การศึกษาความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ด้วยระบบการประเมินอาคารเขียว

รัฐวุฒิ สุดสงวน

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

การศึกษาความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ด้วยระบบการประเมินอาคารเขียว

รัฐวุฒิ สุดสงวน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร
ด้วยระบบการประเมินอาคารเขียว

รัฐวุฒิ สุดสงวน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(อาจารย์ ดร.สุลักษณา มงคล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ด้วยระบบการประเมินอาคารเขียว
ชื่อผู้เขียน นายรัฐวุฒิ สุดสงวน
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร.สุลักษณา มงคล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยระบบการประเมินอาคารเขียวและเพื่อหาแนวทางการจัดการพลังงานในอาคารตัวอย่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุดตามแบบประเมินอาคารเขียว รวมทั้งกำหนดกลยุทธ์การส่งเสริมพฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้ใช้อาคาร โดยใช้ระบบการประเมินตามมาตรฐานการจัดการของ LEED-EBOM V4 ในหัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) ซึ่งเป็นหัวข้อที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับการจัดการพลังงานภายในอาคารอย่างเป็นระบบ ซึ่งในหัวนี้ได้แบ่งออกเป็น เกณฑ์ข้อบังคับ 4 หัวข้อ และเกณฑ์การให้คะแนน 8 หัวข้อ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกอาคารที่ศึกษา คือ อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประเทศไทย โดยมีแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยวิเคราะห์เป็นค่า EUI ตามตามมาตรฐาน ASHRAE Preliminary Energy Use ASHRAE Level 1 Walk-Through และASHRAE Level 2 Energy Audit วิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร โดยวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการรั่วไหลของสารทำความเย็นในอาคาร คือ ค่า Carbon Footprints (CFPs) และ Atmospheric Impact และการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ แบ่งเป็นข้อมูลด้านการใช้งานระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงภายในอาคาร ด้านการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้าภายในอาคาร และข้อมูลด้านการใช้พลังงานสะอาด

จากผลการศึกษา พบว่า อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 460,600.56 kWh/year เมื่อคิดเป็นค่า Energy Utilization Index (EUI) พบว่า ในปีฐานที่พิจารณา คือ ปี 2559 มีค่าเท่ากับ 37,872.22 Wh/m^2•year ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 144.02% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย 3 ปีย้อนหลัง หากมีการจัดการพลังงานโดยดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามการวิเคราะห์ของเกณฑ์ LEED-EBOM V4 เช่น มาตรการที่เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับห้องที่มีการใช้งานมาก และมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟบริเวณทางเดินจากการ Reuse จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 114,994.01 kWh/year หรือคิดเป็นผลประหยัดได้ 428,927.71 Baht/year สามารถลดค่า EUI ลง

ได้ 24.97%

ด้านการใช้สารทำความในอาคารมีการใช้สารทำความเย็นชนิด R-22 คิดเป็น 100% โดยในปี 2559 มีการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคารทั้งหมด 419.10 kg ส่งผลให้ Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 เท่ากับ 758,564.65 $kgCO_2$/year และมีค่า Atmospheric impact เท่ากับ 74.07 ($kgCO_2$/kW)/year จึงได้เสนอแนวทางการจัดการ 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP สูง แนวทางนี้มีผลประหยัดทั้งหมด 108,470.99 kWh/year และลดการปล่อย Carbon Footprint ได้ 68.15% และค่า Atmospheric Impact ในอาคาร ได้ถึง 92.07% แนวทางที่ 2 ได้แก่ การนำสารทำความเย็นกลับมาใช่ใหม่ทำให้มีค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น และมีค่า Atmospheric Impact ในอาคาร ลดลงจากเดิม 7.66% เป็นแนวทางการจัดการที่มีการลงทุนต่ำและยังประหยัดค่าใช้จ่ายจากการซื้อสารทำความเย็น

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง สำหรับตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า โดยการติดตั้งมิเตอร์ดิจิตอล และควบคุมผ่านโปรแกรม KW Watcher Version 2.51 ลักษณะของโปรแกรมเป็นไปตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 ด้านการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้าและพลังงานทดแทน ค่าความต้องการไฟฟ้าต้องทำการลดลง 10% ของค่าความต้องไฟฟ้าสูงสุดหรือเท่ากับ 26.81 kW จึงได้นำเสนอแนวทางการจัดการการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic System) แนวทางนี้หากมีการดำเนินการจะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ 60,884.92 kWh/year และจากแนวทางนี้สามารถสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า 34,156.44 $kgCO_2$/year

คำสำคัญ : อนุรักษ์พลังงาน, การจัดการพลังงาน, LEED-EBOM V4, ASHRAE Standard

Title FEASIBILITY STUDY OF BUILDING ENERGY CONSERVATION BY GREEN BUILDING CERTIFICATION SYSTEM

Author Mr. Rattawut Sudsanguan

Degree Master of Engineering in Renewable Energy Engineering

Advisory Committee Chairperson Dr. Sulaksana Mongkon

ABSTRACT

This research aims to study the energy conservation feasibility in a building by the green building certification of LEED-EBOM V4 in the topic of Energy and Atmosphere (EA) and carried out in the 70th anniversary Maejo Building Maejo University Thailand. The data analysis divided three topics, the energy consumption analysis by Energy Utilization Index (EUI) followed by ASHRAE Preliminary Energy Use, ASHRAE Level 1 Walk-Through and ASHRAE Level 2 Energy Audit. The second topic was the refrigerant analysis in the building in the term of Carbon Footprints (CFPs) and Atmospheric Impact. Finally the demand response, advanced energy metering and renewable energy use in the building were analyzed.

The results found that, the 70th anniversary Maejo Building had an annual electricity consumption of 460,600.56 kWh/year. The EUI in the base year (year 2016) was equal to 37,872.22 Wh/m^2•year which was an increase of 144% when comparing the average of three years ago. If the energy management was conducted by the measures following by the LEED-EBOM V4 such as, replacing the split type air conditioners to high performance air conditioners, replacing high efficiency lamps and including other measures, the total energy savings obtained was 114,994.01 kWh/year, the cost saving was equal to 428,927.71 Baht/year and the EUI would be reduced 24.97%. The 70th anniversary Maejo Building used R-22 refrigerant that was equal to 100%. The refrigerant leakage was found to be 419.10 kg causing a Carbon Footprint of 758,564.65 kgCO_2/year and Atmospheric Impact was 74.07

($kgCO_2$/kW)/year, which was not standardized. Two guidelines would be suggested. Option 1, the replacement of the air conditioners by the high GWP refrigerants. This approach had a total energy savings of 108,470.99 kWh/year. Carbon Footprint and Atmospheric Impact were decreased to 68.15% and 92.07%, respectively. Option 2 was the R22 refrigerant recovery that caused Carbon Footprint and Atmospheric Impact to be decreased to 7.66% with a lower investment than option 1.

For the analysis other topics, the 70th anniversary Maejo Building equipped the advanced energy metering by a digital meter and KW Watcher Version 2.51 controller program. Therefore, the peak power demand was reduced by 10% or equal to 26.81 kW. The solar photovoltaic system was used in this study. A total of 60,884.92 kWh/year of electricity could be reduced and this approach could decrease the greenhouse gas emissions by 34,156.44 $kgCO_2$/year.

Keyword : Energy Conservation, Energy Audit, LEED-EBOM V4, ASHRAE Standard

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยระบบการประเมินอาคารเขียวสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากทั้งหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาในงานวิจัยชิ้นนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาหลักอาจารย์ ดร.สุลักษณา มงคล ที่ให้คำแนะนำ แนวทาง การแก้ไข และคำปรึกษาในทุกเรื่อง รวมไปถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยเล่มนี้ รวมไปถึงถึงการดูแลและเอาใจใส่ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ผ่าน “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา”

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอบอบรมเลี้ยงดูสนับสนุนทุกเรื่องมาเป็นอย่างดีขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนของผู้วิจัยทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและความเชื่อมั่นในตัวผู้วิจัยตลอดจนการให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือในทุกด้านทำให้ผู้วัจัยประสบความสำเร็จตลอดมา

รัฐวุฒิ สุดสงวน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
สารบัญ ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ฐ
สารบัญตาราง ..... ต
สัญลักษณ์และตัวห้อย ..... น
บทที่ 1 บทนำ 1
ที่มาและความสำคัญ 1
วัตถุประสงค์ 2
ขอบเขตงานวิจัย 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
ระบบประเมินอาคารเขียว LEED 4
1. ความหมายของ LEED 4
2. ประเภทของมาตรฐาน LEED 4
ระบบการประเมินอาคาร LEED-EBOM 6
1. ที่ตั้งและการขนส่ง (Location and Transportation: LT) 7
2. ที่ตั้งอาคารอย่างยั่งยืน (Sustainable Sites: SS) 7
3. การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water Efficiency: WE) 7
4. พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) 7

5. วัสดุและทรัพยากร (Material and Resources: MR)..... 8
6. คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality: EQ)..... 8
7. นวัตกรรมในการดำเนินงาน (Innovation in Operations: IN)..... 8
8. ศักยภาพของพื้นที่ (Regional Priority Credits: RP)..... 8
การประเมินหัวข้อพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA)..... 9
1. EA Prerequisite 1 Energy Efficiency Best Management Practices (เกณฑ์ข้อบังคับ 1 วิธีการบริหารจัดการเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีที่สุด)..... 11
2. EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance (เกณฑ์ข้อบังคับ 2 การกำหนดขั้นต่ำของระดับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ)..... 12
3. EA Prerequisite 3 Building-Level Energy Metering (เกณฑ์ข้อบังคับ 3 การวัดระดับพลังงานในอาคาร)..... 14
4. EA Prerequisite 4 Fundamental Refrigerant Management (เกณฑ์ข้อบังคับ 4 การจัดการสารทำความเย็นขั้นพื้นฐาน)..... 15
5. EA Credit 1 Existing Building Commissioning-Analysis (เกณฑ์การให้คะแนน 1 การวิเคราะห์การใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่) 2 Points..... 17
6. EA Credit 2 Existing Building Commissioning-Implementation (เกณฑ์การให้คะแนน 2 การดำเนินงานใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่) 2 Points..... 19
7. EA Credit 3 Ongoing Commissioning (เกณฑ์การให้คะแนน 3 ใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง) 3 Points..... 20
8. EA Credit 4 Optimize Energy Performance (เกณฑ์การให้คะแนน 4 ค่าที่เหมาะสมของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน) 1–20 Points..... 21
9. EA Credit 5 Advanced Energy Metering (เกณฑ์การให้คะแนน 5 การวัดระดับการใช้พลังงานขั้นสูง) 2 Points..... 25
10. EA Credit 6 Demand Response (เกณฑ์การให้คะแนน 6 การตอบสนองค่าความต้องการ) 1–3 Points..... 27

11. EA Credit 7 Renewable Energy and Carbon Offsets (เกณฑ์การให้คะแนน 7 การใช้พลังงานทดแทนและการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก) 1–5 Points 30

12. EA Credit 8 Enhanced Refrigerant Management (เกณฑ์การให้คะแนน การจัดการสารทำความเย็นเพิ่มเติม) 1 Point 32

ระบบปรับอากาศ 35

1. ประเภทของระบบปรับอากาศ 35

2. วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ 37

3. สมรรถนะการทำความเย็น 38

ทฤษฎีระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 41

1. หน่วยวัดที่เกี่ยวกับแสง 41

2. มาตรฐานความถูกต้องของสีในการใช้งาน 41

3. ชนิดหลอดไฟฟ้า 42

4. ส่วนประกอบหลักของระบบไฟฟ้า 45

5. การเลือกใช้ระบบไฟฟ้าส่องสว่างให้มีประสิทธิภาพ 48

หม้อแปลงไฟฟ้า 51

1. ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจำแนกตามประเภทต่างๆ 51

2. กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า 54

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร 56

1. หลักการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร 56

2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาด้านนอกอาคาร 58

3. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) 58

4 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) 59

สารทำความเย็น 60

1. สมบัติของสารทำความเย็น 61

2. ความเกี่ยวข้องของสารทำความเย็นต่อโลกร้อน 63
3. การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 65
4. รอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint) 68
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 69
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 78
การกำหนดขั้นตอนวิจัย 78
อาคารตัวอย่างในงานวิจัย 80
การรวบรวมข้อมูลและตรวจวัดข้อมูลระบบต่างๆ ที่มีการใช้พลังงาน 80
1. การรวบรวบข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร 80
2. การรวบรวมข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร 93
3. การรวบรวมข้อมูลด้านอื่นๆ 94
เครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการศึกษา 95
แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล 99
1. แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร 99
2. แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร 102
3. แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ 103
บทที่ 4 ผลการวิจัย 105
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร 105
1. ผลการวิเคราะห์ EA Prerequisite 1 Energy Efficiency Best Management Practices 105
2. ผลการวิเคราะห์ EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance 110
3. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 1 Existing Building Commissioning-Analysis 113
4. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 2 Existing Building Commissioning-Implementation 143

5. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 4 Optimize Energy Performance 154
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร 157
1. ผลการวิเคราะห์ EA Prerequisite 4 Fundamental Refrigerant Management ... 157
2. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 8 Enhanced Refrigerant Management 164
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ 171
1. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 5 Advanced Energy Metering 172
2. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 6 Demand Response และ EA Credit 7 Renewable Energy and Carbon Offsets 180
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย 193
บรรณานุกรม 197
ภาคผนวก 202
ภาคผนวก ก ผลงาน และการเผยแพร่งานวิจัย 203
ภาคผนวก ข ตัวอย่างวิธีการคำนวณ 226
ประวัติผู้วิจัย 227

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 เครื่องหมาย LEED ในระดับการรับรองต่างๆ 6
ภาพที่ 2 หัวข้อการกระเมินของ LEED-EBOM 6
ภาพที่ 3 แบบฟอร์มการให้คะแนนของ LEED-EBOM 9
ภาพที่ 4 ตัวอย่างแบบฟอร์ม ASHRAE Preliminary Energy Use Analysis และASHRAE Level 1 Walk-Through 12
ภาพที่ 5 เครื่องหมาย Energy Star สำหรับอาคารที่ได้รับการรับรอง จาก EPA 13
ภาพที่ 6 ตัวอย่างระบบปรับอากาศ HVAC&R 16
ภาพที่ 7 การตรวจวัดการใช้พลังงานระบบต่างๆ ภายในอาคาร (Energy Audit) 18
ภาพที่ 8 ตัวอย่างระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง 26
ภาพที่ 9 ลักษณะพลังงาน โปรแกรมตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program) 28
ภาพที่ 10 การขยับเวลาภาระโหลด (Permanent Load Shifting) 30
ภาพที่ 11 สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนโดยตรงหรือการซื้อพลังงานสะอาดมาใช้ในอาคารที่ต้องการเป็นอาคารเขียว 31
ภาพที่ 12 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) 36
ภาพที่ 13 ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) 37
ภาพที่ 14 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ 38
ภาพที่ 15 หลอดไส้ (Incandescent lamp) 42
ภาพที่ 16 หลอดแสงจันทร์ (Mercury lamp) 43
ภาพที่ 17 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp) 43
ภาพที่ 18 หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp) 44
ภาพที่ 19 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) 44
ภาพที่ 20 หลอดแอลอีดีกำลังสูง (Light-emitting diodes, LED) 45
ภาพที่ 21 บัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnetic Ballast) 46
ภาพที่ 22 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) 46
ภาพที่ 23 โคมดาวน์ไลท์ 47
ภาพที่ 24 โคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 47
ภาพที่ 25 โคมไฮเบย์หรือโคมโรงงาน 48
ภาพที่ 26 แกนเหล็กแบบคอร์ 52

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 27 แกนเหล็กแบบเซลล์ 52
ภาพที่ 28 แกนเหล็กแบบตัว H 53
ภาพที่ 29 การจำแนกหม้อแปลงตามระบบไฟฟ้า 53
ภาพที่ 30 การจำแนกหม้อแปลงตามขนาดพิกัด 54
ภาพที่ 31 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ 57
ภาพที่ 32 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก 57
ภาพที่ 33 การปล่อยสารทำความเย็นตั่งแต่ขั้นตอนการผลิตจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ 64
ภาพที่ 34 การใช้พลังงานแต่ละอาคารโดยใช้ EUI 69
ภาพที่ 35 ดัชนีการใช้พลังงานต่อปีต่อพื้นที่แต่ละอาคาร (EPI) 70
ภาพที่ 36 ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานรายชั่วโมงโดยเฉลี่ยต่อปี 71
ภาพที่ 37 การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน งานวิจัยของ Jeong et al. (2016) 72
ภาพที่ 38 เปรียบเทียบสัดส่วนคะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืน งานวิจัยของ จักรกฤษณ์และสิงห์ (2556) 73
ภาพที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ประเภทอาคาร ใช้พลังงานตัวแปร EUI แบ่ง 74
ภาพที่ 40 ผลประหยัดจากการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคาร งานวิจัยของ Hassouneh et al. (2015) 75
ภาพที่ 41 ค่า CFPs ของสารทำความเย็นในอัตราการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ที่ต่างกัน Zhao et al. (2017) 76
ภาพที่ 42 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 79
ภาพที่ 43 ลักษณะทั่วไปของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 80
ภาพที่ 44 ลักษณะกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า 82
ภาพที่ 45 ตัวอย่างตารางเรียนของห้อง 201/1 82
ภาพที่ 46 ลักษณะเครื่องอัดไอและแผงวงจรเครื่องปรับอากาศ 83
ภาพที่ 47 ตัวอย่างข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคาร ของห้อง 201/1 อาคาร 70 ปี แม่โจ้ 84
ภาพที่ 48 ตัวอย่างแบบแปลนอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ชั้น 2 84
ภาพที่ 49 ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ช่องส่งลมเย็นและช่องลมกลับ 86
ภาพที่ 50 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องอัดไอ 86

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 51 วัดค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ (Lux) เฉพาะจุดที่ทำงาน 87
ภาพที่ 52 ตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 88
ภาพที่ 53 การตรวจวัดด้านไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ที่ ตู้ Main Distribution Board (MDB) 88
ภาพที่ 54 ลักษณะแบบแปลนอาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้ เพื่อหาความยาวแต่ละด้าน 89
ภาพที่ 55 ตรวจวัดความสูงของชั้น 90
ภาพที่ 56 การตรวจวัดหาพื้นที่กระจก 90
ภาพที่ 57 การตรวจวัดระห่างระหว่างขอบด้านบนของผนังโปร่งแสงกับอุปกรณ์บังแดด และความยาวของอุปกรณ์บังแดดที่ยื่นออก 91
ภาพที่ 58 ลักษณะหลังคาอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 92
ภาพที่ 59 ลักษณะหลังคาในแปลนอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ชั้นที่ 5 92
ภาพที่ 60 ลักษณะ Name Plate ของเครื่องปรับอากาศและเครื่องภายในอาคาร 94
ภาพที่ 61 ตัวอย่างโปรแกรมระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง 94
ภาพที่ 62 อาคาร 70 ปี แม่โจ้ 106
ภาพที่ 63 สัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละระบบ ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 107
ภาพที่ 64 การเข้าใช้งานห้องเรียน อาคารเรียนรวม 70 ปีแม่โจ้ 109
ภาพที่ 65 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและค่า EUI ของอาคารเรียนรวม 70 ปี 112
ภาพที่ 66 ลักษณะการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 อาคาร 70 ปี แม่โจ้ 114
ภาพที่ 67 ลักษณะการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 ห้องเรียน 201/1 และ ห้องเรียน 202/2 อาคาร 70 ปี แม่โจ้ 114
ภาพที่ 68 ลักษณะการใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC อาคาร 70 ปี แม่โจ้ 116
ภาพที่ 69 ค่าความสว่าง (Lux) ของแต่ละห้องภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 117
ภาพที่ 70 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟ ห้อง 305 และ ห้อง 306 120
ภาพที่ 71 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟ ห้อง 301 121
ภาพที่ 72 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟอาคารประเภทห้องเรียนคอมพิวเตอร์ 122
ภาพที่ 73 ลักษณะบริเวณทางเดินที่มีแสงจากธรรมชาติส่องผ่าน 122
ภาพที่ 74 ลักษณะบริเวณห้องน้ำที่มีหลอดไฟชำรุด 123
ภาพที่ 75 ค่ากำลังไฟฟ้าระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องในแต่ละห้องภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 124

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 76 ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 127
ภาพที่ 77 ลักษณะเครื่องปรับอากาศปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) 128
ภาพที่ 78 การใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 135
ภาพที่ 79 ลักษณะค่ากำลังไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 137
ภาพที่ 80 กรอบอาคารของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 141
ภาพที่ 81 ลักษณะหลังคาอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 142
ภาพที่ 82 ตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในอาคารที่มีอายุการใช้งาน 14 ปี 148
ภาพที่ 83 ลักษณะการติดตั้ง Condensing Unit ของห้อง 301/1 และแนวคิดมาตรการ 153
ภาพที่ 84 ค่าเฉลี่ย EUI หลังจากมีแนวทางการปรับปรุงและเปรียบเทียบร้อยละที่ลดลงในแต่ละปี 156
ภาพที่ 85 ปริมาณการปล่อยสารทำความเย็นของอาคาร 70 ปี แบ่งตามช่วงอายุของอาคาร 159
ภาพที่ 86 มาตรการการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ 164
ภาพที่ 87 ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น และ ค่า Atmospheric impact ในอาคารของก่อนการปรับปรุง แนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 171
ภาพที่ 88 โปรแกรม KW Watcher และ Datalogger ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 173
ภาพที่ 89 ลักษณะหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม KW Watcher ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 174
ภาพที่ 90 ลักษณะการแสดงข้อมูลของโปรแกรม KW Watcher ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 174
ภาพที่ 91 ความละเอียดของโปรแกรม KW Watcher สามารถรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน และรายปี 175
ภาพที่ 92 ตัวอย่างข้อมูลใน Excel ของโปรแกรม KW Watcher 176
ภาพที่ 93 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันในเดือนเมษายน ในช่วงเวลาวันทำงาน 179
ภาพที่ 94 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันในเดือนเมษายน ในช่วงเวลาวันหยุดราชการ 179
ภาพที่ 95 ลักษณะการดำเนินการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการโปรแกรมพร้อมใช้งาน 181
ภาพที่ 96 ลักษณะการดำเนินการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการโปรแกรมพร้อมใช้งาน 181
ภาพที่ 97 ความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของเดือนเมษายน ในช่วงเวลาวันทำงาน 182
ภาพที่ 98 ลักษณะการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์แนวทางการจัดการที่ 1 185
ภาพที่ 99 ตัวอย่างติดประกาศนโยบายอนุรักษ์พลังงานในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ 190

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 100 กิจกรรมฝึกอบรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้บุคลากรและนักศึกษา 191
ภาพที่ 101 ตัวอย่างการเผยแพร่ข่าวสารด้านพลังงาน 192

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ระดับการรับรองต่างๆ ของ LEED 5
ตารางที่ 2 เกณฑ์ประเมินในหัวข้อพลังงานและบรรยากาศ ตามเกณฑ์ของ LEED-EBOM 10
ตารางที่ 3 คะแนนสำหรับการจัดอันดับของ ENERGY STAR 22
ตารางที่ 4 คะแนนสำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ (ตัวเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 1) หรือค่ามาตรฐานอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันและข้อมูลในอดีต 23
ตารางที่ 5 คะแนนสำหรับสำหรับไม่มีข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ (ตัวเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 2) หรือเกณฑ์มาตรฐานเทียบกับข้อมูลในอดีต (ตัวเลือกที่ 2) 25
ตารางที่ 6 ความถูกต้องของสี 42
ตารางที่ 7 ค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน Lighting Hand Book 9th 49
ตารางที่ 8 ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง ใช้กับอาคารแต่ละประเภทตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 49
ตารางที่ 9 ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องในแต่ละพื้นที่ในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 50
ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูงกับหม้อแปลงธรรมดา 56
ตารางที่ 11 ค่า OTTV และค่า RTTV สูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ 58
ตารางที่ 12 สมบัติของสารทำความเย็นแต่ละชนิด 63
ตารางที่ 13 สมการการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 66
ตารางที่ 14 อุปกรณ์ตรวจวัดและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 96
ตารางที่ 15 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 107
ตารางที่ 16 ลักษณะการใช้งานแต่ละห้อง ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 108
ตารางที่ 17 การใช้ไฟฟ้าปีปัจจุบัน (ปี 2559) และ 3 ปี ย้อนหลัง 111
ตารางที่ 18 ชนิดหลอดไฟและจำนวนในแต่ละชั้น ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 113
ตารางที่ 19 ค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th 117
ตารางที่ 20 ค่าความสว่างเป็นรายห้องของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th 119
ตารางที่ 21 สรุปค่าความสว่างรวม ในแต่ละประเภทพื้นที่ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 120
ตารางที่ 22 ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง ตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 123

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 23 สรุปค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง ในแต่ละประเภทพื้นที่ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 125
ตารางที่ 24 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 126
ตารางที่ 25 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 128
ตารางที่ 26 ค่ามาตรฐานขนาดทำความเย็นให้เหมาะสมกับพื้นที่ห้อง 129
ตารางที่ 27 ข้อมูลขนาดทำความเย็นกับพื้นที่ห้อง ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 130
ตารางที่ 28 ค่า COP และค่า EER ตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 131
ตารางที่ 29 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 132
ตารางที่ 30 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 133
ตารางที่ 31 จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 134
ตารางที่ 32 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 138
ตารางที่ 33 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 142
ตารางที่ 34 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 143
ตารางที่ 35 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง 144
ตารางที่ 36 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟบริเวณทางเดินจากการ Reuse 145
ตารางที่ 37 ผลประหยัดของมาตรการติดตั้งระบบควบคุมเปิดปิดหลอดไฟอัตโนมัติสำหรับห้องเรียน 146
ตารางที่ 38 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟและติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวบริเวณห้องน้ำ 147
ตารางที่ 39 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง 149
ตารางที่ 40 เงินลงทุนของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง 150

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 41 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง 150
ตารางที่ 42 ผลประหยัดของมาตรการลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบชุดและควบคุมเปิดปิดเครื่องปรับอากาศด้วย Timer 151
ตารางที่ 43 ผลประหยัดของมาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนกับเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานน้อยภายในอาคาร 152
ตารางที่ 44 ผลประหยัดของมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของ Condensing Unit 154
ตารางที่ 45 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เสนอแนะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร 155
ตารางที่ 46 ผลการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 156
ตารางที่ 47 ปริมาณสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 157
ตารางที่ 48 รายละเอียดผลประหยัดด้านพลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละห้อง ตามแนวทางการจัดการที่ 1 160
ตารางที่ 49 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ Inverter ที่แนะนำตามแนวทางการจัดการที่ 1 161
ตารางที่ 50 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ Inverter ที่แนะนำตามแนวทางการจัดการที่ 1 (ต่อ) 162
ตารางที่ 51 ผลประหยัดจากแนวทางเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP สูง ตามแนวทางการจัดการที่ 1 162
ตารางที่ 52 แนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ของต่างประเทศตามมาตรฐาน USEPA (2006) 163
ตารางที่ 53 ผลประหยัดจากแนวทางการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ 164
ตารางที่ 54 ปริมาณสารทำความเย็นและค่า Carbon Footprint ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ 165
ตารางที่ 55 การวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ (กรณีไม่มีการปรับปรุง) 166
ตารางที่ 56 ปริมาณความจุสารทำความเย็นตามแนวทางมาตรการที่ 1 167
ตารางที่ 57 ปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นและค่า Carbon Footprint หลังจากเสนอมาตรการตามแนวทางที่ 1 167
ตารางที่ 58 ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นกรณีดำเนินการตามแนวทางการจัดการที่ 1 168

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 59 การวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นหลังจากมีมาตรการเสนอแนะตามแนวทางการจัดการที่ 2 170
ตารางที่ 60 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละแนวทางการจัดการ 171
ตารางที่ 61 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559 177
ตารางที่ 63 มาตรการลดการใช้งานเพื่อลดค่าความต้องการไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 183
ตารางที่ 64 มาตรการลดการใช้งานเพื่อลดค่าความต้องการไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ 183
ตารางที่ 65 ผลประหยัดจากแนวทางการจัดการลดค่าความต้องการไฟฟ้าจากการติดตั้งระบบ Solar PV 186
ตารางที่ 66 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ Solar PV 186

สัญลักษณ์และตัวห้อย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่ของหัวจ่ายลม	m^2
A	พื้นที่ห้องหรือพื้นที่อาคารทั้งหมด	m^2
A	พื้นที่ของผนัง	m^2
AAhEPI	อัตราส่วนการใช้พลังงานต่อชั่วโมงการทำงานต่อพื้นที่	$Wh/h•m^2$
B	กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่าง	W
B	ปริมาณสาร HFC ที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในแต่ละเครื่องต่อปี	kg
c	ค่า Emission factor ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทภาชนะบรรจุสาร HFC	%
COP	สมรรถนะการทำความเย็น	-
d	อายุการใช้งาน	ปี
E	ความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	kW
E	ปริมาณการปล่อยสาร HFC	kg
EER	อัตราส่วนประสิทธิภาพ	(BTU/hr)/W
EPI	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	$Wh/h•m^2$
ESR	ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือผนังทึบแสง	W/m^2
EUI	อัตราส่วนของพลังงานที่ใช้กับพื้นที่ที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน	Wh/m^2
GWPr	ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซนของสาทำความเย็น	CO_2/kg_r
h	เอนทัลปีของอากาศ	kJ/kg
hr	จำนวนชั่วโมงในช่วงเวลาใช้งานอาคารรายปี	h/year
k	ค่า Emission factor ที่เกิดจากการรั่วไหลของสาร HFC เมื่อประจุสารทำความเย็นลงไปในเครื่องใหม่	%
LCGWP	วงจรชีวิตของ ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยตรง	$kgCO_2/kW•year$
LCGDP	วงจรชีวิตของ ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน	kgCFC-11/(kW/year)
Lr	อัตราการรั่วไหลของสารทำความเย็น	%

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Life	ชีวิตอุปกรณ์	ปี
LPD	ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง	W/m^2
M	ปริมาณสาร HFC ที่บรรจุลงไปใน RAC แต่ละประเภท	kg
M	ค่าบำรุงรักษาประจำปีและผลประหยัดของการเปลี่ยนสารทำความเย็น	Baht/year
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น	kg/s
Mr	ตลอดวงจรชีวิตจะสูญเสียสารทำความเย็น	%
ODPr	ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของสารทำความเย็น	$kgCFC\text{-}11/kg_r$
OTTV	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง	W/m^2
p	สาร HFC ที่เหลืออยู่ในขั้นตอนการกำจัดจะต้องถูกปล่อยออกมาเมื่อเทียบกับร้อยละของสารที่ประจุทั้งหมด	%
Q	ความจุความเย็น	kW
Q	ความสามารถในการทำความเย็น	kW
Rc	ความจุของสารทำความเย็น	kg_r/kW
RM	ปริมาณสาร HFC นำเข้าสำหรับ Room Air Conditioner	kg/year
RTTV	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา	W/m^2
S	ส่วนที่ประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานประจำปี	Baht/year
SC	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด	-
SHGC	ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสงหรือกระจก	-
SRR	อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา	-
TD_{eq}	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ	^oC
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	$W/m^2 \bullet {}^oC$
V	ความเร็วของอากาศที่หัวจ่ายลม	m/s
$\dot{V}$	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น	m^3/s

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
WWR	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา	-
X	ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลง	บาท
X	อัตราการรั่วไหลของสาร HFC ที่มีในอุปกรณ์แต่ละประเภทในระหว่างการผลิตและการเติมสาร HFC โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยต่อปี	%
ΔT	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร	^{o}C
η	ประสิทธิภาพการนำสาร HFC มาใช้ใหม่	%

ตัวห้อย

a	อากาศ
Base	ปีฐาน
Charge	การบรรจุสารทำความเย็นลงผลิตภัณฑ์ใหม่
Comp	เครื่องอัดไอ
Container	ภาชนะบรรจุ
end-of-life	ช่วงหมดอายุการใช้งานจากผลิตภัณฑ์
Evap	เครื่องระเหย
f	ผนังโปร่งแสง
i	ทิศที่พิจารณา
lifetime	ช่วงอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์
ni	ส่วนที่พิจารณา
Present	ปัจจุบัน
return	ด้านดูดลมกลับของเครื่องปรับอากาศ
s	หลังคาโปร่งแสง
supply	ด้านให้ความเย็นของเครื่องปรับอากาศ
r	หลังคาทึบ
t	ปีที่คำนวณ
Total	รวม
Unit	จำนวน
w	ผนัง

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

“อาคารเขียว” เป็นแนวทางการพัฒนาอาคารให้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันการพัฒนาอาคารเขียวในประเทศไทยกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก กลายเป็นแนวทางใหม่สำหรับการออกแบบและพัฒนาอาคารเพื่อรองรับการเป็นอาคารเขียวให้มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน ในการได้รับการรับรองการเป็นอาคารเขียวมิใช่เพียงออกแบบและพัฒนา ให้มีคุณสมบัติของความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในด้านต่างๆ เท่านั้น แต่จะต้องผ่านเกณฑ์การประเมินเพื่อรับรองการเป็นอาคารเขียวจากองค์กรที่ทำหน้าที่ตรวจประเมินและให้การรับรอง เช่น แบบประเมินการเป็นอาคารเขียวของประเทศสหรัฐอเมริกาเรียกว่า LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) แบบประเมินการเป็นอาคารเขียวของประเทศอังกฤษ เรียกว่า BREEAM (Building Research Establishment Energy and Environmental Assessment Method) และแบบประเมินการเป็นอาคารเขียวของประเทศไทยเรียกว่า TREES (Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability) เป็นต้น ระบบการประเมินเพื่อการเป็นอาคารเขียวจะมีรายละเอียดและขอบเขตแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ ของแต่ละประเทศ ในบางประเทศอาจเป็นการประยุกต์ใช้ หรือพัฒนามาจากระบบการประเมินที่มีอยู่แล้ว ระบบการประเมินอาคารที่ได้รับการยอมรับจากทั่วโลกคือ LEED ของสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นต้นแบบของเกณฑ์การประเมินในหลายประเทศที่คิดขึ้นมาใหม่ หลักการประเมินของ LEED แบ่งออกได้หลายประเภทเพื่อให้ใช้ประเมินอาคารหลายประเภทที่มีความแตกต่างกัน ผู้ใช้จึงต้องเลือกประเภทของเกณฑ์ให้ถูกต้องเหมาะสมกับอาคารที่ต้องการเป็นอาคารเขียว เช่น LEED for Building Design and Construction (LEED BD+C) เป็นเกณฑ์ที่ใช้สำหรับประเมินอาคารที่สร้างใหม่ LEED for Building Operations and Maintenance (LEED EBOM) เป็นเกณฑ์ที่ใช้สำหรับอาคารที่สร้างเสร็จแล้วหรืออาคารที่มีอยู่แล้ว เป็นต้น

หลักเกณฑ์ประเมินในมาตรฐาน LEED สำหรับประเมินอาคารที่มีอยู่ ประกอบด้วยเนื้อหาของเกณฑ์การประเมิน 8 หมวดหลักได้แก่ ที่ตั้งและการขนส่ง (Location and Transportation) ที่ตั้งอาคารอย่างยั่งยืน (Sustainable Sites) การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water Efficiency) พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) วัสดุและทรัพยากร (Material and Resources) คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality)

นวัตกรรมในการดำเนินงาน (Innovation in Operations) และศักยภาพของพื้นที่ (Regional Priority Credits) สำหรับด้านที่มีความสำคัญมาก คือ ด้านพลังงานและบรรยากาศ ซึ่งปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนอาคารเป็นจำนวนมากและการใช้พลังงานในอาคารยังไม่มีการจัดการอย่างถูกต้อง ส่งผลให้ระดับการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นตาม ดังนั้นจึงต้องมีวิธีที่จะลดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนด้วยการใช้แนวทางการอนุรักษ์พลังงานตาม ระบบการประเมินอาคารเขียว มาตรฐานเกณฑ์ LEED

มหาวิทยาลัยแม่โจ้เป็นมหาวิทยาลัยที่มีการสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนมาอย่างต่อเนื่อง โดยมหาวิทยาลัยได้ปฏิบัติตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ.2552 มาอย่างต่อเนื่องอย่างไรก็ตามการใช้พลังงานไฟฟ้ายังคงเพิ่มสูงขึ้นทุกปี การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารถูกใช้โดยตรงทั้งด้านการเรียนการสอนและการดำเนินงานของหน่วยงานต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารเรียนที่เป็นอาคารขนาดใหญ่ ที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับอาคารขนาดกลางและขนาดเล็ก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาศักยภาพและความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานของอาคารตัวอย่างอย่างน้อย 1 อาคาร ในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยนำระบบการประเมินอาคารเขียว ของ LEED-EBOM ในหมวดพลังงานและชั้นบรรยากาศ เพื่อจัดหาแนวทางการจัดการพลังงานของอาคารตัวอย่างให้ดีที่สุด โดยเน้นการศึกษาเชิงลึกด้านการใช้พลังงานซึ่งทำการสำรวจเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากอาคารตัวอย่างในระบบต่างๆ ในอาคาร เช่น ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และอื่นๆ ตามแนวทางการดำเนินงานของ LEED โดยประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปพัฒนาและต่อยอดให้ระบบการจัดการพลังงานของมหาวิทยาลัยเกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นแนวทางที่จะพัฒนามหาวิทยาลัยแม่โจ้เป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวในอนาคตได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่ใช้เกณฑ์ตามระบบประเมินอาคารเขียวของ LEED ในอาคารตัวอย่างของมหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. เพื่อหาแนวทางการจัดการพลังงานในอาคารตัวอย่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ตามแบบประเมินอาคารเขียวของ LEED รวมทั้งกำหนดกลยุทธ์การส่งเสริมพฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้ใช้อาคาร

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบกระบวนการวิจัยตามวิธีการประเมินอาคารของ LEED for Existing Building Operations and Maintenance (EBOM) Version 4 หัวข้อพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA)

2. ศึกษากับอาคารตัวอย่างอย่างน้อย 1 อาคารในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งเป็นอาคารเก่าและใช้งานในปัจจุบัน

3. ทำการประเมินศักยภาพการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่างในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ตามแบบประเมินอาคารเขียวของ LEED V4 หัวข้อพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA)

4. ศักยภาพการใช้พลังงานประเมินออกมาเป็นค่า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร ค่า Energy Utilization Index (EUI) ค่า Energy Performance Index (EPI) ค่า Annual Average hourly Energy Performance (AAhEPI) ค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ (Lux) ค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยระบบการประเมินอาคารเขียว
2. เผยแพร่ผลงานวิจัย เพื่อนำไปใช้ประโยชน์แก่ภาครัฐและเอกชน และผู้ที่สนใจ
3. นำรูปแบบการศึกษาไปพัฒนาและต่อยอดงานวิจัยด้านการอนุรักษ์พลังงานด้านอื่นๆ ได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบประเมินอาคารเขียว LEED

1. ความหมายของ LEED

LEED ย่อมาจากคำว่า The Leadership in Energy and Environment Design เป็นระบบการประเมินอาคารที่ต้องการจะเป็นอาคารเขียว โดย LEED นั้นได้ถูกคิดโดยสภาอาคารสีเขียวแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ USGBC (U.S. Green Building Council) เป็นหน่วยงานที่มีสมาชิกประกอบด้วยผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมก่อสร้างทั้งหมดได้แก่ เจ้าของอาคารผู้ออกแบบและผู้รับเหมา ซึ่งมีบทบาทในการรณรงค์ส่งเสริมการก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมผ่านระบบการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารเรียกว่า “LEED” (The Leadership in Energy and Environment Design) ถูกตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1999 เพื่อเป็นการลดใช้พลังงานฟอสซิล ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดปริมาณขยะ ทำให้สุขภาพของผู้ใช้ดีขึ้น ค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้ภายในอาคารลดลง และกฎหมายของสหรัฐบางรัฐยังบังคับใช้ ซึ่งทำให้การออกแบบสถาปนิกได้รับความสำคัญมาก การรับรองการเป็นอาคารเขียวนั้นจะต้องทำให้อาคารเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารและบริเวณรอบๆ อาคารน้อยที่สุด ประกอบด้วยการดูทั้งพื้นที่ที่ตั้ง การใช้น้ำภายในอาคาร การใช้พลังงาน วัสดุที่ใช้ภายในอาคาร คุณภาพของสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร นวัตกรรมในการดำเนินงานและศักยภาพของพื้นที่ ระบบการประเมินอาคาร LEED ของประเทศสหรัฐอเมริกานั้นถือเป็นต้นแบบของการพัฒนาระบบประเมินอาคารเขียวในอีกหลายๆ ประเทศ (ณัชวิชญ์, 2557)

2. ประเภทของมาตรฐาน LEED

LEED ได้ถูกพัฒนาและจำแนกเป็นกลุ่มตามประเภทของอาคาร ทั้งหมด 6 ประเภท (Green Way, 2555) ดังต่อไปนี้

- LEED-NC (New Commercial Construction and Major Renovation Projects) สำหรับประเมินอาคารที่ก่อสร้างขึ้นใหม่
- LEED-CI (Commercial Interiors Projects) สำหรับโครงการทางด้านการออกแบบตกแต่งภายในอาคาร

- LEED-CS (Core and Shell Projects) สำหรับการประเมินเปลือกอาคาร
- LEED-H (Home) สำหรับโครงการที่อยู่อาศัย
- LEED-ND (Neighborhood Development) สำหรับโครงการออกแบบชุมชน
- LEED-EBOM (Existing Buildings: Operations & Maintenance) สำหรับประเมินอาคารที่มีอยู่แล้วและมีการซ่อมบำรุงเพื่อการปรับปรุงอาคารหรือเปลี่ยนวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันตามลักษณะของอาคารแต่ละประเภท

การให้คะแนนการประเมินอาคารของ LEED เพื่อจัดลำดับของอาคารแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับรับรอง (Certified) ระดับเงิน (Silver) ระดับทอง (Gold) และระดับแพลทินัม (Platinum) ตามคะแนนที่ได้รับ โดยอาคารที่ต้องการผ่านเป็นอาคารเขียวจะต้องได้คะแนนประเมิน 40 คะแนนขึ้นไป เมื่อผ่านเป็นอาคารเขียวแล้ว คะแนนก็จะแบ่งระดับการเป็นอาคารเขียว เป็น 4 ระดับ ระดับรับรอง (Certified) ต้องได้คะแนนระหว่าง 40-49 คะแนน ระดับเงิน (Silver) ต้องได้คะแนนระหว่าง 50-59 คะแนน ระดับทอง (Gold) 60-79 คะแนน และระดับแพลทินัม (Platinum) ต้องได้คะแนน 80 คะแนนขึ้นไป ดังตารางที่ 1 อาคารที่ผ่านการรับรองของในระบบ LEED จะได้รับเงินทุนสนับสนุนจากกระทรวงพลังงาน (Department of Energy) ของสหรัฐอเมริกา และเงินสนับสนุนจำนวนนี้ได้กลายเป็นสิ่งดึงดูดใจและก่อให้เกิดผลกระทบในทางบวกเป็นวงกว้างไปทั้งวงการก่อสร้าง ในบางพื้นที่ของประเทศสหรัฐอเมริกามีการออกกฎหมายให้ อาคารที่สร้างด้วยเงินทุนของรัฐทั้งหมดต้องผ่านระบบการให้คะแนนของ LEED หรือ ที่เรียกว่า LEED Certification แม้กระทั่งกองทัพเรือ หรือ US Navy ก็ยังนำระบบ LEED มาใช้กับอาคารที่ก่อสร้าง รวมทั้งภาคเอกชน เช่น บริษัทฟอร์ด (Ford) หรือโตโยต้า (Toyota) ก็เริ่มทำการก่อสร้างอาคารโดยใช้ระบบ LEED ดังภาพที่ 1 (ณัชวิชญ์, 2557)

ตารางที่ 1 ระดับการรับรองต่างๆ ของ LEED

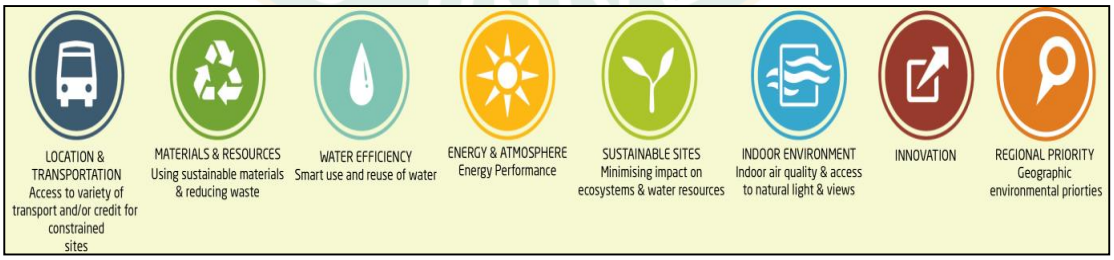
ระดับการรับรอง	คะแนน
ระดับรับรอง (Certified)	40-49
ระดับเงิน (Silver)	50-59
ระดับทอง (Gold)	60-79
ระดับแพลทินัม (Platinum)	80

ภาพที่ 1 เครื่องหมาย LEED ในระดับการรับรองต่างๆ

ที่มา: ณัชวิชญ์ (2557)

ระบบการประเมินอาคาร LEED-EBOM

สำหรับ LEED-EBOM (Existing Buildings: Operations & Maintenance) จะใช้ในการประเมินอาคารประเภทอาคารสำนักงานร้านค้าและสถานบริการ โรงแรม อาคารที่พักอาศัย สถาบัน หรือหน่วยงานต่างๆ เช่น โรงเรียน ห้องสมุด พิพิธภัณฑ์โบสถ์ที่เปิดใช้อาคารอยู่ การประเมินแบ่งออกเป็น 8 หมวด ซึ่งแต่ละหมวดจะแบ่งเป็นเกณฑ์ 2 กลุ่ม ได้แก่ เกณฑ์บังคับ (Prerequisite) ที่อาคารต้องผ่านการประเมิน เกณฑ์บังคับนี้ไม่มีการให้คะแนนถ้าอาคารไม่ผ่านเกณฑ์บังคับนี้จะหมดสิทธิ์การเป็นอาคารเขียว และเกณฑ์ที่มีคะแนนให้ (Credit) ในแต่ละหัวข้อจะมีการให้คะแนนมากน้อยแตกต่างกันไปตามระดับความสำคัญของหัวข้อนั้น โดยถ้าอาคารนั้นได้ออกแบบได้ดีมาก จะมีคะแนนพิเศษให้ ซึ่งมีประเด็นที่ใช้ในการประเมิน 8 ประเด็นดังภาพที่ 2 ประกอบด้วย (ณัชวิชญ์, 2557)



ภาพที่ 2 หัวข้อการกระเมินของ LEED-EBOM

ที่มา: Melaniedawn (2014)

1. ที่ตั้งและการขนส่ง (Location and Transportation: LT)

สถานที่ตั้งและการขนส่ง จะพิจารณาถึงสถานที่ตั้งที่มีผลต่อการขนส่ง ซึ่งเป็นสถานที่มีผลส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาและมีความสะดวกสบายในด้านสิ่งอำนวยความสะดวกในบริเวณรอบๆ อาคาร เช่น ร้านอาหารและสวนสาธารณะ เป็นต้น ควรมีปัจจัยในการเลือกที่ตั้งจากคุณสมบัติที่มีอยู่ของชุมชนโดยรอบและโครงสร้างพื้นฐานนี้มีผลต่อพฤติกรรมการอยู่อาศัยและการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมการประเมินในหมวดนี้ มีคะแนนเต็มทั้งหมด 15 คะแนน

2. ที่ตั้งอาคารอย่างยั่งยืน (Sustainable Sites: SS)

หัวข้อนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจากที่ตั้งอาคารนั้นถือเป็นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากเมื่อตั้งอาคารในบริเวณที่เลือกแล้วแล้วไม่เหมาะสม การย้ายที่ตั้งอาคารจะเป็นไปได้ยาก โดยที่ตั้งอาคารนั้นต้องมองว่าเมื่อตั้งแล้วผลเสียที่ตามมาจะไม่กระทบทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร การปล่อยของเสียของอาคารไม่กระทบกับสิ่งแวดล้อม ที่ตั้งนั้นเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ของอาคารนั้นหรือไม่การประเมินในหมวดนี้ มีคะแนนเต็มทั้งหมด 11 คะแนน

3. การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water Efficiency: WE)

การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจะเน้นเรื่องของการใช้น้ำโดยการลดการใช้น้ำหรือการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ และการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น การใช้น้ำในอาคารควรใช้สุขภัณฑ์ที่ประหยัดน้ำ หรือมีการใช้ระบบควบคุมน้ำอัตโนมัติ เพื่อเป็นการประหยัดน้ำสำรวจท่อรั่วภายในบ้าน ตรวจก๊อกน้ำและสุขภัณฑ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพการใช้งานได้ดี ไม่มีการรั่วไหล ป้องกันการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ ควรรดน้ำต้นไม้ สนามหญ้าให้น้อยลง หรือเปลี่ยนรูปแบบของสนามใหม่ ให้เป็นแบบไม่ใช้น้ำ เช่น ใช้ไม้และหินแต่งสนามแทนการปลูกหญ้าหมั่น ตรวจสอบซักโครกในอาคาร เนื่องจากเป็นสุขภัณฑ์ที่มีน้ำรั่วไหลมาก การประเมินในหมวดนี้มีคะแนนเต็มทั้งหมด 12 คะแนน

4. พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA)

การใช้พลังงานและชั้นบรรยากาศเป็นหัวข้อที่สำคัญมากโดยอาคารที่สร้างมาแล้วสามารถปรับรูปแบบการใช้อาคารให้มีประสิทธิภาพการทำงานและประหยัดพลังงานด้านต่างๆ แต่การปรับรูปแบบการใช้งานนั้นจะต้องลงทุนสูง แต่เมื่อปรับปรุงแล้วอาคารจะประหยัดพลังงานมากขึ้นและมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดเป็นมิตรต่อชั้นบรรยากาศ และการประเมินในทั้งหมดนี้จะเน้นการเลือกเลือกใช้พลังงานทางเลือกสีเขียวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากลม พลังงานจากน้ำ เป็นต้น ประเด็นการใช้พลังงานและบรรยากาศนี้มีคะแนนเต็มทั้งหมด 38 คะแนน โดยจะต้องผ่านเกณฑ์บังคับ (Perquisite) 4 ประเด็นได้แก่ 1. วิธีการบริหาร

จัดการเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีที่สุด (Energy Efficiency Best Management Practices) 2. ขั้นต่ำของระดับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Minimum Energy Performance) 3. เกณฑ์ข้อบังคับ การวัดระดับพลังงานในอาคาร (Building-Level Energy Metering) 4. เกณฑ์ข้อบังคับ การจัดการสารทำความเย็นขั้นพื้นฐาน (Fundamental Refrigerant Management)

5. วัสดุและทรัพยากร (Material and Resources: MR)

ประเด็นเรื่องการใช้วัสดุและทรัพยากรอย่างยั่งยืน จะมีเกณฑ์การให้คะแนนทั้งหมด 8 คะแนน โดยมีการกำหนดประเด็นมาตรฐาน 2 ประเด็นคือ ต้องมีการกำหนดการซื้อจัดหาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีนโยบายการจัดการของเสีย มีนโยบายในการบำรุงรักษาและปรับปรุงต่อไป ซื้ออาหารที่มีฉลากเขียวหรือซื้ออาหารภายในรัศมีโดยรอบไม่เกิน 100 ไมล์ มีการตรวจสอบแนวโน้มของของเสียที่เกิดขึ้นในอาคารและมีวิธีกำจัดของเสียที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

6. คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality: EQ)

เป็นเกณฑ์ที่จะเน้นคุณภาพของอากาศที่ผู้ใช้อาคารได้รับในแต่ละวันจะต้องสะอาดไม่เป็นผลเสียต่อผู้ใช้อาคาร แสง อุณหภูมิ แสงธรรมชาติและทัศนียภาพ เหมาะแก่การทำงานที่สุด ถ้าอาคารนั้นมีผู้สูบบุหรี่แบ่งโซนเป็นโซนๆ เพื่อไม่ได้เป็นมลภาวะต่อผู้อาศัยทั้งในและบริเวณรอบอาคาร ประเด็นนี้มีคะแนนเต็มทั้งหมด 17 คะแนน และถูกบังคับให้ต้องมีคุณภาพอากาศภายในอาคารได้มาตรฐานขั้นต่ำตามเกณฑ์มาตรฐาน

7. นวัตกรรมในการดำเนินงาน (Innovation in Operations: IN)

เป็นประเด็นนวัตกรรมหรือสิ่งประดิษฐ์ในการดำเนินงาน เป็นหัวที่ใช้สิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ที่ไม่อยู่ในหัวข้อใดๆ ใน 5 หมวด แล้วสิ่งที่ประดิษฐ์ขึ้นมานั้นจะต้องเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ประเด็นนี้มีคะแนนเต็มทั้งหมด 6 คะแนน

8. ศักยภาพของพื้นที่ (Regional Priority Credits: RP)

ประเด็นนี้มีคะแนนเต็มทั้งหมด 4 คะแนน โดยพิจารณาจากศักยภาพทั้ง 8 หมวด ซึ่งจะมีการกำหนด ตามฐานข้อมูลจาก USGBC Regional Councils จากการประเมินทั้ง 8 หมวด จะมีแบบฟอร์มการให้คะแนน ดังภาพที่ 3

LEED v4 for Operations & Maintenance: Existing Buildings

Project Checklist

Project Name:

Date:

Y	?	N				
0	0	0	**Location and Transportation**			15
			Credit	Alternative Transportation		15
0	0	0	**Sustainable Sites**			10
Y			Prereq	Site Management Policy		Required
			Credit	Site Development-Protect or Restore Habitat		2
			Credit	Rainwater Management		3
			Credit	Heat Island Reduction		2
			Credit	Light Pollution Reduction		1
			Credit	Site Management		1
			Credit	Site Improvement Plan		1
0	0	0	**Water Efficiency**			12
Y			Prereq	Indoor Water Use Reduction		Required
Y			Prereq	Building-Level Water Metering		Required
			Credit	Outdoor Water Use Reduction		2
			Credit	Indoor Water Use Reduction		5
			Credit	Cooling Tower Water Use		3
			Credit	Water Metering		2
0	0	0	**Energy and Atmosphere**			38
Y			Prereq	Energy Efficiency Best Management Practices		Required
Y			Prereq	Minimum Energy Performance		Required
Y			Prereq	Building-Level Energy Metering		Required
Y			Prereq	Fundamental Refrigerant Management		Required
			Credit	Existing Building Commissioning— Analysis		2
			Credit	Existing Building Commissioning—Implementation		2
			Credit	Ongoing Commissioning		3
			Credit	Optimize Energy Performance		20
			Credit	Advanced Energy Metering		2
			Credit	Demand Response		3
			Credit	Renewable Energy and Carbon Offsets		5
			Credit	Enhanced Refrigerant Management		1
0	0	0	**Materials and Resources**			8
Y			Prereq	Ongoing Purchasing and Waste Policy		Required
Y			Prereq	Facility Maintenance and Renovations Policy		Required
			Credit	Purchasing- Ongoing		1
			Credit	Purchasing- Lamps		1
			Credit	Purchasing- Facility Management and Renovation		2
			Credit	Solid Waste Management- Ongoing		2
			Credit	Solid Waste Management- Facility Management and Renovation		2
0	0	0	**Indoor Environmental Quality**			17
Y			Prereq	Minimum Indoor Air Quality Performance		Required
Y			Prereq	Environmental Tobacco Smoke Control		Required
Y			Prereq	Green Cleaning Policy		Required
			Credit	Indoor Air Quality Management Program		2
			Credit	Enhanced Indoor Air Quality Strategies		2
			Credit	Thermal Comfort		1
			Credit	Interior Lighting		2
			Credit	Daylight and Quality Views		4
			Credit	Green Cleaning- Custodial Effectiveness Assessment		1
			Credit	Green Cleaning- Products and Materials		1
			Credit	Green Cleaning- Equipment		1
			Credit	Integrated Pest Management		2
			Credit	Occupant Comfort Survey		1
0	0	0	**Innovation**			6
			Credit	Innovation		5
			Credit	LEED Accredited Professional		1
0	0	0	**Regional Priority**			4
			Credit	Regional Priority: Specific Credit		1
			Credit	Regional Priority: Specific Credit		1
			Credit	Regional Priority: Specific Credit		1
			Credit	Regional Priority: Specific Credit		1
0	0	0	**TOTALS**		Possible Points:	110

Certified: 40-49 points, **Silver:** 50-59 points, **Gold:** 60-79 points, **Platinum:** 80+ points

ภาพที่ 3 แบบฟอร์มการให้คะแนนของ LEED-EBOM

ที่มา: USGBC (2017)

การประเมินหัวข้อพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA)

เป็นหัวข้อเกณฑ์การประเมินที่เน้นไปด้านการใช้พลังงานอย่างประหยัดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยแบ่งเป็น ด้านพลังงานและบรรยากาศ จะแบ่งออกเป็น 2 เกณฑ์ ได้แก่ เกณฑ์บังคับ (Prerequisite) และเกณฑ์ให้คะแนน (Credit) ในแต่ละหัวข้อดังตารางที่ 2 (USGBC, 2017)

ตารางที่ 2 เกณฑ์ประเมินในหัวข้อพลังงานและบรรยากาศ ตามเกณฑ์ของ LEED-EBOM

เกณฑ์ข้อบังคับ (EA Prerequisite)	เกณฑ์การให้คะแนน (EA Credit)
EA Prerequisite 1 Energy Efficiency Best Management Practices (เกณฑ์ข้อบังคับ 1 วิธีการบริหารจัดการเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีที่สุด)	EA Credit 1 Existing Building Commissioning-Analysis (เกณฑ์การให้คะแนน 1 การวิเคราะห์การใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่) 2 Points
EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance (เกณฑ์ข้อบังคับ 2 การกำหนดขั้นต่ำของระดับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ)	EA Credit 2 Existing Building Commissioning-Implementation (เกณฑ์การให้คะแนน 2 การดำเนินงานใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่) 2 Points
EA Prerequisite 3 Building-Level Energy Metering (เกณฑ์ข้อบังคับ 3 การวัดระดับพลังงานในอาคาร)	EA Credit 3 Ongoing Commissioning (เกณฑ์การให้คะแนน 3 การใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง) 3 Points
EA Prerequisite 4 Fundamental Refrigerant Management (เกณฑ์ข้อบังคับ 4 การจัดการสารทำความเย็นขั้นพื้นฐาน)	EA Credit 4 Optimize Energy Performance (เกณฑ์การให้คะแนน 4 ค่าที่เหมาะสมของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน) 1–20 Points
	EA Credit 5 Advanced Energy Metering (เกณฑ์การให้คะแนน 5 การวัดระดับการใช้พลังงานขั้นสูง) 2 Points
	EA Credit 6 Demand Response (เกณฑ์การให้คะแนน 6 การตอบสนองค่าความต้องการ) 1–3 Points
	EA Credit 7 Renewable Energy and Carbon Offsets (เกณฑ์การให้คะแนน 7 การใช้พลังงานทดแทนและการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก) 1–5 Points
	EA Credit 8 Enhanced Refrigerant Management (เกณฑ์การให้คะแนน 8 การจัดการสารทำความเย็นเพิ่มเติม) 1 Point

1. EA Prerequisite 1 Energy Efficiency Best Management Practices (เกณฑ์ข้อบังคับ 1 วิธีการบริหารจัดการเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีที่สุด)

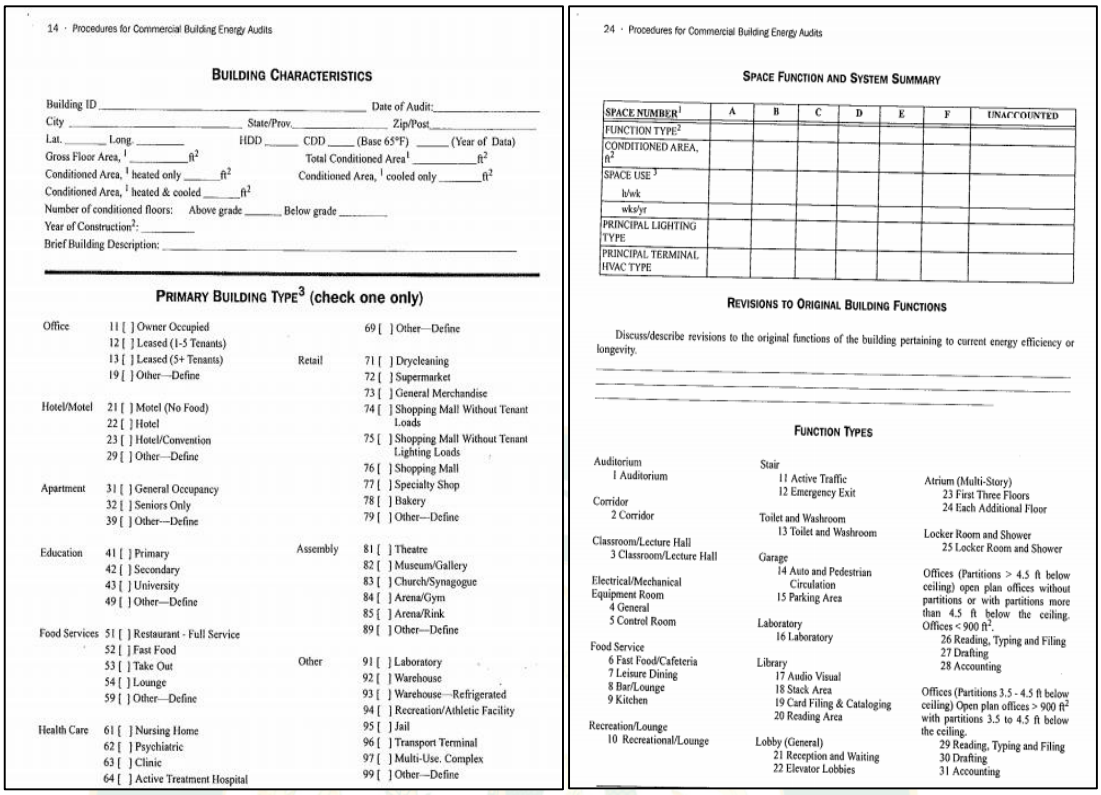
จุดประสงค์

เพื่อเกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการวางแผน มีการฝึกอบรม บำรุงรักษา และการวิเคราะห์ระบบ

วิธีการเริ่มต้น

ดำเนินการตรวจสอบการใช้พลังงานสำหรับอาคารพาณิชย์หรือเทียบเท่าตามขั้นตอนของ ASHARE ได้แก่ การวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้นตาม ASHRAE Preliminary Energy Use Analysis และการเดินสำรวจการใช้พลังงานตาม ASHRAE Level 1 Walk-Through เตรียมพร้อมและดูแลสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีอยู่ และวางแผนการบำรุงรักษาที่จะทำให้การดำเนินงานของอาคารมีประสิทธิภาพดังนี้

- ลำดับการดำเนินงานของอาคาร ณ ปัจจุบัน
- กำหนดตารางเวลาการใช้อาคาร
- กำหนดตารางเวลาการทำงานของอุปกรณ์
- กำหนดข้อมูลการตั้งค่า (Set Point) ของอุปกรณ์ระบบ HVAC ทั้งหมด
- กำหนดข้อมูลการตั้งค่า (Set Point) ของอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ทั้งหมด
- กำหนดค่าความต้องการอากาศภายนอกขั้นต่ำ
- การเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าระบบต่างๆ (Set Points) เป็นไปตามฤดูกาลที่แตกต่างกัน ตามช่วงแต่ละวันของสัปดาห์ และตามช่วงเวลาของวัน
- อธิบายข้อมูลของระบบเครื่องกล ระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ต่างๆ ในอาคาร
- แผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับงานอาคารที่อธิบายไว้ในเรื่องระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ภายในอาคาร ดังภาพที่ 4



14 · Procedures for Commercial Building Energy Audits

BUILDING CHARACTERISTICS

Building ID _____ Date of Audit: _____
City _____ State/Prov. _____ Zip/Post _____
Lat. _____ Long. _____ HDD _____ CDD _____ (Base 65°F) _____ (Year of Data)
Gross Floor Area,[1] _____ ft² Total Conditioned Area[1] _____ ft²
Conditioned Area,[1] heated only _____ ft² Conditioned Area,[1] cooled only _____ ft²
Conditioned Area,[1] heated & cooled _____ ft²
Number of conditioned floors: Above grade _____ Below grade _____
Year of Construction[2]: _____
Brief Building Description: _____

PRIMARY BUILDING TYPE[3] (check one only)

Office	11 [ ] Owner Occupied		69 [ ] Other—Define
	12 [ ] Leased (1-5 Tenants)		
	13 [ ] Leased (5+ Tenants)	Retail	71 [ ] Drycleaning
	19 [ ] Other—Define		72 [ ] Supermarket
			73 [ ] General Merchandise
Hotel/Motel	21 [ ] Motel (No Food)		74 [ ] Shopping Mall Without Tenant Loads
	22 [ ] Hotel		75 [ ] Shopping Mall Without Tenant Lighting Loads
	23 [ ] Hotel/Convention		76 [ ] Shopping Mall
	29 [ ] Other—Define		77 [ ] Specialty Shop
			78 [ ] Bakery
Apartment	31 [ ] General Occupancy		79 [ ] Other—Define
	32 [ ] Seniors Only		
	39 [ ] Other—Define	Assembly	81 [ ] Theatre
			82 [ ] Museum/Gallery
Education	41 [ ] Primary		83 [ ] Church/Synagogue
	42 [ ] Secondary		84 [ ] Arena/Gym
	43 [ ] University		85 [ ] Arena/Rink
	49 [ ] Other—Define		89 [ ] Other—Define
Food Services	51 [ ] Restaurant - Full Service		
	52 [ ] Fast Food	Other	91 [ ] Laboratory
	53 [ ] Take Out		92 [ ] Warehouse
	54 [ ] Lounge		93 [ ] Warehouse—Refrigerated
	59 [ ] Other—Define		94 [ ] Recreation/Athletic Facility
			95 [ ] Jail
Health Care	61 [ ] Nursing Home		96 [ ] Transport Terminal
	62 [ ] Psychiatric		97 [ ] Multi-Use. Complex
	63 [ ] Clinic		99 [ ] Other—Define
	64 [ ] Active Treatment Hospital		

24 · Procedures for Commercial Building Energy Audits

SPACE FUNCTION AND SYSTEM SUMMARY

SPACE NUMBER[1]	A	B	C	D	E	F	UNACCOUNTED
FUNCTION TYPE[2]							
CONDITIONED AREA, ft²							
SPACE USE[3]							
h/wk							
wks/yr							
PRINCIPAL LIGHTING TYPE							
PRINCIPAL TERMINAL HVAC TYPE							

REVISIONS TO ORIGINAL BUILDING FUNCTIONS

Discuss/describe revisions to the original functions of the building pertaining to current energy efficiency or longevity.

