ในภาวะที่ราคาพลังงานปรับตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ผู้ผลิตอุปกรณ์ด้านระบบแสงว่าง เครื่องปรับอากาศ หรือมอเตอร์ต่างๆ ก็มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่จะให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งได้นำเสนอในส่วนของเทคโนโลยีเชิงลึก ดังนี้

- การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเย็นในภาคปฐมภูมิ (Variable Primary Side Chilled Water Flow Technology)
- การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแสงสว่าง โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ซึ่งจะมีการใช้พลังงานเพียง 28 วัตต์ต่อหลอด
- การลดการใช้พลังงานในลิฟท์ โดยใช้เทคโนโลยีการขับเคลื่อนแบบรีเจนเนอเรทีฟในลิฟท์ (Regenerative Drive Lift Technology)

ภายใต้เทคโนโลยีด้านการประหยัดพลังงานที่ใส่เข้าไปในผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เหล่านี้ ประกอบกับภาวะที่ราคาพลังงานปรับตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผู้ลงทุนหรือเจ้าของอาคารสำนักงานเกิดความคุ้มค่าในการลงทุนใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงเหล่านี้มากขึ้น

4.4.2 แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน

สำหรับการจัดทำแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อจัดทำแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน ที่แบ่งเป็นแผนการดำเนินงานในระยะสั้น (1-2 ปี) ระยะปานกลาง (3-5 ปี) ระยะยาว (5 ปี ขึ้นไป)
- นำเสนอกิจกรรมการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่แสดงถึงรายละเอียดหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เป้าหมายและดัชนีชี้วัดผลสำเร็จ
- สนับสนุน และส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานอย่างเป็นรูปธรรม

จากการศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน เฉพาะการใช้ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่เป็นเกณฑ์ (Benchmark) สำหรับกำหนดเป้าหมายประสิทธิภาพการใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลังงานของอาคารสำนักงานแต่ละแห่ง พบว่าศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารควบคุม จะมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้ถึงประมาณ 238 GWh/ปี หรือคิดเป็นความสามารถในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณ 16.8% ของการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารสำนักงานดังกล่าวนับว่าเป็นเป้าหมายในเชิงอุดมคติ ที่สามารถผลักดันให้อาคารสำนักงานทุกแห่งปรับปรุงการใช้พลังงานของตนเอง จนกระทั่งมีค่าดัชนีการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์มาตรการทุกอาคาร และเมื่อเปรียบเทียบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานตัวอย่างจำนวน 20 แห่ง ที่มีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานประมาณ 13.5% ของการใช้พลังงานในปัจจุบัน การกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานโดยรวมของกลุ่มอาคารสำนักงานทั่วประเทศที่ 10% ของปริมาณการใช้พลังงานในปัจจุบัน จึงเป็นเป้าหมายที่ใกล้เคียงความเป็นจริง และเป็นไปได้ โดยสามารถกำหนดแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน และกำหนดเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงานได้เป็น ระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาว ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) แผนส่งเสริมฯ ระยะสั้น (1-2 ปี)

1.1) แนวคิดของแผนส่งเสริมฯ

เน้นมาตรการที่สามารถดำเนินการได้ทันที ใช้เงินลงทุนไม่มาก เช่น การส่งเสริมให้อาคารมีระบบการจัดการด้านพลังงาน (Energy Management) มีการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษาที่ดีภายในสถานประกอบการ (House-Keeping) รวมถึงมีการลงทุนเพื่อปรับปรุงอุปกรณ์และระบบต่างๆ เบื้องต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบหรืออุปกรณ์ดังกล่าว เป็นต้น แนวทางส่งเสริมในระยะนี้ ภาครัฐจำเป็นต้องให้การสนับสนุนผ่านกลไกต่างๆ เช่น การอุดหนุนการจัดส่งผู้เชี่ยวชาญไปช่วยให้คำปรึกษาสถานประกอบการ การอุดหนุนเงินลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือการช่วยเหลือภาระดอกเบี้ยเงินกู้ หรือการให้สิทธิพิเศษทางภาษี เป็นต้น

ในช่วงแผนส่งเสริมระยะสั้นนี้จำเป็นต้องมีการพัฒนาบุคลากรในอาคารสำนักงานดังกล่าว ให้มีประสบการณ์และมีความเชี่ยวชาญในการควบคุมและดูแลการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อคงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งบุคลากรดังกล่าวควรต้องมีความสามารถในการวิเคราะห์และนำเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมกับสถานประกอบการของตนเอง เพื่อให้มีศักยภาพในการพัฒนาปรับปรุงสำนักงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในสำนักงานอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน รวมทั้งภาครัฐจำเป็นต้องมีการประชาสัมพันธ์ เพื่อ

สร้างจิตสำนึกที่ดีต่อประชาชน และผู้บริหารสำนักงาน ในการช่วยกันดำเนินกิจกรรมต่างๆ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

1.2) **กิจกรรมที่ดำเนินการ**

เน้นกิจกรรมการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่อาคารสำนักงานอย่างต่อเนื่องเพื่อเสริมสร้างศักยภาพให้แก่เจ้าหน้าที่ควบคุมอาคาร การสนับสนุนด้านบุคลากรและเครื่องมือวัดการใช้พลังงานแก่อาคาร รวมถึงให้ความช่วยเหลือจากภาครัฐเพื่ออุดหนุนค่าที่ปรึกษาฯ เพื่อช่วยเหลือจัดตั้งระบบการบริหารการใช้พลังงาน และการดำเนินกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร นอกจากนี้ภาครัฐจำเป็นต้องกำกับดูแลให้อาคารต่างๆ จัดส่งแบบรายงานผลการตรวจสอบระบบการจัดการพลังงานอย่างสม่ำเสมอ และถูกต้อง และปรับปรุงฐานข้อมูลให้มีความถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์ สะดวกต่อการใช้งาน

2) **แผนส่งเสริมฯ ระยะปานกลาง** (3-5 ปี)

2.1) **แนวคิดของแผนส่งเสริมฯ**

เน้นมาตรการที่ต้องมีการลงทุนเพิ่มขึ้น เพื่อปรับปรุง หรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพการดำเนินงานที่ดีขึ้น (Retrofiting, Equipments & Process Improvement) โดยมาตรการดังกล่าวจะมีลักษณะที่ต้องใช้เงินลงทุนในระดับปานกลาง-สูง อีกทั้งยังคงต้องมีการส่งเสริมให้เกิดกลไกการสร้างการเรียนรู้และพัฒนาศักยภาพบุคลากรที่อยู่ในสายงานการอนุรักษ์พลังงานในภาคอาคารธุรกิจดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ภาครัฐอาจจะยังต้องมีการสนับสนุนทางด้านการเงินบางส่วนเพื่อช่วยกระตุ้นตลาด และสร้างฐานความรู้ด้านการอนุรักษ์พลังงานให้หน่วยงานต่างๆ สามารถเข้ามาใช้งานและเรียนรู้ร่วมกันเพื่อพัฒนาต่อยอดความรู้ดังกล่าวให้ต่อเนื่องและยั่งยืน

2.2) **กิจกรรมที่ดำเนินการ**

กิจกรรมที่ดำเนินการในช่วงนี้จะเน้นการกระตุ้นและช่วยเหลือจากภาครัฐเพื่ออุดหนุนเงินลงทุนในอุปกรณ์และมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ที่มีผลพิสูจน์ทราบแล้ว (Proven Technology) เพื่อให้เกิดการขยายผลในการส่งเสริมการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวมาประยุกต์อย่างแพร่หลายในอาคารสำนักงาน โดยใช้กลไกการสนับสนุนด้านการเงินที่หลากหลาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อให้เกิดทางเลือกหลายทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการ เช่น การสนับสนุนดอกเบี้ย สนับสนุนเงินลงทุน เป็นต้น

นอกจากนี้ควรมีการส่งเสริมมาตรการสร้างแรงจูงใจแก่อาคารสำนักงาน เช่น การพัฒนาระบบการออกฉลาก (Label) อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นกิจกรรมที่กระตุ้นให้เกิดการตรวจสอบการใช้และจัดการด้านพลังงานในอาคารอย่างสม่ำเสมอ โดยจะให้มีการตรวจสอบและรับรองการใช้พลังงานในแต่ละปี และออกฉลากเพื่อแสดงระดับประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน และระดับการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในสถานประกอบการ รวมถึงมีการศึกษา เพื่อพัฒนา กฎหมายและข้อกำหนดต่างๆ เพื่อส่งเสริม ควบคุมดูแลให้มีการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงานที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

3) **แผนส่งเสริมฯ ระยะยาว (มากกว่า 5 ปี)**

3.1) **แนวคิดของแผนส่งเสริม**

ในระยะยาว ภาครัฐต้องเป็นหน่วยงานหลักในการเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่เผยแพร่องค์ความรู้ต่างๆ ทางด้านเทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และช่วยเหลือในการถ่ายทอดเทคโนโลยี (Technology Transfer) รวมถึงการให้คำแนะนำเบื้องต้นแก่ผู้ประกอบการในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีกลไกตลาดของผู้ผลิตอุปกรณ์และผู้ให้บริการต่างๆ เช่น บริษัทที่ปรึกษาฯ (Consultant) ผู้ออกแบบ (Designer) ผู้รับเหมา (Contractor) บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) ทำหน้าที่สนับสนุนการดำเนินการดังกล่าวอย่างเพียงพอและมีคุณภาพ

ในช่วงแผนส่งเสริมระยะยาวนี้ จะเน้นมาตรการที่ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการแก้ไขปรับปรุงกรอบอาคาร รวมถึงเปลี่ยนแปลงหลักการในการออกแบบอาคารและระบบการใช้พลังงานต่างๆ (ในส่วนอาคารใหม่) รวมถึงการเปลี่ยนระบบอุปกรณ์เครื่องจักรหลักที่ใช้พลังงานสูงให้เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งในบางกรณีอาจเหมาะสมกับโครงการอาคารสำนักงานใหม่ หรืออาคารสำนักงานที่ถึงระยะเวลาต้องมีการปรับปรุง (Renovate) สถานประกอบการ โดยต้องนำแนวคิดการอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบโครงการในลักษณะมาตรฐานการออกแบบและดำเนินงานที่ดี (Codes of Practice) ซึ่งหากมีการดำเนินการดังกล่าวข้างต้นอย่างต่อเนื่องแล้ว จะส่งผลให้เกณฑ์ดัชนีการ

ใช้พลังงาน (Benchmark) ของอาคารสำนักงานโดยภาพรวม มีการใช้พลังงานต่อพื้นที่น้อยลง หรือมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น