FUNCTION TYPES

Auditorium
1 Auditorium

Corridor
2 Corridor

Classroom/Lecture Hall
3 Classroom/Lecture Hall

Electrical/Mechanical Equipment Room
4 General
5 Control Room

Food Service
6 Fast Food/Cafeteria
7 Leisure Dining
8 Bar/Lounge
9 Kitchen

Recreation/Lounge
10 Recreational/Lounge

Stair
11 Active Traffic
12 Emergency Exit

Toilet and Washroom
13 Toilet and Washroom

Garage
14 Auto and Pedestrian Circulation
15 Parking Area

Laboratory
16 Laboratory

Library
17 Audio Visual
18 Stack Area
19 Card Filing & Cataloging
20 Reading Area

Lobby (General)
21 Reception and Waiting
22 Elevator Lobbies

Atrium (Multi-Story)
23 First Three Floors
24 Each Additional Floor

Locker Room and Shower
25 Locker Room and Shower

Offices (Partitions > 4.5 ft below ceiling) open plan offices without partitions or with partitions more than 4.5 ft below the ceiling. Offices < 900 ft².
26 Reading, Typing and Filing
27 Drafting
28 Accounting

Offices (Partitions 3.5 - 4.5 ft below ceiling) Open plan offices > 900 ft² with partitions 3.5 to 4.5 ft below the ceiling.
29 Reading, Typing and Filing
30 Drafting
31 Accounting

ภาพที่ 4 ตัวอย่างแบบฟอร์ม ASHRAE Preliminary Energy Use Analysis และASHRAE Level 1 Walk-Through

ที่มา: ASHRAE (2004)

2. EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance (เกณฑ์ข้อบังคับ 2 การกำหนดขั้นต่ำของระดับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ)

จุดประสงค์

เพื่อลดความเสี่ยงทางด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวเนื่องจากการใช้พลังงานมากเกินไป โดยกำหนดขั้นต่ำของการใช้พลังงานที่ยังทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพ

วิธีการเริ่มต้น

หากเจ้าของอาคาร/หน่วยงาน/องค์กร หรือผู้เช่าเป็นเจ้าของเครื่องวัดจะต้องทำการปรับเทียบเคียงมิเตอร์ให้อยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตแนะนำ สำหรับเครื่องวัดที่มีบุคคลที่สามเป็นเจ้าของ เช่น รัฐบาลจะได้รับการยกเว้น

วิธีการดำเนินการ

มิเตอร์วัดพลังงานของอาคารจะต้องมีการใช้งานต่อเนื่องอย่างน้อย 12 เดือน โดยประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละอาคารจะต้องอยู่บนพื้นฐานในการตรวจวัดการใช้พลังงานจริงทั้งอาคารที่ต้องการรับรองการเป็นอาคารเขียว และอาคารที่นำมาเปรียบเทียบ

กรณีที่ 1 อาคารได้รับการจัดอันดับ Energy Star

สำหรับอาคารที่ได้รับการจัดอันดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานจาก Environmental Protection Agency (EPA) โดยใช้ ENERGY STAR Portfolio Manager Tool จะต้องได้รับคะแนนการประเมินไม่ต่ำกว่า 75 คะแนน สำหรับอาคารที่เข้าร่วมประเมินการเป็นอาคารเขียวที่ไม่ได้อยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา ให้ใช้มาตรการ ASHRAE/ASHRAE/IESNA Standard 90.1–2010, Appendixes B and D เพื่อกำหนดเขตภูมิอากาศที่เหมาะสม ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 เครื่องหมาย Energy Star สำหรับอาคารที่ได้รับการรับรอง จาก EPA

ที่มา: Energy Star (2016)

กรณีที่ 2 อาคารไม่ได้รับการจัดอันดับ Energy Star

สำหรับอาคารที่ไม่ได้รับการจัดอันดับ Energy Star อาจทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพกับอาคารเทียบเคียง เช่น ใช้ค่าเฉลี่ยระดับชาติ หรือค่าเฉลี่ยจากอาคารจริง หรืออาคารที่ผ่านการประเมินประสิทธิภาพมาก่อนหน้านี้

ตัวเลือกที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานเทียบกับอาคารทั่วไป

ทางเลือกที่ 1 มีข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ

จะต้องแสดงให้เห็นว่าอาคารนั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีกว่า 25% เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของอาคารที่คล้ายคลึงกันโดยใช้ข้อมูลระดับชาติ (ข้อมูล Source Energy) อ้างอิงตาม Portfolio Manager Tool

ทางเลือกที่ 2 ไม่มีข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ

หากไม่พบข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ จะต้องมีข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันอย่างน้อย 3 อาคาร ซึ่งอาคารที่นำมาเปรียบเทียบจะต้องมีลักษณะคล้ายกันกับอาคารที่ต้องการรับรองเป็นอาคารเขียว ทั้งสภาพภูมิอากาศ ลักษณะการใช้งานอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร โดยประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะต้องดีกว่า 25% ของอาคารที่นำมาเปรียบเทียบ (ข้อมูล Source Energy)

ตัวเลือกที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานเทียบกับข้อมูลในอดีต

หากไม่พบข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ ให้เปรียบเทียบการใช้พลังงาน 12 เดือนของอาคารจากข้อมูลในอดีต โดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงาน 3 ปีต่อเนื่องใน 5 ปีที่ผ่านมา โดยข้อมูลอาคารปัจจุบันและในอดีต จะต้องมีลักษณะคล้ายกัน ทั้งสภาพภูมิอากาศ ลักษณะการใช้งานอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร โดยประสิทธิภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันจะต้องดีกว่า 25% ของข้อมูลการใช้พลังงานในอดีต (ข้อมูล Site Energy)

3. EA Prerequisite 3 Building-Level Energy Metering (เกณฑ์ข้อบังคับ 3 การวัดระดับพลังงานในอาคาร)

จุดประสงค์

เพื่อสนับสนุนการจัดการพลังงานและระบุระดับของการประหยัดพลังงานโดยติดตามระดับการใช้พลังงานของอาคาร

วิธีการเริ่มต้น

ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (Metering) การใช้พลังงานของอาคารใหม่ หรือใช้มิเตอร์ที่มีการติดตั้งอยู่แล้ว หรือใช้เครื่องตรวจวัดย่อย (Sub Meter) ที่สามารถแยกข้อมูลการใช้พลังงานในระบบต่างๆ

ของอาคารได้ เพื่อเก็บข้อมูลและแสดงระดับการใช้พลังงานภายในอาคารรวมและแยก เช่น ไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ ระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็น ไอน้ำ น้ำมันเชื้อเพลิง ฯลฯ

วิธีการดำเนินการ

รวบรวมข้อมูลการวัดพลังงานเป็นรายเดือนและสรุปเป็นรายปี โดยการบันทึกค่าพลังงานแบบอัตโนมัติ หรือเก็บข้อมูลด้วยวิธี Manual จะต้องส่งข้อมูลการใช้พลังงานและความต้องการไฟฟ้าให้กับ USGBC เป็นระยะเวลา 5 ปี นับตั้งแต่วันที่ผ่านการรับรองการเป็นอาคารเขียว อย่างน้อยที่สุดควรมีการติดตามการใช้พลังงานทุกๆ เดือน ดำเนินงานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ปี หรือจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเจ้าของอาคาร

4. EA Prerequisite 4 Fundamental Refrigerant Management (เกณฑ์ข้อบังคับ 4 การจัดการสารทำความเย็นขั้นพื้นฐาน)

จุดประสงค์

เพื่อลดการสูญเสียโอโซน

วิธีการเริ่มต้น

1. อาคารไม่ควรใช้สารทำความเย็นที่มีส่วนประกอบของ Chlorofluorocarbon (CFC) ในการทำความร้อน ระบายอากาศ ระบบปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น (HVAC&R) ยกเว้นแต่จะมีการตรวจสอบจากบุคคลที่ 3 ที่แสดงให้เห็นว่า ระบบใหม่ที่นำมาทดแทนของเดิมหรือการเปลี่ยนระบบไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก็ยังคงใช้สารทำความเย็นเดิมได้แต่ให้ลดสารทำความเย็นที่มีสาร CFC เป็นส่วนประกอบนั้น 5% ต่อปี ยกเว้นแต่ว่าอาคารมีแผนที่จะยกเลิกการใช้การสารทำความเย็นที่มีสาร CFC เป็นส่วนประกอบอยู่แล้ว ซึ่งควรทำให้แล้วเสร็จภายใน 10 ปี โดยระบบที่นำมาทดแทนหรือเปลี่ยนระบบที่ถูกพิจารณาแล้วพบว่าไม่คุ้มทุนถ้าระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 10 ปี ซึ่งหาได้จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ดังสมการนี้

$$\text{Simple Payback Period} = \frac{X}{S + M} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ M คือ ค่าบำรุงรักษาประจำปีและผลประหยัดของการเปลี่ยนสารทำความเย็น (Baht/year)

S คือ ส่วนที่ประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานประจำปี (Baht/year)

Simple Payback Period คือ ระยะเวลาคืนทุน (year)

X คือ ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลง (Baht)

หมายเหตุ ระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 10 ปี ถือว่าไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2. หากสารทำความเย็นที่มีส่วนประกอบของ Chlorofluorocarbon (CFC) ยังคงถูกใช้ในอาคารจะต้องลดการรั่วไหล 5% ต่อปี หรือน้อยกว่า หรือใช้ The Clean Air Act, Title VI, Rule 608 ภายใต้การกำกับดูแลการใช้สารทำความเย็นของสหรัฐอเมริกา (หรือเทียบเท่าเกณฑ์ของท้องถิ่นสำหรับโครงการที่อยู่นอกสหรัฐอเมริกา) และลดการรั่วไหลรวมตลอดอายุที่เหลือของอาคาร สำหรับการลดการรั่วไหลของสารทำความเย็นตลอดช่วงระยะเวลาที่เหลืออยู่ของอาคารจะต้องลดลงน้อยกว่า 30% ของสารทำความเย็นทั้งหมด

3. ระบบ HVAC&R ขนาดเล็ก เช่น ตู้เย็น ตู้แช่น้ำขนาดเล็ก และการระบายความร้อนอุปกรณ์อื่นๆ ใช้สารทำความเย็นที่มีประกอบของ Chlorofluorocarbon (CFC) น้อยกว่า 0.5 ปอนด์ (225 กรัม) จะได้รับการยกเว้นไม่ต้องพิจารณา

สารทำความเย็นที่มีส่วนประกอบของ Chlorofluorocarbon (CFC) ที่เป็นส่วนผสมของสารทำความเย็นในระบบ HVAC&R ในปัจจุบัน มีผลทำให้โลกเกิดภาวะโลกร้อน จากการสูญเสียโอโซน ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 ตัวอย่างระบบปรับอากาศ HVAC&R

ที่มา: Aire Rite Airconditioning & Refrigeration (2017)

5. EA Credit 1 Existing Building Commissioning-Analysis (เกณฑ์การให้คะแนน 1 การวิเคราะห์การใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่) 2 Points

จุดประสงค์

ใช้กระบวนการ Commissioning Process หรือกระบวนการว่าจ้างที่ปรึกษาเพื่อที่จะปรับปรุงการดำเนินงานในอาคาร การใช้พลังงาน และด้านการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการเริ่มต้น

1. ประเมินสภาพการใช้พลังงานให้สอดคล้องกับความต้องการ การดำเนินงาน และแผนการบำรุงรักษาสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ภายในอาคาร

2. ระบุรายละเอียดของระบบและส่วนประกอบต่างๆ ของสิ่งอำนวยความสะดวกของอาคารเพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์ Commissioning Process หรือใช้ขั้นตอนการตรวจสอบการใช้พลังงาน (Energy Audit) เพื่อจัดหาและประมาณข้อมูลทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละระบบ

ทางเลือกที่ 1 ใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่

พัฒนาแผนทดสอบอาคารที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประเมินโอกาสที่เพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในระบบที่กำลังจะวิเคราะห์แผนการทดสอบต้องมีดังนี้

- ปรับปรุงสิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องการในปัจจุบัน
- รายละเอียดสมาชิกในทีมทดสอบ บทบาทและความรับผิดชอบในกระบวนการ Commissioning Process
- ระบุรายละเอียดวิธีดำเนินการและวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงในสิ่งอำนวยความสะดวก
- กระบวนการสำหรับทบทวนและจัดโอกาส ในการจัดลำดับความสำคัญโดยเจ้าของอาคาร เพื่อหาวิธีการพัฒนาดำเนินการปรับปรุงต่อไป
- จัดรูปแบบและเนื้อหาของกระบวนการ Commissioning Process และกำหนดการที่เสนอไว้แล้วส่งมอบ

ทางเลือกที่ 2 การตรวจสอบการใช้พลังงาน (Energy Audit) ดังภาพที่ 7

พัฒนาแผนการตรวจสอบพลังงานตามขั้นตอนของ ASHRAE Level 2 Energy Survey and Analysis เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จะต้องมีแผนการตรวจสอบดังต่อไปนี้

- รายละเอียดสมาชิกในทีมทดสอบ บทบาทและความรับผิดชอบ ในกระบวนการ Commissioning Process
- ระบุรายละเอียดวิธีดำเนินการและวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงในสิ่งอำนวยความสะดวก
- กระบวนการสำหรับทบทวนและจัดโอกาส ในการจัดลำดับความสำคัญโดยเจ้าของอาคาร เพื่อหาวิธีการพัฒนาดำเนินการปรับปรุงต่อไป
- จัดรูปแบบและเนื้อหาของกระบวนการ Commissioning Process และกำหนดการที่เสนอไว้แล้วส่งมอบงาน

ภาพที่ 7 การตรวจวัดการใช้พลังงานระบบต่างๆ ภายในอาคาร (Energy Audit)

ที่มา: Installatienet (2018)

วิธีการดำเนินการ

ดำเนินการข้อกำหนดข้างล่างของการบริโภคพลังงานทุกด้านทั้งการใช้พลังงานโดยตรงและระบบผลิตพลังงาน รวมถึงระบบแสง ภาระโหลด ระบบ HVAC&R ระบบทำน้ำร้อน และพลังงานทดแทน การปรับปรุงระบบและแก้ไขส่วนต่างๆ ในระบบ จะต้องอยู่บนพื้นฐานของกระบวนการ Commissioning Process หรือการตรวจสอบการใช้พลังงาน (Energy Audit) โดยทำตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ทางเลือกที่ 1 ใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่

- ปรับปรุงและดำเนินการตามแผน Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่

ทางเลือกที่ 2 การตรวจสอบการใช้พลังงาน (Energy Audit)

- ปรับปรุงและดำเนินการตามแผนการตรวจสอบการใช้พลังงานตาม ASHRAE Level 2 Energy Survey

6. EA Credit 2 Existing Building Commissioning-Implementation (เกณฑ์การให้คะแนน 2 การดำเนินงานใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่) 2 Points

จุดประสงค์

ใช้กระบวนการ Commissioning Process เพื่อที่จะปรับปรุงการดำเนินงานในอาคาร การใช้พลังงาน และด้านการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการเริ่มต้น

ตอบสนองผลที่เกิดขึ้นตามหัวข้อวิธีการเริ่มต้นของ EA Credit 1 การวิเคราะห์ใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่

วิธีการดำเนินการ

สำหรับการบริโภคพลังงานทุกด้านทั้งการใช้พลังงานโดยตรงและระบบผลิตพลังงาน รวมถึงระบบแสง ภาระโหลด ระบบ HVAC&R ระบบทำน้ำร้อน และพลังงานทดแทน จะต้องดำเนินการการปรับปรุงโดยไม่มีการลงทุนหรือลงทุนต่ำ และมีแผนพัฒนาทุกๆ 5 ปี สำหรับการเปลี่ยนอุปกรณ์ การปรับเปลี่ยนที่มีขนาดใหญ่ หรือการอัพเกรดอุปกรณ์จะต้องมีการวิเคราะห์ด้านการลงทุนก่อน มีการฝึกอบรมให้เจ้าหน้าที่ดูแลอาคารเพื่อให้ใช้งานระบบ อุปกรณ์ใหม่ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พัฒนาระบบติดตามและตรวจสอบทุกโครงการที่มีการปรับปรุงในอาคาร ให้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการ Commissioning Process (หมายเหตุ ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ประสิทธิผล เงินลงทุน และผลกำไร สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป สุขภาพของมนุษย์ และความสะดวกสบายที่ได้รับ) การปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาและการดำเนินการให้เป็นไปตามต้องการของสิ่งอำนวยความสะดวกในปัจจุบันและโครงการในอาคารที่มีการปรับปรุง

7. EA Credit 3 Ongoing Commissioning (เกณฑ์การให้คะแนน 3 ใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง) 3 Points

จุดประสงค์

ใช้กระบวนการ Commissioning Process เพื่อที่จะปรับปรุงการดำเนินงานในอาคาร การใช้พลังงาน และด้านการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการเริ่มต้น

ตอบสนองผลที่เกิดขึ้นตามหัวข้อวิธีการเริ่มต้นของ EA Credit 1 การวิเคราะห์ใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่และหัวข้อวิธีการเริ่มต้นของ EA Credit 2 การดำเนินงานใช้กระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่ หลังจากที่มีการวิเคราะห์วางแผนและดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ให้จัดตั้งขั้นตอนการดำเนินงานตามกระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง โดยมีการวางแผน มีจุดตรวจสอบที่แน่นอน มีการทดสอบระบบ มีการตรวจสอบประสิทธิภาพ ตอบสนองการดำเนินการแก้ไข ต้องมีความต่อเนื่องในการตรวจวัด และสุดท้ายจัดทำเอกสารเพื่อแก้ไขปัญหาหลังจากการดำเนินงานต่างๆ ภายในระบบ

การพัฒนาแผนการใช้ กระบวนการ Commissioning Process อย่างต่อเนื่อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- กำหนดหน้าที่การรับผิดชอบ
- สิ่งที่ต้องการวัด (มิเตอร์ เป้าหมาย ระบบการวัดค่า การเข้าถึงข้อมูล)
- จุดที่จะต้องติดตามผล ความถี่และระยะเวลาในการติดตามผล
- มีข้อจำกัดของการตรวจวัดที่ยอมรับได้ สำหรับการติดตามค่าเป้าหมายที่ทำการตรวจวัดและข้อมูลจากค่ามิเตอร์
- การทบทวนกระบวนการที่จะทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ
- ต้องมีแผนที่ตรวจสอบสำหรับการระบุและแก้ไขข้อผิดพลาดในการดำเนินงาน
- แผนสำหรับการซ่อมบำรุงรักษา
- ความถี่ในการวิเคราะห์ข้อมูลในปีแรก จะต้องทำทุกๆ 3 เดือน
- ความถี่ในการวิเคราะห์ผลในรอบถัดไป (อย่างน้อยทุกๆ 24 เดือน)

วิธีการดำเนินการ

ดำเนินการตามข้อกำหนดในการบริโภคพลังงานทุกด้านทั้งการใช้พลังงานโดยตรงและระบบผลิตพลังงาน รวมถึงระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ภาระโหลดในกระบวนการ ระบบ HVAC&R ระบบทำน้ำร้อนในอาคาร และพลังงานทดแทน มีรายละเอียดในการดำเนินการดังต่อไปนี้

- การปรับปรุงระบบ Manual ด้วยการปรับเปลี่ยนหรือตั้งค่าใหม่ใดๆ จะต้องให้เหตุผลสำหรับการปรับเปลี่ยนไปจากแบบเดิม สุดท้ายกำหนดวิธีการปรับปรุงการดำเนินงานและบำรุงรักษา
- รายงานผลการดำเนินงานทุก 3 เดือน ตลอดช่วงปีแรก และทำรายงานประจำปีเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของอาคาร

การดำเนินการปรับปรุงและการบำรุงรักษาแผนปัจจุบันและความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวก จะต้องสะท้อนให้เห็นผลการดำเนินงานจริง และแก้ไขเนื้อหาในเอกสารในส่วนที่ไม่ถูกต้อง เฉพาะกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Commissioning Process กับอาคารที่มีอยู่อย่างต่อเนื่องจะต้องแล้วเสร็จภายใน 2 ปี ตามโปรแกรมของ LEED และอาจจะต้องรายงานผลความคืบหน้าเป็นระยะๆ

8. EA Credit 4 Optimize Energy Performance (เกณฑ์การให้คะแนน 4 ค่าที่เหมาะสมของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน) 1–20 Points

จุดประสงค์

เพื่อลดความเสี่ยงทางด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวเนื่องจากการใช้พลังงานมากเกินไป โดยกำหนดขั้นต่ำของการใช้พลังงานที่ยังทำให้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการดำเนินการ

ทำการพิสูจน์ให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น หรือการใช้พลังงานที่ได้จากการดำเนินการตาม EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance (เกณฑ์ข้อบังคับ 2 การกำหนดขั้นต่ำของระดับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ) โดยแต่ละอาคารจะต้องแสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริง และมิเตอร์วัดพลังงานของอาคารจะต้องมีการใช้งานต่อเนื่องอย่างน้อย 12 เดือน

กรณีที่ 1 อาคารได้รับการจัดอันดับ Energy Star (3-20 คะแนน)

สำหรับอาคารที่ได้รับการจัดอันดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานจาก Environmental Protection Agency (EPA) โดยใช้ Energy Star Portfolio Manager Tool จะต้องได้รับคะแนนการประเมินดีกว่า 76 คะแนน สำหรับโครงการที่ไม่ได้อยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา ให้ปรึกษา ASHRAE/ASHRAE/IESNA Standard 90.1–2010, Appendixes B and D เพื่อกำหนดเขตภูมิอากาศที่เหมาะสมดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนสำหรับการจัดอันดับของ ENERGY STAR

ENERGY STAR rating	Points
76	3
77	4
78	5
79	6
80	7
81	8
82	9
83	10
84	11
85	12
86	13
87	14
88	15
89	16
90	17
91	18
93	19
95	20

กรณีที่ 2 อาคารไม่ได้รับการจัดอันดับ Energy Star

อาคารที่ไม่ได้รับการจัดอันดับ Energy Star อาจทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานกับอาคารเทียบเคียง เช่น ใช้ค่าเฉลี่ยระดับชาติ หรือค่าเฉลี่ยจากอาคารจริง หรืออาคารที่ผ่านการประเมินประสิทธิภาพมาก่อนหน้านี้

ตัวเลือกที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานเทียบกับอาคารทั่วไป (1-20 คะแนน)

ทางเลือกที่ 1 มีข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ (1-20 คะแนน)

แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีกว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ยดีกว่าหรือเท่ากับ 26% เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของอาคารที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันโดยใช้ข้อมูลระดับชาติที่นำมาอ้างอิง ตาม Portfolio Manager Tool (ข้อมูล Source Energy) เกณฑ์ให้คะแนนแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คะแนนสำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ (ตัวเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 1) หรือค่ามาตรฐานอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันและข้อมูลในอดีต

Percentage Improvement	Points
26	1
27	2
28	3
29	4
30	5
31	6
32	7
33	8
34	9
35	10
36	11

ตารางที่ 4 คะแนนสำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ (ตัวเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 1) หรือค่ามาตรฐานอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันและข้อมูลในอดีต (ต่อ)

Percentage Improvement	Points
37	12
38	13
39	14
40	15
41	16
42	17
43	18
44	19
45	20

ทางเลือกที่ 2 ไม่มีข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ (2-14 คะแนน)

หากไม่พบข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ จะต้องมีข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันอย่างน้อย 3 อาคาร ซึ่งอาคารที่นำมาเปรียบเทียบจะต้องมีลักษณะคล้ายกันกับอาคารที่ต้องการรับรองเป็นอาคารเขียว ทั้งสภาพภูมิอากาศ ลักษณะการใช้งานอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร โดยประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะต้องเท่ากับ 27% ขึ้นไป ของอาคารที่นำมาเปรียบเทียบ (ข้อมูล Source Energy) เกณฑ์ให้คะแนนแสดงดังตารางที่ 4

ตัวเลือกที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานเทียบกับข้อมูลในอดีต

หากไม่พบข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ ให้เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนหน้า 12 เดือนของอาคาร โดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงาน 3 ปีต่อเนื่อง 5 ปีที่ผ่านมา โดยข้อมูลอาคารปัจจุบันและในอดีต จะต้องมีลักษณะคล้ายกัน ทั้งสภาพภูมิอากาศ ลักษณะการใช้งานอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร โดยประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะต้องเท่ากับ 27% ขึ้นไปของข้อมูลการใช้พลังงานในอดีต (ข้อมูล Site Energy) เกณฑ์การให้คะแนนแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คะแนนสำหรับสำหรับไม่มีข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระดับชาติ (ตัวเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 2) หรือเกณฑ์มาตรฐานเทียบกับข้อมูลในอดีต (ตัวเลือกที่ 2)

Percentage Improvement	Points
27	2
30	4
33	6
36	8
39	10
42	12
45	14

ตัวเลือกที่ 3 การเปรียบเทียบกับอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันและเทียบกับข้อมูลในอดีต

ทำตามหัวข้อ ตัวเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 2 และตัวเลือกที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานสำหรับ 3 อาคารที่คล้ายกันและข้อมูลในอดีตของอาคาร (ข้อมูล Site Energy) เกณฑ์ให้คะแนนใช้ตามตารางที่ 3

9. EA Credit 5 Advanced Energy Metering (เกณฑ์การให้คะแนน 5 การวัดระดับการใช้พลังงานขั้นสูง) 2 Points

จุดประสงค์

เพื่อสนับสนุนการจัดการพลังงานและระบุระดับในการประหยัดพลังงานที่เพิ่มขึ้น โดยติดตามระดับการใช้พลังงานของอาคารและระบบที่ใช้พลังงาน

วิธีการเริ่มต้น

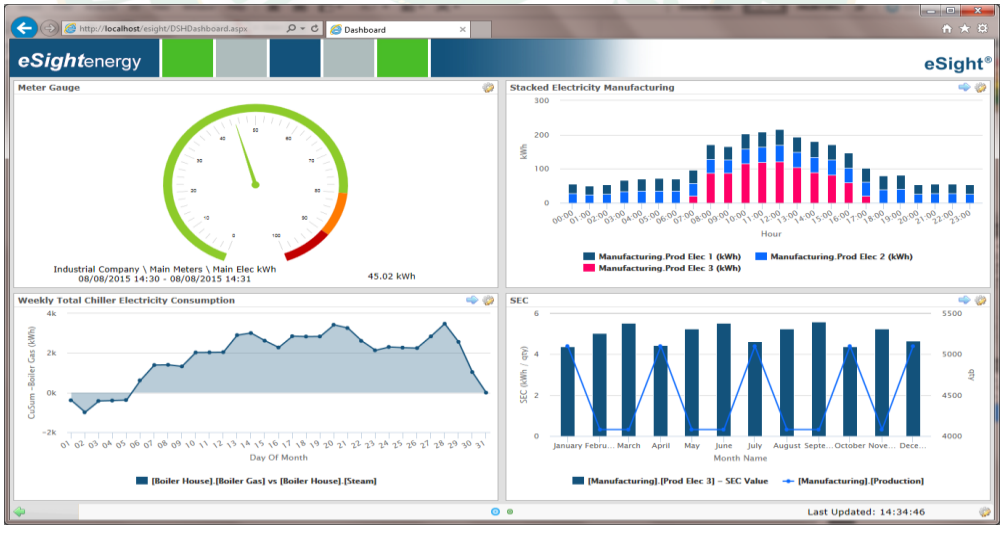
1. ทำการติดตั้งเครื่องวัดการใช้พลังงานขั้นสูง (Advanced Energy Metering) กับการใช้งานดังต่อไปนี้

- ระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงที่จะนำมาติดตั้งในอาคาร พลังงานที่ใช้จะต้องเป็นแหล่งพลังงานทั้งหมดที่ได้จากการใช้งานอาคาร

- พลังงานหลักมีการใช้มากกว่า 20% เมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้รายปีทั้งหมดของอาคาร ลบพลังงานจากปลั๊กโหลด (Plug Load Use)

2. การวัดพลังงานขั้นสูงจะต้องมีลักษณะดังนี้

- มิเตอร์วัดพลังงานจะต้องบันทึกข้อมูลรายชั่วโมงหรือละเอียดกว่า และมีระบบการส่งข้อมูลระยะไกล
- มิเตอร์ไฟฟ้าจะต้องบันทึกทั้งค่าการบริโภคพลังงานและความต้องการไฟฟ้า มิเตอร์ไฟฟ้าควรจะบันทึกค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ทั้งอาคาร
- ระบบการเก็บข้อมูลต้องเป็นระบบอัตโนมัติ เครือข่ายไร้สาย หรือพื้นฐานเทียบเท่าระบบการสื่อสาร
- ระบบต้องสามารถจัดเก็บข้อมูลหรือสำรองข้อมูลการวัดค่าทั้งหมดอย่างน้อย 36 เดือน
- ข้อมูลต้องสามารถเข้าถึงได้จากระยะไกล
- เครื่องวัดในทุกระบบจะต้องสามารถรายงานการใช้พลังงานรายชั่วโมงรายวัน รายเดือน และรายปี ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวอย่างระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง

ที่มา: Esightenergy (2017)

วิธีการดำเนินการ

1. ต้องมีการติดตั้งระบบเตือนกรณีมีการใช้พลังงานในอาคารและค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) มีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับ 5% จากค่าสูงสุดปกติ ค่าการใช้พลังงานกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ควรจะประเมินข้อมูลจาก ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารที่ผ่านมา สภาพอากาศที่แตกต่าง การใช้งานอาคาร และการใช้ชีวิตประจำวันของผู้ใช้อาคาร เงื่อนไขการใช้งาน และควรจะมีการตั้งค่าใหม่อย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง หากเป็นไปได้ควรทำเป็นรายวัน

2. ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ต้องดำเนินการตรวจวัดโดยระยะเวลาที่ตรวจวัดจะต้องไม่นานกว่าระยะเวลาที่ทางการไฟฟ้าตรวจวัดเพื่อเรียกเก็บค่าไฟฟ้า หรือภายใน 1 ชั่วโมง แล้วแต่ว่าจำนวนใดจะใช้เวลาที่จะเก็บข้อมูลตรวจวัดน้อยกว่า โดยอย่างน้อยทุกๆ เดือนควรรายงานค่าความต้องการและการบริโภคพลังงานที่ลดลงจากสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ สุดท้ายควรที่จะมีการเปรียบเทียบ การใช้พลังงาน และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) กับข้อมูลในเดือนก่อนและช่วงเดือนเดียวกันในปีที่ผ่านมา

10. EA Credit 6 Demand Response (เกณฑ์การให้คะแนน 6 การตอบสนองค่าความต้องการ) 1–3 Points

วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มโอกาสในการจัดการตอบสนองค่าความต้องการไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีและโปรแกรมที่ทำให้ระบบผลิตพลังงานและระบบส่งพลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเพื่อเพิ่มความมั่นใจในระบบสายส่งและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

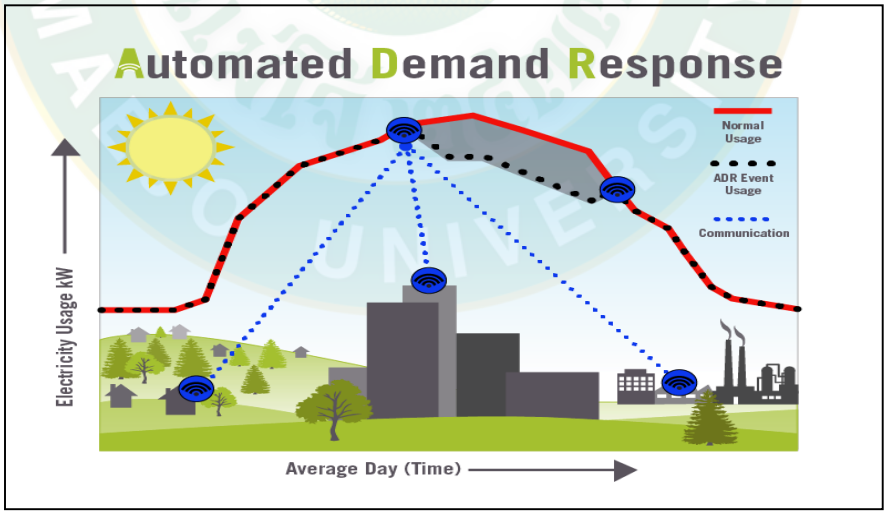
วิธีการเริ่มต้น

ประเมินระบบอาคารและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับระบบโปรแกรมตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program) ดังภาพที่ 9 ซึ่งสำหรับโรงไฟฟ้าจะไม่นำมาวิเคราะห์ในหัวข้อนี้

กรณีที่ 1 โปรแกรมตอบสนองความต้องการพร้อมใช้งาน (3 คะแนน)

การใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program) จะต้องดำเนินการต่อไปนี้

- จะต้องมีการวางระบบโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ตามเวลาจริง โดยการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program) จะต้องให้ผู้ให้บริการโปรแกรมเป็นผู้ดำเนินการ หรืออาจนำระบบ Demand Response ทดลองใช้งานในรูปแบบกึ่งอัตโนมัติ
- มีการดำเนินการจดทะเบียนใช้งานโปรแกรมการตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program) อย่างน้อย 1 ปี โดยมีการว่าจ้างผู้ให้บริการโปรแกรมดำเนินการต่อเนื่องหลายปี ซึ่งจะต้องลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดอย่างน้อย 10% ของค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดรายปี (ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดประเมินจากใบเสร็จค่าไฟฟ้า)
- พัฒนาแผนการใช้งานกับผู้ให้บริการโปรแกรมตลอดช่วงที่มีการใช้โปรแกรมการตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program)
- กระบวนการตอบสนองความต้องการ (Demand Response) จะต้องตอบสนองความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคาร มีแผนขั้นตอนการดำเนินการ และแผนการบำรุงรักษาในปัจจุบัน
- เริ่มต้นทดสอบแผนการตอบสนองความต้องการ (Demand Response) เต็มรูปแบบอย่างน้อย 1 แผน



ภาพที่ 9 ลักษณะพลังงาน โปรแกรมตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program)

ที่มา: Energy Solution (2017)

กรณีที่ 2 โปรแกรมตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program) ไม่สามารถใช้งานได้ (1 คะแนน)

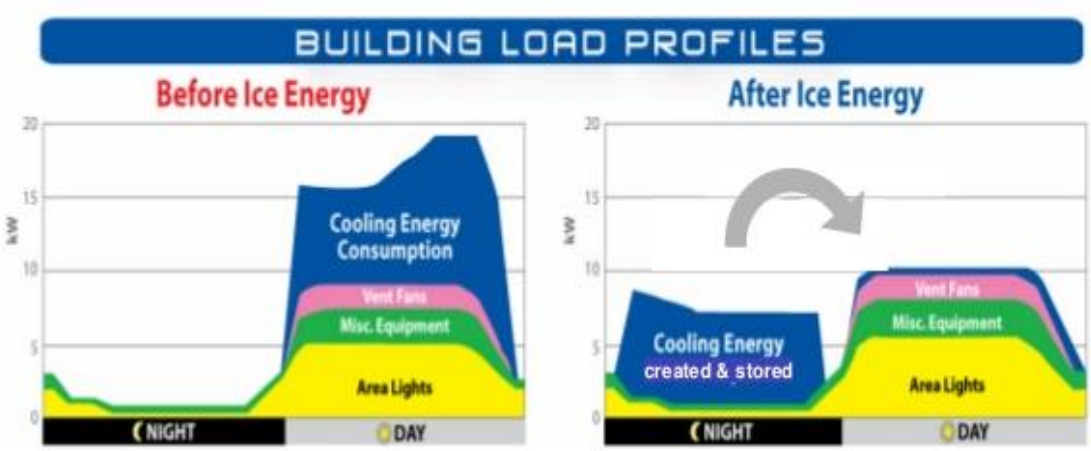
สำหรับโปรแกรมตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program) ไม่สามารถใช้งานได้จะต้องดำเนินการต่อไปนี้

- มีโครงสร้างพื้นฐานที่สำหรับการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการในอนาคต ดำเนินการตอบสนองความต้องการในอาคาร (Demand Response) ตามเวลาการใช้งานจริง และสังเกตและติดตามกิจกรรมต่างๆ ในอาคาร พัฒนาแผนให้ครอบคลุมโดยมุ่งหวังว่าจะมีการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด อย่างน้อง 10% ของค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดประจำปี (ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดประเมินจากใบเสร็จค่าไฟฟ้า)
- กระบวนการตอบสนองความต้องการ (Demand Response) จะต้องตอบสนองความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคาร มีแผนขั้นตอนการดำเนินการ และแผนการบำรุงรักษาในปัจจุบัน
- เริ่มต้นทดสอบแผน การตอบสนองความต้องการ (Demand Response) เต็มรูปแบบอย่างน้อย 1 แผน
- ติดต่อกับตัวแทนที่ดูแลโปรแกรมตอบสนองความต้องการ เพื่อวางแผนการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program) ในอนาคต

กรณีที่ 3 การขยับเวลาภาระโหลด (2 คะแนน) (Permanent Load Shifting) คือ การขยับเวลาภาระโหลดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า จากช่วงเวลา Peak ไปช่วงเวลา Off Peak ดังตัวอย่างภาพที่ 10 ดำเนินการต่อไปนี้

- มีการขยับเวลาการใช้ไฟฟ้าจากช่วง Peak ไปช่วงเวลา Off Peak ทั้งนี้ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ให้บริการในท้องถิ่น
- แสดงให้เห็นว่าประสบความสำเร็จจากการลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 10% โดยเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจาก
  - การระบุมาตรการเลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load Shifting) และมีแผนการจัดการค่า Peak ทางไฟฟ้า
  - ตรวจสอบภาระการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วง Peak ในแต่ละมาตรการ
  - ตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วง Off-peak ในแต่ละมาตรการ

- มาตรการการเลื่อนเวลาโหลด (Load Shifting) จะต้องตอบสนองความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวก มีวิธีการดำเนินการ และแผนการบำรุงรักษาในปัจจุบัน



ภาพที่ 10 การขยับเวลาภาระโหลด (Permanent Load Shifting)

ที่มา: Michael Winkler (2009)

11. EA Credit 7 Renewable Energy and Carbon Offsets (เกณฑ์การให้คะแนน 7 การใช้พลังงานทดแทนและการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก) 1–5 Points

จุดประสงค์

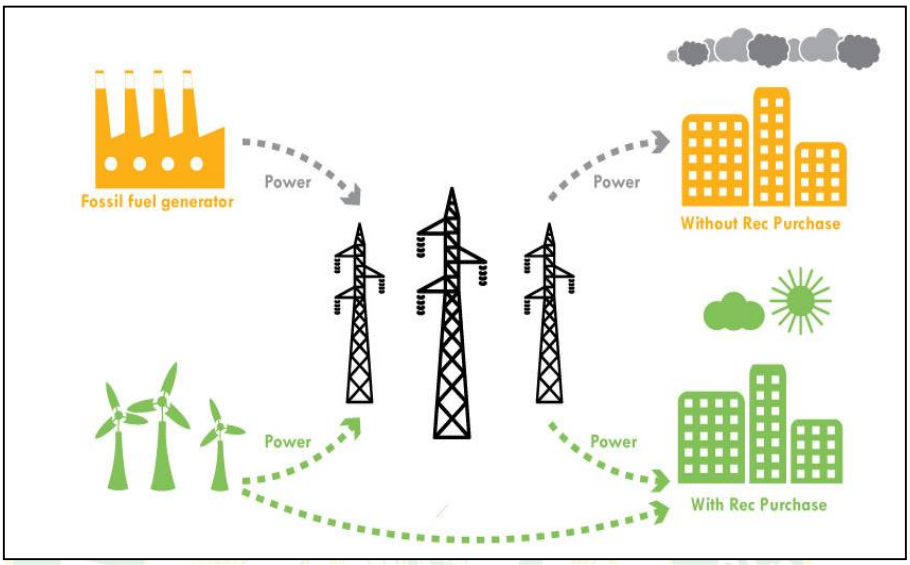
เพื่อส่งเสริมให้มีการลดใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ผ่านเทคโนโลยีพลังงานทดแทนและบรรเทาผลกระทบจากคาร์บอน

วิธีการเริ่มต้น

จะต้องแสดงให้เห็นถึง 1 ข้อหรือทั้ง 2 ข้อต่อไปนี้

- การใช้พลังงานที่มาจากการใช้ระบบพลังงานทดแทนโดยตรง
- มีสัญญาว่าจ้างอย่างน้อย 2 ปี สำหรับการดำเนินการซื้อพลังงานสะอาดเข้ามาใช้ในอาคาร และดำเนินการจัดหาแหล่งพลังงานสะอาดที่มีความเหมาะสมอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง (ข้อมูลจะต้องออนไลน์ได้หลังเดือนมกราคม ปี 2005)

โดยต้องแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานทดแทนหรือการซื้อพลังงานสะอาดมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการใช้พลังงานในอาคาร ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนโดยตรงหรือการซื้อพลังงานสะอาดมาใช้ในอาคารที่ต้องการเป็นอาคารเขียว

ที่มา: Poplar (2014)

วิธีการดำเนินการ

1. ใช้พลังงานทดแทนที่ตอบสนองต่อการใช้พลังงานบางส่วนของอาคาร หรือมีส่วนร่วมในการทำสัญญาซื้อขายพลังงานสีเขียว (Green Power)

2. สำหรับพลังงานสีเขียว (Green Power) และ Renewable Energy Certificates (RECs) ที่นำมาใช้ในอาคาร ต้องเป็นพลังงานที่ผ่านการรับรองจาก Green-e Energy Certified หรือเทียบเท่า

3. การชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากการใช้พลังงานทดแทนและการซื้อพลังงานสะอาดมาใช้ในอาคารได้ ในหน่วยของตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Ton of Carbon Dioxide-Equivalent) และต้องได้รับการรับรองจาก Green-e Climate Certified หรือเทียบเท่า

สำหรับโครงการที่อยู่ในสหรัฐอเมริกา การชดเชยจะต้องมาจากโครงการที่ดำเนินการในประเทศเท่านั้น มีสมการที่ใช้สำหรับการให้คำนวณให้คะแนนดังนี้

$$\text{Points} = \frac{\text{Renewble Energy Generated \%}}{1.5\%} + \frac{\text{Energy Purchased/ Offset \% (Not to Exceed 100\%)}}{25\%}$$

สมการที่ 2

“Carbon Offset” หมายถึง การซื้อคาร์บอนเครดิตมาชดเชยกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร หรือ ผลิตภัณฑ์ หรือ เหตุการณ์ หรือ บุคคลเพื่อทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์กร หรือ ผลิตภัณฑ์ หรือ เหตุการณ์ หรือ บุคคล ลดลง

สำหรับพลังงานไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกราว 0.5610 $kgCO_2e/kWh$ และน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกราว 3.0 $kgCO_2e/L$

12. EA Credit 8 Enhanced Refrigerant Management (เกณฑ์การให้คะแนน การจัดการสารทำความเย็นเพิ่มเติม) 1 Point

วัตถุประสงค์

เพื่อลดการสูญเสียโอโซนและสนับสนุนการปฏิบัติตาม Montreal Protocol (พิธีสารมอนทรีออล ว่าด้วยสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน) เป็นการมีส่วนร่วมโดยตรงกับลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

วิธีการเริ่มต้น

ตัวเลือกที่ 1 ไม่มีสารทำความเย็นหรือผลกระทบจากสารทำความเย็นต่ำ (1 คะแนน)

ไม่ใช้สารทำความเย็นหรือใช้สารทำความเย็น (เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือสังเคราะห์) ที่มีศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน Ozone Depletion Potential (ODP) เท่ากับ 0 และศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน Global Warming Potential (GWP) น้อยกว่า 50

ตัวเลือกที่ 2 การคำนวณผลกระทบของสารทำความเย็น (1 คะแนน)

เลือกสารทำความเย็นที่ใช้ในการทำความร้อนระบายอากาศ ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น (HVAC&R) เพื่อลดหรือกำจัดการปล่อยสารทำความเย็นที่นำไปสู่การสูญเสียโอโซนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ทั้งอาคารเก่า อาคารใหม่ หรือผู้เช่าเครื่องจักร ระบบ HVAC&R ทั้งหมดในโครงการจะต้องทำตามสูตรการคำนวณตามสมการดังนี้ดังต่อไปนี้

1. กรณีคำนวณผลกระทบของสารทำความเย็นในหน่วย SI

$$LCGWP + (LCODP \times 10^5) \leq 13 \text{ (SI Units)} \qquad \text{สมการที่ 3}$$

โดยที่ $LCODP = [ODP \times (Lr \times Life + Mr) \times Rc] / Life$ สมการที่ 4

$$LCGWP = [GWPr \times (Lr \times Life + Mr) \times Rc] / Life \qquad \text{สมการที่ 5}$$

GWPr คือ ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซนของสาทำความเย็น (0 ถึง 12,000 kg CO_2/kg_r)

LCODP คือ วงจรชีวิตของ ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion Potential) (kgCFC-11/(kW/year))

LCGWP คือ วงจรชีวิตของ ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยตรง (Global Warming Potential) ($kgCO_2$/kW·year)

Life คือ ชีวิตอุปกรณ์ (10 ปี หรือขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์)

Lr คือ อัตราการรั่วไหลของสารทำความเย็น (2%)

Mr คือ ตลอดวงจรชีวิตจะสูญเสียสารทำความเย็น (10%)

ODPr คือ ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของสารทำความเย็น (0 ถึง 0.2 kgCFC-11/kg_r)

Rc คือ ความจุของสารทำความเย็น (0.065 ถึง 0.65 kg_r/kW ตามการประเมินของ AHRI หรือ ความจุความเย็น โดย Eurovent Certified)

2. กรณีคำนวณผลกระทบของสารทำความเย็นในหน่วย IP

$$LCGWP + (LCODP \times 10^5) \leq 100 \text{ (IP Units)} \qquad \text{สมการที่ 6}$$

โดยที่ $LCODP = [ODP \times (Lr \times Life + Mr) \times Rc] / Life$ สมการที่ 7

$$LCGWP = [GWPr \times (Lr \times Life + Mr) \times Rc] / Life \qquad \text{สมการที่ 8}$$

GWPr คือ ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซนของสาทำความเย็น (0 ถึง 12,000 lb CO_2/lb_r)

LCGDP คือ วงจรชีวิตของ ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion Potential) (lbCFC-11/Ton-year)

LCGWP คือ วงจรชีวิตของ ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยตรง (Global Warming Potential) ($lbCO_2$/Ton-Year)

Life คือ ชีวิตอุปกรณ์ (10 ปี หรือขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์)

Lr คือ อัตราการรั่วไหลของสารทำความเย็น (2%)

Mr คือ ตลอดวงจรชีวิตจะสูญเสียสารทำความเย็น (10%)

ODPr คือ ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของสารทำความเย็น (0 ถึง 0.2 lbCFC -11/lb_r)

Rc คือ ความจุของสารทำความเย็น (0.5 ถึง 5.0 lb_r/TR ตามการประเมินของ AHRI หรือความจุความเย็น โดย Eurovent Certified)

สำหรับอุปกรณ์หลายประเภทในการคำนวณ HVAC&R อุปกรณ์ต่างๆ ใช้สมการต่อไปนี้

1. กรณีคำนวณผลกระทบของสารทำความเย็นสำหรับอุปกรณ์หลายประเภทในหน่วย SI

$$[\sum(LCGWP + LCODP \times 10^5) \times Q_{Unit}] / Q_{Total} \leq 13 \text{ (SI Units)}$$ สมการที่ 9

โดย Q_{Unit} คือ ความจุความเย็น โดย Eurovent Certified ของระบบ HVAC หรือ หน่วยทำความเย็น (kW)

Q_{Total} คือ รวมความจุความเย็น โดย Eurovent Certified ของระบบ HVAC หรือหน่วยทำความเย็นทุกชนิด (kW)

2. กรณีคำนวณผลกระทบของสารทำความเย็นสำหรับอุปกรณ์หลายประเภทในหน่วย IP

$$[\sum(LCGWP + LCODP \times 10^5) \times Q_{Unit}] / Q_{Total} \leq 100 \text{ (IP Units)}$$ สมการที่ 10

โดย Q_{Unit} คือ ความจุความเย็น โดย ARI Rated ของระบบ HVAC หรือหน่วยทำความเย็น (Tons)

Q_{Total} คือ รวมความจุความเย็น โดย ARI Rated ของระบบ HVAC หรือหน่วยทำความเย็นทุกชนิด (Tons)

ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศในภาคอาคารธุรกิจซึ่งไดแกอาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา ถือว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด ในบางแห่งสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศอาจสูงกว่า 50% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร ดังนั้นการออกแบบอาคารที่ดีไม่ว่าจะเป็น การปรับภูมิทัศน์หรือเลือกวัสดุป้องกันความร้อนประเภทต่างๆ เขามาภายในอาคาร รวมทั้งการออกแบบระบบปรับอากาศและระบบควบคุมที่ดีและถูกต้องจะทำให้ประหยัดพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น (กระทรวงพลังงาน, 2553)

1. ประเภทของระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศมักจะถูกออกแบบเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอยู่ในช่วงความสบายของผู้ที่อยู่ในอาคารหรือที่เรียกว่า Comfort Zone คืออุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22-27 °C และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 20-75% โดยทั่วไประบบปรับอากาศที่มีการใช้งานในภาคอาคารธุรกิจมีการออกแบบอยู หลายประเภทดังนี้

ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นระบบปรับอากาศขนาดเล็กโดยส่วนใหญ่ขนาดทำความเย็นจะไมเกิน 40,000 Btu/hr สวนประกอบของเครื่องปรับอากาศจะแยกเป็น 2 สวนหลัก คือ ส่วนของคอยล์ทำความเย็นเรียกว่า คอยล์เย็น (Fan Coil Unit) ซึ่งจะติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศ และคอยล์ร้อน (Condensing Unit) ซึ่งจะมีเครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) อยู่ภายในโดยจะติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ระหว่างชุดคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นจะมีท่อสารทำความเย็นทำหน้าที่เป็นถ่ายเทความร้อนออกจากห้องปรับอากาศ ดังภาพที่ 12

ภาพที่ 12 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning)

ที่มา: Khemani (2013)

ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) เป็นระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก อาจมีจำนวนห้องที่จำเป็นต้องปรับอากาศหลายห้อง หลายโซน หรือหลายชั้น สวนประกอบของเครื่องปรับอากาศประกอบด้วย แผงคอยล์เย็น คอยล์ร้อน และเครื่องอัดสารทำความเย็นจะรวมอยู่ในชุดแพ็คเกจเดียวกัน โดยมีท่อส่งลมเย็นและท่อลมกลับ ซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านในแล้วต่อผ่านทะลุออกมาตามผนัง ด้านนอกอาคาร แล้วต่อเชื่อมเข้ากับตัวเครื่องปรับอากาศแพ็คเกจ ซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านนอกอาคาร ท่อส่งลมเย็น (Supply Air Duct) ทำหน้าที่จ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศ และท่อลมกลับ (Return Air Duct) ทำหน้าที่นำลมเย็นที่ไดแลกเปลี่ยนความเย็นให้กับห้องปรับอากาศกลับมายังแผงทำความเย็นอีกครั้ง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการจ่าย ปริมาณลมเย็น (Variable Air Volume, VAV) เพื่อควบคุมให้ปริมาณลมเย็นเหมาะสมกับ ภาระการทำความเย็นที่ต้องการโดยเฉพาะกรณีที่มีภาระลดลงโดยที่อุณหภูมิยังคงที่ แต่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจที่ใช้งานมีให้เลือกหลายประเภท ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียของแต่ละประเภทแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน หากแบง ตามลักษณะการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser) สามารถแบงออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Packaged Air Cooled Air Conditioner) โดยปกติขนาดการทำความเย็นไมเกิน 30 Ton เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้ง ดังภาพที่ 13

ภาพที่ 13 ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package)

2. วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

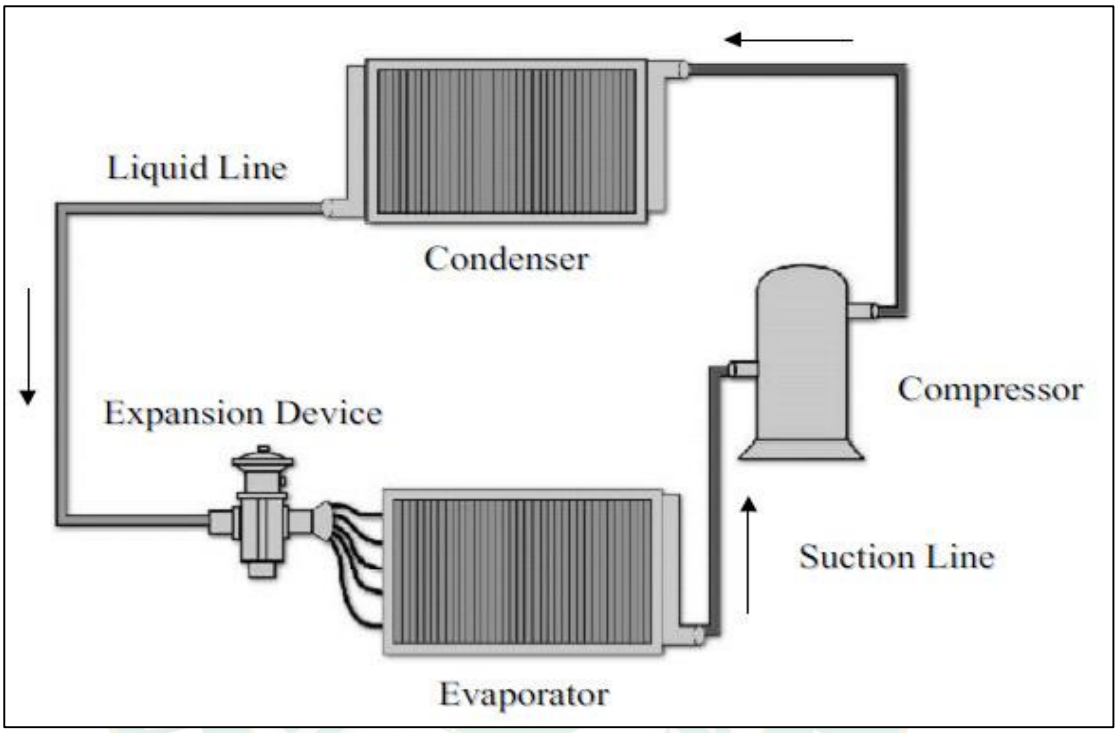
วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอโดยส่วนใหญ่ระบบปรับอากาศจะใช้หน่วยทำความเย็น (Refrigeration Unit) ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cycle) จากภาพที่ 14 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 4 ตัว (กระทรวงพลังงาน, 2553) ได้แก่

2.1 อีวาโปเรเตอร์ หรือคอยล์เย็น (Evaporator) ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากอากาศ หรือน้ำในกรณีของเครื่องทำน้ำเย็น ที่เคลื่อนผ่านคอยล์เย็น โดยสารทำความเย็นซึ่งไหลอยู่ภายในคอยล์เย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของผสมระหว่างของเหลว และไอที่ความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำ ไปเป็นไอร้อนยิ่งยวดที่ความดัน และอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

2.2 คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่เพิ่มความดัน และอุณหภูมิของสารทำความเย็นคอมเพรสเซอร์จะอัดไอสารทำความเย็นซึ่งมีความดัน และอุณหภูมิต่ำให้มีความดัน และอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อไปยังคอนเดนเซอร์คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สารทำความเย็นเกิดการไหลเวียนในระบบ และมีอุณหภูมิสูงพอที่จะระบายความร้อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

2.3 คอนเดนเซอร์ หรือคอยล์ร้อน (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่มาจากคอมเพรสเซอร์โดยสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากไอที่ความดันสูงอุณหภูมิสูง เป็นของเหลวที่ความดันสูงอุณหภูมิสูงการระบายความร้อนอาจใช้วิธีระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำก็ได้

2.4 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นที่มาจากคอนเดนเซอร์สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวความดันสูง อุณหภูมิสูง เป็นของผสมระหว่างของเหลว และไอที่ความดันต่ำอุณหภูมิต่ำก่อนไหลเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ต่อไป



ภาพที่ 14 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ที่มา: (กระทรวงพลังงาน, 2553)

3. สมรรถนะการทำความเย็น

สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) (กระทรวงพลังงาน, 2553) ของระบบปรับอากาศในทางทฤษฎี สามารถหาได้จากสามาการต่อไปนี้

$$COP = \frac{Q}{W} \text{ หรือ } COP = \frac{\dot{m}(\Delta h_{out})}{\dot{m}(\Delta h_{in})} \qquad \text{สมการที่ 11}$$

เมื่อ h_{in} คือ ผลต่างของเอนทัลปีด้าน Compressor h_2-h_1 (kJ/kg)

h_{out} คือ ผลต่างของเอนทัลปีด้านทำความเย็น h_1-h_4 (kJ/kg)

Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ (kW)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kJ/s)

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kW)

สำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) และระบบปรับอากาศแบบแพ็คเกจ (Package Type) การหาความสามารถในการทำความเย็นในการตรวจวัดจริงเป็นเรื่องยากที่ จะรู้ความดันหรืออุณหภูมิของสารทำงานที่เกิดขึ้นจริงเนื่องจากไม่ได้ติดตั้งเครื่องมือวัดไว้ ดังนั้นในการหาความสามารถในการทำความเย็นจึงนิยมคำนวณจาก สมบัติของอากาศที่เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนทำระเหย (Evaporator)

ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแสดงในรูปของค่าสมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งนิยามด้วยอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น หรือปริมาณความเย็นที่ทำได้ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้ดังสมการต่อไปนี้

$$COP = \frac{Q_{Evap}}{E_{Comp}} \qquad \text{สมการที่ 12}$$

เมื่อ COP คือ สมรรถนะการทำความเย็น

E_{Comp} คือ ความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kW)

Q_{Evap} คือ ความสามารถในการทำความเย็น (kW)

โดยความสามารถในการทำความเย็น (Q_{Evap}) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_{Evap} = \dot{m}_a(h_{return}-h_{supply}) \qquad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ h_{return} คือ เอนทัลปีของอากาศที่เข้าคอยล์เย็น (kJ/kg)

h_{supply} คือ เอนทัลปีของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น (kJ/kg)

$\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น (kg/s)

Q_{Evap} คือ ความสามารถในการทำความเย็น (kW)

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศผ่านคอยล์เย็นคำนวณที่ได้จาก

$$\dot{m}_a = \rho_a \dot{V}_a = \rho_a v_a A \qquad \text{สมการที่ 14}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของหัวจ่ายลม (m^2)

$\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น (kg/s)

$\dot{V}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น (m^3/s)

V_a คือ ความเร็วของอากาศที่หัวจ่ายลม (m/s)

ค่าสมรรถนะการทำความเย็น สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบปรับอากาศ สำหรับค่าสมรรถนะการทำความเย็นที่พิจารณาเฉพาะพลังงานที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์เป็นเพียงค่าที่แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็นเท่านั้น ส่วนค่าสมรรถนะของทั้งระบบ (System COP, SCOP) จะต้องรวมพลังงานที่จ่ายให้กับพัดลมและเครื่องสูบน้ำด้วยค่าสมรรถนะของทั้งระบบ (System COP, SCOP) สูงหมายถึงระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานน้อย ในทางปฏิบัติสมรรถนะของระบบปรับอากาศยังสามารถแสดงได้ในรูปของค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) และค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/TR) โดยค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) ซึ่งมีหน่วยเป็น BTU/hr/W นิยมใช้แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องชนิดไดเร็คเอ็กส์แพนชั่น หรือเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก ส่วนค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็นนิยมใช้แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ เช่น ระบบน้ำเย็น ดังสมการต่อไปนี้

$$EER = 3.412 \times COP \qquad \text{สมการที่ 15}$$

เมื่อ COP คือ สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (W)

EER คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพ ((BTU/hr)/W)

ทฤษฎีระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

1. หน่วยวัดที่เกี่ยวกับแสง

1.1 ฟลักซ์การส่องแสง (Lumilux Flux: F) คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่แผ่กระจายลงมาจากแหล่งกำเนิดแสง ในทุกทิศทาง โดยมีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen, lm)

1.2 ความเข้มข้นของการส่องแสง (Luminous Intensity: I) คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิด แสงลงไปพื้นที่ที่กำหนด โดยแนวมุมองศาและระยะทาง มีหน่วยวัดเป็น แคนเดลา (Candela, cd)

1.3 ความสว่าง (Illuminance: E) คือ ปริมาณแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบลงพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยมี หน่วยวัดเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักส์ (lm/m^2 หรือ Lux, Lx)

1.4 ความส่องสว่าง (Luminance: L) คือ ค่าที่แสดงความสว่างที่ตามนุษย์ได้รับในขณะที่กำลังมองพื้นที่ที่มีการแผ่กระจายแสงหรือพื้นที่ที่ได้รับแสงและสะท้อนออกมา มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2)

1.5 กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (Lamp Power: W) คือค่าของพลังงานที่หลอดไฟฟ้าใช้เพื่อทำให้เกิดแสงสว่าง ตามค่าต่างๆ ที่ระบุไว้ของผู้ผลิต มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt, W)

1.6 ประสิทธิภาพแสง (Luminous Efficiency) คืออัตราส่วนของค่าฟลักซ์ การส่องสว่างที่แหล่งกำเนิดแสงปล่อยออกมาต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่เราใส่ลงไป มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (Lumen per Watt, lm/W)

1.7 ภาระแสงสว่าง (Light Load) หรือประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าส่องสว่าง คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density, LPD) (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$LPD = B/A \qquad \text{สมการที่ 16}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ห้องหรือพื้นที่อาคารทั้งหมด (m^2)

B คือ กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (W)

LPD คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (W/m^2)

2. มาตรฐานความถูกต้องของสีในการใช้งาน

สำหรับการใช้งานกลุ่มความถูกต้องของสีแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความถูกต้องของสี

กลุ่มความถูกต้องของสี	ความถูกต้องของสีโดยทั่วไป	การใช้งานทั่วๆ ไป
1A	Ra > 90	ที่ต้องการใช้ความถูกต้องของสี เช่น ตรวจสอบสีของการพิมพ์
1B	80 < Ra <90	ที่จำเป็นต้องมีการพิจารณาสีหรือต้องการความถูกต้องของสีที่ดีโดยเหตุผลด้านภาพลักษณ์
2	60 < Ra <80	เมื่อใดก็ตามที่ต้องการใช้ความถูกต้องของสีปานกลาง
3	40 < Ra <60	เมื่อใดก็ตามที่มีความถูกต้องของสีมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย แต่ว่าไม่อาจยอมรับความเพี้ยนของสีได้
4	20 < Ra <40	เมื่อใดก็ตามที่ความถูกต้องของสีไม่ใช่เรื่องสำคัญและสามารถยอมรับการผิดเพี้ยนของสีได้

3. ชนิดหลอดไฟฟ้า

3.1 หลอดไฟฟ้า

หลอดไส้ (Incandescent lamp) หลอดไฟชนิดนี้จะเกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในรูปของความร้อนเพื่อทำให้เกิดแสงสว่าง โดยสามารถให้แสงสว่างได้ประมาณ 15-20 lm/W และมีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง ข้อดีของหลอดไฟชนิดนี้ คือ สามารถติดตั้งได้ง่ายและมีราคาถูกข้อเสีย คือ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ดังภาพที่ 15

ภาพที่ 15 หลอดไส้ (Incandescent lamp)

ที่มา: หลอดไส้ร้อนแบบธรรมดา (2561)

หลอดแสงจันทร์ (Mercury lamp) หลอดไฟชนิดนี้จะใช้หลักการปล่อยประจุความเข้มสูง (High intensity discharge, HID) นิยมนำมาใช้ให้แสงสว่างตามถนน และยังเหมาะกับงานสนามและในโรงงานอุตสาหกรรม มีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 24,000 ชั่วโมง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ หลอดไฟที่ใช้บัลลาสต์ และหลอดไฟที่ไม่ใช้บัลลาสต์ ซึ่งจะมีอายุการใช้งานสั้นกว่า ดังภาพที่ 16

ภาพที่ 16 หลอดแสงจันทร์ (Mercury lamp)

ที่มา: แสงชัยไลท์ติ้ง (ม.ป.ป)

หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp) เป็นหลอดที่มีโครงสร้างและหน้าที่คล้ายกับหลอดแสงจันทร์ แต่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าและให้ความสมดุลของแสงดีกว่า ข้อเสีย มีอายุการใช้งานประมาณ 8000-150000 ชั่วโมงเท่านั้น ดังภาพที่ 17

ภาพที่ 17 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)

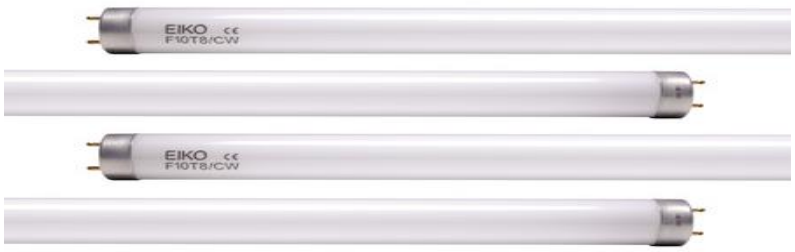
ที่มา: แสงชัยไลท์ติ้ง (ม.ป.ป)

หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp) เป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในบรรดาหลอดแบบ HID ด้วยกัน ซึ่งสามารถให้ประสิทธิภาพได้มากถึง 180 ลูเมนต่อวัตต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดเมทัลฮาไลด์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดแสงจันทร์ถึงเท่าตัว และสูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ถึง 6 เท่า ดังภาพที่ 18

ภาพที่ 18 หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp)

ที่มา: แสงชัยไลท์ติ้ง (ม.ป.ป)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดที่นิยมนำมาใช้งานเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน มีประสิทธิการส่องสว่างประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ โดยรวมมีอายุการใช้งานประมาณ 8000-120000 ชั่วโมง และมีความประหยัดมากกว่าหลอดอินแคนเดนเซนต์ ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp)

ที่มา: แสงชัยไลท์ติ้ง (ม.ป.ป)

หลอดแอลอีดีกำลังสูง (Light-emitting diodes, LED) ทคโนโลยีไดโอดเรืองแสงหรือแอลอีดี ได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะแอลอีดีกำลังสูง (High power LED) ที่มีค่าความส่องสว่างสูงเมื่อเทียบเท่าหลอดไฟชนิดอื่น ไม่ก่อให้เกิดรังสีอัลตร้าไวโอเลต มีความร้อนของลำแสงน้อยมาก และมีอายุการใช้งานยาวนาน หลอดแอลอีดีเป็นหลอดไฟที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่นๆ ซึ่งในปัจจุบันมีมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในวงการแพทย์ ยานยนต์ โทรทัศน์ และคอมพิวเตอร์ โดยแอลอีดีกำลังสูงนั้นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี จึงมีการนำมาใช้ในระบบไฟฟ้าส่องสว่างในสำนักงาน โรงงาน และไฟถนน เพิ่มมากขึ้นดังภาพที่ 20

ภาพที่ 20 หลอดแอลอีดีกำลังสูง (Light-emitting diodes, LED)

ที่มา: แสงชัยไลท์ติ้ง (ม.ป.ป)

4. ส่วนประกอบหลักของระบบไฟฟ้า

4.1 บัลลาสต์ หลักการทำงานของบัลลาสต์ (Operating Principal of Ballast) เป็นอุปกรณ์จำเป็นที่ต้องมีอยู่ในระบบไฟฟ้าส่องสว่างที่ใช้หลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์และประเภทหลอดคายประจุความดันสูง มีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปที่หลอดไฟให้มีควาเหมาะสมสม่ำเสมอตามแต่ละ ประเภทหลอดแต่ละชนิด แต่ละรุ่น แต่ละขนาดบัลลาสต์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

บัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnetic Ballast) บัลลาสต์แกนเหล็กที่ใช้งานกันทั่วไปจะเป็นชนิดความเหนี่ยวนำ แกนเหล็กประกอบมาจากแผ่นเหล็กนำมาเรียงกันและ พันรอบด้วยขดลวดทองแดง มีการสูญเสียพลังงาน 9-13 W แล้วแต่คุณภาพของวัสดุแกนเหล็ก ขดลวดที่ นำมาใช้และขนาดกำลังของหลอดไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้บัลลาสต์ มีอุณหภูมิขณะใช้งานอยู่ในช่วง 55-70 °C ภายหลังมีการปรับปรุงวัสดุแกนเหล็กและขดลวดให้มีคุณภาพดีขึ้นที่เรียกว่าบัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานไม่เกิน 6 วัตต์ ส่วนอุณหภูมิขณะใช้งาน 35-50 °C ขอดีและข้อเสียของบัลลาสต์แกนเหล็ก ดังภาพที่ 21

ภาพที่ 21 บัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnetic Ballast)

ที่มา: แสงชัยไลท์ติ้ง (ม.ป.ป)

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) คือ อุปกรณ์ที่ใช้คู่กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อทดแทนบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก โดยอาศัยหลักการใช้ ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงในการลดกำลังสูญเสียของบัลลาสต์ แต่ยังสมารถที่จะควบคุมกระแสที่ผ่านหลอด และจุดหลอดได้ในตอนเริ่มต้นโดยไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำต้องใช้ อุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งจะถูกต้อระหว่างแหล่งจ่ายไฟ และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังถูกออกแบบให้อยู่ในรูปขดลวด เหนี่ยวนำหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ขอดีและข้อเสียของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังภาพที่ 22

ภาพที่ 22 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

4.2 โคมไฟฟ้า นอกจากทำหน้าที่ยึดหลอดและอุปกรณ์ประกอบ เช่น บัลลาสต์ แล้วยังมีหน้าที่สำคัญ คือ ควบคุม ทิศทางแสงให้กระจายไปตกบนพื้นที่ทำงานที่ต้องการ คุณสมบัติสำคัญในการเลือกใช้ได้แก่ 1) ประสิทธิภาพโคมไฟ สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ความเสื่อมจากโคมไฟสกปรก 2) กราฟแสดงการกระจาย ความเข้มส่องสว่าง 3) การป้องกันแสงจ้า ความปลอดภัย ความยากง่ายในการซ่อมบำรุง

โคมไฟตามลักษณะการกระจายแสง ได้แก่ ชนิดกระจายแสงลง ชนิดกึ่งกระจายแสงลง ชนิดกระจาย แสงแบบรอบด้าน ชนิดกระจายแสงแบบขึ้น-ลง ชนิดกึ่งกระจายแสงขึ้นชนิดกระจายแสงขึ้น แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- โคมดาวน์ไลท์ ใช้กับหลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดฮาโลเจน และหลอด CFL ส่วนมาติดตั้งไว้ ที่ฝ้าเพดานเพื่อความสวยงาม ดังภาพที่ 23

ภาพที่ 23 โคมดาวน์ไลท์

ที่มา: Homepro (ม.ป.ป)

- โคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีทั้งโคมเปลือยและโคม แบบมีแผ่นสะท้อนแสงด้านหลัง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง ดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24 โคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

ที่มา: Ienergyguru (2559)

- โคมไฮเบย์ บางครั้งเรียกว่า โคมโรงงาน เป็นโคมสำหรับติดตั้งหลอด HID เหมาะสำหรับติดตั้ง บริเวณหลังคาโรงงานที่มีความสูงมากๆ ดังภาพที่ 25

ภาพที่ 25 โคมไฮเบย์หรือโคมโรงงาน

ที่มา: แสงชัยไลท์ติ้ง (ม.ป.ป)

สำหรับโคมไฟส่องอาคาร มักใช้กับหลอด HID ชนิด Double Ended ใช้สำหรับส่องภายนอกของตัวอาคาร โคมไฟฟ้าที่ใช้กันแพร่หลายทั้งในโรงงานและอาคาร ได้แก่ โคมไฟสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีการ พัฒนาให้ผิวด้านในมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงจากหลอดไฟฟ้า และเพิ่มประสิทธิภาพความสว่างให้มากขึ้น เรียกว่า โคมประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะไม่ดูดกลืนและกักแสงไว้แต่จะช่วยสะท้อนความสว่างให้กลับลงมายัง พื้นที่ใช้งานได้เกือบเท่าตัว ทำให้ลดจำนวนหลอดแสงสว่างลงได้ในขณะที่ความสว่างคงเดิม เช่น จากเดิมใช้ หลอดไฟฟ้า 4 หลอดต่อโคม จะลดลงเหลือ 2 หลอดต่อโคม โดยที่แสงสว่างที่ส่องลงมายังใกล้เคียงกับของเดิม

แผ่นสะท้อนแสงต้องมีการขึ้นรูปที่เหมาะสมเพราะมีส่วนสำคัญกับประสิทธิภาพของโคม บางครั้งแผ่น สะท้อนแสงที่พับขึ้นรูปไม่ดีทำให้มุมการสะท้อนแสงโฟกัสไปที่หลอดทำให้อุณหภูมิของหลอดเพิ่มขึ้น อายุการ ใช้งานหลอดลดลง และให้แสงแย่กว่าโคมที่ไม่มีแผ่นสะท้อนแสงก็ได้

5. การเลือกใช้ระบบไฟฟ้าส่องสว่างให้มีประสิทธิภาพ

5.1 การออกแบบระบบไฟฟ้าส่องสว่างให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน การให้แสงสว่างที่ดีสามารถทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยค่าความสว่างตามมาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th (IESNA, 2007) ที่แนะนำ แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน Lighting Hand Book 9th

ประเภทอาคาร	ประเภทพื้นที่	ค่าความสว่าง (Lux)
อาคารสำนักงาน	ห้องสำนักงานเดี่ยว	400
	ห้องวางแผน	400
	ห้องประชุม	300
อาคารเรียน	ห้องเรียน	400
	ห้องเรียนสำหรับการศึกษาผู้ใหญ่	400
	ห้องบรรยาย	400
	ห้องฝึกคอมพิวเตอร์	30
บริเวณทางเดิน	บันได	50
	บริเวณทางเดิน	50
	ห้องน้ำ	300
	ห้องพัก	300

ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density, LPD) ซึ่งวิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 (ASHRAE Standard, 2013) โดยค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องจะต้องไม่เกินกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งแสดงค่ามาตรฐานดังตารางที่ 8 และตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง ใช้กับอาคารแต่ละประเภทตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013

ประเภทอาคาร	LPD (W/m^2)	ประเภทอาคาร	LPD (W/m^2)
โรงงานยานยนต์	10.79	ทาวน์เฮ้าส์	6.88
ศูนย์การประชุม	13.62	พิพิธภัณฑ์	13.76
ศาล	13.62	สำนักงาน	11.06
ห้องอาหาร (เลานจ์บาร์)	13.62	ที่จอดรถ	2.83
ห้องอาหาร (โรงอาหาร)	12.14	กรงขัง	10.92

ตารางที่ 8 ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าสว่างต่อพื้นที่ห้อง ใช้กับอาคารแต่ละประเภทตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 (ต่อ)

ประเภทอาคาร	LPD (W/m^2)	ประเภทอาคาร	LPD (W/m^2)
ห้องอาคารแบบครอบครัว	12.81	โรงละครศิลปะ	18.75
หอพัก	7.69	สถานีตำรวจ	11.73
ศูนย์ออกกำลังกาย	11.33	ที่ทำการไปรษณีย์	11.73
สถานีดับเพลิง	9.04	อาคารทางศาสนา	13.49
โรงยิม	12.68	ขายปลีก	16.99
คลินิกการดูแลสุขภาพ	12.14	โรงเรียน / มหาวิทยาลัย	11.73
โรงพยาบาล	14.16	เวทีกีฬา	12.27
โรงแรม	7.82	ศาลากลาง	12.00
ห้องสมุด	16.05	สถานที่การขนส่ง	9.44
สถานที่ผลิต	19.69	คลังสินค้า	8.90
โรงแรมม่านรูด	7.55	โรงงาน	16.05
โรงละครภาพยนตร์	10.25		

ตารางที่ 9 ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องในแต่ละพื้นที่ในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013

ลักษณะอาคาร/ห้อง	ประเภทพื้นที่	LPD (W/m^2)
ห้องเรียน และห้องบรรยาย	สถานพินิจ	13.99
	ห้องเรียนและห้องบรรยาย	15.07
ห้องประชุม	-	13.99
ทางเดิน	สถานที่พักอาศัย	12.38
	โรงพยาบาล	10.76
	โรงงาน	5.38
	ทางเดิน อื่นๆ	5.38
ห้องน้ำ	สำหรับในบ้านพักอาศัย	16.36
	ห้องน้ำพื้นที่ อื่นๆ	9.69

5.2 การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงไม่ควรใช้หลอดไส้ในการให้แสงสว่างทั่วไป ควรใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลัก ในการติดตั้งไฟส่องลง (down light) หรือโคมฉาย ในห้องโถงใหญ่ควรใช้หลอด HID เป็นต้นกำเนิดแสงหลัก การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟฟ้าควรคิดอย่างรอบคอบ ถึงค่าใช้จ่ายทั้งระบบ หากตัดสินใจเปลี่ยนชนิดหลอดไฟฟ้า ไม่ควรเปลี่ยนทั้งหมดทันทีทันใด ควรกำหนดพื้นที่ทดลองก่อน เพื่อทดสอบผลการใช้งานจริงและการยอมรับของผู้ทำงาน

5.3 การเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียต่ำ ควรเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียต่ำที่สุด คือ บัลลาสต์เล็กทรอนิกส์ แต่เนื่องจากโรงงานส่วนมากมีข้อจำกัดในเรื่อง ฝุ่นละออง และความชื้น ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของบัลลาสต์สั้นลงจึงอาจใช้ได้เฉพาะแต่ในส่วนสำนักงาน โดยเฉพาะโคมไฟที่ใช้หลอดไฟฟ้าหลายหลอด

5.4 การเลือกใช้โคมไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ปัจจัยสำคัญในการเลือกโคมไฟคือสภาพพื้นที่และประเภทการทำงาน ปัจจัยแรกคือความสูงเพดาน เพราะหากเพดานมีความสูงไม่ถึง 3.5 เมตร ไม่เหมาะสมที่จะใช้โคมไฟที่ใช้กับหลอด HID ถ้ามีความสูงไม่เกิน 5 เมตร ก็จะใช้หลอด HID ได้เฉพาะหลอดขนาดเล็ก ปัจจัยเรื่องสภาพพื้นที่อีกประการคือระยะห่างของช่วงเสา จะส่งผลถึงระยะห่างของโคมไฟ และอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของโคมไฟกับความสูงของโคมไฟ หรือ ค่า SC (Spacing Criteria) ของโคมไฟที่จะนำมาติดตั้ง ซึ่งค่า SC ของโคมไฟโดยทั่วไปมีค่า 1-1.5 แต่สำหรับการทำงานที่ต้องอาศัยการมองเห็นใน 3 มิติ เช่น งานกลึง ควรจะเลือกการติดตั้งโคมไฟที่กระจายแสงกว้างมีค่า SC ค่อนข้างสูง (มากกว่า 1.5) แต่จะต้องระวังเรื่องแสงจ้าแยงตา สำหรับการเลือกใช้โคมไฟประสิทธิภาพสูงนั้น ควรพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (ถ้ามีค่าสูงก็จะใช้พลังงานน้อยลง) อันแสดงถึงปริมาณแสงที่โคมไฟส่องมาถึงพื้นที่ทำงาน ซึ่งผู้ผลิตโคมไฟจะให้ตารางมา

หม้อแปลงไฟฟ้า

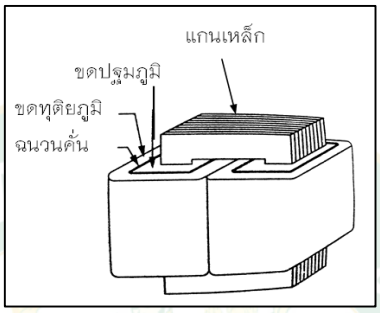
หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้า จากขดลวดชุดหนึ่งไปยังขดลวดอีกชุดหนึ่ง โดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างระ บบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน โดยจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่ง การจ่ายและการใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อแปลงจึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่สำคัญชนิดหนึ่ง การเกิดเหตุขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายของหม้อแปลงมักมีผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้า หรือกระบวนการผลิตอย่างมากเป็นเวลานาน (ไฟฟ้าอุตสาหกรรม, 2550)

1. ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจำแนกตามประเภทต่างๆ

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจำแนกตามประเภทต่างๆ (ไฟฟ้าอุตสาหกรรม, 2550) ถูกจำแนกตามลักษณะดังต่อไปนี้

1.1 จำแนกตามลักษณะของแกนเหล็ก

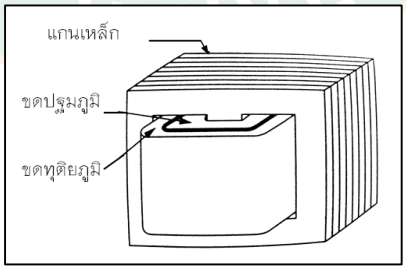
แกนแหล็กแบบคอร์ เป็นแกนเหล็กแผ่นบางๆ มีลักษณะเป็นรูปตัว L สองตัวประกบเข้าหากัน หรือเป็นรูปตัว U กับตัว I นำมาประกอบเข้าด้วยกัน มีวงจรแม่เหล็กเป็นแบบวงจรเดี่ยวหรือวงจรอนุกรม มีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่บนแกนเหล็กทั้งสองด้านแยกกันอยู่คนละข้าง ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แกนเหล็กแบบคอร์

ที่มา: ไฟฟ้าอุตสาหกรรม (2550)

แกนเหล็กแบบเซลล์ แกนเหล็กแบบนี้มีลักษณะเป็นรูปตัว E กับ I เมื่อประกอบเข้าด้วยกันจะมีวงจรแม่เหล็ก 2 วง หรือ วงจรแม่เหล็กแบบขนาน ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิจะพันอยู่ที่ขากลางของแกนเหล็ก ดังภาพที่ 27

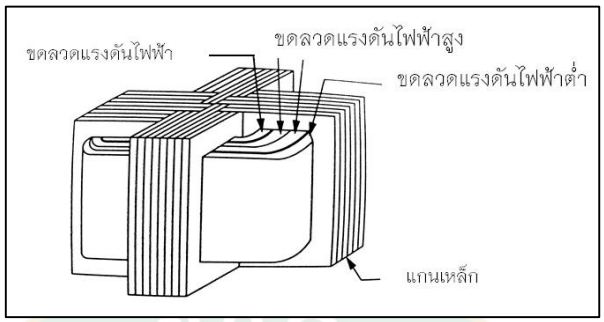


ภาพที่ 27 แกนเหล็กแบบเซลล์

ที่มา: ไฟฟ้าอุตสาหกรรม (2550)

แกนเหล็กแบบตัว H หรือแบบกระจาย เป็นการรวมกันระหว่างแกนเหล็กแบบคอร์กับแบบเซลล์หรือรวมตัว L เข้ากับตัว EI มีวงจรแม่เหล็กล้อมรอบขดลวดหม้อแปลงขดลวดแรงดันสูงจะพันไว้

ระหว่างขดลวดแรงดันต่ำทั้งสองชุด และระหว่างขดลวดแต่ละชุดจะกั้นด้วยฉนวนไฟฟ้า การพันขดลวดหม้อแปลงแบบนี้จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลน้อยที่สุด ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 แกนเหล็กแบบตัว H

ที่มา: ไฟฟ้าอุตสาหกรรม (2550)

1.2 จำแนกตามระบบไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว เป็นหม้อแปลงที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิอย่างละหนึ่งชุด ดังแสดงในภาพที่ 29 (ก)

หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส เป็นหม้อแปลงที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอย่างละ 3 ชุด ต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบวาย (Wye) หรือแบบเดลตา (Delta) ดังแสดงในภาพที่ 29 (ข)

(ก) หม้อแปลง 1 เฟส (ข) หม้อแปลง 3 เฟส

ภาพที่ 29 การจำแนกหม้อแปลงตามระบบไฟฟ้า

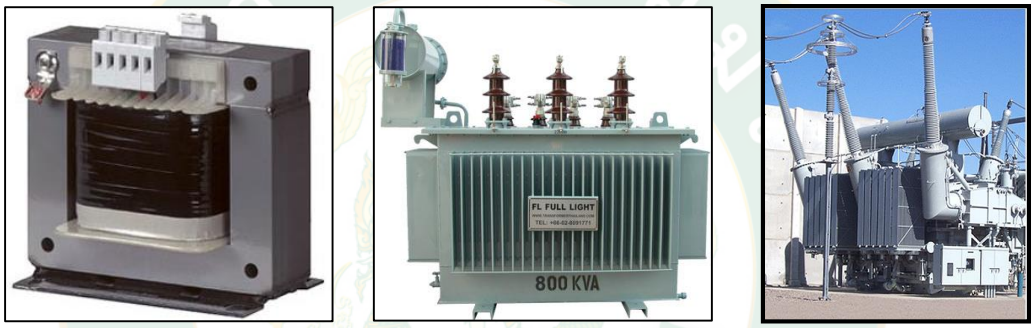
ที่มา: ไฟฟ้าอุตสาหกรรม (2550)

1.3 จำแนกตามพิกัดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงขนาดเล็ก มีพิกัด 1,000 VA ลงมา เป็นหม้อแปลงที่นำมาใช้กับภาคจ่ายไฟของเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังรวมถึงหม้อแปลงขนาดเล็กที่ใช้ในการเชื่อมโยงสัญญาณของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 30 (ก)

หม้อแปลงขนาดกลาง มีพิกัด 1-1,000 kVA ส่วนใหญ่จะใช้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง ใช้กับโรงงาน โรงพยาบาล สำนักงาน อาคารสูงและที่พักอาศัย ดังแสดงในภาพที่ 30 (ข)

หม้อแปลงกำลัง มีขนาดตั้งแต่ 1,000 kVA ขึ้นไป เป็นหม้อแปลงที่มีใช้งานกับระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ใช้กับสถานีไฟฟ้าแรงสูง การผลิตและการส่งจ่ายไฟฟ้าแสดงในภาพที่ 30 (ค)



(ก) หม้อแปลงขนาดเล็ก (ข) หม้อแปลงขนาดกลาง (ค) หม้อแปลงกำลัง

ภาพที่ 30 การจำแนกหม้อแปลงตามขนาดพิกัด

ที่มา: ไฟฟ้าอุตสาหกรรม (2550)

2. กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่จ่ายโหลด ถ้าเกิดขึ้นในแกนเหล็กเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss ซึ่งค่า Iron loss นั้น มีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก และขึ้นอยู่กับความถี่ ความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแม่เหล็กในแกนเหล็ก คุณภาพของเหล็ก ปริมาตร หรือน้ำหนักของแกนเหล็ก กำลังสูญเสียขณะมีโหลด (Load Loss) หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลด

โดยที่ มีประสิทธิภาพของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูงกับหม้อแปลงธรรมดา (ไฟฟ้าอุตสาหกรรม, 2550) แสดงดังตารางที่ 10

2.1 ค่าตัวเลขอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

$$\text{Power Factor} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง(kW)}}{\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ(kVA)}} \qquad \text{สมการที่ 17}$$

2.2 กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่แกนเหล็ก (Core Loss)

$$\text{Core Loss} = \text{Core Loss x hr. x Day} \qquad \text{สมการที่ 18}$$

2.3 กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในขดลวด (Copper Loss)

$$P_{cu} = I^2R \qquad \text{สมการที่ 19}$$

เมื่อ P_{cu} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)
I คือ กระแสไฟฟ้า (A)
R คือ ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)

2.4 ประสิทธิภาพหม้อแปลง (η)

$$\eta = \frac{P}{(P + \text{Core} + \text{Copper})} \qquad \text{สมการที่ 20}$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากหม้อแปลงคูณด้วยชั่วโมงที่จ่ายไฟ (kWh)
Core คือ การสูญเสียขณะไม่มีโหลดคูณด้วย 24 ชัวโมง (kWh)
Coper คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะมีโหลดคูณด้วยชั่วโมงที่จ่ายไฟ (kWh)

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูงกับหม้อแปลงธรรมดา

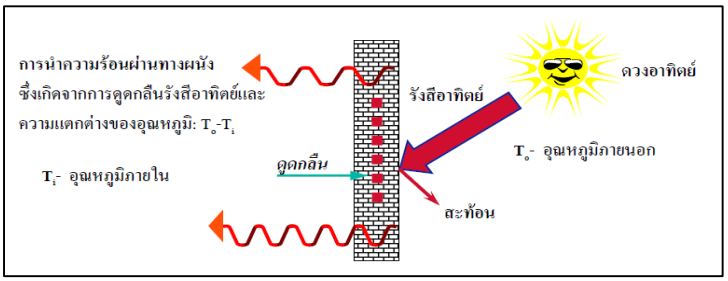
ขนาด (kVA)	kW/V	ธรรมดา			ประสิทธิภาพสูง		
		สูญเสียขณะไม่มีโหลด (W)	สูญเสียเนื่องจากโหลด (W)	ประสิทธิภาพ (%)	สูญเสียขณะไม่มีโหลด (W)	สูญเสียเนื่องจากโหลด (W)	ประสิทธิภาพ (%)
315	22/400	900	3,900	98.47	700	3,900	98.53
400	22/400	980	4,600	98.60	850	4,600	98.63
500	22/400	1,150	5,500	98.67	1,000	5,500	98.70
630	22/400	1,350	6,500	98.75	1,200	6,500	98.77
800	22/400	1,600	11,000	98.43	1,300	11,000	98.46
1,000	22/400	1,900	13,500	98.46	1,600	13,500	98.49
1,250	22/400	2,300	16,400	98.50	1,800	16,400	98.54
1,500	22/400	2,800	19,800	98.50	2,100	19,800	98.54
2,000	22/400	3,250	24,000	98.63	2,700	24,000	98.67

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

1. หลักการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยอาจเกิดจากวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลายๆ วิธีพร้อมๆ กัน

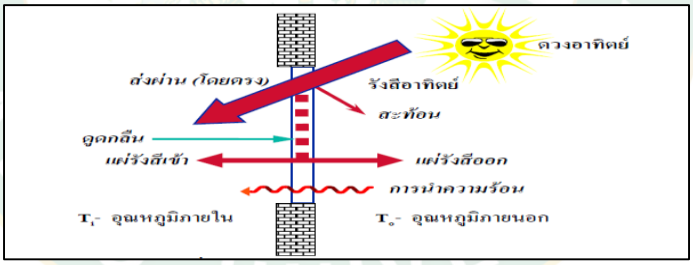
จากภาพที่ 31 เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของอาคารในช่วงเวลากลางวัน เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบกับอาคารจะทำให้ผนังมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการนำความร้อนเข้าสู่ผนังด้านใน ในขณะเดียวกันจะมีการพาความร้อนเนื่องจากลมและการแผ่รังสีของหนังสู่สิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนเหล่านี้ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิผนัง อุณหภูมิอากาศภายนอก ค่าสมบัติสภาพนำความร้อน สภาพการแผ่รังสี



ภาพที่ 31 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

จากภาพที่ 32 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวกระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยส่วนหนึ่งเข้าสู่อาคารและอีกส่วนที่เหลือสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก



ภาพที่ 32 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

นอกจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก และความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจก ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารในช่วงเวลากลางคืน ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านกระจกไปยังสิ่งแวดล้อมได้เช่นเดียวกับกรณีของผนังทึบ

2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาด้านนอกอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value: OTTV) หมายถึง ดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร เริ่มต้นโดยการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTVi) จากนั้นนำค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยตามขนาดพื้นที่ของผนังด้านนอกแต่ละด้านรวมกันเพื่อให้ได้ค่า OTTV ตามที่กำหนด

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value: RTTV) หมายถึง ดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยในด้านหลังคาที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร เริ่มต้นด้วยการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (RTTVni) ก่อน จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่า RTTV ตามที่กำหนด

สำหรับประเทศไทยได้มีการบังคับให้อาคารควบคุมต้องมีค่า OTTV และ RTTV เป็นไปตามข้อกำหนดทางกฎหมาย เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอาคารควบคุมนั้นๆ เป็นอาคารที่กรอบอาคารมีสมรรถนะดีเพียงพอในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เกณฑ์ดังกล่าวนี้บังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 และในปี พ.ศ. 2544 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้ปรับปรุงวิธีการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ให้มีความแม่นยำและมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทยมากยิ่งขึ้น ในที่นี้ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่า OTTV และค่า RTTV สูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร/ลักษณะการใช้งานอาคาร	OTTV (ของผนังด้านนอกอาคาร)	RTTV (ของหลังคาอาคาร)
สำนักงาน สถานศึกษา	O-OTTV ≤ 50	O-RTTV ≤ 15
ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้าหรือซุปเปอร์สโตร์	S-OTTV ≤ 40	S-RTTV ≤ 12
โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	H-OTTV ≤ 30	H-RTTV ≤ 10

3. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV_i = (U_w)(1\text{-}WWR)(\ TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad \text{สมการที่ 21}$$

เมื่อ ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือ ผนังทึบแสง (W/m^2)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m^2)

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, (^oC)

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก, ($W/m^2 \bullet {}^oC$)

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2 \bullet {}^oC$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (^oC)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV = \frac{(A_{W1})(OTTV_1) + (A_{W2})(OTTV_2) + \ldots + (A_{Wi})(OTTV_i)}{A_{W1} + A_{W2} + \ldots + A_{Wi}} \quad \text{สมการที่ 22}$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง (m^2)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (W/m^2)

4 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในแต่ละส่วน ($RTTV_{ni}$) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_{ni} = (U_r)(1\text{-}SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad \text{สมการที่ 23}$$

เมื่อ ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือ ผนังทึบแสง (W/m^2)

$RTTV_{ni}$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา (W/m^2)

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสงหรือกระจก

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, (^oC)

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก, ($W/m^2 \bullet {}^oC$)

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา ($W/m^2 \bullet {}^oC$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (^oC)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV = \frac{(A_{W1})(RTTV_{n1}) + (A_{W2})(RTTV_{n2}) + \ldots + (A_{Wi})(RTTV_{ni})}{A_{W1} + A_{W2} + \ldots + A_{Wi}} \quad \text{สมการที่ 24}$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง (m^2)

$RTTV_{ni}$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (W/m^2)

สารทำความเย็น

สารทำความเย็นตามความหมายโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หมายถึง สารที่ทำให้เกิดความเย็นโดยการดูดความร้อน เมื่อขยายตัวหรือเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นไอ สารนี้ในสภาพไอถ้ามีการระบายความร้อนออกจะคืนสภาพเป็นของเหลว (ชุติมา, 2556)

ความหมายจากหนังสือ 1997 ASHRAE Handbook Fundamentals (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) สารทำความเย็น หมายถึง สาทำงาน (Working Fluid) ในเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศระบบไอ (Vapor Compression Cycle) หรือระบบเชิงกล (Mechanical Compressor) และระบบดูดกลืน (Absorption) เมื่อได้รับความร้อนสารทำความเย็นเหลวจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและนำความร้อนไปถ่ายเทสู่ภายนอกทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้ง

1. สมบัติของสารทำความเย็น

สมบัติของสารทำความเย็น มีดังต่อไปนี้

1.1 สมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Properties) ได้แก่

- ค่าควบร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง เพื่อช่วยลดอัตราการไหลของน้ำยาในระบบ ทำให้ขนาดของเครื่องปรับอากาศ
- ความหนาแน่นสูง ทำให้ลดขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ในระบบได้
- จุดแข็งตัวต่ำ เพื่อไม่ให้น้ำยาแข็งตัวขณะทำงาน
- รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้ เพื่อให้สามารถพาน้ำมันหล่อลื่นกลับมาหล่อลื่นที่คอมเพรสเซอร์
- มีความต้านทานไฟฟ้าสูง เพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรผ่านน้ำยาขณะทำงานโดยเฉพาะเมื่อใช้กับคอมเพรสเซอร์ชนิดคุ้มปิด
- ค่าความดันเพื่อการควบแน่นต่ำ ทำให้ขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ลดลง โอกาสที่น้ำยารั่วออกจากระบบน้อยลง และลดอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันสูงในระบบ

1.2 สมบัติทางเคมี (Chemical Properties) ได้แก่

- มีโครงสร้างทางเคมีมั่นคง คือสามารถทำงานได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติในระบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ
- ไม่ติดไฟหรือไม่มีการระเบิดทั้งที่เป็นของเหลว เป็นไอ หรือเมื่อผสมกับน้ำมันหล่อลื่น
- ไม่ทำปฏิกิริยาหรือเกิดการกัดกร่อนในอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในระบบ เช่น ยาง พลาสติก เหล็ก ทองแดง เป็นต้น

- ไม่เป็นพิษ หรือไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ หรือสิ่งแวดล้อมใดๆ เช่น มีค่า ODP และ GWP ต่ำ
- เมื่อเกิดการรั่ว ไม่ทำให้รส กลิ่น สีของอาหารและน้ำดื่มเปลี่ยนแปลงหรือเป็นอันตราย

สำหรับชนิดและชื่อเรียกของสารทำความเย็น (ชุติมา, 2556) การแบ่งประเภทสารทำความเย็น สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ แบ่งตามกระบวนการผลิต แบ่งตามสมบัติ และแบ่งตามสูตรเคมี ดังต่อไปนี้

1.3 แบ่งตามกระบวนการผลิต แบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

- Natural refrigerants เช่น HC-600a (Isobutane), HF-290 (Propane), CO_2, Ammonia
- Synthesis refrigerants เช่น HCFCs, HFCs

1.4 แบ่งตามสมบัติ แบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

- Pure refrigerants เช่น HCFC-22, HFC134A
- Mixture refrigerants เช่น HFC-407C, HFC-410A

1.5 แบ่งตามสูตรเคมี แบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

- CFC (Chlorofluorocarbon) ประกอบด้วย คลอรีน ฟลูออรีน และคาร์บอน เช่น R-11 R-12 หรือเรียกว่า CFC-11, CFC-12
- HFC (Hydrofluorocarbon) ประกอบด้วยไฮโดรเจน ฟลูออรีน และคาร์บอน เช่น R-407C หรือเรียกว่า HFC-407C และ R-134a หรือเรียกว่า HFC-134a ที่นำมาใช้แทน R-12
- HCFC (Hydrochlorofluorocarbon) ประกอบด้วยไฮโดรเจน คลอรีน ฟลูออรีน และคาร์บอน เช่น R-22 หรือเรียกว่า HCFC-22 แต่สารตัวนี้มีครอลีนผสมอยู่จึงกำลังจะยกเลิกใช้ภายในปี พ.ศ. 2573

- HC (Hydrocarbon) ประกอบด้วย ไฮโดรเจน และคาร์บอน เช่น R-290 หรือเรียกว่า HC-290

2. ความเกี่ยวข้องของสารทำความเย็นต่อโลกร้อน

ความเกี่ยวข้องของสารทำความเย็นต่อโลกร้อนและสมบัติของสารทำความเย็นแต่ละชนิด สารทำความเย็นหลายชนิดเป็นตัวการเพิ่มก๊าซเรือนกระจกหรือทำลายโอโซน โดยประเมินได้จาก

2.1 ค่า ODP (Ozone Depleting Potential) เป็นตัวเลขที่แสดงระดับในการทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ โดยใช้ค่าของ R-11 เป็นมาตรฐาน คือกำหนดค่า ODP ของ R-11 = 1 ส่วนสารทำความเย็นอื่น ๆ มีค่า ODP ซึ่งเทียบกับ R-11 ได้ เช่น R-12 (ODP = 1), R-22 (ODP = 0.055) และ R-134a (ODP = 0)

2.2 ค่า GWP (Global Warming Potential) คือค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน โดยกำหนดค่า GWP ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบเท่ากับ 1 ซึ่งสารทำความเย็นที่ดีจะต้องมีค่า ODP เป็นศูนย์และค่า GWP ต่ำ (ชุติมา, 2556)

ตารางที่ 12 สมบัติของสารทำความเย็นแต่ละชนิด

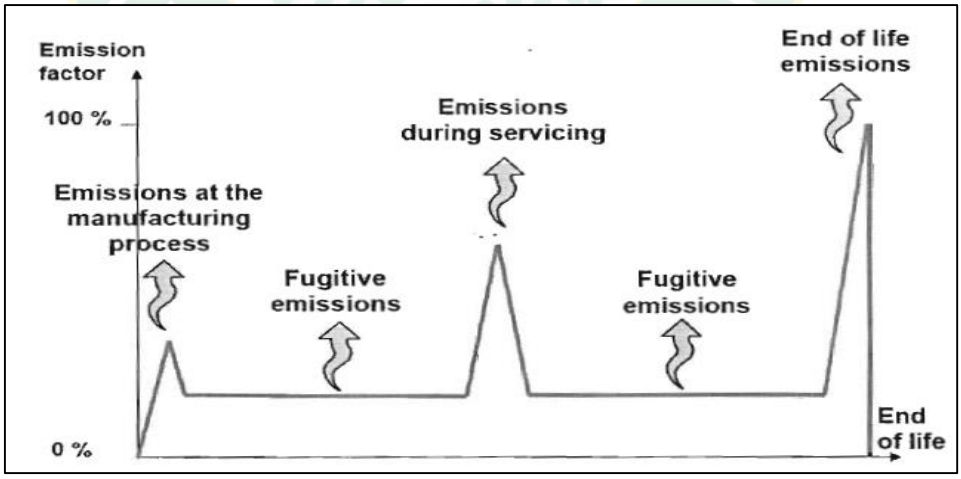
สารทำความเย็น	กลุ่ม	การคงสภาพของสารทำความเย็นในบรรยากาศ (year)	ODP	GWP
R-11	CFC	130	1	4,000
R-12	CFC	130	1	8,500
R-22	HCFC	15	0.055	1,810
R-134a	HFC	16	0	1,300
R-404a	HFC	16	0	3,260
R-410a	HFC	16	0	2,088

ตารางที่ 12 สมบัติของสารทำความเย็นแต่ละชนิด (ต่อ)

สารทำความเย็น	กลุ่ม	การคงสภาพของสารทำความเย็นในบรรยากาศ (year)	ODP	GWP
R-32	HFC	16	0	675
R-507	HFC	130	1	3,300
R-717	NH_3	-	0	0
R-744	CO_2	-	0	1
R-290	HC	<1	0	8
R-600a	HC	<1	0	8

จากตารางที่ 12 เห็นได้ว่าสารประเภท CFC และ HCFC มีค่า ODP และ GWP สูงกว่าสารประเภทอื่น สาร CFC จึงถูกยกเลิกใช้ไปแล้ว และสาร HCFC ซึ่งจะให้เลิกใช้ในปี พ.ศ. 2573 สำหรับสารประเภท HFC แม้ว่าจะมีค่า ODP เป็นศูนย์แต่ยังมีค่า GWP สูง

สาเหตุของการปล่อยสาร HFCs จากเครื่องปรับอากาศของประเทศไทยปล่อยสาร HFCs จากเครื่องปรับอากาศของประเทศไทย ส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลของสาร HFCs ตั้งแต่ในขั้นตอนการผลิต ช่วงอายุการใช้งาน และช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งานหรือการทำลายซากของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นมีโอกาสเกิดการรั่วไหลของสาร ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การปล่อยสารทำความเย็นตั่งแต่ขั้นตอนการผลิตจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์

ที่มา: ชุติมา (2556)

จากภาพที่ 33 แสดงการคำนวณวิธีคาดการณ์การปล่อยสารทำความเย็น ซึ่งวิธีคำนวณระดับ Tier 2 ตาม IPCC Guidelines โดยแสดงการคำนวณการปล่อยสารทำความเย็น HFC ซึ่งแบ่งออกเป็น

- ช่วงกระบวนการผลิต (Menufacturing Process) มีระดับการปล่อยสารสูงขึ้นจากปกติ
- ช่วงอายุการใช้งาน (During Servicing) จะเป็นช่วงที่มีการปล่อยสารสูงขึ้นจากปกติและจะสูงกว่าช่วงกระบวนการผลิต
- ช่วงทำลายซากผลิตภัณฑ์ (End of Life of Equipment) จะเป็นช่วงที่มีการปล่อยสารสูงที่สุดจากปกติและจะสูงกว่าช่วงกระบวนการผลิตและช่วงอายุการใช้งาน

แนวทางนี้ได้พิจารณาแบบครบวงจรของอุปกรณ์ทำความเย็นตั้งแต่ขั้นเริ่มต้นจนกระทั่งทำลายซากผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) โดยครอบคลุมถึงการปล่อยที่เป็นไปได้ทั้งหมดแต่ต้องการให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกัน

3. การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อ้างอิงตามคู่มือ IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) ปี ค.ศ. 2006 (IPCC, 2006) ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สมการการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการ	ตัวแปร	คำจัดกัดความ
การปล่อยจากการจัดการภาชนะบรรจุ		
$E_{Container,t} = RM_t c / 100$	$E_{Container,t}$	ปริมาณการปล่อยสาร HFC ในปี t (kg)
	RM_t	ปริมาณสาร HFC นำเข้าสำหรับ RAC (kg/year)
	c	ค่า Emission factor ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทภาชนะบรรจุ HFC (%)
การปล่อยจากการประจุสารทำความเย็นลงผลิตภัณฑ์ใหม่		
$E_{Charge,t} = M_t k / 100$	$E_{Charge,t}$	ปริมาณการปล่อยสาร HFC ซึ่งสัมพันธ์กับการประจุสารทำความเย็น (kg)
	M_t	ปริมาณสาร HFC ที่บรรจุลงไปใน RAC แต่ละประเภท (kg)
	k	ค่า Emission factor ที่เกิดจากการรั่วไหลของสาร HFC เมื่อประจุสารทำความเย็นลงไปในเครื่องใหม่ (%)

ตารางที่ 13 สมการการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ต่อ)

สมการ	ตัวแปร	คำจัดกัดความ
การปล่อยระหว่างช่วงอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์		
$E_{lifetime,t} = B_t x / 100$	$E_{lifetime,t}$	ปริมาณการปล่อยสาร HFC ที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวกการผลิตในปี t (kg)
	B_t	ปริมาณสาร HFC ที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในแต่ละเครื่องต่อปี (kg)
	x	อัตราการรั่วไหลของสาร HFC ที่มีในอุปกรณ์แต่ละประเภทในระหว่างการผลิตและการเติมสาร HFC โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยต่อปี (%)
การปล่อยจากช่วงหมดอายุการใช้งานจากผลิตภัณฑ์ (การกำจัด)		
$E_{end-of-life,t} = (M_{t-d})(p/100)x(1-(\eta_{rec,d}/100))$	$E_{end-of-life,t}$	ปริมาณสาร HFC ที่ถูกปล่อยออกมาในขั้นตอนการทำลายผลิตภัณฑ์ในปี t (kg)
	M_{t-d}	ปริมาณสาร HFC ที่เริ่มบรรจุในระบบใหม่ในปี t-d (kg)
	p	สาร HFC ที่เหลืออยู่ในขั้นตอนการกำจัดจะต้องถูกปล่อยออกมาเมื่อเทียบกับร้อยละของสารที่ประจุทั้งหมด (%)
	$\eta_{rec,d}$	ประสิทธิภาพการนำสาร HFC มาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างสาร HFC ที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่เทียบกับ HFC ที่มีอยู่ในระบบ (%)
	t	ปีที่ต้องการคำนวณ
	d	อายุการใช้งาน (ปี)

ดังนั้นปริมาณการปล่อยสาร HFCs ทั้งหมด หรือ E_{total} แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$E_{total} = E_{container} + E_{charge} + E_{lifetime} + E_{end\text{-}of\text{-}life} \quad \text{สมการที่ 25}$$

4. รอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint)

รอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint) เป็นการวัดผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อระบบสิ่งแวดล้อมในแง่ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สร้างขึ้นมาจากกิจกรรมนั้นๆ โดยวัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมา รอยเท้าคาร์บอนใช้ประเมินว่าคน ประเทศ หรือองค์กรหนึ่งๆ สร้างผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนมากน้อยเพียงใด วิธีการหลักของรอยเท้าคาร์บอนคือ ประเมินปริมาณคาร์บอนที่ปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมและประเมินความมากน้อยในการส่งเสริมพลังงานทดแทนหรือพลังงานสะอาดขององค์นั้น เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ หรือการปลูกป่า รอยเท้าคาร์บอนเป็นส่วนย่อยของรอยเท้าระบบนิเวศ (Ecological footprint) ซึ่งจะรวมเอาความต้องการของมนุษย์ทั้งหมดในระบบชีวนิเวศน์เข้าไปด้วย Carbon Footprint (CF) เป็นค่าทางวิทยาศาสตร์ที่คำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมต่างๆ สู่บรรยากาศ โดยคำนวณออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งการวัดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีทั้งทางตรงและทางอ้อม

ทางตรง เป็นการวัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงรวมถึงการใช้พลังงานในครัวเรือนและยานพาหนะ

ทางอ้อม เป็นการวัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากผลผลิต หรือผลิตภัณฑ์ที่เราใช้ โดยคำนวณรวมทั้งกระบวนการผลิตตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การเพาะปลูก การแปรรูป การขนส่ง การใช้งาน รวมไปถึงกระบวนการจัดการซากผลิตภัณฑ์หรือบรรจุภัณฑ์หลังการใช้งาน เรียกได้ว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA: Life Cycle Assessment)

ซึ่งในการคำนวณหาค่า Carbon Footprint จากการปล่อยสาร HFCs สามารถหาได้จาก

$$\text{Carbon Footprint} = E_{total} \times \text{Emission factor} \quad \text{สมการที่ 26}$$

เมื่อ Carbon Footprint คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากปลดปล่อยสารทำความเย็น ($kgCO_2e/year$)

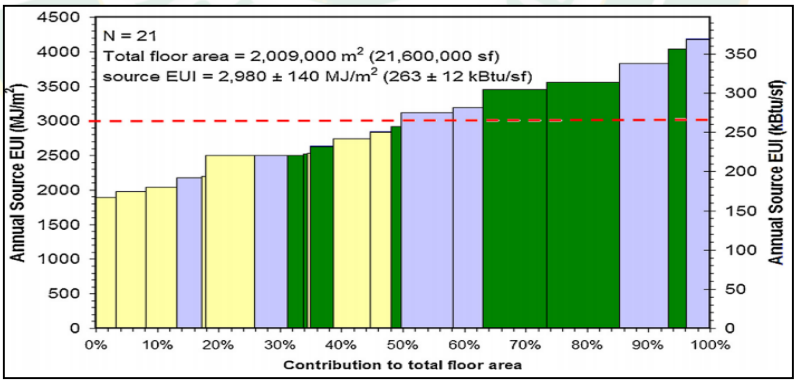
E_{total} คือ ปริมาณการปล่อยสาร HFCs ทั้งหมด (kg)

Emission factor คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e/unit$)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

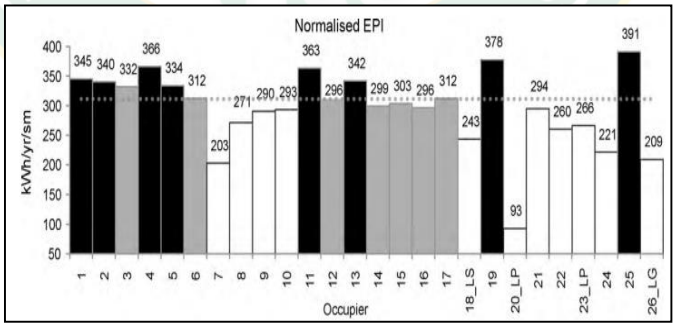
Scofield (2013) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ในเมืองนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ผ่านการรับรองการเป็นอาคารเขียวแต่ละระดับ ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED ในระดับต่างๆ สำรวจอาคารทั้งหมด 21 อาคาร มีพื้นที่ที่ตรวจวัดทั้งหมด 2,009,000 m^2 หรือในหน่วย 21,600,000 ft^2 อาคารที่ 1, 2, 3, 5, 6, 12 และ 13 เป็นอาคารที่ผ่านการรับรองระดับทอง อาคารที่ 4, 7, 15, 16, 19 และ 21 เป็นอาคารที่ผ่านการรับรองระดับเงิน อาคารที่เหลือเป็นอาคารผ่านการรับรองการเป็นอาคารเขียว วิเคราะห์การใช้พลังงานโดยใช้ค่า Energy Utilization Intensities (EUI)

จากการสำรวจอาคารหมายเลข 1 ที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดที่ 1,896 MJ/m^2 มีพื้นที่ 66,841 m^2 การใช้พลังงานสูงสุดอยู่ที่อาคารหมายเลข 21 พื้นที่อาคารเท่ากับ 78,260 m^2 มีการใช้พลังงานอยู่ที่ 4,181 MJ/m^2 เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดไปสร้างเป็นกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 21 อาคารที่เป็นอาคารเขียว แบ่งเป็นระดับทองจะมีกราฟแท่งสีเหลือง ระดับเงินจะมีกราฟแท่งสีเทา และผ่านการรับรองจะมีกราฟแท่งสีเขียว โดยความกว้างของกราฟแท่งแต่ละแท่งคือ เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ของอาคารนั้นเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด กับการใช้พลังงาน พบว่าศักยภาพการใช้พลังงานจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นที่อาคารผ่านการรับรองการเป็นอาคารเขียวระดับสูงขึ้น ดังภาพที่ 34

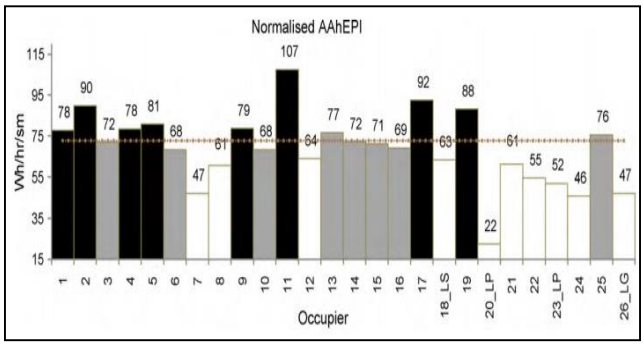


ภาพที่ 34 การใช้พลังงานแต่ละอาคารโดยใช้ EUI
งานวิจัยของ Scofield (2013)

Sabapathy et al. (2010) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่ใช้ข้อมูลของอาคารกลุ่มตัวอย่าง จากการใช้พลังงานของสิ่งอำนวยความสะดวกด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในเมืองบังกาลอร์ ประเทศอินเดีย เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยมีปัจจัย ความหนาแน่นของการจ้างงาน ขนาดของสิ่งอำนวยความสะดวก ชั่วโมงการทำงานต่อสัปดาห์ ชนิดของเครื่องทำความเย็นและอายุของสิ่งอำนวยความสะดวก ใช้ตัวแปรการใช้พลังงานคือ ค่า Energy Performance Index (EPI) และ Annual Average hourly Energy Performance Index (AAhEPI) โดยมีการเลือกอาคารทั้งหมด 26 อาคาร มี 4 อาคาร เป็นอาคารที่ผ่านการรับรองการเป็นอาคารเขียว เกณฑ์มาตรฐาน LEED ได้แก่ 18_LS 20_LP 23_LP และ 26_LG (LS คือ ผ่านการรับรองระดับเงิน LG คือ ผ่านการรับรองระดับทอง และ LP คือ ผ่านการรับรองระดับแพลตตินั่ม) ซึ่งโดยเฉลี่ยอาคารที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน LEED อาคารรหัส 18_LS มีค่า EPI และ AAhEPI เท่ากับ 234 kWh/year/m^2 และ 63 Wh/h/m^2 ตามลำดับ อาคารรหัส 20_LP มีค่า EPI และ AAhEPI เท่ากับ 93 kWh/year/m^2 และ 22 Wh/h/m^2 ตามลำดับ อาคารรหัส 23_LP มีค่า EPI และ AAhEPI เท่ากับ 266 kWh/year/m^2 และ 52 Wh/h/m^2 ตามลำดับ และอาคารรหัส 26_LG มีค่า EPI และ AAhEPI เท่ากับ 209 kWh/year/m^2 และ 47 Wh/h/m^2 ตามลำดับ เห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของอาคารทั่วไปอีก 22 อาคาร และยังจัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นอาคารที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง (แกนแท่งสีขาว) โดยตัวแปรที่สำคัญกับการเปลี่ยนแปลงของค่า EPI และ AAhEPI มีขนาดของสิ่งอำนวยความสะดวก และระยะเวลาการดำเนินงานของอาคารดังภาพที่ 35 และภาพที่ 36



ภาพที่ 35 ดัชนีการใช้พลังงานต่อปีต่อพื้นที่แต่ละอาคาร (EPI)
งานวิจัยของ Sabapathy et al. (2010)



ภาพที่ 36 ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานรายชั่วโมงโดยเฉลี่ยต่อปี งานวิจัยของ Sabapathy et al. (2010)

Jeong et al. (2016) ได้ศึกษาประเมินผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน อาคารเขียวและอาคารที่ไม่ผ่านการรับรอง ซึ่งมีอาคารที่ทำการทดลองจำนวน 455 อาคารเป็นอาคารในรูปแบบ Multifamily แบ่งออกเป็น 321 อาคารเป็นอาคารที่ไม่ผ่านการรับรอง 126 อาคารเป็นอาคารที่ผ่านการรับรองเป็นอาคารเขียวเกณฑ์มาตรฐาน G-Seed และ 8 อาคารเป็นอาคารที่ผ่านการรับรองเป็นอาคารเขียวเกณฑ์มาตรฐาน LEED โดยมีวิธีการดำเนินการดังนี้ ขั้นแรกทำการสำรวจการใช้พลังงาน ข้อมูลการรับรองการเป็นอาคารเขียว ข้อมูลอาคาร ข้อมูลผู้พักอาศัย เก็บข้อมูลการใช้พลังงานด้านความร้อน ไฟฟ้า และน้ำร้อน แล้วทำการแปลงข้อมูลให้อยู่หน่วย EUI ขั้นที่สองจัดกลุ่มวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ด้านผู้พัฒนา ขนาดอาคาร ลักษณะการพักอาศัย ฉนวน และราคาขาย กับขนาดของ EUI ขั้นตอนสุดท้ายเปรียบเทียบวิเคราะห์การใช้พลังงานระหว่างอาคารที่ผ่านการรับการเป็นอาคารเขียว เกณฑ์มาตรฐาน G-Seed และ LEED กับอาคารที่ไม่ผ่านการรับรอง จากการศึกษาพบว่า สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตาม พื้นที่พักอาศัยต่อครัวเรือน (AEA) กลุ่มขนาดใหญ่ (นั่นคือกลุ่มที่ 4 มีพื้นที่ประมาณ 143.47 m^2) มีค่า EUI น้อยกว่ากลุ่มที่ 1 (กลุ่มที่ 1 มีพื้นที่ประมาณ 97.04 m^2) โดยค่าเฉลี่ยของ Site-EUI สำหรับกลุ่มที่ 1, 2, 3, และ 4 อยู่ที่ 125.29, 116.35, 110.89 และ 101.00 kWh/m^2·year ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ตามกลุ่มอาคารที่ผ่านการรับรองและอาคารทั่วไป อาคารที่ผ่านการรับการเป็นอาคารเขียว เกณฑ์มาตรฐาน G-Seed และ LEED มีประสิทธิภาพด้านพลังงานดีกว่า 10 และ 15% ตามลำดับเมื่อเทียบกับอาคารทั่วไป สรุปได้ว่า อาคารเขียว เกณฑ์มาตรฐาน LEED มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สุด ซึ่งมีค่า Site EUI เท่ากับ 97.30 kWh/m^2•year และค่า Source EUI เท่ากับ 132.18 kWh/m^2•year แสดงดังภาพที่ 37

	Grade	N[a]	Site EUI (kWh/m^2 y)		Source EUI (kWh/m^2 y)	
			Mean	S.D	Mean	S.D
Non-certified		321	114.30 (100%)	14.10	153.72 (100%)	22.40
G-SEED	Overall	126	114.03 (99.8%)	14.78	149.79 (97.4%)	20.49
	Green1	14	105.85 (92.6%)	11.74	138.56 (90.1%)	13.04
	Green2	112	115.05 (100.7%)	14.85	151.19 (98.4%)	20.85
LEED	Certified	8	97.30 (85.1%)	14.58	132.18 (86.0%)	27.23
Total		455	113.92 (99.7%)	14.44	152.25 (99.0%)	22.16

ภาพที่ 37 การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน งานวิจัยของ Jeong et al. (2016)

จักรกฤษณ์ และสิงห์ (2556) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแบบประเมินประสิทธิภาพการทำงานของอาคารในประเทศต่างๆ ซึ่งเป็นแบบประเมินสำหรับอาคารที่ถูกสร้างขึ้นมาใหม่ (New Construction) ได้แก่ แบบประเมินของประเทศอังกฤษ BREEAM (Building Research Establishment Energy and Environmental Assessment Method) แบบประเมินของประเทศสหรัฐอเมริกา LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) แบบประเมินของประเทศญี่ปุ่น CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) แบบประเมินของประเทศมาเลเซีย GBI (Green Building Index) แบบประเมินของประเทศอินโดนีเซีย GREENSHIP แบบประเมินของประเทศสิงคโปร์ GREENMARK และแบบประเมินของประเทศไทย TREES (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability) โดยการเปรียบเทียบจะแยกเป็น ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมของโครงการ (Programming Phase) ขั้นตอนการออกแบบ (Designing Phase) ขั้นตอนการก่อสร้าง (Construction Phase) ขั้นตอนการใช้งานอาคาร (Building Operation Phase) และขั้นตอนรื้อถอน (Demolition Phase) วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการให้ความสำคัญของเกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืนในด้านต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นในประเทศไทย และนานาประเทศ ว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร มีการให้น้ำหนักในประเด็นต่างๆ มากน้อยอย่างไร จากการศึกษาพบว่า เกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืนที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้น ให้ความสำคัญแก่การลดผลกระทบของอาคารที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ทรัพยากร และพลังงาน ทุกแบบประเมินจะให้ความสำคัญกับหมวดพลังงานเป็นอย่างมาก โดยกลุ่มของพลังงาน มีระดับการให้คะแนนให้น้ำหนักสูงที่สุดเกือบทุกแบบประเมิน แบบประเมิน LEED ให้คะแนนด้านพลังงานและชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 32%

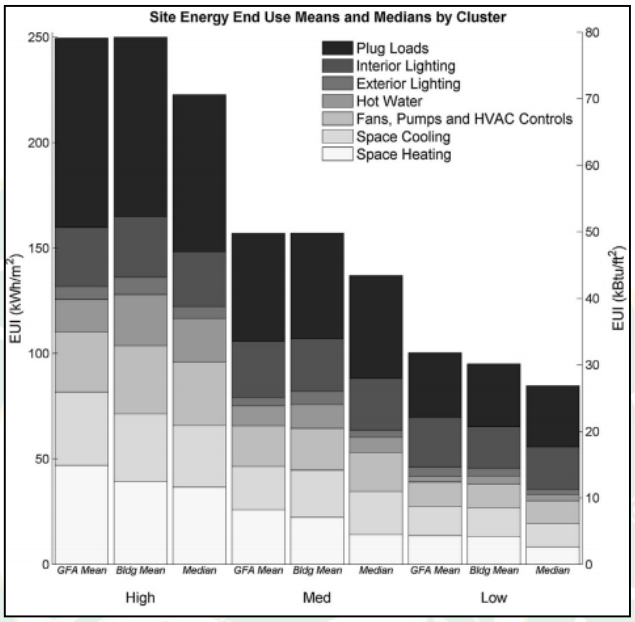
ด้านพลังงาน ทุกข้อแบบประเมินจะเน้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานทดแทน การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน เช่น การใช้ระบบขนส่งแนวตั้ง หรือระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น ดังภาพที่ 38

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

ภาพที่ 38 เปรียบเทียบสัดส่วนคะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืน งานวิจัยของ จักรกฤษณ์และสิงห์ (2556)

Heidarinejad et al. (2014) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงาน ของอาคารสำนักงานจำนวน 134 อาคาร ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทุกอาคารผ่านการรับรองเป็นอาคารเขียวมาตรฐาน LEED NC จะจำแนกอาคารเป็น 3 กลุ่ม คือ อาคารที่มีการใช้พลังงานสูง กลาง และต่ำ วิธีวิเคราะห์ข้อมูลโดยการใช้ผลการจำลองพลังงานจากฐานข้อมูลของ LEED พลังงานจะถูกตรวจวัดแยกเป็นระบบต่างๆ ภายในอาคาร จากการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานแต่ละระบบในอาคารที่แยกเป็น 3 กลุ่ม ตามระดับการใช้พลังงาน มีลักษณะการใช้พลังงานดังต่อไปนี้ ภาระเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 75-150 kWh/m^2 ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายนอกอาคารมีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 50 kWh/m^2 ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคารมีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 5 kWh/m^2 ระบบน้ำร้อนมีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 5-20 kWh/m^2 ระบบพัดลมและปั๊มน้ำมีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 25-50 kWh/m^2

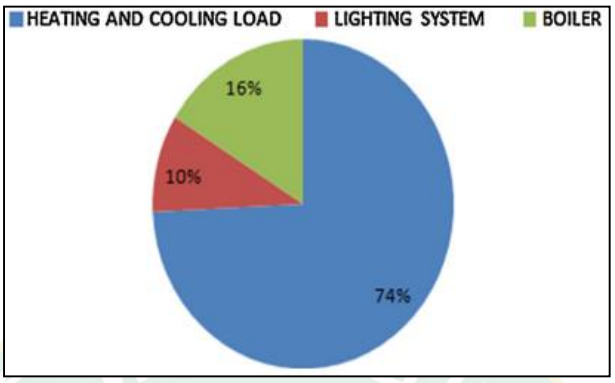
การระบายความร้อนมีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 25-50 kWh/m^2 และความเย็นภายในอาคารมีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 25-50 kWh/m^2 โดยที่การใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้า ประมาณ 75-150 kWh/m^2 และการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยสุดจะอยู่ในประเภทของระบบไฟฟ้าส่องสว่างนอกอาคารประมาณ 5 kWh/m^2 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานจากโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้ายังสูงกว่าระบบอื่นๆ จึงต้องมีวิธีที่จัดการพลังงานในส่วนนี้ต่อไป ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ประเภทอาคาร ใช้พลังงานตัวแปร EUI แบ่งตามการใช้พลังงานประเภทต่างๆ งานวิจัยของ Heidarinejad et al. (2014)

Hassouneh et al. (2015) ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี University of Jordan เพื่อหาแนวทางการลดการใช้พลังงานโดยใช้แนวทางรูปแบบการประเมินการเป็นอาคารเขียวประเภทของอาคารที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว พิจารณาด้านวัสดุอาคาร คุณภาพอากาศ การใช้พลังงาน การใช้น้ำ จากการศึกษาพบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนกระจกหน้าต่างเป็นกระจกสองชั้น ทำให้อาคารเย็นในช่วงฤดูร้อนและอากาศอบอุ่น ในช่วงฤดูหนาวช่วยลดการสูญเสียความร้อนผ่านอาคารถึง 60% ของค่าการสูญเสียความร้อนในอาคารมาตรฐานที่ใช้หน้าต่างกระจกชั้นเดียว มีผลประหยัดจากระบบปรับอากาศ (HVAC) เท่ากับ 74% ระบบไฟฟ้าและแสงสว่างประหยัดเท่ากับ 10% และผลประหยัดจากหม้อต้มไอน้ำเท่ากับ 16% ดังภาพที่ 40 ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนลดลง 10-12% จากค่าไฟฟ้าของอาคารปี 2012 เห็นว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า 98,589.60 kWh/year เสียค่าไฟฟ้าที่ 22,675.60 JD ถ้ามีการติดเซนเซอร์เปิดปิดห้องต่างๆ มีแนวโน้มช่วยให้

ประหยัด 20-50% เปลี่ยนชนิดบัลลาสต์จากแกนเหล็กเป็นอิเล็กทรอนิกส์ทำให้ประหยัดพลังงานจากหลอดไฟ 25-35% ติดตั้งระบบหรี่ไฟจะช่วยให้ประหยัด 10-60% ตามแต่ลักษณะการใช้งาน



ภาพที่ 40 ผลประหยัดจากการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคาร งานวิจัยของ Hassouneh et al. (2015)

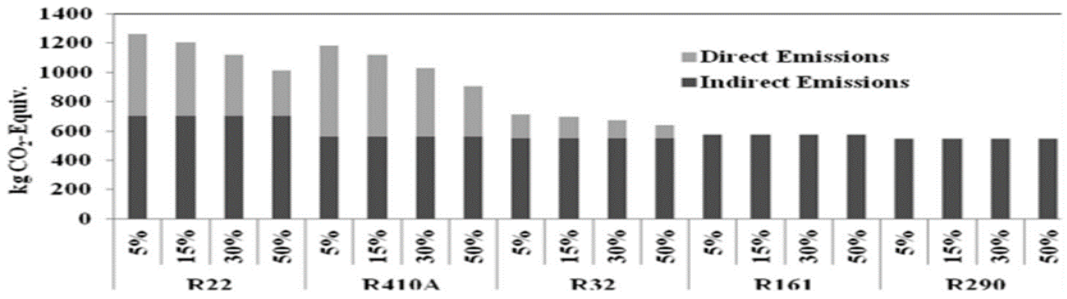
ณัฐพล และกีรติ (2556) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลด้านการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมของอาคารบรรณสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นอาคารคอนกรีต 4 ชั้น มีพื้นที่โดยรอบอาคาร 13,428 m^2 พื้นที่ใช้สอยในตัวอาคาร 6,500 m^2 มีระบบปรับอากาศแบบ Air Handling Unit (AHU) จำนวน 10 เครื่องและแบบ Ceiling/Floor Type จำนวน 22 เครื่อง รวมจำนวน 32 ชุด คิดเป็น 3,618,000 BTU มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 113,354 kWh/month ใช้น้ำเฉลี่ย 60 m^3/month และผู้ใช้บริการเฉลี่ย 42,240 คน/month การศึกษาได้ทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ปี ตามเกณฑ์ประเมินของ มาตรฐานอาคารเขียว (กรณีอาคารเดิม) จากการศึกษาพบว่า ในหมวดที่ 4 เป็นการประเมินอาคารเขียวด้านพลังงาน ได้ 8/16 คะแนน จากมาตรการลดการใช้พลังงาน จากการใช้เครื่องปรับอากาศที่ประสิทธิภาพสูงกว่าที่เกณฑ์กำหนด มีการแยกโซนควบคุมอุณหภูมิ มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง 4.44 W/m^2 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด การแยกเปิดปิดไฟฟ้าส่องสว่างเป็นโซน เกณฑ์ที่ไม่ผ่านคือ หน่วยการใช้ไฟฟ้า 1 ปี ย้อนหลังของอาคารจำนวน 736,800 kWh/year สูงกว่าค่าหน่วยไฟฟ้ามาตรฐาน สนพ. ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 67,034 kWh/year ผลประเมินพบว่า อาคารบรรณสารฯ ได้ 50.1/100 คะแนน ยังไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานอาคารเขียว โดยต้องใช้งบประมาณ 142,650 Baht เพื่อปรับปรุงให้อาคารได้ระดับผ่านการประเมิน

Zhao et al. (2017) ศึกษาศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคารด้วยรวบรวมข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิต

เครื่องปรับอากาศของจีน ซึ่งประเทศจีนเป็นหนึ่งในผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศรายใหญ่ที่สุดของโลกคิดเป็น 80% ของเครื่องปรับอากาศของโลก โดยจะแบ่งการเก็บข้อมูลแยกออกเป็นชนิดของสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ คือ สารทำความเย็น R22 R410A R32 R161 และ R290 สำหรับการวิเคราะห์ผลจะวิเคราะห์เป็นวงจรชีวิตของเครื่องปรับอากาศในการปลดปล่อยสารทำความเย็น แบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา คือ การปลดปล่อยจากช่วงเวลาการผลิต การปลดปล่อยจากช่วงเวลาการบรรจุสารทำความเย็น การปลดปล่อยจากช่วงเวลาการใช้งาน และการปลดปล่อยจากช่วงเวลาทำลาย จากนั้น และวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้เครื่องปรับอากาศเป็น ค่า Carbon Footprints (CFPs) จากผลการศึกษา พบว่า เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในห้องมีค่า CFPs ดังนี้

- สารทำความเย็น R22 มีค่า CFPs เท่ากับ 1,261.01 $kgCO_2e/kW_{cool}$
- สารทำความเย็น R410A มีค่า CFPs เท่ากับ 1,180.73 $kgCO_2e/kW_{cool}$
- สารทำความเย็น R32 มีค่า CFPs เท่ากับ 715.21 $kgCO_2e/kW_{cool}$
- สารทำความเย็น R161 มีค่า CFPs เท่ากับ 570.53 $kgCO_2e/kW_{cool}$
- สารทำความเย็น R290 มีค่า CFPs เท่ากับ 541.58 $kgCO_2e/kW_{cool}$

จากที่การวิเคราะห์ค่า CFPs ของการปลดปล่อยสารทำความเย็นจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศผู้วิจัยได้เสนอการลดการปลดปล่อยสารทำความเย็นด้วยวิธีการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ โดยการปรับอัตราการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 15% 30% และ 50% ที่กำลังการทำความเย็น 1 kWcool สามารถลดค่า CFPs ประมาณ 5%, 12% และ 20% ตามลำดับ ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ค่า CFPs ของสารทำความเย็นในอัตราการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ที่ต่างกัน Zhao et al. (2017)

ชุติมา (2556) ศึกษาค่าการปล่อยสารไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนในเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศของประเทศไทย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009-2012 โดยการรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจและสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความเย็นและศูนย์ซ่อมบำรุงที่เกี่ยวข้องจำนวน 65 แห่ง ในปี ค.ศ. 2012 เพื่อที่จะคำนวณปริมาณการปล่อยสาร HFCs จากเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น โดยอ้างอิงวิธีคำนวณจากคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของ IPCC (2006) ซึ่งจะแบ่งการปล่อยสารออกเป็น 4 ช่าง คือการรั่วไหลในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ การรั้วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็นการรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน และการรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ สุดท้ายจัดหาแนวทางที่เหมาะสมในการลดการปล่อย HFC ผลการศึกษาพบว่า ค่าการปล่อยสาร R-410A ของระบบปรับอากาศในอาคารและค่าการปล่อยสาร HFC-134a จากเครื่องปรับอากาศในรถยนต์มีค่ามากที่สุดคือช่วงทำลาย 79% และ 61% และรองลงมาคือช่วงใช้งานคิดเป็น 21% และ 39% ตามลำดับ สำหรับแนวทางในการลดการปล่อยสาร HFCs ได้แก่ การป้องกันการรั่วไหลของสารทำความเย็นและการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ ลดการปล่อยลงได้ 1.7% และ 9.4%

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

การกำหนดขั้นตอนวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยระบบการประเมินอาคารเขียวตามเกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 โดยวิเคราะห์ข้อมูลตามหัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังภาพที่ 42 และมีรายละเอียดต่อไปนี้

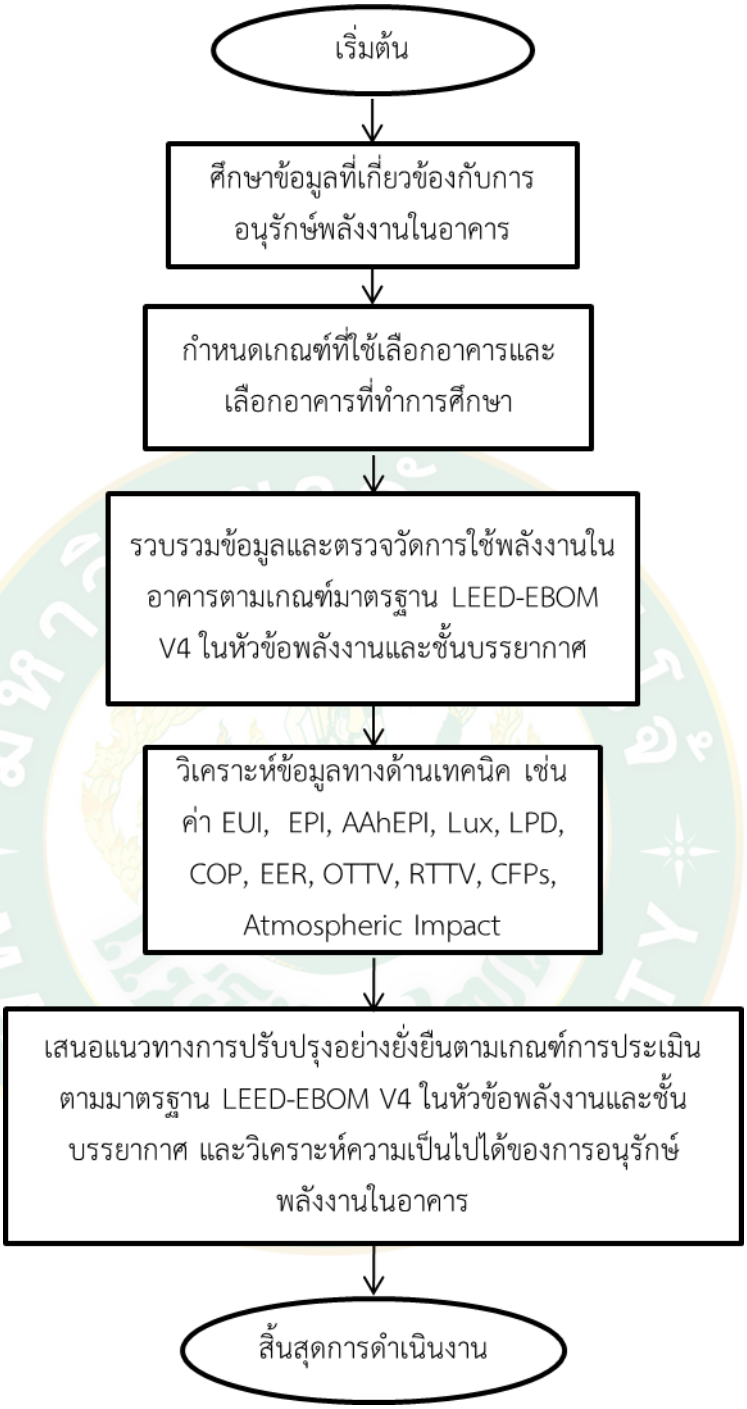
ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร เช่น ทฤษฎีระบบการประเมินอาคาร LEED-EBOM V4 หัวข้อพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) ทฤษฎีระบบปรับอากาศ ทฤษฎีระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ทฤษฎีระบบหม้อแปลงไฟฟ้า ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาด้านนอกอาคาร และทฤษฎีสารทำความเย็น

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดเกณฑ์ที่ใช้เลือกอาคารและเลือกอาคารที่ทำการศึกษา

ขั้นตอนที่ 3 รวบรวมข้อมูลและตรวจวัดการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 ในหัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ อาทิ เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ข้อมูลการใช้งานอาคาร ขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบอื่นๆ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเทคนิค เช่น ค่า Energy Utilization Index (EUI) ค่า Energy Performance Index (EPI) ค่ า Annual Average hourly Energy Performance (AAhEPI) ค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ (Lux) ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (LPD) ค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) และการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการรั่วไหลของสารทำความเย็นในอาคาร คือ ค่า Carbon Footprints (CFPs) และ Atmospheric Impact ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4

ขั้นตอนที่ 5 เสนอแนวทางการปรับปรุงอย่างยั่งยืนตามเกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 ในหัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร เช่น วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้จากมาตรการ และระยะเวลาคืนทุน



ภาพที่ 42 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

อาคารตัวอย่างในงานวิจัย

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกอาคารที่ศึกษา คือ อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เนื่องจากเป็นอาคารเรียนรวมที่มีการใช้งานของนักศึกษาจากคณะต่างๆ เป็นจำนวนมากกว่า 1,000 คนต่อวัน ซึ่งยากต่อการจัดการพลังงานภายในอาคาร อาคารยังมีการเปิดใช้งานมากกว่า 10 ปี มีพื้นที่ใช้สอยอาคารมากกว่า 2,000 m^2 และยังมีการใช้พลังงานต่อเดือนสูงกว่า 30,000 kWh/month ซึ่งมีการใช้พลังงานสูงเป็นอันดับต้นๆ ของอาคารในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในภาพที่ 43 แสดงลักษณะทั่วไปของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ภาพที่ 43 ลักษณะทั่วไปของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

การรวบรวมข้อมูลและตรวจวัดข้อมูลระบบต่างๆ ที่มีการใช้พลังงาน

ในงานวิจัยนี้ทำการดำเนินการเก็บข้อมูลด้านต่างๆ ในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ซึ่งแบ่งรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

1. การรวบรวบข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

การรวบรวบข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ประกอบด้วยการดำเนินงาน 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 รวบรวมข้อมูลพื้นฐานตาม ASHRAE Preliminary Energy Use และ ASHRAE Level 1 Walk-Through โดยมีการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานตาม ASHRAE Preliminary Energy Use ประกอบด้วย