3.2) กิจกรรมที่ดำเนินการ

เน้นกิจกรรมเพื่อสร้างมาตรฐานการดำเนินงานที่ดี เพื่อให้เป็นแนวทางมาตรฐานในการออกแบบอาคาร และใช้อุปกรณ์ประกอบอาคารสำนักงานที่ประหยัดพลังงาน เช่น การกำหนดมาตรฐานอุปกรณ์พลังงาน (Minimum Performance Standard) การดำเนินกิจกรรมการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคาร และออกฉลาก (Label) อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม อย่างต่อเนื่อง

โดยสรุป ภายใต้แนวคิดของแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงานในระยะต่างๆ ข้างต้น ได้กำหนดเป้าหมายของการประหยัดพลังงานในกลุ่มอาคารสำนักงานไว้ดังนี้

ตารางที่ 4-16 เป้าหมายแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน

แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน	เป้าหมายการประหยัด (% การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานทั้งหมด)	ประหยัดพลังงาน (kWh/ปี)	มูลค่าผลประหยัด (บาท/ปี)
ระยะสั้น (1-2 ปี)	3%	42,518,570	127,555,710
ระยะปานกลาง (3-5 ปี)	7%	99,209,997	297,629,991
ระยะยาว (> 5 ปี)	10%	141,728,567	425,185,701

หมายเหตุ: คำนวณมูลค่าผลประหยัดที่อัตราค่าไฟฟ้า 3.0 บาท/kWh และข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานประเภทอาคารควบคุม ณ ปี พ.ศ. 2549

ที่มา: โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน พพ. , 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.3 แนวทางดำเนินการ

แนวทางการดำเนินงาน เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน โดยจัดแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาว แสดงได้ดังนี้

1) **แผนงานระยะสั้น** (1-2 ปี)

สำหรับแนวทางการดำเนินงาน เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงานระยะสั้นมีรายละเอียดดังนี้

1.1) **กิจกรรมที่ดำเนินการ** ในส่วนของกิจกรรมการดำเนินการจะประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ดังนี้

- การฝึกอบรม เพื่อเสริมสร้างศักยภาพให้แก่เจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารอย่างต่อเนื่อง ครอบคลุมทุกอาคารสำนักงาน
- การกำกับดูแลให้อาคาร จัดส่งแบบรายงานผลการตรวจสอบระบบการจัดการพลังงานอย่างสม่ำเสมอ และถูกต้อง และปรับปรุงฐานข้อมูลให้มีความถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์ สะดวกต่อการใช้งาน
- การสนับสนุนด้านบุคลากรและเครื่องมือวัดการใช้พลังงาน แก่อาคาร
- การให้ความช่วยเหลือจากภาครัฐเพื่ออุดหนุนค่าที่ปรึกษา ไปให้ความช่วยเหลือในการจัดตั้งระบบการบริหารการใช้พลังงาน และการดำเนินกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

1.2) **แนวคิดและเหตุผลในการจัดทำแผนงานระยะสั้น** ประกอบด้วย

- ในปัจจุบันยังมีบุคลากรที่ทำหน้าที่ควบคุมอาคารต่างๆ ที่ยังขาดทักษะ ความรู้ ความเข้าใจในเทคนิคการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ
- การมีข้อมูลการใช้พลังงานของแต่ละอาคาร ที่รายงานในแบบรายงานผลการตรวจสอบระบบการจัดการพลังงานอย่างครบถ้วน ถูกต้อง สามารถช่วยให้ภาครัฐ สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ วางแผน ส่งเสริมฯ ต่างๆ ได้ถูกต้องมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- จากการสำรวจเบื้องต้น พบว่าอาคารสำนักงานส่วนใหญ่ยังขาดเครื่องมือวัด ที่เพียงพอต่อการสำรวจสภาพการใช้พลังงาน เพื่อกำหนดเป็นเป้าหมาย และแผนการอนุรักษ์พลังงาน

- การจัดส่งผู้เชี่ยวชาญไปช่วยให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในการจัดตั้งระบบบริหารการใช้พลังงานและการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน จะช่วยทำให้สถานประกอบการต่างๆ มีความตั้งใจที่จะดำเนินกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานอย่างจริงจัง พนักงานมีความกระตือรือร้นที่จะพัฒนาศักยภาพและความรู้ของตนเองในการดำเนินกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงาน

1.3) **ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ**

- บุคลากรที่ทำหน้าที่ควบคุมและบำรุงรักษา อุปกรณ์ต่างๆ ในอาคาร มีความรู้ความเข้าใจที่ดีในเทคนิค และเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

- พพ. มีฐานข้อมูลที่ดี มีความถูกต้อง สำหรับรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากแบบรายงานผลการตรวจสอบระบบการจัดการพลังงานที่จัดส่งโดยอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารควบคุม

- มีหน่วยงานกลางจากภาครัฐ ทำหน้าที่สนับสนุนการตรวจวัดตรวจสอบการใช้พลังงานในแต่ละอาคารสำนักงาน โดยมีการคิดค่าบริการในอัตราที่เหมาะสม และมีจำนวนบุคลากร และเครื่องมือวัดที่เพียงพอต่อความต้องการ

- จัดส่งผู้เชี่ยวชาญไปให้คำปรึกษาในอาคารสำนักงานอย่างน้อย 50% ของจำนวนอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารควบคุมทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) **แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน**

(ระยะปานกลาง 3-5 ปี)

สำหรับแนวทางการดำเนินงาน เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงานระยะปานกลางมีรายละเอียดดังนี้

2.1) **กิจกรรมที่ดำเนินการ**

- การพัฒนาระบบการออกฉลาก (Label) อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นกิจกรรมที่กระตุ้นให้เกิดการตรวจสอบการใช้และจัดการด้านพลังงานในอาคารอย่างสม่ำเสมอ โดยจะให้มีการตรวจสอบและรับรองการใช้พลังงานในแต่ละปี และออกฉลากเพื่อแสดงระดับประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน และระดับการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในสถานประกอบการ

- การศึกษา เพื่อพัฒนา กฎหมายและข้อกำหนดต่างๆ เพื่อส่งเสริมควบคุมดูแลให้มีการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงาน

- การกำกับดูแลให้อาคาร จัดส่งแบบรายงานผลการตรวจสอบระบบการจัดการพลังงานอย่างสม่ำเสมอ และถูกต้อง และปรับปรุงฐานข้อมูลให้มีความถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์ สะดวกต่อการใช้งาน

- การให้ความช่วยเหลือจากภาครัฐเพื่ออุดหนุนเงินลงทุนในอุปกรณ์และมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ที่มีผลพิสูจน์ทราบแล้ว (Proven Technology) เพื่อให้เกิดการขยายผลในการส่งเสริมการนำมาตรการดังกล่าวมาประยุกต์อย่างแพร่หลาย โดยใช้กลไกการสนับสนุนด้านการเงินที่หลากหลาย เพื่อให้เกิดทางเลือกหลายทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการ เช่น การสนับสนุนดอกเบี้ย สนับสนุนเงินลงทุน

2.2) **แนวคิดและเหตุผลในการจัดทำแผนงานระยะปานกลาง**

- เพื่อช่วยเสริมสร้างกระแสความสนใจ แก่ลูกค้า และผู้ประกอบการ ในเรื่องประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละอาคาร โดยใช้แนวคิดของโครงการในลักษณะสมัครใจ โดยภาครัฐจะช่วยประชาสัมพันธ์เพื่อเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่อาคารสำนักงานที่ใส่ใจและมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ดี มีการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในเกณฑ์ต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ปัจจุบันกฎหมายที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งอ้างอิงตาม พรบ. อนุรักษ์พลังงาน (2535) เริ่มมีความล้าสมัย และไม่ทันกับเทคโนโลยีของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งควรมีการปรับปรุงข้อกำหนดควบคุมการออกแบบอาคาร ให้มีประสิทธิภาพทันสมัยทัดเทียมกับประเทศอื่นๆ

- การมีข้อมูลการใช้พลังงานของแต่ละอาคาร ภายใต้การจัดทำรายงานผลการตรวจสอบระบบการจัดการพลังงาน อย่างครบถ้วน ถูกต้อง สามารถช่วยให้ภาครัฐ สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ วางแผน ส่งเสริมฯ ต่างๆ ได้ถูกต้องมากขึ้น

- ในช่วงแรก เพื่อกระตุ้นให้ผู้ประกอบการแต่ละแห่งลงทุนในการติดตั้งระบบ อุปกรณ์ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ในรูปแบบ (Retrofiting) ซึ่งมีลักษณะที่ต้องใช้เงินลงทุนในระดับปานกลาง-สูง ภาครัฐจำเป็นต้องมีการสนับสนุนทางด้านการเงินบางส่วน

2.3) **ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ**

- ลูกค้าผู้ใช้บริการ ประชาชนทั่วไป ผู้บริหารและผู้ประกอบการอาคารสำนักงาน มีจิตสำนึกที่ดีที่จะช่วยดำเนินกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงาน และเลือกใช้บริการสำนักงานที่มีภาพลักษณ์ที่ดีในด้านการอนุรักษ์พลังงาน และรักษาสิ่งแวดล้อม

- มีข้อกำหนดการออกแบบอาคาร และกฎระเบียบต่างๆ ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการควบคุมดูแลให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (สำหรับอาคารก่อสร้างใหม่ และการปรับปรุงต่อเติมอาคารเดิม) มากขึ้น

- พพ. มีฐานข้อมูลที่ดี มีความถูกต้อง สำหรับรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากผลการตรวจสอบระบบการจัดการพลังงาน ที่จัดส่งโดยอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารควบคุม

- มีอาคารสำนักงาน ที่สนใจลงทุนในมาตรการเพื่อปรับเปลี่ยน ปรับปรุงระบบและอุปกรณ์ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน อย่างน้อย 30% ของจำนวนอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารควบคุมทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) **แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน (ระยะยาว ตั้งแต่ 5 ปี ขึ้นไป)**

สำหรับแนวทางการดำเนินงาน เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงานระยะยาวมีรายละเอียดดังนี้

3.1) **กิจกรรมที่ดำเนินการ**

- การดำเนินการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคาร และออกฉลาก (Label) อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
- การกำหนดมาตรฐานอุปกรณ์พลังงาน (Minimum Performance Standard)
- การกำกับดูแลอาคารควบคุม ให้ดำเนินการตามกฎหมาย หรือข้อกำหนด ควบคุมดูแลการใช้พลังงานสำหรับอาคาร