1.1.1 ข้อมูลทั่วไปที่ตั้งอาคาร จำนวนชั้นของอาคาร ระยะเวลาการใช้งานอาคาร อายุการใช้งาน ลักษณะการใช้งานอาคาร แผนการบำรุงรักษา และระบบระบายอากาศภายในอาคาร โดยได้ข้อมูลจากการสำรวจและสัมภาษณ์กับเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลอาคาร

1.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) โดยได้ข้อมูลจากการ รวบรวมค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน เป็นระยะเวลา 12 เดือน โดยสอบถามข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบด้านพลังงานของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

1.1.3 ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละระบบในอาคาร ซึ่งแบ่งเป็นระบบไฟฟ้าส่องสว่าง หาได้จากการสำรวจปริมาณกำลังไฟฟ้าแต่ละหลอดภายในอาคารโดยเก็บข้อมูลแยกเป็นห้อง ดังภาพที่ 44 และเก็บข้อมูลจำนวนชั่วโมงการใช้งานแต่ละห้องโดยจำแนกเป็นแต่ละประเภทห้องแบ่งออกเป็น ประเภทห้องเรียนจำนวนชั่วโมงการใช้งานหาได้จากช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอนจากตารางสอน ดังภาพที่ 45 ประเภทห้องสำนักงานกำหนดจำนวนเวลาการใช้งานเท่ากับ 8 ชั่วโมงต่อวัน เนื่องจากการใช้งานของห้องสำนักงานเริ่มใช้งานตั่งแต่เวลา 8.30-16.30 น. และประเภทห้องอื่นๆ ชั่วโมงการใช้งานได้จากการสำรวจตรวจสอบการใช้งาน การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศหาได้จากการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องอัดไอ โดยเครื่องมือตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ดังภาพที่ 46 ซึ่งแยกตรวจวัดเครื่องปรับอากาศเป็นแต่ละห้องโดยทำการสุ่มตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่มียี่ห้อและขนาดทำความเย็นขนาดเดียวกัน จากนั้นเก็บข้อมูลจำนวนชั่วโมงการใช้งานเช่นเดียวกับระบบไฟฟ้าส่องสว่าง และหาร้อยละการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 70% (กระทรวงพลังงาน, 2552) ในขั้นตอนสุดท้ายสุดท้ายทำการหาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ ได้จากการนำปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในปีปัจจุบันลบด้วยผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

ภาพที่ 44 ลักษณะกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า

ตารางการใช้ห้อง

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ อาคารแม่โจ้ 70 ปี : สร้างปัญญาเพื่อแผ่นดิน

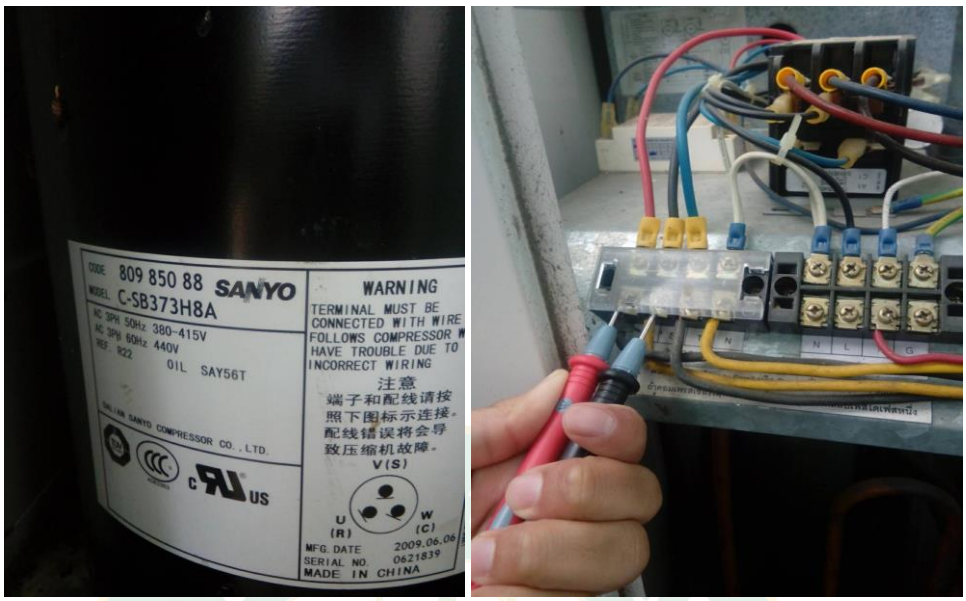
ห้องxx ศร201_1 ประเภท : ไม่กำหนด ความจุ : 260 สถานภาพ : N พื้นที่ :

คุณลักษณะ

ปีการศึกษา 2559 / 1 2 3 ระหว่าง 29/1/2561 - 4/2/2561

Day/Time	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00
จันทร์	วท101 (3) 1, L1		วท101 (3) 2, L1			วท102 (3) 1, L1		วท102 (3) 2, L1	
อังคาร	วท102 (3) 3, L1			สธ437 (3) 1, L1		วท101 (3) 3, L1			
พุธ									
พฤหัสบดี	วท101 (3) 1, L1		วท101 (3) 2, L1			วท102 (3) 1, L1		วท102 (3) 2, L1	
ศุกร์	วท102 (3) 3, L1			สธ437 (3) 1, L1		วท101 (3) 3, L1			

ภาพที่ 45 ตัวอย่างตารางเรียนของห้อง 201/1



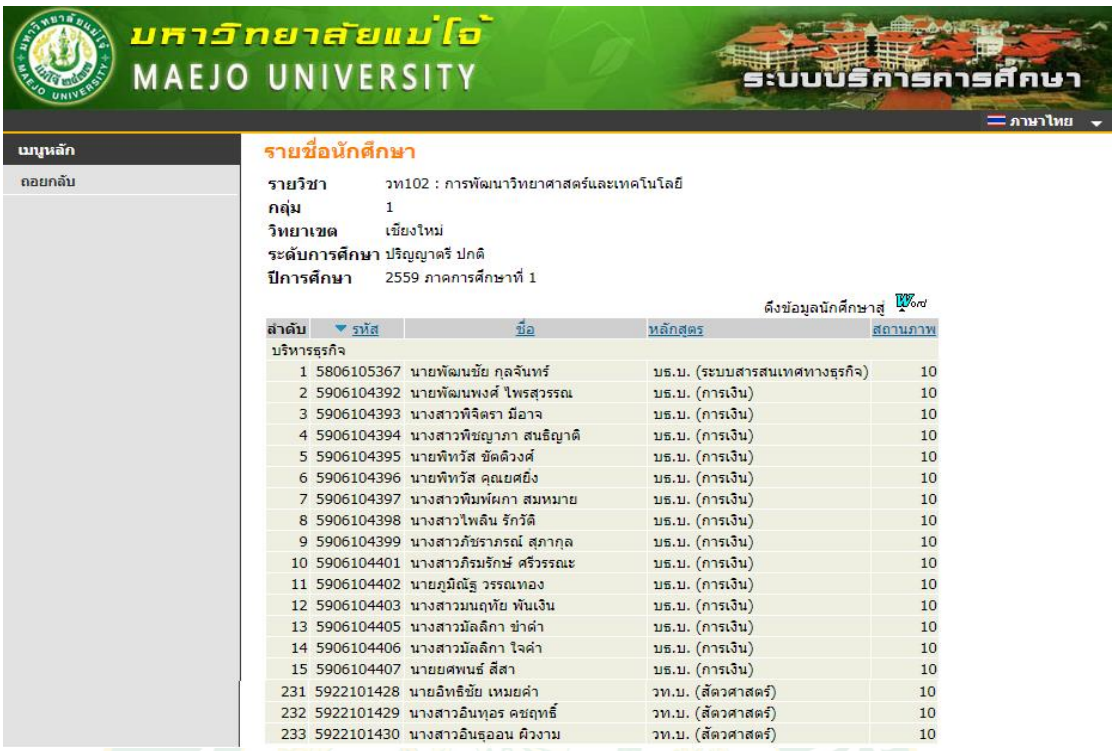
ภาพที่ 46 ลักษณะเครื่องอัดไอและแผงวงจรเครื่องปรับอากาศ

1.1.4 ข้อมูลพื้นที่อาคารโดยแบ่งเป็นพื้นที่ใช้งานทั้งหมด พื้นที่ปรับอากาศและพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ซึ่งหาได้จากการสำรวจและสัมภาษณ์ข้อมูลจากเจ้าหน้าด้านพลังงานของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

1.1.5 ข้อมูลค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงที่สุดและต่ำที่สุดต่อพื้นที่การใช้งาน ได้จากการตรวจวัดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าภายในอาคารซึ่งตรวจวัดที่ ตู้ MDB (Main Distribution Board) ด้วยเครื่องตรวจวัดพลังงานเก็บข้อมูลทุก 15 นาที ต่อเนื่อง 7 วัน จากนั้นนำค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดและต่ำที่สุดหารด้วยพื้นที่การใช้งานทั้งหมดของอาคาร เพื่อหาเป็นค่าเฉลี่ยความต้องการใช้พลังงานสูงสุด (Average Maximum Demand) และมีค่าเฉลี่ยความต้องการใช้พลังงานต่ำสุด (Average Minimum Demand)

1.2 สำหรับการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานตาม ASHRAE Level 1 Walk-Through โดยมีการรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้

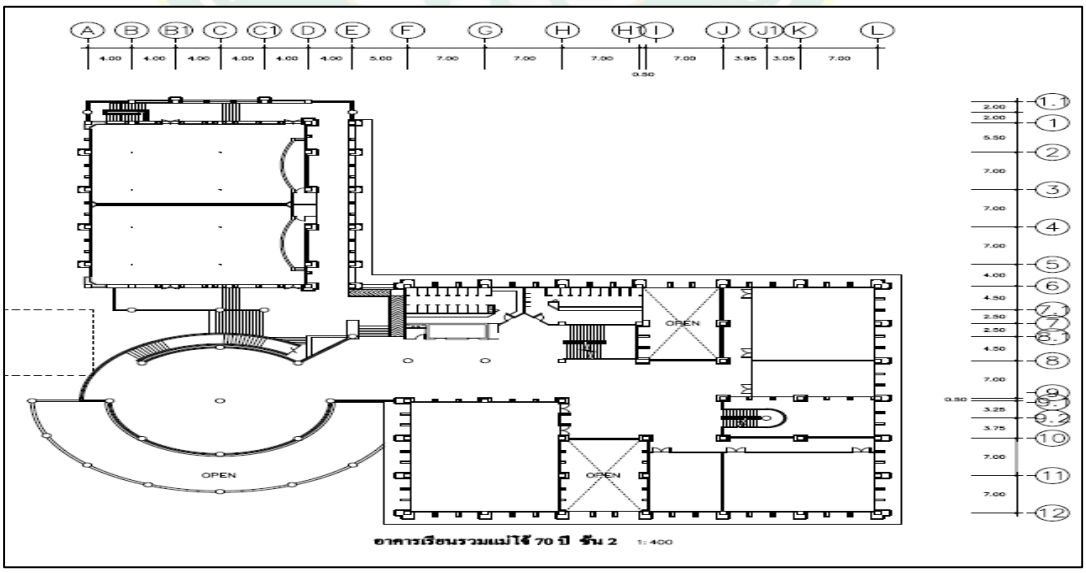
1.2.1 รวบรวมข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคารแต่ละห้อง สำหรับประเภทห้องเรียนได้จำนวนผู้ใช้งานห้องเรียนจากตารางเรียนตารางสอนโดยจะใช้จำนวนผู้ใช้งานห้องเรียนสูงที่สุดในรายวิชาเป็นจำนวนผู้ใช้งานของห้อง ดังภาพที่ 47 และสำหรับประเภทห้องอื่นๆ จะได้ข้อมูลจากเดินสำรวจ



ลำดับ	รหัส	ชื่อ	หลักสูตร	สถานภาพ
บริหารธุรกิจ				
1	5806105367	นายพัฒนชัย กุลจันทร์	บธ.บ. (ระบบสารสนเทศทางธุรกิจ)	10
2	5906104392	นายพัฒนพงศ์ ไพรสุวรรณ	บธ.บ. (การเงิน)	10
3	5906104393	นางสาวพิจิตรา มีอาจ	บธ.บ. (การเงิน)	10
4	5906104394	นางสาวพิชญาภา สนธิญาติ	บธ.บ. (การเงิน)	10
5	5906104395	นายพิทวัส ขัดดิวงศ์	บธ.บ. (การเงิน)	10
6	5906104396	นายพิทวัส คุณยศยิ่ง	บธ.บ. (การเงิน)	10
7	5906104397	นางสาวพิมพ์ผกา สมหมาย	บธ.บ. (การเงิน)	10
8	5906104398	นางสาวไพลิน รักวัดิ	บธ.บ. (การเงิน)	10
9	5906104399	นางสาวภัชราภรณ์ สุภากุล	บธ.บ. (การเงิน)	10
10	5906104401	นางสาวภิรมรักษ์ ศรีวรรณะ	บธ.บ. (การเงิน)	10
11	5906104402	นายภูมิณัฐ วรรณทอง	บธ.บ. (การเงิน)	10
12	5906104403	นางสาวมนฤทัย พันเงิน	บธ.บ. (การเงิน)	10
13	5906104405	นางสาวมัลลิกา ข่าค่า	บธ.บ. (การเงิน)	10
14	5906104406	นางสาวมัลลิกา ใจค่า	บธ.บ. (การเงิน)	10
15	5906104407	นายยศพนธ์ สีสา	บธ.บ. (การเงิน)	10
231	5922101428	นายอิทธิชัย เหมยค่า	วท.บ. (สัตวศาสตร์)	10
232	5922101429	นางสาวอินทุอร คชฤทธิ์	วท.บ. (สัตวศาสตร์)	10
233	5922101430	นางสาวอินธุออน ผิวงาม	วท.บ. (สัตวศาสตร์)	10

ภาพที่ 47 ตัวอย่างข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคาร ของห้อง 201/1 อาคาร 70 ปี แม่โจ้

1.2.2 ข้อมูลพื้นที่แต่ละห้องภายในอาคาร โดยหาพื้นที่จากแบบแปลนอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ดังภาพที่ 48



ภาพที่ 48 ตัวอย่างแบบแปลนอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ชั้น 2

1.3 รวบรวมข้อมูลระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร จากมิเตอร์วัดพลังงานที่มีการบันทึกค่าพลังงานทั้งปัจจุบันและอดีตของข้อมูลรายเดือนและรายปี โดยมีข้อมูลปีปัจจุบัน (ปี 2559) และข้อมูลย้อนหลัง 3 ปีต่อเนื่อง คือ ปี 2558 ปี 2557 และปี 2556

1.4 ตรวจวัดพลังงานแต่ละระบบภายในอาคารโดยมีระบบปรับอากาศ ข้อมูลการใช้สารทำความเย็น ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบอื่นๆ (เครื่องใช้ไฟฟ้า) และหม้อแปลงไฟฟ้าและตู้ MDB

1.4.1 ระบบปรับอากาศ ข้อมูลทั่วไปของระบบปรับอากาศทำการสำรวจ ชนิดของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อเครื่องปรับอากาศ ขนาดทำความเย็น ปีที่ติดตั้ง ชนิดสารทำความเย็น (กรณีแต่ละห้องมีชนิด ยี่ห้อ ขนาดทำความเย็น และปีที่ติดตั้งไม่เหมือนกันให้ทำการเก็บข้อมูลเพิ่ม) และชั่วโมงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศในแต่ละห้องจากตารางเรียนตารางสอน

สำหรับการเก็บข้อมูลด้านประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐานคู่มือฝึกอบรม (ASHRAE, 2004) การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน โดยจะทำการตรวจวัดประสิทธิภาพแต่ละขนาดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในแต่ห้อง (ห้องที่มีเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็นและยี่ห้อเดียวกันให้สุ่มตรวจวัด 1 เครื่อง แต่ห้องที่มีเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็นไม่เท่ากันต้องตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแยกเป็นแต่ละขนาดทำความเย็นภายในห้อง) ซึ่งมีขั้นตอนตรวจวัดดังต่อไปนี้

วัดขนาดความกว้างและความยาวของช่องลมจ่ายเพื่อใช้คำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัด

วัดอุณหภูมิ (^{o}C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศทางด้านลมกลับ (Return Air) โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

วัดอุณหภูมิ (^{o}C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศทางด้านลมจ่าย (Supply Air) โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

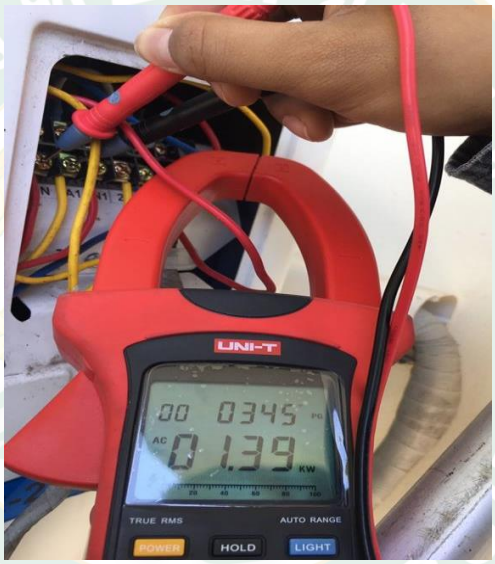
วัดความเร็วของลมที่ผ่านเข้าทางด้านช่องลมจ่าย (V) โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม และควรทำการวัดหลายๆ จุดบนหน้าตัดของช่องลมกลับ (อย่างน้อย 3 จุด) ดังภาพที่ 49

วัดกำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน โดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter) ดังภาพที่ 50

หาเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์โดยประเมินอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศมีการทำงานของคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 70%

ในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งด้านลมกลับและลมจ่ายทำการวัดในเวลาเดียวกันกับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยให้ปรับความเร็วลมของ Fan Coil Unit สูงสุดตามพิกัดและปรับ Set Point ที่ 24-25 ^{o}C

ภาพที่ 49 ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ช่องส่งลมเย็นและช่องลมกลับ



ภาพที่ 50 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องอัดไอ

1.4.2 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ทำการตรวจวัดหลอดไฟภายในอาคาร โดยเก็บข้อมูลและตรวจวัด 2 ประเภทคือ พฤติกรรมการใช้งาน และด้านประสิทธิภาพ ด้านพฤติกรรมการใช้งาน ทำการเก็บข้อมูลจากการสำรวจตรวจสอบ ชั่วโมงการใช้งานหลอดไฟฟ้าแยกเป็นแต่ละห้อง ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูลระบุไว้ในขั้นตอนที่ 1 ชนิดหลอดไฟ ชนิดโคม จำนวนหลอดต่อโคม จำนวนหลอดไฟทั้งห้อง ตรวจวัดขนาดกำลังไฟฟ้าของแต่ละหลอดและบัลลาสต์ ดังภาพที่ 44

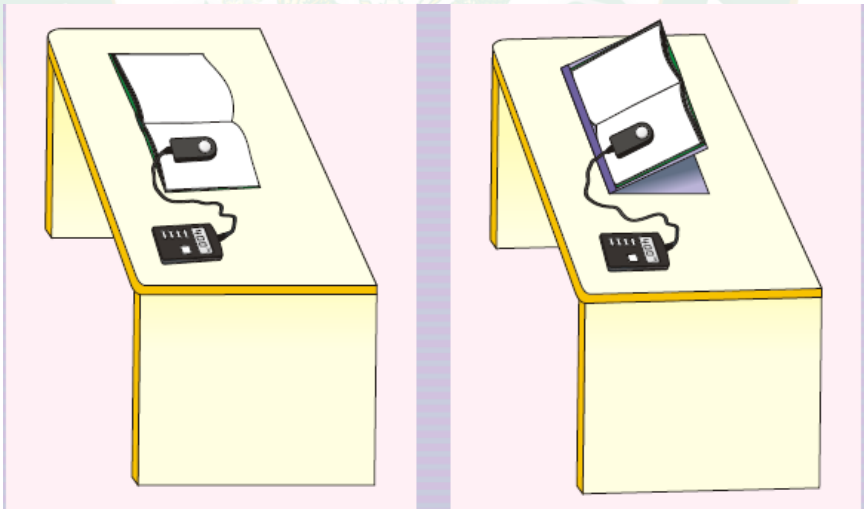
สำหรับด้านประสิทธิภาพสำรวจและตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าหลอดและบัลลาสต์ โดยการนำข้อมูลจาก Name Plate ที่อยู่บนหลอดไฟฟ้า ดังภาพที่ 44 จากนั้นตรวจวัดพื้นที่ห้องแต่ละห้องจาก

แบบแปลนและแยกประเภทแต่ละห้อง เช่น ห้องเรียน ห้องสำนักงาน ห้องน้ำ ทางเดิน และห้องประชุม เป็นต้น สุดท้ายตรวจวัดค่าความสว่าง (Lux)

โดยวิธีการตรวจวัดค่าความสว่าง จะใช้วิธีตรวจวัดแบบจุด (Spot Measurement) (ประกาศกระทรวงพลังงาน, 2552) เป็นการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างบริเวณที่มีคนต้องทำงานโดยใช้สายตาเฉพาะจุดหรือต้อง ใช้สายตาอยู่กับที่ในการทำงาน หรือจุดที่ทำงาน (Point of Work) โดยจะวางเครื่องวัดความสว่างในแนวระนาบเดียวกับชิ้นงาน หรือพื้นผิวที่สายตาตกกระทบ แล้วอ่านค่า ซึ่งค่าที่อ่านได้นำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IESNA

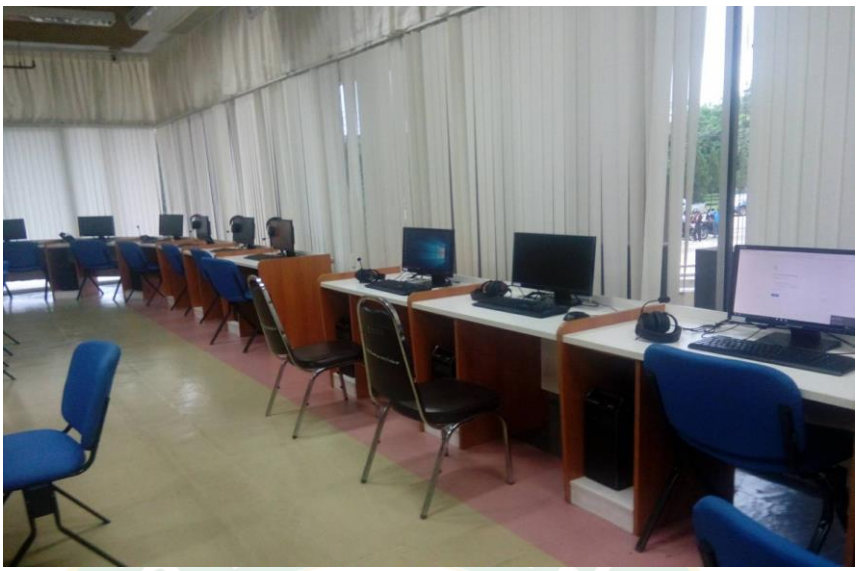
วิธีการเก็บข้อมูลค่าความสว่าง จะเริ่มจากแบ่งพื้นที่การตรวจวัดในแต่ละห้องเป็น 3 จุด คือ บริเวณหน้าห้อง บริเวณกลางห้อง และบริเวณหลังห้อง โดยจุดที่ตรวจวัดเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีแสงสว่างมากและน้อยของห้องนั้น การตรวจวัดจะนำอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความสว่างในตำแหน่งตรวจวัดที่กำหมด โดยวางอุปกรณ์บนระนาบที่ใช้งานสายตาทำงานของบุคคล เช่น ห้องเรียนจะมีการใช้งานสายตาบนโต๊ะเรียนให้วางอุปกรณ์ตรวจวัดบนระนาบที่มีการใช้สายตา ดังภาพที่ 51 เป็นต้น

ข้อควรระวังจุดที่ตรวจวัดจะต้องหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางบดบังแสง การตรวจวัดในตำแหน่งเดิมแต่พบว่าได้ค่าความสว่างไม่เท่ากันให้ใช้ค่าที่ต่ำที่สุด จุดตรวจวัดไม่ควรที่จะติดผนังหรือสิ่งกีดขวางมากเกินไป สุดท้ายหาค่าเฉลี่ยค่าความสว่างในจุดที่การตรวจวัดตรวจวัดสรุปเป็นแต่ละห้อง



ภาพที่ 51 วัดค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ (Lux) เฉพาะจุดที่ทำงาน

1.4.3 ระบบอื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ พัดลม ลำโพง ตู้เย็น โทรทัศน์ ทำการเก็บข้อมูลและตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดในแต่ละห้อง ดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 ตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

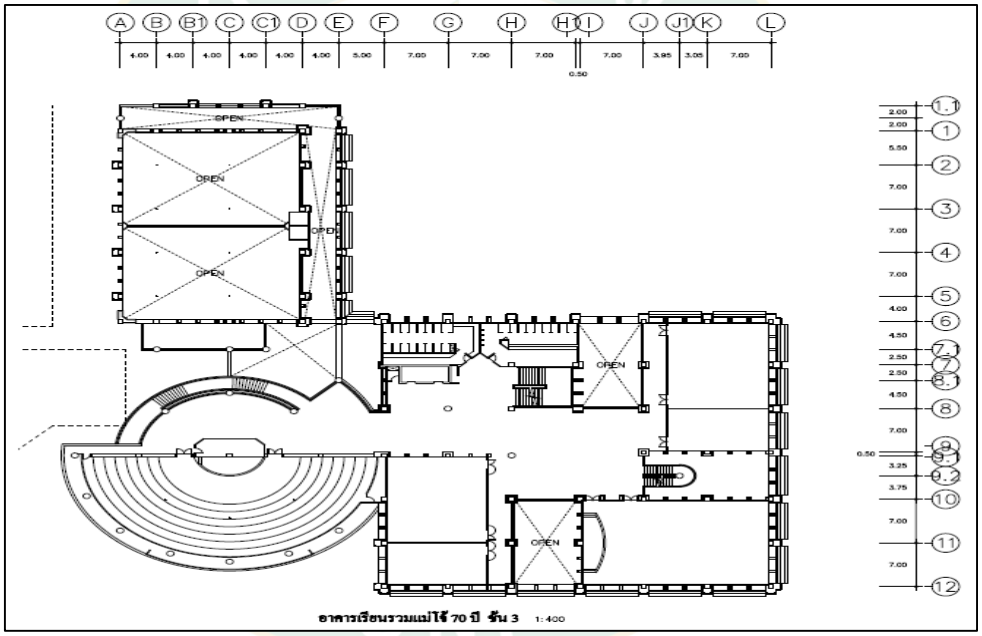
1.4.4. ระบบหม้อแปลงไฟฟ้าและตู้ Main Distribution Board (MDB) ทำการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า (kW) ค่า Power Factor (PF) ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (kVA) ที่ตู้ MDB ของอาคารด้วยอุปกรณ์ Energy Meter โดยทำการวัดและเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน บันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที ดังภาพที่ 53

ภาพที่ 53 การตรวจวัดด้านไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ที่ ตู้ Main Distribution Board (MDB)

1.4.5 กรอบอาคาร สำหรับกรอบอาคารจะต้องเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV)

สำหรับการวิเคราะห์ค่า OTTV มีขั้นตอนการตรวจวัดดังต่อไปนี้

- หาพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมดในแต่ละทิศแบ่งเป็น ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยการหาความยาวของอาคารในทิศนั้นๆ แต่ละชั้นจากแบบแปลนอาคาร ดังภาพที่ 54 และเก็บข้อมูลวัดความสูงของอาคารแต่ละชั้น ดังภาพที่ 55



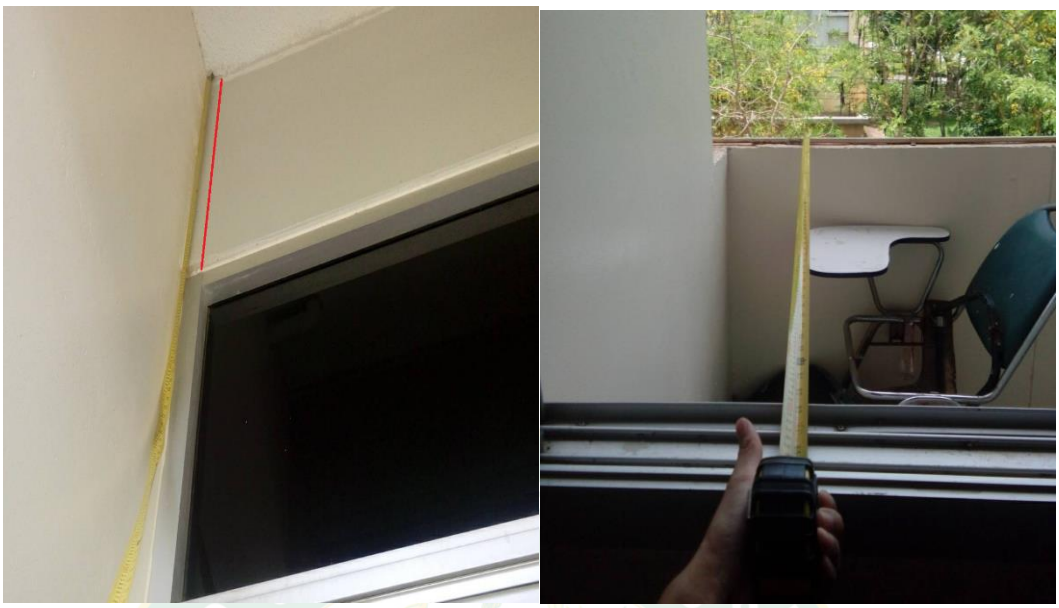
ภาพที่ 54 ลักษณะแบบแปลนอาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้ เพื่อหาความยาวแต่ละด้าน

ภาพที่ 55 ตรวจวัดความสูงของชั้น

- หาพื้นที่ผนังโปร่งแสงทั้งหมดในแต่ละทิศด้วยวิธีการตรวจวัด ดังภาพที่ 56 จากนั้นหาพื้นที่ผนังทึบโดยการนำพื้นที่ผนังทั้งหมดลบด้วยพื้นที่ผนังโปร่งแสง

ภาพที่ 56 การตรวจวัดหาพื้นที่กระจก

- สำหรับพื้นที่ผนังโปร่งแสงจะต้องตรวจวัดระห่างระหว่างขอบด้านบนของผนังโปร่งแสงกับอุปกรณ์บังแดด และตรวจวัดความยาวของอุปกรณ์บังแดดที่ยื่นออก ภาพที่ 57



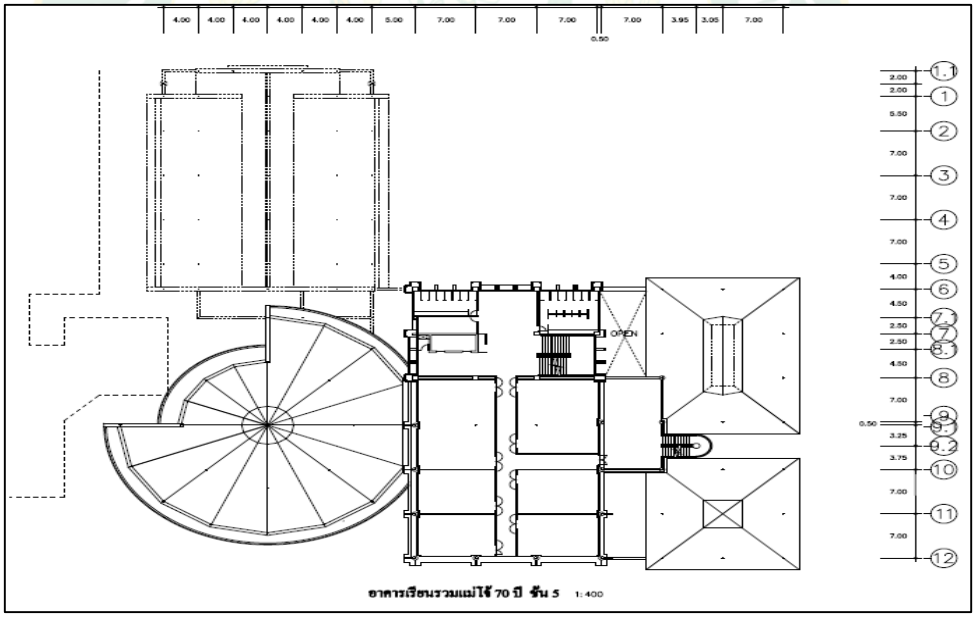
ภาพที่ 57 การตรวจวัดระห่างระหว่างขอบด้านบนของผนังโปร่งแสงกับอุปกรณ์บังแดด และความยาวของอุปกรณ์บังแดดที่ยื่นออก

- จำแนกวัสดุที่นำมาใช้ในพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่ผนังโปร่งแสง ด้วยวิธีการสอบถามกับเจ้าหน้าที่ด้านพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้

สำหรับการวิเคราะห์ค่า RTTV มีขั้นตอนการตรวจวัดดังต่อไปนี้

- จำแนกวัสดุที่นำมาใช้ทำหลังคา ด้วยวิธีการสอบถามกับเจ้าหน้าที่ด้านพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้
- หาพื้นที่และความชันของหลังคาจากการตรวจวัดและอ่านแบบแปลนในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ดังภาพที่ 58 และภาพที่ 59

ภาพที่ 58 ลักษณะหลังคาอาคาร 70 ปี แม่โจ้



ภาพที่ 59 ลักษณะหลังคาในแปลนอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ชั้นที่ 5

1.5 สรุปข้อมูลจากการตรวจวัดและการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2. การรวบรวมข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร

การรวบรวมข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

2.1 ตรวจสอบและเก็บข้อมูล ชนิดของสารทำความเย็นที่ใช้และปริมาณสารทำความเย็นที่มีการใช้งานในเครื่องปรับอากาศแต่ละขนาด โดยการรวบรวมข้อมูลทาง Name Plate ของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องภายในอาคารดังภาพที่ 60 สุดท้ายสรุปข้อมูลจากการตรวจวัดและการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

(ก) ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

(ข) ลักษณะเครื่องปรับอากาศปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package)
ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

(ค) ลักษณะ Name Plate ของเครื่องปรับอากาศ

ภาพที่ 60 ลักษณะ Name Plate ของเครื่องปรับอากาศและเครื่องภายในอาคาร

3. การรวบรวมข้อมูลด้านอื่นๆ

สำหรับการรวบรวมข้อมูลด้านอื่นๆ ภายในอาคารตาม ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere โดย แบ่งเป็นข้อมูลด้านการใช้งานระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงภายในอาคาร ข้อมูลด้านค่าความต้องการไฟฟ้าภายในอาคาร และข้อมูลด้านการใช้พลังงานสะอาด ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 สำรวจตรวจสอบการใช้งานโปรแกรมระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงมาใช้ภายในอาคารซึ่งในกรณีนี้อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้งานโปรแกรมระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง ดังภาพที่ 61

ภาพที่ 61 ตัวอย่างโปรแกรมระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง

กรณีที่มีการติดตั้งโปรแกรมตรวจวัดพลังงานขั้นสูง ให้สำรวจชนิดแหล่งพลังงานที่กับระบบตรวจวัดจะต้องตรงตามเกณฑ์ EA Credit 5 โดยการสำรวจตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจะต้องเป็นพลังงานที่มีการใช้งานในอาคารทั้งหมด 100% และพลังงานที่จะใช้กับระบบตรวจวัดจะต้องมีการใช้มากกว่า 20% เมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้รายปีทั้งหมดของอาคารลบปลั๊กโหลด (Plug Load Use) จากนั้นสำรวจลักษณะของระบบตรวจวัดระดับการใช้พลังงานขั้นสูงที่จะนำมาติดตั้งให้ตรงตามเกณฑ์ EA Credit 5 จากนั้นดึงข้อมูลตัวอย่าง 1 เดือน ที่โปรแกรมบันทึก อาธิ เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าความถี่ และค่าตัวประกอบไฟฟ้า

3.2 สำรวจแผนการจัดการและดำเนินการค่าความต้องการไฟฟ้าภายในอาคาร จากการสำรวจ พบว่า อาคาร 70 ปี แม่โจ้ ไม่มีแผนการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้า โดยจะต้องจัดหาวิธีการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจากการดึงข้อมูลกำลังไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาจากระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าขั้นสูงในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่วันจันทร์-วันศุกร์ เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้งานอาคารสูง จะใช้ข้อมูลของเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559 เนื่องจากเป็นเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดของปี

3.3 สำรวจการซื้อพลังงานสะอาดและเทคโนโลยีพลังงานทดแทนมาใช้ในอาคาร จากการสำรวจ พบว่า อาคาร 70 ปี แม่โจ้ ไม่มีการซื้อพลังงานสะอาดหรือใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนมาใช้ในอาคาร ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เสนอความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในอนาคต โดยใช้ระบบ Solar PV เข้ามาจัดการลดค่าความต้องการไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 4 สรุปข้อมูลจากการตรวจวัดและการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

เครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการศึกษา

วิธีการรวบรวมข้อมูลและตรวจวัดข้อมูลต่างๆ ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 อุปกรณ์ตรวจวัดและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อเครื่องมือ/อุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น	รายละเอียด
1. Power Clamp Meter	ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT 231	เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดเครื่องใช้ไฟฟ้า 2 เฟส โดยสามารถตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าตัวประกอบไฟฟ้า โดยมีค่า Resolution ±0.01 kW ใช้ตรวจวัดกับอุปกรณ์ Compressor ของเครื่องปรับอากาศ
2. Anemometer	ยี่ห้อ Lutron รุ่น AH-4223	เครื่องมือตรวจวัดค่าความเร็วลมบริเวณช่องจ่ายลมเย็น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ช่องจ่ายลมเย็นและช่องดูดลมกลับของระบบปรับอากาศ โดยมีค่า Accuracy ± 0.1 °C, ±0.1 %RH, ±0.1 m/s
3 Light Meter	ยี่ห้อ Center รุ่น 337	เครื่องมือตรวจวัดค่าความสว่างโดยจะตรวจวัดค่าความสว่างในแต่ละห้องภายในอาคาร โดยมีค่า Accuracy ±0.01 lux

ตารางที่ 14 อุปกรณ์ตรวจวัดและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือ/อุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น	รายละเอียด
4. Energy Meter	ยี่ห้อ Chauvin Arnoux รุ่น C.A 8334B	เครื่องมือตรวจวัดอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 เฟส ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงๆ ได้ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า และตู้ Main Distribution Board (MDB) โดยสามารถเก็บข้อมูลแต่ละช่วงเวลาได้สามารถตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าตัวประกอบไฟฟ้า ซึ่งใช้ตรวจวัดกับอุปกรณ์ ตู้ Main Distribution Board (MDB) ในอาคาร โดยมีค่า Accuracy Voltage ±0.5%, Current ±0.5%
5. Measuring tape	-	ตรวจวัดความยาวเป็นหน่วยเซนติเมตร และนิ้วได้ โดยใช้ตรวจวัดในส่วนของการวิเคราะห์ค่า OTTV และ RTTV

ตารางที่ 14 อุปกรณ์ตรวจวัดและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือ/อุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น	รายละเอียด
6. Measuring tape 50 m	-	เทปวัดใยแก้ว สำหรับตรวจวัดความยาวของอาคาร มีหน่วยเซนติเมตร และนิ้ว เพื่อใช้ตรวจวัดในส่วนของการวิเคราะห์ค่า OTTV และ RTTV
7. Electricians Rubber Gloves	Novax	ถุงมือสำหรับป้องกันไฟฟ้าแรงสูง โดยสามารถป้องกันแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 1000 V
8. Check lamp	-	ไขควงเช็คไฟ ใช้สำหรับเช็คการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้ากับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เพื่อความปลอดภัยจากการถูกไฟดูด

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ เพื่อประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานตามเกณฑ์ประเมิน LEED V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere แบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ประกอบด้วยการวิเคราะห์ตามหัวข้อ EA Prerequisite 1 EA Prerequisite 2 EA Credit 1 EA Credit 2 และ EA Credit 4 มีแนวทางการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1.1 การวิเคราะห์ EA Prerequisite 1 Energy Efficiency Best Management Practices การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานตาม ASHRAE Preliminary Energy Use มีข้อมูลดังต่อไปนี้

สรุปข้อมูลทั่วไปที่ตั้งอาคารตัวอย่าง จำนวนชั้นของอาคาร ระยะเวลาการใช้งานอาคาร อายุการใช้งาน ลักษณะการใช้งานอาคาร แผนการบำรุงรักษา ระบบระบายอากาศภายในอาคาร และข้อมูลพื้นที่อาคารโดยแบ่งเป็นพื้นที่ใช้งานทั้งหมด พื้นที่ปรับอากาศและพื้นที่ไม่ปรับอากาศ

สรุปข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละระบบในอาคารโดยแบ่งเป็นการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน รายปี และร้อยละในแต่ละระบบ และสรุปข้อมูลค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดและต่ำที่สุดต่อพื้นที่การใช้งานภายในอาคาร

การวิเคราะห์ข้อมูลตาม ASHRAE Level 1 Walk-Through โดยสรุปข้อมูลห้องแต่ละห้องภายในอาคาร โดยแยกเป็นประเภทห้องแต่ละห้อง จำนวนชั่วโมงการใช้งาน จำนวนผู้ใช้งานอาคารและพื้นที่ห้องในแต่ละห้องภายในอาคาร สุดท้ายนำข้อมูลที่สรุปในหัวข้อนี้มาวางแผนขั้นต้นในการใช้งานอาคารและกำหนดมาตรการการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

1.2 การวิเคราะห์ EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance สรุปข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าและค่า Energy Utilization Index (EUI) เฉลี่ยรายเดือนและรายปีในปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) ปี พ.ศ. 2558 ปี พ.ศ. 2557 และปี พ.ศ. 2556

วิเคราะห์ค่า Energy Utilization Index (EUI) เฉลี่ยรายปีในปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) เปรียบเทียบกับค่า Energy Utilization Index (EUI) เฉลี่ยปี พ.ศ. 2558 ปี พ.ศ. 2557 ปี พ.ศ. 2556 และเปรียบเทียบกับค่า Energy Utilization Index (EUI) เฉลี่ยสามปีย้อนหลังรวมกัน (ปี พ.ศ. 2558 ปี พ.ศ. 2557 และปี พ.ศ. 2556) โดยเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซนต์ซึ่งในปีปัจจุบัน (พ.ศ.

2559) จะต้องมีค่าเฉลี่ย Energy Utilization Index (EUI) ลดลง 25% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย Energy Utilization Index (EUI) สามปีย้อนหลังรวมกัน

สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์หาศักยภาพการใช้พลังงานในอาคารคือค่า Energy Utilization Index (EUI) หาจากอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้กับพื้นที่ที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน มีหน่วยคือ Wh/m^2

ค่า Energy Performance Index (EPI) (Bhanware, 2015) ใช้ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$EPI = \frac{EUI_{Present} - EUI_{Base}}{EUI_{Base}} \times 100\% \qquad \text{สมการที่ 27}$$

เมื่อ EPI คือ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (%)

$EUI_{Present}$ คือ ดัชนีการใช้พลังงานในปัจจุบัน (Wh/m^2)

EUI_{Base} คือ ดัชนีการใช้พลังงานของปีฐาน (Wh/m^2)

ค่า Annual Average hourly Energy Performance (AAhEPI) (Bhanware, 2015) หรืออัตราส่วนการใช้พลังงานต่อชั่วโมงการทำงานต่อพื้นที่ หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$AAhEPI = \frac{EUI}{hr} \qquad \text{สมการที่ 28}$$

เมื่อ AAhEPI คือ อัตราส่วนการใช้พลังงานต่อชั่วโมงการทำงานต่อพื้นที่ ($Wh/h \cdot m^2$)

EUI คือ อัตราส่วนของพลังงานที่ใช้กับพื้นที่ที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน (Wh/m^2)

hr คือ จำนวนชั่วโมงใช้งานของอาคารในหนึ่งปี (hr)

1.3 การวิเคราะห์ EA Credit 1 Existing Building Commissioning-Analysis วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพจากระบบต่างๆ ภายในอาคาร (ก่อนการปรับปรุง) มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1.3.1 ระบบปรับอากาศ สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบ แบ่งเป็นชนิดของระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร โดยแยกเป็นแต่ละขนาดทำความเย็น จำนวนเครื่องแต่ละขนาดทำ

ความเย็น ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแต่ละขนาดทำความเย็น และผลรวมพลังงานไฟฟ้ารายปีที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศในแต่ละขนาดทำความเย็น

วิเคราะห์ความเหมาะสมของขนาดทำความเย็นเครื่องปรับอากาศกับพื้นที่ห้อง ซึ่งจะวิเคราะห์แยกเป็นแต่ละห้องที่มีการใช้งานระบบปรับอากาศ โดยเปรียบเทียบขนาดทำความเย็นจากการใช้งานจริงกับพื้นที่ห้องตามค่ามาตรฐานต่อจำนวนเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง

วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ คือ ค่า COP และค่า EER โดยแบ่งเป็นแต่ละห้องที่มีการใช้งานระบบปรับอากาศ เปรียบเทียบตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013

1.3.2 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบ และสรุปแยกจำนวนและชนิดของหลอดไฟในแต่ละชั้น ทั้งลักษณะการควบคุมและติดตั้งหลอดไฟฟ้าระบบไฟฟ้าส่องสว่างในแต่ละประเภทพื้นที่

ด้านประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าส่องสว่างจะวิเคราะห์เป็น ค่า LUX ตามการใช้งานจริงในแต่ละห้องซึ่งวิเคราะห์เป็นแต่ละห้องและแยกเป็นประเภทห้อง โดยวิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th และค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (W/m^2) ซึ่งวิเคราะห์เป็นแต่ละห้องและแยกเป็นประเภทห้อง โดยวิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013

1.3.3 ระบบอื่นๆ วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบและสรุปกำลังไฟฟ้าและจำนวนในแต่ละอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งได้สรุปชนิดและจำนวนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ แยกตามประเภทของห้อง ภายในอาคารตัวอย่าง

1.3.4 หม้อแปลงไฟฟ้าและตู้ MDB วิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ จากตู้ MDB ภายในอาคาร เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็นค่าเฉลี่ยแต่ละวัน ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาโดยแบ่งเป็นช่วงเวลาทำงาน (วันจันทร์-วันศุกร์) และช่วงเวลาวันหยุด (วันเสาร์-วันอาทิตย์) ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟส ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุด และค่าเฉลี่ยตัวประกอบไฟฟ้า

1.3.5 กรอบอาคาร โดยแบ่งเป็นพื้นที่ด้านผนัง สรุปข้อมูลพื้นที่ผนังทั้งหมด พื้นที่ผนังทึบ พื้นที่ผนังโปร่งแสง และวัสดุที่ใช้ในผนังในแต่ละทิศ วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) เฉลี่ยรวมในแต่ละทิศและเฉลี่ยรวมทุกทิศ วิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐานกฎกระทรวง การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 ที่กำหนดไว้ว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังกรอบอาคารเฉลี่ยรวมทุกทิศไม่เกิน 45 W/m^2

สำหรับด้านหลังคา สรุปข้อมูลพื้นที่หลังคาทั้งหมด พื้นที่หลังทึบ พื้นที่หลังโปร่งแสง องศาเอียงของหลังคา และวัสดุที่ใช้ในหลังคา ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

วิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐานกฎกระทรวง การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ที่กำหนดไว้ว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคารเฉลี่ยรวมทุกทิศไม่เกิน 15 W/m^2

1.4 การวิเคราะห์ EA Credit 2 Existing Building Commissioning-Implementation กำหนดมาตรการต่างๆ ที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสูงขึ้น โดยวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานหลังมีมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ผลประหยัดทางพลังงานจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และระยะเวลาคืนทุน โดยระยะเวลาคืนทุน คิดแบบ Simple Payback Period ซึ่งหาได้จากเงินลงทุนต่อผลประหยัดที่ได้จากมาตรการ มีหน่วยคือ ปี

1.5 การวิเคราะห์ EA Credit 4 Optimize Energy Performance ประเมินผลรวมทั้งหมดของการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานหากมีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ให้ในอาคารตัวอย่าง โดยมีค่าการใช้พลังงานก่อนมีมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การใช้พลังงานหลังมีมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ผลประหยัดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และค่า Energy Utilization Index (EUI) หลังจากมีมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

วิเคราะห์ค่า Energy Utilization Index (EUI) หลังจากมีมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เปรียบเทียบกับ ค่า Energy Utilization Index (EUI) จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) และเปรียบเทียบกับค่า Energy Utilization Index (EUI) เฉลี่ยรวมจากปี พ.ศ. 2558 ปี พ.ศ. 2557 และปี พ.ศ. 2556 ตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 ซึ่งต้องแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานลดลง 27%

2. แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ประกอบด้วยการวิเคราะห์ตามหัวข้อ EA Prerequisite 4 และEA Credit 8 มีแนวทางการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์ EA Prerequisite 4 Fundamental Refrigerant Management สรุปข้อมูลชนิดของสารทำความเย็นภายในอาคาร ปริมาณการใช้สารทำความเย็น ความจุของสารทำความเย็น และประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ แต่ละขนาดทำความเย็นที่ใช้ภายในอาคาร

วิเคราะห์ปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นในอาคาร โดยแบ่งเป็น การรั่วไหลในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ การรั่วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน การรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ และสรุปรวมปริมาณการปล่อยสารทำความเย็นทั้งหมดของอาคาร สุดท้ายพิจารณากำหนดแนวทางการลดการปล่อยสารทำความเย็นที่ใช้ในอาคารจากเครื่องปรับอากาศ ตามมาตรฐาน LEED EBOM V4

2.2 การวิเคราะห์ EA Credit 8 Enhanced Refrigerant Management

สรุปปริมาณและชนิดสารทำความเย็นก่อนและหลังจากมีแนวทางการจัดการการลดการปล่อยสารทำความเย็นในอาคารที่ได้นำเสนอใน EA Prerequisite 4 และวิเคราะห์ปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นในอาคาร โดยแบ่งเป็น

2.2.1 การรั่วไหลในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ

2.2.2 การรั้วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น

2.2.3 การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน

2.2.4 การรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์

สุดท้ายวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CF) และค่าผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ (The atmospheric impact in the building) จากการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคาร จากก่อนและหลังมีแนวทางการจัดการการลดการปล่อยสารทำความเย็นในอาคาร

3. แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ ภายในอาคารตาม ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ประกอบด้วยการวิเคราะห์ตามหัวข้อ EA Credit 5 EA Credit 6 และ EA Credit 7 มีแนวทางการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ EA Credit 5 Advanced Energy Metering วิเคราะห์ลักษณะของแหล่งพลังงานที่ใช้กับระบบตรวจวัดและลักษณะการใช้งานของระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงว่าเป็นไปตามเกณฑ์ EA Credit 5

จากนั้นแสดงลักษณะตัวอย่างของข้อมูลที่ทางระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงมีการบันทึก และนำเสนอตัวอย่างข้อมูลทางไฟฟ้าที่มีการบันทึกเป็นช่วงเวลา 1 เดือน แสดงเป็น ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW_{MAX}) ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW_{Ave}) ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) ค่ากระแสไฟฟ้า (A) ค่าความถี่ไฟฟ้า (Hz) ค่าตัวประกอบไฟฟ้า (PF) เฉลี่ยในแต่ละวัน และวิเคราะห์ข้อมูลค่าความต้องการไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาใน 1 เดือน ของข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งจะแบ่งเป็นช่วงเวลาวันทำงาน (วันจันทร์-วันศุกร์) และวันหยุดราชการ

3.2 การวิเคราะห์ EA Credit 6 Demand Response สรุปข้อมูลค่าความต้องการไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ทุกๆ 15 นาที ในช่วงเวลาวันทำงาน จากข้อมูลตัวอย่างของระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง โดยใช้ข้อมูลเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559 สำหรับในกรณีที่อาคารมีการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการ และสรุปความสามารถในการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้าในอาคารและจัดหาวิธีการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อไป

สำหรับในกรณีที่อาคารมีการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการ สรุปข้อมูลค่าความต้องการไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ทุกๆ 15 นาที ในช่วงเวลาวันทำงาน จากข้อมูลตัวอย่างของระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง โดยใช้ข้อมูลเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559 และนำเสนอมาตรการการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งการนำเสนอมาตรการจะต้องไม่กระทบกับสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคาร และจะต้องเป็นมาตรการที่สอดคล้องกับการใช้โปรแกรมตอบสนองความต้องการในอนาคต

3.3 การวิเคราะห์ EA Credit 7 Renewable Energy and Carbon Offsets จากที่สำรวจอาคาร 70 ปี แม่โจ้ พบว่า ไม่มีการซื้อพลังงานสะอาดมาใช้ในอาคารและใช้พลังงานจากระบบพลังงานทดแทนในอาคาร

นำเสนอมาตรการที่มีความเป็นไปได้ในการซื้อพลังงานสะอาดมาใช้ในอาคารหรือใช้พลังงานจากระบบพลังงานทดแทนมาใช้ในอาคาร และวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการซื้อพลังงานสะอาดมาใช้ในอาคารหรือได้จากการใช้พลังงานทดแทน และวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CF) ที่ลดลงจากการนำเสนอมาตรการ ซึ่งค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CF) ที่ลดลงจากการซื้อพลังงานสะอาดมาใช้ในอาคารหรือใช้พลังงานจากระบบพลังงานทดแทน

สุดท้ายสรุปความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยระบบประเมินอาคารเขียวเกณฑ์มาตรฐาน LEED V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere และเสนอแนวทางการปรับปรุงหากจะพัฒนาการใช้พลังงานในอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere

สำหรับในงานวิจัยนี้มีหัวข้อที่ไม่ได้พิจารณา คือ EA Prerequisite 3 และ EA Credit 3 ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ EA Prerequisite 3 Building-Level Energy Metering สำหรับในหัวข้อนี้ไม่มีการวิเคราะห์เนื่องจากเนื่องจากเป็นหัวข้อที่มีใจความสำคัญในการติดตามการใช้พลังงาน ลักษณะการใช้พลังงานของอาคารในอนาคต หลังจากที่อาคารผ่านการรับรองเป็นอาคารเขียวตามมาตรฐาน LEED V4 ซึ่งในงานวิจัยอาคารตัวอย่างยังไม่ผ่านการรับรองการเป็นอาคารเขียว เพียงแต่ใช้มาตรฐานอาคารเขียว LEED-EBOM V4 มาใช้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงาน

การวิเคราะห์ EA Credit 3 Ongoing Commissioning สำหรับในหัวข้อนี้ไม่มีการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นหัวข้อที่มีเนื้อหาการวิเคราะห์หลังจากมีดำเนินการตามมาตรการจริง เพื่อที่จะดำเนินการทบทวนตรวจสอบมาตรการ แก้ไขข้อผิดพลาดในการดำเนินการและข้อบกพร่อง มีแผนในการบำรุงรักษา แต่สำหรับงานวิจัยนี้เป็นเพียงการประเมินนำเสนอมาตรการที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้อนุรักษ์พลังงานในอาคาร มิได้มีการนำมาใช้งานจริงในอาคารตัวอย่าง

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลในอาคารตัวอย่างเพื่อประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน ตามเกณฑ์ประเมิน LEED V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ซึ่งจากผลการศึกษานำเสนอตามที่เขียนไว้ในบทที่ 3 ขอนำเสนอผลการศึกษาเป็น 3 ส่วนได้แก่

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร
2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร
3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ประกอบด้วยการวิเคราะห์ตามหัวข้อ EA Prerequisite 1 EA Prerequisite 2 EA Credit 1 EA Credit 2 และ EA Credit 4 ซึ่งมีผลการผลวิเคราะห์ต่อไปนี้

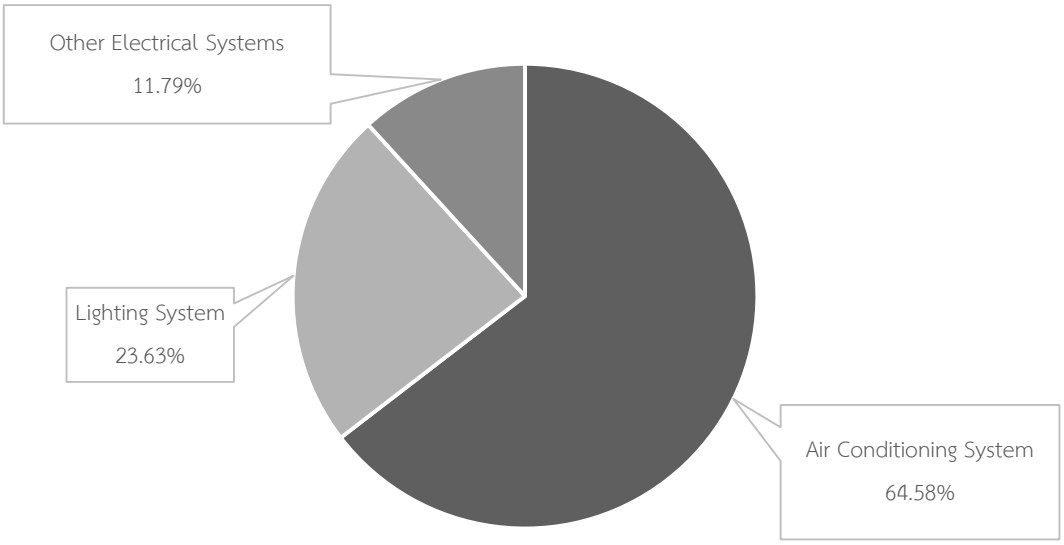
1. ผลการวิเคราะห์ EA Prerequisite 1 Energy Efficiency Best Management Practices

1.1 ผลการรวบรวมการใช้พลังงานเบื้องต้น จากการดำเนินตามเกณฑ์ ASHRAE Preliminary Energy Use พบว่า อาคารตัวอย่างที่ทำการศึกษา ได้แก่ อาคารเรียนรวม 70 ปี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ตั้งอยู่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ที่ละติจูด 18.78° และลองจิจูด 98.99° เป็นอาคารเรียนรวม ที่มีความสูง 5 ชั้น เปิดใช้งานปี พ.ศ. 2549 อายุอาคาร 11 ปี มีพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ 4,091.11 m^2 พื้นที่ไม่ปรับอากาศทั้งหมด 8,069.91 m^2 พื้นที่ใช้งานเท่ากับ 12,161.00 m^2 ลักษณะภายนอกของอาคารแสดงดังภาพที่ 62

ภาพที่ 62 อาคาร 70 ปี แม่โจ้

ประเภทของพลังงานที่ใช้ภายในอาคารทั้งหมด คือ พลังงานไฟฟ้า โดยในปี 2559 พบว่ามีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนเท่ากับ 38,383.38 kWh/month คิดเป็นเงินเท่ากับ 143,170.01 Baht/month มีค่าเฉลี่ยความต้องการใช้พลังงานสูงสุด (Average Maximum Demand) เท่ากับ 18.045 W/m^2 และมีค่าเฉลี่ยความต้องการใช้พลังงานต่ำสุด (Average Minimum Demand) เท่ากับ 0.82 W/m^2

สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละระบบ ภายในอาคารสามารถแบ่งตามสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 3 ส่วนได้แก่ ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 24,786.65 kWh/month คิดเป็น 64.58% ระบบไฟฟ้าส่องสว่างมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 9,071.47 kWh/month คิดเป็น 23.63% และระบบอื่นๆ ได้แก่ การใช้พลังงานจากปลั๊กโหลด ลิฟต์ และระบบประปา ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4,525.26 kWh/month คิดเป็น 11.79% ดังภาพที่ 63 และข้อมูลในตารางที่ 15



ภาพที่ 63 สัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละระบบ ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ตารางที่ 15 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ระบบ	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อเดือน (kWh/month)	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/year)
ระบบปรับอากาศ	24,407.34	292,888.10
ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง	9,071.47	108,857.63
ระบบอื่นๆ	4,904.57	58,854.83
เฉลี่ยรวม	38,383.38	460,600.56

1.2 ผลการรวบรวมข้อมูลการใช้งานเบื้องต้น ผลการรวบรวมข้อมูลทั่วไปเบื้องต้นได้ดำเนินตามเกณฑ์ ASHRAE Level 1 Walk-Through ได้เก็บข้อมูลการใช้งานของแต่ละห้องในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ประกอบด้วย ประเภทของห้อง ชั่วโมงการใช้งาน จำนวนผู้ใช้งานอาคาร และพื้นที่ของห้อง จากการสำรวจพบว่า อาคารตัวอย่างมีจำนวนห้องเรียนทั้งหมด 13 ห้อง แบ่งเป็นห้องเรียนคอมพิวเตอร์ 5 ห้อง ห้องสำนักงาน 4 ห้อง ห้องน้ำทั้งชายและหญิง 12 ห้อง ซึ่งมีการใช้งานห้องเรียนช่วงวันจันทร์จนถึงวันศุกร์ตั้งแต่เวลา 8.00-20.00 น. และช่วงวันเสาร์จนถึงวันอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 ดังข้อมูลในตารางที่ 16 สำหรับชั่วโมงการทำงานของห้อง พบว่า ห้อง 306 ซึ่งเป็นห้องเรียนมีชั่วโมงการใช้งานสูงสุดเท่ากับ 9.25 ชั่วโมง/วัน สำหรับห้องสตูดิโอ มีจำนวนชั่วโมงการใช้งานน้อยที่สุด เท่ากับ 3 ชั่วโมง/วัน และอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้งานเฉลี่ย 6.93 ชั่วโมง/วัน ห้อง

201/1 มีจำนวนผู้ใช้งานสูงสุดเท่ากับ จำนวน 250 คน/ห้อง/วัน จำนวนผู้ใช้งานอาคาร 70 ปี แม่โจ้ โดยรวมเท่ากับ 1,835 คน/วัน

ตารางที่ 16 ลักษณะการใช้งานแต่ละห้อง ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ห้อง	ประเภทห้อง	ชั่วโมงการใช้งาน ชั่วโมง/วัน	วัน/ปี	จำนวนผู้ใช้งาน (คน)	พื้นที่ห้อง (m^2)
ห้องคอมพิวเตอร์ A	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	8	250	70	230.50
ห้องคอมพิวเตอร์ B	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	8.17	250	100	259.66
ห้องคอมพิวเตอร์ C	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	8	250	100	259.66
ห้องแม่โขงชลราคี	ห้องสำนักงาน	8.17	250	100	212
ห้อง 201/1	ห้องเรียน	6.75	260	250	300.38
ห้อง 201/2	ห้องเรียน	5.50	208	200	300.38
ศูนย์สอบ 202	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	6	250	100	288.35
ห้องฝึกอบรม	ห้องเรียน	6	250	-	79.154
ห้องประชุม 204	ห้องเรียน	6.80	208	120	288.35
ห้อง 205	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	8	250	60	158.31
ห้อง 301	ห้องเรียน	5.50	208	50	388.40
ห้อง 302	ห้องเรียน	7	208	100	143.86
ห้อง 303	ห้องเรียน	3	208	60	70.24
ห้อง 304	ห้องเรียน	6.75	208	120	260.90
ห้อง 305	ห้องเรียน	8	208	50	81.04
ห้อง 306	ห้องเรียน	9.25	208	100	165.19
ห้อง 401	ห้องเรียน	7.50	208	100	149.62
ห้อง 402	ห้องเรียน	8	208	45	73.40
ห้อง 403	ห้องเรียน	7	208	100	255.71
ช่างเทคนิค	ห้องทำงาน	8	250	2	16
แควน้อยชลาสินธุ์	ห้องทำงาน	8	250	5	125.78
สตูดิโอ	ห้องทำงาน	3	250	3	284.99

สำหรับการใช้งานห้องเรียนแม่บ้านจะเป็นผู้ เปิด-ปิด ประตูห้องเรียนซึ่งใช้ระบบคีย์การ์ดเข้าออกดังภาพที่ 64

ภาพที่ 64 การเข้าใช้งานห้องเรียน อาคารเรียนรวม 70 ปีแม่โจ้

ระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบปรับอากาศภายในห้องตามชั่วโมงเรียนในแต่ละวัน สำหรับห้องบรรยายขนาดใหญ่ คือ ห้องบรรยาย 301 ห้อง 201/1 และห้อง 201/2 จะมีห้องควบคุมระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบปรับอากาศ โดยมีเจ้าหน้าที่เป็นผู้ดูแลด้านการใช้งาน สำหรับห้องเรียนคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ห้องคอมพิวเตอร์ A ห้องคอมพิวเตอร์ B และห้องคอมพิวเตอร์ C จะมีเจ้าหน้าที่เป็นผู้ดูแลห้อง เช่น การเปิดปิดห้อง และระบบต่างๆ ภายในห้องคอมพิวเตอร์ และสำหรับห้องน้ำและทางเดิน แม่บ้านจะเป็นผู้ดูแลด้านการใช้งานระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

แผนการบำรุงรักษาอาคารในปัจจุบัน พบว่า มีการล้างเครื่องปรับอากาศ ปีละ 2 ครั้ง สำหรับระบบอื่นๆ ภายในอาคารยังไม่มีแผนบำรุงรักษา การตั้งค่า Set Point ของระบบปรับอากาศ อยู่ในช่วง 22-25 ^{o}C และสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยบุคคลภายนอก อีกทั้งภายในอาคารไม่มีการทำคู่มือการใช้งานระบบต่างๆ ทำให้มีการใช้งานอย่างไม่แน่นอนในแต่ละวัน สำหรับระบบระบายอากาศภายในอาคารแต่ละห้องจะมีพัดลมระบายอากาศ ติดตั้งจำนวน 2 ตัวต่อห้อง ยกเว้นภายในห้อง 201/1 201/2 และห้อง 301 ซึ่งเป็นห้องเรียนขนาดใหญ่ มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ 6 ตัวต่อห้อง

2. ผลการวิเคราะห์ EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance

สำหรับการวิเคราะห์ตาม EA Prerequisite 2 ได้เลือกการวิเคราะห์กรณีที่ 2 อาคารไม่ได้รับการจัดอันดับ Energy Star (Projects Not Eligible for ENERGY STAR Rating) ตัวเลือกที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานเทียบกับข้อมูลในอดีต (Benchmark Against Historical Data) โดยที่เลือกข้อมูลปี 2559 เป็นปีปัจจุบัน และใช้ข้อมูลปี 2556 ปี 2557 และปี 2558 เป็นข้อมูลในอดีตที่นำมาเปรียบเทียบ ตามเกณฑ์ LEED-EBOM V4 พบว่า ตลอดปี 2556 ปี 2557 ปี 2558 และปี 2559 อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละปีสูงขึ้นตามลำดับโดยมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานดังต่อไปนี้

1. ปี 2556 มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเท่ากับ 9,350.00 kWh/month หรือคิดเป็นการใช้พลังงานทั้งหมด 112,200 kWh/year
2. ปี 2557 มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเท่ากับ 10,133.33 kWh/month หรือคิดเป็นการใช้พลังงานทั้งหมด 121,599.96 kWh/year
3. ปี 2558 มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเท่ากับ 27,707.50 kWh/month หรือคิดเป็นการใช้พลังงานทั้งหมด 332,490 kWh/year
4. ปี 2559 มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเท่ากับ 38,383.38 kWh/month หรือคิดเป็นการใช้พลังงานทั้งหมด 460,600.56 kWh/year

ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าสูงมากในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม และในเดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเปิดช่วงเปิดภาคเรียนการศึกษาทำให้มีการใช้พลังงานสูง และการใช้พลังงานในปี 2557 กับปี 2558 มีการใช้พลังงานสูงขึ้นจากเดิมมากถึง 173.43% เนื่องจากเดือนมิถุนายนปี 2557 มีการเริ่มใช้งานระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงในอาคาร ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้เป็นไปตามระบบตรวจวัดที่ติดตั้งใหม่ สำหรับเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้แก่ เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 59,826.51 kWh/month เนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อนและอยู่ในช่วงเปิดภาคเรียนการศึกษา ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าปีปัจจุบัน (ปี 2559) และ 3 ปี ย้อนหลัง (ปี 2558 ปี 2557 และ ปี 2556) ในแต่ละเดือนของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ได้แสดงดังตารางที่ 16

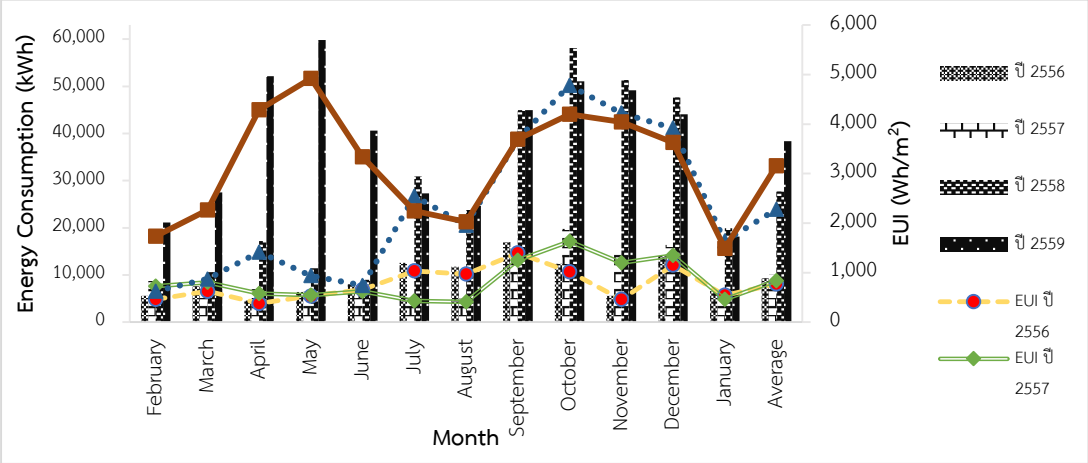
ตารางที่ 16 การใช้ไฟฟ้าปีปัจจุบัน (ปี 2559) และ 3 ปี ย้อนหลัง