3.2) **แนวคิดและเหตุผลในการจัดทำแผนงานระยะยาว**

- เพื่อช่วยเสริมสร้างภาพลักษณ์ และทัศนคติที่ดี แก่ลูกค้า และผู้ประกอบการ ในเรื่องการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และการช่วยกันรักษาดูแลสิ่งแวดล้อม
- ภายใต้แนวคิดที่จะส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ โดยการห้ามผลิตหรือจำหน่ายอุปกรณ์ประสิทธิภาพต่ำในประเทศอีกต่อไป
- การนำแนวคิดการอนุรักษ์พลังงานมาประยุกต์ใช้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคารในลักษณะมาตรฐานการออกแบบและดำเนินงานที่ดี (Codes of Practice) จะเหมาะสมกับโครงการอาคารใหม่ หรืออาคารสำนักงานที่ถึงระยะเวลาต้องมีการปรับปรุง (Renovate) สถานประกอบการ โดยจะส่งผลสูงต่อการลดการใช้พลังงาน และลดความยุ่งยากในการปรับปรุงกรอบอาคาร เมื่อได้มีการใช้งานอาคารแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3) **ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ**

- มีผู้ประกอบการอาคารสำนักงาน ที่สนใจเข้าร่วมโครงการออกฉลากอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมดังกล่าวเป็นจำนวน 50% ขึ้นไป ของจำนวนอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารควบคุม

- กลุ่มเป้าหมายที่เป็นอุปกรณ์หลักของอาคารสำนักงานเป็นดังนี้

  - หลอดไฟ ควรกำหนดที่จะใช้อุปกรณ์หลอด T5 ทดแทน T8 โดยยกเลิกการจำหน่าย T8

  - ระบบทำความเย็น Chiller/Package Air/Split Type ควรกำหนดหรือจูงใจให้มีการเปลี่ยน Chiller เมื่อมีอายุการใช้งานเกิน 30 ปี (อาจมีการปรับลดอายุการใช้งานลงในภายหลังอีก)

  - หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้ออกแบบ (Designer) ผู้รับเหมา (Contractor) ผู้ผลิตอุปกรณ์และผู้ให้บริการต่างๆ เช่น บริษัทที่ปรึกษาฯ (Consultant) บริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) เข้าใจในแนวคิดและข้อกำหนดต่างๆ ของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคาร และมีกลไกการตลาดที่ช่วยสนับสนุนการดำเนินการดังกล่าวของหน่วยงานต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้ได้จัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานขึ้นเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งรายละเอียดการทำการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

จากการศึกษาสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานประกอบด้วยตัวแปรทั้งสิ้น 3 ตัวคือ

1) **พื้นที่ใช้สอย**

พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร เป็นปัจจัยแรกซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารมากที่สุด เพราะว่าถ้าหากว่ามีการเพิ่มปัจจัยอื่นๆมากขึ้น เช่น จำนวนพนักงานเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้มีการใช้พื้นที่ใช้สอยในอาคารมากขึ้น เป็นต้น

2) **จำนวนพนักงาน**

เนื่องจากจำนวนพนักงานที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงภายในอาคารสำนักงานจะก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การใช้พลังงานในส่วนของอุปกรณ์สำนักงานมากขึ้น ดังนั้นจำนวนพนักงานจึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน จำเป็นต้องอาศัยบุคลากรภายในองค์กร และระบบการจัดการต่างๆ เพื่อเอื้ออำนวยต่อการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีการจัดการด้านพลังงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำทั้งระบบการจัดการด้านพลังงาน และระบบการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม มาประยุกต์ใช้ในสถานประกอบการต่างๆ ตัวแปรทางด้านจำนวนพนักงานทั้งนี้เนื่องจาก การใช้พลังงานในอาคารแต่ละแห่งผู้ใช้ภายในอาคารจะเป็นตัวกำหนดหลักในการประหยัดพลังงาน ซึ่งจะเห็นได้จากการประหยัดพลังงานส่วนใหญ่นั้นจะมุ่งเน้นไปที่การดำเนินการใช้ (Operating) อาคารหรือการใช้

มาตรการด้านการบริหารและการจัดการใช้อุปกรณ์ในอาคารให้มีความเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานจริงซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยการจัดอบรมให้ความรู้แก่พนักงานและผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้มีความเข้าใจในระบบต่างๆ ซึ่งจะนำไปสู่การประหยัดพลังงานในอาคารได้นั่นเอง

3) ประเภทการใช้งานในอาคารสำนักงาน

ประเภทการใช้งานในการวิจัยนี้ได้แบ่งออกตามอาคารประเภทที่มีการใช้งานโดยองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียวและอาคารประเภทให้เช่า ซึ่งตัวแปรนี้จะมีความเกี่ยวข้องกับชั่วโมงการทำงานที่เป็นตัวแปรแฝงอยู่ เนื่องจากอาคารประเภทใช้งานองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียวจะมีชั่วโมงการทำงานที่แน่นอน และทั้งอาคารจะมีการใช้งานเป็นเวลา ซึ่งมีความแตกต่างกันของการใช้ระบบปรับอากาศอีกด้วยเนื่องจากอาคารที่ใช้ประเภทแบบองค์กรเดียวนั้นส่วนใหญ่ที่ตอบกลับจากแบบสอบถามจะเป็นอาคารประเภทอาคารราชการ ซึ่งระบบปรับอากาศที่ใช้จะเป็นประเภท Split type ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทำความเย็นที่มีการบังคับการเปิด ปิด จากตัวผู้ใช้งานในอาคารเอง แต่เนื่องจากชั่งโมงการทำงานน้อยกว่ากลุ่มประเภทอาคารให้เช่า

สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันก็คือ อาคารให้เช่าจะมีชั่วโมงการทำงานที่ค่อนข้างมากและไม่แน่นอนของผู้เช่าแต่ละรายดังนั้นในการเปิดอุปกรณ์ทำความเย็นจึงมีการเปิดนานกว่าและใช้มากกว่าถึงแม้ว่าอุปกรณ์ทำความเย็นของอาคารให้เช่าส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ทำความเย็นของอาคารราชการก็ตาม

5.2 แบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

จากการศึกษาเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณซึ่งทำให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 88.6 % ดังนี้

TBEC (kWh/yr) = -388,169.466 +145.250* Gross floor area + 601.517Number of People
+ 1,114,859.026 Type of building (5.1)

เนื่องจากตัวแปรจากแบบจำลองการใช้พลังงานข้างต้นนี้ตัวแปรที่เป็นประเภทการใช้งานในอาคารเป็นตัวแปรดัมมี่ (0 คืออาคารประเภทที่มีการใช้งานโดยองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียว

และ 1 คืออาคารประเภทให้เช่า) ดังนั้นจึงสามารถแยกแบบจำลองการใช้พลังงานออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) แบบจำลองของอาคารประเภทที่มีการใช้งานโดยองค์กรเดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียว (Type of building = 0)

TBEC (kWh/yr) = -388,169.466 +145.250Gross floor area + 601.517Number of People (5.2)

2) แบบจำลองของอาคารประเภทให้เช่า (Type of building = 1)

TBEC (kWh/yr) = 726,690 +145.250Gross floor area + 601.517Number of People (5.3)

เมื่อพิจารณาจากแบบจำลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างการใช้พลังงานในอาคารประเภทที่มีการใช้งานโดยองค์เดียวหรือกลุ่มบริษัทเดียวและประเภทอาคารให้เช่า ซึ่งจะพิจารณาได้จากค่าคงที่ของแต่ละแบบจำลอง (-388,169.466 และ 726,690 ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่าถ้าอาคารทั้งสองประเภทมีตัวแปรทางด้านพื้นที่ใช้สอยและจำนวนพนักงานเท่ากัน การใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารให้เช่าจะมากกว่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการสำรวจการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานทั้ง 20 แห่ง กล่าวคือสำหรับอาคารให้เช่านั้น ไม่ค่อยมีการจัดการทางด้านการอนุรักษ์พลังงานเท่าที่ควร เนื่องจากขาดความร่วมมือกันระหว่างเจ้าของอาคารและผู้เช่า ในขณะที่อาคารประเภทที่มีการใช้งานองค์กรเดียวนั้น มีการจัดการทางด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้มากกว่า เพราะทางอาคารเองสามารถออกกฎระเบียบ ข้อบังคับ เพื่อให้พนักงานภายในอาคารปฏิบัติตามได้นั่นเอง

หลังจากนั้นได้แบบจำลองการใช้พลังงานแล้วได้นำไปทดสอบความแม่นยำจากแบบจำลอง โดยพิจารณาวัดค่าความถูกต้อง 3 ค่า ซึ่งต่างก็เป็นฟังก์ชั่นของค่าความคลาดเคลื่อน e_i โดยที่ e_i เป็นผลต่างของค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ด้วยวิธีการคำนวณค่า MSE (Mean Squared Error) MAD (Mean Absolute Deviation) และ MAPE (Mean Absolute Percentage Error) จากผลการคำนวณค่า MAD MSE และ MAPE สรุปได้ว่าแบบจำลองการใช้

พลังงานในอาคารสำนักงานที่ได้นั้นมีค่าผิดพลาดจากการใช้พลังงานจริง 38.49 % ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Box, G.E.P., Hunter, J.S., Hunter, W.G. (2005).) แต่จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นถึงแม้ว่าจะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุจากทางด้านจำนวนตัวอย่างที่ได้รับจากแบบสอบถามน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้นั่นคือจำนวนตัวอย่างที่คำนวณได้คือ 100 ตัวอย่างแต่แบบสอบถามซึ่งหลังจากตัดบางตัวอย่างออกเนื่องจากผู้กรอกแบบสอบตอบมาไม่สมบูรณ์จึงไม่สามารถนำมาพิจารณาได้และอีกประการหนึ่งคือเมื่อทำการเก็บรวมรวมข้อมูลได้แล้วพบว่าอาคารบางแห่งมีค่าการใช้พลังงานที่ผิดปกติทำให้เกิดค่า Outlier ขึ้นนั่นเอง

ดังนั้นจึงใช้วิธีทดสอบความเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลหรือไม่นั่นก็คือวิธีการทดสอบ Lack of Fit โดยขั้นตอนการทดสอบจะแบ่ง Residual Sum of Square (SSE) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Lack of Fit Sum of Square (SS_L) และ Pure Error Sum of Square (SS_P) ผลที่ได้พบว่าค่า F และค่าระดับนัยสำคัญสามารถสรุปได้ว่ายังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่ามี Lack of Fit เกิดขึ้นดังนั้นจึงสามารถใช้แบบจำลองดังกล่าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.3 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการลดการใช้พลังงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานด้วยการจัดการอย่างเหมาะสมกับตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน แต่จะได้แบบจำลองที่มีความเชื่อมั่นมากขึ้นถ้าหากว่าในส่วนของภาครัฐมีการเก็บบันทึกขึ้นมูลตัวแปรต่างๆ ในงานวิจัยมีการจัดเก็บอย่างชัดเจนขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรกมล ตันติวนิช, 2550. **การจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในกรุงเทพฯ**. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิยาลัยธรรมศาสตร์.

การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548. **การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น.**วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

คงกรุน กุลชาติ, 2540. **การจัดการพื้นที่ภายในอาคารเพื่อลดภาระทำความเย็น: กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

ปริมลาภ วสุวัต, 2542. **กลยุทธการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ: กรณีศึกษา อาคารกองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศดอนเมือง**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ, 2544. **การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548. **สถิติสำหรับงานวิจัย**. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิวฤทธิ์ พงศกรรังศิลป์, 2547. **สถิติธุรกิจ**. กรุงเทพมหานคร: เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า

ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2541. **การวิเคราะห์การถดถอย**. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนทร บุญญาธิการ, 2543. **เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานการใช้กระจก**. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Andersen, D.R., D.J. Sweeney and T.A. Williams, 1997. An Introduction to Management Science. **Quantitive Approach to Decision Making**, 8th edn. West Publishing, St Paul, Minnesota.

H. Sun, S.E. Lee, R.M.T. Priyadarsini, X. Wu, Y. Chai and H.-S.Majid, 2006. Building energy performance benchmarking and simulation under tropical climatic conditions. **International Workshop on Energy Performance and Environmental Quality of Buildings**, Milos Island, Greece.

Lehmann, C., N. Gaitani and M. Santamouris, 2006. Using Principal components analysis and clustering technics to define typical buildings. **Energy Performance and Environmental Quality of Buildings (EPEQUB2006),** Milos Island, Greece.

Sun, H.S. and S.E. Lee, 2006. Case study of data centers energy performance, **Energy and Buildings, Volume 38**, Page 522-533

Wober, K.W., 2002. Benchmarking in Tourism and Hospitality Industries **The Selection of Benchmarking Partners**. CABI Publishing, Wakkubgford, Oxon OX10 8DE, UK.

Yoe, L.C., 2003. Investigating into car park energy consumption for commercial buildings in Singapore,Undergraduate Thesis, National University of Singapore.

M.G. Patterson, 1996. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues, **Energy Policy 24 (5)**, 377–390

R. Haas, 1997. Energy efficiency indicators in the residential sector. What do we know and what has to be ensured?, **Energy Policy 25 (7–9)**, 789–802

C. Federspiel, 2002. Q. Zhang and E. Arens, Model-based benchmarking with application to laboratory buildings, **Energy Build 34** , 203–214.

C. Filippín, (2000), Benchmarking the energy efficiency and greenhouse-gases emissions of school buildings in central Argentina, **Build Environ 35** , 407–414.

A.B. Birtles and P. Grigg, Energy efficiency of buildings, 1997 simple appraisal method, **Build Serv Eng Res Technol 18 (2)**, 109–114.

J.K. Monts and M. Blissett, 1982. Assessing energy efficiency and energy-conservation potential among commercial buildings: a statistical approach, **Energy 7** (10), 861–869.

Sharp T. 1996, Energy benchmarking in commercial-office buildings. In: **ACEEE summer study on energy efficiency in buildings**, vol. 4; 1996. p. 321–9.

APEC , 2001.Asia-Pacific Economic Cooperation Energy Benchmark System. **Singapore**: Available

Kinney S, Piette MA, 2002. Development of California commercial-building energy benchmarking database. In: **ACEEE 2002 summer study on energy efficiency in buildings**, vol. 7;,109–20.

J.E. Piper, 1999.Operations and maintenance manual for energy management, **M.E. Sharpe Inc**, USA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การกำหนดขนาดตัวอย่าง

เนื่องจากเป็นการยากที่จะบอกได้ว่าขนาดตัวอย่างจำนวนเท่าใดที่เพียงพอต่อการศึกษาหรือการวิจัยในแต่ละครั้ง แม้ว่าการเลือกตัวอย่างขนาดใหญ่โดยทั่วๆ ไปจะเป็นตัวแทนประชากรที่คิดว่าการเลือกตัวอย่างขนาดเล็ก แต่การเลือกตัวอย่างขนาดใหญ่จะทำให้มีการสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ยกตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยบางงานมีการเลือกตัวอย่างจำนวนมาก n = 1000ทั้งๆที่ความเป็นจริงใช้ขนาดตัวอย่างเพียง 500 ตัวอย่างก็เพียงพอแล้ว ดังนั้นนักวิจัยจึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดหรือคำนวณหาขนาดตัวอย่างหรือขนาดตัวอย่างโดยอาศัยหลักการทางสถิติที่ทำให้งานวิจัยนั้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด หรือมีระดับความเชื่อมั่นมากที่สุด

ในการกำหนดขนาดตัวอย่างนั้นมีความสำคัญกับค่าสถิติที่จะประมาณมาก เพราะซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนเท่าใด จะทำให้การประมาณค่ามีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด หรือมีความคลาดเคลื่อนน้อยทีสุด โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงการกำหนดขนาดตัวอย่าง ที่สามารถนำไปปรับใช้งานวิจัยได้

1) เมื่อไม่ทราบจำนวนประชากร ทราบเพียงว่ามีจำนวนมาก

$$n = \frac{Z^2 P(1-P)}{e^2}$$

เมื่อ

n แทนจำนวนสมาชิกกลุ่มตัวอย่าง

P แทนสัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยกำหนดจะสุ่ม โดยทั่วไปนิยมกำหนดสัดส่วนประชากรที่คาดว่าจะสุ่มประมาณร้อยละ 50

Z แทนระดับความมั่นใจที่ผู้วิจัยกำหนดไว้

Z มีค่าเท่ากับ 1.96 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ระดับนัยความสำคัญ 0.05)

Z มีค่าเท่ากับ 2.58 ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (ระดับนัยความสำคัญ 0.01)

e แทนความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

2) กรณีทราบจำนวนประชากร และมีจำนวนไม่มาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$n = \frac{NZ^2P(1-P)}{Ne^2 + Z^2P(1-P)} \quad (2.5)$$

เมื่อ

n แทนจำนวนสมาชิกกลุ่มตัวอย่าง

P แทนสัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยกำหนดจะสุ่ม โดยทั่วไปนิยมกำหนดสัดส่วนประชากรที่คาดว่าจะสุ่มประมาณร้อยละ 50

Z แทนระดับความมั่นใจที่ผู้วิจัยกำหนดไว้

Z มีค่าเท่ากับ 1.96 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ระดับนัยความสำคัญ 0.05)

Z มีค่าเท่ากับ 2.58 ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (ระดับนัยความสำคัญ 0.01)

e แทนความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

N แทนจำนวนประชากร

โดย งานวิจัยนี้ได้เลือกการสุ่มขนาดตัวอย่าง ประเภทกรณีทราบจำนวนประชากร และมีจำนวนไม่มาก

ขั้นตอนในการคำนวณจำนวนอาคารตัวอย่างเพื่อส่งแบบสอบถาม

- **ขนาดกลุ่มตัวอย่าง** สูตร การหาจำนวนตัวอย่างในกรณีที่ทราบจำนวนประชากร และประชากรมีจำนวนไม่มากนัก คือ

$$n = \frac{NZ^2P(1-P)}{Ne^2 + Z^2P(1-P)}$$

เมื่อ

n = จำนวนตัวอย่างอาคารที่จะทำการสุ่มสำรวจ

N = จำนวนประชากร (อาคารควบคุม) เป้าหมายทั้งหมด โดยใช้จำนวนอาคารจากฐานข้อมูลอาคารควบคุม พพ.และข้อมูลความสูงอาคารจากกรมโยธาธิการและผังเมือง จำนวน 273 อาคาร

P = ระดับความหลากหลายของการตอบคำถามของกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจ (Degree of Variability) ซึ่งแสดงเป็นสัดส่วนของคำตอบของประชากรที่อาจจะเบี่ยงเบนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งของประเด็นที่ทำการสำรวจ โดยทั่วไปจะใช้ค่าที่ 0.5 หรือ 50% ซึ่งเป็นค่าในกรณีที่มีความหลากหลายของการตอบคำถามมากที่สุด หรือเป็นค่าที่ Conservative ที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

e = ระดับความแม่นยำผลการสำรวจ (Margin of Error) จะต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 หรือ มีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5, ± 5% (ซึ่งหมายถึงช่วงความแม่นยำของผลการสำรวจ) ตัวอย่างเช่น 60% ของผลการสำรวจของกลุ่มตัวอย่างประชากรอยู่ในเกณฑ์ดี จะหมายถึงจำนวนประชากรในช่วง 55%-65% อยู่ในเกณฑ์ดี

Z = ระดับความเชื่อมั่นของผลการสุ่มตัวอย่าง (Confidence Level) ในโครงการฯ นี้เลือกที่ระดับ 90% ซึ่งหมายความว่าผลการสำรวจจากกลุ่มตัวอย่าง สามารถแสดงผลเป็นตัวแทนได้เทียบเท่ากับ 90% ของจำนวนอาคารควบคุมทั้งหมด ซึ่งจากตารางค่าทางสถิติจะมีค่าเท่ากับ 1.282 เมื่อระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 90%

ตาราง Z - table

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767

ค่า 0.9000 สามารถหาได้จากการ interpolate และได้ค่า Z = 1.282

แทนค่าจะได้

$$n = \frac{276 \times 1.282^2 \times 0.5(1-0.5)}{(463 \times 0.05^2) + (1.282^2 \times 0.5(1-0.5))} \approx 100 \text{ ตัวอย่าง}$$

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้ คือ 103 แห่ง ที่ระดับความเชื่อมั่นของผลการสุ่มตัวอย่าง (Confidence Level) 90%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข.1 แบบสอบถามฉบับร่าง

แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูล
“การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน”

ส่วนที่ 1: ข้อมูลเบื้องต้น	
1	ชื่ออาคาร:
2	ชื่อนิติบุคคล:
3	TSIC ID
4	หมายเลขรหัสอาคาร
5	ประเภทการให้บริการของอาคาร (โปรดทำเครื่องหมายหน้า☐ ถ้าประเภทการให้บริการของอาคารสำนักงาน ท่านสามารถระบุได้มากกว่าหนึ่งหัวข้อ) ☐ ประเภทสำนักงานที่ใช้งานโดย องค์กร/บริษัท เดียว ☐ ประเภทสำนักงานให้เช่า ☐ ประเภทสำนักงานให้เช่าและมีพื้นที่เช่าเพื่อการค้าอื่นๆ ☐ อื่นๆ ..... ในกรณีประเภทสำนักงานให้เช่าประกอบด้วยพื้นที่ให้เช่า..... ตรม.
6	ที่ตั้ง :
7	โทรศัพท์: โทรสาร:
8	ชื่อผู้ให้ข้อมูล
9	ตำแหน่งผู้ให้ข้อมูล
10	จำนวนพนักงานทั้งหมดในอาคารสำนักงาน คน
11	เริ่มเปิดดำเนินการ (เดือน/ปี)
12	เวลาทำการของอาคาร เวลา น. ถึงเวลา น.
13	จำนวนวันทำงานต่อปี วัน
14	จำนวนชั้นของอาคาร ชั้น อายุของอาคาร ปี
15	พื้นที่ปรับอากาศ ตารางเมตร
16	พื้นที่ไม่ปรับอากาศไม่รวมพื้นที่จอดรถ ตารางเมตร
17	พื้นที่จอดรถในอาคาร ตารางเมตร
18	พื้นที่จอดรถนอกอาคาร ตารางเมตร
19	ข้อมูลการใช้พลังงาน (ปีล่าสุด 2549) ความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด.....kW การใช้พลังงานไฟฟ้า.....kWh/ปี ค่าไฟฟ้าทั้งหมด.....บาท/ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ (ถ้ามี)

ระบบ	สัดส่วนการใช้ไฟฟ้า (ร้อยละ)	หมายเหตุ
ระบบปรับอากาศ		
ระบบแสงสว่าง		
ระบบลิฟต์/บันไดเลื่อน		
ระบบอื่นๆ		
รวม		

ส่วนที่ 3 ข้อมูลอุปกรณ์หลักในระบบต่างๆ และพื้นที่ที่มีการใช้พลังงาน

1) **หม้อแปลงไฟฟ้า**

หม้อแปลงชุดที่	ขนาดพิกัด (kVA)

2) **อุปกรณ์ทำความเย็น**

2.1 Chillers

ชนิด.....(centrifugal chiller, reciprocating chiller, screw chiller etc.)

อัตราการทำความเย็น..... BTU/hr

จำนวน.....

ลักษณะการระบายความร้อน.....(น้ำ/อากาศ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 package unit

อัตราการทำความเย็น..... BTU/hr

จำนวน.....

ลักษณะการระบายความร้อน.....(น้ำ/อากาศ)

2.3 Split type

อัตราการทำความเย็น..... BTU/hr

จำนวน.....

ลักษณะการระบายความร้อน.....

3) Lift/**บันไดเลื่อน**

กำลังไฟฟ้า_____kW. จำนวน_____ ตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แนวทางสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงานจากภาครัฐ

1) แนวทางสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงานจากภาครัฐ ท่านต้องการให้รัฐช่วยเหลือด้านในบ้าง

- ☐ โครงการเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ
- ☐ โครงการลดหย่อนภาษี
- ☐ โครงการฝึกอบรมให้ความรู้ด้านอนุรักษ์พลังงาน
- ☐ โครงการ ESCO
- ☐ โครงการช่วยเหลือด้าน Energy Audit
- ☐ อื่นๆ .....

2) โปรแกรมฝึกอบรมเพื่อให้เกิดผู้เชี่ยวชาญด้านอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน ท่านต้องการให้มีหัวข้อฝึกอบรมด้านใดบ้าง

- ☐ การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- ☐ การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ
- ☐ การอนุรักษ์พลังงานในระบบมอเตอร์ไฟฟ้า
- ☐ การอนุรักษ์พลังงานในระบบความร้อน
- ☐ การอนุรักษ์พลังงานด้วยเทคนิคการจัดการ
- ☐ การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน สำหรับอาคารใหม่
- ☐ การตรวจวัดและประเมินผลประหยัด
- ☐ การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน
- ☐ การดูงาน Best Practice ของอาคารสำนักงานที่ประสบความสำเร็จ
- ☐ อื่นๆ .....
- ☐ อื่นๆ .....

3) โปรแกรมฝึกอบรมเพื่อช่วยให้เกิดผู้เชี่ยวชาญด้านอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน ท่านต้องการให้มีการฝึกอบรมพนักงานตำแหน่งใดบ้าง

- ☐ วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง
- ☐ ช่างไฟฟ้าและเครื่องกลฝ่ายซ่อมบำรุง
- ☐ เจ้าหน้าที่ควบคุมอาคาร
- ☐ สำหรับพนักงานทั่วไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

☐ ผู้บริหาร

☐ อื่นๆ .....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการ

มาตรการด้านอนุรักษ์พลังงาน	ผลการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า				การลงทุนและผลตอบแทน	
	kW	kW/ปี	GJ/ปี	บาท/ปี	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข 2. แบบสอบถามฉบับจริง

แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูล
“การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน”

ส่วนที่ 1: **ข้อมูลเบื้องต้น**	
1	ชื่ออาคาร:
2	ชื่อนิติบุคคล:
3	TSIC ID
4	หมายเลขรหัสอาคาร
5	ประเภทการให้บริการของอาคาร (โปรดทำเครื่องหมายหน้า□ ถ้าประเภทการให้บริการของอาคารสำนักงาน ท่านสามารถระบุได้มากกว่าหนึ่งหัวข้อ) □ ประเภทสำนักงานที่ใช้งานโดย องค์กร/บริษัท เดียว □ ประเภทสำนักงานให้เช่า □ ประเภทสำนักงานให้เช่าและมีพื้นที่เช่าเพื่อการค้าอื่นๆ □ อื่นๆ ..... ในกรณีประเภทสำนักงานให้เช่าประกอบด้วยพื้นที่ให้เช่า..... ตรม.
6	ที่ตั้ง :
7	โทรศัพท์: โทรสาร:
8	ชื่อผู้ให้ข้อมูล
9	ตำแหน่งผู้ให้ข้อมูล
10	จำนวนพนักงานทั้งหมดในอาคารสำนักงาน คน
11	เริ่มเปิดดำเนินการ (เดือน/ปี)
12	เวลาทำการของอาคาร เวลา น. ถึงเวลา น.
13	จำนวนวันทำงานต่อปี วัน
14	จำนวนชั้นของอาคาร ชั้น อายุของอาคาร ปี
15	พื้นที่ปรับอากาศ ตารางเมตร
16	พื้นที่ไม่ปรับอากาศไม่รวมพื้นที่จอดรถ ตารางเมตร
17	พื้นที่จอดรถในอาคาร ตารางเมตร
18	พื้นที่จอดรถนอกอาคาร ตารางเมตร
19	ข้อมูลการใช้พลังงาน (ปีล่าสุด 2549) ความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด.....kW การใช้พลังงานไฟฟ้า.....kWh/ปี ค่าไฟฟ้าทั้งหมด.....บาท/ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ (ถ้ามี)

ระบบ	สัดส่วนการใช้ไฟฟ้า (ร้อยละ)	หมายเหตุ
ระบบปรับอากาศ		
ระบบแสงสว่าง		
ระบบลิฟต์/บันไดเลื่อน		
ระบบอื่น ๆ		
รวม		

ส่วนที่ 3 ข้อมูลอุปกรณ์หลักในระบบต่าง ๆ และพื้นที่ที่มีการใช้พลังงาน

1) **หม้อแปลงไฟฟ้า**

หม้อแปลงชุดที่	ขนาดพิกัด (kVA)

2) **อุปกรณ์ทำความเย็น**

2.1 Chillers

ชนิด.....(centrifugal chiller, reciprocating chiller, screw chiller etc.)

อัตราการทำความเย็น..... BTU/hr

จำนวน.....

ลักษณะการระบายความร้อน.....(น้ำ/อากาศ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 package unit

อัตราการทำความเย็น..... BTU/hr

จำนวน.....

ลักษณะการระบายความร้อน.....(น้ำ/อากาศ)

2.3 Split type

อัตราการทำความเย็น..... BTU/hr

จำนวน.....

ลักษณะการระบายความร้อน.....

3) Lift/**บันไดเลื่อน**

กำลังไฟฟ้า_____kW. จำนวน_____ ตัว

<u>ส่วนที่ 4 ข้อมูลเปลือกอาคาร</u>

ทิศทาง	ผนังทึบ พื้นที่ (m^2)	ผนังโปร่งใส พื้นที่ (m^2)
N		
S		
E		
W		
หลังคา		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม

No	การใช้พลังงานต่อปี (kWh/yr)	energy/m^2	อายุ	พท ใช้สอย	ชม ทำงานต่อปี	จำนวนพนักงาน	Chiller	Package	SP	Building type	ratio	high
1	5,688,333.33	167.06	10	34,050.00	2,600.00	1,300.00	1	0	1	0	0.10	78
2	1,227,428.00	61.86	13	19,841.30	2,400.00	300.00	0	1	0	1	0.60	48
3	4,756,622.24	304.21	14	15,636.11	2,400.00	800.00	0	1	0	1	0.90	54
4	765,666.67	77.55	13	9,873.00	2,600.00	120.00	0	1	1	1	0.21	63
5	2,112,735.00	135.42	26	15,601.00	2,000.00	800.00	0	1	0	1	0.08	12
6	8,119,311.25	187.82	13	43,229.83	2,470.00	2,709.00	0	1	1	1	0.34	90
7	1,387,942.40	151.69	39	9,150.00	3,285.00	555.00	1	0	1	1	1.59	24
8	3,096,413.83	146.03	10	21,204.00	2,056.00	400.00	0	1	0	1	0.30	75
9	2,630,666.67	97.81	22	26,895.40	2,286.90	1,000.00	0	1	0	1	0.30	57
10	2,112,735.00	110.96	30	19,040.00	2,000.00	500.00	0	1	1	1	0.77	18
11	907,505.04	178.50	13	5,084.00	2,592.00	381.00	0	1	0	1	0.80	42
12	938,500.00	45.89	16	20,451.00	2,269.20	180.00	1	0	1	1	0.07	9
13	2,403,500.00	131.42	16	18,289.00	2,530.00	800.00	0	1	0	1	0.90	15
14	1,460,606.97	73.17	10	19,962.43	2,205.00	300.00	1	0	1	1	0.28	21
15	3,658,500.00	215.21	15	17,000.00	3,008.50	506.00	0	1	0	1	0.76	54
16	1,081,833.60	136.27	19	7,939.00	2,700.00	280.00	0	1	0	1	0.43	30
17	5,412,032.83	184.68	16	29,305.00	4,680.00	3,000.00	1	0	1	1	0.62	54
18	945,272.00	148.32	29	6,373.00	2,400.00	2,000.00	1	0	1	1	0.02	24
19	21,398,332.53	399.20	8	53,603.00	7,300.00	4,000.00	1	0	1	1	0.27	90
20	2,992,914.78	201.57	9	14,848.00	3,614.00	500.00	0	1	0	1	0.91	81
21	100,000.00	20.00	12	5,000.00	2,000.00	20.00	0	1	0	1	0.50	5
22	10,395,000.00	131.53	11	79,034.00	2,144.00	500.00	0	1	0	1	1.50	96