เดือน	ปี 2556 (kWh/month)	ปี 2557 (kWh/month)	ปี 2558 (kWh/month)	ปี 2559 (kWh/month)
มกราคม	5,600	8,800	7,600	21,108.69
กุมภาพันธ์	7,600	9,800	10,600	27,512.71
มีนาคม	4,600	7,000	17,200	52,157.62
เมษายน	6,400	6,600	11,400	59,826.51
พฤษภาคม	8,000	7,600	9,000	40,609.02
มิถุนายน	12,600	5,200	30,923.22	27,342.71
กรกฎาคม	11,800	5,000	23,774.96	24,662.45
สิงหาคม	17,000	15,200	44,970.21	44,922.72
กันยายน	12,400	19,800	58,122.27	51,045.35
ตุลาคม	5,600	14,600	51,344.95	49,192.43
พฤศจิกายน	14,000	16,400	47,637.92	44,089.98
ธันวาคม	6,600	5,600	19,916.47	18,130.36
ค่าเฉลี่ย	9,350	10,133.33	27,707.50	38,383.38
ผลรวมต่อปี (kWh/year)	112,200	121,599.96	332,490	460,600.56

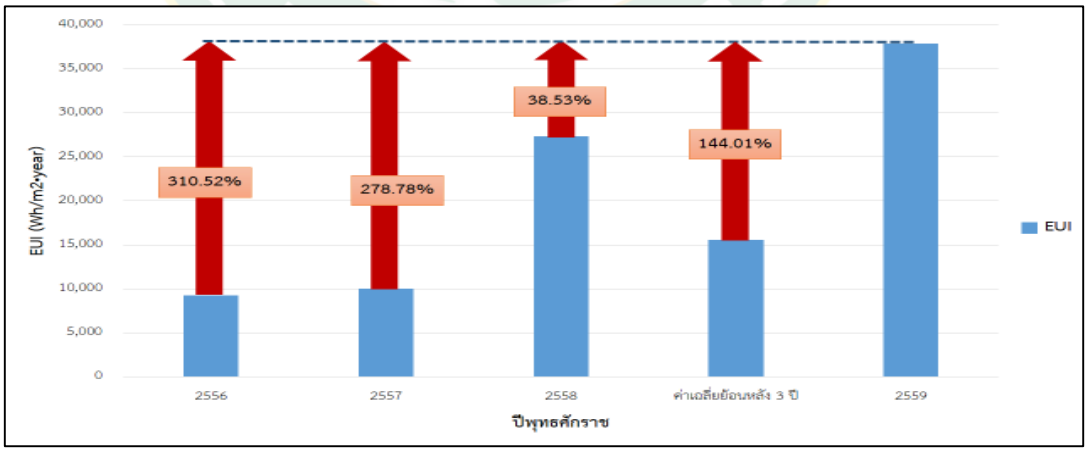
จากนั้นได้วิเคราะห์ค่า EUI ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4. หัวข้อ EA Prerequisite 2 จากภาพที่ 65 (ก) พบว่า

1. ปี 2556 มีค่า EUI เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 769.00 Wh/m^2•month คิดเป็นค่า EUI เท่ากับ 9,228.00 Wh/m^2•year
2. ปี 2557 มีค่า EUI เฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 833.00 Wh/m^2•month คิดเป็นค่า EUI เท่ากับ 9,996.00 Wh/m^2•year
3. ปี 2558 มีค่า EUI เฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 2,278.00 Wh/m^2•month คิดเป็นค่า EUI เท่ากับ 27,336.00 Wh/m^2•year
4. ปี 2559 มีค่า EUI เฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 3,156.00 Wh/m^2•month คิดเป็นค่า EUI เท่ากับ 37,872.22 Wh/m^2•year

แนวโน้มของค่า EUI ของอาคารเรียนรวม 70 ปี มีลักษณะสูงขึ้นทุกๆ ปี เมื่อเปรียบเทียบค่า EUI เฉลี่ยในปี 2559 กับปีต่างๆ สามารถนำมาวิเคราะห์เป็นค่า Energy Performance Index (EPI) หรือค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากสมการที่ 27 ได้ ซึ่งสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ย EPI ปี 2559 สูงกว่า ปี 2556 ปี 2557 และปี 2558 เท่ากับ 310.52% 278.78% และ 38.53% ตามลำดับ และพบว่าค่าเฉลี่ย EPI ปี 2559 สูงกว่าค่าเฉลี่ย EPI ของทุกปีเท่ากับ 144.02% ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การรับรอง ตามมาตรฐาน LEED V4. หัวข้อ EA Prerequisite 2 ที่อาคารเขียวจะต้องมีค่า EPI ลดลง 25% เมื่อเทียบกับข้อมูลการใช้พลังงาน 3 ปี ย้อนหลัง แสดงดังภาพที่ 65 (ข)



(ก) การใช้พลังงานไฟฟ้า และค่า EUI ในแต่ละเดือน



(ข) ค่าเฉลี่ย EUI ในแต่ละปีและเปรียบเทียบร้อยละที่เพิ่มขึ้นกับปีปัจจุบัน

ภาพที่ 65 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและค่า EUI ของอาคารเรียนรวม 70 ปี

3. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 1 Existing Building Commissioning-Analysis

การดำเนินตามขั้นตอนนี้ได้ทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลด้านไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ โดยการตรวจวัดเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Level-2 Energy Audit แบ่งเป็นการตรวจสอบในระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง และระบบอื่นๆ นอกจากนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลประเมินประสิทธิภาพด้านกรอบอาคาร และหม้อแปลงและตู้ MDB เพื่อหาแนวทางการใช้พลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพ

3.1 การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างอาคาร 70 ปี แม่โจ้

3.1.1 ข้อมูลระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าส่องสว่างเท่ากับ 108,857.63 kWh/year หรือคิดเป็น 9,071.47 kWh/month อาคารมีการใช้หลอดไฟทั้งหมด 1,295 หลอด โดยแบ่งเป็นการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 จำนวน 644 หลอด คิดเป็น 49.73% หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 ทั้งหมด 310 หลอด คิดเป็น 23.94% และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC จำนวน 341 หลอด คิดเป็น 26.33% แสดงรายละเอียดของหลอดไฟแต่ละชั้น ดังตารางที่ 17

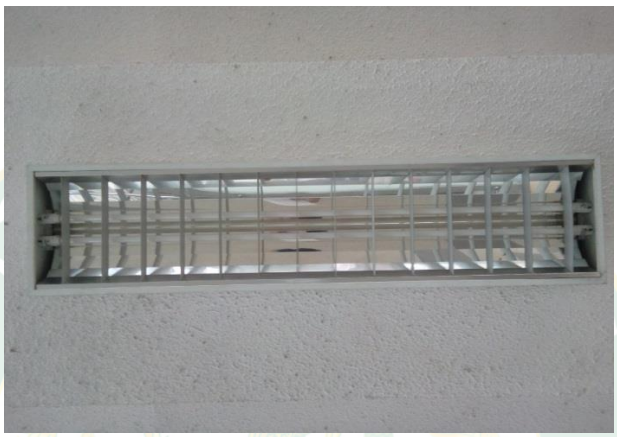
สำหรับระบบสวิตซ์ควบคุมหลอดไฟฟ้า ยังไม่มีระบบการเปิดปิดอัตโนมัติ การควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟฟ้าในแต่ละห้องจะมีแม่บ้านประจำอาคารเป็นผู้ดูแลการเปิดปิด โดยรายละเอียด สถานที่ติดตั้ง ชนิด ขนาด และชั่วโมงการใช้งานของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

ตารางที่ 17 ชนิดหลอดไฟและจำนวนในแต่ละชั้น ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ชั้น / ชนิด	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 28 W	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 36 W	หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC 23 W	หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC 11 W	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 18 W
1	222	-	56	48	26
2	148	176	-	24	-
3	148	56	141	24	-
4	74	26	-	24	-
5	52	26	-	24	-
รวม	644	284	197	144	26
		รวม			1,295

จากผลสำรวจอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีลักษณะการใช้งานหลอดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าส่องสว่างในแต่ละประเภทพื้นที่ ตามชนิดของหลอดไฟดังต่อไปนี้

- ห้องเรียน ห้องคอมพิวเตอร์ และห้องสำนักงาน มีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 ติดตั้งสองหลอดต่อหนึ่งโคม และลักษณะโคมเป็นชนิด Reflector ดังภาพที่ 66



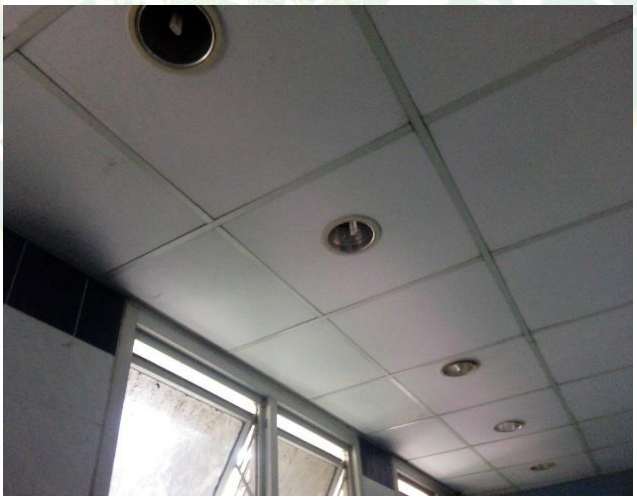
ภาพที่ 66 ลักษณะการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 อาคาร 70 ปี แม่โจ้

- ห้องเรียน 201/1 และ ห้องเรียน 202/2 ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 ติดตั้งหนึ่งหลอดต่อหนึ่งโคม และลักษณะโคมเป็นชนิด Reflector ดังภาพที่ 67

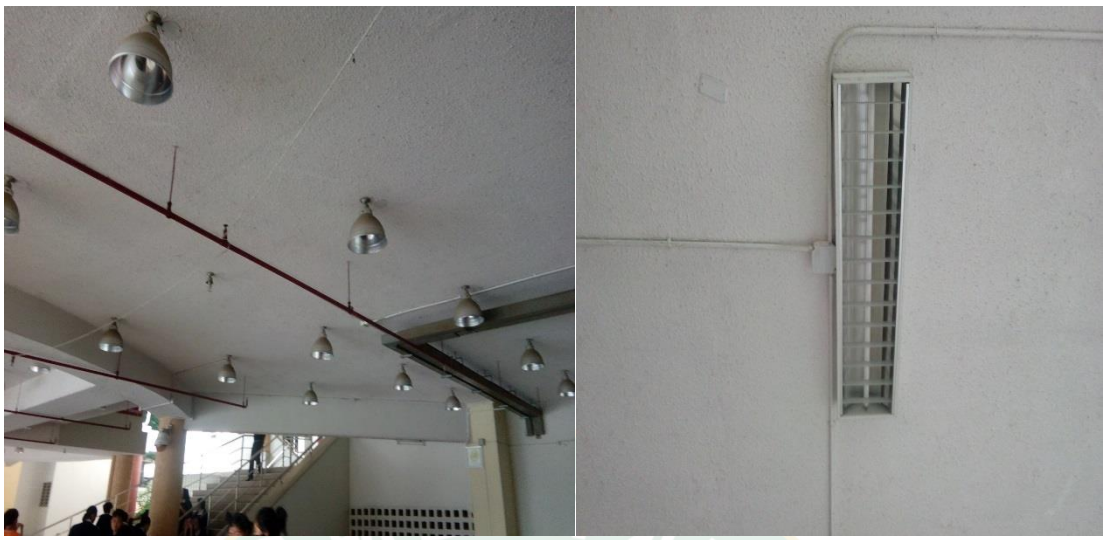
ภาพที่ 67 ลักษณะการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 ห้องเรียน 201/1 และ ห้องเรียน 202/2 อาคาร 70 ปี แม่โจ้

- ห้องเรียน 301 มีลักษณะการติดตั้งหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ติดตั้งสองหลอดต่อหนึ่งโคม และลักษณะโคมเป็นชนิด Reflector ดังภาพที่ 68

(ก) ลักษณะการใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ห้องเรียน 301



(ข) ลักษณะการใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ห้องน้ำ



(ค) ลักษณะการใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ทางเดิน

ภาพที่ 68 ลักษณะการใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC อาคาร 70 ปี แม่โจ้

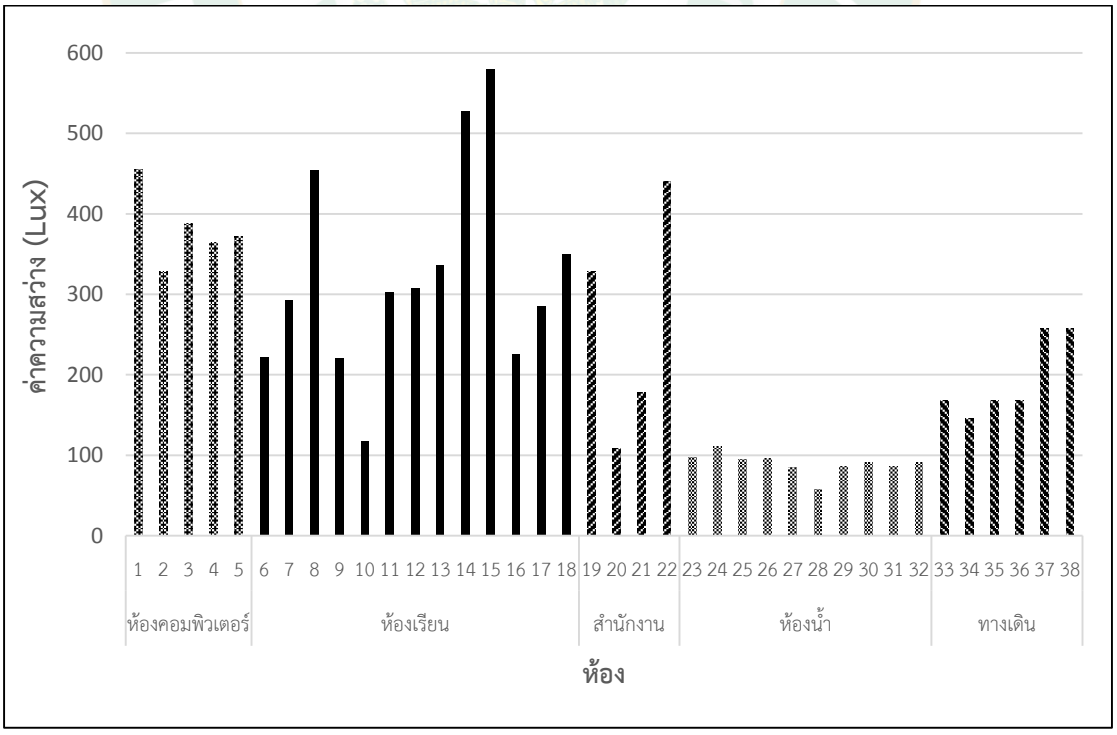
- สำหรับห้องน้ำภายในอาคาร มีลักษณะการติดตั้งหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ติดตั้งหนึ่งหลอดต่อหนึ่งโคม และลักษณะโคมเป็นชนิด Reflector และ ทางเดินภายในอาคาร มีลักษณะการติดตั้งหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ติดตั้งหนึ่งหลอดต่อหนึ่งโคม โดยมีลักษณะโคมเป็นชนิด Reflector และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 แบบเปลือยไม่มีโคม ดังภาพที่ 68

3.1.2 การวิเคราะห์ค่าความสว่าง (Illuminance) ในการวิเคราะห์ค่าความสว่างภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ได้วิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th (IESNA, 2007) โดยค่าความสว่างที่ได้จากการตรวจวัดจะต้องไม่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th

ประเภทอาคาร	ประเภทพื้นที่	ค่าความสว่าง (Lux)
อาคารสำนักงาน	ห้องสำนักงานเดี่ยว	400
	ห้องวางแผน	400
	ห้องประชุม	300
อื่นๆ	บริเวณทางเดิน	50
	ห้องน้ำ	300
อาคารเรียน	ห้องเรียน	400
	ห้องเรียนสำหรับการศึกษาผู้ใหญ่	400
	ห้องบรรยาย	400
	ห้องคอมพิวเตอร์	30

สำหรับค่าความสว่างภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในแต่ละประเภทพื้นที่ ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ Lux Meter ด้วยวิธีการตรวจวัดแบบจุด (Spot Measurement) แสดงค่าความสว่างแต่ละห้องดังภาพที่ 69



ภาพที่ 69 ค่าความสว่าง (Lux) ของแต่ละห้องภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

โดยที่ลำดับเลขที่ห้องภายในอาคารเป็นดังต่อไปนี้

<u>ลำดับเลขประเภทห้องเรียน</u>

ห้องหมายเลข 1 ห้องคอมพิวเตอร์ A ห้องหมายเลข 2 ห้องคอมพิวเตอร์ B
ห้องหมายเลข 3 ห้องคอมพิวเตอร์ C ห้องหมายเลข 4 ศูนย์สอบอิเล็กทรอนิคส์ 202
ห้องหมายเลข 5 ห้องประชุมลำน้ำยม 205 ห้องหมายเลข 6 201/1
ห้องหมายเลข 7 ห้อง 202/2 ห้องหมายเลข 8 ห้องฝึกอบรม 203
ห้องหมายเลข 9 ห้องประชุมแม่กลอง 204 ห้องหมายเลข 10 ห้อง 301
ห้องหมายเลข 11 ห้องกระแสชลวิถี 302 ห้องหมายเลข 12 ศูนย์การศึกษาไต้หวัน 303
ห้องหมายเลข 13 ห้องธาราสาระวิน 304 ห้องหมายเลข 14 ห้อง 305
ห้องหมายเลข 15 ห้อง 306 ห้องหมายเลข 16 ห้อง 401
ห้องหมายเลข 17 ห้อง 402 ห้องหมายเลข 18 ห้อง 403

<u>ลำดับเลขประเภทห้องสำนักงาน</u>

ห้องหมายเลข 19 ห้องแม่โขงชลราคี ห้องหมายเลข 20 ห้องช่างเทคนิค
ห้องหมายเลข 21 ห้องแควน้อยชลาสินธุ์ ห้องหมายเลข 22 ห้องสตูดิโอ

<u>ลำดับเลขประเภทห้องน้ำ</u>

ห้องหมายเลข 23 ห้องน้ำชาย ชั้น 1 ห้องหมายเลข 24 ห้องน้ำหญิง ชั้น 1
ห้องหมายเลข 25 ห้องน้ำชาย ชั้น 2 ห้องหมายเลข 26 ห้องน้ำหญิง ชั้น 2
ห้องหมายเลข 27 ห้องน้ำชาย ชั้น 3 ห้องหมายเลข 28 ห้องน้ำหญิง ชั้น 3
ห้องหมายเลข 29 ห้องน้ำหญิง ชั้น 4 ห้องหมายเลข 30 ห้องน้ำชาย ชั้น 4
ห้องหมายเลข 31 ห้องน้ำหญิง ชั้น 5 ห้องหมายเลข 32 ห้องน้ำชาย ชั้น 5

<u>ลำดับเลขประเภททางเดิน</u>

ห้องหมายเลข 33 ทางเดิน ชั้น 1 ห้องหมายเลข 34 ทางเดิน 2
ห้องหมายเลข 36 ทางเดิน 3 ห้องหมายเลข 35 ทางเดิน ชั้น 3 หน้าห้อง 301
ห้องหมายเลข 37 ทางเดิน ชั้น 4 ห้องหมายเลข 38 ทางเดิน ชั้น 5

จากผลการตรวจวัดค่าความสว่างในแต่ละประเภทพื้นที่ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ พบว่า ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 22 ห้อง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 10 ห้อง คิดเป็น 68.75% ซึ่งห้องส่วนใหญ่ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นประเภทห้องเรียน และห้องน้ำ ดังข้อมูลที่สรุปไว้ในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าความสว่างเป็นรายห้องของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th

ห้อง	ค่าความสว่าง (Lux)	เกณฑ์มาตรฐาน
ประเภทห้องเรียน	ไม่ต่ำกว่า 400	ค่าตามมาตรฐาน
ห้อง 201/1	222	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 202/2	293	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 204 ประชุมแม่กลอง	220	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 301	117	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 302 กระแสชลวิถี	303	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 303 ศูนย์การศึกษาไต้หวัน	307	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 304 ธาราสาระวิน	336	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 401	225	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 402	285	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้อง 403	350	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ประเภทห้องสำนักงาน	ไม่ต่ำกว่า 400	ค่าตามมาตรฐาน
ช่างเทคนิค	108	ต่ำกว่ามาตรฐาน
แควน้อยชลาสินธุ์	178	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ประเภทห้องน้ำ [1]	ไม่ต่ำกว่า 300	ค่าตามมาตรฐาน
ห้องน้ำชั้น 1	104.5	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้องน้ำชั้น 2	95	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้องน้ำชั้น 3	71	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้องน้ำชั้น 4	88	ต่ำกว่ามาตรฐาน
ห้องน้ำชั้น 5	88	ต่ำกว่ามาตรฐาน

หมายเหตุ [1] ค่าความสว่างที่แสดงในประเภทห้องน้ำ คือ ค่าความสว่างเฉลี่ยรวมทั้งห้องน้ำชายและห้องน้ำหญิงในแต่ละชั้น

เมื่อวิเคราะห์ค่าความสว่างโดยแบ่งเป็นแต่ละประเภทพื้นที่ พบว่า ประเภทห้องเรียน ห้องสำนักงาน และห้องน้ำไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน สำหรับห้องควบคุมและทางเดิน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สรุปได้ดังตารางที่ 20

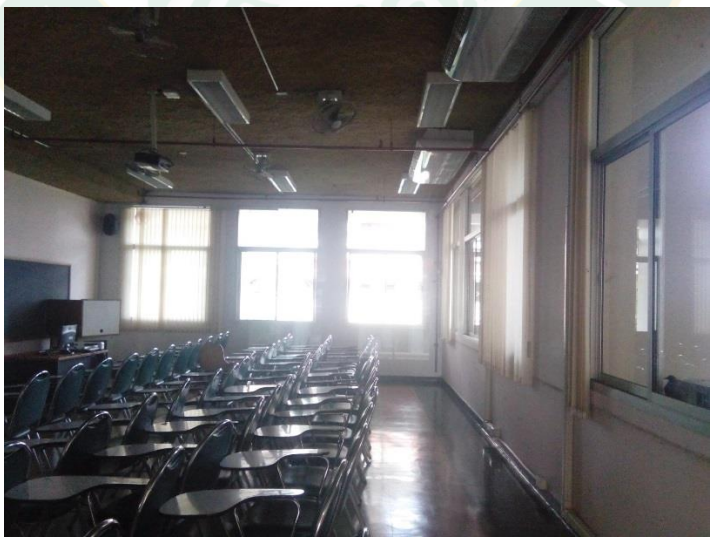
ตารางที่ 20 สรุปค่าความสว่างรวม ในแต่ละประเภทพื้นที่ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ประเภทของพื้นที่ห้อง	ค่าความสว่าง (Lux)	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน	325	ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	381	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องสำนักงาน	264	ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องน้ำ	89	ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ทางเดิน	194	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากข้อมูลการตรวจวัดสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยแบ่งเป็นประเภทห้องภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ สามารถสรุปรายละเอียดต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

สำหรับประเภทห้องเรียนและห้องสำนักงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าความสว่างเนื่องจากหลอดไฟที่ใช้กันภายในห้องเรียนส่วนใหญ่ เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 ที่มีอายุการใช้งานที่มากถึง 4 ปีและบางหลอดชำรุด จึงทำให้ค่าความสว่างไม่ผ่านเกณฑ์ และบางห้องเรียนยังมีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 ซึ่งเป็นหลอดไฟที่ให้ค่าความสว่างน้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความสว่างจากการตรวจวัดแต่ละห้อง พบว่า ห้องเรียน ที่มีค่าความสว่าง สูงสุดคือห้องเรียน 305 เท่ากับ 528 Lux และห้องเรียน 306 เท่ากับ 590 Lux แสดงดังภาพที่ 70



ภาพที่ 70 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟ ห้อง 305 และ ห้อง 306

สำหรับห้องเรียนที่มีค่าความสว่าง ต่ำที่สุดคือห้อง 301 เป็นห้องบรรยายที่มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมที่มีลักษณะเป็นห้องสโลปมีขนาดพื้นที่ห้องเท่ากับ 388.40 m^2 และมีขนาดพื้นที่ใหญ่กว่าห้องอื่นๆ แต่ใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC สองหลอดต่อหนึ่งโคมและมีบางหลอดที่ชำรุดอีกด้วย จึงทำให้ค่าความสว่างของห้องเท่ากับ 117 Lux ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟแสดงดังภาพที่ 71

ภาพที่ 71 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟ ห้อง 301

สำหรับห้องประเภทสำนักงาน ห้องที่มีค่าความสว่างสูงสุดคือ ห้องสตูดิโอ ลักษณะเป็นห้องที่ใช้งานด้าน Multimedia เช่น ถ่ายทำหนังสั้น ถ่ายทำรายการของมหาวิทยาลัย เป็นต้น จึงต้องมีค่าความสว่างสูง เท่ากับ 441 Lux และห้องที่มีค่าความสว่างต่ำสุดคือ ห้องช่างเทคนิค เท่ากับ 108 Lux เนื่องจากมีการติดตั้ง หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 เพียง 2 หลอด กับพื้นที่ห้องที่มาก

สำหรับห้องเรียนคอมพิวเตอร์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจาก ค่าความสว่างตามมาตรฐานของห้องคอมพิวเตอร์มีค่า 30 Lux แต่ค่าที่ได้จากการตรวจวัดสูงกว่าห้องประเภทอื่นๆ เนื่องจากเป็นห้องที่มีสื่อการเรียนเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงต้องจำนวนหลอดไฟที่มากทำให้มีค่าความสว่างสูง ดังภาพที่ 72

ภาพที่ 72 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟอาคารประเภทห้องเรียนคอมพิวเตอร์

สำหรับทางเดิน ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 เป็นหลักแต่เนื่องจากพื้นที่ทางเดินของอาคารเป็นพื้นที่เปิดโล่งมีแสงจากธรรมชาติส่องผ่านทำให้มีค่าความสว่าง เท่ากับ 194 Lux ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังภาพที่ 73

ภาพที่ 73 ลักษณะบริเวณทางเดินที่มีแสงจากธรรมชาติส่องผ่าน

สำหรับห้องน้ำ ใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ที่สามารถใช้งานจริงได้น้อยมาก เนื่องจากหลอดไฟฟ้าส่วนใหญ่ชำรุดจึงทำให้ค่าความสว่าง เท่ากับ 89 Lux ซึ่งยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานดังภาพที่ 74

ภาพที่ 74 ลักษณะบริเวณห้องน้ำที่มีหลอดไฟชำรุด

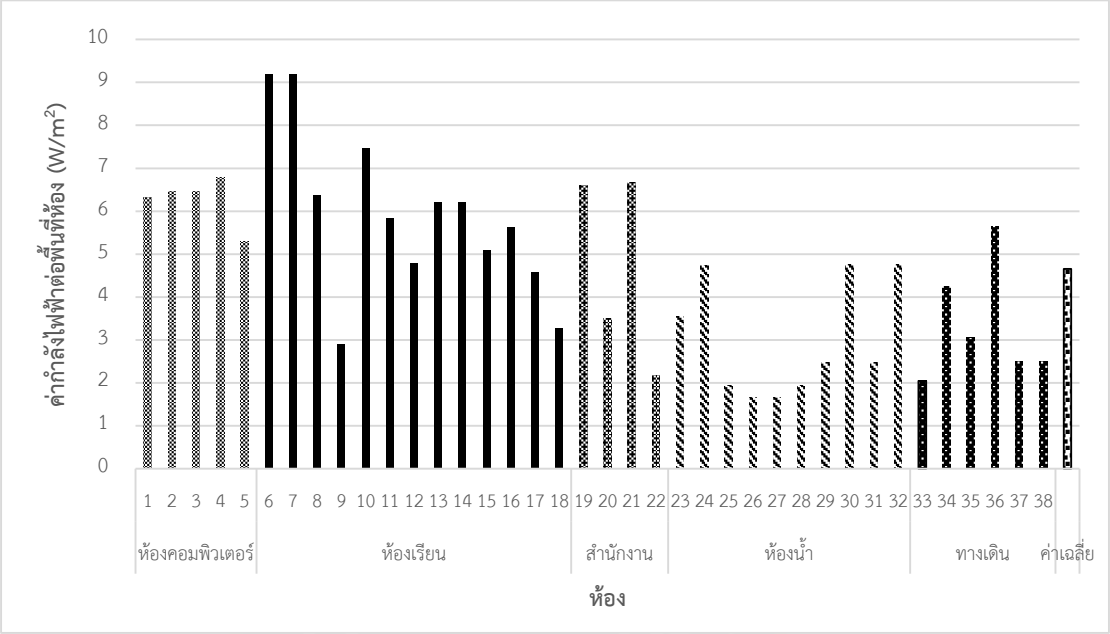
3.1.3 การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (W/m^2)

การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องหรือค่า LPD ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ได้วิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 (ASHRAE, 2013) โดยค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องจะต้องไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานค่าดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง ตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013

ลักษณะอาคาร/ห้อง	ประเภทพื้นที่	LPD (W/m^2)
อาคารเรียน	-	11.73
ห้องเรียน	ห้องเรียน/ห้องบรรยาย	15.07
	ห้องเรียนสถานพินิจ	13.99
ห้องคอมพิวเตอร์	-	23.03
ห้องสำนักงาน	ห้องทำงานมีผนังกั้น	11.84
	ห้องทำงานไม่มีผนังกั้น	11.84
ห้องน้ำ	ห้องน้ำส่วนตัวในที่พัก	16.36
	ห้องน้ำประเภทอื่นๆ	9.69
ทางเดิน	ทางเดินที่มีขนาดกว้างมากกว่าหรือเท่ากับ 3 m	5.38
	ทางเดินที่มีขนาดกว้างน้อยกว่า 3 m	

จากการตรวจวัด พบว่า อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบส่องสว่างภายในอาคารเฉลี่ยรวม 4.66 W/m^2 ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน เนื่องจากอาคารมีการใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ที่มีกำลังไฟฟ้าต่อหลอดต่ำ เข้ามาใช้ในอาคารในพื้นที่ทางเดินและห้องน้ำเป็นหลัก สำหรับห้องเรียนส่วนใหญ่มีการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 เป็นหลักซึ่งมีกำลังไฟฟ้าต่อหลอดต่ำกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 และห้องเรียนขนาดใหญ่ เช่น ห้อง 301 ที่มีชั่วโมงการใช้งานมาก มีการใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ที่มีกำลังไฟฟ้าต่อหลอดที่ต่ำมากแต่อย่างไรก็ตามยังให้ความสว่างน้อย โดยลักษณะค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง ในแต่ละประเภทห้อง ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ แสดงดังภาพที่ 75



ภาพที่ 75 ค่ากำลังไฟฟ้าระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องในแต่ละห้องภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

หมายเหตุ: ชื่อลำดับเลขห้องดังคำอธิบายในภาพที่ 69

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ แบ่งเป็นแต่ละประเภทห้องภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ แสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 สรุปค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง ในแต่ละประเภทพื้นที่ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ประเภทของพื้นที่ห้อง	ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m^2)	เกณฑ์มาตรฐาน
ประเภทห้องเรียน	5.90	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ประเภทห้องเรียนคอมพิวเตอร์	6.00	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ประเภทห้องสำนักงาน	4.74	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ประเภทห้องน้ำ	3.00	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ประเภททางเดิน	3.33	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

สำหรับห้องเรียน ห้องสำนักงาน และห้องเรียนคอมพิวเตอร์ เป็นห้องที่มีการใช้งานมากจึงมีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 เป็นหลักจึงทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับห้องที่มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องมากที่สุด คือ ห้อง 201/1 และ ห้อง 202/2 เนื่องจากทั้งสองห้องยังใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ที่รวมบัลลาสต์แล้วมีกำลังไฟฟ้าสูงถึง 46 W จึงทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่เท่ากับ 9.19 W/m^2 ดังภาพที่ 75

สำหรับห้องน้ำ มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจาก ใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC เป็นหลอดที่ใช้พลังงานไฟฟ้าฟ้าต่ำแต่มีค่าความสว่างต่ำ ส่งผลให้ค่าความสว่างไม่ผ่านมาตรฐาน

สำหรับทางเดิน มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ก็ยังมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ที่สูงใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 คิดเป็น 70% ของจำนวนหลอดทั้งหมดบริเวณทางเดิน โดยทางเดินมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่เท่ากับ 3.33 W/m^2 ตามลำดับ ดังภาพที่ 75

3.2 การวิเคราะห์ระบบปรับอากาศ อาคาร 70 ปี แม่โจ้

3.2.1 ข้อมูลระบบปรับอากาศ ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศทั้งหมดประมาณ 297,439.85 kWh/year หรือคิดเป็น 24,786.65 kWh/month ลักษณะการปรับอากาศเป็นการลดอุณหภูมิของห้อง โดยอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในอาคารทั้งหมด 108 เครื่อง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) และ เครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package)

สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ในอาคารมีทั้งหมด 97 เครื่อง มีขนาดทำความเย็นตั้งแต่ 12,000-48,000 Btu/hr ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 245,405.83 kWh/year หรือคิดเป็น 82.51% ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศทั้งหมด ภายในอาคารมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 30,000.00 Btu/hr มากที่สุด จำนวน 39 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 2.23 kW/เครื่อง และมีค่าพลังงานไฟฟ้ารวม 112,183.79 kWh/year ซึ่งลักษณะการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) จะติดตั้งคอยล์เย็นแบบแขวนลอยด้านในห้อง และคอยล์ร้อนจะตั้งติดอยู่กับระเบียงห้องดังภาพที่ 76 ติดตั้งในห้องเรียน ห้องเรียนคอมพิวเตอร์ และห้องสำนักงาน ที่มีขนาดพื้นที่ห้องตั้งแต่ 19.6-288.35 m^2 อายุการใช้งานเครื่องปรับอากาศ 6 ปี จำนวน 26 เครื่อง และอายุการใช้งาน 14 ปี จำนวน 71 เครื่อง ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (kW/เครื่อง)	การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (kWh/year)	อายุการใช้งาน (ปี)
12,000	2	1.44	1,512.00	6
18,000	2	1.68	3,251.50	8
25,000	16	2.09	28,842.62	6,14
30,000	39	2.23	112,183.79	14
36,000	18	2.31	40,379.97	14
38,000	6	1.93	14,920.35	6
40,000	12	2.56	32,723.60	6
48,000	2	4.14	11,592.00	6
รวม	97	-	245,405.83	-

ภาพที่ 76 ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ในอาคารมีทั้งหมด 11 เครื่อง ซึ่งมีขนาดทำความเย็น 100,000 Btu/hr และขนาดทำความเย็น 120,000 Btu/hr ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 52,034.02 kWh/year หรือคิดเป็น 17.49% ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศทั้งหมด มีเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 120,000 Btu/hr มากที่สุดในอาคาร จำนวน 8 เครื่อง แต่ใช้งานจริง 4 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 10.66 kW และมีค่าพลังงานไฟฟ้ารวม 38,048.02 kWh/year และติดตั้งขนาดพื้นที่ห้องที่มีขนาดใหญ่ภายในอาคารตั้งแต่ 284.99-388.40 m^2 ซึ่งลักษณะการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) จะติดตั้งคอยล์ร้อนที่ระเบียงและจะมีเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่ส่งความเย็นไปตามแต่ละห้อง ดังภาพที่ 77 โดยมีลักษณะการใช้งานเครื่องปรับอากาศเป็นดังต่อไปนี้

ชั้น 2 ห้องเรียน 201/1 มีพื้นที่ห้องเท่ากับ 300.38 m^2 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 120,000 Btu/hr จำนวน 2 เครื่อง ใช้งานจริง 1 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 11.22 kW/เครื่อง มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีเท่ากับ 13,783.77 kWh/year และ ห้องเรียน 201/2 มีพื้นที่ห้องเท่ากับ 300.38 m^2 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 120,000 Btu/hr จำนวน 2 เครื่อง ใช้งานจริง 1 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 11.22 kW/เครื่อง การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีเท่ากับ 8,984.98 kWh/year

ชั้น 3 ห้องเรียน 301/1 มีพื้นที่ห้องเท่ากับ 388.40 m^2 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 120,000 Btu/hr จำนวน 4 เครื่อง ใช้งานจริง 2 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 9.54 kW/เครื่อง โดยเป็นห้องที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีสูงสุดเท่ากับ 15,279.27 kWh/year

ชั้น 5 ห้องสตูดิโอ พื้นที่ห้องเท่ากับ 284.99 m^2 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 100,000 Btu/hr จำนวน 3 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 8.88 kW/เครื่อง มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีเท่ากับ 13,986 kWh/year มี แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ห้อง	พื้นที่ห้อง (m^2)	ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวนทั้งหมด/ใช้งานจริง (เครื่อง)	ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (kW/เครื่อง)	การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (kWh/year)	อายุการใช้งาน (ปี)
ห้องสตูดิโอ	284.99	100,000	3	8.88	13,986.00	6
ห้องเรียน 301	388.40	120,000	4 (2)	9.54	15,279.27	14
ห้องเรียน 201/1	300.38	120,000	2 (1)	11.22	13,783.77	14
ห้องเรียน 201/2	300.38	120,000	2 (1)	11.22	8,984.98	14
รวม	1,274.15	-	11	40.86	52,034.02	-

ภาพที่ 77 ลักษณะเครื่องปรับอากาศปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

3.2.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของขนาดทำความเย็นกับพื้นที่ห้อง

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของขนาดเครื่องปรับอากาศ แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ วิเคราะห์ห้องที่โดนแดดหรือห้องที่มีความร้อนสะสมสูงหรือห้องที่มีเพดานสูงและห้องที่ไม่โดนแดด โดยค่ามาตรฐานการเลือกขนาดทำความเย็นดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ค่ามาตรฐานขนาดทำความเย็นให้เหมาะสมกับพื้นที่ห้อง

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	พื้นที่ห้องปกติ (m^2)	ขนาดทำความเย็นต่อพื้นที่ห้องปกติ (Btu/hr)/m^2	พื้นที่ห้องโดนแดด (m^2)	ขนาดทำความเย็นต่อพื้นที่ห้องโดนแดด (Btu/hr)/m^2
9,000	12-15	600-750	11-14	650-850
12,000	16-20	600-750	14-20	650-850
18,000	24-3จ	600-750	21-28	650-850
21,000	28-35	600-750	25-32	650-850
24,000	32-40	600-750	28-37	650-850
25,000	33.33-41.67	600-750	30-39	650-850
30,000	40-50	600-750	35-46	650-850
33,000	44-55	600-750	39-51	650-850
36,000	48-60	600-750	42-55	650-850
38,000	50.67-63.33	600-750	45-58	650-850
40,000	53.33-66.67	600-750	47-61	650-850
48,000	64-80	600-750	56-74	650-850
80,000	106.67-133.33	600-750	94-123	650-850
100,000	133.33-166.67	600-750	118-154	650-850
120,000	160-200	600-750	141-185	650-850

จากการศึกษา พบว่า ห้องส่วนใหญ่ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็นไม่เพียงพอกับขนาดพื้นที่ของห้อง จำนวนทั้งหมด 14 ห้อง จากห้องทั้งหมด 24 ห้อง หรือคิดเป็น 58.33% เนื่องจากขนาดทำความเย็นที่ใช้วิเคราะห์มาจากค่าการตรวจวัดจริงซึ่งเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในอาคารมีอายุการใช้งานมาก ทำให้ขนาดทำความเย็นที่ทำได้จริงต่ำกว่าคุณสมบัติของเครื่อง จึงควรมีการปรับปรุงเพิ่มขนาดทำความเย็น สำหรับห้องที่มีการติดตั้ง

เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดความเย็นมากเกินเมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่ห้อง พบว่า มีจำนวน 4 ห้อง คือ ห้อง Server ห้องช่างเทคนิค ห้องกระแสตาปี และห้องสตูดิโอ สำหรับห้องที่มีขนาดทำความเย็นเหมาะสมกับขนาดพื้นที่ห้อง มีจำนวนทั้งหมด 6 ห้อง ข้อมูลขนาดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ แสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ข้อมูลขนาดทำความเย็นกับพื้นที่ห้อง ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ห้อง	ขนาดทำความเย็นต่อพื้นที่ ((Btu/hr)/m^2)	ลักษณะห้อง	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้อง Server	2,040.82	ห้องไม่โดนแดด	สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องคอมพิวเตอร์ A	612.41	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องคอมพิวเตอร์ B	776.62	ห้องโดนแดด	ตามเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องคอมพิวเตอร์ C	667.55	ห้องโดนแดด	ตามเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องแม่โขงชลราศี	343.15	ห้องไม่โดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 205	459.52	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 204	349.17	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 203	393.14	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 202	598.89	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ประชุม 201/1	399.49	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ประชุม 201/2	399.49	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 306	457.72	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 305	466.52	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 304	434.72	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 303	733.05	ห้องโดนแดด	ตามเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องกระแสตาปี	933.93	ห้องไม่โดนแดด	สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 302	725.79	ห้องโดนแดด	ตามเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 301/1	617.92	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ช่างเทคนิค	946.87	ห้องไม่โดนแดด	สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 401	654.97	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 402	667.55	ห้องโดนแดด	ตามเกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 403	592.06	ห้องโดนแดด	ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 26 ข้อมูลขนาดทำความเย็นกับพื้นที่ห้อง ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ (ต่อ)

ห้อง	ขนาดทำความเย็นต่อพื้นที่ ((Btu/hr)/m^2)	ลักษณะห้อง	เกณฑ์มาตรฐาน
แคว้นอยชลาสินธุ์	678.20	ห้องโดนแดด	ตามเกณฑ์มาตรฐาน
สตูดิโอ	1,052.67	ห้องไม่โดนแดด	สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

3.2.3 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของระบบปรับอากาศ

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) ของระบบปรับอากาศ ดำเนินการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 (Engineers Newsletter, 2015) ดังตารางที่ 27 โดยค่า COP และค่า EER ของระบบปรับอากาศจะต้องไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 27 ค่า COP และค่า EER ตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	ประเภทพลังงานที่ใช้กับระบบ	ชนิดเครื่องปรับอากาศ	EER ((Btu/hr)/W)	COP
<65,000	ทุกประเภท	Split Type	11.18	3.28
	ทุกประเภท	Single-Package	11.76	3.45
≥65,000 และ <135,000	ไม่มี/ไฟฟ้า	Split Type	11.20	3.28
	อื่นๆ	Single-Package	11.00	3.22
≥135,000 และ <240,000	ไม่มี/ไฟฟ้า	Split Type	11.00	3.22
	อื่นๆ	Single-Package	10.80	3.16
≥240,000 และ <760,000	ไม่มี/ไฟฟ้า	Split Type	10.00	2.93
	อื่นๆ	Single-Package	9.80	2.87

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย COP ตามเกณฑ์ที่ขนาดทำความเย็นต่ำกว่า 65,000.00 Btu/hr เครื่องปรับอากาศชนิด Split Type ภายในอาคารเรียนรวมแม่โจ้ 70 ปี พบว่า มีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ขนาดทำความเย็น 12,000-48,000 Btu/hr มีทั้งหมด 97 เครื่อง มีค่าเฉลี่ย COP ตั้งแต่ 2.05-3.05 และค่าเฉลี่ย EER ตั้งแต่ 6.99-10.41 Btu/hr/W ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์

มาตรฐานตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 เนื่องจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคารส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานมาก ทำให้วิธีการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศในปัจจุบันของอาคาร คือ การล้างเครื่องปรับอากาศ ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ จึงทำให้ค่า COP ของระบบปรับอากาศไม่ผ่านเกณฑ์ ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ห้อง	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเฉลี่ย COP	ค่าเฉลี่ย EER ((Btu/hr)/W)	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้อง Server	14	-	-	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องคอมพิวเตอร์ A	14	2.80	9.57	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องคอมพิวเตอร์ B	14	2.89	9.86	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องคอมพิวเตอร์ C	14	2.42	8.25	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องแม่โขงชลราศี	14	2.86	9.76	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 205	14	2.34	7.97	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 204	14	2.05	6.99	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 203	14	2.39	8.15	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 202	14	2.71	9.26	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 306	6	2.87	9.78	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 305	6	2.87	9.79	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 304	14	2.54	8.67	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 303	14	2.44	8.33	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องกระแสตาปี	14	2.82	9.62	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 302	14	2.88	9.83	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องช่างเทคนิค	6	2.61	8.91	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 401	6	2.97	10.12	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 402	6	3.05	10.41	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 403	6	2.72	9.28	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องแควน้อยชลาสินธุ์	6	3.02	10.30	ต่ำกว่าเกณฑ์

จากการวิเคราะห์ค่า COP ตามเกณฑ์ที่ขนาดทำความเย็นตั้งแต่ 65,000 Btu/hr แต่น้อยกว่า 135,000 Btu/hr ซึ่งเป็นของชนิดเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ภายในอาคารเรียนรวมแม่โจ้ 70 ปี พบว่า เครื่องปรับอากาศแบบแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) มีขนาดทำความเย็น 100,000-120,000 Btu/hr จำนวน 11 เครื่อง มีค่า COP ตั้งแต่ 2.04-2.37 และค่าเฉลี่ย EER ประมาณ 6.96-8.09 Btu/hr/W ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบชุดภายในอาคารทั้งหมดมีอายุการใช้งานมานานเช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ทำให้วิธีการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศในปัจจุบันของอาคาร คือ การล้างเครื่องปรับอากาศ ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ และอีกประการหนึ่งการตรวจวัดจะวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ช่องส่งลมเย็นภายในห้องซึ่งมีระยะห่างมากกับเครื่องทำความเย็นมาก ทำให้อุณหภูมิที่ช่องส่งลมเย็นภายในห้องมีค่าสูง จึงทำให้ค่าเฉลี่ย COP ของระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังข้อมูลในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ห้อง	อายุการใช้งาน (ปี)	COP	EER ((Btu/hr)/W)	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 201/1	14	2.06	7.03	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 201/2	14	2.06	7.03	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 301	14	2.37	8.09	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องแควน้อยชลาสินธุ์	6	2.04	6.96	ต่ำกว่าเกณฑ์

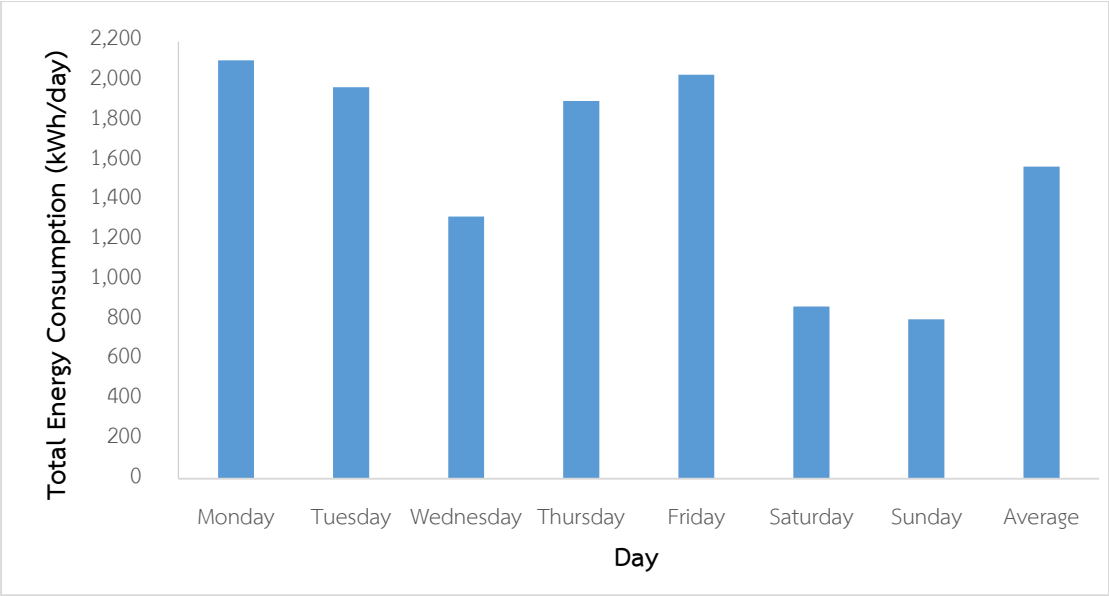
3.3 การวิเคราะห์ระบบอื่นๆ อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ ทั้งหมดประมาณ 58,854.83 kWh/year หรือคิดเป็น 4,904.57 kWh/month โดยสรุปอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งได้สรุปชนิดและจำนวนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ แยกตามประเภทของห้องภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W/เครื่อง)	ห้องเรียน (เครื่อง)	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์ (เครื่อง)	ห้องสำนักงาน (เครื่อง)	รวมทั้งหมด (เครื่อง)
คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	200	12	355	13	380
ปริ้นเตอร์	70	1	-	4	5
เครื่องฉายภาพ	1.8	12	1	-	13
โปรเจคเตอร์	250	14	4	-	18
เครื่องเสียง	100	12	1	2	15
เครื่องมิกส์เสียง	100	12	1	-	13
ตู้เย็น	90	-	-	2	2
โทรทัศน์	110	-	-	7	7
พัดลมดูดอากาศ	25	24	8	3	35
พัดลมติดผนัง	600	67	18	6	91
กระติกน้ำร้อน	600	-	-	3	3
เตาไมโครเวฟ	900	-	-	1	1

3.4 การวิเคราะห์ระบบหม้อแปลงและตู้ MDB อาคาร 70 ปี แม่โจ้

3.4.1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเนื่อง 7 วัน อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 630 kVA จำนวน 1 ชุด สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอาคาร จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมือตรวจวัด โดยเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นช่วงเปิดภาคเรียนในภาคการศึกษาที่ 2/2559 ซึ่งมีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันภาพที่ 78



ภาพที่ 78 การใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

จากภาพที่ 78 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ พบว่า มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันเท่ากับ 1,571.93 kWh/day มีการใช้พลังงานสูงในวันจันทร์ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และวันศุกร์ เพราะเป็นช่วงวันเวลาที่มีการเรียนการสอน และมีนักศึกษาและอาจารย์ใช้งานอาคารเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน และอยู่ในช่วงฤดูร้อนส่งผลให้มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศมากขึ้น มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1,901.40-2,106.18 kWh/day หรือเฉลี่ยเท่ากับ 1,866.45 kWh/day มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในวันจันทร์เท่ากับ 2,106.18 kWh/day สำหรับในวันพุธเป็นวันที่มีการเรียนการสอนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าวันอื่น เนื่องจากทางมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีนโยบายให้ทุกวันพุธช่วงเวลาบ่ายเป็นช่วงเวลาทำกิจกรรมของนักศึกษาจึงไม่มีการเรียนการสอน สำหรับวันเสาร์และวันอาทิตย์ มีการใช้พลังงานน้อยเมื่อเทียบกับวันอื่นๆ เนื่องจากเป็นวันหยุดทางราชการ แต่มีการเรียนการสอนอยู่บางรายวิชา และมีการทำกิจกรรมนันทนาการและอ่านหนังสือของนักศึกษา ทำให้วันเสาร์และวันอาทิตย์ยังมีการใช้พลังงานตั้งแต่ 803.19-868.04 kWh/day

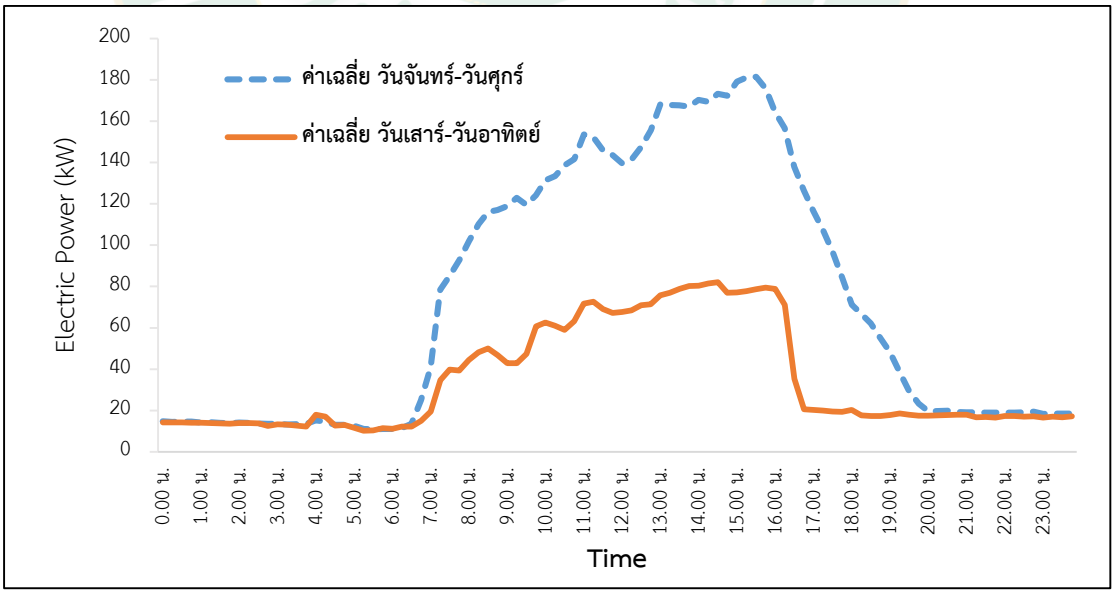
3.4.2 ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลา ซึ่งตรวจวัดตั้งแต่วันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2560 โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที สามารถวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าช่วงวันทำงานตั้งแต่ วันจันทร์ถึงวันศุกร์ และค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าช่วงวันหยุดราชการ ได้แก่ วันเสาร์ถึงวันอาทิตย์ ซึ่งลักษณะค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

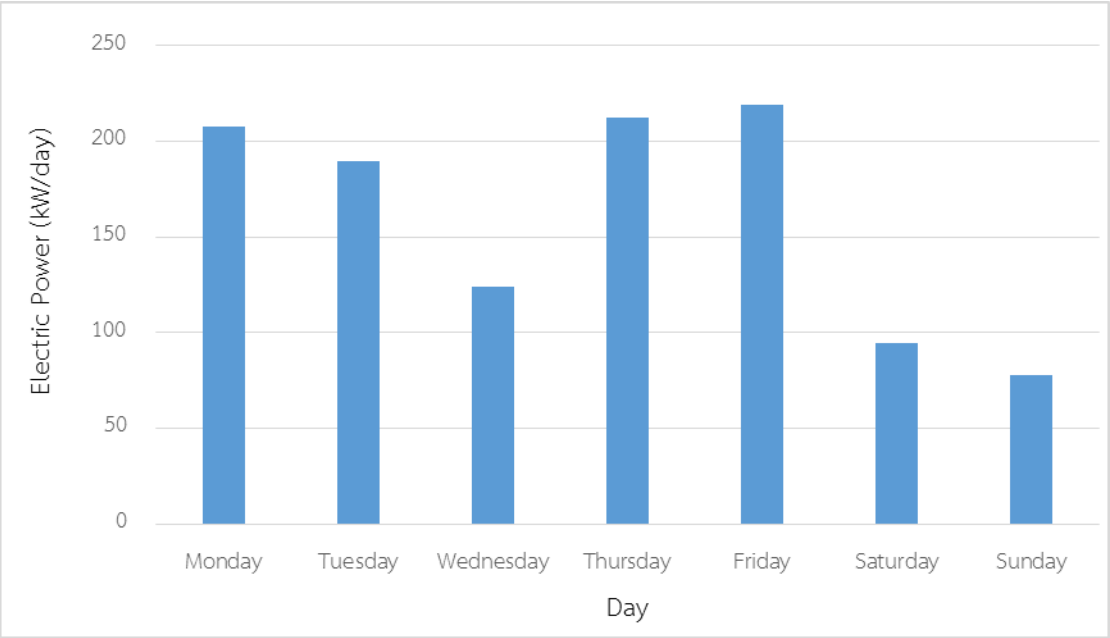
ในวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าเริ่มตั้งแต่เวลา 6.00 น.-20.00 น. โดยค่ากำลังไฟฟ้าของอาคารมีค่าเท่ากับ 13.55 kW จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุด ณ เวลา 15.30 น. มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 181.55 kW และหลังจากนั้นค่ากำลังไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเวลาประมาณ 20.00 น. และเริ่มตั้งแต่เวลา 20.00 น.-6.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีกิจกรรมใช้งานอาคารจึงมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำ มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลานี้เท่ากับ 15.63 kW ในภาพรวมมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 113.92 kW

ในวันเสาร์และวันอาทิตย์ มีลักษณะเริ่มการใช้พลังงานตั้งแต่เวลา 6.00 น.-17.00 น. เป็นช่วงเวลาที่มีกิจกรรมทางการศึกษาและการเรียนการสอนอยู่บ้าง ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลา จะมีค่าค่อยๆ สูงขึ้น จนถึงเวลา 14.30 น. มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 82.11 kW และหลังจากนั้นค่ากำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลา จะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถือเป็นช่วงที่มีกิจกรรมใช้งานอาคารหมดลง สำหรับช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานน้อยเริ่มตั้งแต่เวลา 17.00 น.-6.00 น. มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลานี้เท่ากับ 15.63 kW เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งานอาคาร แสดงดังภาพที่ 79 (ก)

จากข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันอยู่ที่ 77.56-219.46 kW/day ซึ่งในวันศุกร์เป็นวันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดในสัปดาห์เท่ากับ 219.46 kW เนื่องจากเป็นวันที่มีการเรียนการสอนตลอดทั้งวัน ดังภาพที่ 79 (ข)



(ก) ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ช่วงเวลา



(ข) ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวัน

ภาพที่ 79 ลักษณะค่ากำลังไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

สำหรับการวิเคราะห์ค่า Annual Average hourly Energy Performance (AAhEPI) จากสมการที่ 28 ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ โดยคิดจำนวนชั่วโมงในช่วงเวลาที่มีการเริ่มใช้งานอาคาร ตั้งแต่เวลา 7.00 น. สิ้นสุด 20.00 น. (วันจันทร์-วันศุกร์) ทั้งหมด 235 วัน และคิดจำนวนชั่วโมงการใช้งานอาคารตั้งแต่เวลา 7.00 น. สิ้นสุด 17.00 น. (วันเสาร์-วันอาทิตย์) ทั้งหมด 150 ทำให้มีชั่วโมงการใช้งานทั้งหมด 4,355 ชั่วโมงต่อปี ดังภาพที่ 79 พบว่า

1. พ.ศ. 2556 มีค่า AAhEPI ทั้งหมด 2.12 $Wh/h•m^2$
2. พ.ศ. 2557 มีค่า AAhEPI ทั้งหมด 2.30 $Wh/h•m^2$
3. พ.ศ. 2558 มีค่า AAhEPI ทั้งหมด 6.28 $Wh/h•m^2$
4. พ.ศ. 2559 มีค่า AAhEPI ทั้งหมด 8.70 $Wh/h•m^2$

ค่า AAhEPI ในปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับปี 2556 พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้น 310% และเมื่อเทียบกับปี 2558 พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้น 38.53% เนื่องจากการใช้พลังงานแต่ปีของอาคารมีค่าเพิ่มขึ้นทุกๆแต่ชั่วโมงการใช้งานอาคารยังมีค่าเท่าเดิมจากปี 2556 จนถึงปีปัจจุบัน

สำหรับการวิเคราะห์ขนาดหม้อแปลงที่เหมาะสมกับโหลดตามคู่มือการพัฒนาการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม (กระทรวงพลังงาน, 2551) ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสมกับโหลด จะต้องมีประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าสูงที่โหลดเฉลี่ยในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าในวันที่ภาระโหลดสูง (วันจันทร์-วันศุกร์) มีภาระโหลดเฉลี่ยเท่ากับ 1,866.45 kWh/day ซึ่งมีประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าในอาคารเท่ากับ 91% สรุปได้ว่าขนาดหม้อแปลงของอาคารที่ติดตั้งเหมาะสมกับภาระโหลดของอาคาร และสำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าของอาคารตรวจวัดจากตู้ MDB สรุปได้ดังตารางที่ 32

- ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า เฟส 1 เท่ากับ 230.40 V
- ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า เฟส 2 เท่ากับ 228.56 V
- ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า เฟส 3 เท่ากับ 229.70 V

จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส มีค่าตามมาตรฐาน 220 V และทั้ง 3 เฟสยังมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่แตกต่างกัน

สำหรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ภายในอาคารเรียนรวม 70 ปี ซึ่งตรวจวัดจากตู้ MDB มีค่าเฉลี่ยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 0.87 ซึ่งตามมาตรฐานของการไฟฟ้าค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสูงที่สุดในรอบเดือน จะต้องมีค่าไม่เกิน 61.97% ของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา Peak เมื่อวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสูงสุดของอาคาร เท่ากับ 97.32 kVAR และค่า 61.97% ของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา Peak เท่ากับ 136 kW ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและไม่เสียค่าปรับ รายละเอียดค่าไฟฟ้าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ข้อมูลทางไฟฟ้า	Phase-1	Phase-2	Phase-3	เฉลี่ย 3 Phase
ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V)	230.38	228.56	229.67	229.54
ค่าเฉลี่ย ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.90	0.87	0.82	0.87
ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW)				219.46
กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (kVAR)				97.32
ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุด (kVA)				237.23

3.5 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร 70 ปี แม่โจ้

3.5.1 พื้นที่กรอบอาคาร

สำหรับการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) จะไม่วิเคราะห์เงาของอาคารข้างเคียง ต้นไม้ สภาพแวดล้อมต่างๆ ภายนอกอาคาร

จากการสำรวจกรอบอาคารเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ โดยการคำนวณค่าถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังไม่คิดปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องบริเวณโดยรอบของอาคาร พบว่า อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีพื้นที่ผนังทั้งหมด 2,132.50 m^2 โดยแยกเป็นผนังทึบมีพื้นที่ทั้งหมด 1,450.95 m^2 คิดเป็น 68.04% วัสดุที่ใช้สร้างเป็นผนัง คือ คอนกรีตมวลเบาหนา 0.08 m และปูนฉาบคอนกรีตมวลเบา 0.02 m ทาทับด้วยสีครีม และผนังโปร่งแสงมีพื้นที่ทั้งหมด 681.55 m^2 คิดเป็น 31.96% ของพื้นที่ทั้งหมด ใช้วัสดุเป็นกระจกสีชาฟ้าอมเขียวดำหนา 0.006 m อาคารมีทั้งหมด 5 ชั้น มีความสูงของแต่ละชั้น เท่ากับ 3 m โดยรายละเอียดแต่ละทิศของกรอบอาคาร มีดังนี้

- ทิศเหนือ มีพื้นที่ผนังทั้งหมด 322 m^2 แยกเป็นพื้นที่ผนังทึบเท่ากับ 265.30 m^2 คิดเป็น 82.39% ของพื้นที่ทั้งหมด และมีพื้นที่ผนังโปร่งแสงอีก 56.70 m^2 คิดเป็น 17.61% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีพื้นที่แยกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นพื้นที่ห้องเรียนบรรยาย ห้อง 201/1 และห้อง 201/2 มีความสูงความสูง 2 ชั้น มีลักษณะเป็นผนังทึบส่วนใหญ่ มีพื้นที่ติดกับอาคารสุวรรณวาจกกสิกิจ และส่วนที่เป็นส่วนโค้งมีความสูงทั้งหมด 3 ชั้น ชั้นที่ 1-2 เป็นพื้นที่โถงทางเดิน และชั้นที่ 3 เป็นส่วนของผนังทึบที่เป็นพื้นที่ของห้องบรรยาย 301 เนื่องจากมีพื้นที่ผนังน้อยทำให้ได้รับค่ารังอาทิตย์น้อยกว่าด้านทิศอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเท่ากับ 185.06 W/m^2 แสดงดังภาพที่ 80 (ก)
- ทิศใต้ มีพื้นที่ผนังทั้งหมด 605.5 m^2 แยกเป็นพื้นที่ผนังทึบเท่ากับ 341.25 m^2 คิดเป็น 56.36% ของพื้นที่ทั้งหมด และมีพื้นที่ผนังโปร่งแสงอีก 264.25 m^2 คิดเป็น 43.64% ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่โปร่งแสงมีอุปกรณ์บังแดดยื่นออกมาจากตัวอาคารยาว 2.5 m และมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับขอบกระจกด้านบน 0.4 m มีพื้นที่ติดกับอาคารศูนย์กล้วยไม้ ไม้ดอกและไม้ประดับ เป็นทิศที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์สูงที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่โปร่งแสงมากที่สุด และเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาบ่ายจนถึงเย็น โดยมีค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์เท่ากับ เท่ากับ 267.41 W/m^2 โดยลักษณะของอาคารในแต่ละทิศแสดงดังภาพที่ 80 (ข)
- ทิศตะวันออก มีพื้นที่ผนังทั้งหมด 725.50 m^2 แยกเป็นพื้นที่ผนังทึบเท่ากับ 600.90 m^2 คิดเป็น 82.82% ของพื้นที่ทั้งหมด และมีพื้นที่ผนังโปร่งแสงอีก 124.6 m^2 คิดเป็น

17.18% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่ผนังโปร่งแสงมีอุปกรณ์บังแดดหรือ Overhang ยื่นออกมาจากตัวอาคารยาว 2.5 m และมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับขอบกระจกด้านบน 0.4 m เป็นทิศที่ติดกับอาคารเรียนรวม 80 ปี แม่โจ้ มีต้นไม้ขนาดใหญ่ปกคลุมและสระน้ำระหว่างอาคาร ได้รับค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์เท่ากับ เท่ากับ 244.53 W/m^2 ถือว่าเป็นค่าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับทิศตะวันตกที่เป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์ในช่วงบ่าย เนื่องจากมีพื้นที่ผนังรวมสูง แสดงดังภาพที่ 80 (ค)

- ทิศตะวันตก มีพื้นที่ผนังทั้งหมด 479.50 m^2 แยกเป็นพื้นที่ผนังทึบเท่ากับ 243.50 m^2 คิดเป็น 50.80% ของพื้นที่ทั้งหมด และมีพื้นที่ผนังโปร่งแสงอีก 239.00 m^2 คิดเป็น 49.20% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีพื้นที่แยกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ตัวอาคารเป็นส่วนโค้งมีความสูง 3 ชั้น ชันที่ 1-2 เป็นพื้นที่โถงทางเดิน และชั้นที่ 3 เป็นพื้นที่ผนังของห้องบรรยาย 301 ซึ่งเป็นพื้นที่ผนังทึบ และส่วนของตัวอาคารที่มีความสูง 5 ชั้น โดยชั้น 1 มีลักษณะพื้นที่โปร่งแสงทั้งหมด มีอุปกรณ์บังแดดยื่นออกมาจากตัวอาคารยาว 2.5 m และมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับขอบกระจกด้านบน 0.4 m มีค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์ทางด้านทิศตะวันตก เท่ากับ 234.58 W/m^2 แสดงดังภาพที่ 80 (ง)

(ก) กรอบอาคารด้านทิศเหนือ (ข) กรอบอาคารด้านทิศใต้

(ค) กรอบอาคารด้านทิศตะวันออก (ง) กรอบอาคารด้านทิศตะวันตก

ภาพที่ 80 กรอบอาคารของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

3.5.2 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ พบว่า อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง มีค่าเท่ากับ 68.70 W/m^2 ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานตามที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 ที่กำหนดไว้ว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังกรอบอาคารไม่เกิน 50 W/m^2 เมื่อวิเคราะห์ค่าแต่ละทิศ พบว่า ทิศที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังสูงสุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 87.31 W/m^2 เนื่องจากเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์ในช่วงบ่าย และยังเป็นทิศที่มีพื้นที่ผนังโปร่งแสงสูงที่สุดประมาณ 236 m^2 คิดเป็น 49.22% ของพื้นที่ทั้งหมด ถือเป็นทิศที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดมากที่สุด ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) แต่ละทิศ โดยทิศเหนือและทิศตะวันออกมีค่า OTTV ต่ำที่สุดเท่ากับ 48.69 W/m^2 และ 54.10 W/m^2 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นทิศที่มีพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดต่ำและทิศเหนือเป็นทิศที่มีค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบต่ำที่สุดเท่ากับ 185.06 W/m^2 แสดงดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ทิศ	พื้นที่ผนังทั้งหมด (m^2)	พื้นที่ผนังทึบ (m^2)	พื้นที่ผนังโปร่งแสง (m^2)	ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (W/m^2)
ทิศเหนือ	322	265.3	56.7	48.69
ทิศใต้	605.5	341.25	264.25	82.09
ทิศตะวันออก	725.5	600.9	124.6	54.10
ทิศตะวันตก	479.5	243.5	236	87.31
พื้นที่ผนังรวม	2,132.5	1,450.95	681.55	-
		ค่าเฉลี่ย		68.70

3.5.3 พื้นที่หลังคาอาคาร สำหรับการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) จะไม่วิเคราะห์เงาของอาคารข้างเคียง ต้นไม้ สภาพแวดล้อมต่างๆ ภายนอกอาคาร

จากการสำรวจหลังคาอาคาร พบว่า อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีพื้นที่หลังคาทั้งหมด 3,003.84 m^2 โดยแยกเป็นหลังคาทึบมีพื้นที่ทั้งหมด 3,003.84 m^2 คิดเป็น 100% วัสดุที่ใช้สร้างหลังคา คือ เมทัลชีล โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา หนา 0.0003 m เคลือบด้วยสีสะท้อนแสงสีแดง วัสดุที่ใช้กับฝ้าเพดาน ใช้วัสดุไม้อัดหนา 0.02 m และฝ้ากระเบื้องซีเมนต์ หนา 0.006 m ช่องว่างอากาศภายในฝ้าเท่ากับ 5 m ซึ่งอาคารมีการใช้หลังคา 2 ลักษณะ ลักษณะแรกเป็นแบบวงกลมมุมเอียง 15° และแบบหน้าจั่วมุมเอียง 45° ดังภาพที่ 81

(ก) ลักษณะหลังคาแบบวงกลมมุมเอียง 15° **(ข)** ลักษณะหลังคาแบบหน้าจั่วมุมเอียง 45°

ภาพที่ 81 ลักษณะหลังคาอาคาร 70 ปี แม่โจ้

3.5.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ พบว่า อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังเท่ากับ 18.53 W/m^2 ซึ่งเกินค่ามาตรฐานตามที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 กำหนดไว้ว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังกรอบอาคารไม่เกิน 15 W/m^2 เนื่องจากวัสดุหลักที่นำมาใช้กับหลังคาและผ้าที่มีค่าการนำความร้อนที่สูง คือ เมทัลชีล โลหะผสมของอลูมิเนียมแบบธรรมดา และฝ้ากระเบื้องซีเมนต์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 211 W/m•K และ 0.397 W/m•K ส่งผลให้ค่า RTTV สูงขึ้นตาม แสดงดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ทิศ	พื้นที่หลังหน้าจั่ว (m^2)	ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาหน้าจั่ว (W/m^2)	พื้นที่หลังคาทรงกลม (m^2)	ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาทรงกลม (W/m^2)
ทิศเหนือ	781.50	17.60	200.96	20.56
ทิศใต้	781.50	20.56	200.96	21.62
ทิศตะวันออก	318.50	19.99	200.96	21.44
ทิศตะวันตก	318.50	19.76	200.96	21.35
		เฉลี่ย RTTV		18.53

4. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 2 Existing Building Commissioning-Implementation

หลังจากที่มีการตรวจวัดระบบต่างๆ ตามมาตรฐาน Ashrae Level 2 Energy Audit ภายในอาคาร จึงได้ทำการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบต่างๆ ภายในอาคารสูงขึ้น ประกอบด้วยมาตรการระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบอื่นๆ หม้อแปลงและตู้ MDB และ OTTV มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 มาตรการระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

4.1.1 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงสำหรับห้องที่มีชั่วโมงการใช้งานมาก

จากการสำรวจค่าความสว่างภายในอาคาร 70 แม่โจ้ ห้องที่มีการใช้งานเป็นหลักคือ ห้องเรียน ห้องเรียนคอมพิวเตอร์ และห้องสำนักงาน มีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 หลอด

ฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 และหลอดตะเกียบ PLC เป็นหลัก ซึ่งจากตรวจวัดประเภทห้องเรียนและห้องสำนักงานภายในอาคาร พบว่า ค่าความสว่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงได้เสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบไฟฟ้าส่องสว่าง โดยการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 เป็นหลอด LED และหลอดตะเกียบ LED ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานและค่าความสว่างที่สูงขึ้น สำหรับห้องเรียน ห้องเรียนคอมพิวเตอร์และห้องสำนักงานทุกห้อง โดยเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 และ T5 ที่มีกำลังไฟฟ้า 36 W/หลอด และ 28 W/หลอด เป็นหลอดไฟ LED ที่มีกำลังไฟฟ้า 18 W/หลอด สำหรับห้องเรียนและห้องสำนักงาน และเปลี่ยนหลอดไฟตะเกียบ PLC ที่มีกำลังไฟฟ้า 23 W/หลอด เป็นหลอดตะเกียบ LED ที่มีกำลังไฟฟ้า 12 W/หลอด สำหรับห้องเรียน ห้อง 301 หลังจากมีการดำเนินการปรับปรุงตากแนวทางสามารถวิเคราะห์ค่าความสว่างเท่ากับ 431.37 Lux ซึ่งค่าความสว่างหลังมีแนวทางปรับปรุงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th โดยหากมีการปรับปรุงตามมาตรการดังที่เสนอจะทำให้เกิดผลประหยัดดังข้อมูลในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนหลอด	ชนิด T5 จำนวน 644 หลอด ชนิด T8 จำนวน 120 หลอด ตะเกียบ PLC จำนวน 126 หลอด	[1] LED ชนิด T8 จำนวน 764 หลอด [2] ตะเกียบ LED จำนวน 126 หลอด
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด	ชนิด T5 กำลังไฟฟ้า 28 W ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 48 W ชนิด ตะเกียบ PLC กำลังไฟฟ้า 23 W	LED ชนิด T5 กำลังไฟฟ้า 18 W ตะเกียบ LED กำลังไฟฟ้า 12 W
กำลังไฟฟ้ารวม	26.69 kW	15.26 kW
ชั่วโมงการใช้งาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง
วันที่ทำงาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง
พลังงานที่ใช้ต่อปี	41,957.71 kWh/year	24,558.54 kWh/year
คิดเป็นเงิน	156,502.26 Baht/year	91,603.35 Baht/year
ผลประหยัดพลังงาน	17,399.17 kWh/year	
ผลประหยัด	64,898.91 Baht/year	
เงินลงทุน	222,534 Baht	
ระยะเวลาคืนทุน	3.43 year	

หมายเหตุ [1] ค่าหลอดไฟฟ้า LED ชนิด T5 ยี่ห้อ LED TUBE OEM T5 (G5) 18W - ULTRA BRIGHT ราคา 270 บาทต่อหลอด (Ravee. ม.ป.ป.)

[2] ค่าหลอดไฟฟ้า ตะเกียบ LED ยี่ห้อ Philips Essential LED Bulb ราคา 129 บาทต่อหลอด (เทียนทองอิเล็คทริคพลัส, ม.ป.ป.)

จากตารางที่ 34 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับห้องที่มีการใช้งานมาก จากเดิมใช้พลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 41,957.71 kWh/year หลังการปรับปรุงพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเหลือ 24,558.54 kWh/year เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดเดิมสามารถประหยัดเงินได้ 64,898.91 Baht/year (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73 Baht/kWh) โดยลงทุนคิดเป็นเงิน 222,534 Baht และมีระยะเวลาคืนทุนในมาตรการนี้ 3.43 ปี

4.1.2 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟบริเวณทางเดินจากการ Reuse

จากการเดินสำรวจลักษณะการใช้งานภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ระบบไฟฟ้าส่องสว่างบริเวณโถงทางเดินส่วนมากมีการใช้งานหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่มีค่าที่สูงเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน จึงได้เสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบไฟฟ้าส่องสว่าง โดยการเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ที่มีกำลังไฟฟ้า 46 W/หลอด (รวมบัลลาสต์แกนเหล็ก 10 W/หลอด) เป็นหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่มีกำลังไฟฟ้า 28 W/หลอด บริเวณทางเดินทุกชั้นที่มีการติดตั้งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ซึ่งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่นำมาเปลี่ยนได้จากการ Reuse ของที่ใช้แล้วจากห้องเรียนและห้องสำนักงานจากมาตรการเปลี่ยนหลอด LED ทำให้ไม่มีเงินลงทุน ซึ่งค่าความสว่างหลังมีแนวทางการปรับปรุงมีค่าความสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th เนื่องจากบริเวณทางเดินของอาคารมีแสงสว่างจากภายนอกส่งผลให้ ค่าความสว่างมีค่าสูงขึ้นและผ่านเกณฑ์ โดยมีผลประหยัดได้ดังตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟบริเวณทางเดินจากการ Reuse

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนหลอด	ชนิด T8 จำนวน 164 หลอด	ชนิด T5 จำนวน 164 หลอด
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด	ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 48 W	ชนิด T5 กำลังไฟฟ้า 28 W
กำลังไฟฟ้ารวม	7.54 kW	4.59 kW
ชั่วโมงการใช้งาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง
พลังงานที่ใช้ต่อปี	44,056.96 kWh/year	26,817.28 kWh/year
คิดเป็นเงิน	164,332.5 Baht/year	100,028.45 Baht/year
ผลประหยัดพลังงาน	17,239.68 kWh/year	
ผลประหยัด	64,304.05 Baht/year	

จากตารางที่ 35 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟบริเวณทางเดินจากการ Reuse จากเดิมใช้พลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 44,056.96 kWh/year หลังการปรับปรุงพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเหลือ 26,817.28 kWh/year เมื่อจากมาตรการดังกล่าวทำให้สามารถประหยัดเงินได้ 64,304.05 Baht/year (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73 Baht/kWh) และไม่มีระยะเวลาคืนทุน

4.1.3 มาตรการติดตั้งระบบควบคุมเปิดปิดหลอดไฟอัตโนมัติสำหรับห้องเรียน

จากการที่เดินสำรวจการใช้งานระบบไฟฟ้าส่องสว่างแต่ละห้อง พบว่า การควบคุมระบบไฟฟ้าส่องสว่างของห้องเรียนและห้องเรียนคอมพิวเตอร์ มีการควบคุมเป็นแบบ Manual ทำให้เกิดการละเลยจากเจ้าหน้าที่รวมถึงตัวนักศึกษาในการปิดไฟ และมีการใช้งานไม่เป็นเวลา จึงส่งผลให้ระยะเวลาการใช้งานมากเกินความจำเป็น โดยเฉพาะช่วงพักกลางวันและเลิกเรียนจะมีการใช้งานระบบไฟฟ้าส่องสว่างเลยเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงต่อวัน จากปัญหาดังกล่าวจึงได้เสนอแนวทางเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างอย่างเป็นระบบ โดยการติดตั้งระบบควบคุมระบบไฟฟ้าส่องสว่างอัตโนมัติ โดยจะช่วยในการลดระยะเวลาทำงานของระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในห้องเรียนและห้องเรียนคอมพิวเตอร์ ในช่วงเวลาพักกลางวันและเวลาเลิกเรียนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อวัน ดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ผลประหยัดของมาตรการติดตั้งระบบควบคุมเปิดปิดหลอดไฟอัตโนมัติสำหรับห้องเรียน

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
กำลังไฟฟ้ารวม	[1] 13.39 kW	[1]13.39 kW
ชั่วโมงการใช้งาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง ลดลง 1 ชั่วโมง
วันที่ทำงาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง
พลังงานที่ใช้ต่อปี	21,271.29 kWh/year	18,210.35 kWh/year
คิดเป็นเงิน	79,341.91 Baht/year	67,924.61 Baht/year
ผลประหยัดพลังงาน	3,060.94 kWh/year	
ผลประหยัด	11,417.30 Baht/year	
ลงทุน	[2] 8,820 Baht	
ระยะเวลาคืนทุน	1.29 year	

หมายเหตุ [1] ค่ากำลังไฟฟ้ารวม 13.39 kW เป็นค่ากำลังไฟฟ้าหลังจากมีมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอด LED ของห้องเรียน

[2] ราคาเครื่อง Timer เครื่องละ 490 บาท ทั้งหมด 18 เครื่อง

จากตารางที่ 36 แสดงผลมาตรการติดตั้งระบบควบคุมเปิดปิดหลอดไฟอัตโนมัติสำหรับห้องเรียน จากเดิมใช้พลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 21,271.29 kWh/year หลังการปรับปรุงพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเหลือ 18,210.35 kWh/year จากมาตรการดังกล่าวทำให้สามารถประหยัดเงินได้ 11,417.30 Baht/year (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73 Baht/kWh) และมีระยะเวลาคืนทุน 1.29 ปี

4.1.4 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟและติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวบริเวณห้องน้ำ

จากการที่เดินสำรวจการใช้งานระบบไฟฟ้าส่องสว่างแต่ละห้อง พบว่าห้องน้ำภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ เป็นหลอดตะเกียบ PLC ขนาดกำลังไฟฟ้า 11 W/หลอด ทั้งอาคารและบางส่วนเป็นหลอดที่ชำรุดจึงทำให้สูญเสียค่าไฟฟ้าจากหลอดที่ชำรุด อีกทั้งยังส่งผลให้ค่าความสว่างของห้องน้ำในอาคาร ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงได้เสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบไฟฟ้าส่องสว่างและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพค่าความสว่าง ด้วยมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟและติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวบริเวณห้องน้ำ โดยเปลี่ยนจากหลอดตะเกียบ PLC กำลังไฟฟ้า 11 W/หลอด เป็นหลอด LED 5W/หลอด และติดตั้งอุปกรณ์สวิตซ์ตรวจจับความเคลื่อนไหวภายในห้องน้ำของอาคารเรียนรวม แม่โจ้ 70 ปี จำนวน 10 ห้อง จากการสำรวจการใช้งานหลอดไฟ พบว่า สามารถลดระยะเวลาการใช้งานหลอดไฟในขณะที่ไม่มีผู้ใช้ห้องน้ำลงได้ 2 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีผลประหยัดแสดงในตารางที่ 37

ตารางที่ 37 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟและติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวบริเวณห้องน้ำ

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนหลอด	หลอดตะเกียบ PLC จำนวน 144 หลอด	[1] หลอด LED จำนวน 144 หลอด
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด	หลอดตะเกียบ PLC กำลังไฟฟ้า 11 W	หลอด LED กำลังไฟฟ้า 5 W
กำลังไฟฟ้ารวม	1.58 kW	0.72 kW
ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ลดลง 2 ชั่วโมง
พลังงานที่ใช้ต่อปี	3,168 kWh/year	1,080 kWh/year
คิดเป็นเงิน	11,816.64 Baht/year	4,028.40 Baht/year
ผลประหยัดพลังงาน	2,088 kWh/year	
ผลประหยัด	7,788.24 Baht/year	
[2] เงินลงทุน	20,250.00 Baht	
ระยะเวลาคืนทุน	2.60 year	

หมายเหตุ [1] หลอด LED 5 W ราคา 115 บาทต่อดวง (เทียนทองอิเล็คทริคพลัส, --)

[2] เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ราคา 369 บาทต่อเครื่อง ใช้จำนวน 10 เครื่อง (เทียนทองอิเล็คทริคพลัส, ม.ป.ป.)

จากตารางที่ 37 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟและติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวบริเวณห้องน้ำ จากเดิมก่อนมีมาตรการมีกำลังไฟฟ้ารวม 1.58 kW หลังมีมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟบริเวณห้องน้ำทำให้มีกำลังไฟฟ้ารวม 0.72 kW และจากการและติดตั้งอุปกรณ์สวิตซ์ตรวจจับความเคลื่อนไหวภายในห้องน้ำ ทำให้ระยะเวลาการใช้งานลงเหลือเพียง 6 ชั่วโมงต่อวัน ทำให้มีพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 2,088 kWh/year คิดเป็นเงิน 7,788.24 Baht/year (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73 Baht/kWh) และมีระยะเวลาคืนทุนจากมาตรการ 2.60 ปี

4.2 ระบบปรับอากาศ

4.2.1 มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

จากการสำรวจระบบปรับอากาศในอาคาร พบว่า เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ส่วนใหญ่ในอาคารมีอายุการใช้งานสูงถึง 14 ปี เป็นจำนวน 65 เครื่อง คิดเป็น 67% ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทั้งหมด ทำให้มีความสามารถในการทำความเย็นลดลงและใช้กำลังไฟฟ้าในระบบสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศต่ำลงไปด้วย ตัวอย่างเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานสูงแสดงดังภาพที่ 82

ภาพที่ 82 ตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในอาคารที่มีอายุการใช้งาน 14 ปี

แนวทางการทำมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง ทำโดยเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีอายุการใช้งาน 14 ปี ห้องเรียน 10 ห้อง ห้องสำนักงาน 1 ห้อง และห้องควบคุม 1 ห้อง จำนวนทั้งหมด 65 เครื่อง เป็นเครื่องปรับอากาศ Inverter ที่มีขนาดทำความเย็น 25,000 Btu/hr และมีค่า EER 14.82 (Btu/hr)/W และขนาดทำความเย็น 30,000 Btu/hr ค่า EER 13.92 (Btu/hr)/W ทั้งหมดจำนวน 68 เครื่อง โดยสรุปพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังมีมาตรการปรับปรุงได้ดังตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

ห้อง	พลังงานไฟฟ้าก่อนมีมาตรการ (kWh/year)	EER ตรวจวัด (Btu/hr/W)	EER เครื่องปรับอากาศใหม่ (Btu/hr/W)	%Saving (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ((Btu/hr)/W)
ห้องคอมพิวเตอร์ A	22,638.00	9.51	13.92	31%	7,017.78
ห้องแม่โขงชลราศิ	11,781.16	9.81	13.92	30%	3,534.35
ห้องคอมพิวเตอร์ B	32,312.40	9.78	13.92	29%	9,370.60
ห้องคอมพิวเตอร์ C	32,060.00	8.22	13.92	41%	13,144.60
ห้อง 202	21,703.50	9.03	14.82	38%	8,247.33
ห้อง 203	4,410.00	8.23	13.92	41%	1,808.10
ห้อง 204	8,593.89	6.88	13.92	50%	4,296.95
ห้อง 205	8,184.66	8.01	13.92	43%	3,519.40
ห้อง 302	11,618.88	9.86	13.92	30%	3,485.66
ห้อง 303	2,948.40	8.37	14.82	44%	1,297.30
ห้อง 304	13,975.44	8.68	13.92	38%	5,310.67
ห้องควบคุม	1,801.80	9.73	13.92	31%	558.56
		รวมผลประหยัด			61,591.30

มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง เมื่อดำเนินการตามมาตรการเสนอแนะสามารถทำให้มีพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 61,591.30 kWh/year คิดเป็นเงิน 229,735.55 Baht/year (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73

Baht/kWh) และมีระยะเวลาคืนทุนจากมาตรการ 14.32 ปี ดังรายละเอียดเงินลงทุนดังตารางที่ 39 และผลประหยัดจากมาตรการดังตารางที่ 41

ตารางที่ 39 เงินลงทุนของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน	[1] ราคาเครื่องปรับอากาศ (Baht/เครื่อง)	รวมราคาเครื่องปรับอากาศ (Baht)
30,000	55	49,200	2,706,000
25,000	13	44,900	583,700
	รวมเงินลงทุน		3,289,700

หมายเหตุ [1] ราคาเครื่องปรับอากาศได้จากการสอบถามผู้ดูแลด้านการติดตั้งบริษัท Daikin (2017)

ตารางที่ 40 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

รายการ	หลังปรับปรุง
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	61,591.30
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)	229,735.55
เงินลงทุน (Baht)	3,289,700
ระยะเวลาคืนทุน (year)	14.32

4.2.2 มาตรการลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบชุดและควบคุมเปิดปิดเครื่องปรับอากาศด้วย Timer

จากการสำรวจระบบปรับอากาศแบบชุดภายในอาคาร พบว่า มีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ห้องเรียน 301 ห้องเรียน 201/1 และห้องเรียน 201/2 ในช่วงเวลาที่ไม่มีการเรียนการสอน เช่น ช่วงพักกลางวัน และช่วงเลิกเรียน เป็นเวลาทั้งหมด 1 ชั่วโมงต่อวัน จึงได้เสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ด้วยมาตรการลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศในห้องที่มีขนาดทำความเย็นเกินมาตรฐาน โดยติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการ เปิด-ปิด (Timer) กับห้องที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบชุด คือ ห้องเรียน 301 ห้องเรียน 201/1 และห้องเรียน 201/2

เพื่อที่จะสามารถลดระยะเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศลงได้ 1 ชั่วโมงต่อวัน และลดระยะเวลาการใช้งานห้องสตูดิโอ 30 นาทีต่อวัน หากมีการดำเนินมาตรการจะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 8,784.72 kWh/year คิดเป็นเงิน 32,767.01 Baht/year และมีระยะเวลาคืนทุนของมาตรการ 1.71 ปี ดังตารางที่ 41

ตารางที่ 41 ผลประหยัดของมาตรการลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบชุดและควบคุมเปิดปิดเครื่องปรับอากาศด้วย Timer

ห้อง	ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	กำลังไฟฟ้ารวม (kW)	จำนวนชั่วโมงทำงานที่ลดได้ (hr/year)	Factor การทำงาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh)
ห้อง 201/1	120,000	11.22	260	70%	2,042.04
ห้อง 201/2	120,000	11.22	208	70%	1,633.63
ห้อง 301/1	120,000	19.08	208	70%	2,778.05
ห้องสตูดิโอ	100,000	26.64	125	70%	2,331.00
รวมพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้					8,784.72
[1] ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)					32,767.01
[2] เงินลงทุน (Baht)					56,025.20
ระยะเวลาคืนทุน (year)					1.71

หมายเหตุ [1] ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73 Baht/kWh

[2] ค่าเครื่องตั้งเวลาเปิดปิดอัตโนมัติสำหรับระบบปรับอากาศ ยี่ห้อ Esigma 380V ตัวละ 5,093.20 บาท จำนวน 11 เครื่อง (บริษัท ตลาด เซ็นเตอร์, ม.ป.ป.)

4.2.3 มาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากการสำรวจการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้งานในห้องเรียน และห้องสำนักงานภายในอาคารมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอดเวลาในช่วงที่มีการเรียนหรือทำงานและจะปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาเลิกเรียนหรือเลิกงาน ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวสามารถปิดระบบเครื่องปรับอากาศก่อนเวลาลงได้ 15 นาทีต่อวัน เนื่องจากยังมีความเย็นสะสมอยู่ จึงได้เสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศ ด้วยมาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

แบบแยกส่วน โดยติดตั้งอุปกรณ์เปิดปิดอัตโนมัติ (Timer) กับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนของห้อง 305 ห้อง 306 ห้องช่างเทคนิค ห้อง 401 ห้อง 402 ห้อง 403 ห้องแควน้อยชลาสินธุ์ และห้องสตูดิโอ จำนวนเครื่องปรับอากาศทั้งหมด 26 เครื่อง ซึ่งหากมีการดำเนินมาตรการจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 2,347.72 kWh/year คิดเป็นเงิน 8,757.00 Baht/year และมีระยะเวลาคืนทุน 4.38 ปี ดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 ผลประหยัดของมาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนกับเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานน้อยภายในอาคาร

ห้อง	ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	กำลังไฟฟ้ารวม (kW)	จำนวนชั่วโมงใช้งานที่ลดได้ (hr/day)	วันใช้งานต่อปี (day/year)	Factor การทำงาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh)
ห้อง 305	38,000	3.86	0.25	208	70%	140.5
ห้อง 306	38,000	7.74	0.25	208	70%	281.74
ห้องช่างเทคนิค	18,000	1.7	0.25	250	70%	74.38
ห้อง 401	40,000	10.12	0.25	208	70%	368.37
ห้อง 402	40,000	4.30	0.25	208	70%	156.52
ห้อง 403	40,000	16.35	0.25	208	70%	595.14
ห้องแควน้อยชลาสินธุ์	48,000	8.28	0.25	250	70%	362.25
	12,000	2.88	0.25	250	70%	126
ห้องสตูดิโอ	18000	1.66	0.25	250	70%	72.63
	25,000	3.89	0.25	250	70%	170.19
			รวมพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้			2,347.72
			[1] ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)			8,757
			[2] เงินลงทุน (Baht)			38,370.80
			ระยะเวลาคืนทุน (year)			4.38

หมายเหตุ [1] ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73 Baht/kWh

[2] ค่าเครื่องตั้งเวลาเปิดปิดอัตโนมัติสำหรับระบบปรับอากาศตัวละ 1,475.80 บาท จำนวน 26 เครื่อง (กระทรวงพลังงาน, 2550)

4.2.4 มาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของ Condensing Unit

จากการสำรวจการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบชุดของห้อง 301/1 มีการติดตั้ง Condensing Unit ในระเบียง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการระบายไม่ดีทำให้อากาศร้อนสะสมในบริเวณดังกล่าว ซึ่งมีอุณหภูมิบริเวณนั้น 36 °C แตกต่างจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 6 °C ซึ่งอาจส่งผลต่อการระบายความร้อนของ Condenser และอาจมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศดังภาพที่ 83 จากปัญหาดังกล่าว จึงได้เสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศ ด้วยมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของ Condensing Unit

(ก) ลักษณะการติดตั้ง Condensing Unit ห้อง 301/1

(ข) แนวคิดมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของ Condensing Unit

ภาพที่ 83 ลักษณะการติดตั้ง Condensing Unit ของห้อง 301/1 และแนวคิดมาตรการ

โดยติดตั้งแผ่นพลาสติกทำเป็นปล่องระบายความร้อนให้สูงเหนือแนวความสูงระเบียง จะทำให้ความร้อนถูกระบายทิ้งสู่บรรยากาศจะไม่ย้อนกลับมาที่ตัว Condensing Unit ดังภาพที่ 83 โดยจะทำปรับปรุงในส่วนของ Condensing Unit ของเครื่องปรับอากาศห้อง 301/1 จำนวน 4 เครื่อง

โดยมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของ Compressor Air Condition หลังมีมาตรการ จากข้อมูลคู่มือมาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า กระทรวงพลังงาน (2550) ได้สรุปผลประหยัดจากการติดปล่องระบายความร้อนที่ Compressor จะสามารถกำลังไฟฟ้าได้ 0.0000129 kW/(Btu/hr) ดังนั้นหากนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องปรับอากาศของห้อง 301/1 ที่มีขนาดทำความเย็นรวมเท่ากับ 240,000 Btu/hr จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 2,482.48 kWh/year คิดเป็นเงิน 9,259.65 Baht/year ดังตารางที่ 43

ตารางที่ 43 ผลประหยัดของมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของ Condensing Unit

ห้อง	ขนาดทำความเย็นรวม (Btu/hr)	กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kW)	จำนวนชั่วโมงใช้งาน (hr)	วันทำงาน (day)	Factor การทำงาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)
ประชุม 301/1	240,000	3.1	5.5	208	70%	2,482.48
[1] รวมค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)						9,259.65

หมายเหตุ [1] ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73 Baht/kWh)

5. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 4 Optimize Energy Performance

จากผลการตรวจวัดการใช้พลังงานตาม LEED-EBOM V4 หัวข้อพลังงานและบรรยากาศ จึงได้เสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ดังหัวข้อ EA Credit 2 ซึ่งได้สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และระยะเวลาคืนทุนแต่ละมาตรการดังตารางที่ 44

ตารางที่ 44 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เสนอแนะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

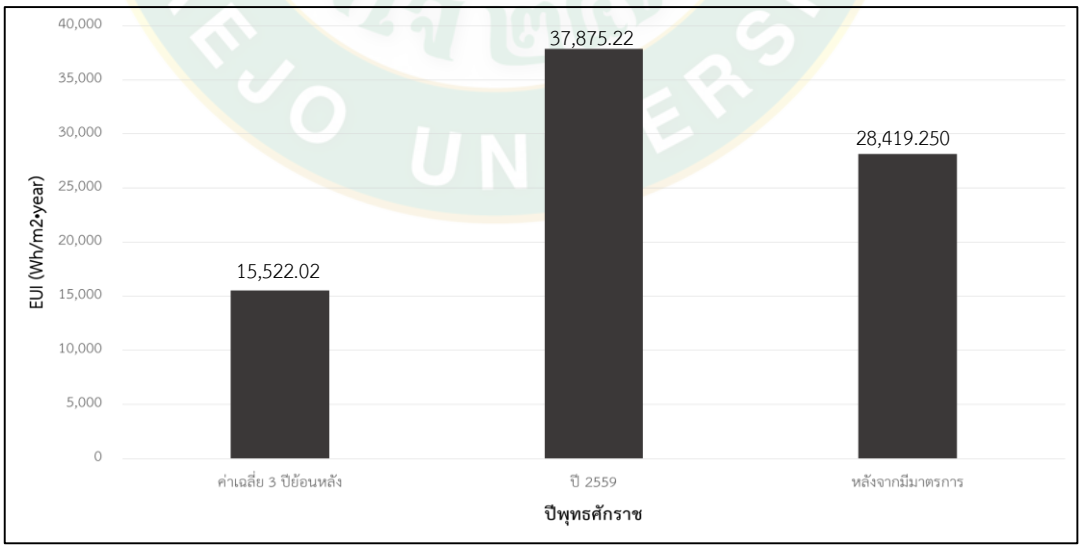
มาตรการ	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)	ระยะเวลาคืนทุน (year)
มาตรการที่ 1 เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับห้องที่มีการใช้งานมาก	17,399.17	64,898.91	3.43
มาตรการที่ 2 เปลี่ยนหลอดไฟบริเวณทางเดินจากการ Reuse	17,239.68	64,304.05	-
มาตรการที่ 3 ติดตั้งระบบควบคุมเปิดปิดหลอดไฟอัตโนมัติสำหรับห้องเรียน	3,060.94	11,417.30	1.29
มาตรการที่ 4 เปลี่ยนหลอดไฟและติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวบริเวณห้องน้ำ	2,088.00	7,788.24	2.6
มาตรการที่ 5 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง	61,591.30	229,735.55	14.32
มาตรการที่ 6 ลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบชุดและควบคุมเปิดปิดเครื่องปรับอากาศด้วย Timer	8,784.72	32,767.01	1.71
มาตรการที่ 7 ลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	2,347.72	8,757.00	4.38
มาตรการที่ 8 เพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของ Condensing Unit	2,482.48	9,259.65	-
สรุปรวมผลประหยัด	114,994.01	428,927.71	-

จากการเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามการวิเคราะห์ตาม EA Credit 2 หากทำการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการที่เสนอแนะจะพบว่า อาคารเรียนรวม 70 ปี สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 114,994.01 kWh/year คิดเป็นผลประหยัดเท่ากับ 428,927.71 Baht/year (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปี พ.ศ.2559 เท่ากับ 3.73 Baht/kWh) และพบว่ามีการใช้พลังงานลดลง 24.97% แสดงดังตารางที่ 45

ตารางที่ 45 ผลการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ลักษณะการใช้พลังงานอาคาร 70 ปี แม่โจ้	ก่อนมีมาตรการเสนอแนะ	หลังมีมาตรการเสนอแนะ
การใช้พลังงาน (kWh/year)	460,600.54	345,606.53
ค่า EUI (Wh/m^2•year)	37,872.22	28,419.25
ผลประหยัดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (kWh/year)	114,994.01	
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Baht/year)	428,927.71	

เมื่อวิเคราะห์ค่า EUI ในกรณีที่มีการดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานและจะมีค่าเท่ากับ 28,419.25 Wh/m^2•year หรือคิดเป็น 2,368.27 Wh/m^2•month เมื่อเปรียบเทียบค่า EUI กับปีปัจจุบัน (ปี 2559) ที่นำมาวิเคราะห์ พบว่า ค่า EPI ลดลงจากเดิม 24.97% และเมื่อพิจารณาค่า EUI หลังจากมีการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย EUI ย้อนหลัง 3 ปี ตามเกณฑ์ LEED-EBOM V4 คือ ปี 2556 ปี 2557 และปี 2558 พบว่า ยังมีค่าสูงกว่า 83.09% ซึ่งก่อนมีการแนะนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นสูงถึง 144.02% ดังนั้นแม้ว่าจะดำเนินมาตรการตามที่แนะนำอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ยังไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินในหัวข้อ EA Credit 4 ที่ต้องมีค่า EUI ปีปัจจุบันลดลง 27% ดังภาพที่ 84



ภาพที่ 84 ค่าเฉลี่ย EUI หลังจากมีแนวทางการปรับปรุงและเปรียบเทียบร้อยละที่ลดลงในแต่ละปี

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ประกอบด้วยการวิเคราะห์ตามหัวข้อ EA Prerequisite 4 และ EA Credit 8 ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์ EA Prerequisite 4 Fundamental Refrigerant Management

1.1 ข้อมูลของระบบทำความเย็นและสารทำความเย็น

สำหรับ EA Prerequisite 4 มีจุดประสงค์เพื่อลดการสูญเสียโอโซน จากการใช้สารทำความเย็นในอาคารที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธีการเสนอมาตรการการลดการใช้สารทำความเย็น ซึ่งจากการตรวจวัดการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้สารทำความเย็น ชนิด R-22 ซึ่งเป็นสารทำเย็นประเภท Hydrochlorofluorocarbon (HCFC) ในปริมาณทั้งหมด 487.32 kg คิดเป็น 100% ของสารทำความเย็นทั้งหมดในอาคาร โดยปริมาณความจุของสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในอาคาร หาได้จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณสารทำความเย็นใน Name Plate ของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นสารทำความเย็นที่มีผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศที่สูง โดยสารทำความเย็น R-22 มีค่า Global Warming Potential (GWP) เท่ากับ 1,810 kgCO_2 และค่า Ozone Depletion Potential (ODP) เท่ากับ 0.055 kgCFC-11 และจากการตรวจวัดประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ พบว่า ระบบปรับอากาศของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีค่าเฉลี่ย COP และ EER ของเครื่องปรับอากาศต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ดังตารางที่ 46

ตารางที่ 46 ปริมาณสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

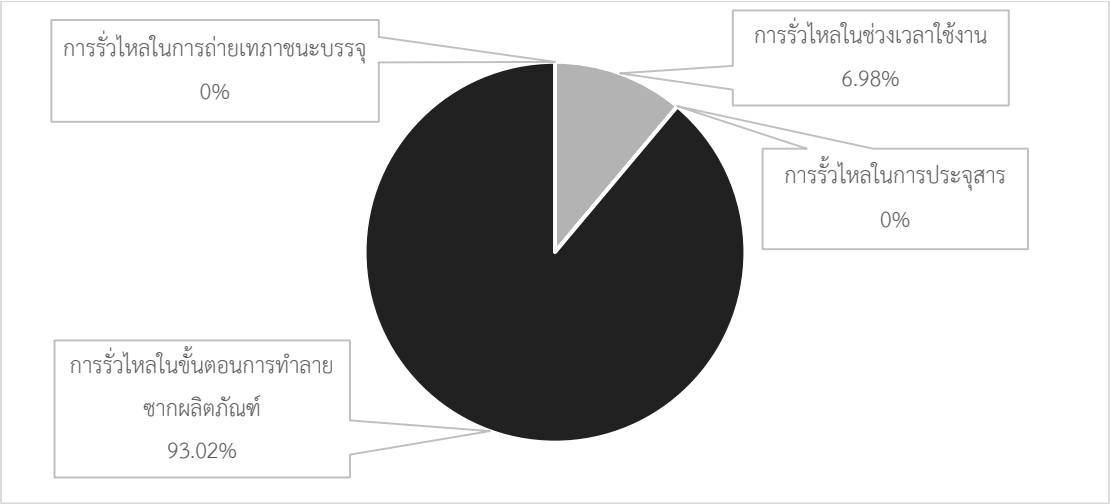
ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)	ขนาดความจุสารทำความเย็น (kg)	ชนิดของสารทำความเย็น	COP	EER (Btu/hr/w)
12,000	2	0.875	R-22	-	-
18,000	2	1.57	R-22	2.61	8.90
25,000	16	2.91	R-22	2.65	9.03
30,000	39	3.4	R-22	2.67	9.11
36,000	18	4.3	R-22	2.28	7.78
38,000	6	4	R-22	2.87	9.81

ตารางที่ 46 ปริมาณสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ (ต่อ)

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)	ขนาดความจุสารทำความเย็น (kg)	ชนิดของสารทำความเย็น	COP	EER (Btu/hr/w)
40,000	12	4.1	R-22	2.92	9.96
48,000	2	3.5	R-22	3.02	10.29
100,000	3	11.62	R-22	1.33	4.53
120,000	8	13.95	R-22	1.55	5.30
	รวม	487.32			

จากที่มีการวิเคราะห์ปริมาณสารทำความเย็นระบบปรับอากาศของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ข้างต้น ทำให้สามารถคิดปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นแบ่งตามช่วงอายุของอุปกรณ์ แสดงดังภาพที่ 85 ซึ่งปริมาณการปล่อยสารทำความเย็นทั้งหมดของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในปี 2559 เท่ากับ 419.10 kg มีรายละเอียดต่อไปนี้

- การรั่วไหลในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ ในขั้นตอนนี้มีการรั่วไหลของสารทำความเย็นเท่ากับ 0 เนื่องจากภายในอาคารไม่มีการเก็บภาชนะบรรจุสารทำความเย็นไว้ในอาคาร
- การรั่วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น ในขั้นตอนนี้มีการรั่วไหลของสารทำความเย็นเท่ากับ 0 เนื่องจากเป็นขั้นตอนสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ ซึ่งในช่วงปีปัจจุบัน ปี 2559 ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่
- การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน วิเคราะห์ตามมาตรฐาน IPCC 2006 โดยคิดการรั่วไหลของสารทำความจากช่วงเวลาใช้งานตัวอุปกรณ์ 6% ต่อปี ทำให้ทราบว่าการรั่วไหลของสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในอาคารประมาณ 29.24 kg ในปี 2559
- การรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนนี้มีปริมาณสารทำความเย็นที่ถูกปล่อยออกมาเท่ากับ 389.86 kg ในปี 2559 โดยที่คิดประสิทธิภาพการนำสารกลับมาใช้ใหม่เท่ากับ 0% และคิดปริมาณสารทำความเย็นที่เหลืออยู่ในขั้นตอนการกำจัดเมื่อเทียบกับร้อยละของสารที่ประจุทั้งหมดคิดที่ 80% ตามมาตรฐาน IPCC (2006)



ภาพที่ 85 ปริมาณการปล่อยสารทำความเย็นของอาคาร 70 ปี แบ่งตามช่วงอายุของอาคาร

1.2 การศึกษาแนวทางการลดการปล่อยสารทำความเย็น

จากข้อมูลดังกล่าวจึงพิจารณากำหนดแนวทางการลดการปล่อยสารทำความเย็นชนิด HCFC จากเครื่องปรับอากาศ ตามมาตรฐาน LEED EBOM V4 โดยแบ่งเป็น 2 แนวทางการจัดการดังต่อไปนี้

- แนวทางที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP สูง
- แนวทางที่ 2 การนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่

แนวทางที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP สูง เป็นแนวทางที่จัดการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพทำความเย็นสูงและใช้ทำความเย็นที่มีค่า GWP ต่ำ โดยเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศชนิด Split Type แบบเดิม 97 เครื่อง เป็นแบบ Inverter ทั้งหมด จำนวน 109 เครื่อง ซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีการสารทำความเย็นชนิด R-32 (ขนาดทำความเย็นในแต่ละห้องหลังจากปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศจะไม่ต่ำกว่าก่อนมีมาตรการเสนอแนะ) และเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศชนิด Package จากระบบเดิม 11 เครื่อง เป็นแบบ Inverter ทั้งหมด 11 เครื่อง (ขนาดทำความเย็นในแต่ละห้องหลังจากปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศจะไม่ต่ำกว่าก่อนมีมาตรการเสนอแนะ) ซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น R-410A โดยพลังงานจากไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากเครื่องปรับอากาศชนิด Split Type ระบบ Inverter ประมาณ 84,538.13 kWh/year และพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากเครื่องปรับอากาศชนิด Package ระบบ

Inverter เท่ากับ 22,319.90 kWh/year รวมผลประหยัดทั้งหมด 108,470.99 kWh/year ซึ่งแสดงรายละเอียดข้อมูลการปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศแสดงดัง และตารางที่ 47 และตารางที่ 48

ตารางที่ 47 รายละเอียดผลประหยัดด้านพลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละห้อง ตามแนวทางการจัดการที่ 1

ห้อง	พลังงานไฟฟ้าก่อนมีมาตรการ (kWh/year)	%Saving	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)
ห้องสำนักงาน ชั้น 1	3,164	38%	1,202.32
ห้อง Saver	4,172	47%	1,960.84
ห้องคอมพิวเตอร์ A	22,638	31%	7,017.78
ห้องคอมพิวเตอร์ B	32,312.40	29%	9,370.60
ห้องคอมพิวเตอร์ C	32,060	41%	13,144.60
ห้องแม่โขงชลราคี	11,781.16	30%	3,534.35
ห้อง 201/1	13,783.77	45%	6,202.70
ห้อง 201/2	8,984.98	45%	4,043.24
ศูนย์สอบ 202	21,703.50	38%	8,247.33
ห้องฝึกอบรม 203	4,410.00	41%	1,808.10
ห้องประชุม 204	8,593.89	51%	4,382.88
ห้อง 205	8,184.66	45%	3,683.10
ห้อง 301/1	15,279.27	36%	5,500.54
ห้อง Control	1,801.80	31%	558.56
ห้อง 302	11,618.88	32%	3,718.04
ห้อง 303	2,948.40	44%	1,297.30

ตารางที่ 47 รายละเอียดผลประหยัดด้านพลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละห้อง ตามแนวทางการจัดการที่ 1 (ต่อ)

ห้อง	พลังงานไฟฟ้าก่อนมีมาตรการ (kWh/year)	%Saving	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)
ห้อง 304	13,975.44	38%	5,310.67
ห้อง 305	4,496.12	31%	1,393.80
ห้องช่างเทคนิค	2,380.00	41%	975.80
ห้อง 401	11,051.04	30%	3,315.31
ห้อง 402	5,008.64	29%	1,452.51
ห้อง 403	16,663.92	34%	5,665.73
ห้องแคว้นอยชลาสินธุ์	11,592.00	26%	3,013.92
ห้องสตูดิโอ	[1] 871.50	41%	357.32
	[1] 1,512.00	54%	816.48
	[1] 2,042.25	39%	796.48
	[2] 9,434.25	47%	6,573.42
รวมผลประหยัด			108,470.99

หมายเหตุ [1] พลังงานไฟฟ้ารวมจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนของห้องสตูดิโอ
[2] พลังงานไฟฟ้ารวมจากเครื่องปรับอากาศแบบชุดของห้องสตูดิโอ

ตารางที่ 48 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ Inverter ที่แนะนำตามแนวทางการจัดการที่ 1

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	ชนิดสารทำความเย็น	จำนวนเครื่อง (เครื่อง)	EER (Btu/hr/w)	ราคาเครื่องปรับอากาศ (Baht/เครื่อง)	ราคาเครื่องปรับอากาศ (Baht)
12,000	R-32	4	14.91	[1] 24,600	98,400
15,000	R-32	1	14.54	[1] 29,300	29,300
18,000	R-32	2	15.13	[1] 32,600	65,200
20,000	R-32	3	15.04	[1] 41,000	123,000
25,000	R-32	17	14.82	[1] 44,900	763,300

ตารางที่ 49 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ Inverter ที่แนะนำตามแนวทางการจัดการที่ 1 (ต่อ)

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	ชนิดสารทำความเย็น	จำนวนเครื่อง (เครื่อง)	EER (Btu/hr/w)	ราคาเครื่องปรับอากาศ (Baht/เครื่อง)	ราคาเครื่องปรับอากาศ (Baht)
30,000	R-32	82	13.92	[1] 49,200	4,034,400
100,000	R-410A	3	13.10	[2] 216,300	648,900
120,000	R-410A	8	12.69	[2] 173,040	1,384,320
		รวมเงินลงทุน			7,146,820

สำหรับแนวทางที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP สูง โดยเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้สารทำความเย็นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 188,968.86 kWh/year จากเดิมที่ใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 297,439.85 kWh/year ทำให้คิดเป็นผลประหยัดเท่ากับ 108,470.99 kWh/year และมีระยะเวลาคืนทุน 17.66 ปี ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ผลประหยัดจากแนวทางเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP สูง ตามแนวทางการจัดการที่ 1

รายการ	ค่า
ค่าพลังงานหลังจากมีมาตรการเสนอแนะ (kWh/year)	188,968.86
ค่าพลังงานก่อนจากมีมาตรการเสนอแนะ (kWh/year)	297,439.85
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประยัดได้ (kWh/year)	108,470.99
[1] ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)	404,596.79
[2] เงินลงทุน (Baht)	7,146,820
ระยะเวลาคืนทุน (year)	17.66

หมายเหตุ [1] ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ.2559) 3.73 Baht/kWh

แนวทางที่ 2 การนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ เป็นแนวทางการกักเก็บสารทำความเย็นจากการซ่อมบำรุงหรือรื้อถอนเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากการซ่อมบำรุงและรื้อถอนเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กจะต้องมีการปล่อยสารทำความเย็นออกสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดผลกระทบ

ทางชั้นบรรยากาศตามมา ดังภาพที่ 86 สำหรับแนวทางนี้เหมาะสมกับอาคาร 70 ปี แม่โจ้ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคารส่วนใหญ่เป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาดเล็ก

จากกการวิเคราะห์ พบว่า แนวทางการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่มีศักยภาพการลดปริมาณการปล่อยสาร HCFC ในปี 2017 ได้ 7.66% ตามมาตรฐานของ USEPA (2006) ดังตารางที่ 51 โดยสามารถลดการใช้สารความทำเย็นลงได้ทั้งหมด 32.10 kg/year ทำให้ค่าคาร์บอนฟุตปริ้นที่คำนวณได้จากสมการที่ 26 ลดลง 58,101.00 $kgCO_2$/year และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจากมาตรการลงได้ 5,043.35 Baht/year (วิเคราะห์จากค่าคาร์บอนฟุตปริ้นที่สามารถลดได้ 58,101 $kgCO_2$/year คูณด้วยต้นทุนที่ใช้และแปลงค่าเงินเป็นเงินสกุลไทย 33.13 Baht/USD ข้อมูล ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2560) ดังตารางที่ 52

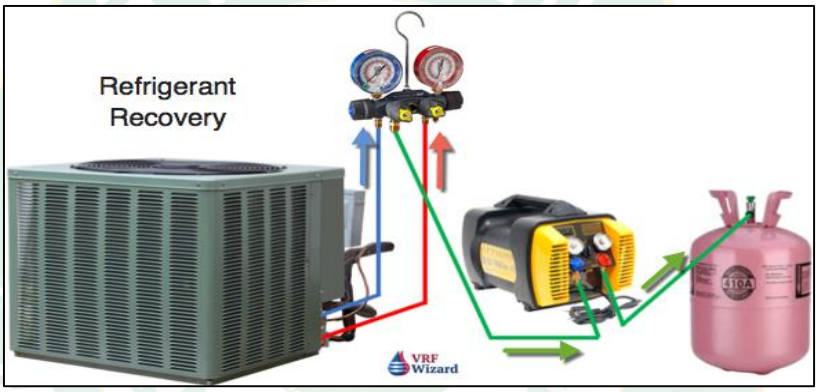
แนวทางการจัดการนี้เป็นมาตรการทำให้เกิดผลประหยัดจากในเรื่องของการบำรุงรักษาแต่ไม่ได้ลดผลประหยัดในด้านของการใช้พลังงาน

ตารางที่ 51 แนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ของต่างประเทศตามมาตรฐาน USEPA (2006)

เทคโนโลยีที่ใช้	ช่วงเวลาที่นำเข้า/ใช้งาน (ปี)	ศักยภาพในการลดปริมาณการปล่อยสาร HFCs	ต้นทุนที่ใช้	ความซับซ้อนของเทคโนโลยี	ประเทศที่ใช้
การนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่	(2005)(2010)(2015)(2017)(2020)	ลดลงร้อยละ (2.4)(4.0)(6.5)(7.66)(9.4) จากปีฐาน	-2.62 USD/TonCO_2	ปานกลาง	สหรัฐอเมริกา, ออสเตรเลีย, แคนาดา

ตารางที่ 52 ผลประหยัดจากแนวทางการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่

รายละเอียด	ค่า
ปริมาณสารทำความเย็น R-22 (kg)	419.10
ศักยภาพในการลดปริมาณการปล่อยสาร HFCs	7.66%
ปริมาณการรั่วไหลของสารความทำเย็นที่ลดลงได้ทั้ง (kg/year)	32.10
ค่า Emission Facter ของสารทำความเย็น R-22 ($kgCO_2/kg$)	1,810
ค่าคาร์บอนฟุตปริ้นที่ลดลง ($kgCO_2/year$)	58,101
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากมาตรการ (Baht/year)	5,043.35



ภาพที่ 86 มาตรการการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่

ที่มา: Vrfwizard (2018)

2. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 8 Enhanced Refrigerant Management

สำหรับ EA Credit 8 นั้นมีจุดประสงค์ในการจัดการสารทำความเย็นเพิ่มเติม ด้วยการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการรั่วไหลของสารทำความเย็น ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ พบว่า จากเดิมที่อาคารมีการใช้สารทำความเย็น R-22 ปริมาณทั้งหมด 487.32 kg ซึ่งมีการรั่วไหลของสารทำความเย็นในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ ในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน และการรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน IPCC (2006) พบว่า มีปริมาณการปล่อยสารทำความเย็นทั้งหมดในปี พ.ศ. 2559 รวมทั้งหมดเท่ากับ 419.10 kg เมื่อคิดเป็นค่า

Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 เท่ากับ 758,564.65 $kgCO_2/year_{2559}$ ดังตารางที่ 53

ตารางที่ 53 ปริมาณสารทำความเย็นและค่า Carbon Footprint ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

รายละเอียด	ค่า
ปริมาณสารทำความเย็น R-22 (kg)	487.32
การรั่วไหลของ R-22 ในการถ่ายเทภาชนะบรรจุ (kg)	0
การรั่วไหลของ R-22 ในช่วงเวลาใช้งาน (kg)	29.24
การรั่วไหลในขั้นตอนการประจุ R-22 (kg)	0
การรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ (kg)	389.86
รวมการรั่วไหลของ R-22 ($kg/year_{2559}$)	419.10
ค่า Emission Facter ของสารทำความเย็น R-22 ($kgCO_2/kg$)	1,810
ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น ($kgCO_2/year_{2559}$)	758,564.65

จากนั้นวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคาร (Atmospheric impact in the building) ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 จากสมการที่ 3 และสมการที่ 6 พบว่า เครื่องปรับอากาศในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีค่า Atmospheric impact เท่ากับ 74.07 ($kgCO_2/kW$)/year ซึ่งรายละเอียดของการวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ แสดงดังตารางที่ 54

ตารางที่ 54 การวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ (กรณีไม่มีการปรับปรุง)

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ขนาดทำความเย็นรวม (kW_{Cool})	LCGWP ($kgCO_2$/(kW/year))	LCODP x10^5 (kgCFC-11/(kW/year))	Refrigerant Atmospheric impact ($kgCO_2$/kW)/year	(LCGWP+(LCODCx10^5)*N*Qunit $kgCO_2$/year
12,000	2	7.03	16.83	51.16	67.99	478.22
18,000	2	10.55	16.83	51.16	67.99	717.33
25,000	16	117.23	18.91	57.46	76.37	8,952.73
30,000	39	342.89	18.67	56.73	75.40	25,854.14
36,000	18	189.91	19.15	58.18	77.33	14,685.74
38,000	6	66.82	17.18	52.19	69.37	4,635.32
40,000	12	140.67	16.49	50.12	66.61	9,370.30
48,000	2	28.13	12.01	36.49	48.50	1,364.54
100,000	3	87.92	18.91	57.46	76.37	6,714.55
120,000	8	281.35	18.91	57.46	76.37	21,486.56
ผลรวมค่า (LCGWP+(LCODCx10^5) x N x Qunit ($kgCO_2$/year)						94,259.43
ขนาดทำความเย็นรวมทั้งหมด (kW_{Cool})						1,272.51
ค่าเฉลี่ย Refrigerant Atmospheric impact (($kgCO_2$/kW)/year)						74.07

จากที่ได้นำเสนอมาตรการการลดการใช้สารทำความเย็นใน EA Prerequisite 4 ซึ่งมีจำนวน 2 แนวทางการจัดการ คือ แนวทางที่ 1 มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP ที่สูง และแนวทางที่ 2 มาตรการการนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ จึงได้ทำการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมของแนวทางการจัดการที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศการใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP ที่สูง พบว่า หากมีการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องที่มีการใช้สารทำความเย็น R-32 จะใช้ปริมาณสารทำความเย็น R-32 ทั้งหมด 200 kg และเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องที่มีการใช้สารทำความเย็น R-410A ในปริมาณสารทำความเย็นทั้งหมด 68.4 kg จากการวิเคราะห์การรั่วไหลในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ การรั่วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้

งาน และการรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน IPCC (2006) พบว่า มีปริมาณการปล่อยสารทำความเย็น รวมทั้งหมด 233.51 kg ดังตารางที่ 55 เมื่อคิดเป็นค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น เท่ากับ 241,702.70 $kgCO_2/year_{2559}$ ดังผลในตารางที่ 57

ตารางที่ 55 ปริมาณความจุสารทำความเย็นตามแนวทางมาตรการที่ 1

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	ชนิดสารทำความเย็น	จำนวน (เครื่อง)	ความจุสารทำความเย็น (kg/เครื่อง)	ความจุสารทำความเย็นรวม (kg)
30,000	R-32	82	2	164
25,000	R-32	17	1.50	25.50
20,000	R-32	3	1.20	3.60
18,000	R-32	2	1.20	2.40
15,000	R-32	1	0.90	0.90
12,000	R-32	4	0.90	3.60
100,000	R-410A	3	6	18
120,000	R-410A	8	6.30	50.40
ปริมาณรวมสารทำความเย็น R-32				200
ปริมาณรวมสารทำความเย็น R-410A				68.40
ปริมาณรวมทั้งหมดสารทำความเย็น				268.40

ตารางที่ 56 ปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นและค่า Carbon Footprint หลังจากเสนอมาตรการตามแนวทางที่ 1

รายละเอียด	R-32	R-410A
ปริมาณสารทำความเย็น (kg)	200	68.40
การรั่วไหลของสารทำความเย็นในการถ่ายเทภาชนะบรรจุ (kg)	0	0
การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน (kg)	12.00	4.10
การรั้วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น (kg)	2.00	0.68
การรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ (kg)	160.00	54.72
รวมการรั่วไหลของสารทำความเย็น ($kg/year_{2559}$)	174.00	59.51
ค่า Emission Factor สารทำความเย็น ($kgCO_2/kg$)	117,450.00	124,252.70

ตารางที่ 56 ปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นและค่า Carbon Footprint หลังจากเสนอมาตรการตามแนวทางที่ 1 (ต่อ)

รายละเอียด	R-32	R-410A
ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น ($kgCO_2/year_{2559}$)	12.00	4.10
รวมค่า Carbon Footprint ($kgCO_2/year_{2559}$)	241,702.70	

การวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคาร (Atmospheric impact in the building) ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 ในแนวทางการจัดการที่ 1 มีค่าเท่ากับ 5.87 ($kgCO_2/kW$)/year ซึ่งรายละเอียดของการวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นหลังจากมีมาตรการเสนอแนะตามแนวทางการจัดการที่ 1 แสดงดังตารางที่ 57

ตารางที่ 57 ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นกรณีดำเนินการตามแนวทางการจัดการที่ 1

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ขนาดทำความเย็นรวม (kW_{Cool})	ชนิดสารทำความเย็น	LCGWP ($kgCO_2/(kW/year)$)	LCODP $x10^5$ (kgCFC-11/(kW/year))	Refrigerant Atmospheric impact ($kgCO_2/kW$)/year	(LCGWP+(LCODCx10^5)*N *Qunit $kgCO_2$/year
12,000	4	14.07	R-32	4.61	0	4.61	64.85
15,000	1	4.40	R-32	3.69	0	3.69	16.22
18,000	2	10.55	R-32	4.09	0	4.09	43.15
20,000	3	17.58	R-32	3.69	0	3.69	64.89

ตารางที่ 57 การวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นหลังจากมีมาตรการเสนอแนะตามแนวทางการจัดการที่ 1 (ต่อ)

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ขนาดทำความเย็นรวม (kW_{Cool})	ชนิดสารทำความเย็น	LCGWP ($kgCO_2$/(kW/year))	LCODP $x10^5$ (kgCFC-11/(kW/year))	Refrigerant Atmospheric impact ($kgCO_2$/kW)/year	(LCGWP+(LCODCx10^5)*N *Qunit $kgCO_2$/year
25,000.	17	124.56	R-32	3.69	0	3.69	459.61
30,000.	82	720.95	R-32	4.09	0	4.09	2,948.70
100,000	3	87.92	R-410A	11.40	0	11.40	1,002.30
120,000	8	281.35	R-410A	9.97	0.00	9.97	2,805.04
ผลรวมค่า (LCGWP+(LCODCx10^5) x N x Qunit ($kgCO_2$/year)							7,404.76
ขนาดทำความเย็นรวมทั้งหมด (kW_{Cool})							1,287.75
ค่าเฉลี่ย Refrigerant Atmospheric impact (($kgCO_2$/kW)/year)							5.87

สำหรับผลการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมของแนวทางการจัดการที่ 2 การนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ พบว่า การรั่วไหลของสารทำความเย็นในอาคารมีศักยภาพการลดปริมาณการปล่อยสาร HCFC เท่ากับ 7.66% ของรั่วไหลทั้งหมด คิดเป็นการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 ที่สามารถลดได้รวมทั้งหมดเท่ากับ 32.10 kg คิดเป็นค่า Carbon Footprint ที่ลดได้จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นเท่ากับ 58,101.00 $kgCO_2/year_{2559}$ แสดงดังข้อมูลที่ดังตารางที่ 53

การวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคาร (Atmospheric impact in the building) ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 ในแนวทางการจัดการที่ 2 มีค่าเท่ากับ 68.40 ($kgCO_2$/kW)/year ซึ่งรายละเอียดของการวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นหลังจากมีมาตรการเสนอแนะตามแนวทางการจัดการที่ 2 แสดงดังตารางที่ 58

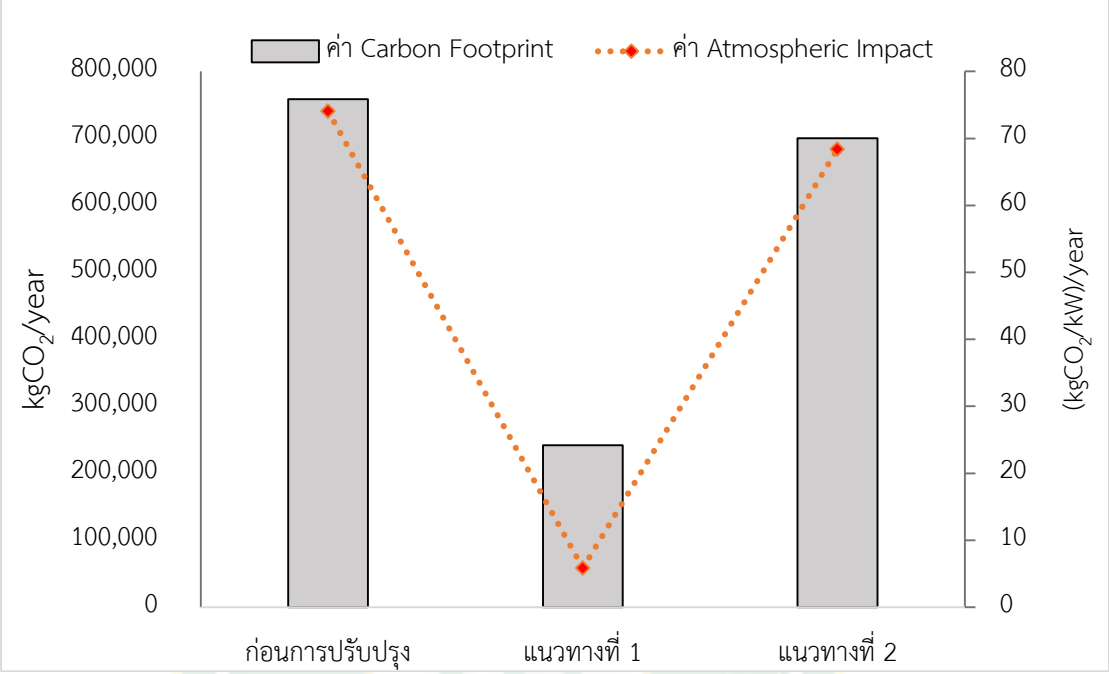
ตารางที่ 58 การวิเคราะห์ค่าผลกระทบของชั้นบรรยากาศจากการปลดปล่อยสารทำความเย็นหลังจากมีมาตรการเสนอแนะตามแนวทางการจัดการที่ 2

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ขนาดทำความเย็นรวม (kW_{Cool})	ความจุสารทำความเย็นต่อขนาดทำความเย็น (kg/kW)	LCGWP ($kgCO_2$/(kW/year))	LCODP x10^5 (kgCFC-11/(kW/year))	Refrigerant Atmospheric impact ($kgCO_2$/kW)/year	(LCGWP+(LCODCx10^5)*N *Qunit $kgCO_2$/year
12,000	2	7.03	0.32	15.55	47.24	62.79	441.65
18,000	2	10.55	0.32	15.55	47.24	62.79	662.47
25,000	16	117.23	0.36	17.46	53.05	70.51	8,265.78
30,000	39	342.89	0.36	17.24	52.39	69.63	23,875.65
36,000	18	189.91	0.37	17.68	53.72	71.40	13,559.58
38,000	6	66.82	0.33	15.86	48.20	64.06	4,280.50
40,000	12	140.67	0.32	15.23	46.28	61.51	8,652.86
48,000	2	28.13	0.23	11.09	33.70	44.79	1,260.16
100,000	3	87.92	0.36	17.46	53.05	70.51	6,199.33
120,000	8	281.35	0.36	17.46	53.05	70.51	19,837.86
ผลรวมค่า (LCGWP+(LCODCx10^5) x N x Qunit ($kgCO_2$/year)							87,035.83
ขนาดทำความเย็นรวมทั้งหมด (kW_{Cool})							1,272.51
ค่าเฉลี่ย Refrigerant Atmospheric impact (($kgCO_2$/kW)/year)							68.40

จากภาพที่ 87 จะเห็นได้ว่าแนวทางจัดการสารทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือแนวทางที่ 1 โดยที่ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น ลดลงจากเดิม 68.15% และ ค่า Atmospheric Impact ในอาคาร ลดลงจากเดิมถึง 92.07% แต่ว่าแนวทางการจัดการนี้จะต้องใช้เงินลงทุนที่สูงมากในการดำเนินการ สำหรับแนวทางที่ 2 มีค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น และมีค่า Atmospheric Impact ในอาคาร ลดลงจากเดิมถึงเพียง 7.66% เป็นแนวทางการจัดการที่มีการลงทุนต่ำและยังประหยัดค่าใช้จ่ายจากการซื้อสารทำความเย็น แต่ทางเลือกที่ 1 เป็นข้อเสนอแนะเนื่องจากเป็นแนวทางที่สามารถลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมได้สูงสุด ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละแนวทางการจัดการดังตารางที่ 59

ตารางที่ 59 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละแนวทางการจัดการ

กรณี	Carbon Footprint $kgCO_2/year_{2559}$	Atmospheric Impact $(kgCO_2/kW)/year$
ก่อนมีมาตรการปรับปรุง	758,564.65	74.07
แนวทางการจัดการที่ 1	241,702.70	5.87
แนวทางการจัดการที่ 2	700,463.65	68.40



ภาพที่ 87 ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น และ ค่า Atmospheric impact ในอาคารของก่อนการปรับปรุง แนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ

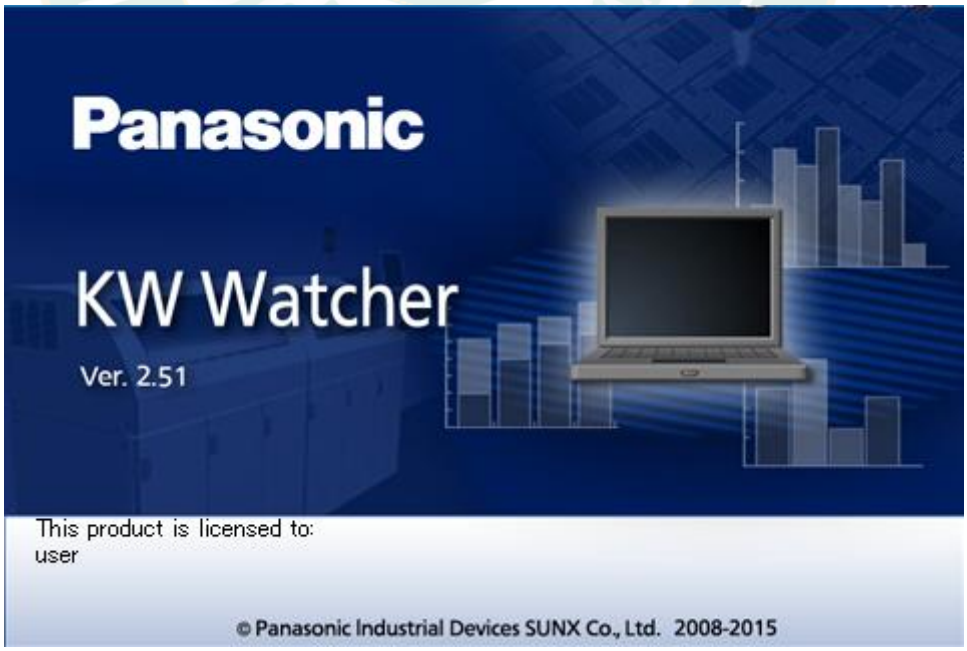
แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ ภายในอาคารตาม ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere ประกอบด้วยการวิเคราะห์ตามหัวข้อ EA Credit 5 EA Credit 6 และ EA Credit 7 มีผลการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 5 Advanced Energy Metering

สำหรับอาคาร 70 ปี แม่โจ้ จากการสำรวจภายในอาคารมีการติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง (Advanced Energy Metering) สำหรับตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า โดยการติดตั้งมิเตอร์ดิจิตอล และควบคุมผ่านโปรแกรม KW Watcher Version 2.51 ดังภาพที่ 88 (ก) และภาพที่ 88 (ข) ใช้งานจริงตั้งแต่วันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2557 โดยที่ลักษณะของระบบตรวจวัดระดับการใช้พลังงานขั้นสูงในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ เป็นไปตามลักษณะของ EA Credit 5

สำหรับอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ทำการติดตั้งเครื่องวัดการใช้พลังงานขั้นสูง (Advanced Energy Metering) กับพลังงานไฟฟ้า โดยลักษณะของพลังงานที่ใช้งานกับระบบตรวจวัดมีลักษณะต่อไปนี้

1. ระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงมีการใช้งานกับ พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานเดียวที่มีการใช้ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้
2. พลังงานหลักมีการใช้มากกว่า 20% โดยการประเมินพลังงานรายปีทั้งหมดของอาคาร ลบปลั๊กโหลด (Plug Load Use) ซึ่งพลังงานหลักในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ คือพลังงานไฟฟ้า โดยในปัจจุบันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 460,600.55 kWh/year มีการใช้พลังงานไฟฟ้าด้านอื่นๆ 49,774.53 kWh/year ซึ่งมีพลังงานหลักที่ใช้ในอาคาร 89.19%



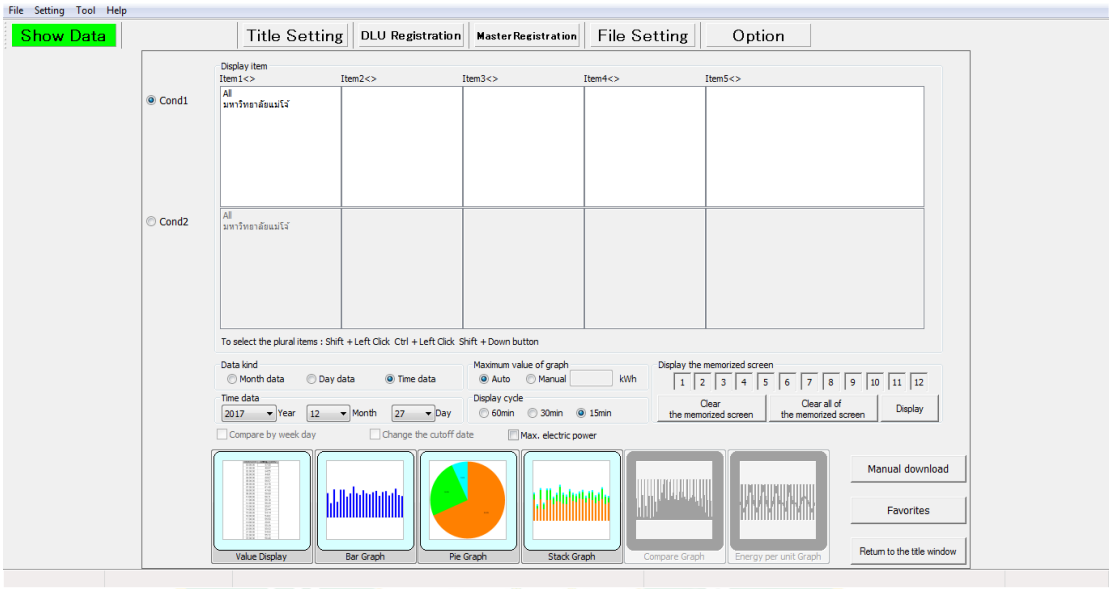
(ก) โปรแกรม KW Watcher Version 2.51

(ข) อุปกรณ์ Datalogger ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

ภาพที่ 88 โปรแกรม KW Watcher และ Datalogger ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

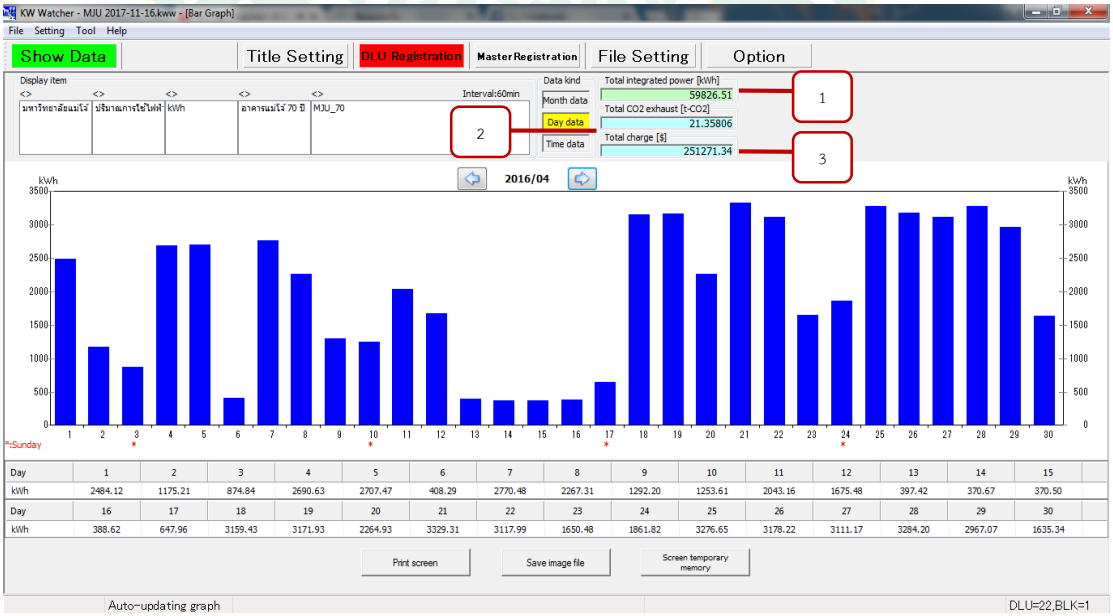
ซึ่งอุปกรณ์ของระบบตรวจวัดระดับการใช้พลังงานขั้นสูง ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. มิเตอร์วัดพลังงานมีการบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที และมีระบบเก็บข้อมูลอัตโนมัติและเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไรสายจากระยะไกลได้ผ่าน Wi-Fi ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีลักษณะหน้าจอแสดงผลประกอบด้วย ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น รายชั่วโมง รายวันและรายเดือน สามารถแสดงผลเป็นตาราง เป็นกราฟแท่งได้ ดังภาพที่ 89



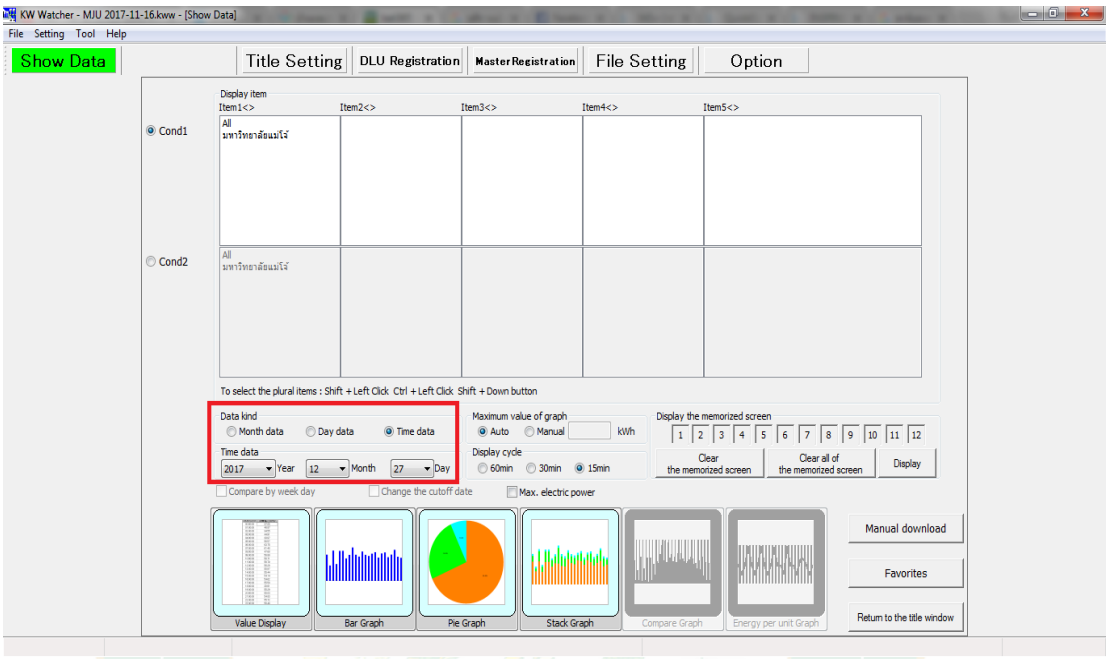
ภาพที่ 89 ลักษณะหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม KW Watcher ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

2. มิเตอร์วัดพลังงานจะบันทึกทั้งค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และค่าตัวประกอบไฟฟ้าของอาคารในรูปของโปรแกรม Microsoft Excel และจะแสดงข้อมูลในโปรแกรม KW Watcher เป็นค่าพลังงานไฟฟ้า (หมายเลข 1) ค่าคาร์บอนฟุตปริ๊น (หมายเลข 2) และค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (หมายเลข 3) ดังภาพที่ 90



ภาพที่ 90 ลักษณะการแสดงข้อมูลของโปรแกรม KW Watcher ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้

3. ระบบตรวจวัดพลังงานภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการจัดเก็บและสำรองข้อมูลในปัจจุบันมากกว่า 36 เดือน โดยจัดเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 และสามารถรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นรายชั่วโมง รายวันรายเดือน และรายปี ได้ดังภาพที่ 91



ภาพที่ 91 ความละเอียดของโปรแกรม KW Watcher สามารถรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน และรายปี

ในที่นี้ขอแสดงตัวอย่างลักษณะโปรแกรม KW Watcher ดังภาพที่ 92 เป็นตัวอย่างข้อมูลของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ.2559 ลักษณะของการเก็บข้อมูลในรูปของโปรแกรม Excel ดังต่อไปนี้

- ช่อง A เป็นข้อมูลวันที่ ของการเก็บข้อมูล ซึ่งในตัวอย่างเป็นวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ.2559
- ช่อง B เป็นข้อมูลเวลา ของการเก็บข้อมูล ซึ่งในตัวข้อมูลจะเริ่มเก็บ เวลา 0.15 น. เก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที แล้วสิ้นสุดในเวลา 0.00 น. ของแต่ละวัน ซึ่งจะแยกเป็นไฟล์ข้อมูลเป็นแต่ละวัน
- ช่อง C เป็นข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ซึ่งข้อมูลจะเป็นตัวเลขมิเตอร์ที่เมื่อมีการใช้พลังงานไฟฟ้าตัวเลขก็จะนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสามารถหาการใช้พลังงานไฟฟ้าใน

ขณะนั้นได้ ตัวอย่างเช่น เวลา 0.15 น. มีตัวเลขมิเตอร์ 625,603.10 และเวลา 0.30 น. มีตัวเลขมิเตอร์ 625,608.00 สามารถทราบได้ว่าในช่วงเวลา 0.15-0.30 น. มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าไร โดยนำ ตัวเลขมิเตอร์ 625,608.00 ณ เวลา 0.30 น. ลบด้วยตัวเลขมิเตอร์ 625,603.10 ของเวลา 0.15 จะทราบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 4.89 kWh

- ช่อง D คือ ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคารในช่วงเวลาทุกๆ 15 นาที
- ช่อง E-G คือ ข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละ Line ของตัวอาคารในช่วงเวลานั้น ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ อยู่ในช่วงประมาณ 398-402 V
- ช่อง H-J คือ ข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละ Line ของตัวอาคารในช่วงเวลานั้น
- ช่อง K คือ ข้อมูลค่าความถี่ไฟฟ้าของอาคารในขณะนั้น
- ช่อง L คือ ข้อมูลตัวประกอบไฟฟ้าของอาคารในขณะนั้น

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Date	Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2			kWh	kW_ave	Line Volt 1	Line Volt 2	Line Volt 3	Current (1	Current (2	Current (3	Frequency	PF_ave
3			COM2 [Un	COM2 [Un	COM2 [Un	COM2 [Un	COM2 [Un	COM2 [Un	COM2 [Un	COM2 [Un	COM2 [Un	COM2 [Un
4			DT106	DT146	DT172	DT174	DT176	DT180	DT182	DT184	DT193	DT197
5			MOMENT	AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE	AVERAGE
6			US32 -> F	S32 -> FL	US32 -> F	US32 -> F	US32 -> F	US32 -> F	US32 -> F	US32 -> F	US16 -> F	S16 -> FL
7			kWh	kW	V	V	V	A	A	A	Hz	
8	1/5/2016	0:15:00	625603.1	22.63	398.5	399.1	398.4	38.32	39.57	38.44	49.9	0.84
9	1/5/2016	0:30:00	625608	19.55	397.6	398.2	397.5	33.88	33.66	28.2	49.9	0.88
10	1/5/2016	0:45:00	625612.8	19.45	395.7	396.4	395.6	34.18	33.46	27.72	49.9	0.89
11	1/5/2016	1:00:00	625617.7	19.4	396.1	396.8	396.1	33.76	33.95	27.23	49.9	0.89
12	1/5/2016	1:15:00	625622.6	19.76	396	396.7	395.9	33.75	33.25	29.92	49.9	0.88
13	1/5/2016	1:30:00	625627.4	19	400.2	400.9	400	32.74	31.17	27.88	49.9	0.89
14	1/5/2016	1:45:00	625632.1	18.85	400.8	401.4	400.6	32.29	31.02	27.74	49.9	0.89
15	1/5/2016	2:00:00	625636.9	19.27	400.5	401.1	400.2	34.13	31.21	28.56	49.9	0.88
16	1/5/2016	2:15:00	625641.8	19.44	401.1	401.8	400.9	34.06	31.18	29.33	49.9	0.88
17	1/5/2016	2:30:00	625646.7	19.61	402.4	403.1	402.2	34.63	31.39	28.77	49.9	0.88
18	1/5/2016	2:45:00	625651.5	19.35	402.3	402.9	402	34.27	31.15	28.19	49.9	0.88
19	1/5/2016	3:00:00	625656.3	19.36	402.4	402.9	402	34.49	30.6	28.57	49.9	0.88
20	1/5/2016	3:15:00	625661.1	19.13	402.4	402.9	402.1	33.08	30.29	28.33	49.9	0.89

ภาพที่ 92 ตัวอย่างข้อมูลใน Excel ของโปรแกรม KW Watcher

สำหรับโปรแกรม KW Watcher ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ได้มีการบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าทุกๆ 15 นาที โดยจะนำเสนอตัวอย่างข้อมูลทางไฟฟ้าที่โปรแกรม KW Watcher ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ได้มีการบันทึกไว้ ซึ่งจะใช้ข้อมูลในเดือนเมษายน เป็นตัวอย่าง เนื่องจากเป็นช่วงเดือนที่เปิดภาคเรียนการศึกษาและอยู่ในช่วงฤดูร้อนทำให้เป็นเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดของปี พ.ศ.2559 เหมาะสำหรับการวางแผนจัดการการใช้พลังงานในอนาคต สำหรับช่วงเดือนเมษายน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดในรอบปี ซึ่งสูงถึง 59,826.51 kWh

ตารางที่ 60 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559

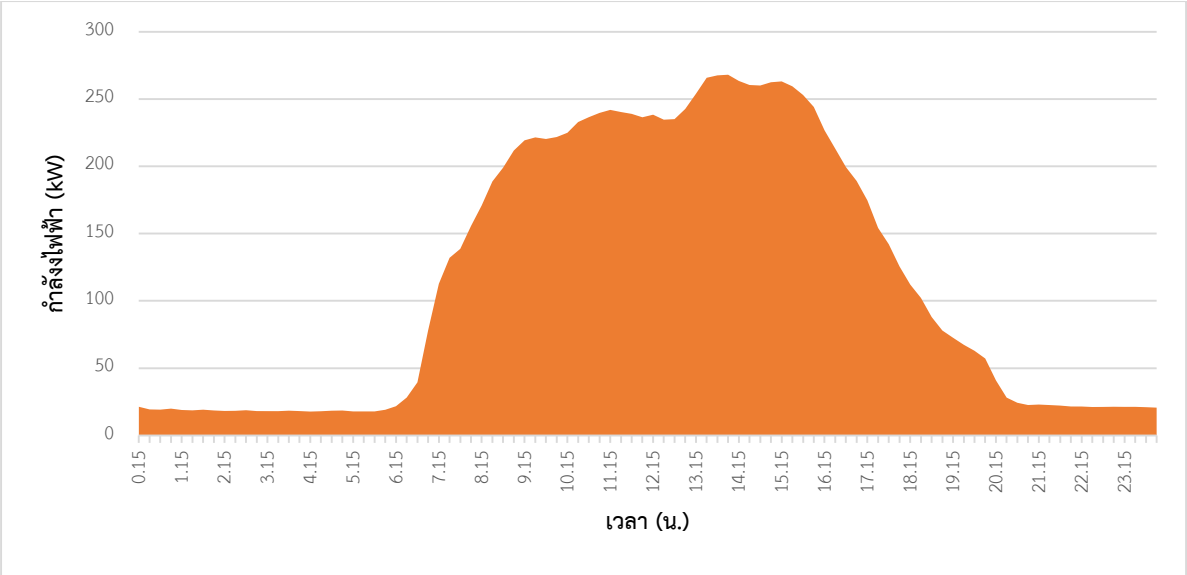
วันที่	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh)	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW_{MAX})	ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW_{Ave})	ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)	ค่ากระแสไฟฟ้า (A)	ค่าความถี่ไฟฟ้า (Hz)	ค่าตัวประกอบไฟฟ้า (PF)
1	2,475.90	280.6	103.59	397.60	162.83	49.90	0.91
2	1,171.41	125.17	49.00	398.73	77.44	49.90	0.83
3	870.22	82.38	36.47	399.15	57.70	49.90	0.84
4	2,686.86	295.91	112.21	395.82	179.18	49.90	0.85
5	2,702.99	274.62	112.90	396.19	178.70	49.90	0.86
6	403.72	20.49	17.01	399.40	30.68	49.90	0.78
7	2,765.73	267.81	115.54	395.95	182.51	49.90	0.86
8	2,262.57	247.94	96.81	396.47	153.52	49.90	0.86
9	1,303.02	190.11	57.43	398.49	94.49	49.90	0.86
10	1,248.84	133.56	52.27	397.84	84.38	49.90	0.88
11	2,037.06	196.98	85.21	397.20	136.42	49.90	0.89
12	1,670.92	199.53	69.86	397.73	111.89	49.90	0.89
13	393.14	28.73	16.56	398.76	26.23	49.90	0.90
14	366.73	17.22	15.44	399.92	24.59	49.90	0.89
15	366.71	18.14	15.43	399.46	24.26	49.90	0.91
16	384.78	26.87	16.19	398.94	25.62	49.91	0.90
17	643.67	86.38	27.01	398.15	43.93	49.90	0.88
18	3,155.53	318.98	131.76	395.36	208.26	49.90	0.93
19	3,166.47	313.62	132.28	396.15	210.27	49.90	0.84
20	2,259.38	220.20	94.45	398.59	151.48	49.90	0.77
21	3,323.79	330.05	138.85	396.11	221.24	49.90	0.79
22	3,112.25	287.31	130.03	396.37	206.98	49.90	0.81
23	1,644.91	182.33	68.82	399.10	113.48	49.90	0.76
24	1,857.15	192.43	77.64	399.18	129.82	49.90	0.70
25	3,271.79	315.21	136.65	396.72	219.58	49.90	0.76

ตารางที่ 60 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559 (ต่อ)

วันที่	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh)	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW_{MAX})	ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW_{Ave})	ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)	ค่ากระแสไฟฟ้า (A)	ค่าความถี่ไฟฟ้า (Hz)	ค่าตัวประกอบไฟฟ้า (PF)
26	3,173.67	324.64	132.55	396.59	213.94	49.90	0.75
27	3,106.44	300.63	129.75	397.01	205.64	49.90	0.80
28	3,277.53	301.48	136.96	396.05	214.97	49.90	0.85
29	2,960.30	262.76	123.73	395.74	200.88	49.90	0.89
30	1,630.12	182.34	68.19	396.99	111.12	49.90	0.88
Average	1,989.79	200.81	83.35	397.53	133.40	49.90	0.84

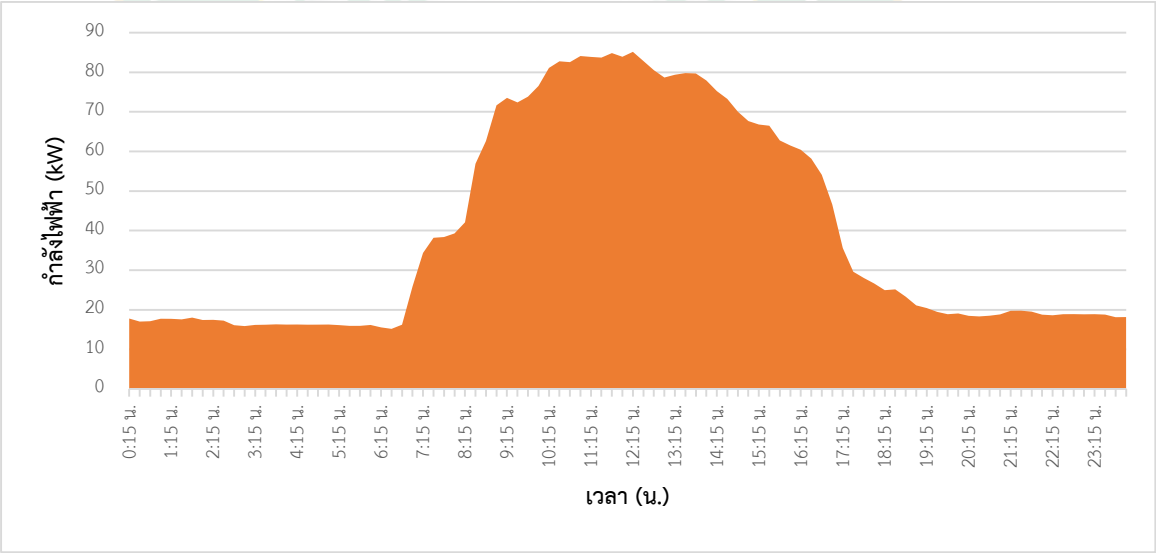
เมื่อวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าภายในอาคารแยกเป็นรายวันพบว่า ในวันที่ 28 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดในรอบเดือนมากถึง 3,277.53 kWh เป็นช่วงวันที่มีการเรียนการสอน สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่ในรอบเดือนเท่ากับ 330.05 kW เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพิ่มขึ้น สำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งสามเฟส อยู่ที่ 397.53 V ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน และค่าตัวประกอบไฟฟ้าของอาคารในเดือนเมษายน เท่ากับ 0.84 มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อยเนื่องจาก ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยค่าตัวประกอบไฟฟ้าก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วย ซึ่งในเดือนเมษายนมีวันหยุดราชการมากถึง 13 วัน ซึ่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559 แสดงดังตารางที่ 60

เมื่อวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาของวันซึ่งคิดจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลตลอดเดือนเมษายน โดยโปรแกรมจะเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 วัน คือ วันทำงาน และวันหยุดราชการ สำหรับวันทำงานนั้นมีการใช้ไฟฟ้าสูงมากจะมีการเริ่มใช้ไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 7.00 น. ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงเวลา 14.00 น. มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดเฉลี่ย 268.09 kW และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเวลา 20.30 น. ดังภาพที่ 93 จากลักษณะกำลังไฟฟ้าเป็นเช่นนี้ก็สอดคล้องกับการใช้งานห้องเรียนในอาคาร



ภาพที่ 93 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันในเดือนเมษายน ในช่วงเวลาวันทำงาน

สำหรับวันหยุดราชการ ในเดือนเมษายนมีวัดหยุดราชการทั้งหมด 13 วัน โดยจะมีการเริ่มใช้ไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 7.00 น. ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงเวลา 14.00 น. มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดเฉลี่ย 85.17 kW และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ดังภาพที่ 94



ภาพที่ 94 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันในเดือนเมษายน ในช่วงเวลาวันหยุดราชการ

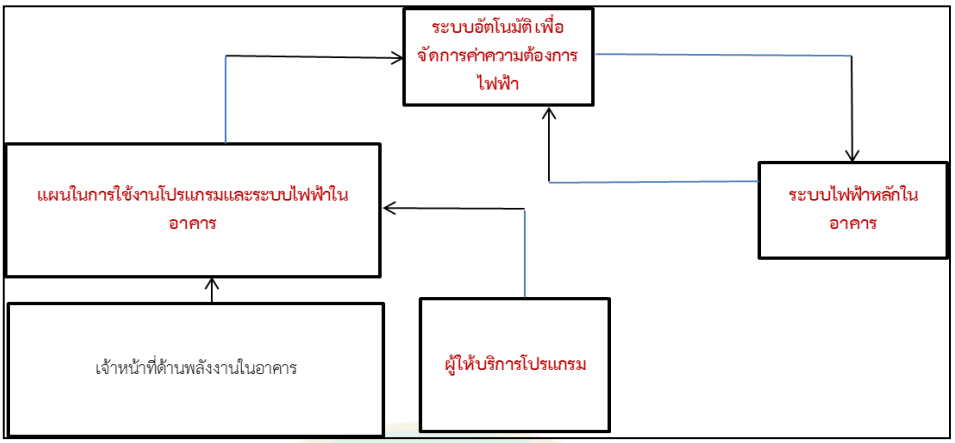
สำหรับการสำรวจการใช้งานระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงภายในอาคาร เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร แต่ทางโปรแกรมไม่มีการแสดงข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา และค่าตัวประกอบไฟฟ้าภายในอาคารผ่านจอมอนิเตอร์ของ Data Logger มีเพียงแต่ข้อมูลที่จัดเก็บใน Microsoft Excel ซึ่งตัวโปรแกรมควรที่จะมีการแสดงค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา และค่าตัวประกอบไฟฟ้าภายในอาคารด้วย สำหรับการใช้งานโปรแกรม KW Watcher ในปัจจุบันทางเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยใช้งานเพียงเพื่อได้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในแต่ละเดือน ซึ่งควรมีเจ้าหน้าที่สังเกตการใช้พลังงานงานไฟฟ้าในภายในอาคารแต่ละช่วงเวลาเพื่อทราบถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อาจผิดปกติและหาทางแก้ไขต่อไปในการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม และภายในอนาคตควรที่จะติดตั้งโปรแกรมตอบสนองความต้องการสำหรับควบคุมงานเปิดปิด ระบบไฟฟ้าต่างๆ ในแต่ละห้อง ภายในอาคารเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการพลังงาน

2. ผลการวิเคราะห์ EA Credit 6 Demand Response และ EA Credit 7 Renewable Energy and Carbon Offsets

2.1 การวิเคราะห์ค่าการความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร

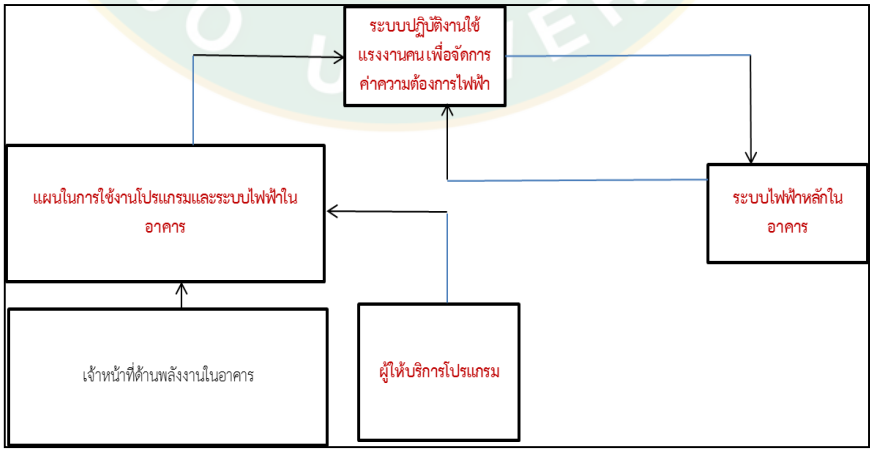
สำหรับในเกณฑ์ EA Credit 6 มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการค่าความต้องการพลังไฟฟ้าหรือค่ากำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมด้วยเทคโนโลยีและโปรแกรม ซึ่งการจัดการความต้องการไฟฟ้าสามารถควบคุมได้ 3 แนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1 กรณีอาคารใช้โปรแกรมตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน (Demand Response Program Available) เป็นโปรแกรมที่จะควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าหลักในลักษณะอัตโนมัติเพื่อจัดการค่าความต้องพลังไฟฟ้าสูงสุด (kW_{peak}) ลดลงจากเดิม 10% และควบคุมไม่ให้มีค่าสูงไปจากนี้ ซึ่งมีลักษณะการดำเนินการใช้งานโปรแกรมจะต้องมีการวางแผนโดยเจ้าหน้าที่ด้านพลังงานในอาคารร่วมกับผู้ให้บริการโปรแกรม เพื่อวางแผนการใช้งานระบบอัตโนมัติไม่ให้เกิดความเดือดร้อนและปลอดภัยกับผู้ใช้อาคารและสามารถจัดการค่าความต้องพลังไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังภาพที่ 95



ภาพที่ 95 ลักษณะการดำเนินการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการโปรแกรมพร้อมใช้งาน

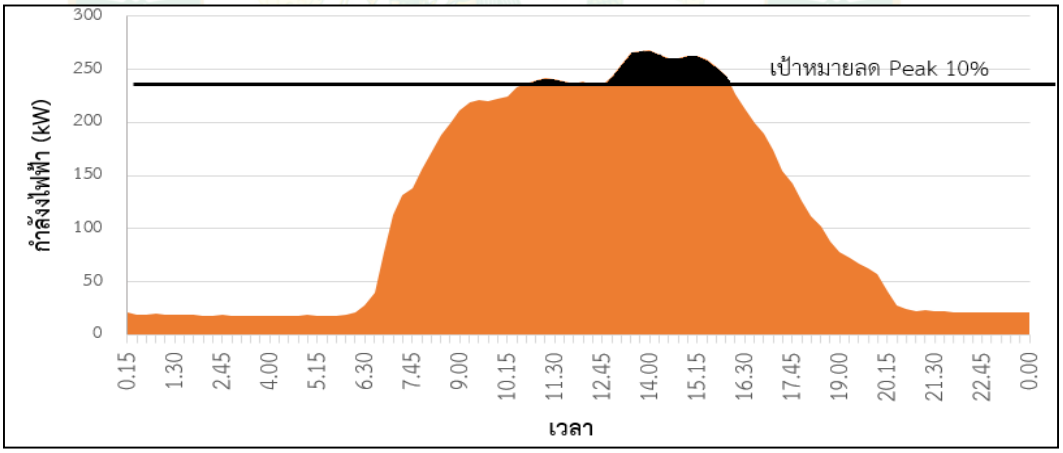
แนวทางที่ 2 กรณีอาคารไม่มีโปรแกรมตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน (Demand Response Program Not Available) จะมีลักษณะเจ้าหน้าที่ด้านพลังงานเป็นผู้ควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าหลัก เพื่อจัดการค่าความต้องพลังไฟฟ้าสูงสุด (kW_{peak}) ลดลงจากเดิม 10% และควบคุมไม่ให้มีค่าสูงไปจากนี้ ซึ่งลักษณะการดำเนินการสำหรับโปรแกรมไม่พร้อมใช้งาน จะต้องมีการวางแผนโดยเจ้าหน้าที่ด้านพลังงานในอาคารร่วมกับผู้ให้บริการโปรแกรม เพื่อวางแผนการใช้งานอุปกรณ์ไม่ให้เกิดความเดือดร้อนและปลอดภัยกับผู้ใช้อาคารและสามารถจัดการค่าความต้องไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งแผนการจัดการค่าความต้องการจะต้องรองรับกับการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการในอนาคต ดังภาพที่ 96



ภาพที่ 96 ลักษณะการดำเนินการใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการโปรแกรมพร้อมใช้งาน

แนวทางที่ 3 กรณีอาคารเลือกวิธีการเลื่อนใช้โหลดไฟฟ้าแบบถาวร (Permanent Load Shifting) การขยับเวลาภาระโหลดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า จากช่วงเวลา Peak ไปช่วงเวลา Off Peak ซึ่งการขยับเวลาโหลดจะต้องตอบสนองความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกมีแผนการดำเนินงาน

จากทั้ง 3 แนวทางดังกล่าวข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดแผนการจัดการค่าความต้องการพลังไฟฟ้าให้กับอาคาร 70 ปี แม่โจ้ โดยในการศึกษาใช้ตัวอย่างค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันในเดือนเมษายนตามช่วงเวลาวันทำงาน (วันจันทร์-วันศุกร์) ปี พ.ศ. 2559 จากภาพที่ 97 พบว่า ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ อยู่ในช่วงเวลา 13.00-15.30 น. ซึ่งมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ณ เวลา 14.00 น. มีค่าเท่ากับ 268.09 kW ซึ่งหากให้เป็นไปตามการวิเคราะห์จัดการความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของ LEED นั้น อาคารจะต้องลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลง 10% ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 26.81 kW จะทำให้ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของอาคารเหลือเท่ากับ 241.28 kW ซึ่งจำเป็นต้องหาแนวทางด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อลดค่า Peak ที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาเป็น 2 แนวทาง ได้แก่ การเลือกวิธีการเลื่อนใช้โหลดไฟฟ้าแบบถาวร และการเลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร หรือ Solar Rooftop



ภาพที่ 97 ความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของเดือนเมษายน ในช่วงเวลาวันทำงาน

2.2 แนวทางจัดการค่าความต้องการพลังไฟฟ้าโดยการทำมาตรการ

ในการศึกษาได้ทำการเลือกกรณีที่ 3 การเลื่อนใช้โหลดไฟฟ้าแบบถาวร จากการวิเคราะห์การลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นในช่วงเวลาที่มีค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูง คือ ช่วงเวลา 13.00-15.30 น. โดยแบ่งเป็นแต่ละระบบไฟฟ้าหลักในอาคาร คือ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง โดยแนะนำไม่ใช้งานหลอดไฟในบริเวณพื้นที่ ลานจอดรถ ทางเดินทั้งอาคาร และห้องน้ำอาคาร ซึ่งเป็นพื้นที่มีการใช้งาน

หลอดไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีความจำเป็นในการใช้งานหลอดไฟฟ้าสามารถไม่ใช้งานได้โดยได้รับผลกระทบกับผู้ใช้อาคารน้อยที่สุด โดยค่าความต้องการไฟฟ้าได้ 9.91 kW ดังตารางที่ 61

ตารางที่ 61 มาตรการลดการใช้งานเพื่อลดค่าความต้องการไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

บริเวณพื้นที่	จำนวนหลอดไฟฟ้า	ค่าความต้องการไฟฟ้าที่ลดได้ (kW)
ลานจอดรถ	235	0.73
ทางเดินทั้งอาคาร	144	9.18
รวม	405	9.91

สำหรับระบบปรับอากาศแนะนำให้ ลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องที่มีขนาดทำความเย็นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ คือ ห้องคอมพิวเตอร์ A ห้องคอมพิวเตอร์ B ห้องคอมพิวเตอร์ C และห้องเรียน 303 จะสามารถจำนวนเครื่องปรับอากาศลงได้ จำนวน 7 เครื่อง และสามารถลดค่าความต้องการไฟฟ้าลงได้ 16 kW ซึ่งกำลังไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศในแต่ละห้องมาจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ ดังตารางที่ 62

ตารางที่ 62 มาตรการลดการใช้งานเพื่อลดค่าความต้องการไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ

บริเวณพื้นที่	จำนวนเครื่องปรับอากาศที่ลด (เครื่อง)	ค่าความต้องการไฟฟ้าที่ลดได้ (kW)
ห้องคอมพิวเตอร์ A	2	4.63
ห้องคอมพิวเตอร์ B	2	4.53
ห้องคอมพิวเตอร์ C	2	4.59
ห้องเรียน 303	1	2.25
รวม	7	16

จะเห็นได้ว่ามาตรการการลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นในช่วงเวลาที่มีค่าความต้องการไฟฟ้าสูง สามารถลดค่าความต้องการไฟฟ้าได้ทั้งหมด 25.91 kW แต่เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมกับอาคาร เนื่องจากการลดการใช้ระบบไฟฟ้าส่องสว่างต้องมีการลดการใช้หลอดไฟฟ้าเป็นจำนวนมากสูงถึง 405 หลอดในอาคารซึ่งอาจมีผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารไม่มากก็น้อย และสำหรับการลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศไม่เหมาะสมเนื่องจาก เครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานมากทำให้มีประสิทธิภาพ

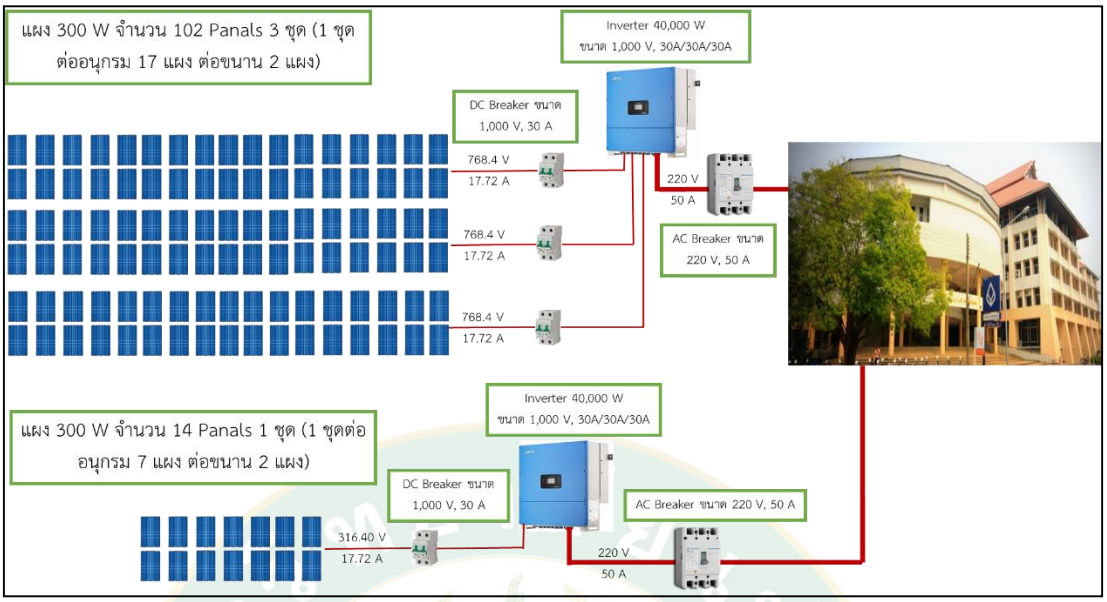
ทำความเย็นต่ำ ซึ่งห้องส่วนใหญ่ทั้งอาคารมีขนาดทำความเย็นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีเพียง 4 ห้องที่มีขนาดทำความเย็นตามเกณฑ์มาตรฐาน และไม่มีห้องที่มีขนาดทำความเย็นสูงกว่าค่ามาตรฐาน จึงสรุปได้ว่ากรณีที่ 3 วิธีการเลื่อนใช้โหลดไฟฟ้าแบบถาวร ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในอาคาร 70 ปี แม่โจ้

2.3 แนวทางจัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากวิธีการใช้มาตรการขยับเวลาโหลดอาจทำให้เกิดผลกระทบ ดังนั้นจึงต้องจัดหาแนวทางจัดทำแผนการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดให้สอดคล้องกับแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 ในเกณฑ์ EA Credit 6 ด้วยวิธีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาเสริมช่วง Peak ซึ่งเป็นการสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนสอดคล้องกับเกณฑ์ในข้อ EA Credit 7 Renewable Energy and Carbon Offsets ในการศึกษาได้ศึกษาการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic System: Solar PV) เบื้องต้น ดังนี้

2.3.1 แนวคิดการออกแบบระบบ

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic System) ตลอดช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ โดยใช้งานระบบ On Grid System คือ ผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โหลดใช้งานโดยตรง โดยไม่ใช้ Battery ในการเก็บพลังงานไฟฟ้า โดยจะใช้ระบบ Solar PV ตลอดทั้งวัน ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งหมด 26.81 kW ใช้งาน 4.79 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นจำนวนชั่วโมงที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในแต่ละวัน และจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 166.78 kWh/day จากที่กล่าวมาทำให้สามารถวิเคราะห์การติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ให้อาคาร 70 ปี แม่โจ้ ได้ โดยเลือกใช้แผงโซล่าเซลล์ชนิด Polycrystalline Silicon Solar Cells ขนาดกำลังไฟฟ้า 300 W โดยค่า Peak Sun Hours เท่ากับ 4.79 hr (วิเคราะห์ค่า Peak Sun Hours จากค่า PSH เฉลี่ยของจังหวัดเชียงใหม่ปี พ.ศ.2545 (Gaisma, 2002) มีภาระโหลดรวมเท่ากับ 166,779.09 Wh/day ทำให้ต้องใช้จำนวนแผงทั้งหมด 116 แผง จากนั้นได้เลือกขนาด Inverter ให้เหมาะสมโดยเลือก Inverter 40 kW และจะต้องติดตั้งแผงโซล่าเซลล์โดย Inverter สามารถทนกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดกับการต่อโซล่าเซลล์อนุกรมไม่เกิน 17 แผง และแผงต่อขนาดได้ไม่เกิน 2 แถว ซึ่งแสดงลักษณะการติดตั้งระบบดังภาพที่ 98



ภาพที่ 98 ลักษณะการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์แนวทางการจัดการที่ 1

จากภาพที่ 98 สรุปได้ว่าระบบจะต้องติดตั้งแผงจำนวนทั้งหมด 116 แผง โดยต่ออนุกรมจำนวน 17 แผง และต่อขนานจำนวน 2 แผง ทั้งหมดจำนวน 3 ชุด ใช้แผงทั้งหมด 102 แผง แต่ละชุดจะผลิตกระแสไฟฟ้า 17.72 A และมีค่าแรงดันไฟฟ้า 768.40 V และต่ออนุกรมจำนวน 7 แผง และต่อขนานจำนวน 2 แผง ทั้งหมดจำนวน 1 ชุด ต้องใช้ทั้งหมด 14 แผง แต่ละชุดจะผลิตกระแสไฟฟ้า 17.72 A และมีค่าแรงดันไฟฟ้า 316.40 V ซึ่งจะต้องใช้ DC Breaker จำนวน 4 ชุด ที่ทนค่ากระแสไฟฟ้า 30 A และทนแรงดันไฟฟ้า 1000 V ใช้ Inverter ขนาดกำลังไฟฟ้า 40,000 W จำนวน 2 เครื่อง มีค่า Max Input Volt Dc 800 V และค่า Max Input Currunt 30A/30A/30A และใช้ AC Breaker จำนวน 2 ชุด ที่ทนค่ากระแสไฟฟ้า 50 A และทนแรงดันไฟฟ้า 220 V ขนาดพื้นที่แผงทั้งหมด 223.83 m^2 ในขณะที่พื้นที่หลังคาของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีทั้งหมด 1,932 m^2 ซึ่งมีพื้นที่เพียงพอต่อการติดตั้งใช้งานจริงในอนาคต

จากการแนวทางการจัดการมีผลประหยัดจากค่าพลังงานไฟฟ้า 227,100.75 Baht/year (คิดค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปี พ.ศ.2559 3.73 Baht/kWh) สำหรับค่าความต้องการไฟฟ้าหลังจากมาตรการเสนอแนะ พบว่า ค่าความต้องการไฟฟ้าอยู่ที่ 241.28 kW ณ เวลา 14.00 น. ทำให้มีผลประหยัดจากค่าความต้องการไฟฟ้าเท่ากับ 42,766.24 Baht/year (คิดค่าความต้องการไฟฟ้า 132.93 Baht/kW) รวมผลประหยัดทั้งหมด 269,866.99 Baht/year ซึ่งมีเงินลงทุนทั้งหมด 993,851 Baht และมีระยะเวลาคืนทุน 3.68 year ดังตารางที่ 63 และตารางที่ 64

ตารางที่ 63 ผลประหยัดจากแนวทางการจัดการลดค่าความต้องการไฟฟ้าจากการติดตั้งระบบ Solar PV

รายละเอียด	จำนวน
ผลประหยัดด้านพลังงาน (kWh/year)	60,884.92
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Baht/year)	227,100.75
ค่าความต้องการไฟฟ้าที่ลดได้ (kW)	26.81
ผลประหยัดค่าความต้องการไฟฟ้า (Baht/year)	42,766.24
รวมผลประหยัด (Baht/year)	269,866.99
เงินลงทุนจากมาตรการ (Baht)	993,851
ระยะเวลาคืนทุน (year)	3.68

ตารางที่ 64 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ Solar PV

รายละเอียด	ราคาต่อเครื่อง (Baht/เครื่อง)	จำนวน (เครื่อง)	ราคา (Baht)
แผงโซล่าเซลล์	6,270.20	116	727,343.20
Inverter	73,265.40	2	146,530.80
เบรกเกอร์ DC	1,250	4	5,000
เบรกเกอร์ AC	600	2	1,200
สายไฟ DC	3,600	ความยาว 100 m	3,600
สายไฟ AC	2,297	ความยาว 100 m	2,297
ค่าโครงสร้าง	31,000	กำลังการผลิต 10 kW	204,600
	รวมเงินลงทุน		993,851

เมื่อวิเคราะห์การลดค่าความต้องการไฟฟ้าจากแนวทางการจัดการ มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 241.28 kW ณ เวลา 14.00 น. ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาวันทำงาน โดยการออกแบบระบบให้ลดค่าความต้องการไฟฟ้ารวมได้ 26.81 kW ซึ่งเป็นข้อมูลเดือนเมษายน 2559 เป็นเดือนที่การใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ แต่การออกแบบระบบยังไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่แน่นอนในการลดค่าความต้องการไฟฟ้าได้ เนื่องจากเป็นมาตรการที่ยังไม่มีการดำเนินการใช้งานจริง

จากผลการวิเคราะห์ใน EA Credit 7 นั้นอาคารจะต้องส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนหรือการซื้อพลังงานไฟฟ้าสะอาดเข้ามาใช้ในอาคาร เพื่อชดเชยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งใน

อาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในปัจจุบันอาคารไม่มีการใช้งานระบบพลังงานทดแทน และการซื้อพลังงานไฟฟ้าสะอาด สำหรับแนวทางการซื้อพลังงานไฟฟ้าสะอาดเข้ามาใช้ในอาคารนั้นเป็นแนวทางที่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ เนื่องจากไม่พบแหล่งผลิตพลังงานสะอาดในรอบๆ บริเวณมหาวิทยาลัย จึงต้องเซาะหาแหล่งพลังงานสะอาดในพื้นที่ๆ ห่างไกลขึ้นจึงทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงมากในระบบสายส่ง สำหรับแนวทางการใช้งานพลังงานทดแทนนั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมกับอาคาร 70 ปี แม่โจ้ และจาก EA Credit 6 นั้นได้มีการเสนอแนวทางการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่เหมาะสม โดยเสนอแนวทางการติดตั้งระบบ Solar PV จัดการค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดคือ ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ โดยใช้งานระบบ On Grid System คือ ผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โหลดใช้งานโดยตรง โดยไม่ใช้ Battery ในการเก็บพลังงานไฟฟ้า จากแนวทางนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 60,884.92 kWh/year มีผลประหยัดเป็นค่าใช้จ่ายจากพลังงาน 227,100.75 Baht/year และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า 34,156.44 $kgCO_2e/year$ (ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.5610 $kgCO_2e/kW$)

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานงานในอาคารด้วยระบบการประเมินอาคารเขียวในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามแนวทางของ LEED EBOM V4 ในหัวข้อของพลังงานและชั้นบรรยากาศดังกล่าวมาข้างต้น สามารถนำข้อมูลที่ได้จากวิเคราะห์มากำหนดแนวทางกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ ในแต่ละอาคารได้เป็นอย่างดี จากการวิเคราะห์ใช้พลังงานในปัจจุบัน (ปี 2559) เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อปี 2556 พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น 310.52% จากลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าที่กล่าวข้างต้น ส่งผลให้ค่า EUI ในอาคารเพิ่มสูงขึ้นโดยค่าเฉลี่ย EUI ปี 2559 สูงกว่าค่าเฉลี่ย EUI ของ 3 ปี ย้อนหลัง เท่ากับ 144.02% ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร คือ ระยะเวลาการดำเนินงานของอาคารที่มีการใช้งานทุกวัน โดยช่วงวันจันทร์-วันศุกร์ ใช้อาคารตั้งแต่เวลา 7.00-20.00 น. ขนาดของระบบไฟฟ้าภายในอาคารในแต่ระบบที่มีกำลังไฟฟ้าสูง จำนวนและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ระบบต่างๆ และพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้อาคารเนื่องจากอาคารมีลักษณะเป็นอาคารเรียนรวมที่มีนักศึกษาหลายคณะเข้าใช้งานและอาคารยังไม่มีการจัดการทำให้มีการใช้งานระบบไฟฟ้าในอาคารอย่างไม่เป็นระบบโดยบุคคลภายนอกสามารถเข้าถึงการใช้งานระบบไฟฟ้าต่างๆ ได้โดยตรง

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลด้านของมูลพื้นฐานของอาคารด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าประสิทธิภาพของระบบต่างๆ ภายในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ตามมาตรฐาน LEED EBOM V4 ในหัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ (Energy and Atmosphere, EA) EA Prerequisite 1 Energy Efficiency Best Management Practices EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance และ EA Credit 1 Existing Building Commissioning-Analysis พบว่า สามารถกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานให้สอดคล้องกับลักษณะข้อมูลพื้นฐาน การใช้พลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพในระบบต่างๆ ตามหัวข้อ EA Credit 2 Existing Building Commissioning-Implementation ของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ได้ และพบว่าหากมีการดำเนินการตามมาตรการสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารได้ 114,994.01 kWh/year และเกิดผลประหยัดทางค่าใช้จ่าย 428,927.71 Baht/year โดยมาตรการที่มีผลประหยัดทางพลังงานสูงที่สุด คือ มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง เกิดผลประหยัดเท่ากับ 61,591.30 kWh/year หรือคิดเป็น 53.56% ของผลประหยัดทางพลังงานทั้งหมด เมื่อนำไปดำเนินการผลจากการอนุรักษ์พลังงานจะเกิดผลประหยัดได้สูงสุด

นอกจากนั้นอาคารยังมีการใช้งานระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูงตามการวิเคราะห์ใน EA Credit 6 Demand Response ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์การจัดการค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในอนาคตได้ และมีความเป็นไปได้ที่จะส่งเสริมการให้มีการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาเสริมช่วง Peak ซึ่งเป็นการสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนสอดคล้องกับเกณฑ์ใน

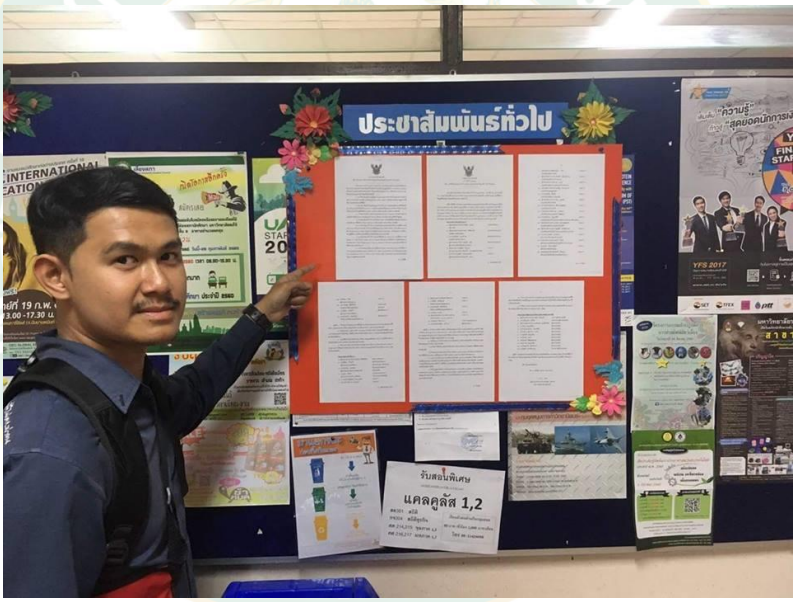
ข้อ EA Credit 7 Renewable Energy and Carbon Offsets ในการศึกษาได้ศึกษาการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic System: Solar PV) ที่สามารถลด Peak ได้ 10% ตามเกณฑ์ใน EA Credit 6 ซึ่งหากมีการดำเนินการจะสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 227,100.75 Baht/year และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 42,766.24 Baht/year โดยที่รวมผลประหยัดทั้งหมด 269,866.99 Baht/year และจากแนวทางนี้สามารถสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า 34,156.44 $kgCO_2$/year อย่างไรก็การวิเคราะห์ด้านการใช้สารทำความเย็นในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ในข้อ EA Prerequisite 4 Fundamental Refrigerant Management และEA Credit 8 Enhanced Refrigerant Management ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศที่ทั้งหมดมีอายุการใช้งานมากและมีการใช้สารทำความเย็น R-22 ซึ่งมีค่า Atmospheric impact เท่ากับ 74.07 ($kgCO_2$/kW)/year ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน LEED EBOM V4 ซึ่งค่าจะต้องไม่เกิน 13 ($kgCO_2$/kW)/year ซึ่งหากอาคารต้องการผ่านเกณฑ์จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสารทำความเย็นที่มีผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศต่ำ เช่น การใช้สารทำความเย็น R-32 และ R-410A ซึ่งเป็นข้อเสนอแนะเนื่องจากเป็นแนวทางที่เกิดผลประหยัดมากและสามารถลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมได้สูงสุด อย่างไรก็ตามเป็นแนวทางเหมาะกับอาคารที่มีเงินลงทุนสูง

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาค่า EUI ของแต่ละอาคาร เพื่อพิสูจน์ผลการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามเกณฑ์ EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performanceและ EA Credit 4 Optimize Energy Performance พบว่า ศักยภาพของการลดการใช้พลังงานหลังจากที่มีแนวทางการจัดการพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน ตามแนวทางการจัดการ LEED EBOM V4 มีค่า EUI เท่ากับ 28,419.25 Wh/m^2•year ส่งผลให้ค่า EPI หรือประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลดลงจากเดิม 24.97% เมื่อเทียบกับปี 2559 ซึ่งเป็นปีที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งหากในปีต่อๆ ไป อาคารสามารถดำเนินการจัดการพลังงานดังที่เสนอมาพร้อมกับหาวิธีการลดการใช้พลังงานโดยอาจส่งเสริมมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นมาตรการเชิงพฤติกรรมควบคู่จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและถึงเกณฑ์การลดพลังงานลงได้ 25% ตามเป้าหมายของ LEED-EBOM ได้ในอนาคต จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ระบบการประเมินอาคารเขียว LEED EBOM V4 มีศักยภาพและความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ และยังส่งเสริมการจัดการสารทำความเย็นในอาคารเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย หากดำเนินการต่อเนื่อง 3 ปี และใช้มาตรการเพิ่มเติมจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 27% จึงจะเข้าเกณฑ์อาคารเขียว

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานและการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ควรที่จะมีกลยุทธ์การส่งเสริมพฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้ใช้อาคาร ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. การเผยแพร่นโยบายอนุรักษ์พลังงาน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้มีการกำหนดนโยบายการจัดการพลังงาน แต่ยังขาดการประชาสัมพันธ์อย่างทั่วถึงทำให้บุคลากรและนักศึกษาส่วนใหญ่ไม่ทราบถึงนโยบายและความสำคัญของการจัดการพลังงาน ดังนั้นในทุกๆ ปีที่มีการประกาศนโยบายควรมีการจัดทำประกาศและเผยแพร่ในช่องทางต่างๆ เช่น ระบบข่าวสารภายในมหาวิทยาลัยผ่านทางระบบ e-manage ไปยังแต่ละหน่วยงาน หรือการจัดบอร์ดประชาสัมพันธ์ตามอาคารต่างๆ ให้บุคลากร และนักศึกษาได้รับทราบ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 99



ภาพที่ 99 ตัวอย่างติดประกาศนโยบายอนุรักษ์พลังงานในมหาวิทยาลัยแม่โจ้

2. การจัดกิจกรรมให้ความรู้และฝึกอบรมต่างๆ

มหาวิทยาลัยควรมีแผนการฝึกอบรมและจัดให้มีกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้บุคลากรและนักศึกษามากขึ้น เช่น การจัดกิจกรรมฝึกอบรมการจัดการพลังงานแก่บุคลากรเป็นประจำทุกปี สำหรับนักศึกษาควรจัดกิจกรรมให้ความรู้ในช่วงรับน้องเพื่อเป็นการให้ความรู้และสร้างจิตสำนึกให้เกิดความตระหนักถึงผลกระทบจากการใช้พลังงาน หรือการจัดชั่วโมงกิจกรรมของนักศึกษาโดยให้มีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานเป็นกิจกรรมหนึ่งในนั้น

ภาพที่ 100 กิจกรรมฝึกอบรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้บุคลากรและนักศึกษา

จากภาพที่ 100 เป็นกิจกรรมฝึกอบรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้บุคลากรและนักศึกษา เรื่อง “การปลูกจิตสำนึกและพฤติกรรมผู้ร่วมงานให้อนุรักษ์พลังงาน” คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

- อาคาร 70 แม่โจ้ ควรที่จะมีการจัดกิจกรรมปลูกจิตการอนุรักษ์พลังงาน กับผู้ใช้อาคาร ทั้งเจ้าหน้าที่ในอาคารและนักศึกษาที่เข้ามาใช้งานอาคาร เพื่อที่จะให้ปลูกจิตสำนึกผู้ใช้อาคารให้ใช้พลังงานในอาคารได้อย่างถูกวิธีและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยเพื่อให้ครอบคลุมควรจัดกิจกรรมอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง และควรมีแบบประเมินวัดผลความรู้ก่อนและหลังกิจกรรมเพื่อเป็นการติดตามผลของกิจกรรม
- อาคาร 70 แม่โจ้ ควรมีการจัดกิจกกรมฝึกอบรมด้านการใช้อุปกรณ์ Hard Ware ในอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าส่องสว่างในอาคาร กับเจ้าหน้าที่ด้านพลังงานในอาคาร เพื่อให้เกิดการใช้งานอุปกรณ์ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างถูกวิธีและฝึกอบรบการจัดการพลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งควรที่จะจัดการฝึกอบรบอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง และมีการติดตามวัดผลของกิจกรรมโดยการทดสอบผู้เข้าอบรมจากเจ้าหน้าที่กระทรวงพลังงาน

3. การเผยแพร่ข่าวสารด้านพลังงาน

การเผยแพร่ข่าวสารด้านพลังงาน เช่น การติดโปสเตอร์ การติดสติกเกอร์รณรงค์ในอาคารต่างๆ รวมทั้งการประชาสัมพันธ์ผ่านทาง MJU Channel MJU Website และ Maejo Radio เป็นต้น

- อาคาร 70 แม่โจ้ ควรมีการกิจกรรมการเผยแพร่ความรู้ด้านการอนุรักษ์พลังงานอย่างถูกวิธีโดยเจ้าหน้าที่รับผิดชอบด้านพลังงานในอาคาร เพื่อเป็นการปลูกจิตสำนึกการใช้พลังงานกับผู้ใช้อาคาร เช่น การติดประกาศ สร้างจอดหมายข่าวในสื่อออนไลน์ ประกาศเสียงตามสาย และจัดกิจกรรมนันทนาการ เป็นต้น โดยควรมีการจัดกิจกรรมอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง และมีการติดตามผลของกิจกรรม

ภาพที่ 101 ตัวอย่างการเผยแพร่ข่าวสารด้านพลังงาน

4. การสนับสนุนให้ใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เน้นด้านพฤติกรรม

การสนับสนุนให้ใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เน้นด้านพฤติกรรม ซึ่งเป็นมาตรการที่ผู้ใช้อาคารทุกคนสามารถมีส่วนร่วมในการดำเนินการ ซึ่งมหาวิทยาลัยควรจัดทำเป็นป้ายประกาศติดไว้ตามอาคารและห้องเรียนต่างๆ ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง เช่น มาตรการเปิดปิดระบบไฟฟ้าส่องสว่างหรือระบบปรับอากาศให้เป็นไปตามช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งาน เป็นต้น

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัย

ในการศึกษาความเป็นไปได้ของการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยระบบการประเมินอาคารเขียว ได้ดำเนินการศึกษาตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 ในหัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) ในอาคารตัวอย่าง ได้แก่ อาคาร 70 ปี แม่โจ้ ซึ่งเป็นอาคารเรียนรวมขนาดใหญ่ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยทำการรวบรวม สำรวจ ตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคาร และวิเคราะห์ตามเกณฑ์ต่างๆของ EA เพื่อหาความเป็นไปได้และศักยภาพของการจัดการพลังงาน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคาร พบว่า อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 460,600.56 kWh/year แบ่งเป็นระบบปรับอากาศ คิดเป็น 64.58% ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง คิดเป็น 23.63% และระบบอื่นๆ คิดเป็น 11.79% เมื่อคิดเป็นค่า Energy Utilization Index (EUI) พบว่า ในปีฐานที่พิจารณา คือ ปี 2559 มีค่าเท่ากับ 37,872.22 Wh/m^2•year ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 144.02% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย 3 ปี ย้อนหลัง หากมีการจัดการพลังงานโดยดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามการวิเคราะห์ของเกณฑ์ LEED-EBOM V4 ได้แก่ มาตรการที่เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับห้องที่มีการใช้งานมาก และมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟบริเวณทางเดินจากการ Reuse เป็นต้น ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 114,994.01 kWh/year หรือคิดเป็นผลประหยัดได้ 428,927.71 Baht/year สามารถลดค่า EUI ลงได้ 24.97% หรือเท่ากับ 28,419.25 Wh/m^2•year เมื่อดำเนินการจัดการพลังงาน หัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaewook Jeong et al. (2016) ที่อาคารผ่านการรับรอง LEED มีค่า EUI น้อยกว่าอาคารทั่วไปประมาณ 15% และตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารก็ คือ ระยะเวลาการดำเนินงานของอาคาร และขนาดของระบบไฟฟ้าภายในอาคาร เป็นไปตามงานวิจัยของ Ashwin Sabapathy et al. (2010)

2. ผลการวิเคราะห์ด้านการใช้สารทำความเย็นดำเนินการตามเกณฑ์ LEED-EBOM V4 ในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 100% โดยในปี 2559 มีการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคารทั้งหมด 419.10 kg Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 เท่ากับ 758,564.65 $kgCO_2/year_{2559}$ และมีค่า Atmospheric impact เท่ากับ

74.07 ($kgCO_2$/kW)/year จึงได้เสนอแนวทางการจัดการ 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้สารทำความเย็นทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า GWP สูง แนวทางนี้มีผลประหยัดทั้งหมด 108,470.99 kWh/year และลดการปล่อย Carbon Footprint ได้ 68.15% และค่า Atmospheric Impact ในอาคาร ได้ถึง 92.07% ซึ่งเป็นข้อเสนอแนะเนื่องจากเป็นแนวทางที่เกิดผลประหยัดมาและสามารถลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมได้สูงสุด อย่างไรก็ตามเป็นแนวทางเหมาะกับอาคารที่มีเงินลงทุนสูง กับแนวทางที่ 2 ได้แก่ การนำสารทำความเย็นกลับมาใช่ใหม่ มีศักยภาพการลดปริมาณการปล่อยสาร HCFC ในปี 2017 ได้ 7.66% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชุติมา วัตถุสินธุ (2556) การนำสารทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่สามารถลดการปล่อยสารทำความเย็นลงได้ 9.4% ทำให้มีค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น และมีค่า Atmospheric Impact ในอาคาร ลดลงจากเดิม 7.66% เป็นแนวทางการจัดการที่ประหยัดค่าใช้จ่ายจากการซื้อสารทำความเย็นเหมาะกับอาคารที่มีงบประมารจำกัด

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอื่นๆ ได้แก่ ด้านโปรแกรมตรวจวัดพลังงานขั้นสูง (Advanced Energy Metering) ด้านการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้า (Demand Response) และด้านพลังงานทดแทนและการซื้อคาร์บอนเครดิต (Renewable and Offset) พบว่า อาคาร 70 ปี แม่โจ้ มีการติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานขั้นสูง (Advanced Energy Metering) สำหรับตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยการติดตั้งมิเตอร์ดิจิตอล และควบคุมผ่านโปรแกรม KW Watcher Version 2.51 ลักษณะของโปรแกรมเป็นไปตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 แต่เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร แต่ทางโปรแกรมไม่มีการแสดงข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา และค่าตัวประกอบไฟฟ้าภายในอาคารผ่านจอมอนิเตอร์ของ Data Logger มีเพียงแต่ข้อมูลที่จัดเก็บใน Excel ซึ่งตัวโปรแกรมควรที่จะมีการแสดงค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา และค่าตัวประกอบไฟฟ้าภายในอาคารด้วย สำหรับการใช้งานโปรแกรม KW Watcher ในปัจจุบันทางเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยใช้งานเพียงเพื่อได้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ในแต่ละเดือน ซึ่งควรมีเจ้าหน้าที่สังเกตการใช้พลังงานงานไฟฟ้าในภายในอาคารแต่ละช่วงเวลาเพื่อทราบถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อาจผิดปกติและหาทางแก้ไขต่อไปในการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม และภายในอนาคตควรที่จะติดตั้งโปรแกรมตอบสนองความต้องการ สำหรับควบคุมงานเปิดปิด ระบบไฟฟ้าต่างๆ ในแต่ละห้อง ภายในอาคารเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการพลังงาน

ด้านการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้า (Demand Response) ตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 ใช้ตัวอย่างค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันในเดือนเมษายนตามช่วงเวลาวันทำงาน (วันจันทร์-วันศุกร์) ปี 2559 ซึ่งมีค่าความต้องการไฟฟ้าสูงที่สุดเวลา 14.00 น. มีค่าความต้องการ

ไฟฟ้าเท่ากับ 268.09 kW สำหรับแผนการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้า จะต้องสามารถลดค่าความต้องการไฟฟ้าลงได้ 10% ของค่าความต้องไฟฟ้าสูงสุดหรือเท่ากับ 241.28 kW ซึ่งจะต้องลด 26.81 kW จึงได้นำเสนอแนวทางการจัดการการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic System) ตลอดช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ โดยใช้งานระบบ On Grid System คือ ผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โหลดใช้งานโดยตรง ขนาด 26.81 kW หากอาคารมีการใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จะมีผลประหยัดจากค่าพลังงานไฟฟ้า 227,100.75 Baht/year สำหรับค่าความต้องการไฟฟ้าหลังจากมาตรการเสนอแนะ พบว่า ค่าความต้องการไฟฟ้าอยู่ที่ 241.28 kW ณ เวลา 14.00 น. ทำให้มีผลประหยัดจากค่าความต้องการไฟฟ้าเท่ากับ 42,766.24 Baht/year โดยที่รวมผลประหยัดทั้งหมด 269,866.99 Baht/year

ด้านพลังงานทดแทนและการซื้อคาร์บอนเครดิต ปัจจุบันอาคารไม่มีการใช้งานระบบพลังงานทดแทน และการซื้อพลังงานไฟฟ้าสะอาด สำหรับแนวทางการซื้อพลังงานไฟฟ้าสะอาดเข้ามาใช้ในอาคารนั้นเป็นแนวทางที่ไม่เหมาะที่จะนำเนื่องจากไม่พบแหล่งผลิตพลังงานสะอาดในรอบๆ บริเวณมหาวิทยาลัย จึงต้องเซาะหาแหล่งพลังงานสะอาดในพื้นที่ๆ ห่างไกลจึงทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงในระบบสายส่ง จากแนวทางการจัดการค่าความต้องการไฟฟ้า โดยเสนอแนวทางการติดตั้งโซล่าเซลล์จัดการค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด จากแนวทางนี้สามารถสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า 34,156.44 $kgCO_2$/year

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็น เมื่อดำเนินการตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 มีความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานและจัดการสิ่งแวดล้อมในอาคารที่มีการดำเนินการอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีการดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์ตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 ที่มีพื้นฐานมาจาก ASHRAE Standard และตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 ซึ่งสามารถเป็นแนวทางการจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมและยังเป็นแนวทางที่มีการส่งเสริมพฤติกรรมและการใช้พลังงานของผู้ใช้อาคาร

ข้อเสนอแนะ

- มาตรฐาน LEED-EBOM V4 เป็นมาตรฐานที่มาจากต่างประเทศ จึงมีบางขั้นตอนที่ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในสถานที่ที่มีลักษณะทางภูมิประเทศและสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

- จากผลการศึกษาการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานในอาคารตามมาตรฐาน LEED-EBOM มาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ในอาคารเป็นเพียงวิธีการประเมิน ยังมิได้มีการดำเนินการใช้งานจริง เพื่อให้ทราบผลการอนุรักษ์พลังงานที่เท็จจริงจะต้องมีการดำเนินการตามมาตรการจริง
- จากการศึกษาทำให้สามารถต่อยอดนำไปสู่การดำเนินการใช้จริงตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารอื่นๆ ในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ หรือเป็นต้นแบบให้ดำเนินต่อไปกับอาคารอื่นๆ ในประเทศไทย

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน. ม.ป.ป. **คู่มือผู้เรียนระบบจัดการพลังงานในอุตสาหกรรม**. ปทุมธานี: กองฝึกอบรม อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

_____. 2550. **กรณีศึกษามาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า**. ปทุมธานี: กองฝึกอบรม อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

_____. 2551. **คู่มือพัฒนาบุคคลด้านการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม**. ปทุมธานี: กองฝึกอบรม อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

_____. 2553. **คู่มือผู้รับผิดชอบดานพลังงาน (อาคาร) บทที่ 4 ระบบปรับอากกาศ**. แหล่งที่มา http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_14.pdf

จักรกฤษณ์ เหลืองเจริญรัตน์ และสิงห์ อินทรชูโต. 2556. **เกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืน: ความเหมือน ความต่าง และค่าความสำคัญที่ให้ต่อสิ่งแวดล้อม ทรัพยากร และพลังงาน**. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพมหานคร.

ณัชวิชญ์ ติกุล. 2557. **แนวทางการพัฒนาอาคารภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้เพื่อนำไปสู่ความเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว**. แหล่งที่มา http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/research/2558/nachawit_tikul_2557/fulltext.pdf

ณัฐพล เขตกระโทก และกีรติ สุลักษณ์. 2556. การประเมินเพื่อปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อาคารเขียว. น. 32-36. ใน **วิศวสารลาดกระบัง.** กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชุติมา วัตถุสินธุ. 2556. **การศึกษาค่าการปล่อยสารไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนในเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เทียนทองอิเล็คทริคพลัส. ม.ป.ป. **หลอดไฟ ฟิลิปส์ Philips Essential LED Bulb 5W รุ่นประหยัด**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.thianthong.com/philips-essential (20 กันยายน 2560).

บริษัท ตลาด เซ็นเตอร์. ม.ป.ป. **เครื่องตั้งเวลาเปิด ปิด อีซิกม่า Esigma 380V/20A ตั้งเวลาได้ 1 นาที ถึง 24ชั่วโมง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.tarad.in.th/product/detail/3209/3209.pnc (20 กันยายน 2560).

ไฟฟ้าอุตสาหกรรม. 2550. **เรื่องน่ารู้สำหรับวิศวกร**. พิมครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

แสงชัยไลท์ติ้ง. ม.ป.ป. **หลอดแสงจันทร์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sangchai.com/ (10 ธันวาคม 2559).

_____. ม.ป.ป. **หลอดเมทัลฮาไลด์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sangchai.com/ (10 ธันวาคม 2559).

_____. ม.ป.ป. **หลอดโซเดียมความดันต่ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sangchai.com/ (10 ธันวาคม 2559).

_____. ม.ป.ป. **หลอดฟลูออเรสเซนต์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sangchai.com/ (15 ตุลาคม 2560).

_____. ม.ป.ป. **หลอดแอลอีดีกำลังสูง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sangchai.com/ (10 ธันวาคม 2559).

_____. ม.ป.ป. **บัลลาสต์แกนเหล็ก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sangchai.com/ (15 ตุลาคม 2560).

_____. ม.ป.ป. **โคมไฮเบย์หรือโคมโรงงาน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sangchai.com/ (15 ตุลาคม 2560).

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. ม.ป.ป. **คู่มือแนวทางการออกแบบ การส่องสว่างภายในอาคาร**. แหล่งที่มา http://www.tieathai.org/images/intro_1479229183/final.Guidelines_BW.pdf

หลอดไส้ร้อนแบบธรรมดา. 2561. แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/หลอดไส้แบบธรรมดา

Green way. 2555. **ระบบประเมินอาคารเขียว (Green Building Rating System)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://greendwell.wordpress.com/2012/08/10/ (10 ธันวาคม 2559).

Homepro. ม.ป.ป. **โคมดาวน์ไลท์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.homepro.co.th/product/175477 (18 ธันวาคม 2559).

Ienergyguru. 2559. **โคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://ienergyguru.com/2015/01 (18 ธันวาคม 2559).

Ravee. ม.ป.ป. **หลอด LED TUBE OEM T5 (G5) 18W ULTRA BRIGHT**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.rawee/lighting.com/index.php?route=product/product&product_id=76 (18 ตุลาคม 2560).

Aire Rite Airconditioning & Refrigeration. 2017. **HVAC/R Maintenance**. [Online]. Available https://airerite.comportfolio/hvacr-maintenance/ (1 9 December 2016).

ASHRAE Standard. 2013. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta Georgia.

ASHRAE. 2004. **Procedures for Commercial Building Energy Audits**. [Online]. Available http://www.associatedrenewable.com/content/energy-auditing (17 December 2016).

Bhanware, P. 2015. **Energy Performance of Indian Building**. Indian

Energy Star. 2016. **ENERGY STAR certification for your building**. [Online]. Available https://www.energystar.gov/buildings/facility-owners-and-managers/existing-buildings/earn-recognition/energy-star-certification (17 December 2016).

Engineers Newsletter. 2015. ASHRAE Standard 90.1-2013 HVAC and Power Section Highlights. **Trane Engineers Newsletter**, volume 44–1.

Energy solution. 2017. **Automated Demand Response**. [Online]. Available https://energy-solution.com/project/automated-demand-response/ (10 December 2016).

Esightenergy. 2017. **Die eigene Energiestrategie festlegen und verfolgen**. [Online] . Available http://www.esightenergy.com/de/esight-platform/dashboards-2/ (17 December 2016).

Gaisma. 2002. **Chiang Mai, Thailand Sunrise, sunset, dawn and dusk times, table**. [Online]. Available https://www.gaisma.com/en/location/chiang-mai.html (1 December 2017).

Hassouneh, K., Al-Salaymeh, A., and Qoussous, J. 2015. Energy audit, an approach to apply the concept of green building for a building in Jordan. **Sustainable Cities and Society**, 14, 456-462.

Heidarinejad, M., et al. 2014. Cluster analysis of simulated energy use for LEED certified U.S. office buildings. **Energy and Buildings**, 85, 86-97.

IESNA. 2007. **Requirements for Lighting Levels**. Pacific Northwest National Laboratory.

Installatienet. 2018. **Oudere installatietechnicus steeds meer in trek**. [Online]. Available https://www.installatienet.nl/oudere-installatietechnicus-steeds-meer-in-trek/old/ (21 December 2016).

IPCC. 2006. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Chapter 7: Emissions of Fluorinated Substitutes for Ozone Depleting Substances.** Geneva: Switzerland.

Jeong, J., et al. 2016. Development of an evaluation process for green and non-green buildings focused on energy performance of G-SEED and LEED. **Building and Environment**, 105, 172-184.

Khemani, H. 2013. Types of Air Conditioning Systems. [Online]. Available https://www.brighthubengineering.com/hvac/897-types-of-air-conditioning-systems/ (21 December 2016).

Melaniedawn. 2014. **Introduction to LEED V4**. [Online] . Available https://www.slideshare.net/MichaelWinkler5/20-michaelwinkler-humboldt-state-university (10 December 2016).

Michael Winkler. 2009. **Distributed End-Use Thermal Energy Storage and the Smart Grid**. [Online] . Available http://miami-urban-green.com/introduction-to-leed-v4/ (10 December 2016).

Poplar. 2014. **LEED and Renewable Energy certificates**. [Online]. Available https://www.poplarnetwork.com/news/leed-and-renewable-energy-certificates (15 December 2016).

Sabapathy, A., et al. 2010. Energy efficiency benchmarks and the performance of LEED rated buildings for Information Technology facilities in Bangalore, India. **Energy and Buildings**, 42(11), 2206-2212.

Scofield, J. H. 2013. Efficacy of LEED-certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings. **Energy and Buildings**, 67, 517-524.

USGBC. 2017. **LEED V4 for Building Operation and Maintenance**. (LEED V4). United States: U.S.Green Building Council.

Vrfwizard. 2018. **Refrigerant Recovery Machines**. [Online] . Available http://vrfwizard.com/refrigerant-recovery-machines/ (5 December 2017).

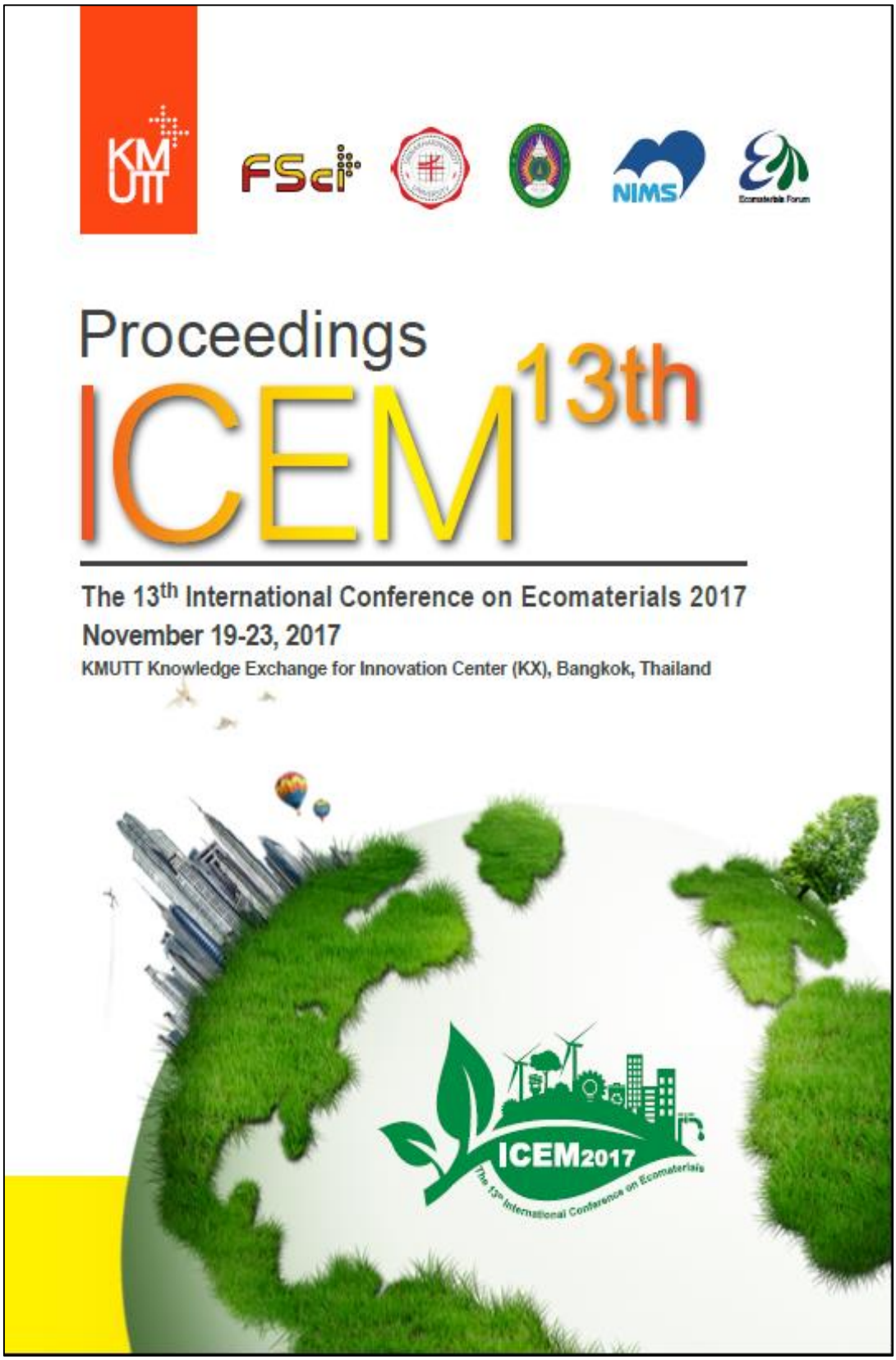
Zhao, L., Zeng, W., and Yuan, Z. 2015. Reduction of potential greenhouse gas emissions of room air-conditioner refrigerants: a life cycle carbon footprint analysis. **Journal of Cleaner Production**, 100, 262-268.

.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลงาน และการเผยแพร่งานวิจัย


Proceedings
ICEM 13th
The 13th International Conference on Ecomaterials 2017
November 19-23, 2017
KMUTT Knowledge Exchange for Innovation Center (KX), Bangkok, Thailand
ICEM2017
The 13th International Conference on Ecomaterials

Energy management method and environmental impact of refrigerant using in maejo university building by LEED-EBOM standard

Rattawut Sudsanguan and Sulaksana Mongkon*

School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

*e-mail: s_mongkon@hotmail.com

Abstract: As a result, the air conditioning system has widely used in Thailand, therefore, the refrigerant has increased rapidly. This research purposes to study the energy management method and environmental impact of refrigerant using in the air conditioning system of sample building in Maejo University. The investigation data was collected from energy surveying following LEED-EBOM V4 in a topic of Energy and Atmosphere (EA). The results found that the refrigerant R-22 was used a total of 487.32 kg of all air conditioners. It found that the mass refrigerant leakage was about 9.75 kg/year. The changing air conditioners which used the refrigerant of R-32 and R-410 A was the best suggestion in this study which would obtain energy consumption 168,022.45 kWh/year, the carbon footprint from the leakage and atmospheric impact were decreased 68.81 % and 90.83 %, respectively. The alternative choice was reused old refrigerant which the carbon footprint could be decreased about 7.66 %, however the energy saving was not obtained.

Keywords: LEED; refrigerant; energy management; environmental impact

1. Introduction

Thailand is located in a tropical climate with a high air temperature throughout the year, therefore the air conditioning is necessary for making a comfortable environment of human in a building resulting in the refrigerants are used more quantities. Nowadays, the Thai Government supports the refrigerants management and greenhouse gases reduction activities by establishing Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO) [4] for managing the refrigerant in the building. However, the success of the operation in the country is not satisfactory, almost building users and building owners lack the participation. Without the refrigerant management may cause a problem energy use, expensive investment, and also significant impacts on the environment. Researchers had found many methods for promoting and improving the efficiency of refrigerant management. The green building standard calls Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) is an alternative answer that is different from the conventional method and it has been accepted around the world.

The related study for LEED procedure on the part of refrigeration management was researched. For example, Zhao. et al.[1] studied the leakage of a refrigerant in room air conditioner (RAC) and refrigerant management method to reduce Chlorofluoro carbons (CFCs) by the cycle of carbon footprints analyzing. The option 1 was the recycle refrigerant in a quantity of 15%, 30% and 50%. It could reduce the refrigerant leakage around 5%, 12% and 20%, respectively. The option 2 was the use

of the refrigerant that release the low and medium Global Warming Potential of refrigerant (GWP). It could reduce the greenhouse gas emissions by at least 45.57%.

In Thailand, the management study of the refrigerant according LEED guidelines was a few research. Watthusinthu et al.[2] studied the emission factor of HFC (Refrigerant 410A) from air conditioning and refrigeration. It was found to reduce HFC emissions. Most of R-410A refrigerant released into the atmosphere in the destruction process and the implementing period approximately 79% and 21%, respectively. The suggestion for reducing HFCs could decrease the leakage of a refrigerant about 1.7% and the refrigerant could be recovered about 9.4%.

Maejo University is a medium- sized university in Thailand that recognizes the impact of energy using to the environment. In 2026, Maejo University aims to be a green building and Eco- University so, the university supports for relevant researches. In campus buildings have a large number of air conditioners which had been operated for a long time. Mostly, they were used for over 10 years and the relevant research lacks on its energy using and environmental impact for the refrigerant emission. Therefore, this study purposes to study the energy management method and environmental impact of refrigerant using in a sample building of Maejo University as following LEED for existing buildings that calls LEED-Existing Buildings: Operations & Maintenance (LEED-EBOM V4). The study focused on a topic of Energy and Atmosphere (EA) which the 2 subtopics were EA Prerequisite 4: Fundamental Refrigerant Management and EA Credit 8: Enhanced Refrigerant Management.

2. Materials and Methods

2.1 Sample building

The Maejo University was situated in Chiang Mai province in the north of Thailand. The sample building is the 70th Anniversary of Maejo Building that had been used for learning and teaching about 11 years as shown in Figure 1. Its characteristics are presented in Table 1.

Table 1. Characteristic of sample building

Parameter	Value
Building type	Education building
Building age (years)	11
Number of floors (floor)	5
Gross floor area (m^2)	12,161.62
Air conditioning area (m^2)	4,091.71
Non-air conditioning area (m^2)	8,069.91

(a) View of the building

(b) Air conditioning system

Figure 1. The 70th Anniversary of Maejo Building

2.2 Procedure and Analysis

To assess the energy consumption and the impact of refrigeration, the criteria of EA Prerequisite 4: Fundamental Refrigerant Management and EA Credit 8: Enhanced Refrigerant Management were considered. The intent of EA Prerequisite 4 is to reduce stratospheric ozone depletion by non- use chlorofluorocarbon (CFC) refrigerants in HVAC&R systems[3]. The suggestion methods were determined to reduce the refrigerants R- 22 in the building from

energy auditing procedure. The size of air conditioners, cooling capacity, type of refrigerant, amount of refrigerant and energy consumption of air conditioners were collected.

EA Credit 8 proposes to reduce ozone depletion and support early compliance with the Montreal Protocol[3]. The emission of compounds that contribute to ozone depletion and climate change was minimized or eliminated. By analyzing, the environmental impact of using refrigerant in the building was assessed such as the percentage of refrigerant leaks per year, the carbon footprint of the leakage of the refrigerant building and the atmospheric impact in the building.

The percentage of refrigerant leakage per year of LEED-EBOM V4 standard considered by 2 % per year[3]. The carbon footprint from the leakage of refrigerant is determined following equation 1.

$$A \times B \times \text{Emission factor } (kgCO_2/year) \quad (1)$$

Where A is the percentage of refrigerant leakage per year (%/year). B is the total amount of refrigerant (kg) and the emission factor is emission factor of refrigerant ($kgCO_2/kg$).

The atmospheric impact[3] can be determined from equation 2.

$$LCGWP + (LCODP \times 10^5) \ (kgCO_2/kW{\cdot}year) \quad (2)$$

Where LCODP and LCGWP can be determined by equation 3 and equation 4.

$$LCODP = [ODPr \times (Lr \times Life + Mr) \times Rc]/Life \quad (3)$$

$$LCGWP = [GWPr \times (Lr \times Life + Mr) \times Rc]/Life \quad (4)$$

Where LCODP is the lifecycle ozone depletion potential ($kgCFC\text{-}11/kW{\cdot}year$). LCGWP is the lifecycle direct global warming potential ($kgCO_2/kW{\cdot}year$). GWPr is the global warming potential of refrigerant (0 to 12,000 $kgCO_2/kg_r$). ODPr is the ozone depletion potential of refrigerant (0 to 0.2 $kgCFC\text{-}11/kg_r$). Mr is the end-of-life refrigerant loss (10%). Rc is the refrigerant charge (0.065 to 0.65 kg of refrigerant per kW of AHRI rated or Eurovent Certified cooling capacity). Life is the equipment life (10 years; default based on equipment type, unless otherwise demonstrated) Lr is refrigerant leakage Rate (2.0%)

3. Results & Discussion

3.1 Energy consumption

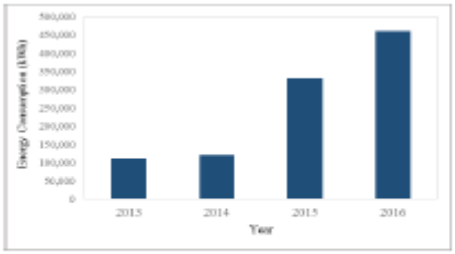


Figure 2. The annual energy consumption of the 70th Anniversary of Maejo Building

Figure 2 presents the annual energy consumption of buildings 4 years ago. The highest total energy consumption happened in 2016 with 460,600.55 kWh/year. It is shown that the energy consumption increased extremely to 310.52% from 2013 to 2016

Table 2. The proportion of consumption of The 70th Anniversary of Maejo Building

System	Energy consumption (kWh/year)	Percent (%)
Air conditioning system	301,968.40	65.56
Lighting system	108,857.63	23.63
Other systems	44,493.12	9.66
Total	460,600.56	100.00

Table 2 presents the proportion energy consumption of the 70th Anniversary of Maejo Building divided into 3 parts for

example; air conditioning system, lighting system, and other system, accounting for 65.56%, 23.63%, and 9.66%.

In air conditioning system, the 70th Anniversary of Maejo Building had 108 units of air conditioners and divided into 2 types: the split type air conditioner and the package air conditioner. The split type air conditioners had 97 units which the cooling capacity was between 12,000-48,000 Btu/hr. Its energy consumption used 245,824.04 kWh/year or 81.41% of the total energy consumption of air conditioning system and the average coefficient of performance (COP) 2.72 kW_{th}/kW_e in Table 3. The rest of air conditions was a package unit which had 11 units of 100,000 Btu/hr and 120,000 Btu/hr. The total energy consumption was 56,144.36 kWh/year, or 18.59% of the total energy consumption of air conditioning system and the average coefficient of performance (COP) of air conditioning system was 1.44 kW_{th}/kW_e as shown in Table 4. All of the air conditioners used R-22 as a refrigerant that is a type of Hydrochlorofluorocarbons (HCFC) and effects on the atmosphere. From the data collection, the total quantity of R-22 was 487.32 kg.

Table 3. Data of air conditioners of The 70th Anniversary of Maejo Building

Size (Btu/hr)	Number	Electric power (kW)	COP (kW_{th}/kW_e)	EER (Btu/hr/W)
12,000	2	1.44	N/A	N/A
18,000	2	1.68	2.61	8.90
25,000	16	2.11	2.65	9.03
30,000	39	2.24	2.67	9.11
36,000	18	2.31	2.28	7.78
38,000	6	1.93	2.87	9.81
40,000	12	2.56	2.92	9.96
48,000	2	4.14	3.02	10.29
100,000	3	5.99	1.33	4.53
120,000	8	6.10	1.55	5.30

3.2 Energy management of refrigerant

The energy and refrigerant analysis was following LEED-EBOM (EA Prerequisite 4: Fundamental Refrigerant Management).

The results found that the coefficient of performance (COP) and energy efficiency ratio (EER) of the air conditioners in the 70th Anniversary of Maejo Building were low and does not pass the general standard.[5] The global warming potential (GWP) and the ozone depletion potential (ODP) of R-22 were 1,810 $kgCO_2/kg_r$ and 0. 055 kgCFC- 11/ kg_r, respectively. [5] Currently, Thailand dismisses R- 22 in the air conditioning manufacturing therefore, R-22 will gradually disappear in the future. In order to complete LEED- EBOM standards achievement and supporting to reduce HCFC emissions, two choices were recommended.

The first choice, changing air conditioners was suggested. To select the air conditioners with a low global warming potential (GWP) such as R-32 and R-410A. The old split type air conditioners in the building were changed to the high-efficiency split type air conditioners inverter by using R- 32 and the package air conditioners turned to use used refrigerant R- 410A. If Guideline 1 would be used, the energy consumption was reduced to 133,945. 95 kWh/ year or would be energy saving of 168,022. 45 kWh/ year when compared the conventional energy consumption as shown in Table 3. The potential for energy consumption reducing was equal to 125.44% and a payback period of this guideline was 11.25 years.

To reuse an old refrigerant is alternative choice. This approach was a suitable implementation the sample building. When the R- 22 refrigerant leaks from the air conditioning system in a form of vapor during the maintenance period. The refrigerant vapor was condensed by the recovery unit and transferred to the recovery cylinder. If the reuse refrigerant appropriated, the HCFC emissions were decreased by 7. 66% follow USEPA (2006).[2] In addition to reducing the carbon

footprint about 7.66% and the operation cost could be reduced about 1,414 Baht/ year but energy saving was not obtained.

3.3 Environmental impact of refrigerant

The environmental impact of refrigerant using in the sample building was analyzed as shown in Table 4. The percentage of refrigerant leakage, the mass of refrigerant leakage per year the carbon footprint from the leakage, and the atmospheric impact in the building were considered in the selective three cases such as no improvement, choice 1 and choice 2. The percentage of refrigerant leakage of all cases was 2 % per year. If all air conditioners had no improvement, the mass of refrigerant leakage was 9.75 kg/year. The carbon footprint from the R-22 leakage was 17,641.04 $kgCO_2$/year and the atmospheric impact from the refrigerant was 74.07 $kgCO_2/kW \cdot year$.

Table 4. Environmental impact of the 70th Anniversary of Maejo Building

Refrigerant in Building	Non-improve	Choice 1	Choice 2
Percentage of refrigerant leakage per year (%/year)	2	2	2
Mass of refrigerant leakage per year (kg/year)	9.75[a]	3.92[b] 1.37[c]	9.00[a]
The carbon footprint from the leakage ($kgCO_2$/year)	17,641.04	5,502.38	16,289.73
The atmospheric impact in the building ($(kgCO_2/kW)$/year)	74.07	6.79	68.40

[a] R-22 as a refrigerant. [b] R-32 as a refrigerant. [c] R-410A as a refrigerant.

When considering choice 1, using as R-32 and R- 410A. The total assessment of refrigerants leakage was 5.29 kg/year which R-32 and R-410A refrigerants leakage were 3.92 kg/year and 1.37 kg/year, respectively. For the carbon footprint from the refrigerant leakage was 5,502.38 $kgCO_2$/year and the atmospheric impact based on the assessment was 6.79 $kgCO_2/kW \cdot year$. By comparison, the environmental impact of choice 2. The refrigerant leakage affected approximately 9.00 kg/year, therefore the carbon footprint and the atmospheric impact were also higher of 16,289.73 $kgCO_2$/year and 68.40 $(kgCO_2/kW)$/year. It demonstrated that the mass of refrigerant leakage per year results of choice 1 and choice 2 was less than no improvement choice about 45.74% and 7.69 % as shown in Figure 3. For considering the carbon footprint of choice 1 and choice 2 were less than no improvement choice about 68.81% and 7.66 % while the atmospheric impact in the building was less than no improvement choice about 90.83% and 7.66 %. Therefore, the implementation of choice 1 was the best suggestion in this study, however, a high investment was necessary.

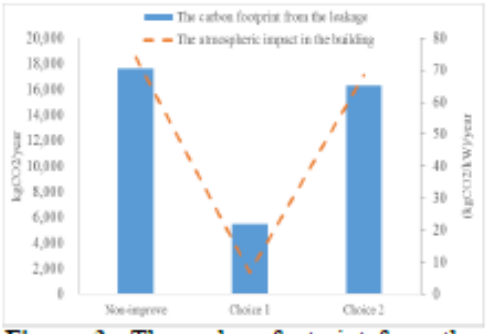


Figure 3. The carbon footprint from the leakage and the atmospheric impact in the building

4. Conclusion

The energy management and environmental impact of refrigerant using was researched in a sample building of Maejo University as following LEED EBOM V4 standard, specially Prerequisite 4: Fundamental Refrigerant Management and EA Credit 8:

Enhanced Refrigerant Management. The approaches from the study were systematic and highly effective, especially changing the air conditioners with the low GWP refrigerant such as R-32 and R-410A which the energy consumption and the effect on the environment could be decreased. The results found to consistent of Zhao et al.[1] and Watthusinthu et al.[2] and could apply for the energy conservation and refrigerants management in many buildings of Maejo University or other buildings.

Acknowledgements

The authors would like to thank School of Renewable Energy, Maejo University for supporting the study by a grant fund under The Generate and Development of Graduate Students in Renewable Energy Research Fund, in the ASEAN Countries in the graduate. We thank Mr. Suradej Kidkamngan for the several instructions in our research. We thank The Office of Agricultural Research and Extension Maejo University for supporting the research fund the fiscal year 2017.

References

1. Zhao, L., Zeng, W. and Yuan, Z., 2015, *Journal of Cleaner Production*, 100, 262–268.
2. Watthusinthu, L., 2013, *A Study of Hydrofluorocarbon Emission Factors from Refrigeration and Air Condition Thailand*, Master's Thesis, King Mongkut's Univerity of Technology Thonburi.
3. U. S. Green Building Council, 2017, *LEED V4 for Building Operations and Maintenance*, USA.
4. Thailand Greenhouse Gas Management Organization standards, 2017, *Greenhouse gas reduction in Thailand*, Thailand.
5. Engineers Newsletter, 2015, *ASHRAE Standard 90.1-2013 HVAC and Power Section Highlights*, Trane Engineers Newsletter, volume 44–1.
6. Greenhouse Gas Protocol, 2016, *Global Warming Potential Values*, NY, USA.

บทความฉบับสมบูรณ์ในรายงานการประชุมวิชาการ
การประชุมวิชาการ และประกวด
นวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1
"เทิดพระเกียรติวันแม่แห่งชาติ สู่ความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน"
1st National Graduate Research Conference and
Creative Innovation Competition
GCIC 1st
2017
วันที่ 17-18 สิงหาคม 2560
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ชั้น 1 อาคารเทพศาสตร์สถิตย์
63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290
โทร 0-5387-5520 Fax 0-5349-8133 E-mail : GCIC.MJU@gmail.com

การประชุมวิชาการและประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1
1st National Graduate Research Conference and Creative Innovation Competition
วันที่ 17-18 สิงหาคม 2560 โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยวิธีตรวจวัดพลังงาน ตามมาตรฐาน LEED-EBOM

Potentiality Assessment of Energy Conservation in Building by LEED-EBOM Energy Audit Approach

รัฐวุฒิ สุดสงวน และ สุลักษณา มงคล

R. Sudsanguan and S. Mongkon

Renewable Energy College Maejo University 63 Sansai-Phrao Road, Nongharn, Sansai District, Chiang Mai, 50290 Thailand

**Corresponding author*, e-mail: s_mongkon@hotmail.com, Tel: 0-5333-3194, Fax: 0-5333-3194

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารมหาวิทยาลัยแม่โจ้ด้วยวิธีการตรวจวัดพลังงานตามมาตรฐานอาคารเขียว LEED-EBOM V4 หัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ ประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจวัดการใช้พลังงานในอาคารตามวิธีของ ASHRAE Preliminary Energy Use ASHRAE Level 1 Walk-Through และ ASHRAE Level-2 Energy Audit จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์ LEED-EBOM V4 จากการศึกษาในอาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้ ซึ่งเป็นอาคารตัวอย่าง พบว่า อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในปีปัจจุบัน (ปี 2559) เท่ากับ 38,383.38 kWh/month คิดเป็นค่าเฉลี่ย Energy Utilization Index (EUI) เท่ากับ 3,156.27 Wh/m^2•month และสูงกว่าค่าเฉลี่ย EUI ย้อนหลัง 3 ปีที่ผ่านมาถึง 144.02% พลังงานไฟฟ้าถูกใช้ในระบบปรับอากาศมากที่สุด คิดเป็น 66.71% ของพลังงานทั้งหมด หากมีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ได้จากการศึกษาไปปฏิบัติในอนาคตจะทำให้เกิดผลประหยัดเท่ากับ 164,247.30 kWh/year ทำให้ค่า EUI เท่ากับ 2,30.76 Wh/m^2•month หรือคิดเป็น 57.00% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย EUI ย้อนหลัง 3 ปี

คำสำคัญ: LEED-EBOM การอนุรักษ์พลังงาน การตรวจวัดพลังงาน อาคาร

Abstract

This research purposes to study the potential assessment of energy conservation in building of Maejo University by energy audit according to green building standard LEED-EBOM V4 in energy and atmosphere topic. The energy audit was conducted follow up ASHRAE Preliminary Energy Use, ASHRAE Level 1 Walk-Through, and ASHRAE Level-2 Energy Audit and the investigation data was analyzed by LEED-EBOM V4. From the results study in a sample building of 70 years Buildings of Maejo, it was found that the energy consumption of building in the current year (2016) was 38,383.38 kWh/month and the average Energy Utilization Index (EUI) was 3,156.27 Wh/m^2•month over than the average of EUI of the previous three contiguous years about 144.02%. The electricity was spent in air conditioning systems, accounting for 66.71% of total energy. If the energy conservation measures from the study are implemented in the future, the energy consumption could be conserved about 164,247.30 kWh/year, Energy Utilization Index (EUI) was 2,30.76 Wh/m^2•month or equal to 57% when comparing to the EUI average of 3 years ago.

Keywords: LEED-EBOM, Energy Conservation, Energy Audit, Building

บทนำ

ปัจจุบันทางภาครัฐได้มีการบังคับใช้กฎหมายตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550 กับอาคารขนาดใหญ่ที่มีการใช้พลังงานมากกว่า 20 MJ หรือมีขนาดหม้อแปลงมากกว่าเท่ากับ 1,175 KVA ให้ถือเป็นอาคารควบคุม จะต้องดำเนินการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน (Energy Management System) แต่ปัญหาที่พบคือ ประสิทธิผลจากการอนุรักษ์พลังงานในอาคารยังไม่ดีพอ เนื่องจากยังขาดความร่วมมือของผู้ใช้อาคาร การใช้

ระบบตรวจวัดและการจัดการพลังงานที่ทันสมัย และด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ทางภาครัฐจึงหาแนวทางส่งเสริมและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานให้มากขึ้นโดยสนับสนุนศึกษาเกี่ยวกับมาตรฐานอาคารเขียว ซึ่งมาตรฐานหนึ่งที่ได้รับการยอมรับทั่วโลกคือ เกณฑ์การประเมินอาคารเขียว The Leadership in Energy and Environment Design (LEED) โดยในเกณฑ์ที่น่าสนใจคือ LEED-EBOM V4 (LEED-Existing Buildings: Operations & Maintenance) ซึ่งเป็นเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวสำหรับอาคารที่มีการใช้งานอยู่แล้ว

ในต่างประเทศมีการศึกษาเกณฑ์ LEED กับอาคารประเภทต่างๆ เช่น Sabapathy และคณะ (2010) และ Scofield (2013) ได้ศึกษาศักยภาพการใช้พลังงานในอาคารที่ผ่านการรับรองเป็นอาคารเขียวโดยมาตรฐาน LEED ที่ผ่านการรับรองในระดับต่างๆ พบว่า การใช้พลังงานของอาคารที่ผ่านการรับรองอาคารเขียว ระดับ Silver จำนวน 1 อาคาร มีการใช้พลังงาน 234.00 kWh/m^2•year อาคารผ่านการรับรองระดับ Platinum จำนวน 2 อาคาร มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 179.50 kWh/m^2•year ซึ่งมีระดับการใช้พลังงานต่ำกว่าอาคารทั่วไป และเมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับอาคารที่ผ่านการรับรองระดับต่างๆ พบว่า อาคารที่ผ่านการรับรองระดับทองมีการใช้พลังงาน 1,896 MJ/m^2 และอาคารที่ผ่านการรับรองปกติ การใช้พลังงานอยู่ที่ 4,181 MJ/m^2 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานระดับที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานสูงขึ้น Jeong และคณะ (2016) ได้ศึกษาประเมินผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน อาคารเขียวมาตรฐาน G-Seed และมาตรฐาน LEED กับอาคารที่ไม่ผ่านการรับรอง จากการศึกษาพบว่าอาคารที่ได้การรับรองมาตรฐาน LEED มีค่า Energy Utilization Index (EUI) เท่ากับ 97.30 kWh/m^2•year ซึ่งสูงกว่าอาคารเขียวมาตรฐาน G-Seed และอาคารที่ไม่ผ่านการรับรอง ประมาณ 15%

สำหรับวิธีการจัดการพลังงานตามแนวทาง LEED ในประเทศไทยที่น่าสนใจ เช่น ณัฐพล เขตกระโทก และกีรติ สุลักษณ์ (2556) ศึกษาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมของอาคารบรรณสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ปี ตามเกณฑ์ประเมินของ มาตรฐานอาคารเขียว พบว่า อาคารมีการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน แต่การใช้พลังงานรวม 736,800 kWh/year สูงกว่าค่าหน่วยไฟฟ้ามาตรฐานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และยังไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานอาคารเขียว และยุทธวัชร อภิวาทนสิริ (2558) ศึกษาเกณฑ์ประเมิน LEED-NC (V.2009) หมวดการใช้พลังงานและบรรยากาศ โดยทำการจำลองอาคารออกแบบอาคารสำนักงานขนาดกลางที่มีแนวโน้มผ่านเกณฑ์ LEED-NC ผลที่ได้พบว่าอาคารที่มีการเปลี่ยนระบบไฟฟ้าปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นสามารถลดการใช้พลังงานโดยรวมได้มากกว่าการเปลี่ยนวัสดุรอบอาคาร ซึ่งการเปลี่ยนระบบไฟฟ้าปรับอากาศจะลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 9%

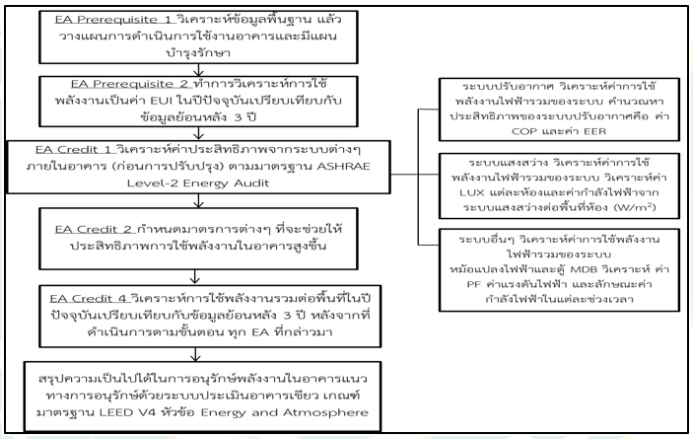
มหาวิทยาลัยแม่โจ้เป็นสถาบันการศึกษาที่เป็นหน่วยงานของรัฐและขึ้นทะเบียนเป็นอาคารควบคุมกับ พพ. และการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยยังคงเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จึงมีความน่าสนใจที่จะหาแนวทางการลดการใช้พลังงานโดยใช้วิธีการตรวจวัดพลังงานตามมาตรฐานอาคารเขียว LEED-EBOM V4 ซึ่งหัวข้อหนึ่งใน LEED ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานคือ หัวข้อ Energy and Atmosphere (EA) ที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

อาคารตัวอย่างที่ทำการศึกษาได้แก่ อาคารเรียนรวม 70 ปี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ดังภาพ 1 เป็นอาคารเรียนที่มีความสูง 5 ชั้น เปิดใช้งานปี พ.ศ. 2549 อายุอาคาร 11 ปี มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 12,161.62 m^2 แบ่งเป็น พื้นที่ปรับอากาศประมาณ 4,091.71 m^2 และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 8,069.91 m^2 มีการใช้งานอาคารตั้งแต่วันจันทร์-ศุกร์ ตั้งแต่เวลา 8.00-20.00 น. และวันเสาร์-อาทิตย์ ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. ชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ย 6.93 ชั่วโมงต่อวัน มีการใช้งานโดยเฉลี่ย 229 วันต่อปี

ภาพ 1 อาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร 70 ปี แม่โจ้ ได้ทำการแบ่งขั้นตอนการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการตรวจวัดการใช้พลังงาน และขั้นตอนการวิเคราะห์ตามเกณฑ์ LEED-EBOM V4 หัวข้อ Energy and Atmosphere (EA) ได้แก่เกณฑ์ EA Prerequisite 1 Energy Efficiency Best Management Practices, EA Prerequisite 2 Minimum Energy Performance, EA Credit 1 Existing Building Commissioning-Analysis, EA Credit 2 Existing Building Commissioning-Implementation และ EA Credit 4 Optimize Energy Performance ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถวิเคราะห์ได้จากการเก็บข้อมูลขั้นพื้นฐานและด้วยวิธี Energy Audit ตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 มีขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลดังภาพ 2



ภาพ 2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตามเกณฑ์ประเมินอาคารเขียวตามมาตรฐาน LEED V4

ขั้นตอนการตรวจวัดการใช้พลังงาน เริ่มต้นโดยรวบรวมข้อมูลขั้นพื้นฐานตาม ASHRAE Preliminary Energy Use และ ASHRAE Level 1 Walk-Through เช่น ลักษณะการใช้งานอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร การใช้พลังงานไฟฟ้า จำนวนพื้นที่ใช้พลังงาน พื้นที่ปรับอากาศ เป็นต้น จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลระดับการใช้พลังงานรวมในอาคารปัจจุบัน คือ ปี พ.ศ.2559 และข้อมูลย้อนหลัง ปี พ.ศ.2558 ปี พ.ศ.2557 และปี พ.ศ.2556 และทำการตรวจวัดการใช้พลังงานระบบต่างๆ ภายในอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE Level-2 Energy Audit แบ่งเป็นการตรวจวัดดังต่อไปนี้

ระบบไฟฟ้าปรับอากาศ ดังภาพ 3 (ก) เก็บข้อมูลด้านลักษณะการใช้พลังงาน ทำการวัดค่าอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และความเร็วลมของอากาศบริเวณช่องส่งลมเย็นและช่องดูดลมกลับ โดยใช้ Anemometer ยี่ห้อ AH-4223 (Accuracy ± 0.1 °C, ±0.1 %RH, ±0.1 m/s) และวัดค่าความต้องการไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์

เครื่องปรับอากาศ ด้วย Power Clamp Meter ยี่ห้อ UNI-T (Resolution ±0.01 kW) ดังภาพ 3 (ข) ข้อมูลที่ได้จากระบบไฟฟ้าปรับอากาศจะนำมาวิเคราะห์เป็นค่าสมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) ดังสมการที่ 1 และสมการที่ 3

$$COP = \frac{\dot{Q}_E}{W_{Comp}} \quad (1)$$

เมื่อ $\dot{Q}_E$ = อัตราการทำความเย็น (kW_{th})

W_{Comp} = ค่าความต้องการไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ (kW_e)

อัตราการทำความเย็น ($\dot{Q}_E$) ที่อีวาพอเรเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$\dot{Q}_E = AV\rho \times (h_{supply} - h_{return}) \quad (2)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้ากากส่งลมเย็น (m^2)

V = ความเร็วลมท่อส่งลมเย็น (m/s)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

H = เอนทัลปีด้านทำความเย็นและด้านดูดลมกลับ (kJ/kg)

ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) ซึ่งมีหน่วยคือ Btu/hr/W เป็นอีกตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าปรับอากาศ สามารถหาได้จากสมการ 3

$$EER = 3.412 \times COP \quad (3)$$

เมื่อ EER = อัตราส่วนประสิทธิภาพ (Btu/hr/W)

COP = สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (kW_{th}/kW_e)

(ก) ระบบไฟฟ้าปรับอากาศของอาคาร

(ข) วัดค่ากำลังไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ

ภาพ 3 การตรวจวัดระบบไฟฟ้าปรับอากาศ

ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง เก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงาน ทำการสำรวจจำนวน ชนิด และค่าความสว่างต่อพื้นที่ห้อง (Lux) ด้วย Light Meter ยี่ห้อ Center 337 (Accuracy ±0.01 lx) ดังภาพ 4 ข้อมูลที่ได้จากระบบไฟฟ้าส่องสว่างนำมาวิเคราะห์ ค่าความสว่าง (Lux) เป็นค่าปริมาณแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบลงพื้นที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ Lux Meter และค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (Light Power Density, LPD) ได้จากสมการ 4

$$LPD = B/A \quad (4)$$

เมื่อ B = กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (W)

A = พื้นที่ห้องหรือพื้นที่อาคารทั้งหมด (m^2)

ภาพ 4 ลักษณะระบบไฟฟ้าส่องสว่างของอาคาร

ระบบอื่นๆ ทำการเก็บข้อมูลและตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดในแต่ละห้อง

ระบบหม้อแปลงไฟฟ้าและตู้ Main Distribution Board (MDB) จะทำการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า (kW) ค่า Power Factor (PF) ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตู้ MDB ด้วยอุปกรณ์ Energy Meter ยี่ห้อ Chauvin Arnoux (Accuracy Voltage ±0.5%, Current ±0.5%) โดยทำการวัดและเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน ตรวจวัดข้อมูลทุกๆ 15 นาที ดังภาพ 5

ภาพ 5 การวัดพลังงานไฟฟ้าจากตู้ MDB ด้วย Energy Meter

ด้านกรอบอาคาร เก็บข้อมูลพื้นที่ผนังรวม พื้นที่ผนังทึบและพื้นที่ผนังโปร่งแสง ของอาคารในแต่ละทิศ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) หาจากสมการ 5

$$OTTV = \frac{(A_{W1})(OTTV_1) + (A_{W2})(OTTV_2) + \ldots + (A_{Wi})(OTTV_i)}{A_{1W} + A_{2W} + \ldots + A_{iW}} \quad (5)$$

เมื่อ A_{wi} = พื้นที่ของผนังซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง (m^2)

$OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (W/m^2)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) คำนวณได้จากสมการที่ 6

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (6)$$

เมื่อ U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ($^\circ C$)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก ($W/m^2 \cdot {}^\circ C$)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ($^\circ C$)

SHGC = ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR = ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือ ผนังทึบแสง (W/m^2)

สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์หาศักยภาพการใช้พลังงานในอาคารคือค่า Energy Utilization Index (EUI) หาจากอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้กับพื้นที่ที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานมีหน่วย พลังงานต่อพื้นที่ เช่น Wh/m^2

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

1. ข้อมูลพื้นฐานของอาคาร

ผลจากการเก็บข้อมูลตาม ASHRAE Preliminary Energy Use Analysis พบว่า อาคารเรียนรวม 70 ปี เป็นอาคารเรียนรวม ที่ตั้งอยู่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ที่ละติจูด 18.78 ° และลองจิจูด 98.99 ° มีพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ 4,091.71 m^2 พื้นที่ไม่ปรับอากาศทั้งหมด 8,069.91 m^2 พื้นที่ใช้งานเท่ากับ 12,161.62 m^2 ภายในอาคารใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก โดยมีพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในปัจจุบัน (ปี พ.ศ.2559) เท่ากับ 38,383.38 kWh/month คิดเป็นเงินประมาณ 143,843.37 Baht/month (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปี พ.ศ.2559 เท่ากับ 3.73 Baht/kWh) มีค่าความต้องการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยสูงสุด (Maximum Demand) ประมาณ 18.04 W/m^2 และมีค่าความต้องการใช้พลังงานต่ำสุด (Minimum Demand) ประมาณ 0.82 W/m^2 ลักษณะการใช้งานอาคาร พบว่า ห้องเรียน ภายในอาคาร มีเซนเซอร์ เปิด-ปิด ประตูด้วยลายนิ้วมือสำหรับเจ้าหน้าที่และแม่บ้าน โดยที่การใช้งานระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบไฟฟ้าปรับอากาศแม่บ้านจะเป็นผู้ดำเนินการ แผนการบำรุงรักษาภายในอาคารมีเพียงแผนไฟฟ้าส่องสว่างและระบบไฟฟ้าปรับอากาศแม่บ้านจะเป็นผู้ดำเนินการ แผนการบำรุงรักษาภายในอาคารมีเพียงแผนล้างเครื่องปรับอากาศปีละ 2 ครั้ง การตั้งค่า Set Point ของระบบไฟฟ้าปรับอากาศ อยู่ที่ 22–25 °C และภายในอาคารไม่มีการอธิบายกำหนดการใช้งานระบบต่างๆ ทำให้มีการใช้งานอย่างไม่แน่นอนในแต่ละวัน สำหรับระบบระบายอากาศภายในอาคารแต่ละห้องจะมีพัดลมระบายอากาศ ติดตั้งจำนวน 2 ตัวต่อห้อง

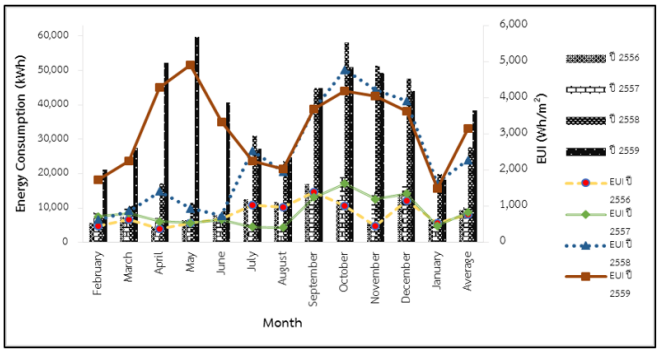
ผลจากการเก็บข้อมูลตาม ASHRAE Level 1 Walk-Through แยกเก็บข้อมูลแต่ละห้องในอาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้ โดยเก็บข้อมูลประเภทห้อง จำนวนเวลาการใช้งานอาคารแยกเป็นจำนวนชั่วโมงต่อวันและวันต่อปี จำนวนผู้ใช้งานอาคารในแต่ละห้อง เวลาการใช้ห้อง และพื้นที่ห้อง พบว่า อาคารมีจำนวนห้องเรียนทั้งหมด 13 ห้อง มีจำนวนห้องเรียนคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 5 ห้อง มีจำนวนห้องสำนักงานทั้งหมด 4 ห้อง มีจำนวนห้องน้ำทั้งชายและหญิงทั้งหมด 12 ห้อง มีการใช้งานเฉลี่ย 6.93 ชั่วโมงต่อวัน โดยที่ห้อง 306 มีจำนวนการใช้งานห้องเรียนมากที่สุด สูงถึง 9.25 ชั่วโมงต่อวัน ดังตาราง 1

ตาราง 1 ข้อมูลการใช้งานแต่ละห้องตาม ASHRAE Level 1 Walk-Through

ชื่อห้อง	ประเภทห้อง	ชั่วโมงการใช้งานอาคาร		จำนวนคน (คน)	พื้นที่ห้อง (m^2)
		ชั่วโมงต่อวัน	วันต่อปี		
อาคารเรียนรวม 70 ปี ชั้น 1					
ห้องคอมพิวเตอร์ A	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	8.00	250	70	230.50
ห้องคอมพิวเตอร์ B	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	8.17	250	100	259.66
ห้องคอมพิวเตอร์ C	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	8.00	250	100	259.66
ห้องแม่โขงชลราศี	ห้องเรียน	8.17	250	100	212.00
อาคารเรียนรวม 70 ปี ชั้น 2					
ห้อง 201/1	ห้องเรียน	6.75	250	250	300.38
ห้อง 201/2	ห้องเรียน	5.50	208	200	300.38
ศูนย์สอบ 202	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	6.00	250	100	288.35
ห้องฝึกอบรม 203	ห้องอบรม	6.00	250	-	79.154
ห้องประชุม 204	ห้องเรียน	6.80	208	120	288.35
ห้อง 205	ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	8.00	250	60	158.31
อาคารเรียนรวม 70 ปี ชั้น 3					
ห้อง 301	ห้องเรียน	5.50	208	50	388.40
ห้อง 302	ห้องเรียน	7.00	208	100	143.86
ห้อง 303	ห้องเรียน	3.00	208	60	70.24
ห้อง 304	ห้องเรียน	6.75	208	120	260.90
ห้อง 305	ห้องเรียน	8.00	208	50	81.04
ห้อง 306	ห้องเรียน	9.25	208	100	165.19
อาคารเรียนรวม 70 ปี ชั้น 4					
ห้อง 401	ห้องเรียน	7.50	208	100	149.62
ห้อง 402	ห้องเรียน	8.00	208	45	73.40
ห้อง 403	ห้องเรียน	7.00	208	100	255.71
ช่างเทคนิค	ห้องทำงาน	8.00	250	2	16.00
อาคารเรียนรวม 70 ปี ชั้น 5					
แคว้นอยชลาสินธุ์	ห้องทำงาน	8.00	250	5	125.78
สตูดิโอ	ห้องทำงาน	3.00	250	3	284.99

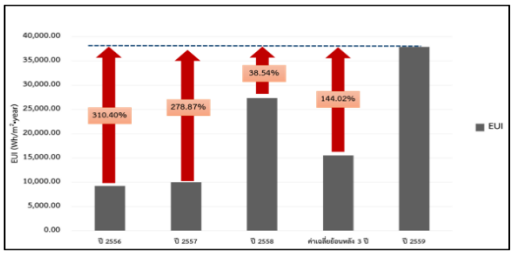
2. ผลการวิเคราะห์ค่า EUI

จากภาพ 6 พบว่า ตลอดช่วง ปี พ.ศ.2556 ปี พ.ศ.2557 ปี พ.ศ.2558 และปีปัจจุบัน (ปี พ.ศ.2559) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละปีสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งใน ปี พ.ศ.2559 มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสูงที่สุดเท่ากับ 38,383.38 kWh/Month และค่าเฉลี่ย EUI เท่ากับ 3,156.27 Wh/m^2•month ลักษณะการใช้พลังงานจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากในช่วงเวลาเปิดภาคเรียนการศึกษา โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดใน เดือนเมษายน ปี พ.ศ.2559 มีการใช้พลังงานเท่ากับ 59,826.51 kWh/Month และมีค่าเฉลี่ย EUI เท่ากับ 4,919.54 Wh/m^2•month ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนและอยู่ในช่วงเปิดภาคเรียนการศึกษา



ภาพ 6 การใช้พลังงานไฟฟ้า และค่า EUI ของอาคารเรียนรวม 70 ปี

การวิเคราะห์ค่า EUI ตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 จากภาพ 7 พบว่า ค่า EUI มีค่าสูงขึ้นทุกๆ ปีตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ EUI ตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 พบว่าค่าเฉลี่ย EUI ปี 2559 สูงกว่าค่าเฉลี่ย EUI ย้อนหลัง 3 ปี (ค่าเฉลี่ย EUI ปี พ.ศ.2556 ปี พ.ศ.2557 และปี พ.ศ.2558) ถึง 144.02% ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การรับรองในหัวข้อ EA Prerequisite 2 ที่ต้องมีค่า EUI ปีปัจจุบันลดลง 25%



ภาพ 7 ค่าเฉลี่ย EUI ในแต่ละปีและเปรียบเทียบร้อยละที่เพิ่มขึ้นกับปีปัจจุบัน (ปี 2559) ของอาคารเรียนรวม 70 ปี

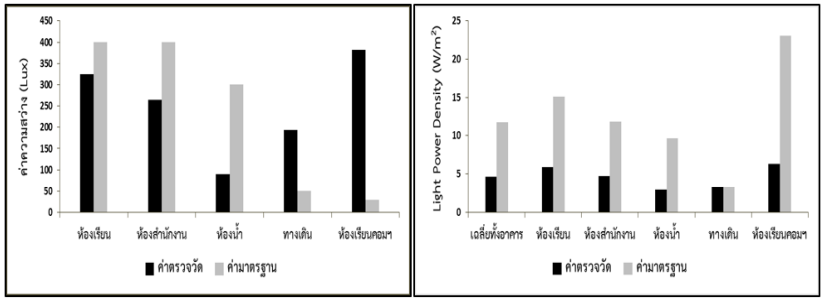
3. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบต่างๆ

จากผลดำเนินการตรวจวัดและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน ASHRAE Level-2 Energy Audit ซึ่งภายในอาคาร ได้แบ่งเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ ระบบไฟฟ้าปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง และระบบไฟฟ้าอื่นๆ นอกจากนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลและประเมินประสิทธิภาพด้านกรอบอาคาร และหม้อแปลงไฟฟ้าและตู้ MDB ภายในอาคาร

1. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

จากการสำรวจพบว่า อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าส่องสว่างทั้งหมดประมาณ 108,857.63 kWh/year หรือคิดเป็น 9,071.47 kWh/month ซึ่งมีการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 ทั้งหมด 644 หลอด ติดตั้งบริเวณห้องเรียนและห้องสำนักงาน ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 ทั้งหมด 310 หลอด ติดตั้งบริเวณห้องเรียน 201/1 ห้องเรียน 201/2 และทางเดินภายในอาคาร และติดตั้งหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ PLC ทั้งหมด 341 หลอด ติดตั้งบริเวณห้องน้ำ ห้องเรียน 301 และทางเดินภายในอาคาร

จากการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (Lux) ภายในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐาน IESNA Lighting Hand Book 9th (IESNA, 2007) โดยที่ค่าที่ตรวจวัดจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่ามาตรฐาน พบว่า ประเภทห้องเรียนคอมพิวเตอร์ มีค่าความสว่างเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 381 Lux ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์ สำหรับประเภทห้องเรียน ห้องสำนักงาน และห้องน้ำ ที่มีค่าความส่องสว่างไม่ผ่านมาตรฐานเนื่องจาก หลอดไฟฟ้าภายในอาคารมีอายุการใช้งานที่มากบางหลอดที่การติดตั้งตั้งแต่ก่อสร้างอาคารซึ่งทำให้มีอายุการใช้มากถึง 11 ปี และหลอดไฟภายในอาคารบางหลอดมีการชำรุดโดยที่ไม่มีการซ่อมบำรุง รายละเอียดค่า Lux ประเภทห้องต่างๆ แสดงดังภาพ 8 (ก)



(ก) ค่า Lux จากการตรวจวัดเทียบกับค่ามาตรฐาน (ข) ค่า LPD จากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

ภาพ 8 ผลการตรวจวัดด้านประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

จากการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ (Light Power Density, LPD) ตามเกณฑ์มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2015 (ASHRAE Standard, 2015) โดยที่ค่าที่ตรวจวัดจะต้องมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน พบว่า มีค่าเฉลี่ย LPD ทั้งอาคารเท่ากับ 4.66 W/m^2 มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์แยกเป็นแต่ละประเภท พบว่า ประเภทห้องเรียนคอมพิวเตอร์ มีค่า LPD เฉลี่ยสูงสุด 6.00 W/m^2 สำหรับประเภททางเดินภายในอาคารมีค่า LPD เฉลี่ย 3.33 W/m^2 ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 คิดเป็น 70% ของจำนวนหลอดทั้งหมดบริเวณทางเดิน ดังภาพ 8 (ข)

2. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าปรับอากาศ

อาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าปรับอากาศทั้งหมดประมาณ 307,249.81 kWh/year หรือคิดเป็น 25,604.15 kWh/month โดยติดตั้งเครื่องปรับอากาศในอาคารทั้งหมด 108 เครื่อง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) มีทั้งหมด 97 เครื่อง ซึ่งมีขนาดทำความเย็นตั้งแต่ 12,000-48,000 Btu/hr คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 251,105.46 kWh/year และเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) มีทั้งหมด 11 เครื่อง ซึ่งมีขนาดทำความเย็น 100,000 Btu/hr และขนาดทำความเย็น 120,000 Btu/hr คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 56,144.36 kWh/year ติดตั้งบริเวณห้องเรียน 201/1 ห้องเรียน 201/2 ห้องเรียน 301 และห้องสตูดิโอ

สำหรับการวิเคราะห์ค่า COP และ EER ในเครื่องปรับอากาศชนิด Split Type ภายในอาคาร มีทั้งหมด 97 เครื่อง มีค่า COP เฉลี่ย 2.67 kW_{th}/kW_e ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 (Engineers Newsletter, 2015) เนื่องจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคารส่วนใหญ่มีอายุการใช้งาน 14 ปี เป็นจำนวนมากมีทั้งหมด 71 เครื่อง ทำให้วิธีการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าปรับอากาศในปัจจุบันไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ ดังตาราง 2

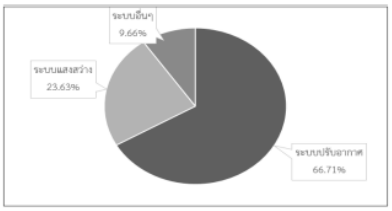
ตาราง 2 ข้อมูลจากการตรวจวัดระบบไฟฟ้าปรับอากาศเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

รายละเอียด	ค่าจากการตรวจวัด	ค่ามาตรฐาน	ผลการประเมิน
Air Conditioning System Split Type (COP, kW_{th}/kW_e)	2.67	3.28	ไม่ผ่านเกณฑ์
Air Conditioning System Split Type (EER, Btu/hr/W)	9.11	11.18	ไม่ผ่านเกณฑ์

3. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าอื่นๆ

อาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ ทั้งหมดประมาณ 44,493.12 kWh/year หรือคิดเป็น 3,707.76 kWh/month

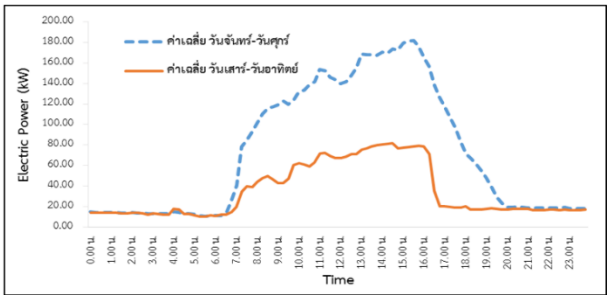
โดยสรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังจากการตรวจวัดระบบต่างๆ ภายในอาคารพบว่า มีสัดส่วนการใช้พลังงานดังนี้ ระบบไฟฟ้าปรับอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คิดเป็น 66.71% ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง คิดเป็น 23.63% และระบบอื่นๆ 9.66% ของการใช้พลังงานทั้งหมด ดังภาพ 9



ภาพ 9 สัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละระบบ ภายในอาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้

4. การวิเคราะห์ระบบหม้อแปลงไฟฟ้าและตู้ MDB

ในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2560 เป็นเวลาต่อเนื่อง 7 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า วันจันทร์-วันศุกร์ มีลักษณะการใช้พลังงานตั้งแต่เวลา 6.00 น.-20.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอน มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลานี้ประมาณ 113.92 kW โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลา จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลา 15.30 น. จะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 181.55 kW และค่อยๆ ลดลงในเวลาต่อมา สำหรับค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า วันเสาร์-วันอาทิตย์ มีลักษณะการใช้พลังงานตั้งแต่เวลา 6.00 น.-17.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีกิจกรรมทางการศึกษาและการเรียนการสอน มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 56.52 kW โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลา จะมีค่าสูงขึ้น จนถึงเวลา 14.30 น. มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 82.11 kW หลังจากนั้นจะลดลงในเวลาต่อมา ดังภาพ 10 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังไฟฟ้าในอาคารจะสอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอน และค่ากำลังไฟฟ้าก็จะค่อยๆ ลดลง ตามช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอนลดลงเช่นกัน



ภาพ 10 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าทั้งอาคาร

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้า พบว่า อาคารมีการติดตั้งหม้อแปลงขนาด 630 kVA จำนวน 1 เครื่อง จากการตรวจวัดมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุดเท่ากับ 237.23 kVA อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเหมาะสมกับขนาดหม้อแปลง เนื่องจากการออกแบบขนาดหม้อแปลงในอาคารควรจะเลือกขนาดที่มากกว่าภาระโหลดในอาคาร 20-30% สำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าภายในอาคารเฉลี่ย 229.54 V และค่าแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 สายวัดจากตู้ MDB ยังมีค่าไม่แตกต่างกัน และสำหรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ภายในอาคาร มีค่าเฉลี่ยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 0.87 มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (2542) ได้กำหนดไว้ว่า ค่าตัวประกอบทางไฟฟ้าจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.85 แสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 ข้อมูลทางไฟฟ้าอาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้

ข้อมูลทางไฟฟ้า	Phase-1	Phase-2	Phase-3	เฉลี่ย 3 Phase
ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V)	230.38	228.56	229.67	229.54
ค่าเฉลี่ย ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.90	0.87	0.82	0.87
ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW)				181.55
ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุด (kVA)				237.23

5. การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร

จากการเก็บข้อมูลด้านกรอบอาคารได้นำมาวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคารพบว่าอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง มีค่าเท่ากับ 63.60 W/m^2 ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานที่ต้องมีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังกรอบอาคารไม่เกิน 50 W/m^2 (กระทรวงพลังงาน, 2552) เมื่อวิเคราะห์ค่า OTTV ของอาคารในแต่ละทิศพบว่า ทิศที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังสูงสุดคือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 66.68 W/m^2 เนื่องจากเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์ในช่วงบ่าย และยังเป็นทิศที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดสูงที่สุดคิดเป็น 60.00% ของพื้นที่ทั้งหมดในทิศใต้ ดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้

ทิศ	พื้นที่ผนังทั้งหมด (m^2)	พื้นที่ผนังทึบ (m^2)	พื้นที่ผนังโปร่งแสง (m^2)	ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (W/m^2)
ทิศเหนือ	232.50	175.80	56.70	52.26
ทิศใต้	420.00	168.00	252.00	66.68
ทิศตะวันออก	393.00	280.00	113.00	65.10
ทิศตะวันตก	534.00	212.20	316.80	65.02
พื้นที่ผนังรวม	1579.50	836.00	738.50	63.60
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง				

4. การกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

จากผลการตรวจวัดการใช้พลังงานตาม LEED-EBOM V4 หัวข้อพลังงานและบรรยากาศ พบว่า ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง มีค่า LPD บริเวณทางเดินมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และค่าความสว่างบริเวณห้องส่วนใหญ่ภายในอาคารมีต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับระบบไฟฟ้าปรับอากาศ มีอายุการใช้งานที่มากจึงทำให้ค่า COP เฉลี่ยต่ำกว่าค่ามาตรฐาน จึงพิจารณากำหนดมาตรการในการปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้งานและเพิ่มศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของระบบต่างๆ ภายในอาคารเรียนรวม 70 ปี แม่โจ้ ดังตาราง 5 พบว่า ระบบไฟฟ้าส่องสว่างหากดำเนินมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงคือ หลอด LED และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 ในห้องและทางเดินจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 34,638.86 kWh/year สำหรับระบบไฟฟ้าปรับอากาศจะให้ความสำคัญกับการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศในบางส่วนและปรับอุณหภูมิ Set Point ซึ่งมาตรการระบบไฟฟ้าปรับอากาศมีศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานมากที่สุด คิดเป็น 74.97% ของพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ทั้งหมด และมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นระบบ VRV โซนห้องคอมพิวเตอร์ชั้น 1 มีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานมากที่สุดจากการเสนอแนวทางมาตรการคิดเป็น 51.96% ของพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากระบบไฟฟ้าปรับอากาศ ดังตาราง 5

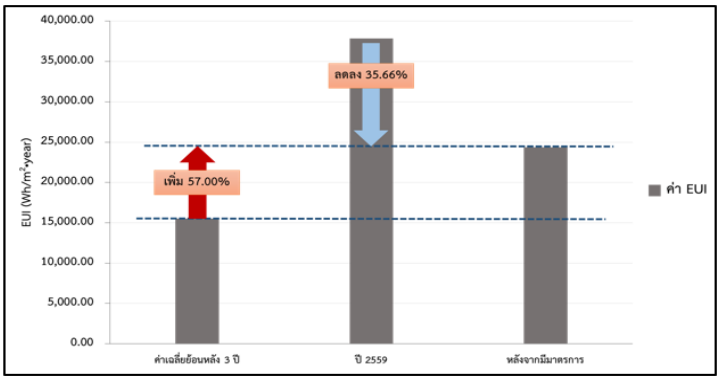
ตาราง 5 มาตรการเสนอแนะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบต่างๆ ภายในอาคาร

มาตรการ	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)	ระยะเวลาคืนทุน (year)
มาตรการที่ 1 เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับห้องที่มีการใช้งานมาก	17,399.18	64,898.92	3.47
มาตรการที่ 2 เปลี่ยนหลอดไฟบริเวณทางเดินจากการ Reuse	17,239.68	64,304.00	0
มาตรการที่ 3 ติดตั้งระบบควบคุมเปิดปิดหลอดไฟอัตโนมัติสำหรับห้องเรียน	3,060.93	11,417.29	1.46
มาตรการที่ 4 เปลี่ยนหลอดไฟและติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวบริเวณห้องน้ำ	2,016.00	7,519.68	2.70
มาตรการที่ 5 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นระบบ VRV โซนห้องคอมพิวเตอร์ชั้น 1	63,984.74	238,663.10	7.64
มาตรการที่ 6 ปรับอุณหภูมิ Set Point เครื่องปรับอากาศเป็น 25 °C	40,618.04	151,505.27	0
มาตรการที่ 7 การลดอุณหภูมิอากาศระบายความร้อนของ	3,593.24	13,402.78	0.82

มาตรการ	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)	ระยะเวลาคืนทุน (year)
เครื่องปรับอากาศด้วยระบบ Evaporative Pre-Cooled			
มาตรการที่ 8 ลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็นเกินและควบคุมเปิดปิดเครื่องปรับอากาศด้วย Timer	14,945.49	55,746.66	0.12
มาตรการที่ 9 ปิดหน้าจอคอมพิวเตอร์หลังจากไม่มีการใช้งาน	1,390.00	5,184.70	0

5. การประเมิน EUI จากมาตรการเสนอแนะ

หากทำการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการที่เสนอแนะจะพบว่า อาคารเรียนรวม 70 ปี จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 164,247.30 kWh/year คิดเป็นผลประหยัดเท่ากับ 612,642.40 Baht/year (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปี พ.ศ.2559 เท่ากับ 3.73 Baht/kWh) ทำให้ค่า EUI เท่ากับ 24,369.15 Wh/m^2•year หรือคิดเป็น 2,30.76 Wh/m^2•month เมื่อเปรียบเทียบค่า EUI กับปีปัจจุบัน (ปี พ.ศ.2559) พบว่า ลดลงจากเดิม 35.66% และเมื่อพิจารณาค่า EUI หลังจากมีการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย EUI ย้อนหลัง 3 ปี ตามเกณฑ์ LEED-EBOM V4 คือปี พ.ศ.2556 ปี พ.ศ.2557 และปี พ.ศ.2558 เฉลี่ยกัน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น 57.00% จากเดินที่ก่อนมีมาตรการมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 144.02% แต่ยังไม่ผ่านเกณฑ์การรับรองในหัวข้อ EA Credit 4 ที่ต้องมีค่า EUI ปีปัจจุบันลดลง 27% ดังภาพ 11



ภาพ 11 ค่าเฉลี่ย EUI หลังจากมีแนวทางการปรับปรุงและเปรียบเทียบร้อยละที่ลดลงในแต่ละปี

จากผลการวิจัย พบว่า ค่า EUI ของอาคารเรียนรวม 70 ปี มีค่าลดลงเมื่อดำเนินการตามเกณฑ์ LEED-EBOM V4 หัวข้อพลังงานและชั้นบรรยากาศ ลดลงจากเดิมถึง 35.66% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jeong และคณะ (2016) ที่อาคารผ่านการรับรอง LEED มีค่า EUI น้อยกว่าอาคารทั่วไปประมาณ 15% และตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารก็คือ ระยะเวลาการดำเนินงานของอาคาร และขนาดของระบบไฟฟ้าภายในอาคาร เป็นไปตามงานวิจัยของ Sabapathy และคณะ (2010) จากการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละระบบ พบว่า การปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าปรับอากาศมีผลทำให้มีการลดใช้พลังงานได้มากที่สุดถึง 26.73% สอดคล้องกับงานวิจัย ยุทธวัชร อภิวาทนสิริ (2558) ที่ทำการปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าปรับอากาศสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด 9% เมื่อเทียบกับการปรับเปลี่ยนระบบอื่นๆ

ประโยชน์ที่ได้จากการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยวิธีตรวจวัดพลังงานตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 คือ ได้แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่มีการดำเนินการอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพสูง

เนื่องจากมีการดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์ตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 ที่มีพื้นฐานมาจาก ASHRAE Standard ซึ่งผลการศึกษาทำให้สามารถต่อยอดนำไปสู่การดำเนินการใช้จริงตามมาตรฐาน LEED-EBOM V4 เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารอื่นๆ ในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ หรือเป็นต้นแบบให้ดำเนินต่อไปกับอาคารอื่นๆ ในประเทศไทย และข้อด้อยของงานวิจัยคือ มาตรฐาน LEED-EBOM V4 เป็นมาตรฐานที่มาจากต่างประเทศ จึงมีบางขั้นตอนที่ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในสถานที่ที่มีลักษณะทางภูมิประเทศและสภาพอากาศที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการปรับให้เข้ากับประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนในโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา ขอขอบคุณ คุณสุรเดช ศิดการงาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและให้คำแนะนำในการดำเนินวิจัยและขอขอบคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินวิจัยประจำปีงบประมาณ 2560 มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

ณัฐพล เขตกระโทก, และกีรติ สุลักษณ์. (2556). การประเมินเพื่อปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อาคารเขียว. วิศวสารลาดกระบัง, 31(2), 32-36.

ประกาศกระทรวงพลังงาน. (2552). หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร. สืบค้นเมื่อ 6 มิถุนายน 2560 จาก http://download.asa.or.th/03media/04law/eca/ma52-02.pdf

ยุทธวัชร อภิวาทนสิริ. (2558). อาคารสำนักงานเขียว. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2542). การกำหนดค่าตัวประกอบที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าไทย. สืบค้นเมื่อ 6 มิถุนายน 2560 จาก http://www2.eppo.go.th/vrs/VRS46-05-PF.html

ASHRAE Standard. (2015). Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, Georgia.

Engineers Newsletter. (2015). ASHRAE Standard 90.1-2013 HVAC and Power Section Highlights. Trane Engineers Newsletter, volume 44-1.

IESNA. (2007). Requirements for Lighting Levels. Pacific Northwest National Laboratory.

Jeong, J., Hong, T., Ji C., Kim, J., Lee, M., & Jeong, K. (2016). Development of an evaluation process for green and non-green buildings focused on energy performance of G-SEED and LEED. Building and Environment, 105, 172-184.

Sabapathy, A., Ragavan, S., Vijendra, M., & Nataraja, A. (2010). Energy efficiency benchmarks and the performance of LEED rated buildings for Information Technology facilities in Bangalore, India. Energy and Buildings, 42(11), 2206-2212.

Scofield, J., (2013). Efficacy of LEED-certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings. Energy and Buildings, 67, 517-524.

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	รัฐวุฒิ สุดสงวน
เกิดเมื่อ	10 ธันวาคม 2535
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2555 ปริญญาตรี วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนครสวรรค์ นครสวรรค์
ประวัติการทำงาน	-