No	การใช้พลังงานต่อปี (kWh/yr)	energy/m^2	อายุ	พท ใช้สอย	ชม ทำงานต่อปี	จำนวนพนักงาน	Chiller	Package	SP	Building type	ratio	high
23	17,946,000.00	167.48	1	107,151.00	2,808.00	3,896.00	1	0	0	1	1.80	108
24	2,350,280.04	98.27	8	23,916.00	2,400.00	550.00	1	0	0	1	0.56	26.55
25	2,942,580.00	174.68	6	16,846.00	2,000.00	505.00	1	0	0	1	0.70	20
26	439,680.00	40.21	10	10,935.00	2,024.00	210.00	0	1	1	1	0.20	35
27	2,277,000.00	225.74	7	10,087.00	2,000.00	800.00	0	1	0	1	1.40	50
28	3,093,000.00	94.51	8	32,728.00	2,250.00	300.00	1	0	0	1	0.70	70
29	2,741,000.00	79.47	13	34,489.00	2,964.00	400.00	1	0	0	1	0.80	74
30	1,333,762.00	78.17	5	17,062.00	2,200.00	400.00	0	1	1	1	0.40	15
31	668,215.00	124.07	15	5,386.00	2,736.00	600.00	0	1	1	1	1.80	78
32	1,686,000.00	236.37	16	7,132.86	2,400.00	680.00	1	0	0	1	1.70	18
33	3,530,000.00	217.75	12	16,211.00	2,450.00	500.00	0	1	0	1	1.50	32
34	3,880,000.00	193.50	13	20,052.00	2,259.00	550.00	1	0	1	1	1.00	87.5
35	10,936,000.00	141.42	9	77,329.00	2,232.00	270.00	1	0	0	1	0.30	92.5
36	1,904,000.00	215.14	11	8,850.00	2,232.00	760.00	0	1	0	1	0.40	50.85
37	3,924,245.67	88.82	5	44,182.00	3,285.00	119.00	0	1	1	1	0.60	123
38	3,795,200.00	126.51	12	30,000.00	4,015.00	500.00	0	1	0	1	1.20	95
39	10,566,000.00	148.50	12	71,152.00	2,794.00	2,122.00	1	0	0	1	1.40	111
40	5,289,200.00	159.24	11	33,216.00	2,460.00	900.00	0	1	1	1	0.70	63
41	12,000,000.00	112.23	6	106,919.00	2,470.00	340.00	0	1	0	1	0.50	150
42	4,687,000.00	133.91	17	35,002.00	2,205.00	820.00	1	0	0	1	1.40	63
43	3,804,393.00	216.16	17	17,600.00	3,600.00	750.00	1	0	1	1	0.80	60
44	14,823,000.00	202.88	18	73,063.00	5,840.00	1,000.00	1	0	0	1	0.50	84
45	14,253,000.00	193.81	12	73,540.00	5,840.00	1,000.00	1	0	0	1	1.80	5
46	4,691,000.00	261.12	14	17,965.00	2,223.00	1,260.00	1	0	1	1	0.89	90
47	4,248,745.32	231.63	9	18,342.84	4,380.00	1,200.00	0	0	0	1	0.9	60
48	10,271,580.06	118.73	12	86,509.00	2,223.00	3,000.00	0	0	0	1	1.8	96

No	การใช้พลังงานต่อปี (kWh/yr)	energy/m^2	อายุ	พท ใช้สอย	ชม ทำงานต่อปี	จำนวนพนักงาน	Chiller	Package	SP	Building type	ratio	high
49	5,604,411.75	206.14	10	27,188.00	2,480.00	1,500.00	0	0	0	1	0.8	60
50	2,976,275.43	187.64	7	15,862.00	2,470.00	987.00	1	0	1	1	1.6	57
51	3,066,104.27	210.40	6	14,573.00	2,970.00	600.00	1	0	0	1	0.8	114
52	4,863,935.38	245.29	6	19,829.00	2,970.00	800.00	0	1	0	1	0.6	63
53	10,123,750.83	229.47	10	44,118.74	2,976.00	1,200.00	1	0	1	1	0.9	93
54	6,216,043.00	214.77	8	28,942.56	2,500.00	2,300.00	1	0	0	1	0.4	90
55	6,216,043.00	230.20	8	27,003.25	2,500.00	2,500.00	1	0	0	1	0.7	96
56	7,666,381.25	167.81	12	45,685.20	2,232.00	3,000.00	0	1	0	1	1.6	54
57	9,688,334.67	156.47	14	61,917.00	2,327.50	2,000.00	1	0	1	1	0.8	58.42
58	14,280,477.22	272.01	14	52,500.00	8,760.00	2,600.00	0	1	0	1	1.45	88.9
59	6,002,140.00	282.23	10	21,267.00	4,035.00	1,500.00	1	0	0	1	1.78	58.42
60	7,227,763.64	225.87	16	32,000.00	2,470.00	1,700.00	0	1	0	1	1.6	55.88
61	5,610,717.47	374.05	20	15,000.00	2,480.00	1,500.00	1	0	0	1	0.3	50.8
62	9,123,750.83	206.80	9	44,118.74	2,600.00	340.00	1	0	0	1	1.3	76.2
63	5,331,766.50	266.59	19	20,000.00	2,500.00	1,000.00	0	1	0	1	0.1	55.88
64	7,012,205.31	116.59	13	60,144.00	2,000.00	1,600.00	1	0	1	1	0.7	86.36
65	7,604,411.75	135.92	20	55,948.80	2,214.00	2,600.00	1	0	0	1	0.8	63.5
66	7,127,436.57	254.55	9	28,000.00	2,460.00	1,500.00	0	1	1	1	0.4	51
67	838,000.00	81.77	12	10,247.85	2,800.00	300.00	1	0	0	1	0.05	15
68	6,003,700.34	222.47	14	26,986.00	2,232.00	1,400.00	0	1	0	1	0.2	72
69	1,623,661.96	122.63	15	13,239.96	2,970.00	1,000.00	0	0	1	1	0.8	66
70	877,971.20	43.83	9	20,031.28	2,000.00	300.00	0	1	0	1	0.04	63
71	16,928,555.60	179.84	10	94,130.00	3,650.00	400.00	1	0	1	1	0.3	150
72	7,454,970.00	216.00	8	34,514.40	2,214.00	680.00	0	1	0	1	0.89	84
73	3,748,183.18	99.34	8	37,732.00	2,690.00	300.00	0	1	0	1	0.04	60
74	1,370,003.10	97.34	8	14,074.00	2,340.00	340.00	1	0	0	1	0.03	54

No	การใช้พลังงานต่อปี (kWh/yr)	energy/m^2	อายุ	พท ใช้สอย	ชม ทำงานต่อปี	จำนวนพนักงาน	Chiller	Package	SP	Building type	ratio	high
75	4,512,500.00	124.76	24	36,168.00	2,000.00	1,000.00	0	0	1	0	1.2	60
76	3,110,407.40	85.78	20	36,260.42	2,000.00	400.00	0	1	1	0	0.4	40
77	2,960,000.00	78.95	15	37,493.00	2,000.00	500.00	0	1	1	0	0.4	20
78	2,343,814.00	59.40	16	39,456.00	2,000.00	348.00	0	1	1	0	0.02	10
79	5,218,628.76	119.02	14	43,846.00	2,000.00	500.00	0	1	1	0	0.9	21
80	5,127,479.00	115.73	12	44,306.00	2,214.00	500.00	0	1	1	0	0.98	24
81	3,362,082.00	72.87	7	46,135.40	2,000.00	250.00	0	1	1	0	0.08	30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตารางแจกแจงความถี่ค่าเปอร์เซนต์ไทล์

ง.1 ตารางแจกแจงความถี่ของการใช้พลังงานต่อพื้นที่

EUI

	kWh/m^2	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	20.00	1	1.2346	1.2346	1.2346
	40.21	1	1.2346	1.2346	2.4691
	43.83	1	1.2346	1.2346	3.7037
	45.89	1	1.2346	1.2346	4.9383
	59.40	1	1.2346	1.2346	6.1728
	61.86	1	1.2346	1.2346	7.4074
	72.87	1	1.2346	1.2346	8.6420
	73.17	1	1.2346	1.2346	9.8765
	77.55	1	1.2346	1.2346	11.1111
	78.17	1	1.2346	1.2346	12.3457
	78.95	1	1.2346	1.2346	13.5802
	79.47	1	1.2346	1.2346	14.8148
	81.77	1	1.2346	1.2346	16.0494
	85.78	1	1.2346	1.2346	17.2840
	88.82	1	1.2346	1.2346	18.5185
	94.51	1	1.2346	1.2346	19.7531
	97.34	1	1.2346	1.2346	20.9877
	97.81	1	1.2346	1.2346	22.2222
	98.27	1	1.2346	1.2346	23.4568
	99.34	1	1.2346	1.2346	24.6914
	110.96	1	1.2346	1.2346	25.9259
	112.23	1	1.2346	1.2346	27.1605
	115.73	1	1.2346	1.2346	28.3951
	116.59	1	1.2346	1.2346	29.6296

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EUI

	kWh/m^2	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
	118.73	1	1.2346	1.2346	30.8642
	119.02	1	1.2346	1.2346	32.0988
	122.63	1	1.2346	1.2346	33.3333
	124.07	1	1.2346	1.2346	34.5679
	124.76	1	1.2346	1.2346	35.8025
	126.51	1	1.2346	1.2346	37.0370
	131.42	1	1.2346	1.2346	38.2716
	131.53	1	1.2346	1.2346	39.5062
	133.91	1	1.2346	1.2346	40.7407
	135.42	1	1.2346	1.2346	41.9753
	135.92	1	1.2346	1.2346	43.2099
	136.27	1	1.2346	1.2346	44.4444
	141.42	1	1.2346	1.2346	45.6790
	146.03	1	1.2346	1.2346	46.9136
	148.32	1	1.2346	1.2346	48.1481
	148.50	1	1.2346	1.2346	49.3827
	151.69	1	1.2346	1.2346	50.6173
	156.47	1	1.2346	1.2346	51.8519
	159.24	1	1.2346	1.2346	53.0864
	167.06	1	1.2346	1.2346	54.3210
	167.48	1	1.2346	1.2346	55.5556
	167.81	1	1.2346	1.2346	56.7901
	174.68	1	1.2346	1.2346	58.0247
	178.50	1	1.2346	1.2346	59.2593
	179.84	1	1.2346	1.2346	60.4938
	184.68	1	1.2346	1.2346	61.7284
	187.64	1	1.2346	1.2346	62.9630
	187.82	1	1.2346	1.2346	64.1975
	193.50	1	1.2346	1.2346	65.4321

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EUI

	kWh/m^2	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
	193.81	1	1.2346	1.2346	66.6667
	201.57	1	1.2346	1.2346	67.9012
	202.88	1	1.2346	1.2346	69.1358
	206.14	1	1.2346	1.2346	70.3704
	206.80	1	1.2346	1.2346	71.6049
	210.40	1	1.2346	1.2346	72.8395
	214.77	1	1.2346	1.2346	74.0741
	215.14	1	1.2346	1.2346	75.3086
	215.21	1	1.2346	1.2346	76.5432
	216.00	1	1.2346	1.2346	77.7778
	216.16	1	1.2346	1.2346	79.0123
	217.75	1	1.2346	1.2346	80.2469
	222.47	1	1.2346	1.2346	81.4815
	225.74	1	1.2346	1.2346	82.7160
	225.87	1	1.2346	1.2346	83.9506
	229.47	1	1.2346	1.2346	85.1852
	230.20	1	1.2346	1.2346	86.4198
	231.63	1	1.2346	1.2346	87.6543
	236.37	1	1.2346	1.2346	88.8889
	245.29	1	1.2346	1.2346	90.1235
	254.55	1	1.2346	1.2346	91.3580
	261.12	1	1.2346	1.2346	92.5926
	266.59	1	1.2346	1.2346	93.8272
	272.01	1	1.2346	1.2346	95.0617
	282.23	1	1.2346	1.2346	96.2963
	304.21	1	1.2346	1.2346	97.5309
	374.05	1	1.2346	1.2346	98.7654
	399.20	1	1.2346	1.2346	100.0000
Total		81	100	100	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2 ตารางแจกแจงความถี่ของการใช้พลังงานต่อจำนวนพนักงานต่อปี

PEUI

	kWh/people.yr^{-1}	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	563.22	1	1.2346	1.2346	1.2346
	1,102.45	1	1.2346	1.2346	2.4691
	1,164.17	1	1.2346	1.2346	3.7037
	1,563.53	1	1.2346	1.2346	4.9383
	1,793.21	1	1.2346	1.2346	6.1728
	2,095.86	1	1.2346	1.2346	7.4074
	2,177.25	1	1.2346	1.2346	8.6420
	2,311.91	1	1.2346	1.2346	9.8765
	2,628.18	1	1.2346	1.2346	11.1111
	2,836.20	1	1.2346	1.2346	12.3457
	2,844.46	1	1.2346	1.2346	13.5802
	2,853.19	1	1.2346	1.2346	14.8148
	2,954.63	1	1.2346	1.2346	16.0494
	2,958.51	1	1.2346	1.2346	17.2840
	3,091.81	1	1.2346	1.2346	18.5185
	3,210.15	1	1.2346	1.2346	19.7531
	3,274.47	1	1.2346	1.2346	20.9877
	3,289.92	1	1.2346	1.2346	22.2222
	3,396.25	1	1.2346	1.2346	23.4568
	3,470.40	1	1.2346	1.2346	24.6914
	3,491.60	1	1.2346	1.2346	25.9259
	3,776.51	1	1.2346	1.2346	27.1605
	3,778.16	1	1.2346	1.2346	28.3951
	4,029.84	1	1.2346	1.2346	29.6296
	4,070.14	1	1.2346	1.2346	30.8642
	4,092.65	1	1.2346	1.2346	32.0988

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PEUI

	kWh/people.yr^{-1}	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
	4,185.00	1	1.2346	1.2346	33.3333
	4,308.77	1	1.2346	1.2346	34.5679
	4,313.62	1	1.2346	1.2346	35.8025
	4,334.73	1	1.2346	1.2346	37.0370
	4,404.97	1	1.2346	1.2346	38.2716
	4,736.99	1	1.2346	1.2346	39.5062
	4,789.84	1	1.2346	1.2346	40.7407
	4,813.21	1	1.2346	1.2346	41.9753
	4,875.62	1	1.2346	1.2346	43.2099
	4,920.91	1	1.2346	1.2346	44.4444
	4,922.93	1	1.2346	1.2346	45.6790
	4,924.85	1	1.2346	1.2346	46.9136
	5,092.27	1	1.2346	1.2346	48.1481
	5,406.86	1	1.2346	1.2346	49.3827
	5,494.94	1	1.2346	1.2346	50.6173
	5,524.25	1	1.2346	1.2346	51.8519
	5,854.74	1	1.2346	1.2346	53.0864
	5,952.45	1	1.2346	1.2346	54.3210
	6,042.42	1	1.2346	1.2346	55.5556
	6,099.54	1	1.2346	1.2346	56.7901
	6,267.16	1	1.2346	1.2346	58.0247
	6,314.94	1	1.2346	1.2346	59.2593
	6,452.88	1	1.2346	1.2346	60.4938
	6,571.36	1	1.2346	1.2346	61.7284
	6,612.06	1	1.2346	1.2346	62.9630
	6,832.48	1	1.2346	1.2346	64.1975
	6,873.35	1	1.2346	1.2346	65.4321
	6,980.07	1	1.2346	1.2346	66.6667

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PEUI

	kWh/people.yr^{-1}	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
	7,018.61	1	1.2346	1.2346	67.9012
	7,085.39	1	1.2346	1.2346	69.1358
	7,150.00	1	1.2346	1.2346	70.3704
	7,259.21	1	1.2346	1.2346	71.6049
	7,311.33	1	1.2346	1.2346	72.8395
	7,413.76	1	1.2346	1.2346	74.0741
	8,107.62	1	1.2346	1.2346	75.3086
	8,241.47	1	1.2346	1.2346	76.5432
	8,332.45	1	1.2346	1.2346	77.7778
	8,465.60	1	1.2346	1.2346	79.0123
	8,931.39	1	1.2346	1.2346	80.2469
	9,631.19	1	1.2346	1.2346	81.4815
	10,768.17	1	1.2346	1.2346	82.7160
	11,119.71	1	1.2346	1.2346	83.9506
	13,105.16	1	1.2346	1.2346	85.1852
	13,247.15	1	1.2346	1.2346	86.4198
	13,283.52	1	1.2346	1.2346	87.6543
	14,162.03	1	1.2346	1.2346	88.8889
	14,925.28	1	1.2346	1.2346	90.1235
	18,025.98	1	1.2346	1.2346	91.3580
	19,231.11	1	1.2346	1.2346	92.5926
	27,732.93	1	1.2346	1.2346	93.8272
	28,710.44	1	1.2346	1.2346	95.0617
	29,518.02	1	1.2346	1.2346	96.2963
	33,161.42	1	1.2346	1.2346	97.5309
	40,866.87	1	1.2346	1.2346	98.7654
	51,899.91	1	1.2346	1.2346	100.0000
	Total	81	100.0000	100.0000	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.3 ตารางแจกแจงความถี่ของ % Energy Efficiency Score

EES

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-74.31	1	1.234568	1.2346	1.2346
	-69.93	1	1.234568	1.2346	2.4691
	-56.62	1	1.234568	1.2346	3.7037
	-50.28	1	1.234568	1.2346	4.9383
	-47.42	1	1.234568	1.2346	6.1728
	-45.48	1	1.234568	1.2346	7.4074
	-44.09	1	1.234568	1.2346	8.6420
	-40.16	1	1.234568	1.2346	9.8765
	-36.74	1	1.234568	1.2346	11.1111
	-34.23	1	1.234568	1.2346	12.3457
	-32.68	1	1.234568	1.2346	13.5802
	-30.82	1	1.234568	1.2346	14.8148
	-25.35	1	1.234568	1.2346	16.0494
	-23.83	1	1.234568	1.2346	17.2840
	-23.73	1	1.234568	1.2346	18.5185
	-23.62	1	1.234568	1.2346	19.7531
	-23.16	1	1.234568	1.2346	20.9877
	-21.84	1	1.234568	1.2346	22.2222
	-18.81	1	1.234568	1.2346	23.4568
	-18.04	1	1.234568	1.2346	24.6914
	-17.18	1	1.234568	1.2346	25.9259
	-16.20	1	1.234568	1.2346	27.1605
	-15.87	1	1.234568	1.2346	28.3951
	-15.68	1	1.234568	1.2346	29.6296
	-15.61	1	1.234568	1.2346	30.8642
	-15.58	1	1.234568	1.2346	32.0988

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EES

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
-14.57	1	1.234568	1.2346	33.3333
-12.62	1	1.234568	1.2346	34.5679
-8.99	1	1.234568	1.2346	35.8025
-8.87	1	1.234568	1.2346	37.0370
-7.16	1	1.234568	1.2346	38.2716
-7.13	1	1.234568	1.2346	39.5062
-4.34	1	1.234568	1.2346	40.7407
-4.04	1	1.234568	1.2346	41.9753
-2.82	1	1.234568	1.2346	43.2099
-1.86	1	1.234568	1.2346	44.4444
-0.93	1	1.234568	1.2346	45.6790
0.24	1	1.234568	1.2346	46.9136
0.96	1	1.234568	1.2346	48.1481
1.20	1	1.234568	1.2346	49.3827
1.64	1	1.234568	1.2346	50.6173
3.56	1	1.234568	1.2346	51.8519
3.81	1	1.234568	1.2346	53.0864
4.91	1	1.234568	1.2346	54.3210
5.70	1	1.234568	1.2346	55.5556
6.96	1	1.234568	1.2346	56.7901
7.49	1	1.234568	1.2346	58.0247
7.86	1	1.234568	1.2346	59.2593
9.39	1	1.234568	1.2346	60.4938
9.83	1	1.234568	1.2346	61.7284
12.34	1	1.234568	1.2346	62.9630
12.46	1	1.234568	1.2346	64.1975
13.11	1	1.234568	1.2346	65.4321
14.35	1	1.234568	1.2346	66.6667
20.21	1	1.234568	1.2346	67.9012

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EES

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
21.01	1	1.234568	1.2346	69.1358
21.42	1	1.234568	1.2346	70.3704
22.21	1	1.234568	1.2346	71.6049
23.22	1	1.234568	1.2346	72.8395
23.95	1	1.234568	1.2346	74.0741
27.79	1	1.234568	1.2346	75.3086
28.75	1	1.234568	1.2346	76.5432
28.99	1	1.234568	1.2346	77.7778
32.54	1	1.234568	1.2346	79.0123
33.06	1	1.234568	1.2346	80.2469
35.67	1	1.234568	1.2346	81.4815
37.15	1	1.234568	1.2346	82.7160
37.61	1	1.234568	1.2346	83.9506
37.64	1	1.234568	1.2346	85.1852
38.21	1	1.234568	1.2346	86.4198
38.56	1	1.234568	1.2346	87.6543
43.03	1	1.234568	1.2346	88.8889
43.72	1	1.234568	1.2346	90.1235
49.02	1	1.234568	1.2346	91.3580
50.13	1	1.234568	1.2346	92.5926
50.50	1	1.234568	1.2346	93.8272
51.91	1	1.234568	1.2346	95.0617
57.82	1	1.234568	1.2346	96.2963
58.26	1	1.234568	1.2346	97.5309
62.28	1	1.234568	1.2346	98.7654
85.05	1	1.234568	1.2346	100.0000
Total	81	100	1.2346	1.2346

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
NORMTBEC	5378553.4919	3858366.56178	81
X1	12.9136	6.02951	81
NORMGFA	28750.2996	23581.32195	81
X4	974.1975	835.46570	81
X5	.43	.498	81
X6	.51	.503	81
X7	.43	.498	81
X8	.90	.300	81
X9	.7526	.52587	81
X10	59.7378	32.28020	81

Correlations

		NORM TBEC	X1	NORM GFA	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Pearson Correlation	NORMTBEC	1.000	-.249	.919	.430	.174	-.195	.005	-.007	.259	.582
	X1	-.249	1.000	-.274	.022	-.021	-.002	.121	-.101	-.001	-.378
	NORMGFA	.919	-.274	1.000	.323	.132	-.170	.054	-.127	.191	.579
	X4	.430	.022	.323	1.000	.198	-.280	.058	.149	.207	.252
	X5	.174	-.021	.132	.198	1.000	-.883	.094	.205	.068	.141
	X6	-.195	-.002	-.170	-.280	-.883	1.000	-.086	-.161	-.149	-.173
	X7	.005	.121	.054	.058	.094	-.086	1.000	-.380	-.167	-.079
	X8	-.007	-.101	-.127	.149	.205	-.161	-.380	1.000	.154	.251
	X9	.259	-.001	.191	.207	.068	-.149	-.167	.154	1.000	.139
	X10	.582	-.378	.579	.252	.141	-.173	-.079	.251	.139	1.000
Sig. (1-tailed)	NORMTBEC	.	.013	.000	.000	.060	.040	.483	.477	.010	.000
	X1	.013	.	.007	.422	.427	.493	.142	.184	.496	.000
	NORMGFA	.000	.007	.	.002	.121	.065	.315	.129	.044	.000
	X4	.000	.422	.002	.	.038	.006	.302	.092	.032	.012
	X5	.060	.427	.121	.038	.	.000	.201	.033	.274	.105
	X6	.040	.493	.065	.006	.000	.	.224	.075	.092	.061
	X7	.483	.142	.315	.302	.201	.224	.	.000	.068	.242
	X8	.477	.184	.129	.092	.033	.075	.000	.	.085	.012
	X9	.010	.496	.044	.032	.274	.092	.068	.085	.	.108
	X10	.000	.000	.000	.012	.105	.061	.242	.012	.108	.
N	NORMTBEC	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	X1	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	NORMGFA	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	X4	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	X5	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	NORM TBEC	X1	NORM GFA	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X6	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
X7	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
X8	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
X9	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
X10	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81

Excluded Variables(d)

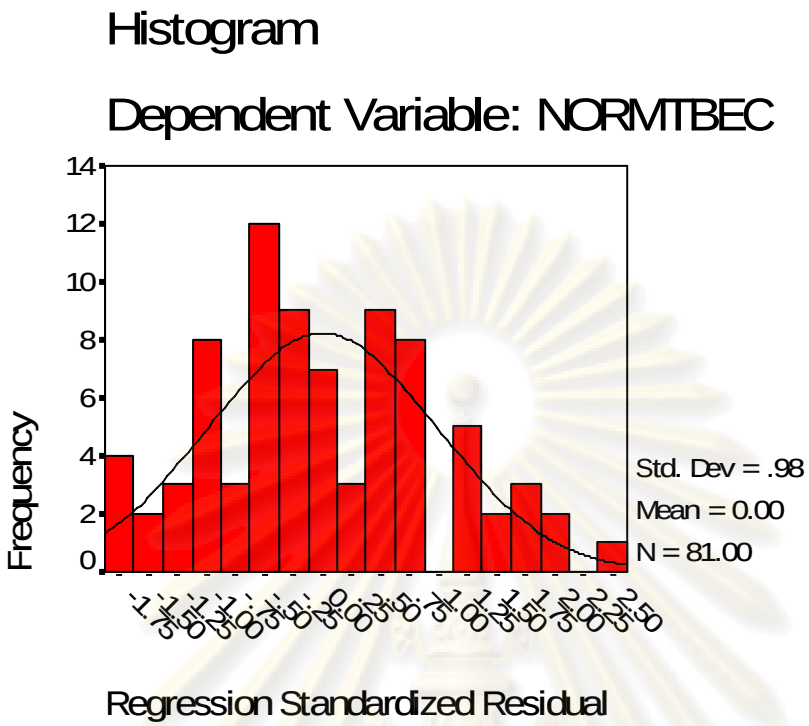
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	X1	.003(a)	.074	.941	.008	.925	1.081	.925
	X4	.149(a)	3.370	.001	.356	.896	1.117	.896
	X5	.054(a)	1.209	.230	.136	.983	1.018	.983
	X6	-.040(a)	-.893	.375	-.101	.971	1.030	.971
	X7	-.045(a)	-1.014	.314	-.114	.997	1.003	.997
	X8	.112(a)	2.589	.011	.281	.984	1.016	.984
	X9	.087(a)	1.954	.054	.216	.964	1.038	.964
	X10	.074(a)	1.374	.173	.154	.664	1.505	.664
2	X1	-.015(b)	-.331	.741	-.038	.911	1.097	.816
	X5	.031(b)	.732	.466	.083	.956	1.046	.871
	X6	-.006(b)	-.141	.889	-.016	.914	1.094	.843
	X7	-.051(b)	-1.229	.223	-.139	.995	1.005	.894
	X8	.087(b)	2.059	.043	.228	.943	1.060	.859
	X9	.066(b)	1.547	.126	.174	.940	1.064	.874
	X10	.060(b)	1.178	.243	.133	.660	1.516	.631
3	X1	.001(c)	.015	.988	.002	.884	1.131	.773
	X5	.015(c)	.345	.731	.040	.918	1.089	.845
	X6	.007(c)	.156	.876	.018	.895	1.117	.820
	X7	-.021(c)	-.477	.635	-.055	.841	1.189	.797
	X9	.054(c)	1.264	.210	.143	.917	1.090	.842
	X10	.023(c)	.418	.677	.048	.557	1.796	.541

a Predictors in the Model: (Constant), NORMGFA
b Predictors in the Model: (Constant), NORMGFA, X4
c Predictors in the Model: (Constant), NORMGFA, X4, X8
d Dependent Variable: NORMTBEC

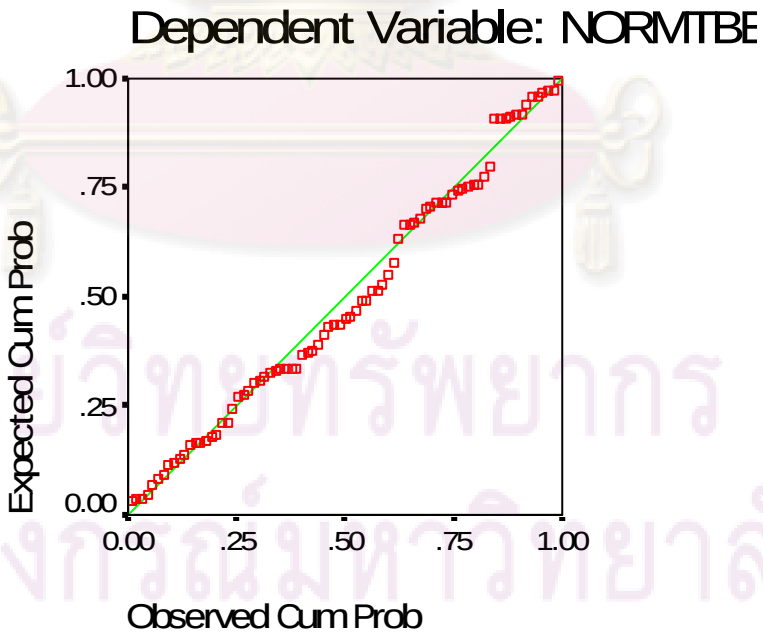
Residuals Statistics(a)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	956594.6875	17482878.0000	5378553.4919	3601116.31192	81
Residual	-2584937.2500	3481245.0000	.0000	1385263.09164	81
Std. Predicted Value	-1.228	3.361	.000	1.000	81
Std. Residual	-1.831	2.465	.000	.981	81

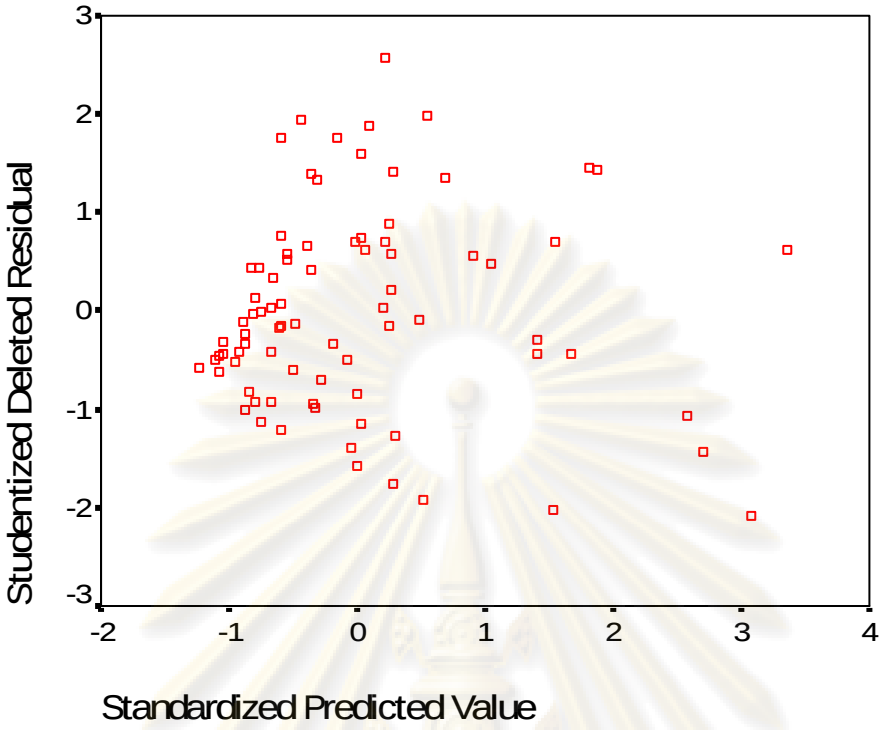
a Dependent Variable: NORMTBEC



Normal P-P Plot of Regression Standardize



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Variables Entered/Removed(a)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NORMGFA	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	X4	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
3	X8	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a Dependent Variable: NORMTBEC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสไบทิพย์ บุญยงค์ เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2527 โรงพยาบาลค่ายจักรพงษ์ ปราจีนบุรี เข้ารับการศึกษาในระดับมัธยมที่โรงเรียนสตรีวิทยา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 และเข้ารับการศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ในปีการศึกษา 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย