การศึกษาศักยภาพการจัดการพลังงานในอาคารเรียนโดยใช้ระบบ ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย

ทรงภพ ภาสวรโรจน์กุล

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

การศึกษาศักยภาพการจัดการพลังงานในอาคารเรียนโดยใช้ระบบ ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย

ทรงภพ ภาสวรโรจน์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาศักยภาพการจัดการพลังงานในอาคารเรียนโดยใช้ระบบ ISO 50001
ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย

ทรงภพ ภาสวรโรจน์กุล

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

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

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

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

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การศึกษาศักยภาพการจัดการพลังงานในอาคารเรียนโดยใช้ระบบ ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย

ชื่อผู้เขียน นายทรงภพ ภาสวรโรจน์กุล

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณา มงคล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES ในหมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) โดยได้ทำการประเมินเกณฑ์ EA Credit ประกอบด้วย 2 หัวข้อย่อย ได้แก่ EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน และ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ เพื่อหาแนวทางและมาตรการการจัด การพลังงานเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาผ่านอาคารภายในพื้นที่ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากผลการการศึกษาระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 มีการใช้พลังงาน ไฟฟ้ารวม 308,268.72 kWh/year เมื่อคิดเป็นค่า Energy Utilization Index (EUI) ของอาคารสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า ในปีฐานที่พิจารณา คือ ปี 2562 มีค่าเท่ากับ 24.99 kWh/m^2•year หากมีการจัดการพลังงานโดยดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามการวิเคราะห์ของเกณฑ์ ISO 50015 ได้แก่ มาตรการการลดหลอดภายในอาคารสำหรับห้องที่มีค่ามาตรฐานความส่องสว่าง (LUX) สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง และมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เป็นต้น ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 53,832.48 kWh/year หรือคิดเป็นผลประหยัดได้ 208,870.02 Baht/year สำหรับผลการประเมินตามเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) ในเกณฑ์ EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน ได้เสนอแนะการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยออกแบบระบบเป็นแบบ On Grid System คือ ผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โหลดใช้งานโดยตรงกำลังการผลิตรวม 231 kW โดยระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 378.22 MWh/year มีผลประหยัดจากค่าพลังงานไฟฟ้า 1,467,493.60 Baht/year และระบบการผลิตแก๊สชีวภาพจากปริมาณน้ำเสียในฟาร์มสุกร 47.25 m^3/day จะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้เท่ากับ 136.43 m^3/day หากมีการน้ำมาใช้จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 24.55 MWh/day สำหรับผลการวิเคราะห์การใช้สารทำความเย็นตามเกณฑ์ EA Credit 4 พบว่า อาคารมีการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 100% โดยในปี 2562 มีการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคารทั้งหมด 185.51 kg ค่า Carbon

Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 เท่ากับ 335,773.10 kgCO_2/year จากมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็นชนิด R-32 ที่ทดแทนสารทำความเย็นที่มีค่า Global Warming Potential (GWP) สูง จะสามารถลดการปล่อย Carbon Footprint เท่ากับ 64,592.05 kgCO_2 คิดเป็น 19.24% ของการรั่วไหลของสารทำความเย็นทั้งหมด

จากผลการศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES หากนำไปใช้ในการดำเนินงานจริงจะมีความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานและจัดการสิ่งแวดล้อมในอาคารอย่างเป็นระบบ จะส่งผลให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานรวม 456,839 kWh/year คิดเป็นเงิน 1,772,535.32 Bath/year และจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า 265,925.98 kgCO_2/year

คำสำคัญ : ระบบการจัดการพลังงาน, ISO 50001:2011, เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย

Title THE POTENTIAL STUDY OF ENERGY MANAGEMENT IN ACADEMIC BUILDING BY ISO 50001 STANDARD INTEGRATED WITH THAI GREEN BUILDING CERTIFICATE

Author Mr. Songpob Pasvorarotkool

Degree Master of Engineering in Renewable Energy Engineering

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Sulaksana Mongkon

ABSTRACT

This research study has assessed energy management capabilities in academic building using the ISO 50001 energy management system in conjunction with the Thai Green Building Standard (TREES) in Category 4: Energy and Atmosphere (EA). The evaluation focused on two subtopics within the EA Credit criteria, namely EA Credit 2: Renewable Energy Use and EA Credit 4: Non-Destructive Refrigerants in Air Conditioning Systems. The aim was to identify strategies and measures for promoting energy efficiency in academic building through internal building enhancements. This study was conducted within the Faculty of Animal Science and Technology.

From the results of the study of the ISO 50001 energy management system, the total electricity consumption was found to be 308,268.72 kWh/year. When calculated as the Energy Utilization Index (EUI) for Faculty of Animal Science and Technology building, it was determined to be 24.99 kWh/m^2•year for the baseline year, which is 2562. By implementing energy management measures according to the analysis of ISO 50015 criteria, such measures include reducing the number of lamps within the building for rooms that exceed the standard brightness level (LUX), replacing high-efficiency light bulbs, replacing to high-efficiency air conditioning systems, and replacing air exhaust fans with high-efficiency motorized fans. These measures would result in energy savings of 53,832.48 kWh/year, equivalent to cost savings of 208,870.02 Baht/year. Regarding the evaluation according to the criteria of Thailand's Energy and Environmental Sustainability Assessment (TREES) in EA Credit 2: Renewable Energy Use, a recommendation was made to install a solar photovoltaic system in the form of an On-Grid System. This system would generate

electricity directly into the grid with a total installed capacity of 231 kW. The solar energy system would be able to produce 378.22 MWh/year of electrical energy, resulting in energy cost savings of 1,467,493.60 Baht/year. Additionally, a biogas production system was proposed based on the amount of wastewater in the pig farm, with a daily production capacity of 47.25 m^3/day. This biogas production system would be capable of generating 136.43 m^3/day of biogas. If water is supplied for the system, it would be able to produce 24.55 MWh/day of electrical energy. In the analysis of refrigerant usage according to EA Credit 4, it was found that the building utilized R-22 refrigerant at a 100% rate. In the year 2562, a total of 185.51 kg of refrigerant was released from the building, resulting in a Carbon Footprint value of 335,773.10 kgCO_2/year due to the leakage of R-22 refrigerant. By replacing the air conditioning systems that use R-22 refrigerant with systems using R-32 refrigerant, which has a higher Global Warming Potential (GWP), it would be possible to reduce the Carbon Footprint by 64,592.05 kgCO_2, equivalent to 19.24% of the total refrigerant leakage.

Based on the study of energy management potential in educational buildings using ISO 50001 standard in conjunction with Thailand's Green Building Standard (TREES), if applied in actual operations, there is a possibility of conserving energy and managing the environment in a systematic and efficient manner. This would result in a total energy savings of 456,839 kWh/year, equivalent to 1,772,535.32 Baht/year in cost savings. Furthermore, it would also lead to a reduction in greenhouse gas emissions, specifically a decrease of 265,925.98 kgCO_2/year, attributed to the energy savings achieved.

Keywords : Energy Management System, ISO 50001:2011, Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วงกต วงศ์อภัย ที่ให้เกียรติมาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความกรุณาชี้แนะและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความครบถ้วนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณา มงคล ที่ให้ความกรุณามาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และให้คำปรึกษา ความรู้ แนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนคำแนะนำในการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี และ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน ที่ให้ความกรุณามาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และได้ชี้นำวิธีการดำเนินงาน และคำแนะนำในการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ หน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (Smart Energy and Environmental Research Unit: SEEU) สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกข้อมูล รวมทั้งอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสนับสนุนพื้นที่และอุปกรณ์ในการศึกษาสำหรับการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษา “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” ประจำปีการศึกษา 2560

ขอขอบพระคุณ นายธนกร เคหา นักวิชาการคอมพิวเตอร์ ประจำคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การช่วยเหลือติดต่อประสานงาน และสนับสนุนข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ นายทรงพร ภาสวรโรจน์กุล นางนราวรรณ ภาสวรโรจน์กุล และนายปองภพ ภาสวรโรจน์กุล สำหรับกำลังใจและคอยสนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา รวมทั้ง นายภานุวิชญ์ พุทธรักษา นางสาวธัญลักษณ์ สันเดช Mr. Nhel Bundarith นายพันชนะ ยาละศรี นางสาวปรียานุช นุ่มภา และเพื่อน พี่ น้อง ที่คอยช่วยเหลือให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุก ๆ ด้าน

ทรงภพ ภาสวรโรจน์กุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ด

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 มาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 4

2.1.1 กระบวนการของมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 7

2.2 เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน 9

2.2.1 การประเมินหัวข้อพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere) 14

2.2.2 เกณฑ์ขั้นต่ำ ในการเข้าร่วมการประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน 21

2.3 ระบบการใช้พลังงาน 22

2.3.1 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 22

2.3.1.1 หน่วยวัดที่เกี่ยวกับแสง 22

2.3.1.2 มาตรฐานความถูกต้องของสีในการใช้งาน 23
2.3.1.3 ชนิดหลอดไฟฟ้า 24
2.3.1.4 ส่วนประกอบหลักของระบบไฟฟ้า 27
2.3.1.5 การเลือกใช้ระบบไฟฟ้าส่องสว่างให้มีประสิทธิภาพ 30
2.3.2 ระบบปรับอากาศ 31
2.3.2.1 ประเภทของระบบปรับอากาศ 32
2.3.2.2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ 33
2.3.2.3 สมรรถนะการทำความเย็น 34
2.3.2.4 การเลือกใช้ระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพ 36
2.3.3 หม้อแปลงไฟฟ้า 37
2.3.3.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจำแนกตามประเภทต่าง ๆ 37
2.3.3.2 กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า 40
2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 41
2.4.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 43
2.4.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 43
2.4.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 44
2.4.4 เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า 44
2.4.5 แบตเตอรี่ 45
2.5 ก๊าซชีวภาพ 45
2.5.1 การใช้ก๊าซมีเทนเป็นแหล่งพลังงาน 46
2.5.2 ระบบก๊าซชีวภาพจากภาคปศุสัตว์ 46
2.5.3 ประเภทของเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย 47
2.5.3.1 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic digestion) 47
2.5.3.2 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) 48

2.5.4 การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ 49
2.6 ทฤษฎีพาเรโต (Pareto) 52
2.7 การวิเคราะห์การถดถอย (Linear Regression) 53
2.7.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) 53
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 54
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 66
3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 66
3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในดำเนินงานวิจัย 73
3.3 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล 74
บทที่ 4 ผลการวิจัย 77
4.1 อาคารตัวอย่างในงานวิจัย 77
4.2 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 84
4.2.1 ส่วนที่ 1 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ 85
4.2.2 ส่วนที่ 2 ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 89
4.2.2.1 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างพื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก 89
4.2.2.2 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างพื้นที่ฟาร์มสุกร 91
4.2.2.3 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างพื้นที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ .. 93
4.3 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบปรับอากาศ 95
4.3.1 ส่วนที่ 1 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ 95
4.3.2 ส่วนที่ 2 ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 100
4.4 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 102
4.4.1 ส่วนที่ 1 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ 102
4.4.2 ส่วนที่ 2 ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 104
4.5 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบระบายอากาศ 104

4.5.1 ส่วนที่ 1 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 104
4.5.2 ส่วนที่ 2 ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 104
4.5.2.1 พื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก 105
4.5.2.2 พื้นที่ฟาร์มสุกร 106
4.5.2.3 พื้นที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 107
4.6 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบปั๊มน้ำและลิฟท์ 107
4.7 ระบบหม้อแปลงไฟฟ้า 108
4.7.1 การวิเคราะห์ระบบหม้อแปลงและตู้ MDB ของอาคารภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 108
4.7.2 ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 109
4.7.3 การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของฟาร์มสัตว์ปีก 112
4.7.4 การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของฟาร์มสุกร 113
4.7.5 การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 114
4.7.6 ผลการวิเคราะห์ International Standard ISO 50015 115
4.7.6.1 มาตรการระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 115
4.7.6.2 ระบบปรับอากาศ 119
4.7.6.3 ระบบระบายอากาศ 122
4.7.6.4 มาตรการด้านพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร 126
4.8 การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน TREES-EB 127
4.8.1 การวิเคราะห์ EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน 127
4.8.1.1 การใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 127
4.8.2 รูปแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 132
4.8.2.1 การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีระบบผลิตแก๊สชีวภาพ 132

4.8.2.2 การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 137
4.8.2.3 แนะนำระบบที่เหมาะสมกับพื้นที่ 139
4.8.3 ผลการวิเคราะห์ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ 139
4.9 วิจารณ์ผลการประเมินศักยภาพของระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES 142
4.9.1 แนวทางการจัดการพลังงานเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 146
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 149
บรรณานุกรม 151
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ 155
ภาคผนวก ข ผลงาน และการเผยแพร่งานวิจัย 160
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม PVsyst 169
ประวัติผู้วิจัย 177

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 เกณฑ์คะแนนและระดับรางวัล 10
ตารางที่ 2 เกณฑ์ย่อยที่ควรระบุช่วงเวลาการดำเนินงานและไม่ระบุช่วงเวลา 13
ตารางที่ 3 เกณฑ์ประเมินในหัวข้อพลังงานและบรรยากาศ ตามเกณฑ์ของ TREES 14
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงกับฐานข้อมูล ด้วย Energy Star Portfolio Manager 17
ตารางที่ 5 การประเมินการใช้พลังงานในอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE Level 1 Walk-Through 19
ตารางที่ 6 ความถูกต้องของสี 23
ตารางที่ 7 ค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 30
ตารางที่ 8 มาตรฐานค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 30
ตารางที่ 9 ค่ามาตรฐานสัมประสิทธิสมรรถนะและอัตราสวนประสิทธิภาพพลังงาน 36
ตารางที่ 10 ค่ามาตรฐานพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น 36
ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูงกับหม้อแปลงธรรมดา 41
ตารางที่ 12 ศักยภาพการผลิตและการนาก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทนจากฟาร์มปศุสัตว์ .. 47
ตารางที่ 13 ผลประหยัดในแต่ละพื้นที่การใช้งาน..... 57
ตารางที่ 14 ตัวชี้วัดพลังงานสำหรับอุตสาหกรรมซีเมนต์..... 58
ตารางที่ 15 ตัวชี้วัดด้านพลังงานสำหรับการจัดการพลังงานในเทศบาล 59
ตารางที่ 16 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการวิเคราะห์ 61
ตารางที่ 17 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของคณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้..... 79
ตารางที่ 18 จำนวนผู้ใช้งานอาคารและพลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ 82
ตารางที่ 19 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EnPIs ระบบไฟฟ้าส่องสว่างของอาคารประชุมนานาชาติ 85
ตารางที่ 20 ห้องที่ค่าความส่องสว่าง (LUX) ไม่ผ่านค่ามาตรฐาน..... 86

ตารางที่ 21 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในฟาร์มสัตว์ปีก 90
ตารางที่ 22 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในฟาร์มสุกร 92
ตารางที่ 23 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 94
ตารางที่ 24 ผลการตรวจวัดระบบปรับอากาศภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 96
ตารางที่ 25 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 97
ตารางที่ 26 ผลการตรวจวัดระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ภายในอาคารประชุมนานาชาติ 98
ตารางที่ 27 ผลการตรวจวัดระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารประชุมนานาชาติ 98
ตารางที่ 28 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารประชุมนานาชาติ 100
ตารางที่ 29 ผลการตรวจวัดระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีกและอาคารสำนักงานฟาร์มสุกร 101
ตารางที่ 30 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีกและอาคารสำนักงานฟาร์มสุกร 102
ตารางที่ 31 พลังงานไฟฟ้าในระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ภายในพื้นที่ฟาร์มคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 104
ตารางที่ 32 อุปกรณ์ระบบระบายอากาศภายในโรงเรือนฟาร์มสัตว์ปีก 105
ตารางที่ 33 อุปกรณ์ระบบระบายอากาศภายในโรงเรือนฟาร์มสุกร 106
ตารางที่ 34 อุปกรณ์ระบบระบายอากาศภายในโรงเรือนฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 107
ตารางที่ 35 รายละเอียดผลการสำรวจตรวจวัดระบบปั๊มน้ำและลิฟท์ 108
ตารางที่ 36 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดของอาคารอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 111
ตารางที่ 37 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดภายในฟาร์มสัตว์ปีก 112
ตารางที่ 38 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดภายในฟาร์มสุกร 113
ตารางที่ 39 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 114

ตารางที่ 40 ผลประหยัดมาตรการการลดหลอดภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ 115

ตารางที่ 41 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงภายในอาคารประชุมนานาชาติ 117

ตารางที่ 42 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 117

ตารางที่ 43 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงภายในอาคารสำนักงานของพื้นที่ฟาร์ม 118

ตารางที่ 44 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง 120

ตารางที่ 45 เงินลงทุนของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง 121

ตารางที่ 46 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง 121

ตารางที่ 47 ผลประหยัดมาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ 122

ตารางที่ 48 ผลประหยัดด้านพลังงานมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง 123

ตารางที่ 49 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง 124

ตารางที่ 50 ผลประหยัดจากจากเสนอแนวทางมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และระยะเวลาคืนทุน 124

ตารางที่ 51 ผลการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 125

ตารางที่ 52 ผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EnPIs 126

ตารางที่ 53 ข้อมูลพื้นฐานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการออกแบบ 128

ตารางที่ 54 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 550 W ยี่ห้อ Longi Solar รุ่น LR5-72 HPH 550 M 129

ตารางที่ 55 อินเวอร์เตอร์ขนาด 40 kW จาก SolarEdge รุ่น SE40K (480V Grid) 129

ตารางที่ 56 รายละเอียดอุปกรณ์และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 130

ตารางที่ 57 ค่าใช้จ่ายโครงการและการวิเคราะห์ตัวแปรทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 131

ตารางที่ 58 อัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสีย และค่าความสกปรกของน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง 133

ตารางที่ 59 ปริมาณสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศ 140

ตารางที่ 60 เปรียบเทียบปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 และ R-32 141

ตารางที่ 61 ตัวชี้วัดด้านพลังงานในระบบต่าง ๆ ของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ และอาคารศูนย์ประชุมนานาชาติ 143

ตารางที่ 62 ตัวชี้วัดด้านพลังงานในระบบต่าง ๆ ของพื้นที่ฟาร์มในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 144

ตารางที่ 63 ศักยภาพการประหยัดด้านพลังงานและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง 146

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 กับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 5
ภาพที่ 2 กระบวนการของการตรวจประเมินด้านพลังงาน 5
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง EnPIs, EnBs และเป้าหมายด้านพลังงาน 6
ภาพที่ 4 แนวคิดของสมรรถนะด้านพลังงาน 7
ภาพที่ 5 แผนภาพกระบวนการของมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 7
ภาพที่ 6 สัดส่วนคะแนนในหมวดต่าง ๆ ของเกณฑ์การประเมิน 10
ภาพที่ 7 ตัวอย่างตารางแสดงช่วงดำเนินการ 13
ภาพที่ 8 สัญลักษณ์ Energy Star 16
ภาพที่ 9 หลอดไส้ (Incandescent lamp) 24
ภาพที่ 10 หลอดแสงจันทร์ (Mercury lamp) 25
ภาพที่ 11 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp) 25
ภาพที่ 12 หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp) 26
ภาพที่ 13 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) 26
ภาพที่ 14 หลอดแอลอีดีกำลังสูง (Light-emitting diodes, LED) 27
ภาพที่ 15 บัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnetic Ballast) 27
ภาพที่ 16 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) 28
ภาพที่ 17 โคมดาวน์ไลท์ 28
ภาพที่ 18 โคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 29
ภาพที่ 19 โคมไฮเบย์หรือโคมโรงงาน 29
ภาพที่ 20 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) 32

ภาพที่ 21 ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) 33
ภาพที่ 22 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ 34
ภาพที่ 23 แกนเหล็กแบบคอร์ 37
ภาพที่ 24 แกนเหล็กแบบเซลล์ 38
ภาพที่ 25 แกนเหล็กแบบตัว H 38
ภาพที่ 26 การจำแนกหม้อแปลงตามระบบไฟฟ้า 39
ภาพที่ 27 การจำแนกหม้อแปลงตามขนาดพิกัด 39
ภาพที่ 28 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ 42
ภาพที่ 29 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย 42
ภาพที่ 30 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 43
ภาพที่ 31 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 43
ภาพที่ 32 โครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 44
ภาพที่ 33 แผนภาพกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ 46
ภาพที่ 34 การย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการใช้ออกซิเจน 48
ภาพที่ 35 การย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน 48
ภาพที่ 36 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ 50
ภาพที่ 37 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบฝาครอบลอย 50
ภาพที่ 38 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน 51
ภาพที่ 39 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบพลาสติกคลุมราง 51
ภาพที่ 40 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบ UASB และ H-UASB 52
ภาพที่ 41 ตัวอย่างแผนภาพพาเรโต 53
ภาพที่ 42 สมการเส้นตรงของการถดถอย 54
ภาพที่ 43 ลำดับความสำคัญของข้อมูล 55
ภาพที่ 44 ขั้นตอนการดำเนินงานพื้นฐานในการจัดการพลังงาน 56

ภาพที่ 45 เปรียบเทียบตามลักษณะการใช้งานของโคมไฟในปี 2015 และ 2017 56
ภาพที่ 46 ขั้นตอนการดำเนินงานการจัดการพลังงานตามกระบวนการ PDCA 57
ภาพที่ 47 ผลประหยัดพลังงานและการปล่อย CO_2 จากการใช้ ISO 50001 60
ภาพที่ 48 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง 60
ภาพที่ 49 คะแนนที่ได้รับตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว TREES-NC 61
ภาพที่ 50 การเปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการพลังงานตามกฎหมายกับมาตรฐาน ISO 50001:2011 62
ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์เชิงเส้นการถดถอยระหว่างผลผลิตกับพลังงานไฟฟ้า 63
ภาพที่ 52 ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษา 63
ภาพที่ 53 กรอบแนวคิดงานวิจัย 65
ภาพที่ 54 แปลนอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 66
ภาพที่ 55 ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ช่องส่งลมเย็นและช่องลมกลับ ... 68
ภาพที่ 56 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องอัดไอ 68
ภาพที่ 57 กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟจาก Name Plate 69
ภาพที่ 58 วัดค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ (Lux) เฉพาะจุดที่ทำงาน 70
ภาพที่ 59 การตรวจวัดด้านไฟฟ้าของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีที่ตู้ MDB 70
ภาพที่ 60 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 72
ภาพที่ 61 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 77
ภาพที่ 62 ปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังรายปี 78
ภาพที่ 63 ปริมาณความต้องการในการชใช้พลังงานไฟฟ้าหลังรายเดือน 79
ภาพที่ 64 ไดอะแกรมการใช้พลังงานภายไฟฟ้าในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 80
ภาพที่ 65 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 80
ภาพที่ 66 พาเรโตแสดงปริมาณการใช้พลังงานสะสมและลักษณะการใช้พลังงานใน 1 ปี 81

ภาพที่ 67 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับจำนวนผู้ใช้งานอาคาร ของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ 83
ภาพที่ 68 สัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างอาคารและพื้นที่ฟาร์ม ภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี..... 83
ภาพที่ 69 สัดส่วนการใช้พลังงานของฟาร์มสุกร ฟาร์มสัตว์ปีก และฟาร์โคนมโคเนื้อ 84
ภาพที่ 70 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 87
ภาพที่ 71 ลักษณะห้องภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 88
ภาพที่ 72 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในอาคารประชุมนานาชาติ..... 89
ภาพที่ 73 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในโรงเรือน 91
ภาพที่ 74 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในอาคารฟาร์มสัตว์ปีก 91
ภาพที่ 75 ลักษณะการใช้งานหลอดไฟในพื้นที่ฟาร์มสุกร..... 93
ภาพที่ 76 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 95
ภาพที่ 77 ลักษณะการติดตั้งหลอดส่วนของสำนักงานภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 95
ภาพที่ 78 ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี..... 96
ภาพที่ 79 ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ของอาคารประชุมนานาชาติ99
ภาพที่ 80 ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ภายในฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี..... 101
ภาพที่ 81 ตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ 103
ภาพที่ 82 ลักษณะอุปกรณ์พัดลมและปั๊มน้ำของระบบระบายอากาศในฟาร์มสัตว์ปีก..... 106
ภาพที่ 83 ลักษณะอุปกรณ์พัดลมและปั๊มน้ำของระบบระบายอากาศในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 107
ภาพที่ 84 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละวันของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ 108
ภาพที่ 85 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ 109

ภาพที่ 86 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ 110

ภาพที่ 87 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ 111

ภาพที่ 88 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงเรือนภายในฟาร์มสัตว์ปีก 112

ภาพที่ 89 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงเรือนภายในฟาร์มสุกร 113

ภาพที่ 90 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงเรือนภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ 114

ภาพที่ 91 ตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในอาคารที่มีอายุการใช้งาน 15 ปี 119

ภาพที่ 92 ลักษณะของพัดลมระบายอากาศและมอเตอร์ 123

ภาพที่ 93 กำลังไฟฟ้าสูงสุดปี พ.ศ. 2562 128

ภาพที่ 94 การใช้พลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กำลังการผลิตขนาด 231 kW เทียบกับปี พ.ศ. 2562 131

ภาพที่ 95 รูปแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 132

ภาพที่ 96 โรงไฟฟ้าแก๊สชีวภาพกำลังการผลิต 60 kW 133

ภาพที่ 97 บริเวณที่ติดตั้งระบบผลิตแก๊สชีวภาพในพื้นที่ฟาร์มสุกร 134

ภาพที่ 98 แบบก่อสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 134

ภาพที่ 99 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ขนาด 200 m^3 135

ภาพที่ 100 แบบก่อสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 136

ภาพที่ 101 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 136

ภาพที่ 102 ระบบแก๊สชีวภาพที่เสียหายในพื้นที่ฟาร์มสุกร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 137

ภาพที่ 103 ขั้นตอนระบบการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน 147

ภาพที่ 104 แนวทางการดำเนินมาตรการ 148

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยถูกจัดอยู่ในกลุ่มของประเทศที่กำลังพัฒนา จึงมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการเติบโตทั้งภาคอุตสาหกรรมและการบริการ ส่งผลให้มีโรงงานและอาคารขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่ามีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี พ.ศ. 2560 คิดเป็น 35.2% ของพลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2560)) เพื่อควบคุมปริมาณการใช้พลังงานให้ลดลง ประเทศไทยจึงได้มีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) ตามที่ประกาศกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2551 ทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ที่ขึ้นทะเบียนเป็นอาคารและโรงงานควบคุมกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) หันให้ความสำคัญกับการจัดการพลังงานมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันการจัดการพลังงานได้ยกระดับมาตรฐานโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานระดับสากลเช่น มาตรฐาน ISO 50001 Energy management systems - Requirements with guidance for use (ISO 50001) ซึ่งรับรองโดยองค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) เนื่องจากมีความน่าเชื่อถืออีกทั้งคนในองค์กรยังมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ได้ถูกเผยแพร่และมีการริเริ่มใช้ภายในองค์กรต่าง ๆ เมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2554 โดยมุ่งเน้นให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในองค์กรโดยผู้บริหารต้องมีนโยบายและการจัดซื้ออุปกรณ์และบริการ รวมถึงการจัดตั้งทีมในการดำเนินงานระบบการจัดการพลังงานให้องค์กรต่าง ๆ ได้นำไปใช้ทั้งในอาคารและโรงงานบนพื้นฐานหลักการ P-D-C-A คือ วางแผน (Plan) ปฏิบัติ (Do) ตรวจสอบ (Check) แก้ไขและปรับปรุง (Action) เพื่อที่จะช่วยควบคุมค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 สามารถบูรณาการร่วมกับเกณฑ์มาตรฐานการจัดการพลังงานอื่น ๆ ได้ ปัจจุบันมีการใช้งาน ISO 50001 อย่างแพร่หลายทั้งในกลุ่มอาคาร เช่น โรงแรม ห้างสรรพสินค้า และโรงพยาบาล ในส่วนของอาคารของภาครัฐยังมีส่วนน้อยที่ให้ความสนใจกับมาตรฐาน ISO 50001 เช่น อาคารสถานศึกษาซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง เช่น อาคารเรียนในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ อย่างไรก็ตามมหาวิทยาลัยส่วนใหญ่ในประเทศมีนโยบายเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวจึงมีความเหมาะสมในการจัดทำระบบการจัดการพลังงานร่วมกับเกณฑ์อาคารเขียว เพื่อยกระดับความเข้มข้นในการจัดการพลังงานให้มีศักยภาพที่สูงขึ้น

สำหรับเกณฑ์อาคารเขียวในประเทศไทยได้มีมาตรฐานอาคารเขียวไทยชื่อว่า TREES หรือเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability: TREES) ของสถาบันอาคารเขียวไทย (สถาบันอาคารเขียวไทย (2555)) โดยได้แนวคิดมาจากเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา (Leadership in Energy & Environmental Design: LEED) และแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของกระทรวงพลังงาน มาเป็นแนวทางในการกำหนดความเป็นอาคารเขียวที่เหมาะสำหรับประเทศไทย ได้มีการกำหนดเครื่องมือ วิธีการแต่ละขั้นตอนอย่างชัดเจนและหลากหลาย และการวิเคราะห์ดัชนีพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ อย่างไรก็ตามมาตรฐานอาคารเขียวไทยมีความแตกต่างจาก ISO 50001 เพราะนอกเหนือจากการให้ความสำคัญเฉพาะการจัดการพลังงานแล้ว เกณฑ์มาตรฐาน TREES ยังให้ความสำคัญกับประเด็นอื่น ๆ เช่น การวิเคราะห์สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมบริหารอัตโนมัติ (Building Management System: BMS) และระบบพลังงานย่อย และการใช้พลังงานทดแทนภายในอาคาร เป็นต้น โดยรูปแบบการวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถนำเข้าไปเสริมกับการใช้ระบบ ISO 50001 ที่มีจุดเด่นด้านนโยบายและการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบภายใต้หลักการ PDCA อย่างเป็นระบบ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารจากการใช้มาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียว TREES เพื่อหาแนวทางและกลยุทธ์ในการเสริมสร้างความเข้มข้นในการจัดการพลังงานจากการวิเคราะห์ร่วมกับของมาตรฐาน ISO 50001 และ TREES ผ่านการศึกษาในอาคารตัวอย่าง ซึ่งคาดหวังว่าจะได้แนวทางนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพระบบการจัดการพลังงานภายในอาคารและจะทำให้องค์กรที่มีการดำเนินการจัดการพลังงานมีผลตัวชี้วัดด้านพลังงานภายใต้ระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ที่ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES

2. เพื่อหาแนวทางและมาตรการการจัดการพลังงานเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาผ่านการศึกษาจากอาคารตัวอย่าง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาระบบการจัดการพลังงานระดับสากลตามมาตรฐาน ISO 50001 Version 2011 ผ่านอนุกรมย่อย ได้แก่ ISO 50002 การสำรวจและตรวจวัดพลังงาน ISO 50006 การกำหนดตัวชี้วัดสมรรถนะ และการจัดการข้อมูลด้านพลังงาน และ ISO 50015 มาตรการการปรับปรุงและซ่อมบำรุง

2. ศึกษาเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน (Existing Building) ในหมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) ได้แก่ EA 2 การใช้พลังงานทดแทน และ EA 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ

3. ศึกษาอาคารตัวอย่างภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้อย่างน้อย 1 อาคาร

4. วิเคราะห์ศักยภาพในการจัดการพลังงานในระบบต่าง ๆ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่น ๆ ภายในอาคารตัวอย่าง

5. ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EnPI ประกอบไปด้วย ค่า Energy Utilization Index (EUI) ค่า Specific Energy Consumption (SEC) ค่า Energy Performance Index (EPI) ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง Luminous Efficacy Ratio (LER) ค่าแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ (LUX) อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าติดตั้งต่อพื้นที่ (Lighting Power Density; LPD) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้วยระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับอาคารเขียวไทย TREES

2. ได้แนวทางการนำรูปแบบการศึกษาไปพัฒนาและต่อยอดงานวิจัยด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารด้านอื่น ๆ ได้

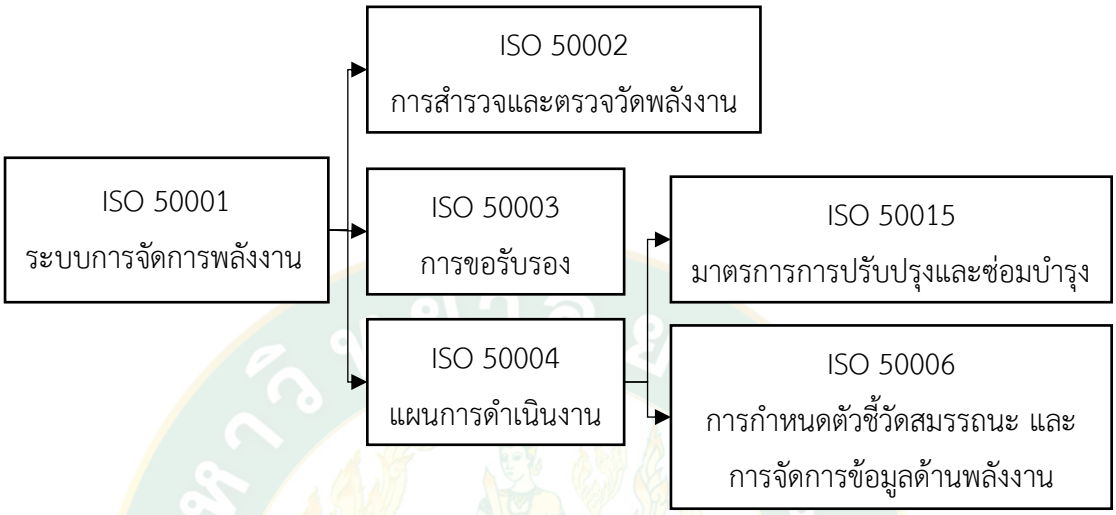
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

ISO คือชื่อเรียกโดยย่อขององค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization) (สำนักกำกับและอนุรักษพลังงาน (2559)) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1947 (พ.ศ. 2490) โดยมีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่นครเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เพื่อส่งเสริมการกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศ และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม เศรษฐกิจ และขจัดข้อโต้แย้ง รวมถึงการกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศ ตลอดจนการพัฒนาความร่วมมือทางด้านวิชาการ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ดังนั้นเมื่อองค์กรใดที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO แสดงให้เห็นว่ามีสินค้า บริการ หรือระบบการจัดการต่าง ๆ เป็นไปตามมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล โดยมาตรฐานที่องค์กรนี้ได้กำหนดออกมาจะแบ่งชื่อออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง คือ ISO ที่ใช้เป็นส่วนนำหน้า เช่น ISO 9001 เป็นมาตรฐานระบบการจัดการคุณภาพ ISO 14001 เป็นมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม และ ISO 50001 คือ มาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ส่วนเลขต่อท้ายจะเป็น ปี ค.ศ. ที่ประกาศใช้ เช่น ISO 50001:2011 คือมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ที่ประกาศใช้ในปี ค.ศ. 2011 (วันที่ 15 มิถุนายน ค.ศ. 2011)

สำหรับมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้องค์กรสามารถดำเนินการอย่างเป็นระบบในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงาน ประกอบไปด้วย ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลักษณะการใช้พลังงานและปริมาณการใช้พลังงานภายในองค์กรนั้น ๆ โดยที่มาตรฐานฉบับนี้ไม่ได้กำหนดเกณฑ์ของสมรรถนะที่เฉพาะเจาะจงในด้านพลังงาน แต่ได้ถูกออกแบบให้ใช้มาตรฐานได้อย่างเป็นอิสระ ซึ่งสามารถนำไปบูรณาการร่วมกับระบบการจัดการอื่น ๆ ได้ เช่น ISO 9001, ISO 14001 เป็นต้น โดยที่มาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ให้ความสำคัญในเรื่องของระบบเอกสารเป็นหลัก กล่าวคือองค์กรต้องกำหนดและจัดทำเอกสารที่จำเป็นและเกี่ยวข้องกับระบบ ประกอบด้วย คู่มือระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management Manual) ระเบียบปฏิบัติงาน (Procedure Manual) วิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction) และฟอร์ม (Form) ต่าง ๆ ที่ใช้บันทึกกิจกรรมของระบบการจัดการพลังงาน กล่าวคือมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 กำหนดให้มีการระบุขอบเขต (Boundary) และขอบข่าย (Scope) ของการจัดทำระบบการจัดการพลังงานให้เหมาะสมกับองค์กร โดยผู้บริหารระดับสูงจะประกาศแต่งตั้งผู้แทนฝ่ายบริหาร (Energy Management Representative: EnMR) และ EnMR จะทำหน้าที่สรรหาคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานเพื่อร่วมดำเนินการจัดทำระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 จากนั้นองค์กรต้องจัดให้มีการวางแผนพลังงาน การปฏิบัติ การตรวจสอบ และการทบทวน

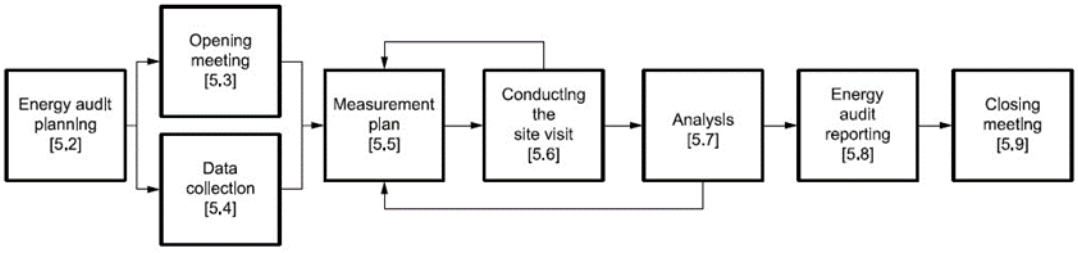
นอกจากมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001:2011 คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน ISO/TC 242 ได้ออกมาตรฐานและคำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการพลังงาน จำนวน 5 ฉบับ โดยมีความสัมพันธ์ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 กับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

จากภาพที่ 1 สามารถอธิบายส่วนประกอบของอนุกรมมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ดังนี้

1. International Standard ISO 50002 (First edition 2014. 07. 01) Energy Audits - Requirements with Guidance for Use มาตรฐานว่าด้วยข้อกำหนดและข้อแนะนำในการตรวจวัดและวิเคราะห์ด้านพลังงาน เพื่อสนับสนุนในการประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของอุปกรณ์และกระบวนการที่มีนัยสำคัญ โดยขั้นตอนการตรวจประเมินด้านพลังงานมีความสัมพันธ์ ดังแสดงในภาพที่ 2



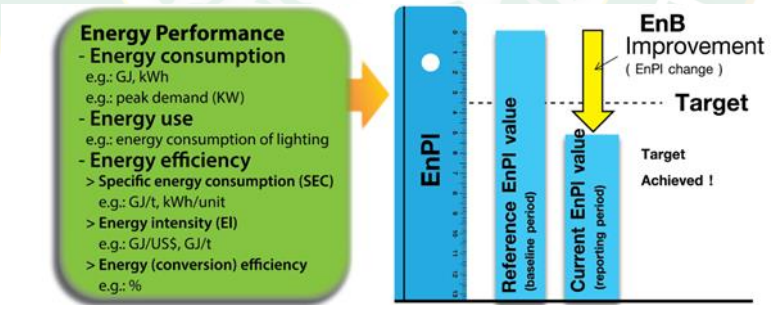
ภาพที่ 2 กระบวนการของการตรวจประเมินด้านพลังงาน

[ที่มา: Management (2014)]

2. International Standard ISO 50003 (First edition 2014. 10. 15) Energy Management Systems - Requirements for Bodies Providing Audit and Certification of Energy Management Systems มาตรฐานที่เป็นข้อกำหนดและความต้องการสำหรับผู้ให้การรับรอง ใช้ในการดำเนินการตรวจประเมินเพื่อให้การรับรอง สำหรับองค์กรที่ดำเนินการจัดทำระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001:2011

3. International Standard ISO 50004 (First edition 2014. 12. 15) Energy Management Systems - Guidance for the Implementation Maintenance and Improvement of an Energy Management System มาตรฐานที่เป็นข้อแนะนำสำหรับองค์กรในการจัดทำ นำไปปฏิบัติ คงรักษาไว้ และปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน พร้อมตัวอย่างการนำไปใช้งานให้ถูกต้อง

4. International Standard ISO 50006 (First edition 2014. 12. 15) Energy Management Systems - Measuring Energy Performance Using Energy Baselines (EnB) and Energy Performance Indicators (EnPI) - General Principles and Guidance Management System มาตรฐานที่เป็นข้อแนะนำ สำหรับองค์กรณ์ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะพลังงาน โดยใช้ข้อมูลฐานด้านพลังงาน (Energy Baselines) และตัวชี้วัดสมรรถนะพลังงาน (Energy Performance Indicators) สำหรับระบบการจัดการพลังงานจะสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 3

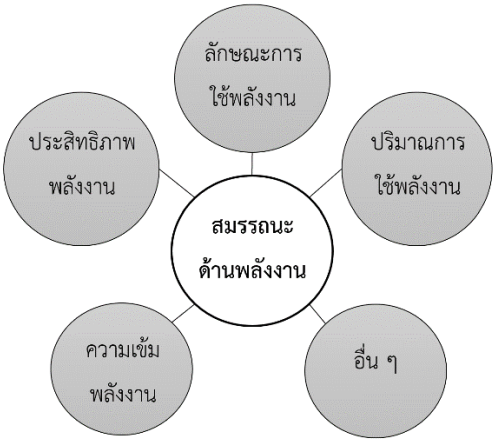


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง EnPIs, EnBs และเป้าหมายด้านพลังงาน

[ที่มา: นาคทอง (2016)]

5. International Standard ISO 50015 (First edition 2014. 12. 15) Energy Management Systems - Measurement and Verification of Energy Performance of Organizations - General Principles and Guidance Management System มาตรฐานว่าด้วยหลักการทั่วไปและข้อแนะนำสำหรับระบบการจัดการพลังงาน ในการวัดผลและยืนยันผลการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะด้านพลังงานขององค์กร

สมรรถนะด้านพลังงานครอบคลุมถึง ลักษณะการใช้พลังงาน ประสิทธิภาพพลังงาน และปริมาณการใช้พลังงาน ดังนั้น องค์กรสามารถเลือกกิจกรรมที่เกี่ยวกับสมรรถนะด้านพลังงานได้อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น องค์กรอาจลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด หรือใช้ประโยชน์จากพลังงานส่วนเกินหรือพลังงานจากของเสีย หรือการปรับปรุงระบบ กระบวนการ หรืออุปกรณ์ แนวคิดของสมรรถนะด้านพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แนวคิดของสมรรถนะด้านพลังงาน

2.1.1 กระบวนการของมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

จากกระบวนการตามมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ที่มีวัฏจักรการทำงานหลักตามวงล้อ P-D-C-A สามารถแสดงขั้นตอนกระบวนการทำงานได้ ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 แผนภาพกระบวนการของมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

จากภาพที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานตามมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 มีกระบวนการทำงานซึ่งได้แบ่งข้อกำหนดออกเป็น 4 ส่วนหลักตามวงล้อ P-D-C-A (Plan-Do-Check-Act) (สำนักกำกับและอนุรักษพลังงาน (2559)) ดังนี้

1) การวางแผนพลังงาน (PLAN) โดยการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อบ่งชี้ลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use: SEU) ขององค์กร และกำหนดข้อมูลฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline: EnB) ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Indicators: EnPIs) และสมรรถนะด้านพลังงานในปัจจุบันของกระบวนการ หรือเครื่องจักรหลักในพื้นที่ของลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญนั้น เพื่อชี้บ่งโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานขององค์กร โดยกำหนดเป็นวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และแผนปฏิบัติการด้านพลังงานให้สอดคล้องกับนโยบายพลังงาน กฎหมายและข้อกำหนดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2) การปฏิบัติ (DO) คือการดำเนินการตามแผนปฏิบัติด้านพลังงาน ซึ่งครอบคุลมถึงการดำเนินการด้านอื่น ๆ ที่จะทำให้ระบบการจัดการพลังงานมีความยั่งยืน ดังนี้

- ด้านความสามารถ การฝึกอบรม และความตระหนักด้านพลังงานของบุคลากรในองค์กร (Competence Training and awareness)
- ด้านการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกองค์กร (Communication)
- ด้านระบบเอกสาร (Documentation) ซึ่งต้องดำเนินการจัดทำเอกสารให้สอดคล้องกับข้อกำหนดและการควบคุมเอกสาร
- ด้านการควบคุมการปฏิบัติงาน (Operational Control) และการบำรุงรักษา เฉพาะกระบวนการหรือเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญและมีผลกระทบต่อสมรรถนะด้านพลังงาน (Work Instruction: WI หรือ Standard Operating Procedure: SOP) ของแต่ละอุปกรณ์ เช่น วิธีปฏิบัติงานการเริ่มเดินหม้อไอน้ำ เป็นต้น
- ด้านการออกแบบและการจัดซื้อสำหรับกระบวนการเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญและมีผลกระทบต่อสมรรถนะด้านพลังงาน รวมถึงการบริการด้านพลังงาน

3) การตรวจสอบ (CHECK) เป็นกระบวนการในการตรวจติดตามและเฝ้าระวัง เพื่อให้มีความเชื่อมั่นได้ว่าระบบการจัดการพลังงานขององค์กรยังคงอยู่และมีสมรรถนะด้านพลังงานที่ดี โดยการกำหนดแผนในการเฝ้าระวังและการตรวจติดตามตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะด้านพลังงาน การตรวจติดตามความสัมฤทธิ์ผลของวัตถุประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงานโดยการวัด และเครื่องมือวัดที่ใช้ต้องมีความเที่ยงตรง การตรวจสอบยังรวมถึงการตรวจประเมินภายในของระบบการจัดการพลังงานที่ต้องทำทุกปี หากพบข้อบกพร่องหรือแนวโน้มที่จะเกิดข้อบกพร่องต้องดำเนินการแก้ไข

4) การทบทวน (ACT) องค์กรต้องดำเนินการทบทวนการบริหารโดยผู้บริหารระดับสูงทุกปี เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการจัดการพลังงานยังคงอยู่ และมีการปรับปรุงและพัฒนาได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งครอบคลุมในทุก ๆ ด้านของระบบการจัดการพลังงาน

2.2 เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน

สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (สถาบันอาคารเขียวไทย (2555)) ร่วมกันจัดตั้งหน่วยงานด้านอาคารเขียวของไทยขึ้นในปี พ.ศ. 2551 โดยมีเป้าหมายหลัก คือ ต้องการพัฒนาองค์ความรู้และจัดทำมาตรฐานรวมทั้งหลักเกณฑ์อาคารเขียวของไทยขึ้น เพื่อนำมาใช้แทนเกณฑ์อาคารเขียวที่กำหนดมาจากประเทศมหาอำนาจ ลดความเสียเปรียบด้านการค้าและเศรษฐกิจของประเทศ อีกเป้าหมายหนึ่งคือต้องการสร้างจิตสำนึกให้กับประชาชนและสังคมไทยเรื่องการออกแบบ ก่อสร้าง และพัฒนาอาคารเขียวแบบยั่งยืน ส่งเสริมให้เกิดความรู้ความเข้าใจเรื่องอาคารเขียวที่ถูกต้องให้กับ สถาปนิก วิศวกร หน่วยงานรัฐบาล และประชาชนทั่วไป หลังจากการประชุมและทำงานร่วมกันของกลุ่มสถาปนิกและวิศวกรชุดนี้มาได้ระยะหนึ่ง คณะทำงานจึงตัดสินที่จะจัดตั้ง “สถาบันอาคารเขียวไทย” ขึ้นในวันที่ 11 มีนาคม 2552 ตัวแทนจากสมาคมสถาปนิกสยามฯ และวิศวกรรมสถานฯ ได้ลงนามในข้อตกลงที่จะทำงานร่วมกันทำงานในเรื่องนี้แนวทางการจัดตั้ง “สถาบันการอาคารเขียว” นั้นจะเริ่มโดยจดทะเบียนเป็นนิติบุคคลในรูปของ “มูลนิธิอาคารเขียวไทย” เมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2553

สถาบันอาคารเขียวไทยได้จัดทำเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย หรือ TREES (Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability) ซึ่งทางสถาบันฯ มุ่งหวังให้เกณฑ์นี้สามารถแก้ปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับอาคารได้อย่างครอบคลุม เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) ถูกออกแบบให้เหมาะกับลักษณะของโครงการประเภทต่าง ๆ ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า สำหรับเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารระหว่างใช้งาน หรือ TREES-EB เป็นเกณฑ์ที่มุ่งเน้นสำหรับอาคารที่ผ่านการใช้งานจริงเป็นหลัก ตัวอาคารควรมีการใช้งานที่คงที่และเสถียร เนื่องจากต้องมีการใช้ข้อมูลจริงทั้งจากผู้ใช้อาคารและข้อมูลทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่วัดได้จริง จึงไม่เหมาะกับอาคารที่ออกแบบและก่อสร้างใหม่หรือมีการปรับปรุงอาคาร เนื่องจากเกณฑ์จะเน้นการเก็บข้อมูลจากอาคารจริง อย่างไรก็ดีอาจจำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาคาร เพื่อให้สามารถผ่านการทำคะแนนในข้อบังคับ และข้อคะแนนปรกติได้

ลักษณะการประเมินด้วยเกณฑ์ TREES จะเป็นการประเมินด้วยการทำคะแนนในแต่ละหัวข้อคะแนน ซึ่งจะมีลักษณะหัวข้อคะแนนอยู่ 2 จำพวก กลุ่มแรก คือ คะแนนหัวข้อบังคับ หรือ Prerequisite ซึ่งผู้เข้าร่วมประเมินต้องผ่านการประเมินทุกหัวข้อคะแนน ซึ่งใน TREES-EB

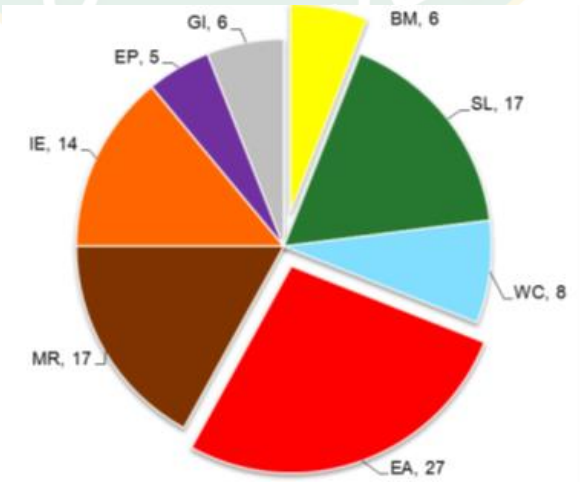
จะมีหัวข้อบังคับ 5 หัวข้อ โดยหากไม่ผ่านเกณฑ์คะแนนข้อใดข้อหนึ่งในกลุ่มนี้จะถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ TREES กลุ่มคะแนนหัวข้อบังคับจะต่างกับอีกกลุ่มที่มีการวัดด้วยระดับคะแนน ซึ่งมีคะแนนมากน้อยแตกต่างกันไปตามลำดับความสำคัญ โดยจะคะแนนรวมถึง 100 คะแนน เมื่อผ่านคะแนนข้อบังคับทั้ง 5 แล้ว การทำคะแนนได้มากน้อยจะเป็นตัวตัดสินระดับรางวัลที่จะได้รับ ใน TREES-EB ได้แบ่งระดับรางวัลออกเป็น 4 ระดับ ตามช่วงคะแนน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์คะแนนและระดับรางวัล

รางวัล	คะแนน
PLATINUM	75 ขึ้นไป
GOLD	55-74
SILVER	45-54
CERTIFIED	35-44

*ทุกระดับต้องผ่านคะแนนข้อบังคับ 5 ข้อ

หัวข้อการประเมินของ TREES-EB สามารถแบ่งเป็นหมวดหลัก 8 หมวดหลัก ได้แก่ 1) การบริหารจัดการอาคาร (Building Management: BM) 2) ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape: SL) 3) การประหยัดน้ำ (Water Conservation: WC) 4) พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) 5) วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง (Materials and Resources: MR) 6) คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality: IE) 7) การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection: EP) และ 8) นวัตกรรม (Green Innovation: GI) ซึ่งในแต่ละหมวดสามารถแบ่งเป็นสัดส่วนคะแนนได้ดังแผนภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 สัดส่วนคะแนนในหมวดต่าง ๆ ของเกณฑ์การประเมิน

[ที่มา: (สถาบันอาคารเขียวไทย (2555)]

หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร (Building Management: BM)

การจัดทำเกณฑ์การบริหารจัดการอาคาร เป็นการประเมินการเตรียมความพร้อมเบื้องต้นสำหรับการเข้าสู่การเป็นอาคารเขียว ด้วยวิธีการประชาสัมพันธ์ให้กับคนภายในองค์กร รวมถึงการแจกคู่มือและการฝึกอบรมแนะนำการใช้งานและบำรุงรักษาอาคาร เช่น การติดป้ายประกาศ การแจกแผ่นพับ และการจัดพื้นที่แสดงนิทรรศการถาวรในอาคาร เป็นต้น โดยในหมวดนี้จะมีคะแนนเต็ม 6 คะแนน

หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape: SL)

สำหรับอาคารระหว่างการใช้งาน ที่ตั้งถือเป็นปัจจัยสำคัญทางสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เกณฑ์การประเมินที่จะส่งเสริมหมวดที่ 2 เช่น การลดการใช้รถยนต์ส่วนตัว การซึมน้ำและการลดปัญหาน้ำท่วม และการพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน ด้วยการมีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศและต้นไม้ยืนต้น 1 ต้นต่อพื้นที่เปิดโล่ง 100-200 ตารางเมตร คะแนนรวมในหมวดที่ 2 รวม 17 คะแนน รองจากหมวดที่ 4 ที่มีคะแนนมากที่สุด

หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ (Water Conservation: WC)

รายละเอียดการจัดทำเกณฑ์การประหยัดน้ำ ทางองค์กรจะต้องมีนโยบายในการประหยัดน้ำเพื่อลดการใช้น้ำภายในอาคารอย่างยั่งยืนอย่างเป็นระบบ และให้เกิดการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การติดมาตรวัดน้ำย่อย 1-2 ประเภท เพื่อเกิดการวางแผนการลดการใช้น้ำในระยะยาว โดยคะแนนรวมในหมวดที่ 3 มี 8 คะแนน

หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA)

การใช้พลังงานของอาคารนับว่าเป็นสาเหตุสำคัญ ที่ทำให้เกิดมลภาวะและภาวะเรือนกระจกซึ่งถือเป็นวิกฤตการณ์ที่สำคัญในปัจจุบัน โดยหมวดที่ 4 จึงมุ่งเน้นแก้ปัญหาทางพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดให้มีการสำรวจอาคารและวางแผนพัฒนาการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อกำหนดเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานจากการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร จากการประยุกต์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน รวมไปถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ โดยไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22 ส่งผลให้คะแนนในหมวดนี้มีสัดส่วนมากที่สุดถึง 27 คะแนน

หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากร (Materials and Resources: MR)

วัสดุและทรัพยากรสำหรับอาคารระหว่างใช้งานจะเกี่ยวข้องกับการจัดซื้ออุปกรณ์สินค้าอุปโภคบริโภค เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ และการจัดการขยะ ทำให้หมวดที่ 5 มีนโยบายและการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการอาคาร จากการใช้วัสดุและทรัพยากรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการจัดการขยะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การขายขยะรีไซเคิล การใช้ซ้ำ เป็นต้น จะคิดคะแนนในหมวดดังกล่าวรวม 17 คะแนน

หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environment: IE)

เกณฑ์การประเมินในส่วนของสภาพแวดล้อมภายในมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ดี ส่งเสริมคุณภาพชีวิตให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย แสงธรรมชาติ และทัศนียภาพภาพตลอดจนคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดี ไม่มีการสะสมของสารพิษหรือสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ในเกณฑ์อาคารเขียวสำหรับอาคารระหว่างการใช้งานนี้จะมุ่งการตรวจวัดและการประเมินจริงจากการใช้งานอาคารมากกว่าการจำลองสภาพด้วยคอมพิวเตอร์ โดยคะแนนรวม 14 คะแนน

หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection: EP)

หมวดการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเน้นไปที่การลดผลกระทบของโครงการโดยรวมในระยะยาว ที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติในเชิงนิเวศ สุขภาวะ และสุขภาพของมนุษย์ ด้วยกระบวนการปรับปรุงอาคารและบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมคะแนนในหมวดนี้ประกอบด้วย 5 หัวข้อ รวมทั้งสิ้น 5 คะแนน โดยคะแนนในหมวดนี้เน้นไปที่การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ระบบที่ไม่ส่งผลกระทบหรือป้องกันผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์ที่เกี่ยวข้อง เช่น การเลือกเคมีภัณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การป้องกันภาวะเดือดร้อนรำคาญจากแสงและความร้อน การควบคุมโรคที่มาจากระบบอาคาร รวมถึงการส่งเสริมให้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อลดผลกระทบต่อระบบนิเวศ เป็นต้น

หมวดที่ 8 นวัตกรรม (Green Innovation: GI)

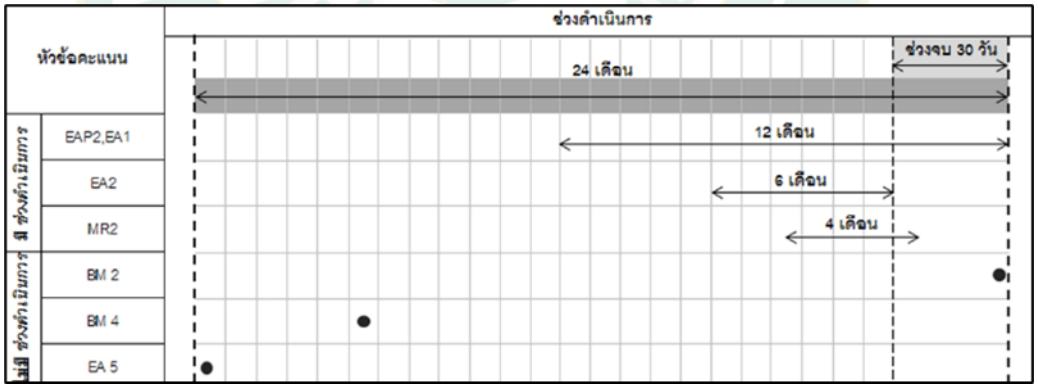
เป็นหมวดที่เปิดโอกาสให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่เข้าร่วมประเมิน ได้นำเสนอหัวข้อคะแนนที่เหมาะสมกับโครงการของตน เพื่อทำคะแนนในหมวดนี้ โดยการทำคะแนนในหมวด GI สามารถทำได้ด้วยการทำคะแนนพิเศษ โดยคะแนนพิเศษเหล่านี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อสามารถแสดงประสิทธิภาพตามหมวดคะแนนต่าง ๆ เกินกว่าที่ระบุไว้ระดับหนึ่งตามเกณฑ์การใช้คะแนนแต่ละหัวข้อที่กำหนด ส่งผลให้คะแนนในหมวด GI รวม 6 คะแนน

ลักษณะสำคัญของเกณฑ์ TREES-EB คือ ช่วงการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ตามแต่ละหัวข้อคะแนนได้ระบุไว้ ช่วงดำเนินการนี้จะถูกระบุไว้เฉพาะบางหัวข้อคะแนนเท่านั้น โดยเฉพาะคะแนนที่ต้องมีการเก็บข้อมูล เช่น พลังงาน การจัดซื้อ ขยะ การทำแบบสอบถาม เป็นต้น ส่วนหัวข้อคะแนนที่ไม่ต้องการการกำหนดช่วงเวลา เช่น การเปลี่ยนสุขภัณฑ์ การเปลี่ยนวัสดุหลังคาเป็นหลังคาเขียว จะไม่มีการระบุช่วงดำเนินการ แต่หากอาคารมีลักษณะดังกล่าวตรงตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดก็จะสามารถทำคะแนนได้ทันที โดยโครงสร้างคะแนนของ TREES-EB ที่แบ่งตามคะแนนที่มีการระบุช่วงดำเนินการและไม่ระบุ แบ่งได้ดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อแสดงเกณฑ์ย่อย

ตารางที่ 2 เกณฑ์ย่อยที่ควรระบุช่วงเวลาการดำเนินงานและไม่ระบุช่วงเวลา

หมวด	หัวข้อคะแนนที่มีช่วงดำเนินการ	หัวข้อคะแนนที่ไม่มีช่วงดำเนินการ
BM	BMP1 BM1 BM3	BM2 BM4
SL	SL2 SL4 SL6	SL1 SL3 SL4 SL5
WC	WCP1 WC2	WC1
EA	EAP1 EAP2 EA1 EA2 EA3	EA4 EA5
MR	MR1.1 MR1.2 MR2 MR3	MR1.3
IE	IEP1 IE2	IE1 IE3 IE4 IE5
EP	EP4 EP5	EP1 EP2 EP3
GI	GI1 GI2	GI1

ช่วงดำเนินการขั้นต่ำสำหรับทุกหัวข้อคะแนน คือ 3 เดือนต่อเนื่อง ยกเว้นหัวข้อ EA P2 และ EA 1 ซึ่งต้องมีช่วงดำเนินการขั้นต่ำ 12 เดือนต่อเนื่อง และช่วงดำเนินการของทุกหัวข้อห้ามมีระยะเวลาเกิน 24 เดือน และช่วงดำเนินการของหัวข้อที่ยื่นประเมินต้องจบพร้อมกันหรือไม่เกิน 30 วัน (โดยนับจาก หัวข้อที่ดำเนินการแล้วเสร็จเป็นอันดับแรกจนถึงหัวข้อที่ดำเนินการอันดับสุดท้าย) ช่วงดำเนินการของแต่ละหัวข้อสามารถเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลให้มากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของแต่ละหัวข้อได้ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตัวอย่างตารางแสดงช่วงดำเนินการ

[ที่มา: สถาบันอาคารเขียวไทย (2555)]

ในกรณีที่หัวข้อคะแนนนั้นไม่มีช่วงการดำเนินการ จะต้องมีการเก็บข้อมูลภายในระยะเวลา 2 ปี โดยนับย้อนไปจากหัวข้ออันดับสุดท้ายเสร็จสิ้น และหากมีการใช้เครื่องมือในการทดสอบเพื่อเก็บค่าต่าง ๆ เอกสารผลการสอบเทียบ (Calibration Certificate) ของเครื่องมือนั้น ๆ จะต้องไม่หมดอายุก่อนวันทดสอบ

2.2.1 การประเมินหัวข้อพลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere)

เป็นหัวข้อเกณฑ์การประเมินที่เน้นไปด้านการใช้พลังงานอย่างประหยัดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบ่งเป็นด้านพลังงานและบรรยากาศ โดยแบ่งเกณฑ์การประเมินในทั้ง 2 ด้าน สามารถแบ่งออกเป็น 2 เกณฑ์การประเมิน ได้แก่ เกณฑ์บังคับและเกณฑ์ให้คะแนนในแต่ละหัวข้อ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์ประเมินในหัวข้อพลังงานและบรรยากาศ ตามเกณฑ์ของ TREES

เกณฑ์ข้อบังคับ (EA Prerequisite)	**เกณฑ์การให้คะแนน (EA Credit)**
EA Prerequisite 1 เกณฑ์ข้อบังคับ การสำรวจอาคารและการวางแผนพัฒนาการอนุรักษ์พลังงาน	**EA Credit 1** เกณฑ์การให้คะแนน การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 16 คะแนน
EA Prerequisite 2 เกณฑ์ข้อบังคับประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ	**EA Credit 2** เกณฑ์การให้คะแนน การใช้พลังงานทดแทน 4 คะแนน
	EA Credit 3 เกณฑ์การให้คะแนน ผลการศึกษาและการประยุกต์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน 3 คะแนน
	EA Credit 4 เกณฑ์การให้คะแนน สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ 1 คะแนน
	EA Credit 5 เกณฑ์การให้คะแนน ระบบบริหารควบคุมและจัดการพลังงานอาคาร 3 คะแนน

EA Prerequisite 1 เกณฑ์ข้อบังคับ การสำรวจอาคารและการวางแผนพัฒนาการอนุรักษ์พลังงาน

วัตถุประสงค์

เพื่อยืนยันถึงการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร โดยมีการวิเคราะห์และฝึกอบรมผู้ใช้อาคารอย่างถูกวิธี

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

จัดทำเอกสารดังนี้

1. แผนในการบริหารจัดการอาคาร (building Operation Plan: BOP) ที่มีรายละเอียดแสดงถึงวิธีการบริหารจัดการอาคารดังนี้ (ระบบขั้นต่ำจะต้องประกอบด้วย ระบบผลิตความร้อนและทำความเย็น ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบพลังงานทดแทน (ถ้ามี))

- ตารางเวลาการใช้งานอาคาร
- ตารางการเปิดปิดอุปกรณ์
- การตั้งอุณหภูมิสำหรับระบบปรับอากาศ
- ค่าการออกแบบระบบแสงสว่าง
- ระบุการเปลี่ยนแปลงของตารางการใช้งานการตั้งค่าต่าง ๆ หากมีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลหรือวันต่าง ๆ ในสัปดาห์
- ยืนยันว่าได้ใช้แผนตลอดช่วงดำเนินการ

2. รายละเอียดประกอบงานระบบ (System Narrative) ที่อธิบายงานระบบของอาคารที่เกี่ยวข้องกับ แผนในการบริหารจัดการอาคาร (Building Operation Plan: BOP) โดยอย่างน้อยต้องมีระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบควบคุมอาคาร แต่อาจเพิ่มรายละเอียดของระบบ ได้แก่ ระบบน้ำร้อน ระบบพลังงานหมุนเวียน หากต้องการให้รายละเอียดประกอบงานระบบ (System Narrative) มีความสมบูรณ์ขึ้น

3. ขั้นตอนการทำงานระบบ (Sequence of Operation) ที่ระบุขั้นตอนการทำงานของผู้ดูแลอาคารในการบริหารจัดการระบบให้ทำงานได้อย่างปรกติ

4. แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ของระบบที่ได้ระบุในรายละเอียดประกอบงานระบบ (System Narrative) และทำการบันทึกการบำรุงรักษาตลอดช่วงดำเนินการ

แนวทางการดำเนินการ

จัดตั้งทีมงานที่มีความชำนาญเฉพาะด้านงานระบบประกอบอาคาร เพื่อรวบรวมข้อมูลงานระบบเพื่อจัดทำเอกสารต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของหัวข้อคะแนนนี้ตลอดจนนำข้อมูลและเอกสารไปบริหารอาคารให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

EA Prerequisite 2 เกณฑ์ข้อบังคับ ประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ

วัตถุประสงค์

กำหนดมาตรฐานขั้นต่ำในการใช้พลังงานของอาคารเขียว

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

การดำเนินการมี 2 ทางเลือก ดังนี้

ทางเลือกที่ 1

เปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงกับฐานข้อมูลในประเทศไทย ที่ทางสถาบันอาคารเขียวให้การรับรอง

ทางเลือกที่ 2

เปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงกับฐานข้อมูล ด้วยการใช้ Energy Star Portfolio Manager โดยการใช้พลังงานในช่วงดำเนินการ 1 ปี ต่อเนื่อง จะต้องดีกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ 19 สามารถใช้ Energy Star Portfolio Manager ได้ที่ https://portfoliomanager.energystar.gov/pm/login.html ดังแสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8 สัญลักษณ์ Energy Star
[ที่มา: DuChateau]

แนวทางการดำเนินการ

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการประเมินการใช้พลังงานด้วย Energy Star Portfolio Manager เพื่อประเมินการทำคะแนนเบื้องต้น ทำการปรับปรุงอาคารหรือใช้นโยบายประหยัดพลังงาน เพื่อลดการใช้พลังงานรายเดือนลง ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องและปรับปรุงข้อมูลใน Energy Star Portfolio Manager เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลการประหยัดพลังงาน

EA Credit 1 เกณฑ์การให้คะแนน การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (16 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ส่งเสริมพัฒนาประสิทธิภาพและนโยบายการอนุรักษ์พลังงานในอาคารให้สูงกว่าอาคารมาตรฐานสิ่งที่ต้องดำเนินการ

ทางเลือกที่ 1

เปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงกับฐานข้อมูลในประเทศไทย ที่ทางสถาบันอาคารเขียวให้การรับรอง (ลำดับคะแนนจะประกาศภายหลัง)

ทางเลือกที่ 2

เปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงกับฐานข้อมูล ด้วยการใช้ Energy Star Portfolio Manager โดยการใช้พลังงานในช่วงดำเนินการ 1 ปี จะต้องสามารถประหยัดพลังงานได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ 21 ขึ้นไป โดยจะได้คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจริงกับฐานข้อมูล ด้วย Energy Star Portfolio Manager

ร้อยละของการประหยัดพลังงานเทียบกับค่าฐานการใช้พลังงานเฉลี่ยด้วย Energy Star Portfolio Manager	**คะแนน**
21	1
22	2
23	3
24	4
25	5
26	6
28	7
29	8
30	9
32	10
34	11
36	12
38	13
40	14
42	15
44	16

แนวทางการดำเนินการ

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการประเมินการใช้พลังงานด้วย Energy Star Portfolio Manager เพื่อประเมินการทำคะแนนเบื้องต้น ทำการปรับปรุงอาคารหรือใช้นโยบายประหยัดพลังงาน เพื่อลดการใช้พลังงานรายเดือนลง ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง และคอยปรับข้อมูลใน Energy Star Portfolio Manager เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลการประหยัดพลังงาน

EA Credit 2 เกณฑ์การให้คะแนน การใช้พลังงานทดแทน (4 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานหมุนเวียน เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในโครงการ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล (Biofuel-BMSed Energy) เป็นต้น ให้ได้เป็นมูลค่าร้อยละ 0.5-3.5 ของค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคารต่อปี ที่ได้จากการวัดจริงจาก EA 1 ตลอดช่วงดำเนินการ

- ผลิตพลังงานทดแทน ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 ของ พลังงานในอาคาร ได้ 1 คะแนน
- ผลิตพลังงานทดแทน ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 1.5 ของ พลังงานในอาคาร ได้ 2 คะแนน
- ผลิตพลังงานทดแทน ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 2.5 ของ พลังงานในอาคาร ได้ 3 คะแนน
- ผลิตพลังงานทดแทน ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 3.5 ของ พลังงานในอาคาร ได้ 4 คะแนน

แนวทางการดำเนินการ

อาคารต้องมีการติดตั้งระบบผลิตพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เป็นต้น กับอาคาร หรือในบริเวณโครงการ ให้ได้ตามปริมาณที่กำหนด ซึ่งต้องมีการนำมาใช้ในอาคารเท่านั้น และต้องมีระบบตรวจวัดพลังงานหมุนเวียนตลอดช่วงดำเนินการ พลังงานหมุนเวียนที่ได้จะช่วยลดการความต้องการพลังงานของ EA P2: การอนุรักษ์พลังงานขั้นต่ำ และ EA 1: ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จึงช่วยทำให้หัวข้อดังกล่าวได้คะแนนมากขึ้น

EA Credit 3 เกณฑ์การให้คะแนน ผลการศึกษาและการประยุกต์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน (3 คะแนน)

วัตถุประสงค์

มีการวางแผนการอนุรักษ์พลังงานและดำเนินการแล้วเสร็จ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

1. ทำการประเมินการใช้พลังงานในอาคาร และวิเคราะห์มาตรการการอนุรักษ์พลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE Level 1 Walk-Through แสดงผลการวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน ให้ได้ถึงร้อยละตามตาราง EA 3 T 1 ให้ถึงเป้าหมาย ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การประเมินการใช้พลังงานในอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE Level 1 Walk-Through

การใช้พลังงานอ้างอิง (kWh/m^2)	ร้อยละของผลการศึกษาผลประหยัดพลังงานแบบขั้นบันได	พลังงานที่ต้องประหยัดได้ในแต่ละขั้นบันได (kWh/m^2)
>201	40%	คำนวณจากส่วนที่เกิน 201
161-200	25%	10
<160	10%	16

2. ดำเนินการตามมาตรการที่ได้วิเคราะห์ได้ตามข้อ 1 และต้องมีระยะในการใช้มาตรการเท่ากับหรือมากกว่าช่วงดำเนินการ ดังต่อไปนี้

- ประหยัดได้ร้อยละ 30 ของผลศึกษาการประหยัดพลังงานตามข้อ 1 ได้ 1 คะแนน
- ประหยัดได้ร้อยละ 60 ของผลศึกษาการประหยัดพลังงานตามข้อ 1 ได้ 2 คะแนน
- ประหยัดได้ร้อยละ 90 ของผลศึกษาการประหยัดพลังงานตามข้อ 1 ได้ 3 คะแนน

แนวทางการดำเนินการ

วิเคราะห์การใช้พลังงานตาม ASHRAE Level 1 Walk-Through ดำเนินการวางแผนตั้งงบประมาณเพื่อการปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

EA Credit 4 เกณฑ์การให้คะแนน สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ (1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ลดการใช้สารทำความเย็นที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22 ในเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องที่ใช้สารความเย็นมากกว่า 0.3 กิโลกรัม ขึ้นไปเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็นน้อยกว่า 0.3 กิโลกรัม ให้ถือเป็นข้อยกเว้น

ในกรณีมีเครื่อง CFC และ HCFC-22 เดิมในโครงการ อาคารระหว่างการใช้งานต้องจัดทำ

1. แผนการเลิกใช้สารทำความเย็น
2. แผนการลดปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็น
3. รายงานศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ (แสดงถึงความไม่คุ้มทุนในการเปลี่ยนระบบปรับอากาศ)

แนวทางการดำเนินการ

ระบบปรับอากาศในอาคารต้องไม่ใช้สารทำความเย็นประเภท CFC และ HCFC-22 ที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ พร้อมประเมินสารทำความเย็นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

EA Credit 5 เกณฑ์การให้คะแนน ระบบบริหารควบคุมและจัดการพลังงานอาคาร (3 คะแนน)

EA 5.1 ระบบ BMS พื้นฐาน (1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

สนับสนุนระบบควบคุมอาคาร เพื่อการติดตามข้อมูล วิเคราะห์ ควบคุม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สิ่งที่ต้องดำเนินการสนับสนุนระบบควบคุมอาคาร

1. อาคารมีระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมบริหารอัตโนมัติ (Building Management System: BMS) ที่สามารถบันทึกและควบคุมระบบหลักของอาคารขั้นต่ำ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ ระบบแสงสว่าง

2. มีแผนการบำรุงรักษา (Preventive Maintenance) และยืนยันว่าระบบได้มีการบำรุงรักษาตามระยะที่ระบุไว้โดยผู้ผลิต

3. ยืนยันว่ามีการใช้ BMS ในการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร เช่น การควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศที่เหมาะสม การควบคุมช่วงเวลาการเปิดปิดไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น

แนวทางการดำเนินการ

ติดตั้งระบบ BMS ที่สามารถทำงานได้ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อคะแนนนี้มีการวางแผนการบำรุงรักษาระบบอย่างต่อเนื่องและใช้ประโยชน์จากระบบ BMS อย่างเต็มที่ในการบริหารจัดการพลังงานของอาคาร หากใช้ระบบ BMS อย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถทำคะแนนในข้อ EA P2: การอนุรักษ์พลังงานขั้นต่ำ และ EA 1: ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ได้อีกทั้งควรพิจารณาการบูรณาการระบบ BMS กับ ระบบวัดพลังงานย่อยเพื่อการทำคะแนน ในข้อ EA 5.2: ระบบพลังงานย่อย 30% 60%

EA 5.2 ระบบพลังงานย่อย 30% 60% (2 คะแนน)

วัตถุประสงค์

เพื่อส่งเสริมการบริการจัดการและอนุรักษ์พลังงานด้วยการบันทึกข้อมูลการพลังงานตามระบบ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

1. ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารรายประเภท (Endues) จากการใช้พลังงานจริงของอาคาร ได้แก่ การทำความเย็น การทำความร้อน พัดลมระบายอากาศ อุปกรณ์ เครื่องจักร ไฟฟ้าแสงสว่าง การทำน้ำร้อน การทำอาหาร อื่น ๆ

2. จากข้อมูลพลังงานรายประเภท ต้องแสดงให้เห็นว่าสามารถวัดพลังงานรายประเภท (Endues) ได้มากกว่าร้อยละ 30 ได้ 1 คะแนน และได้มากกว่าร้อยละ 60 ได้ 2 คะแนน

3. หนึ่งในสองอันดับของพลังงานรายประเภท (Endues) ที่พลังงานมากที่สุด ต้องถูกวัดได้ร้อยละ 80 ของพลังงานรายประเภทนั้น ๆ

4. มีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานตลอดช่วงดำเนินการ

5. มิเตอร์การวัดพลังงานต้องมีใบรับรองการสอบเทียบ (Calibration Certificate) ตามระยะเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด

แนวทางการดำเนินการ

ให้ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์การใช้พลังงานและแยกการใช้พลังงานของอาคารรายประเภท (Endues) ทำการวางแผนการติดมาตรวัดย่อยที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม ประหยัดจำนวนมาตรวัด ดำเนินการขอใบสอบเทียบพร้อมทั้ง วางแผนในการเก็บข้อมูลจากมาตรวัดย่อย ควรวางแผนรวมกับการทำคะแนนข้อ EA 5.1: ระบบ BMS พื้นฐาน เพื่อให้ระบบ BMS ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ

2.2.2 เกณฑ์ขั้นต่ำ ในการเข้าร่วมการประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน

แม้ว่าเกณฑ์ TREES-EB จะเหมาะกับอาคารหลายประเภทที่อยู่ระหว่างการใช้งาน อย่างไรก็ตามทางสถาบันอาคารเขียวไทยจึงได้กำหนดเกณฑ์เบื้องต้นของลักษณะของโครงการที่เข้าร่วมประเมินต้องมีคุณสมบัติ หรือไม่ตรงกับลักษณะต้องห้ามตามที่ระบุไว้ ดังต่อไปนี้

1. ต้องเป็นอาคารที่ถูกต้องตามกฎหมาย ในกรณีที่มีการตรวจสอบพบว่าโครงการมีการละเมิดกฎหมายไม่ว่าทางใดทางหนึ่งทางสถาบันขอสงวนสิทธิในการเพิกถอนรางวัลแม้ว่ามีการตรวจสอบพบภายหลังก็ตาม

2. ต้องเป็นอาคารถาวรที่ไม่มีวัตถุประสงค์เพื่อการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ใหม่ ในเกณฑ์ TREES มีหลายข้อคะแนนที่เกี่ยวข้องกับที่ตั้งและภูมิทัศน์ของโครงการ ซึ่งหากอาคารมีการเคลื่อนย้ายย่อมทำให้คะแนนในหมวดดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งย่อมส่งต่อผลระดับรางวัลที่ได้รับมีความเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทั้ง ๆ ที่โครงการดังกล่าวอาจได้รับรางวัลในระดับใดระดับหนึ่งจากทางสถาบันไปแล้วก็ตาม

3. มีพื้นที่ขอบเขตของโครงการที่มีความเหมาะสม โครงการต้องมีบริเวณขอบเขตที่ชัดเจนซึ่งจำเป็นต่อการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของโครงการ ในกรณีที่โครงการประเภทกลุ่มอาคาร เช่น นิคมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ที่ไม่มีขอบเขตชัดเจน ต้องมีการแบ่งพื้นที่ของโครงการที่จะเข้าประเมินให้เหมาะสม โดยมีลักษณะที่โครงการต่าง ๆ สามารถแยกเข้าร่วมประเมิน TREES เป็นรายโครงการได้ การพยายามแบ่งพื้นที่โครงการที่เข้าข่ายการเอื้อ ประโยชน์ในการทำคะแนนโดยไม่ได้อ้างอิงกับการแบ่งพื้นที่เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโครงการนั้นไม่สามารถกระทำได้ เช่นเดียวกับการเข้าร่วมประเมินอาคารเป็นกลุ่มพร้อมกันก็ไม่สามารถกระทำได้ในเกณฑ์การประเมินฉบับนี้ผู้เข้าร่วมประเมินต้องแยกโครงการด้วยการแบ่งพื้นที่และเข้าประเมินเป็นรายโครงการโครงการที่มีลักษณะการบริหารจัดการเป็น 2 ส่วนขึ้นไป จะแยกเข้าประเมินได้ต่อเมื่อ 1) สามารถแบ่งพื้นที่โครงการจากผังบริเวณได้อย่าง

ชัดเจน 2) งานระบบไม่ว่าจะเป็น น้ำ ไฟฟ้า และพลังงาน สามารถแยกการตรวจวัดออกจากกันได้อย่างชัดเจน

4. มีพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารไม่น้อยกว่า 100 ตารางเมตร หากอาคารมีขนาดเล็กมากจนเกินไปจะส่งผลต่อเจตนารมณ์พื้นฐานของเกณฑ์การประเมินนี้ ข้อกำหนดนี้ถูกเขียนขึ้นเพื่อให้ป้องกันอาคารประเภทสนามกีฬาและโรงจอดรถที่มีพื้นที่ภายในอาคารน้อย เพื่อทำให้ไม่ได้เปรียบในการทำคะแนนในบางหัวข้อคะแนน

5. ต้องมีผู้ใช้อาคารประจำอย่างน้อย 1 คน เพื่อให้อาคารต้องถูกออกแบบระบบต่าง ๆ ที่คำนึงถึงผู้ใช้อาคารตามเจตนารมณ์ของเกณฑ์แล้ว เพื่อป้องกันอาคารกลุ่ม เช่น ห้องเก็บของ โกดัง ไม่ให้สามารถหลีกเลี่ยงวิธีปฏิบัติต่าง ๆ ที่เป็นไปเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้ใช้อาคาร และได้คะแนนไปอย่างไม่เป็นธรรม

6. ขนาดของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ที่ดินโครงการ เพื่อหลีกเลี่ยงการทำคะแนนที่ไม่เป็นธรรมสำหรับการพัฒนาโครงการบนพื้นที่ดินขนาดใหญ่ ซึ่งมีการวางแผนเพื่อการทำคะแนนในหมวดที่ตั้งและภูมิทัศน์ที่ไม่ตรงไปตรงมา

7. เกณฑ์ TREES-EB นี้ไม่ได้ถูกออกแบบโดยตรงสำหรับบ้านพักอาศัยหรืออาคารพักอาศัยที่มีขนาดน้อยกว่า 3 ชั้นเนื่องจากจะไม่สามารถทำคะแนนในบางหัวข้อได้ ทั้งนี้หากมีผู้ประสงค์จะนำอาคารประเภทดังกล่าวเข้าร่วมประเมิน ต้องทำการศึกษาและประเมินเบื้องต้นถึงทางเลือกที่เหมาะสม ทั้งในหมวดคะแนนข้อบังคับและหมวดหัวข้อคะแนนทั่วไปก่อนเข้าร่วมประเมิน

8. อาคารที่จะเข้าร่วมประเมิน TREES-EB ต้องเป็นอาคารที่มีการใช้งานมาแล้วอย่างน้อย 1 ปี และมีการเข้าใช้งานอย่างน้อยร้อยละ 50 ของผู้ใช้งานโดยเฉลี่ย ยกเว้นอาคารที่ผ่านการรับรอง TREES-NC และ TREES-CS สามารถเข้าประเมินได้ทันที

2.3 ระบบการใช้พลังงาน

จากการใช้พลังงานภายในอาคารในปัจจุบันจะประกอบไปด้วยระบบต่าง ๆ เช่น ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

2.3.1.1 หน่วยวัดที่เกี่ยวกับแสง

1) ฟลักซ์การส่องสว่าง (Lumilux Flux: F) คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่แผ่กระจายลงมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทุกทิศทาง โดยมีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen, lm)

2) ความเข้มข้นของการส่องสว่าง (Luminous Intensity: I) คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงลงไปพื้นที่ที่กำหนด โดยแนวมุมมองศาและระยะทาง มีหน่วยวัดเป็น แคนเดลา (Candela, cd)

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

4) ความส่องสว่าง (Luminance: L) คือ ค่าที่แสดงถึงความสว่างที่ตามนุษย์ได้รับในขณะที่กำลังมองพื้นที่ที่มีการแผ่กระจายแสงหรือพื้นที่ที่ได้รับแสงและสะท้อนออกมา มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2)

5) กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (Lamp Power: W) คือ ค่าของพลังงานที่หลอดไฟฟ้าใช้เพื่อทำให้เกิดแสงสว่างตามค่าต่าง ๆ ที่ระบุไว้ของผู้ผลิต มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt, W)

6) ประสิทธิภาพแสง (Luminous Efficiency) คือ อัตราส่วนของค่าฟลักซ์การส่องสว่างที่แหล่งกำเนิดแสงปล่อยออกมาต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่เราใส่ลงไป มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (Lumen per Watt, lm/W)

7) ภาระแสงสว่าง (Light Load) หรือ ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าส่องสว่าง คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density, LPD) (นาคทอง (2022)) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$LPD = B/A \qquad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ห้องหรือพื้นที่อาคารทั้งหมด (m^2)

B คือ กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (W)

LPD คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (W/m^2)

2.3.1.2 มาตรฐานความถูกต้องของสีในการใช้งาน

สำหรับการใช้งานกลุ่มความถูกต้องของสีสำหรับการใช้งานทั่วไปตามเกณฑ์ความถูกต้องของสีดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความถูกต้องของสี

กลุ่มความถูกต้องของสี	ความถูกต้องของสีโดยทั่วไป	การใช้งานทั่ว ๆ ไป
1A	Ra > 90	ที่ต้องการใช้ความถูกต้องของสี เช่น ตรวจสอบสีของการพิมพ์

กลุ่มความถูกต้องของสี	ความถูกต้องของสีโดยทั่วไป	การใช้งานทั่ว ๆ ไป
1B	80 < Ra <90	ที่จำเป็นต้องมีการพิจารณาสีหรือต้องการความถูกต้องของสีที่ดี โดยเหตุผลด้านภาพลักษณ์
2	60 < Ra <80	เมื่อใดก็ตามที่ต้องการใช้ความถูกต้องของสีปานกลาง
3	40 < Ra <60	เมื่อใดก็ตามที่มีความถูกต้องของสีมีความสำคัญเพียงเล็กน้อยแต่ว่าไม่อาจยอมรับความเพี้ยนของสีได้
4	20 < Ra <40	เมื่อใดก็ตามที่ความถูกต้องของสีไม่ใช่เรื่องสำคัญและสามารถยอมรับการผิดเพี้ยนของสีได้

2.3.1.3 ชนิดหลอดไฟฟ้า

1) หลอดไฟฟ้า

- หลอดไส้ (Incandescent lamp) หลอดไฟชนิดนี้จะเกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในรูปของความร้อนเพื่อทำให้เกิดแสงสว่าง โดยสามารถให้แสงสว่างได้ประมาณ 15-20 lm/W และมีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง ข้อดีของหลอดไฟชนิดนี้ คือ สามารถติดตั้งได้ง่ายและมีราคาถูก ข้อเสีย คือ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ดังแสดงในภาพที่ 9

ภาพที่ 9 หลอดไส้ (Incandescent lamp)
[ที่มา: (https://www.homepro.co.th/p/5834)]

- หลอดแสงจันทร์ (Mercury lamp) หลอดไฟชนิดนี้จะใช้หลักการปล่อยประจุความเข้มสูง (High intensity discharge, HID) นิยมนำมาใช้ให้แสงสว่างตามถนน และยังเหมาะกับงานสนามและในโรงงานอุตสาหกรรม มีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ

24,000 ชั่วโมง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ หลอดไฟที่ใช้บัลลาสต์ และหลอดไฟที่ไม่ใช้บัลลาสต์ ซึ่งจะมีอายุการใช้งานสั้นกว่า ดังแสดงในภาพที่ 10

ภาพที่ 10 หลอดแสงจันทร์ (Mercury lamp)
[ที่มา: https://www.amazon.com/GE-LIGHTING-Mercury-Vapor-Light/dp/B00A6YCGDO (2012)]

- หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp) เป็นหลอดที่มีโครงสร้างและหน้าที่คล้ายกับหลอดแสงจันทร์ แต่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าและให้ความสมดุลของแสงดีกว่า เหมาะสำหรับการส่องสว่างทั่วไป เช่น โกดังสินค้า ลานจอดรถ สนามกีฬา แต่มีอายุการใช้งานประมาณ 10,000-20,000 ชั่วโมงเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 11

ภาพที่ 11 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)
[ที่มา: (www.pjr-electric.com/)

- หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp) เป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในบรรดาหลอดแบบ HID ด้วยกัน ซึ่งสามารถให้ประสิทธิภาพได้มากถึง 180 lm/W ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดเมทัลฮาไลด์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ถึง 50% และมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดแสงจันทร์ถึงเท่าตัว และสูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ถึง 6 เท่า โดยข้อเสียของหลอดโซเดียมชนิดนี้ คือ มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีเป็น 0% ดังแสดงในภาพที่ 12

ภาพที่ 12 หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp)
[ที่มา: ทองคำชุม (2021)]

- หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดที่นิยมนำมาใช้งานเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน มีประสิทธิการส่องสว่างประมาณ 50-80 lm/W โดยรวมมีอายุการใช้งานประมาณ 8,000-12,000 ชั่วโมง และประหยัดไฟมากกว่าหลอดอินแคนเดนเซนต์ นิยมใช้สำหรับส่องสว่างภายในและภายนอกอาคาร ลานจอดรถในร่ม ดังแสดงในภาพที่ 13

ภาพที่ 13 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp)
[ที่มา: (https://www.sangchai.com/)]

- หลอดแอลอีดีกำลังสูง (Light-emitting diodes, LED) เทคโนโลยีไดโอดเรืองแสงหรือแอลอีดี ได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะแอลอีดีกำลังสูง (High power LED) ที่มีค่าความส่องสว่างสูงเมื่อเทียบเท่าหลอดไฟชนิดอื่น ไม่ก่อให้เกิดรังสีอัลตร้าไวโอเลต มีความร้อนของลำแสงน้อยมาก และมีอายุการใช้งานยาวนาน หลอดแอลอีดีเป็นหลอดไฟที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่น ๆ ซึ่งในปัจจุบันมีมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในวงการแพทย์ ยานยนต์ โทรทัศน์ และคอมพิวเตอร์ โดยแอลอีดีกำลังสูงนั้นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี จึงมีการนำมาใช้ในระบบไฟฟ้าส่องสว่างในสำนักงาน โรงงาน และไฟถนนเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 14

ภาพที่ 14 หลอดแอลอีดีกำลังสูง (Light-emitting diodes, LED)
[ที่มา: ChangSinLED (2019)]

2.3.1.4 ส่วนประกอบหลักของระบบไฟฟ้า

1) บัลลาสต์ หลักการทำงานของบัลลาสต์ (Operating Principal of Ballast) เป็นอุปกรณ์จำเป็นที่ต้องมีอยู่ในระบบไฟฟ้าส่องสว่างที่ใช้หลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์และประเภทหลอดคายประจุความดันสูง มีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปที่หลอดไฟให้มีควาเหมาะสม สม่ำเสมอตามแต่ละประเภท แต่ละชนิด แต่ละรุ่น แต่ละขนาด บัลลาสต์จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

- บัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnetic Ballast) บัลลาสต์แกนเหล็กที่ใช้งานกันทั่วไปจะเป็นชนิดความเหนี่ยวนำ แกนเหล็กประกอบมาจากแผ่นเหล็กนำมาเรียงกันและพันรอบด้วยขดลวดทองแดง มีการสูญเสียพลังงาน 9-13 W ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุแกนเหล็กขดลวดที่นำมาใช้ และขนาดกำลังของหลอดไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้บัลลาสต์มีอุณหภูมิขณะใช้งานอยู่ในช่วง 55-70 ^{o}C ภายหลังมีการปรับปรุงวัสดุแกนเหล็กและขดลวดให้มีคุณภาพดีขึ้นที่ เรียกว่า บัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานไม่เกิน 6 W ส่วนอุณหภูมิขณะใช้งาน 35-50 ^{o}C ดังแสดงในภาพที่ 15

ภาพที่ 15 บัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnetic Ballast)
[ที่มา: ChangSinLED (2019)]

- บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) คือ อุปกรณ์ที่ใช้คู่กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อทดแทนบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก โดยอาศัยหลักการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงในการลดกำลังสูญเสียของบัลลาสต์ แต่ยังสามารถที่จะควบคุมกระแสที่ผ่าน

หลอด และจุดหลอดได้ในตอนเริ่มต้นโดยไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำต้องใช้อุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งจะถูกต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังถูกออกแบบให้อยู่ในรูปขดลวดเหนี่ยวนำหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในภาพที่ 16

ภาพที่ 16 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

[ที่มา: ChangSinLED (2019)]

2) โคมไฟฟ้า นอกจากทำหน้าที่ยึดหลอดและอุปกรณ์ชุดหลอดไฟ เช่น บัลลาสต์ แล้วยังมีหน้าที่สำคัญ คือ ควบคุมทิศทางแสงให้กระจายไปตกบนพื้นที่ทำงานที่ต้องการ คุณสมบัติสำคัญในการเลือกใช้ได้แก่ 1) ประสิทธิภาพโคมไฟ สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ความเสื่อมจากโคมไฟสกปรก 2) กราฟแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่าง 3) การป้องกันแสงจ้า ความปลอดภัย ความยากง่ายในการซ่อมบำรุง

โคมไฟตามลักษณะการกระจายแสง ได้แก่ ชนิดกระจายแสงลง ชนิดกึ่งกระจายแสงลง ชนิดกระจายแสงแบบรอบด้าน ชนิดกระจายแสงแบบขึ้น-ลง ชนิดกึ่งกระจายแสงขึ้นชนิดกระจายแสงขึ้น แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- โคมดาวน์ไลท์ ใช้กับหลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดฮาโลเจน และหลอด CFL ส่วนมาติดตั้งไว้ ที่ฝ้าเพดานเพื่อความสวยงาม ดังแสดงในภาพที่ 17

ภาพที่ 17 โคมดาวน์ไลท์

[ที่มา: ChangSinLED (2019)]

- โคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีทั้งโคมเปลือยและโคม แบบมีแผ่นสะท้อนแสงด้านหลัง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง ดังแสดงในภาพที่ 18

ภาพที่ 18 โคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์
[ที่มา: (https://www.sangchai.com/)]

- โคมไฮเบย์ บางครั้งเรียกว่า โคมโรงงาน เป็นโคมสำหรับติดตั้งหลอด HID เหมาะสำหรับติดตั้งบริเวณหลังคาโรงงานที่มีความสูงมาก ๆ ดังแสดงในภาพที่ 19

ภาพที่ 19 โคมไฮเบย์หรือโคมโรงงาน
[ที่มา: (https://www.sangchai.com/)]

สำหรับโคมไฟส่องอาคาร มักใช้กับหลอด HID ชนิด Double Ended ใช้สำหรับส่องภายนอกอาคาร โคมไฟฟ้าที่ใช้กันแพร่หลายทั้งในโรงงานและอาคาร ได้แก่ โคมไฟสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีการพัฒนาให้ผิวด้านในมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงจากหลอดไฟฟ้า และเพิ่มประสิทธิภาพความสว่างให้มากขึ้น เรียกว่า โคมประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะไม่ดูดกลืนและกักแสงไว้แต่จะช่วยสะท้อนความสว่างให้กลับลงมายังพื้นที่ใช้งานได้เกือบเท่าตัว ทำให้ลดจำนวนหลอดแสงสว่างลงได้ในขณะที่ความสว่างคงเดิม เช่น จากเดิมใช้ หลอดไฟฟ้า 4 หลอดต่อโคม จะลดลงเหลือ 2 หลอดต่อโคม โดยที่แสงสว่างที่ส่องลงมายังใกล้เคียงกับของเดิม

แผ่นสะท้อนแสงต้องมีการขึ้นรูปที่เหมาะสมเพราะมีส่วนสำคัญกับประสิทธิภาพของโคม บางครั้งแผ่น สะท้อนแสงที่พับขึ้นรูปไม่ดีทำให้มุมการสะท้อนแสงโฟกัสไปที่หลอดทำให้อุณหภูมิของหลอดเพิ่มขึ้น อายุการใช้งานหลอดลดลง และให้แสงลดลงกว่าโคมที่ไม่มีแผ่นสะท้อนแสงก็ได้

2.3.1.5 การเลือกใช้ระบบไฟฟ้าส่องสว่างให้มีประสิทธิภาพ

การออกแบบระบบไฟฟ้าส่องสว่างให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานการให้แสงสว่างที่ดีสามารถทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยค่าความสว่างตามมาตรฐานตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 ที่แนะนำ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความสว่างตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

ประเภทอาคาร	ประเภทพื้นที่	ค่าความสว่าง (Lux)
อาคารสำนักงาน	ห้องสำนักงาน	400
	ห้องประชุม	300
	ห้องถ่ายเอกสาร	300
อาคารเรียน	ห้องเรียน	300
	ห้องบรรยาย	300
	ห้องสมุด	400
	ห้องฝึกคอมพิวเตอร์	400
	ห้องปฏิบัติการ	400
บริเวณทางเดิน	บันได	50
	บริเวณทางเดิน	50
	ห้องน้ำ	100
	ห้องพัก	100
	ลานจอดรถ	50

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density, LPD) ซึ่งวิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐานกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษพลังงาน พ.ศ. 2552 โดยค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องจะต้องไม่เกินกว่าค่ามาตรฐาน โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถ ซึ่งแสดงค่ามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 มาตรฐานค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างสูงสุด (W/m^2)
สำนักงาน สถานศึกษา	14
ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานบริการ อาคาร	18

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างสูงสุด (W/m^2)
ชุมนุมคน โรงมหรสพ โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	12

การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงไม่ควรใช้หลอดไส้ในการให้แสงสว่างทั่วไป ควรใช้หลอดหลอดแอลอีดีกำลังสูงเป็นหลักในการติดตั้งไฟส่องลง (down light) หรือโคมฉาย ในห้องโถงใหญ่ควรใช้หลอด HID เป็นต้นกำเนิดแสงหลัก การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟฟ้าควรคิดอย่างรอบคอบ คำนึงถึงค่าใช้จ่ายทั้งระบบ หากตัดสินใจเปลี่ยนชนิดหลอดไฟฟ้า ไม่ควรเปลี่ยนทั้งหมดทันที ควรกำหนดพื้นที่ทดลองก่อน เพื่อทดสอบผลการใช้งานจริงและการยอมรับของผู้ทำงาน

การเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียต่ำ ควรเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียต่ำที่สุด คือ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แต่เนื่องจากโรงงานส่วนมากมีข้อจำกัดในเรื่อง ฝุ่นละออง และความชื้น ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของบัลลาสต์สั้นลงจึงอาจใช้ได้เฉพาะแต่ในส่วนสำนักงาน โดยเฉพาะโคมไฟที่ใช้หลอดไฟฟ้าหลายหลอด

การเลือกใช้โคมไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ปัจจัยสำคัญในการเลือกโคมไฟ คือ สภาพพื้นที่และประเภทการทำงาน ปัจจัยแรก คือ ความสูงเพดาน เพราะหากเพดานมีความสูงไม่ถึง 3.5 เมตร ไม่เหมาะสมที่จะใช้โคมไฟที่ใช้กับหลอด HID ถ้ามีความสูงไม่เกิน 5 เมตร ก็จะใช้หลอด HID ได้เฉพาะหลอดขนาดเล็ก ปัจจัยเรื่องสภาพพื้นที่อีกประการ คือ ระยะห่างของช่วงเสา 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

2.3.2 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศในภาคอาคารธุรกิจ ได้แก่ อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา ถือว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด ในบางแห่งสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศอาจมากกว่า 50% ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในอาคาร ดังนั้นการออกแบบอาคารที่ดีไม่ว่าจะเป็นการปรับภูมิทัศน์หรือเลือกวัสดุป้องกันความร้อนประเภทต่าง ๆ เขามาภายในอาคาร รวมทั้งการออกแบบระบบปรับอากาศและระบบควบคุมที่ดีและถูกต้องจะทำให้ประหยัดพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2555))

2.3.2.1 ประเภทของระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศมักจะถูกออกแบบเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงสภาวะสบายของผู้ที่อยู่ในอาคารหรือที่เรียกว่า Comfort Zone คือ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22-27 °C และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 20-75% โดยทั่วไประบบปรับอากาศที่มีการใช้งานในภาคอาคารธุรกิจมีการออกแบบอยู่ หลายประเภทดังนี้

ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นระบบปรับอากาศขนาดเล็กโดยส่วนใหญ่ขนาดทำความเย็นจะไม่เกิน 40,000 Btu/hr สวนประกอบของเครื่องปรับอากาศจะแยกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการทำความเย็น เรียกว่า คอยล์เย็น (Fan Coil Unit) ซึ่งจะติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร และคอยล์ร้อน (Condensing Unit) ซึ่งจะมีเครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) อยู่ภายใน โดยจะติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ระหว่างชุดคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นจะมีท่อสารทำความเย็นทำหน้าที่เป็นถ่ายเทความร้อนออกจากห้องปรับอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 20

ก) คอยล์เย็น (Fan Coil Unit) **ข) คอยล์ร้อน (Condensing Unit)**

ภาพที่ 20 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning)

ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) เป็นระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก อาจมีจำนวนห้องที่จำเป็นต้องปรับอากาศหลายห้อง หลายโซน หรือหลายชั้น ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศประกอบด้วย แผงคอยล์เย็น คอยล์ร้อน และเครื่องอัดสารทำความเย็น จะรวมอยู่ในชุดแพ็คเกจเดียวกัน โดยมีท่อส่งลมเย็นและท่อลมกลับ ที่ติดตั้งอยู่ด้านในแล้วต่อผ่านทะลุผนังด้านนอกอาคาร เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับตัวเครื่องปรับอากาศแพ็คเกจ ซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านนอกอาคาร โดยท่อส่งลมเย็น (Supply Air Duct) ทำหน้าที่จ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศ และท่อลมกลับ (Return Air Duct) จะทำหน้าที่นำลมเย็นที่ได้แลกเปลี่ยนความเย็นให้กับห้องปรับอากาศกลับมายังแผงทำความเย็นอีกครั้ง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายปริมาณลมเย็น (Variable Air Volume: VAV) เพื่อควบคุมให้ปริมาณลมเย็นเหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่ต้องการโดยเฉพาะกรณีที่มีภาระโหลดลดลงโดยที่อุณหภูมิคงที่แต่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจที่ใช้งานมีให้เลือกหลายประเภท ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียของแต่ละ

ประเภทแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน หากแบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser) สามารถแบงออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Packaged Air Cooled Air Conditioner) โดยปกติขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 30 Ton เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 21

ภาพที่ 21 ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package)

2.3.2.2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอโดยส่วนใหญ่ระบบปรับอากาศจะใช้หน่วยทำความเย็น (Refrigeration Unit) ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cycle) ดังแสดงในภาพที่ 22 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 4 ตัว (กระทรวงพลังงาน, 2553) ได้แก่

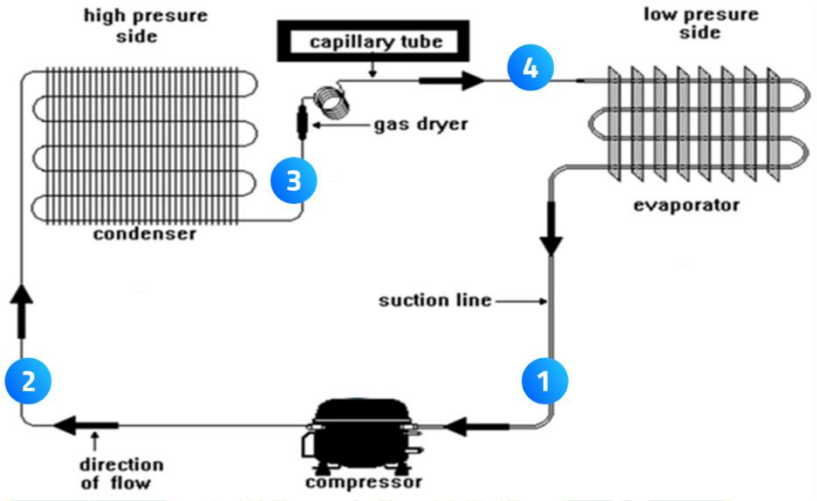
คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่เพิ่มความดัน และอุณหภูมิของสารทำความเย็น คอมเพรสเซอร์จะอัดไอสารทำความเย็นซึ่งมีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ ให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อไปยังคอนเดนเซอร์ โดยคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สารทำความเย็นเกิดการไหลเวียนในระบบ และมีอุณหภูมิสูงพอที่จะระบายความร้อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

คอนเดนเซอร์ หรือคอยล์ร้อน (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่มาจากคอมเพรสเซอร์โดยสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากไอที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูงเป็นของเหลวที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูงเกิดการระบายความร้อนอาจใช้วิธีระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำก็ได้

วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นที่มาจากคอนเดนเซอร์สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวความดันสูงและอุณหภูมิสูง เป็นของผสมระหว่างของเหลว และไอที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำก่อนไหลเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ต่อไป

อีวาโปเรเตอร์ หรือคอยล์เย็น (Evaporator) ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากอากาศ หรือน้ำในกรณีของเครื่องทำน้ำเย็นที่เคลื่อนผ่านคอยล์เย็น โดยสารทำความเย็นซึ่งไหลอยู่ภายในคอยล์เย็นจะเปลี่ยน

สถานะจากของผสมระหว่างของเหลว และไอที่ความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำไปเป็นไอร้อนยิ่งยวดที่ความดัน และอุณหภูมิใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 22 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ที่มา: (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2555))

2.3.2.3 สมรรถนะการทำความเย็น

สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP) (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2555)) ของระบบปรับอากาศในทางทฤษฎี สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$COP = \frac{Q}{W} \text{ หรือ } COP = \frac{\dot{m}(\Delta h_{out})}{\dot{m}(\Delta h_{in})} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ (kW)

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

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kW)

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

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

h_1 คือ เอนทัลปีจุดที่ 1

h_2 คือ เอนทัลปีจุดที่ 2

h_4 คือ เอนทัลปีจุดที่ 4

สำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) และระบบปรับอากาศแบบแพ็คเกจ (Package Type) การหาความสามารถในการทำความเย็นในการตรวจวัดจริงเป็นเรื่องยากที่ จะรู้

ความดันหรืออุณหภูมิของสารทำงานที่เกิดขึ้นจริงเนื่องจากไม่ได้ติดตั้งเครื่องมือวัดไว้ ดังนั้นในการหาความสามารถในการทำความเย็นจึงนิยมคำนวณจาก สมบัติของอากาศที่เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนทำระเหย (Evaporator)

ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแสดงในรูปของค่าสมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งนิยามด้วยอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น หรือปริมาณความเย็นที่ทำได้ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ระบบ ดังสมการต่อไปนี้

$$COP = \frac{Q_{Evap}}{E_{Comp}} \qquad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ COP คือ สมรรถนะการทำความเย็น (kW_{th}/kW_e)

E_{Comp} คือ ความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kW_{th})

Q_{Evap} คือ ความสามารถในการทำความเย็น (kW_e)

โดยความสามารถในการทำความเย็น (Q_{Evap}) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_{Evap} = \dot{m}_a(h_{return}-h_{supply}) \qquad \text{สมการที่ 4}$$

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

h_{supply} คือ เอนทัลปีของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น (kJ/kg)

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

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศผ่านคอยล์เย็น ($\dot{m}_a$) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\dot{m}_a = \rho_a \dot{V}_a = \rho_a v_a A \qquad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของหัวจ่ายลม (m^2)

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

V_a คือ ความเร็วของอากาศที่หัวจ่ายลม (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

ค่าสมรรถนะการทำความเย็นจะแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบปรับอากาศ สำหรับค่าสมรรถนะการทำความเย็น จะพิจารณาเฉพาะพลังงานที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์เป็นเพียงค่าที่แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็นเท่านั้น ส่วนค่าสมรรถนะของทั้งระบบ (System COP, SCOP) จะต้องรวมพลังงานที่จ่ายให้กับพัดลมและเครื่องสูบน้ำด้วย ค่าสมรรถนะของทั้งระบบ (System COP, SCOP) สูง หมายถึง ระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานน้อย ในทางปฏิบัติสมรรถนะของระบบปรับอากาศยังสามารถแสดงได้ในรูปของค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio: EER) และค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/TR) โดยค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio: EER) ซึ่งมีหน่วยเป็น BTU/hr/W ((สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน

(2555)) นิยมใช้แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องชนิดไดเร็คเอ็กส์แพนชั่น หรือเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก ส่วนค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น นิยมใช้แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ เช่น ระบบน้ำหล่อเย็น ดังสมการต่อไปนี้

$$EER = 3.412 \times COP \qquad \text{สมการที่ 6}$$

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

COP คือ สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (W)

2.3.2.4 การเลือกใช้ระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพ

การออกแบบติดตั้งระบบปรับอากาศให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานและทำงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยประกาศกระทรวง เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 ได้กำหนดเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำที่กำหนด ดังแสดงตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่ามาตรฐานสัมประสิทธิสมรรถนะและอัตราสวนประสิทธิภาพพลังงาน

ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (W)	**ค่าสัมประสิทธิสมรรถนะ Coefficient of Performance (COP)**	**อัตราสวนประสิทธิภาพพลังงาน Energy Efficiency Ratio (EER) ((Btu/hr)/W)**
ไม่เกิน 12,000	3.22	11

ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ต้องมีค่าพลังไฟฟาต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น และส่วนประกอบอื่นของระบบปรับอากาศ สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศต้องมีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่ามาตรฐานพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น

ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ		**ขนาดความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระพิกัดของเครื่องทำน้ำเย็น (TON)**	**พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/TON)**
ชนิดการระบายความร้อน	**แบบของเครื่องอัด**		
ระบายความร้อนด้วยอากาศ	ทุกชนิด	น้อยกว่า 300	1.33
		มากกว่า 300	1.31

2.3.3 หม้อแปลงไฟฟ้า

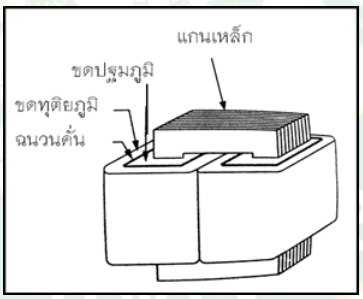
หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้า จากขดลวดชุดหนึ่งไปยังขดลวดอีกชุดหนึ่ง โดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน โดยจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่ง การจ่ายและการใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อแปลงจึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่สำคัญชนิดหนึ่ง การเกิดเหตุขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายของหม้อแปลงมักมีผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้า หรือกระบวนการผลิตอย่างมากเป็นเวลานาน (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2554))

2.3.3.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจำแนกตามประเภทต่าง ๆ

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจำแนกตามประเภทต่าง ๆ (ไฟฟ้าอุตสาหกรรม, 2550) ถูกจำแนกตามลักษณะดังต่อไปนี้

1) จำแนกตามลักษณะของแกนเหล็ก

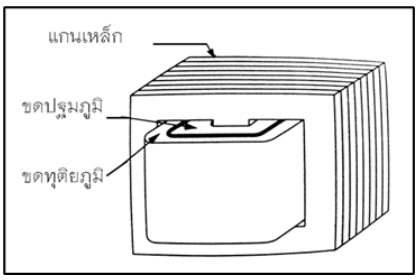
- แกนเหล็กแบบคอร์ เป็นแกนเหล็กแผ่นบาง ๆ มีลักษณะเป็นรูปตัว L สองตัวประกบเข้าหากัน หรือเป็นรูปตัว U กับตัว I นำมาประกอบเข้าด้วยกัน มีวงจรแม่เหล็กเป็นแบบวงจรเดี่ยวหรือวงจรอนุกรม มีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่บนแกนเหล็กทั้งสองด้านแยกกันอยู่คนละข้าง ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 แกนเหล็กแบบคอร์

[ที่มา: สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2554)]

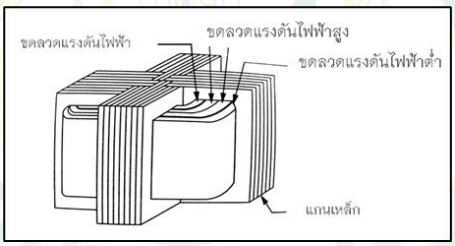
- แกนเหล็กแบบเชลล์ แกนเหล็กแบบนี้มีลักษณะเป็นรูปตัว E กับ I เมื่อประกอบเข้าด้วยกันจะมีวงจรแม่เหล็ก 2 วง หรือ วงจรแม่เหล็กแบบขนาน ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิจะพันอยู่ที่ขากลางของแกนเหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 แกนเหล็กแบบเซลล์

[ที่มา: สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2554)]

- แกนเหล็กแบบตัว H หรือแบบกระจาย เป็นการรวมกันระหว่างแกนเหล็กแบบคอร์กับแบบเซลล์หรือรวมตัว L เข้ากับตัว EI มีวงจรแม่เหล็กล้อมรอบขดลวดหม้อแปลงขดลวดแรงดันสูงจะพันไว้ระหว่างขดลวดแรงดันต่ำทั้งสองชุด และระหว่างขดลวดแต่ละชุดจะกั้นด้วยฉนวนไฟฟ้า การพันขดลวดหม้อแปลงแบบนี้จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แกนเหล็กแบบตัว H

[ที่มา: สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2554)]

2) จำแนกตามระบบไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว เป็นหม้อแปลงที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิอย่างละหนึ่งชุด ดังแสดงในภาพที่ 26 (ก)

- หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส เป็นหม้อแปลงที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอย่างละ 3 ชุด ต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบวาย (Wye) หรือแบบเดลตา (Delta) ดังแสดงในภาพที่ 26 (ข)

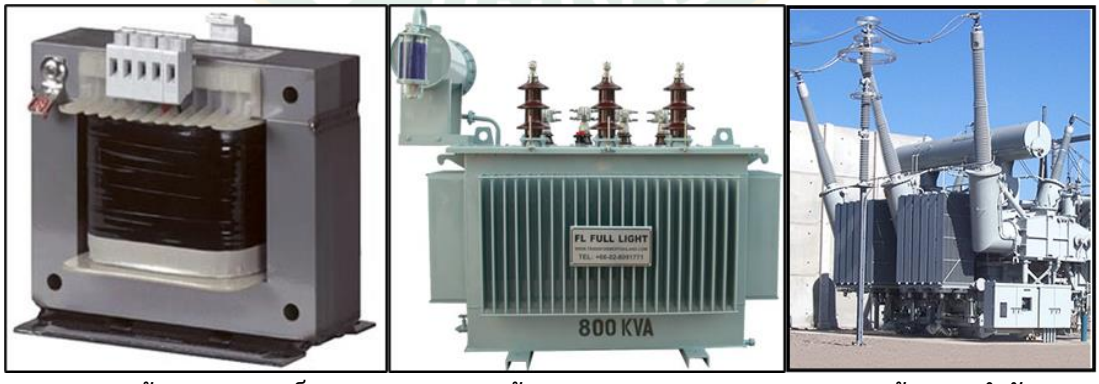
(ก) หม้อแปลง 1 เฟส **(ข) หม้อแปลง 3 เฟส**

ภาพที่ 26 การจำแนกหม้อแปลงตามระบบไฟฟ้า

[ที่มา: สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2554)]

3) จำแนกตามพิกัดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า

- หม้อแปลงขนาดเล็ก มีพิกัด 1,000 VA ลงมา เป็นหม้อแปลงที่นำมาใช้กับภาคจ่ายไฟของเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังรวมถึงหม้อแปลงขนาดเล็กที่ใช้ในการเชื่อมโยงสัญญาณของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 27 (ก)
- หม้อแปลงขนาดกลาง มีพิกัด 1-1,000 kVA ส่วนใหญ่จะใช้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง ใช้กับโรงงาน โรงพยาบาล สำนักงาน อาคารสูง และที่พักอาศัย ดังแสดงในภาพที่ 27 (ข)
- หม้อแปลงกำลัง มีขนาดตั้งแต่ 1,000 kVA ขึ้นไป เป็นหม้อแปลงที่มีใช้งานกับระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ใช้กับสถานีไฟฟ้าแรงสูง การผลิตและการส่งจ่ายไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 27 (ค)



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

ภาพที่ 27 การจำแนกหม้อแปลงตามขนาดพิกัด

[ที่มา: สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2554)]

2.3.3.2 กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่มีการจ่ายไฟไปยังโหลด ถ้าเกิดขึ้นในแกนเหล็กเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss ซึ่งค่า Iron loss นั้น มีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก และขึ้นอยู่กับความถี่ ความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแม่เหล็กในแกนเหล็ก คุณภาพของเหล็ก ปริมาตร หรือน้ำหนักของแกนเหล็ก และกำลังสูญเสียขณะมีโหลด (Load Loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลด โดยที่มีประสิทธิภาพของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูงกับหม้อแปลงธรรมดา (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2554))

ดังแสดงในตารางที่ 11

- ค่าตัวเลขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF)

$$\text{Power Factor} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง (kW)}}{\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ (kVA)}} \qquad \text{สมการที่ 6}$$

กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่แกนเหล็ก (Core Loss)

$$\text{Core Loss} = \text{Iron Loss} \times \text{hr.} \times \text{Day} \qquad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ Iron Loss คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่แกนเหล็ก

hr คือ ชั่วโมงการใช้งาน (hr)

Day คือ วันที่ใช้งาน (day)

- กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในขดลวด (Copper Loss)

$$P_{cu} = I^2R \qquad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ P_{cu} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)

- ประสิทธิภาพหม้อแปลง (η)

$$\eta = \frac{P}{(P + \text{Core} + \text{Copper})} \qquad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากหม้อแปลงคูณด้วยชั่วโมงที่จ่ายไฟ (kWh)

Core คือ การสูญเสียขณะไม่มีโหลดคูณด้วย 24 ชั่วโมง (kWh)

Copper คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะมีโหลดคูณด้วยชั่วโมงที่จ่ายไฟ (kWh)

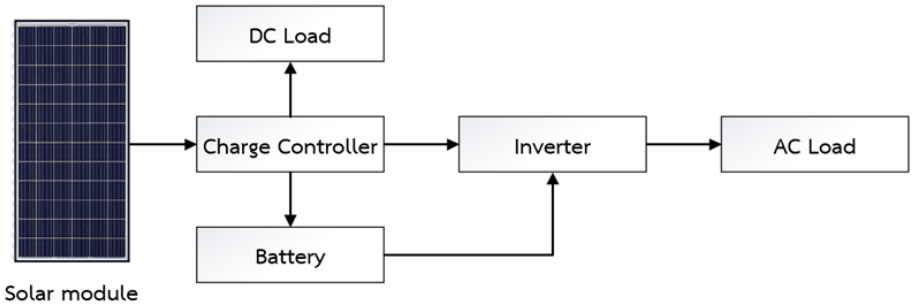
ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูงกับหม้อแปลงธรรมดา

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

2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

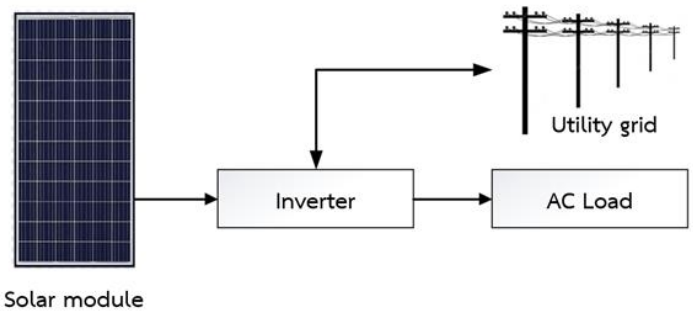
พลังงานแสงอาทิตย์นับว่าเป็นพลังงานทดแทนประเภทพลังงานหมุนเวียนที่ใช้แล้วไม่หมดไป เกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดเพื่อผลิตไฟฟ้าให้แก่โหลดพร้อมทั้งเก็บประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อม ๆ กัน ส่วนช่วงเวลากลางคืนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงเวลากลางวันจะถูกใช้จ่ายให้แก่โหลด กล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดได้ทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ ดังแสดงในภาพที่ 28



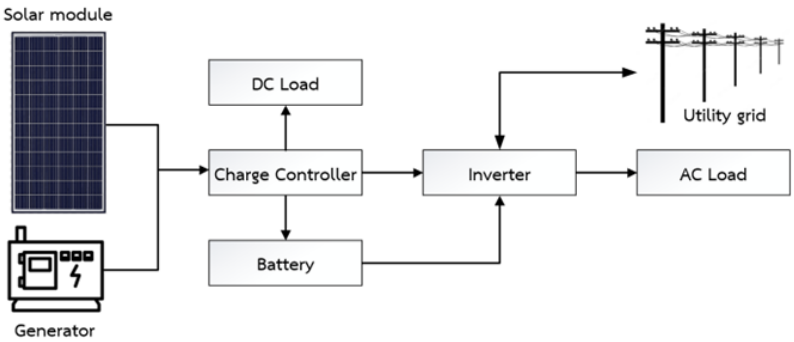
ภาพที่ 28 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง โดยมีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง และในช่วงเวลากลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง โดยมีอุปกรณ์ภายในระบบที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

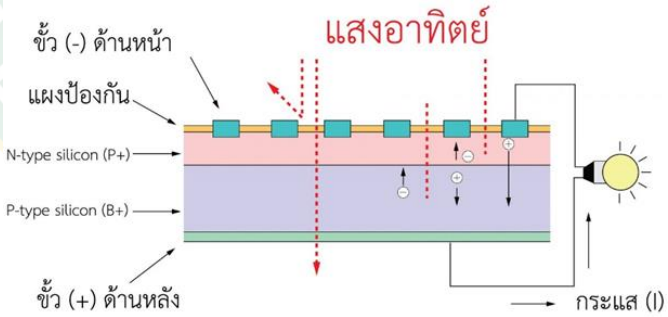
3) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องยนต์ดีเซล หรือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบของระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์ของความต้องการเป็นกรณีเฉพาะ ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

2.4.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นพื้นฐานมากที่สุด คือ เซลล์แบบรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ของซิลิกอน ดังแสดงในภาพที่ 31 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบกับเซลล์ แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (อิเล็กตรอน) และประจุบวก (โฮล) โครงสร้าง เซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ ไหลผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) ไปที่ขั้วลบหรือขั้วไฟฟ้าด้านหน้า และทำให้โฮลไหลผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type) ไปที่ขั้วบวกหรือขั้วไฟฟ้าด้านหลัง ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร (ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทค (2562))



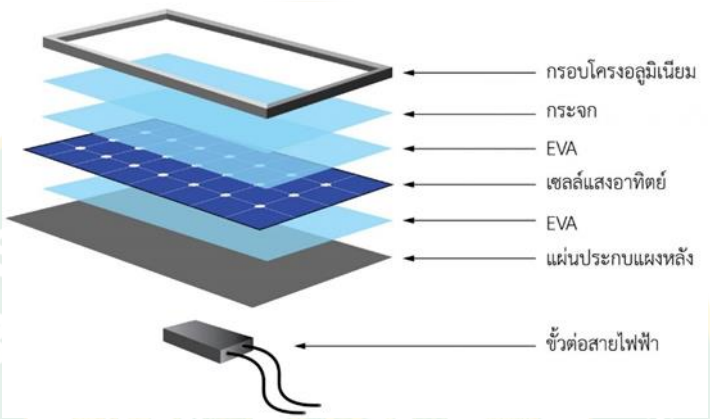
ภาพที่ 31 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

[ที่มา: www.premierlighting.co.th (2021)]

2.4.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) โดยด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้

แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะมีการใช้งานกลางแจ้งเป็นเวลานาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและอีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate) เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 32 เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (laminate) ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วยกล่องต่อสายไฟซึ่งทำจากวัสดุที่ทนทานต่อสภาพสิ่งแวดล้อม กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำจากอลูมิเนียมน้ำหนักเบา ทนทานและไม่เป็นสนิม



ภาพที่ 32 โครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์
[ที่มา: www.premierlighting.co.th (2021)]

2.4.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยลักษณะการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะเหมือนกับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทั่วไป แต่จะต้องมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้าป้อนให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าอีกทางหนึ่งตัวเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าถึงจะทำงาน แต่ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกใช้ไปกับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้าน หรืออาจจะแปลงไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ป้อนตรงให้กับสายส่งเพื่อขายไฟให้กับการไฟฟ้าตามโครงการต่าง ๆ ทำให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในปัจจุบันจะตัดการทำงานตัวมันเองทันทีที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าดับเพื่อป้องกันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยผ่านไปยังสายไฟของการไฟฟ้า

2.4.4 เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า

เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า (Charge Controller) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ โดยการควบคุมการ

ประจุกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับขนาดของแบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ผ่านเครื่องควบคุม โดยมีหลักการทำงาน คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มเครื่องควบคุมการชาร์จประจุจะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้าน้อยลง (รวมทั้งจะออกแบบให้มีคุณสมบัติตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในกรณีที่แรงดันของแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น

2.4.5 แบตเตอรี่

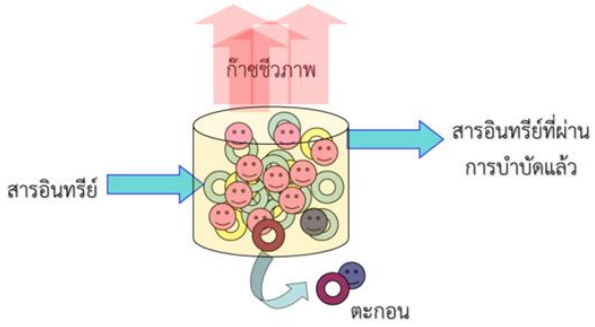
แบตเตอรี่ (Battery) เป็นตัวเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้ในเวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางคืน หรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ โดยจะทำหน้าที่ในการควบคุมรักษาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ในระบบไว้ในระดับที่ต้องการ และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องตามขนาดของแบตเตอรี่ ปัจจุบันแบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ แบตเตอรี่ลิเธียม และแบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่สามารถประจุไฟฟ้าได้แม้กระแสไหลเข้าในปริมาณที่น้อยและสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่เกิดการเสียหายของแผ่นเซลล์ภายในตัวแบตเตอรี่

2.5 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Process) โดยแบคทีเรียไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ทาให้เกิดผลผลิตของก๊าซชีวภาพจะอยู่ในรูปของก๊าซผสมประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิดส่วนใหญ่ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

1. ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70%
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50%
3. ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่น ๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ (H_2O)

ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ปัจจุบันสารอินทรีย์ที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการนี้แล้วให้ก๊าซชีวภาพ คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานเบียร์ โรงงานผลไม้กระป๋อง เป็นต้น รวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ จากกระบวนการดังกล่าวมีค่า COD ลดลงมากกว่า 80% และได้ก๊าซชีวภาพ 0.3 – 0.5 m^3/kg COD ที่ถูกกำจัด ทั้งนี้ขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภท ก๊าซมีเทนประมาณ 60% ให้ค่าความร้อน 20.93 MJ/m^3 สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.55 liter ก๊าซปิโตรเลียมเหลว 0.46 liter ดีเซล 0.60 liter และเบนซิน 0.67 liter ซึ่งเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 1.2 – 2.2 kWh (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) แสดงแผนภาพของกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แผนภาพกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.5.1 การใช้ก๊าซมีเทนเป็นแหล่งพลังงาน

การใช้ก๊าซชีวภาพมีข้อจำกัดหลายประการที่สำคัญ คือ แหล่งที่ใช้ประโยชน์จะต้องอยู่ใกล้ถังหมัก (Digester) เนื่องจากการอัดก๊าซชีวภาพในถัง หรือส่งไปตามท่อไกล ๆ ด้วยแรงดันสูงทำได้ยาก และเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก เพราะก๊าซมีเทนอัดได้ยากเนื่องจากมี Compressibility ต่ำ การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จึงใช้ในการหุงต้มอาหาร และจุดตะเกียงในบริเวณบ้านเท่านั้น ในต่างประเทศ เช่น ประเทศอินเดียได้มีความพยายามที่จะพัฒนาความรู้ในการที่จะนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น การอบแห้งพืชผลทางการเกษตร รถยนต์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเมื่อผสมกับก๊าซออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสมสามารถจุดระเบิดได้ ในการทำเป็นเชื้อเพลิงจึงต้องระวังอันตรายจากสาเหตุนี้

2.5.2 ระบบก๊าซชีวภาพจากภาคปศุสัตว์

สำหรับประเทศไทย ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่มีการใช้เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพมากที่สุด คือ ฟาร์มสุกร โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ (2556)) ดังนี้

- ฟาร์มขนาดใหญ่ หรือฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ก เทียบเท่าจำนวนสุกรขุนมากกว่า 5,000 ตัว หรือมากกว่า 600 หน่วยปศุสัตว์
- ฟาร์มขนาดกลาง หรือฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ข เทียบเท่าจำนวนสุกรขุนตั้งแต่ 500-5,000 ตัว หรือ 60-600 หน่วยปศุสัตว์
- ฟาร์มขนาดเล็ก หรือฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ค เทียบเท่าจำนวนสุกรขุน 50-500 ตัว หรือ 6-60 หน่วยปศุสัตว์

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มปศุสัตว์ มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 12 ถึงแม้ว่าฟาร์มโคจะมีศักยภาพมาก แต่ส่วนใหญ่จะดำเนินการในฟาร์มสุกรทั้งขนาดเล็กกลางและใหญ่มากกว่า เนื่องจากสามารถรวบรวมมูลลงสู่บ่อบำบัดได้ง่าย ในขณะที่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มโคส่วนใหญ่มีศักยภาพสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มาก แต่ไม่มีการรวบรวมและการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากการเลี้ยงโคส่วนใหญ่จะปล่อยเลี้ยงในทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ทำให้การรวบรวม

มูลโคเพื่อนำไปผลิตก๊าซชีวภาพค่อนข้างลำบาก นอกจากนี้มูลโคประกอบด้วยหญ้าซึ่งเป็นไฟเบอร์ยังก่อให้เกิดการอุดตันภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ไประยะหนึ่ง และเหตุผลสำคัญที่สุดคือการเลี้ยงโคใช้พลังงานในการเลี้ยงน้อย ส่งผลให้การที่จะนำก๊าซชีวภาพไปผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายให้การไฟฟ้านั้นมีขีดจำกัด ด้วยเหตุผลทั้งหมดข้างต้นที่กล่าวมา หากจะผลักดันให้มีการใช้และผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มโคคงจะต้องพิจารณาถึงแนวทางในการแก้ปัญหาและอุปสรรคดังกล่าว

ตารางที่ 12 ศักยภาพการผลิตและการนาก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทนจากฟาร์มปศุสัตว์

ประเภทฟาร์ม	ศักยภาพก๊าซชีวภาพและการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทน				
	จำนวนฟาร์ม	(ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี)	เทียบเท่า		
			ไฟฟ้า (MW)	ความร้อน (ktoe)	ก๊าซชีวภาพอัด (ton)
ฟาร์มไก่	6,281	366.81	40.40	168.41	153,059.34
ฟาร์มโค/กระบือ	5,617	245.50	29.46	122.75	111,592.03
ฟาร์มเป็ด	168	8.40	1.00	4.20	3,822.21
ฟาร์มแพะ/แกะ	46	0.10	0.01	0.05	45.94
ฟาร์มสุกร	2,541	288.78	34.65	144.39	131,264.40
รวม	**14,653**	**879,61**	**105.52**	**439.80**	**399,783.92**

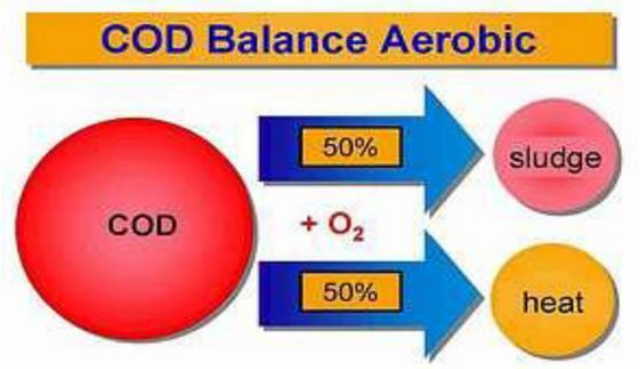
2.5.3 ประเภทของเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียหรือของเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก มักจะใช้เทคโนโลยีที่อาศัยแบคทีเรียช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ (2556)) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ เทคโนโลยีที่ใช้อากาศและเทคโนโลยีที่ไม่ใช้อากาศ กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biological Wastewater Treatment) โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการใหญ่ ได้แก่

2.5.3.1 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic digestion)

สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ขึ้นจำนวนมาก (ประมาณ 50% ของสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์) ซึ่งมีปฏิกิริยาในการย่อยสลาย ดังแสดงในภาพที่ 34 ข้อได้เปรียบของกระบวนการบำบัดแบบนี้ คือ ระบบมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งใช้ระยะเวลาในการบำบัดสั้น แต่มีข้อเสีย คือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง เนื่องจากต้องมีการพ่นอากาศให้กับระบบ และยังต้องกำจัดตะกอนจุลินทรีย์

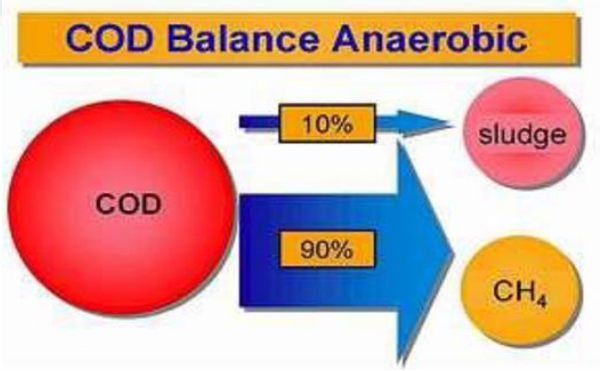
ส่วนเกิน นอกจากนี้กระบวนการบำบัดแบบนี้ไม่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กับน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงมาก ๆ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการให้ออกซิเจนอย่างเพียงพอกับระบบ



ภาพที่ 34 การย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการใช้ออกซิเจน

2.5.3.2 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion)

โดยกระบวนการนี้สารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณ 80% - 90% ถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ รวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ระบบดังกล่าวนี้ จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้าทำให้ระบบเริ่มต้น (Startup) ได้ช้า อีกทั้งประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดต่อ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการกักเก็บของเหลว (Hydraulic Retention Time : HRT) นานขึ้นระบบบำบัดจึงมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ระบบยังมีการปรับตัวไม่ดีนักต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และในระหว่างกำจัดบางครั้งอาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) เกิดขึ้น ทำให้มีกลิ่นเหม็น ระบบนี้จึงมีข้อจำกัดการใช้งาน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบใช้อากาศ พบว่ามีข้อดีและข้อเสีย ดังแสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 การย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน

ข้อดี

- ใช้พลังงานไฟฟ้าในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำ
- มีการเกิดตะกอนส่วนเกินน้อยมาก
- ต้องการสารอาหารโดยเฉพาะ N และ P ต่ำ
- สามารถเก็บเชื้อจุลินทรีย์ไว้ได้นาน
- ได้ก๊าซชีวภาพมาเป็นพลังงาน
- ไม่ต้องการเติมออกซิเจนให้กับระบบ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด สามารถย่อยสลาย Aerobiotic compounds เช่น chlorinated aliphatic hydrocarbons และ lignin ได้
- สามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ๆ ได้

ข้อเสีย

- เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตช้า
- การเริ่มต้นระบบใช้เวลานาน
- เสถียรภาพของระบบต่ำ
- กลิ่นและแมลงรบกวน (ถ้าเป็นระบบเปิด)

เทคโนโลยีที่ใช้อากาศ มักต้องอาศัยเครื่องจักรกลในการเติมอากาศให้กับน้ำเสีย ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่าย โดยผลจากการบำบัดจะได้ออกมาเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนเทคโนโลยีที่ไม่ใช้อากาศ หรือเรียกอีกอย่างว่า เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียหรือของเสียโดยวิธีไร้อากาศ จะทำให้ได้ผลพลอยได้ออกมาเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากแบคทีเรียในระบบในทางกลับกัน การวางเป้าหมายที่จะผลิตก๊าซชีวภาพเป็นหลัก เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า ระบบก๊าซชีวภาพ (Biogas System) อันประกอบไปด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ระบบน้ำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน และระบบบำบัดของเสียจะสามารถคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ที่เกิดจากกระบวนการไร้ออกซิเจนได้จากสมการ

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$$

จะเห็นว่าทุก ๆ 1 โมล ของมีเทน (22.4 L, 0°C) จะถูกทำลายโดยออกซิเจน 2 โมล (หรือ 64 g)

ดังนั้น 1 g COD ที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.35 L CH_4 (ที่ 0°C, 1 atm)

หรือ 1 g COD ที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.395 L CH_4 (ที่ 35°C, 1 atm)

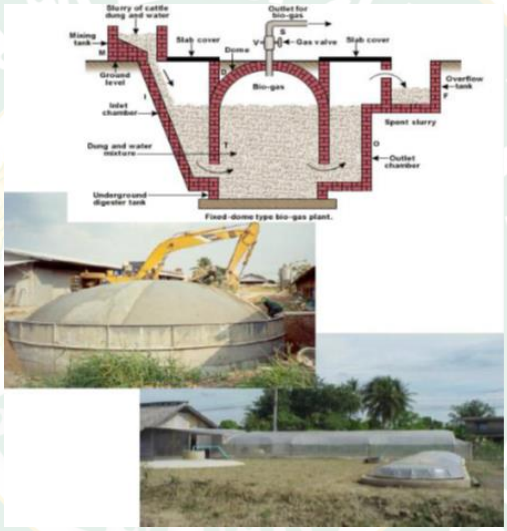
2.5.4 การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์

การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งปัจจุบันได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยการผลิตก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่จะแยกตามแหล่งที่มาของน้ำเสีย ได้แก่ ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ของเสียจากอุตสาหกรรม และขยะมูลฝอยและครัวเรือน ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจะใช้กระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศภายในบ่อหมัก โดย

แบ่งตามอัตราการย่อยสลายอินทรีย์ ได้ 2 ระดับ คือ อัตราการย่อยสลายอินทรีย์ต่ำ (Low Rate) และสูง (High Rate) สำหรับมูลสัตว์ (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ (2556)) ดังนี้

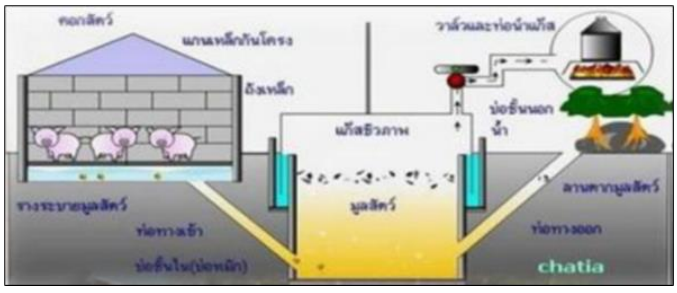
1) บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Low Rate Anaerobic Reactor) มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ แบบโดมคงที่ แบบฝาครอบลอย และแบบรางขนาน ซึ่งมี 2 รูปแบบ คือ แบบพลาสติกคลุมบ่อดิน และแบบพลาสติกคลุมราง บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้าจะต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์มาก เพราะต้องใช้เวลาในการกักเก็บน้ำสูง

- ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed dome) สร้างด้วยคอนกรีตฝังอยู่ในดิน มีท่อเพื่อเติมมูลสัตว์และท่อให้มูลสัตว์ไหลออก ส่วนเก็บก๊าซจะสร้างด้วยคอนกรีตติดกับบ่อหมัก ซึ่งแรงดันของก๊าซไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปริมาตรของก๊าซภายในบ่อ ดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่

- ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบฝาครอบลอย (Floating Drum) ใช้ในการจัดมูลของสัตว์เลี้ยงที่กองอยู่ใต้ถุนบ้าน และแก้ปัญหาด้านสุขอนามัยกาจัดแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นถือว่าเป็นเพียงผลพลอยได้ ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบฝาครอบลอย

- ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบรางขนาน (Plug Flow) ประกอบด้วย แบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Cover Lagoon) มีการนำแผ่นยางเก็บก๊าซมาสร้างครอบบนบ่อรวบรวมมูลสัตว์ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งอาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือดินขุดก็ได้ ในกรณีที่เป็นบ่อดินขุด อาจปูแผ่นยางที่ใช้ปูสระเก็บน้ำมาปูทับ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของของเสียลงใต้ดิน ดังแสดงในภาพที่ 38

ภาพที่ 38 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน

- ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบพลาสติกคลุมราง (Channel Digester) เป็นบ่อคอนกรีตที่มีรูปร่างยาวคล้ายรางหรือคลองส่งน้ำ บนบ่อหมักมีพลาสติกคลุมเพื่อใช้เก็บก๊าซชีวภาพ ตัวบ่อหมักจะถูกฝังอยู่ในดิน มีท่อเติมมูลและนำมูลออกอยู่ทางหัวและท้ายบ่อ เนื่องจากใช้พลาสติกเป็นตัวเก็บก๊าซ ดังนั้น จึงมีแรงดันก๊าซค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มแรงดันเพื่อนำก๊าซไปใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 39

ภาพที่ 39 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบพลาสติกคลุมราง

2) บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว (High Rate Anaerobic Reactor) มีอัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นรวดเร็ว เพราะในระบบมีการกวนผสม การกักเก็บและรักษาตะกอนแบคทีเรียที่มีคุณภาพให้อยู่ในระบบเป็นเวลานาน โดยออกแบบให้ตะกอนถูกยึดตรึงไว้กับตัวกลาง หรือการทำให้ตะกอนรวมตัว

กันเป็นก้อน และยังมีการนำตะกอนที่หลุดไปกับน้ำล้นกลับมาในระบบบ่อหมักมีขนาดเล็ก สามารถรับปริมาณของเสียได้มาก ซึ่งบ่อหมักแบบนี้ เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง และก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้ลดค่าใช้จ่ายการบำบัดให้ต่ำลง ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิง และน้ำเสียที่บำบัดแล้วจะเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง โดยบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบเร็ว แบ่งออกเป็น

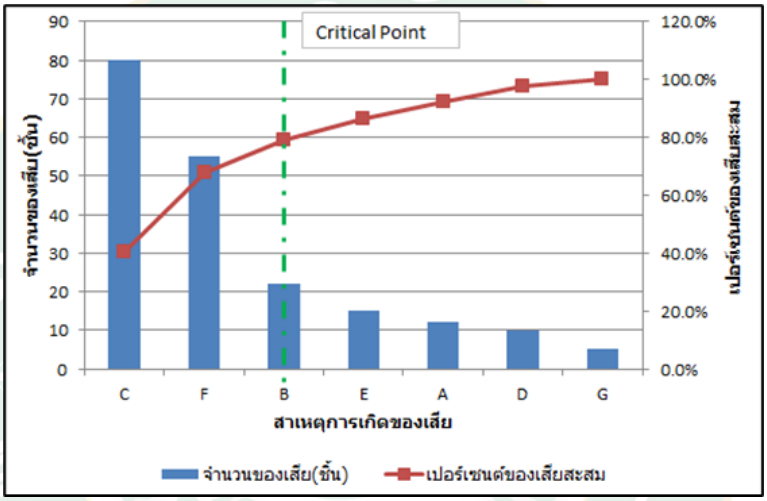
- ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบ Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) น้ำเสียจะถูกสูบเข้าก้นถังที่แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง (Sludge bed) เป็นตะกอนเม็ด (Granular bacteria) ขนาด 2–5 mm. เป็นแบคทีเรียใยขาว เกาะกันมีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นบนเรียกว่า Sludge Blanket ทางด้านบนของบ่อหมัก UASB จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Gas Solid Separator ทำหน้าที่แยกก๊าซและป้องกันไม่ให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำเสีย
- ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบ High Suspension solid Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (H-UASB) พัฒนาจากระบบ UASB เพื่อแก้ไขปัญหาการอุดตันของระบบหัวจ่ายน้ำเนื่องจากตะกอนของมูลสัตว์ มี buffer tank ทำหน้าที่แยกตะกอนแขวนออกจากน้ำเสียและมูลสัตว์ให้มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 40

ภาพที่ 40 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบ UASB และ H-UASB

2.6 ทฤษฎีพาเรโต (Pareto)

ทฤษฎีพาเรโต (Pareto) หรือ กฎ 80/20 คิดขึ้นโดยนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาเลียนชื่อว่า Vilfredo Pareto ในปี 1906 ต่อมาในปี 1930 – 1950 นักคิดเกี่ยวกับเรื่อง Quality Management ชื่อว่า Dr. Joseph Juran ได้นำแนวความคิดของ Pareto ไปใช้ต่อ โดยหลักการของ Pareto หรือ กฎ 80:20 (อุทัย ผลภาษี) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้แสดงรายละเอียดในรูปแบบของกราฟผสมระหว่างกราฟแท่งกับกราฟเส้น โดยเรียงลำดับของรายละเอียดในแต่ละหัวข้อตามลำดับความถี่มากไปหาถี่ที่น้อยกว่า จะแสดงสาเหตุหลัก 20% ส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์ 80% เช่น ปัญหางานแตก เกิดจากการขนย้ายซึ่งเป็นปัญหาหลัก ถ้าทำการแก้ไขปัญหาการขนย้ายได้ โอกาสที่ของเสียจะลดลงถึง 80% ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องหาสาเหตุของปัญหาหลักให้เจอ และแก้ไขโดยเร็วที่สุดสำหรับประโยชน์ที่ได้รับของ

เทคนิคพาเรโต มีหลายประการ ได้แก่ 1) ทำให้ทราบถึงหัวข้อที่มีความถี่สูงสุด เช่น ปัญหาที่มีความสูญเสียมากที่สุด ชนิดของปัญหาที่มีความถี่มากที่สุด 2) ทำให้ทราบอัตราส่วนของปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาอื่น ๆ 3) ทำให้ทราบลำดับและความสำคัญของปัญหา เป็นต้น สามารถใช้แสดงให้เห็นถึงความสมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น จากการใช้แผนผังพาเรโตจะสามารถบ่งชี้ให้เห็นประเด็นเป็นปัญหามากที่สุดพร้อมแสดงอัตราส่วนในทั้งหมด โดยจะมีโครงสร้างประกอบไปด้วยกราฟแท่งและกราฟเส้น แกนแนวตั้ง (แกน Y) แกนแนวนอน (แกน X) และแกนแสดงร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลสะสมอยู่ด้านขวาของแผนภาพ ดังแสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ตัวอย่างแผนภาพพาเรโต

[ที่มา: (https://learning-be.blogspot.com/2012/05/finance.html, 2555)]

2.7 การวิเคราะห์การถดถอย (Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นหนึ่งในวิธีการที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของข้อมูล 2 ประเภท และนำผลของความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปพยากรณ์ค่าตัวแปรของข้อมูล โดยการวิเคราะห์การถดถอยจะมีการจำแนกตัวแปรที่จะศึกษาเป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable: Y) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable: X) เรียกว่า การวิเคราะห์สมการเส้นตรง ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 2 ตัว เรียกว่าการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ (ชนะบุญ สุทิน (2560))

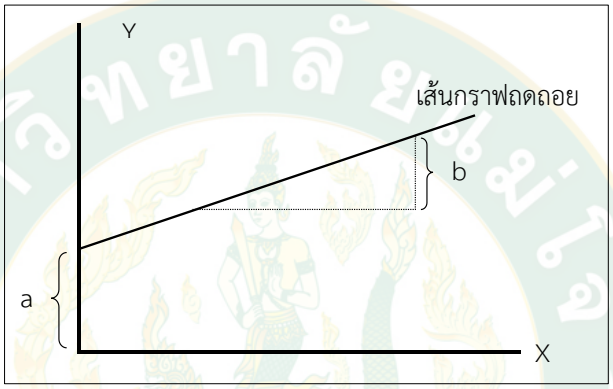
2.7.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ได้แก่ ตัวประมาณการ (Predictor: X) และตัวตอบสนอง

(Response: Y) โดยตัวแปรตามคือตัวแปรหรือคุณลักษณะของข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ จึงต้องมีการเก็บข้อมูลจำนวนมากเพื่อทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ X และ Y ในรูปแบบเชิงเส้น (Linear) ดังสมการ

$$Y = a + bX$$

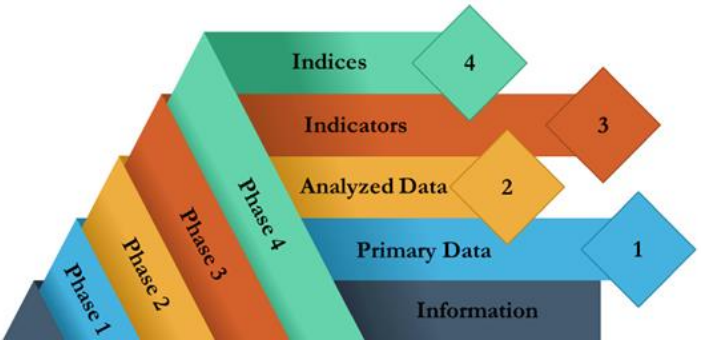
โดยที่ a ก็คือค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่เส้นกราฟถดถอยตัดกับแกน Y ส่วน b เป็นความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ และ X เป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (Independent) ซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลง เรียกส่วนนี้ว่า สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ดังแสดงในภาพที่ 42



ภาพที่ 42 สมการเส้นตรงของการถดถอย

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Danish et al. (2019) ศึกษาการจัดการพลังงานจากงานวิจัย เพื่อนำมาเป็นแนวทางการจัดการพลังงงานอย่างยั่งยืนให้เกิดประสิทธิภาพและตัวชี้วัดที่ดีที่สุด โดยการกำหนดกรอบการทำงานในการจัดการพลังงานให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการลดการใช้พลังงานบนพื้นฐานในการปรับปรุง 5 ประการ 1) ความยั่งยืนทางเทคนิค 2) ความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ 3) ความยั่งยืนของสถาบัน (หน่วยงานที่รับผิดชอบ) 4) ความยั่งยืนทางด้านสิ่งแวดล้อม 5) ความยั่งยืนทางสังคม (ผู้คนยอมรับและเข้าใจ) โดยมีการแบ่งความสำคัญของข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 43 ลำดับความสำคัญของข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปขององค์กร ข้อมูลหลัก วิเคราะห์ข้อมูลตัวชี้วัด และดัชนี (เป้าหมาย)



ภาพที่ 43 ลำดับความสำคัญของข้อมูล

[ที่มา: Danish et al. (2019)]

กรอบการดำเนินงานในการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนมีชื่อว่า Life-Cycle Model ซึ่งมีทั้งหมด 7 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การออกแบบ เป็นการออกแบบการจัดการพลังงานโดยเริ่มจากการระบุปัญหา เพื่อกำหนดเป้าหมายด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ระบุมาตรฐานที่จำเป็น ความพร้อมขององค์กร กำหนดเป้าหมาย เขียนแผนดำเนินงาน การประเมินระดับสูง และการทำแผนการดำเนินงาน

2) กรอบการดำเนินงาน เพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ควรมีกรอบในการดำเนินงานเพื่อหาโอกาสและรายละเอียดในแต่ละทางเลือก และพิจารณาการดำเนินงานต่อไป

3) แผนการดำเนินงาน เพื่อการดำเนินงานเป็นไปตามแผน ควรมีแผนการดำเนินงานรวมไปถึงการตรวจสอบและแต่งตั้งที่ปรึกษาและกรรมการในการตรวจสอบการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง

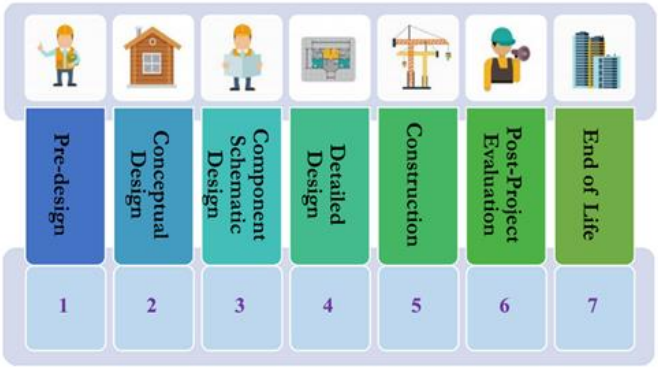
4) ออกแบบรายละเอียด หากมีการเปลี่ยนอุปกรณ์หรือจะต้องมีการก่อสร้าง มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาความจำเป็นของทรัพยากรใหม่ เพื่อวางแผนในการขนส่งและจัดเก็บ พร้อมทั้งจัดทำเอกสารเสนอราคาและก่อสร้างทรัพยากร

5) โครงสร้าง เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงต้องมีการประสานงานระหว่างองค์กรและผู้ออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ โดยการติดตั้งโปรแกรมตรวจวัดพลังงานและควบคุมการใช้พลังงานในกิจกรรมต่าง ๆ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไว้ในระบบ

6) การประเมินโครงการ ทางผู้จัดทำจะต้องส่งมอบผลลัพธ์จากการดำเนินงาน เพื่อนำมาประเมินและปรับปรุงเอกสารให้สมบูรณ์

7) สิ้นสุดการดำเนินโครงการ เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการประเมินการจัดการพลังงานให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

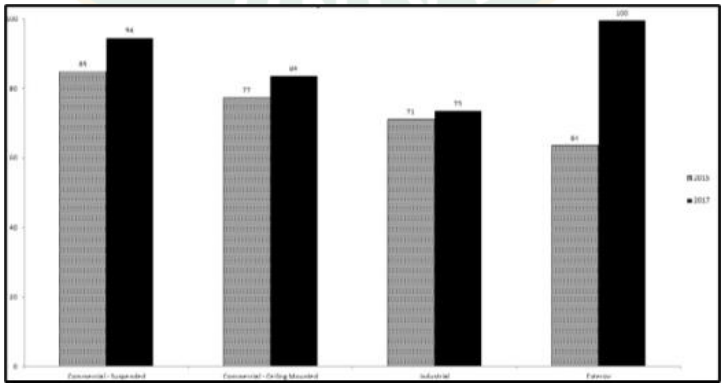
จากขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ขั้นตอนการดำเนินงานพื้นฐานในการจัดการพลังงาน

[ที่มา: Danish et al. (2019)]

Siap et al. (2019) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษามาตรการจากรัฐบาลเพื่อนำโปรแกรมการจัดการพลังงานมาพัฒนาข้อมูลพื้นฐานในด้านระบบแสงสว่าง เพื่อจัดกลุ่มและแยกประเภทของโคมไฟภายในประเทศ อีกทั้งยังศึกษาในด้านของการประหยัดพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการพัฒนาฐานข้อมูลครั้งนี้จะอิงฐานข้อมูลของโคมไฟที่ได้รับรองจาก Energy Star และต้องมีค่าอัตราส่วนความสว่างต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ (Lighting Efficacy Ratio: LER) มากกว่า 75 ขึ้นไป จากข้อมูลจะสามารถแบ่งโคมไฟออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ สำหรับใช้ภายนอก สำหรับอุตสาหกรรม สำหรับติดผนังหรือแขวน สำหรับเพดาน และ LED ส่งผลให้การประเมินค่า LER เกิดการเปรียบเทียบตามลักษณะการใช้งานของโคมไฟในปี 2015 และ 2017 ดังแสดงในภาพที่ 45 ในปี 2017 จะพบว่ามีค่า LER สูงกว่าปี 2015 ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยเป้าหมายของรัฐบาลมีความต้องการลดพลังงาน 7% หรือ 33 million USD คิดเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 475 ktonCO_2 จึงมีการส่งเสริมให้ใช้หลอด LED เนื่องจากมีต้นทุนการใช้พลังงานเพียง 0.039 USD/kWh



ภาพที่ 45 เปรียบเทียบตามลักษณะการใช้งานของโคมไฟในปี 2015 และ 2017

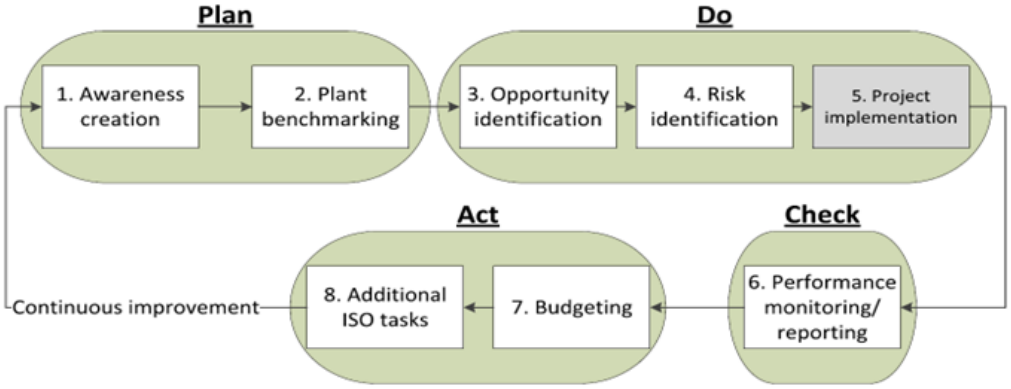
[ที่มา: Siap et al. (2019)]

ตารางที่ 13 ผลประหยัดในแต่ละพื้นที่การใช้งาน

Energy cost saving	Commercial suspended	Commercial Ceiling mounted	Industrial	Exterior
Energy cost saving per unit	36.39	22.94	50.59	327.14

Yacout et al. (2014) ศึกษาระบบการจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศอียิปต์ที่มีการใช้ระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 โดยมีการดำเนินงานตามวัฏจักร PDCA เริ่มจากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังและตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยเครื่องมือวัด จากการสำรวจจึงมีการเสนอมาตรการ เพื่ออนุรักษ์พลังงานทั้งหมด 4 มาตรการ ได้แก่ มาตรการการเปลี่ยนหลอดให้มีประสิทธิภาพสูง สามารถประหยัดเงินได้ 138,999 EGP/Year มาตรการปรับปรุงรอยรั่วของอากาศพบรอยรั่วทั้งหมด 65 จุด เมื่อปรับปรุงจะสามารถประหยัดเงินได้ 97,500 EGP/Year มาตรการเปลี่ยนปั๊มให้มีประสิทธิภาพสูง จะมีผลประหยัด 79,400 EGP/Year และมาตรการสุดท้ายคือน้ำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อุ่นน้ำใหม่ สามารถประหยัดได้ 42,624 EGP/Year รัฐบาลจึงมีการส่งเสริมให้นำระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมแล้วอาคารภายในประเทศ

Pelser et al. (2018) ทำการศึกษาการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภายในอุตสาหกรรมซีเมนต์ เนื่องจากมีราคาค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเพิ่มขึ้นที่ปี 2008 ถึง 78% และมีแนวโน้วที่จะเพิ่มขึ้นอีก จึงมีการใช้ระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 เข้ามาเป็นเครื่องมือ โดยมีหลักการในทางปฏิบัติคือ PDCA ที่ช่วยวางแผน กำหนดขอบเขต ขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อเสนอให้ผู้บริหารได้พิจารณามาตรการต่าง ๆ รวมไปถึงทางเลือกใหม่ ๆ ในการแก้ปัญหา ดังแสดงในภาพที่ 46



ภาพที่ 46 ขั้นตอนการดำเนินงานการจัดการพลังงานตามกระบวนการ PDCA
[ที่มา: Pelser et al. (2018)]

ตารางที่ 14 ตัวชี้วัดพลังงานสำหรับอุตสาหกรรมซีเมนต์

Parameter	Jan-15	Feb-16	Reduction
Total electrical energy per cement produced (kWh/t)	65.23	50.90	22%
Cement manufacturing - electrical energy (kWh/t)	46.36	37.46	19%
Electrical energy cost per cement produced (ZAR/t)	34.30	25.69	25%

จากตารางที่ 14 เมื่อมีการปรับปรุงมาตรการต่าง ๆ เช่น การลดพีคไฟฟ้า การเปลี่ยนปั๊มประสิทธิภาพสูง การสลับการใช้งานให้เหมาะสมกับโหลด การเปลี่ยนหัวฉีดปรับความดัน และการลดอากาศเสียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้สูงขึ้น พบว่า เมื่อดำเนินการจัดการพลังงาน 1 ปี สามารถลดการใช้พลังงานรวมได้ 22% คิดเป็นเงินจะสามารถประหยัดได้ 25% หรือ 8.61 ZAR/t จะเห็นว่าองค์กรจะสามารถทำกำไรและบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Dzene et al. (2015) ทำการศึกษาระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเทศบาล Latvia ให้เกิดการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน แต่จะพบปัญหาในการเก็บข้อมูล เนื่องจากเทศบาลไม่ได้เป็นผู้รวบรวมข้อมูลด้านพลังงานไว้ที่ส่วนกลาง เพื่อแก้ปัญหาในการจัดการข้อมูลจึงมีการนำส่วนหนึ่งของกระบวนการตามมาตรฐาน ISO 50001 มาปรับปรุงเพื่อให้เกิดการจัดการข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อข้อมูลที่เก็บบันทึกมีความน่าเชื่อถือ ส่วนกลางจึงได้กำหนดตัวชี้วัดด้านพลังงานที่มีเป้าหมายหลัก ได้แก่ การลดต้นทุน การสร้างภาพลักษณ์ การปรับปรุงและควบคุม และการลดการใช้พลังงาน จากเป้าหมายในการจัดการพลังงาน เพื่อให้เป้าหมายสำเร็จจึงมีการวางแผนตามกระบวนการ PDCA ดังนี้

Plan: การพัฒนาระบบ คือ การพัฒนาระบบการเก็บข้อมูล ด้วยวิธีการแต่งตั้งผู้รับผิดชอบด้านการพัฒนาระบบโดยใช้เงินลงทุนน้อยและได้ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ

Do: การรวบรวมข้อมูล คือ ผู้รับผิดชอบมีหน้าที่รวบรวมข้อมูลและบันทึกโดยใช้ระบบตรวจวัดพลังงานเพื่อเก็บค่า Energy Consumption (kWh/month, week or day), Fuel Consumption, Boiler Efficiency etc. เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์

Check: การวิเคราะห์ข้อมูล คือ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องจักรกับข้อมูลในอดีต

Act: สรุปและวางมาตรการ คือ ผู้รับผิดชอบจะต้องสรุปและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อเสนอมาตรการในการประหยัดพลังงาน

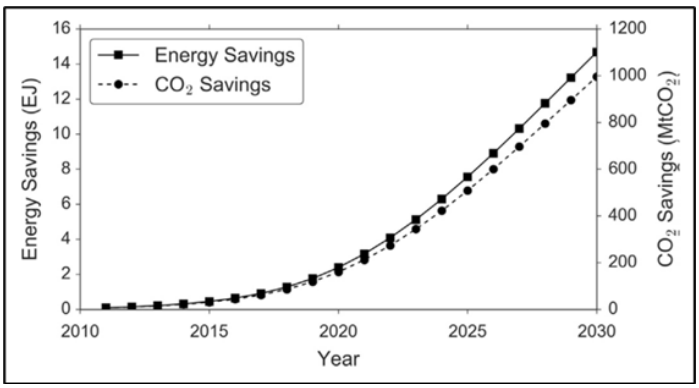
จากแผนการดำเนินงาน PDCA จะสามารถกำหนดตัวชี้วัดด้านพลังงานซึ่งเป็นกรอบการดำเนินงานของ ISO 50001 ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ตัวชี้วัดด้านพลังงานสำหรับการจัดการพลังงานในเทศบาล

Indicator	Unit
Specific heat energy consumption	kWh/m^2year
Specific electricity consumption	kWh/m^2 year
Energy consumption per inhabitant	MWh/inhabitant
Share of RES in total energy production	%
Share of renovated buildings in the total number of buildings	%
Share of the length of bicycle roads in the total length of the roads	%
Share of energy efficient lighting in the total number of lightings	%

จากแผนการจัดการพลังงานที่นำมาใช้กับเทศบาล Latvia เริ่มจากการนำเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานในแต่ละพื้นที่ของเทศบาลเข้ารับการอบรมประสิทธิภาพพลังงาน หลังจากผ่านการอบรมผู้อบรมจะต้องผ่านการทดสอบ ได้นำความรู้ที่ได้จากการอบรมไปใช้ในองค์กรของตน เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานจากมาตรการต่าง ๆ ที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พร้อมทั้งติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานเพื่อติดตามผลการดำเนินงานในแต่ละองค์กร จากการตรวจสอบข้อมูลการใช้พลังงาน เมื่อเกิดผลประหยัดจากการจัดการพลังงาน ภาครัฐจะคือเงิน 15% กลับคืนสู่องค์เพื่อนำไปใช้ในการบริหารจัดการและสนับสนุนมาตรการให้มีการประหยัดพลังงานที่มากขึ้น

McKane et al. (2017) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลจากการจัดทำระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001 โดยที่เริ่มศึกษาระบบการจัดการพลังงานของแต่ละประเทศ จากโครงข่ายทั่วโลกเพื่อนำข้อมูลมาประเมินผลกระทบจากระบบการจัดการพลังงานที่มีต่อสิ่งแวดล้อม จากการประเมิน 50% ของภาคอุตสาหกรรมและพาณิชย์ หากมีการใช้ระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ภายในปี 2030 โดยที่ระบบดังกล่าว มีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องและสามารถใช้ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานของแต่ละประเทศ เพื่อพัฒนาสู่สากล จากการประเมินโดยใช้โปรแกรม IET 50001 ทำงานวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ เช่น ผลประหยัดด้านพลังงาน (Energy Saving) การลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น จากการประเมินจะสามารถแสดงแนวโน้มผลประหยัด ดังแสดงในภาพที่ 47

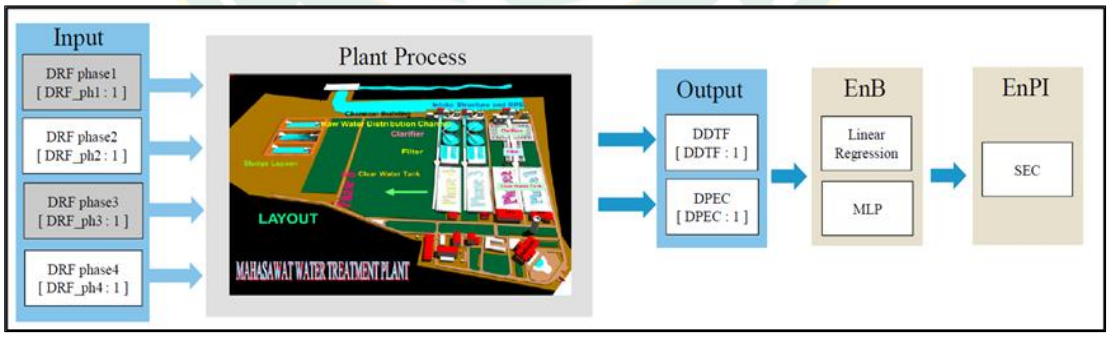


ภาพที่ 47 ผลประหยัดพลังงานและการปล่อย CO_2 จากการใช้ ISO 50001

[ที่มา: McKane et al. (2017)]

จากการประเมินผลประหยัดจากการใช้ระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 สามารถประหยัดพลังงานระหว่างปี 2011-2030 ได้ 105 EJ คิดเป็นค่าการปล่อย CO_2 ลดลงได้ 6,500 $MtCO_2$ และคิดเป็นเงินได้ 700 Billion USD เมื่อคำนวณเทียบกับปี 2016

Tomorn Sunthornnapha. (2017) ทำการศึกษาเปรียบเทียบเครื่องมือการวิเคราะห์ข้อมูลทางพลังงานระหว่าง Multilayer Perceptron (MLP) กับ Linear Regression (LR) เพื่อนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปบ่งชี้การใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (SEC) รวมถึงการกำหนดตัวชี้วัดด้านพลังงาน (EnPI) จากข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังตั้งแต่ปี 2011-2016 ของโรงงานตัวอย่าง ที่มีกระบวนการการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานดังแสดงในภาพที่ 48 เพื่อนำข้อมูลที่เก็บได้มาวิเคราะห์ผ่านเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด



ภาพที่ 48 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง

[ที่มา: Tomorn Sunthornnapha. (2017)]

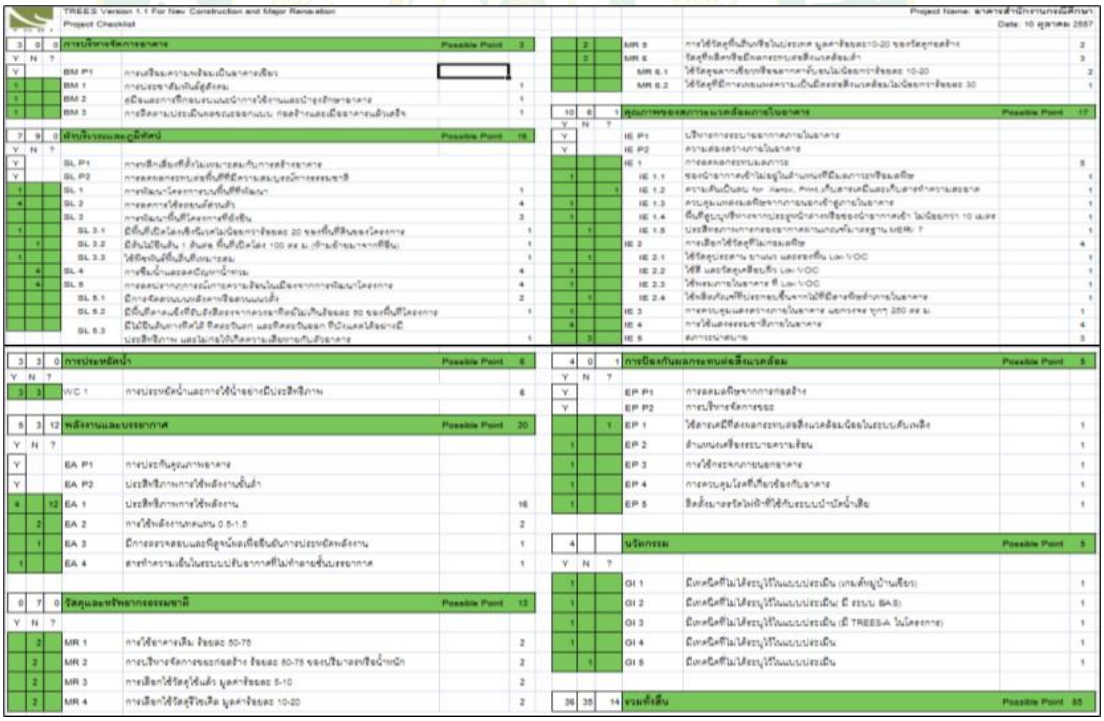
จากการศึกษาพบว่า วิธีการวิเคราะห์แบบ MLP มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากกว่า LR เนื่องจาก MLP มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (CV-RMSE: %) เท่ากับ 6.7533% ซึ่งน้อยกว่าการวิเคราะห์แบบ LR ที่มีค่า CV-RMSE เท่ากับ 7.208% และมีค่าสัมประสิทธิ์

แสดงการตัดสินใจ (R^2) ของ MLP มีค่ามากกว่า LR โดยมีค่าเท่ากับ 0.9775 และ 0.8726 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการวิเคราะห์

Methods	Year	R^2	CV-RMSE (%)	NMBE (%)
linear regression (LR)	2011-2016	0.8726	7.2080	0.0039
Multilayer perceptron (MLP)	2011-2016	0.9775	6.7533	-0.0008

ประภัสสร วงศ์ยืน และวิทยา ยงเจริญ (2558) ทำการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินและปรับปรุงอาคารสำนักงานกรณีศึกษาให้เป็นไปได้ตามเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทยสำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่ (TREES-NC) จึงเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์ โดยอาคารได้เข้าร่วมประเมินทั้งหมด 8 หมวด และได้คะแนนจากการประเมิน 85 คะแนน ดังแสดงในภาพที่ 49



ภาพที่ 49 คะแนนที่ได้รับตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว TREES-NC

[ที่มา: ประภัสสร วงศ์ยืน และวิทยา ยงเจริญ (2558)]

ผลการประเมินหลังจากปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย พบว่าอาคารสำนักงานกรณีศึกษาสามารถผ่านเกณฑ์การประเมินในระดับได้รับการ

รับรอง และสามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารลดลงจากมาตรการเพิ่มผนังทึบและใส่ฉนวนกันความร้อนหลังคา เท่ากับ 17,131 kWh/year คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 67,520 บาทต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 7.4 ปี

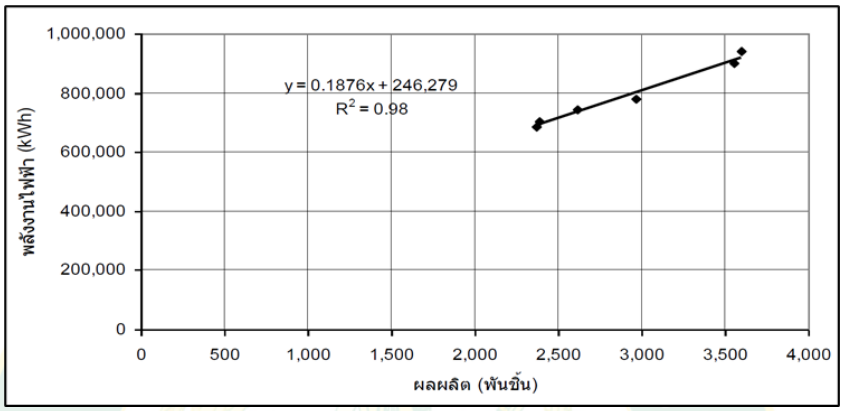
พิเชฐ ปะเสนะ และสมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2557) เพื่อพัฒนาระบบการจัดการพลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) ไปสู่มาตรฐานสากล ISO 50001:2011 โดยศึกษาจาก บริษัท ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งเข้าข่ายเป็นโรงงานควบคุม โดยการเปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการพลังงานทั้ง 2 ระบบ บนพื้นฐานของ PDCA ดังแสดงในภาพที่ 50

P-D-C-A	การจัดการพลังงานตามกฎหมาย	ISO 50001:2011
ขอบข่ายและการบริหารงาน	ขั้นตอนที่ 1 การแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน	4.1 ข้อกำหนดทั่วไป
	ขั้นตอนที่ 2 การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงาน	4.2 ความรับผิดชอบของฝ่ายบริหาร
P (Plan)	ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน	4.3 นโยบายพลังงาน
	ขั้นตอนที่ 4 การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	4.4 การวางแผนด้านพลังงาน
	ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน	
D (Do)	ขั้นตอนที่ 6 การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานและการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน	4.5 การนำไปปฏิบัติและการดำเนินการ
C (Check)	ขั้นตอนที่ 7 การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน	4.6 การตรวจ
A (Action)	ขั้นตอนที่ 8 การทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน	4.7 การทบทวนของฝ่ายบริหาร

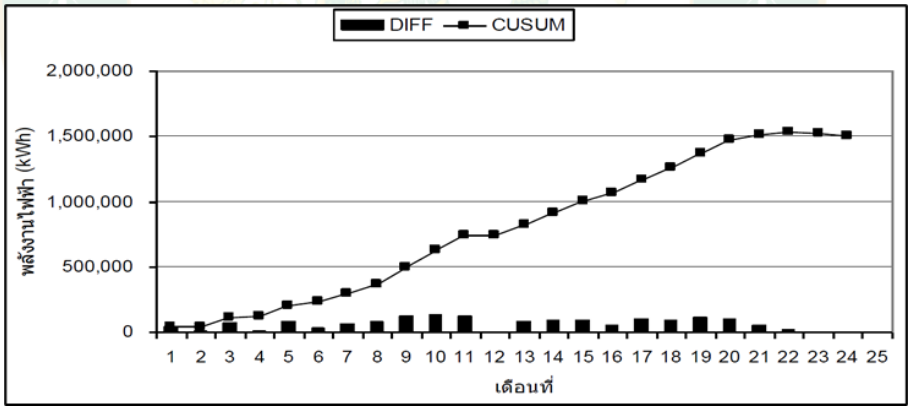
ภาพที่ 50 การเปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการพลังงานตามกฎหมายกับมาตรฐาน ISO 50001:2011 [ที่มา: พิเชฐ ปะเสนะ และสมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2557)]

จากการเปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการพลังงาน พบว่า การจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบ ISO 50001 ได้ทุกขั้นตอน แต่เนื้อหาของ ISO 50001 จะมีมากกว่า เนื่องด้วยมีกระบวนการทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้การใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (SEC) นำมากำหนดเป้าหมายจากตัวชี้วัดด้านพลังงาน (EnPI) ของโรงงานให้เกิดการแก้ปัญหาอย่างตรงจุด ด้วยวิธีการการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control: SPC) มาประยุกต์ใช้กับการจัดการพลังงาน มีการวิเคราะห์ข้อมูลจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนและผลผลิตรายเดือน เพื่อนำเสนอเป็นกราฟต่าง ๆ ทำให้เกิดการมองเห็นข้อมูลเชิงเปรียบเทียบได้ง่ายและชัดเจน ด้วยวิธีการ การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) และ กราฟ DIFF และ CUSUM (Difference and Cumulative Summation of Difference Chart) ผู้วิจัยได้

รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และผลผลิตในรอบ 2 ปี นำข้อมูลไปสร้างกราฟการกระจายตัวของข้อมูลเพื่อวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายและหาสมการเส้นฐานของข้อมูลรวม จะได้สมการเส้นฐานดังแสดงในภาพที่ 51 จากนั้นนำเส้นฐานไปวิเคราะห์หาค่าอ้างอิง (พลังงานไฟฟ้าฐาน) และนำข้อมูลทั้งหมดสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM ได้ดังแสดงในภาพที่ 52 และสรุปหาปริมาณพลังงานที่มีศักยภาพที่จะประหยัดได้



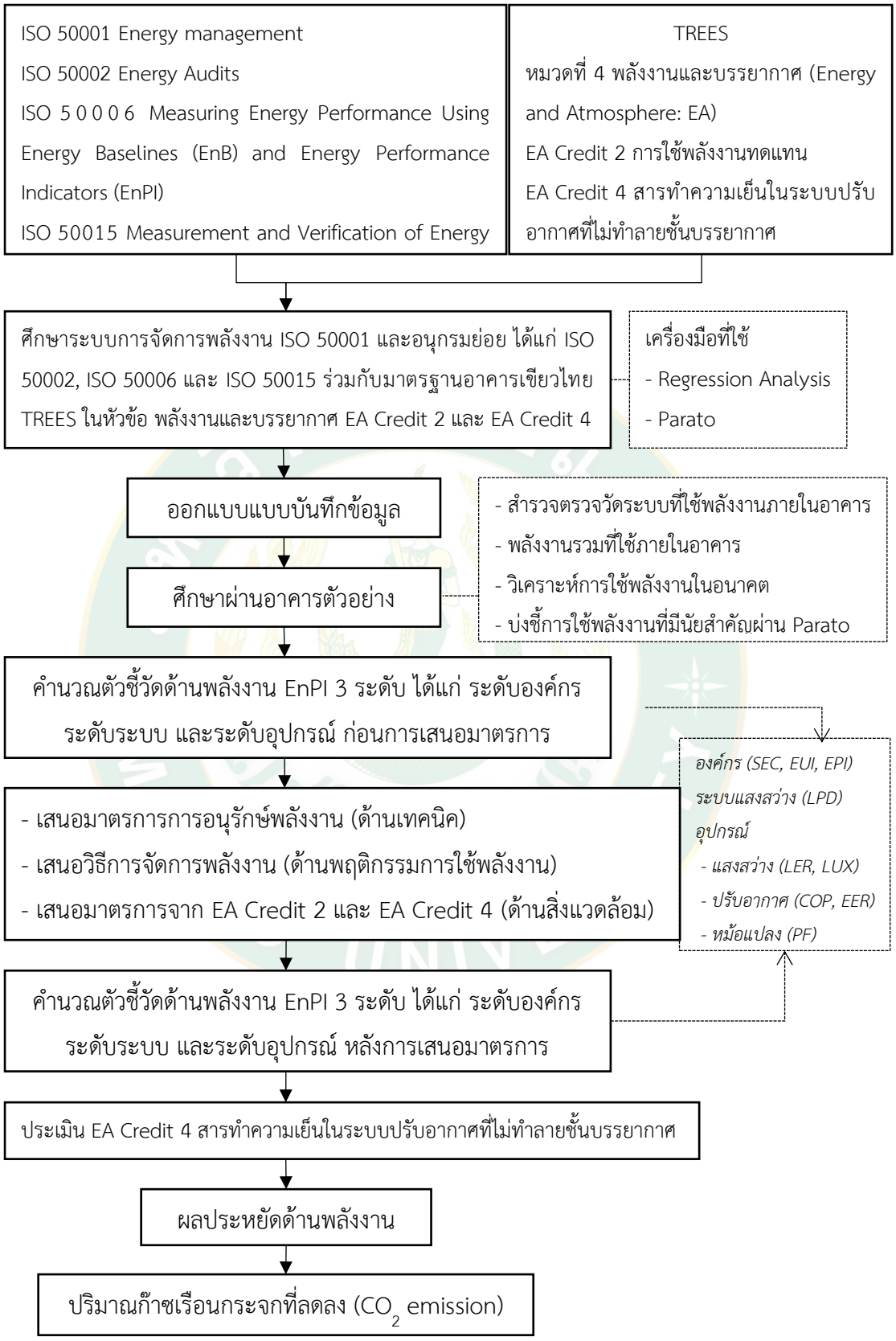
ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์เชิงเส้นการถดถอยระหว่างผลผลิตกับพลังงานไฟฟ้า
[ที่มา: พิเชฐ ปะเสนะ และสมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2557)]



ภาพที่ 52 ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษา
[ที่มา: พิเชฐ ปะเสนะ และสมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2557)]

จากค่าปริมาณพลังงานที่มีศักยภาพประหยัดได้ในรอบ 2 ปี พบว่า ปีที่ 1 (เดือนที่ 1-12) และปีที่ 2 (เดือนที่ 13-24) จะมีศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานที่ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 48.62% และ 51.38% ตามลำดับ เมื่อคิดปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวม 2 ปี เท่ากับ 20,929,560 kWh มีค่าเป็น 7.18% หมายความว่าจะสามารถลดการใช้พลังงานได้อีก 7.18% โดยมีเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง 6 เดือนมากำหนดเป็นเป้าหมาย และดำเนินการตามมาตรการการอนุรักษ์พลังงานพร้อมทั้งทบทวนระบบการจัดการพลังงานทุก ๆ 1 ปี

จากงานวิจัยข้างต้นที่มีความเกี่ยวข้องกัน แสดงให้เห็นว่า ระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001 และเกณฑ์อาคารเขียวไทย ยังไม่มีการนำระบบการจัดการพลังงานดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน หากนำแนวคิดมาประยุกต์ใช้กับอาคารสถานศึกษาของมหาวิทยาลัยแม่โจ้โดยใช้มาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับ TREES จะเกิดประโยชน์ จึงเป็นที่มาของกรอบแนวคิดในงานวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 53



ภาพที่ 53 กรอบแนวคิดงานวิจัย

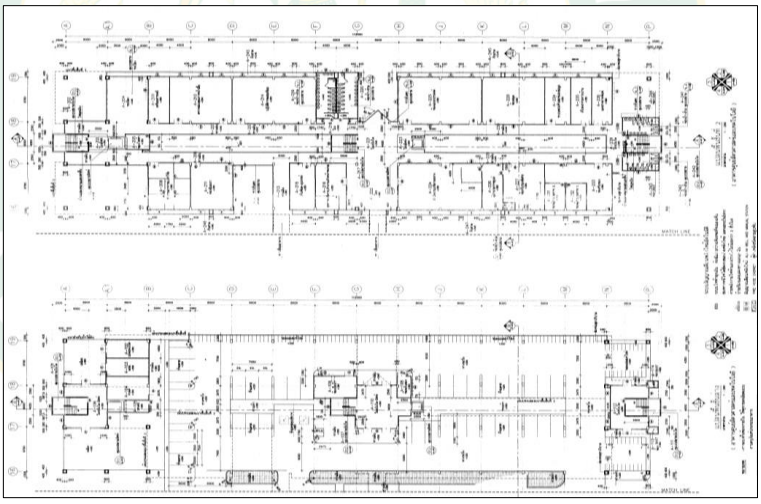
บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

รวบรวมข้อมูลและตรวจวัดการใช้พลังงานในอาคาร

ในงานวิจัยนี้จะต้องดำเนินการตรวจวัดการใช้พลังงานภายในอาคาร เพื่อนำข้อมูลจากการตรวจวัดมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์การจัดการพลังงาน ISO 50001 ร่วมกับ TREES ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลพื้นฐานของอาคารตาม ISO 50002 โดยใช้แบบบันทึกข้อมูลตามมาตรฐาน ASHRAE Preliminary Energy Use และ ASHRAE Level 1 Walk-Through เช่น ลักษณะการใช้งานอาคาร เวลาการใช้งานของอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน พื้นที่ใช้สอยของอาคารตามแบบแปลนของอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 54 พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร เวลาเปิดปิดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า



ภาพที่ 54 แปลนอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร จากมิเตอร์วัดพลังงานที่มีการบันทึกค่าพลังงานทั้งอดีตและปัจจุบัน โดยมีการบันทึกเป็นข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนย้อนหลังอย่างน้อย 1 ปี

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจวัดพลังงานแต่ละระบบภายในอาคารโดยมี ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบอื่น ๆ (เครื่องใช้ไฟฟ้า) และ หม้อแปลงไฟฟ้าและตู้ MDB

1. ระบบปรับอากาศ ตรวจวัดเครื่องปรับอากาศ ลักษณะหรือชนิด ยี่ห้อ ขนาดทำความเย็น ปีที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในอาคารตัวอย่าง การเก็บบันทึกข้อมูลและการตรวจวัด แบ่งออกเป็น

2 ประเภท ได้แก่ ด้านพฤติกรรมการใช้งาน จะเก็บข้อมูลจากการสอบถามพฤติกรรมผู้ที่ใช้งานเป็นประจำ และด้านประสิทธิภาพ ทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ ชนิดเครื่องปรับอากาศ ลักษณะการติดตั้ง ชนิดสารทำความเย็น ขนาดเครื่องปรับอากาศ ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศในแต่ละห้อง และเก็บข้อมูลด้านเครื่องระเหย (Evaporator) เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทางด้านลมกลับและลมจ่าย พื้นที่หน้าตัดช่องส่งลมกลับ ความเร็วลมบริเวณหน้าตัดช่องลมกลับ และส่วนสุดท้าย คือ เครื่องอัดไอ (Compressor) วัดกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศในช่วงที่เครื่องอัดไอกำลังทำงาน

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) ดังแสดงในภาพที่ 55

วัดกำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน โดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter) ดังภาพภาพที่ 56

หาเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์โดยประเมินอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศมีการทำงานของคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 63%

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

ภาพที่ 55 ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ช่องส่งลมเย็นและช่องลมกลับ

ภาพที่ 56 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องอัดไอ

2. สารทำความเย็นภายในอาคาร ทำการตรวจสอบการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เป็นต้น เพื่อตรวจสอบชนิดของสารทำความเย็น โดยการสังเกตจากการดูฉลากระบบปรับอากาศหรือตู้เย็นชนิดนั้น ๆ เพื่อตรวจสอบมีการใช้สาร CFC และ CFC-22 ภายในอาคารหรือไม่

3. ระบบแสงสว่าง ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลโดยจะต้องเก็บข้อมูลที่ใช้ประการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง คือ ทางเทคนิค ประกอบไปด้วย ประเภทของหลอดไฟ ค่าความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ (LUX) เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ส่วนที่สอง คือ สำรวจจากพฤติกรรมจากผู้ใช้พลังงานภายในอาคาร

สำหรับด้านประสิทธิภาพสำรวจและตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าหลอดและบัลลาสต์ โดยการนำข้อมูลจาก Name Plate ที่อยู่บนหลอดไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 57 จากนั้นตรวจวัดพื้นที่ห้องแต่ละ

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

ภาพที่ 57 กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟจาก Name Plate

โดยวิธีการตรวจวัดค่าความสว่าง จะใช้วิธีตรวจวัดแบบจุด (Spot Measurement) (ประกาศกระทรวงพลังงาน, 2552) เป็นการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างบริเวณที่มีคนต้องทำงานโดยใช้สายตาเฉพาะจุดหรือต้อง ใช้สายตาอยู่กับที่ในการทำงาน หรือจุดที่ทำงาน (Point of Work) โดยจะวางเครื่องวัดความสว่างในแนวระนาบเดียวกับชิ้นงาน หรือพื้นผิวที่สายตาตกกระทบแล้วอ่านค่า ซึ่งค่าที่อ่านได้นำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549

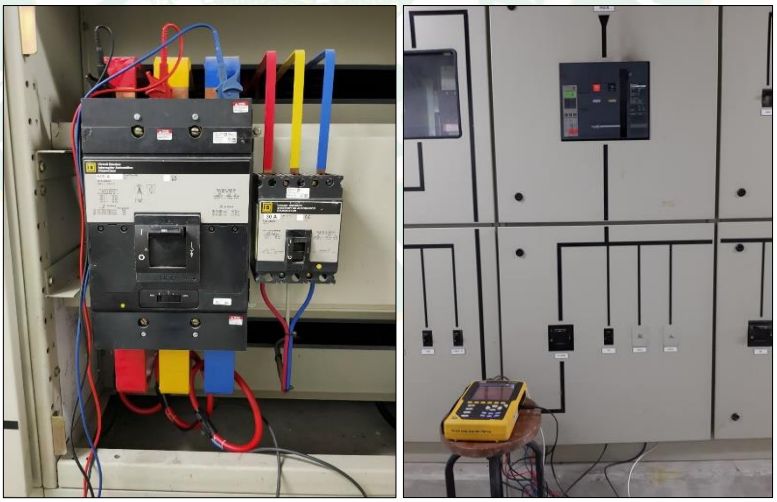
วิธีการเก็บข้อมูลค่าความสว่าง จะเริ่มจากแบ่งพื้นที่การตรวจวัดในแต่ละห้องเป็น 3 จุด คือ บริเวณหน้าห้อง บริเวณกลางห้อง และบริเวณหลังห้อง โดยจุดที่ตรวจวัดเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีแสงสว่างมากและน้อยของห้องนั้น การตรวจวัดจะนำอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความสว่างในตำแหน่งตรวจวัดที่กำหมด โดยวางอุปกรณ์บนระนาบที่ใช้งานสายตาทำงานของบุคคล เช่น ห้องเรียนจะมีการใช้งานสายตาบนโต๊ะเรียนให้วางอุปกรณ์ตรวจวัดบนระนาบที่มีการใช้สายตา ดังแสดงในภาพที่ 58 เป็นต้น

ข้อควรระวังจุดที่ตรวจวัดจะต้องหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางบดบังแสง การตรวจวัดในตำแหน่งเดิมแต่พบว่าได้ค่าความสว่างไม่เท่ากันให้ใช้ค่าที่ต่ำที่สุด จุดตรวจวัดไม่ควรที่จะติดผนังหรือสิ่งกีดขวางมากเกินไป สุดท้ายหาค่าเฉลี่ยค่าความสว่างในจุดที่การตรวจวัดตรวจวัดสรุปเป็นแต่ละห้อง

ภาพที่ 58 วัดค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ (Lux) เฉพาะจุดที่ทำงาน

4. ระบบอื่น ๆ สำรวจพื้นที่ภายในอาคารเพื่อเก็บข้อมูลและตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดในแต่ละห้องของอาคารที่ทำการศึกษา

5. หม้อแปลงไฟฟ้าและตู้สวิตช์ประธาน (Main Distribution Board: MDB) โดยใช้เครื่องมือวัดทำการเก็บข้อมูลจากตู้ MDB เช่น กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า พาวเวอร์แฟกเตอร์ (PF) ทำการเก็บบันทึกข้อมูลทุก ๆ 15 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน ดังแสดงในภาพที่ 59 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานของอาคาร



ภาพที่ 59 การตรวจวัดด้านไฟฟ้าของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีที่ตู้ MDB

ขั้นตอนที่ 4 จากการสำรวจบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ข้อมูลจากการตรวจวัดพลังงานหรือข้อมูลด้านพลังงาน (Energy Baselines: EnB) จะถูกนำมาแจกแจงอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อเขียนแผนภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร และแบ่งเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานของแต่ละระบบ จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear

Regression Analysis) เป็นเครื่องมือ เพื่อบ่งชี้การใช้ที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use: SEU) ผ่านกราฟพาเรโต

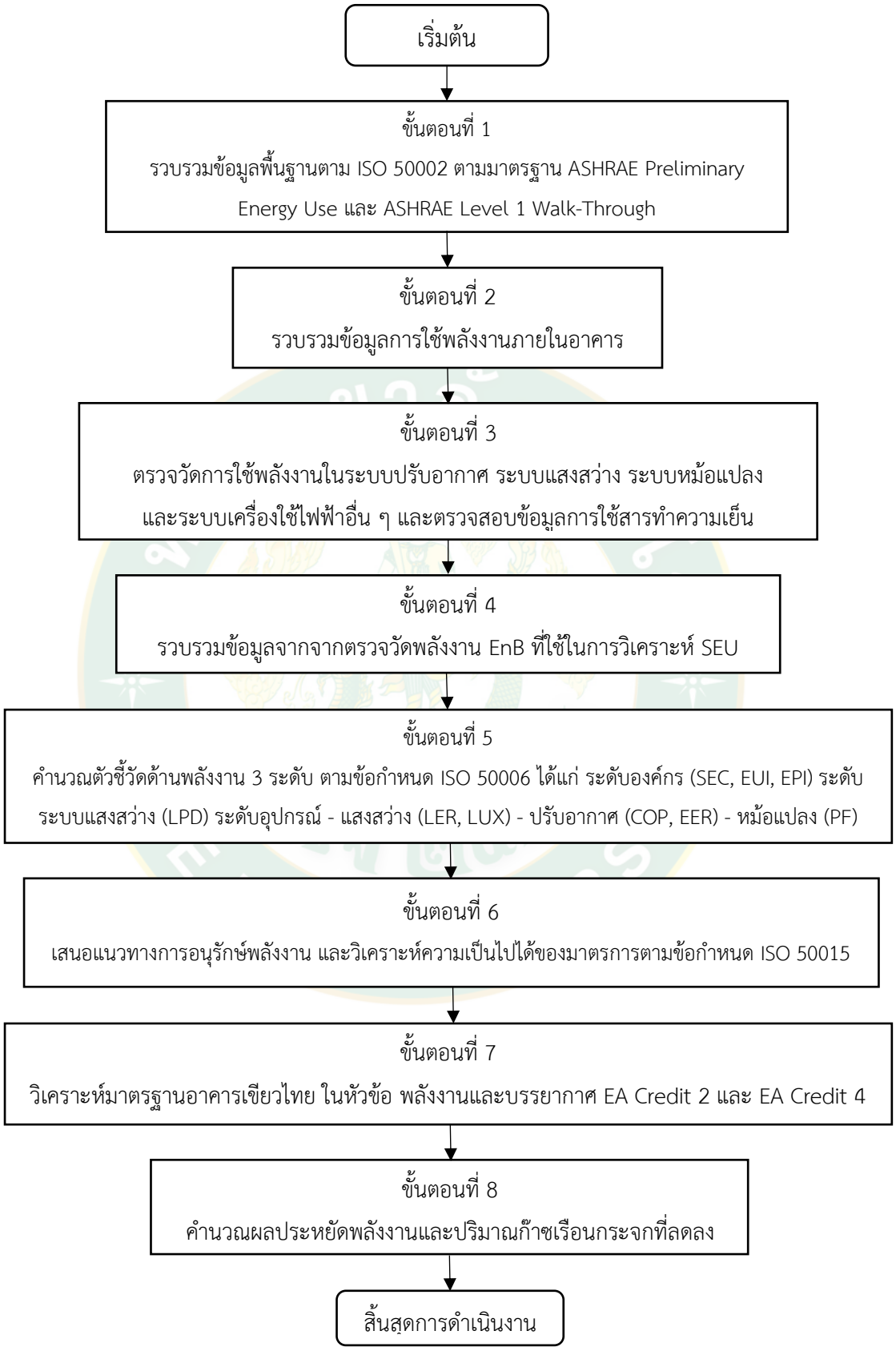
ขั้นตอนที่ 5 เพื่อกำหนดเป้าหมายลดการใช้พลังงานตามข้อกำหนด ISO 50006 มาตรฐานที่เป็นข้อแนะนำ สำหรับองค์กรณ์ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะพลังงาน โดยใช้ข้อมูลฐานด้านพลังงาน (Energy Baselines) โดยการกำหนดตัวชี้วัดด้านพลังงาน (Energy Performance Indicators: EnPIs) ที่ส่งผลให้เป็นไปตามเป้าหมายในการลดการใช้พลังงาน ซึ่งจะแบ่งตัวชี้วัดออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับองค์กร ระดับระบบ ระดับเครื่องจักรอุปกรณ์หรือกระบวนการ

ขั้นตอนที่ 6 สรุปข้อมูลจากการตรวจวัดและการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการเสนอมาตรการการอนุรักษ์พลังงานตามข้อกำหนด ISO 50015 มาตรฐานว่าด้วยหลักการทั่วไปและข้อแนะนำสำหรับระบบการจัดการพลังงาน ในการวัดผลและยืนยันผลการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะด้านพลังงานขององค์กร พร้อมทั้งวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของมาตรการ

ขั้นตอนที่ 7 วิเคราะห์มาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES ในหมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) ในข้อกำหนด EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน และ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ

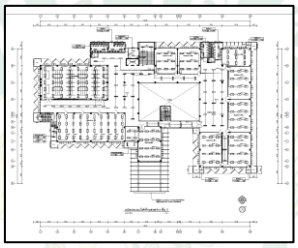
ขั้นตอนที่ 8 ประเมินผลประหยัดด้านพลังงานและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการเสนอมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจในวิธีการดำเนินการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 60



ภาพที่ 60 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในดำเนินงานวิจัย

ชื่ออุปกรณ์	รูป	ยี่ห้อ รุ่น คุณสมบัติ
อุปกรณ์สำหรับวัดระบบการแสงสว่าง		
ลักซ์มิเตอร์		CENTER 337 สามารถวัดความเข้มของแสงสว่าง ได้ตั้งแต่ 0-40,000 lx หรือ 0-4,000 fc
แบบอาคาร		แปลนอาคารเพื่อใช้บันทึกตำแหน่งของดวงโคมและหลอดไฟ
อุปกรณ์สำหรับวัดระบบปรับอากาศ		
แคลมป์มิเตอร์		UNI-T รุ่น UT231 โดยใช้วัดกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พาวเวอร์แฟกเตอร์ กำลังไฟฟ้าอุณหภูมิ
ไขควงเช็คไฟ		SOLO ใช้เพื่อตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหล
เครื่องวัดความเร็วลม		Lutron รุ่น AH-4223 สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความเร็วลม
อุปกรณ์สำหรับวัดหม้อแปลงไฟฟ้า		
ถุงมือยางกันไฟฟ้า		NOVAX ถุงมือยางกันกระแสไฟฟ้า สามารถป้องกันแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 1 kV

ชื่ออุปกรณ์	รูป	ยี่ห้อ รุ่น คุณสมบัติ
เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า		Chauvin Arnoux รุ่น CA-8332B เครื่องบันทึกและวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าระบบ 1 เฟส และ 3 เฟสและฮาร์มอนคส์ แบบดิจิตอล สามารถวัดค่าทุกพารามิเตอร์ได้พร้อม ๆ กัน
อุปกรณ์อื่น ๆ		
ตลับเมตร		KOMELON รุ่น PS59E ใช้วัดความยาว 5 m หรือ 16 ft
สว่านไฟฟ้า		ZINSANO สว่านไฟฟ้าขนาด 12 V – ION 1.5 A

3.3 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการสำรวจตรวจวัดการใช้พลังงานภายในอาคารมหาวิทยาลัย ซึ่งต้องดำเนินการวิเคราะห์การใช้พลังงาน เพื่อประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับ TREES โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

- วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใชพลังงานจาก ค่า Energy Utilization Index (EUI)

$$EUI = \frac{(\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐาน}) - \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง}}{\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐาน}} \times 100\%$$ สมการที่ 10

เมื่อ EUI คือ ดัชนีการใช้พลังงาน (%)

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

- วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก ค่า Energy Performance Index (EPI)

$$EPI = \frac{EUI_{Present}-EUI_{Base}}{EUI_{Base}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 11}$$

เมื่อ EPI คือ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (%)

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

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

- วิเคราะห์ ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

$$SEC = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้/ผลผลิต} \qquad \text{สมการที่ 12}$$

เมื่อ SEC คือ ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kWh/unit)

ระบบปรับอากาศ วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบ คำนวณหาสมรรถนะของระบบปรับอากาศ คือ ค่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP) หาได้จากสมการที่ 2

$$EER = 3.412 \times COP \qquad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ COP คือ สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (W)

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

การวิเคราะห์การรั่วไหลของสารทำความเย็น (Rattawut Sudsanguan andSulaksana Mongkon. (2017))

$$E_{total} = E_{container,t} + E_{charge,t} + E_{lifetime,t} + E_{end\ of\ life,t} \qquad \text{สมการที่ 14}$$

เมื่อ E_{total} คือ ปริมาณการปล่อยสาร HFC ทั้งหมด

$E_{container,t}$ คือ ปริมาณการปล่อยสาร HFC ในปี t (kg)

$E_{charge,t}$ คือ ปริมาณการปล่อยสาร HFC ซึ่งสัมพันธ์กับการบรรจุสารทำความเย็น (kg)

$E_{lifetime,t}$ คือ ปริมาณการปล่อยสาร HFC ที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวกการผลิตในปี t (kg)

$E_{end\ of\ life,t}$ คือ ปริมาณสาร HFC ที่ถูกปล่อยออกมาในขั้นตอนการทำลายผลิตภัณฑ์ในปี t (kg)

- ระบบแสงสว่าง วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบ คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบแสงสว่าง

ค่า (LUX) แสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ จากการตรวจวัด

ค่า (LPD) ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density: LPD) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$LPD = B/A \qquad \text{สมการที่ 15}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ห้องหรือพื้นที่อาคารทั้งหมด (m^2)

B คือ กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (W)

LPD คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (W/m^2)

ค่า Lighting Efficacy Ratio ดังสมการต่อไปนี้

$$LER = lumens/B \qquad \text{สมการที่ 16}$$

เมื่อ LER คือ ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (lumens /W)

Lumens คือ ค่าความส่องสว่างของแสง (lumens)

B คือ กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (W)

- ระบบอื่น ๆ วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบ

- หม้อแปลงไฟฟ้าและตู้สวิตช์ประธาน (Main Distribution Board: MDB) วิเคราะห์ ค่า PF แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน สรุปขนาดหม้อแปลงเพื่อประเมินขนาดที่เหมาะสำหรับการใช้งานในอาคารตัวอย่างหรือไม่

- เสนอมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน พร้อมทั้งแนะนำแนวทางการใช้พลังงานทดแทนเข้ามาใช้ภายในอาคาร

- วิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ลดลงจากการทำระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับ TREES ดังสมการต่อไปนี้

$$CO_2\text{emission} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ลงลด} \times EF \qquad \text{สมการที่ 17}$$

เมื่อ CO_2emission คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง

EF คือ ค่า Emission Factor ของพลังงานไฟฟ้า 1 kWh มีค่า 0.5821 $kgCO_2eq/kWh$ จาก Thailand Grid Mix Electricity LCI Database 2557 (2014)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลในอาคารตัวอย่างเพื่อศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES ขอนำเสนอผลการศึกษาเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

2) ผลการวิเคราะห์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน (Existing Building) ในหมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) ได้แก่ EA 2 การใช้พลังงานทดแทน และ EA 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ

3) การวิจารณ์ผลการศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES

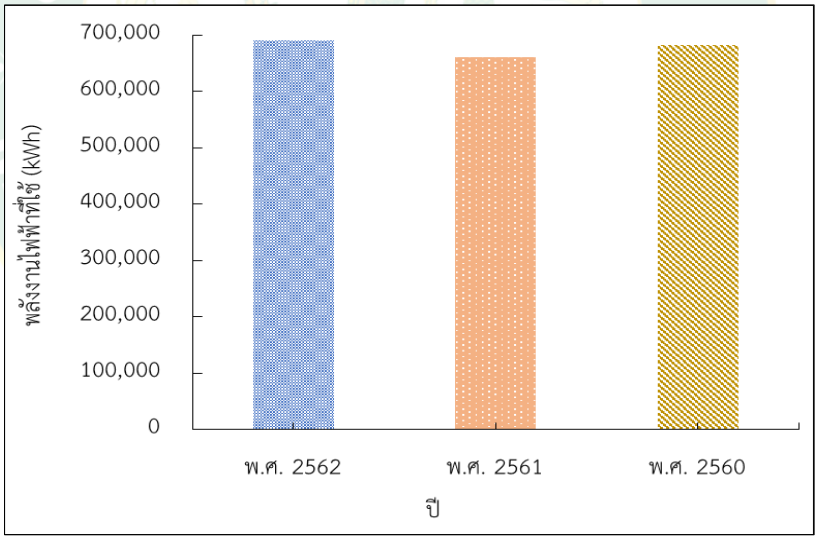
4.1 อาคารตัวอย่างในงานวิจัย

คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีก่อตั้งขึ้นจากภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร ต่อมามหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้ประกาศจัดตั้งเป็นคณะฯ เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2551 ตั้งอยู่เลขที่ 252 หมู่ 8 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ มีพื้นที่รวมประมาณ 400 ไร่ ประกอบด้วยพื้นที่อาคารเรียนและอาคารประชุม พื้นที่ฟาร์มสุกร พื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก และพื้นที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ โดยมีการใช้งานอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติเป็นอาคารหลัก ดังแสดงในภาพที่ 61

ภาพที่ 61 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

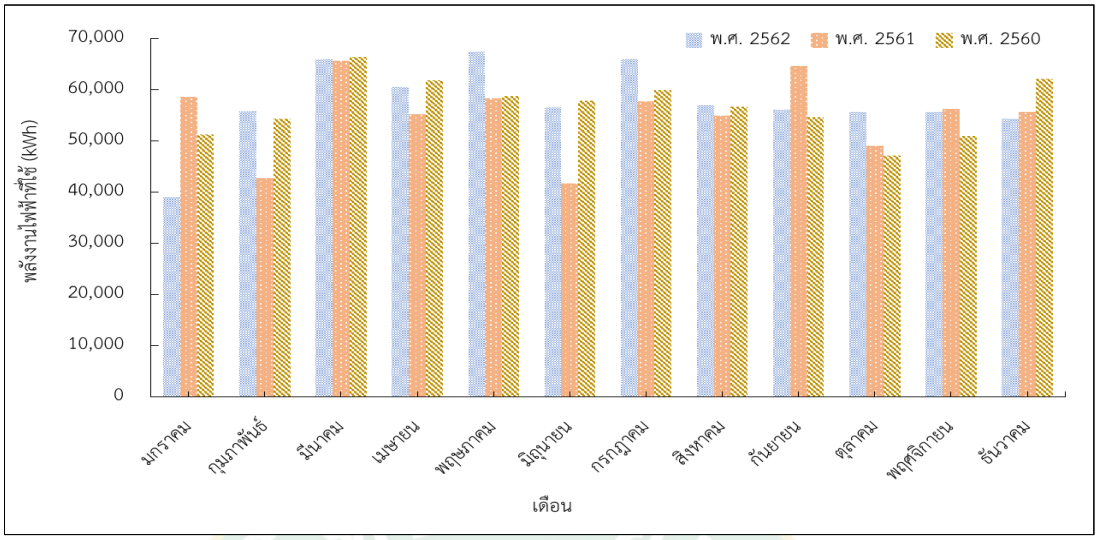
โดยเริ่มเปิดสอนครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2518 ในปัจจุบันคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้ารวม 2,050 kVA จึงถูกขึ้นทะเบียนเป็นพื้นที่อาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไข พ.ศ. 2550) จากข้อกำหนดในพื้นที่ที่มีขนาดหม้อแปลงไฟฟ้ารวม 1,175 kVA ขึ้นไป ต้องขึ้นทะเบียนเป็นอาคารควบคุม

ในปัจจุบันมีการเรียนการสอนในระดับบัณฑิตศึกษา ได้แก่ ระดับปริญญาตรีมีสาขาวิชาต่าง ๆ ได้แก่ สาขาสัตว์ปีก สาขาการผลิตสุกร สาขาโคนมและโคเนื้อ สาขาอาหารสัตว์ ระดับปริญญาโท ได้แก่ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ และสาขาวิชาการจัดการธุรกิจภาคปศุสัตว์ และระดับปริญญาเอก ได้แก่ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ โดยมีบุคลากรภายในคณะฯ จำนวน 73 คน และมีนักศึกษา จำนวน 757 คน แบ่งเป็น นักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 724 คน นักศึกษาระดับปริญญาโท จำนวน 28 คน และนักศึกษาระดับปริญญาเอก จำนวน 5 คน ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2562 รวม 690,904.01 kWh คิดเป็นเงิน 2,677,912.25 บาท โดยมีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.88 บาท/kWh ในปี พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2560 มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 661,336.02 kWh และ 682,900.00 kWh ตามลำดับ พบว่า จะมีแนวโน้มการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มในทุก ๆ ปี ดังแสดงในภาพที่ 62



ภาพที่ 62 ปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังรายปี

การเก็บข้อมูลการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 - พ.ศ. 2562 โดยมีข้อมูลรายเดือนจากบิลค่าไฟ ดังแสดงในภาพที่ 63 พบว่า ในเดือน มีนาคม ของทุกปีจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นเดือนที่เข้าสู่ฤดูร้อนทำให้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น จึงมีผลต่อการใช้งานเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร อีกทั้งยังมีการเรียนการสอนที่อยู่ในช่วงการสอบปลายภาคของทุก ๆ ปี



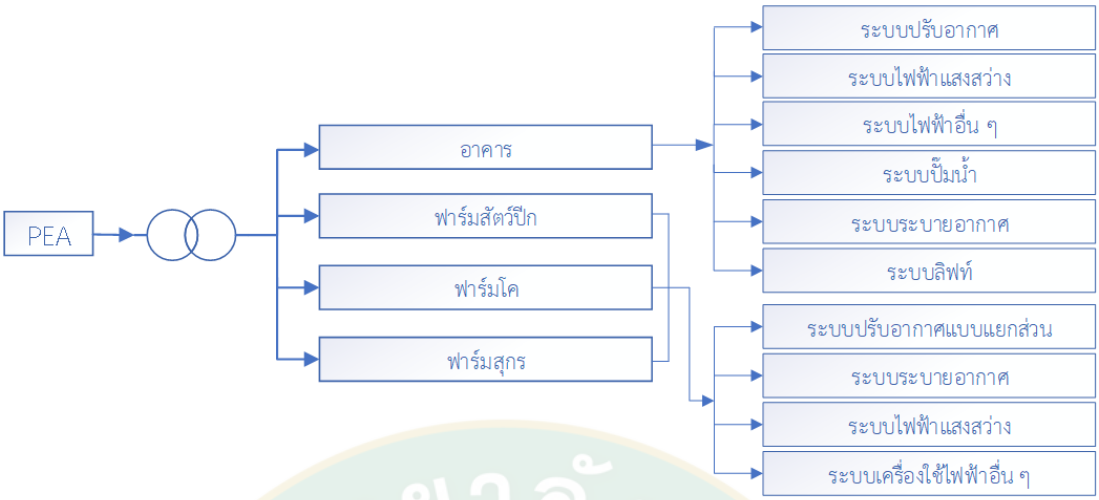
ภาพที่ 63 ปริมาณความต้องการในการชใช้พลังงานไฟฟ้าหลังรายเดือน

คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าที่ติดตั้งตามพื้นที่ต่าง ๆ ของคณะฯ ทั้งหมด จำนวน 4 ลูก ประกอบด้วย 1) ขนาด 1,500 kVA จำนวน 1 ลูก 2) ขนาด 250 kVA จำนวน 2 ลูก และ 3) ขนาด 50 kVA จำนวน 1 ลูก ถูกคิดอัตราการใช้ไฟฟ้า TOU ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า 3224 ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของคณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

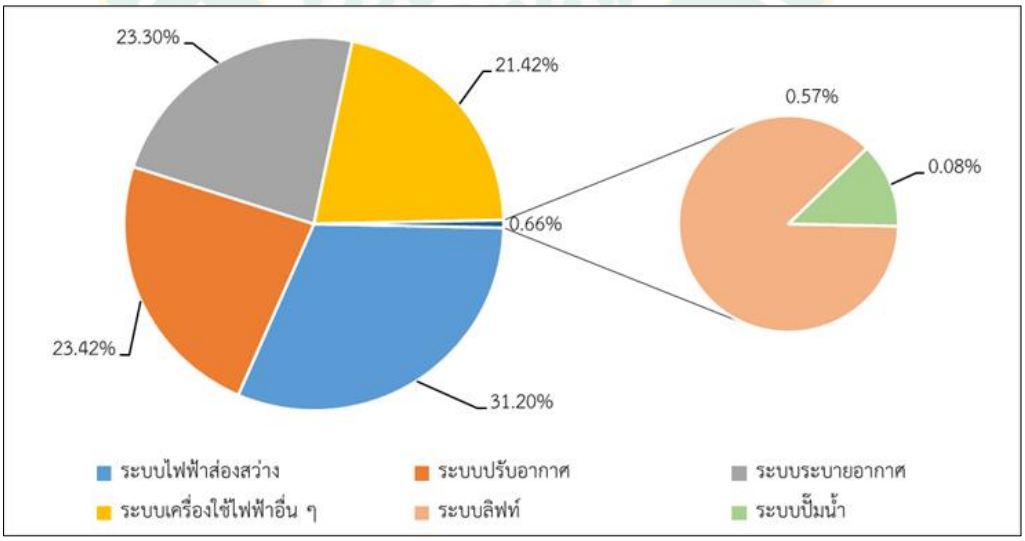
หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า	หมายเลขเครื่องวัดไฟฟ้า	ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	อัตราการใช้ไฟฟ้า	หม้อแปลงไฟฟ้า
9850-020004553162	23055970	3224	☐ ปกติ ☑ TOU ☐ TOD	ขนาด 1,500 kVA ขนาด 250 kVA ขนาด 250 kVA ขนาด 50 kVA

โดยแสดงแผนภาพไดอะแกรมการใช้พลังงานภายไฟฟ้าแยกตามระบบในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ดังแสดงในภาพที่ 64



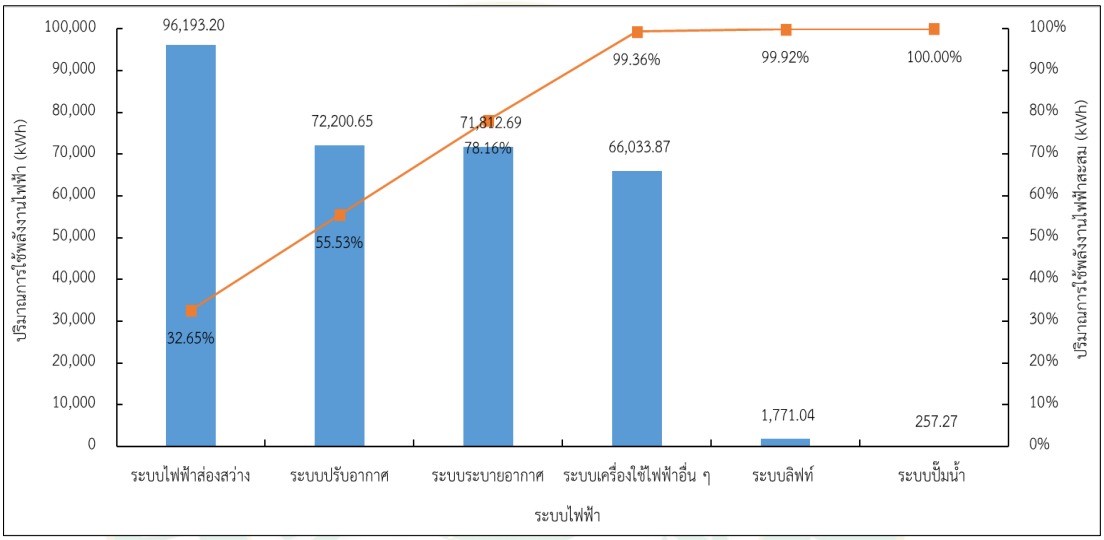
ภาพที่ 64 ไดอะแกรมการใช้พลังงานภายไฟฟ้าในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

จากการสำรวจตรวจวัดพื้นที่และปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถแบ่งสัดส่วนการใช้พลังงาน ตามเกณฑ์ International Standard ISO 50002 Energy Audits - Requirements with Guidance for Use โดยใช้กราฟวงกลม (Pie Chart) ออกเป็น 6 ระบบ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 31.20% ระบบปรับอากาศ 23.42% ระบบระบายอากาศ 23.30% ระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 21.42% ระบบลิฟท์ 0.57% และระบบปั๊มน้ำ 0.08% ดังแสดงในภาพที่ 65



ภาพที่ 65 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ลักษณะการใช้พลังงาน (Energy Use) เพื่อประเมินหาลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use: SEU) โดยองค์กรจะต้องกำหนดเกณฑ์ในการบ่งชี้ SEU ขององค์กรด้านพลังงานที่แสดงไว้ใน ISO 50004 Energy Management Systems - Guidance for the Implementation, Maintenance and Improvement of an Energy Management System มาตรฐานที่เป็นข้อแนะนำ สำหรับองค์กรในการจัดทำ นำไปปฏิบัติ คงรักษาไว้ และการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน ใช้เทคนิคพาเรโตในการบ่งชี้ลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมภายในคณะสัตวศาสตร์ฯ ดังแสดงในภาพที่ 66



ภาพที่ 66 พาเรโตแสดงปริมาณการใช้พลังงานสะสมและลักษณะการใช้พลังงานใน 1 ปี

กำหนดเกณฑ์ในการบ่งชี้ลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (SEU) คือ ลักษณะการใช้พลังงานที่มีปริมาณการใช้พลังงานรวมกันมากกว่า 80% ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด ซึ่งจะได้ลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ 3 พื้นที่ ได้แก่

1) ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (31.20%) ปริมาณการใช้พลังงาน 96,193.20 kWh

2) ระบบปรับอากาศ (23.42%) ปริมาณการใช้พลังงาน 72,200.65 kWh

3) ระบบระบายอากาศ (23.30%) ปริมาณการใช้พลังงาน 71,812.69 kWh

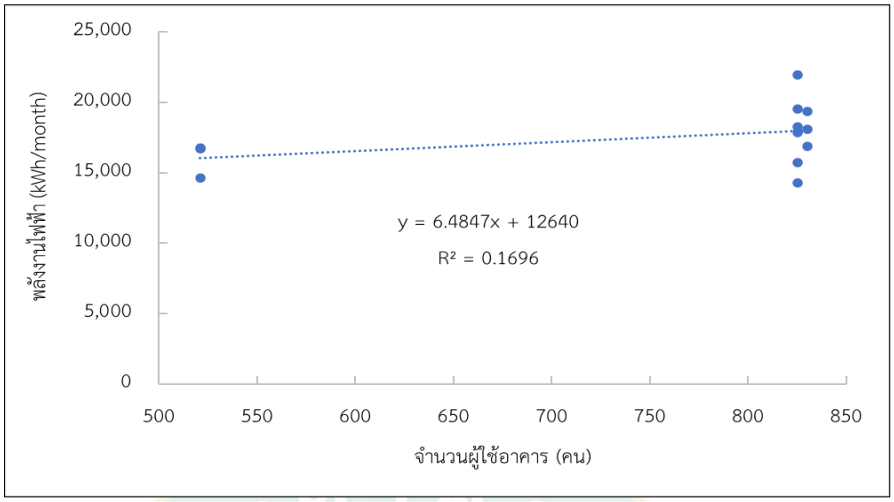
โดยลักษณะการบ่งชี้การใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญตามเทคนิคพาเรโต จะมีปริมาณการใช้พลังงานสะสมรวม 78.16% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์การบ่งชี้พลังงานที่มีนัยสำคัญ

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานรายเดือนของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ เมื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ได้แก่ ตัวประมาณการ (Predictor: X) และตัวตอบสนอง (Response: Y) โดยตัวแปรตามคือตัวแปรหรือคุณลักษณะของข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ พบว่า มีการ

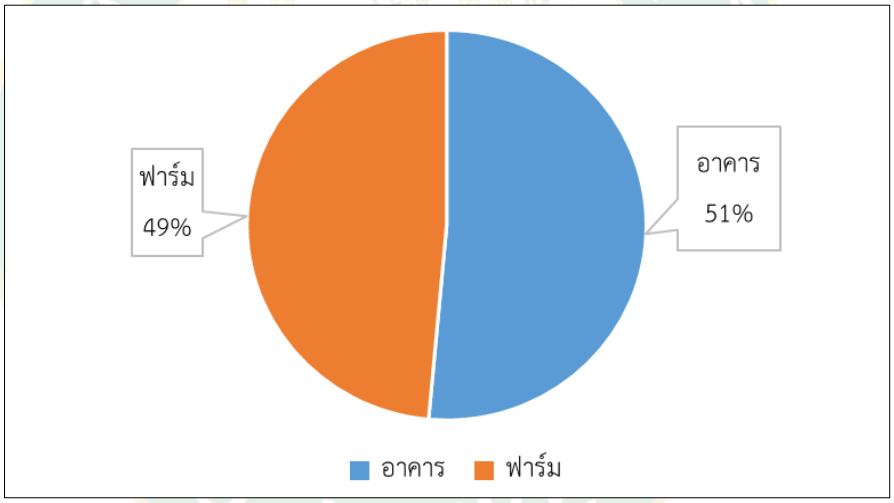
ใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน เฉลี่ย 17,505 kWh/month และมีจำนวนผู้ใช้งานอาคารเฉลี่ย 750.25 คน/เดือน ดังแสดงในตารางที่ 18 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณจำนวนผู้ใช้งานอาคาร จะอยู่ในระดับที่ไม่สูงมากนัก (R^2 = 0.169) มีสาเหตุมาจากจำนวนผู้ใช้งานอากาศอาจจะไม่ใช่ตัวแปรหลักของความต้องการการใช้พลังงานเพียงอย่างเดียว สิ่งที่เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง และปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นภาระส่วนใหญ่ของระบบปรับอากาศของอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 67

ตารางที่ 18 จำนวนผู้ใช้งานอาคารและพลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ

เดือน	จำนวนผู้ใช้งานอาคาร (คน)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
มกราคม	830	18,120	24.05
กุมภาพันธ์	825	15,720	25.55
มีนาคม	825	17,880	28.70
เมษายน	521	14,640	29.83
พฤษภาคม	521	16,680	34.15
มิถุนายน	521	16,740	30.83
กรกฎาคม	830	19,380	29.20
สิงหาคม	825	21,960	28.48
กันยายน	825	19,560	28.98
ตุลาคม	825	18,240	28.30
พฤศจิกายน	830	16,860	27.00
ธันวาคม	825	14,280	25.73
ค่าเฉลี่ย	**750.25**	**17,505**	**28.40**



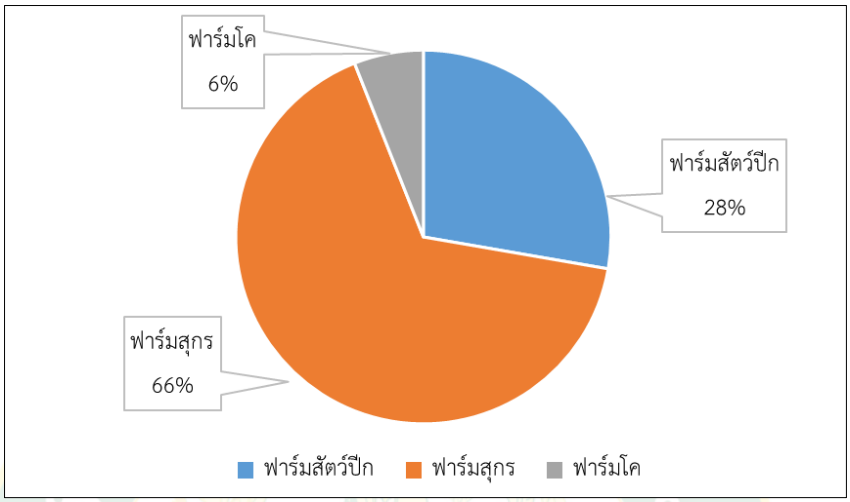
ภาพที่ 67 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับจำนวนผู้ใช้งานอาคารของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ



ภาพที่ 68 สัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างอาคารและพื้นที่ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากภาพที่ 68 แสดงปริมาณการใช้พลังงานในพื้นที่อาคารและพื้นที่ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี จากการสำรวจตรวจวัดตามข้อกำหนด ISO 50002 พบว่า ทั้งสองพื้นที่มีปริมาณการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน โดยส่วนของอาคาร ที่มีอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารศูนย์ประชุมนานาชาติ มีการใช้พลังงาน ประมาณ 158,603.26 kWh/year คิดเป็น 51% ของการใช้พลังงานทั้งหมด โดยส่วนของอาคารจะมีค่า EUI ที่คิดเฉพาะพื้นที่อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น เนื่องจากเป็นอาคารที่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง จะคำนวนค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐานตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำแนกตามลักษณะการปฏิบัติงานของส่วนราชการ

ประเภทกลุ่มย่อย 7-74 คณะ ภาควิชา และหน่วยงานต่าง ๆ จะมีค่า EUI เท่ากับ 24.99% และส่วนของพื้นที่ฟาร์ม ประกอบด้วย ฟาร์มสุกร ฟาร์มสัตว์ปีก และฟาร์มโคนม-โคเนื้อ มีปริมาณการใช้พลังงานรวม 149,665.46 kWh/year คิดเป็น 49% ของการใช้พลังงานทั้งหมด



ภาพที่ 69 สัดส่วนการใช้พลังงานของฟาร์มสุกร ฟาร์มสัตว์ปีก และฟาร์โคนมโคเนื้อ

จากภาพที่ 69 สัดส่วนการใช้พลังงานของแต่ละฟาร์ม พบว่า ฟาร์มสุกรเป็นพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดถึง 66% เนื่องจากฟาร์มสุกรมีโรงเรือนระบบปิดที่มีการใช้งานตลอดเวลา โดยในพื้นที่ฟาร์มสุกร มีการใช้พลังงาน 99,200.36 kWh/year และมีจำนวนสุกรภายในฟาร์มทั้งหมด 1,150 ตัว จะมีค่า SEC เท่ากับ 82.26 kWh/unit พื้นที่ฟาร์มที่ใช้พลังงานรองลงมา คือ ฟาร์มสัตว์ปีกที่มีการใช้พลังงาน 41,502.42 kWh/year ประกอบด้วย ไก่เนื้อที่จำนวนการเลี้ยงต่อปี เท่ากับ 37,390 ตัว ไก่ไข่จำนวน 300 ตัว และไก่พื้นเมือง 100 ตัว รวมจำนวนไก่ที่มีการในเลี้ยงในพื้นที่ต่อปีทั้งหมด 37,790 ตัว จะมีค่า SEC ในปี 2562 เท่ากับ 1.10 kWh/unit และฟาร์มโคนม-โคเนื้อ ที่มีลักษณะของโรงเรือนเป็นแบบเปิดทั้งหมด และมีการเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่หลายชนิด ได้แก่ โคนม โคเนื้อ แพะ กระบือ และแกะ มีจำนวนรวม 214 ตัว โดยมีการใช้พลังงาน 8,962.68 kWh/year หรือ 6% ของสัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมด คิดเป็นค่า SEC เท่ากับ 41.88 kWh/unit

4.2 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์ โดยการตรวจวัดค่า LUX และกำลังไฟฟ้าของหลอดภายในพื้นที่ โดยมาตรฐานค่าอัตราส่วนความสว่างต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ (LER) มากกว่า 75 ขึ้นไป (Siap et al. (2019)) ค่ามาตรฐาน LUX ดังแสดงในตารางที่ 7 และค่ามาตรฐานกำลังไฟฟ้าแสงสว่างสูงสุด (LPD) ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยแบ่งผลการสำรวจ

ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นที่ของอาคาร และส่วนของพื้นที่ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.2.1 ส่วนที่ 1 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในพื้นที่อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ พบว่า อาคารอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมีลักษณะการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ คือ ห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ และห้องสำนักงานของคณะฯ มีห้องที่ใช้งานจำนวน 74 ห้อง มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดในระบบแสงสว่าง (Energy Consumption) 43,072.47 kWh/year โดยมีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 1,543 หลอด แบ่งเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp; FL) จำนวน 1,530 หลอด โดยมีการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 มากที่สุด จำนวน 1,096 หลอด คิดเป็น 71.03% ของหลอดทั้งหมด และมีการใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorecent Lamp; CFL) จำนวน 13 หลอด คิดเป็น 0.84% ของจำนวนหลอดไฟภายในอาคาร ส่วนของอาคารประชุมนานาชาติห้อง มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดในระบบแสงสว่าง (Energy Consumption) 1,380.42 kWh/year โดยมีลักษณะการใช้งานอาคารเพื่อประชุมหรือจัดกิจกรรมอบรมสัมมนาเท่านั้น ประกอบด้วยจำนวนห้องทั้งหมด 13 ห้อง โดยจะมีห้องประชุม 2204 เป็นห้องขนาดใหญ่ มีพื้นที่ใช้สอย 354 m^2 จำนวน 1 ห้อง และห้องประชุมขนาดกลางที่เกิดจากการรวมห้องประชุม 2201 กับ ห้องประชุม 2202 และห้องประชุม 2209 กับ ห้องประชุม 2210 มีพื้นที่ใช้สอยรวมห้องละ 120 m^2 จำนวน 2 ห้อง โดยมีการใช้งานหลอดไฟทั้งหมด จำนวน 285 หลอด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 36 W และชนิด T5 รวม 229 หลอด คิดเป็น 80.35% และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 56 หลอด คิดเป็น 19.65% ของหลอดไฟภายในอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EnPIs ระบบไฟฟ้าส่องสว่างของอาคารประชุมนานาชาติ

หัวข้อ	**อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี**			**อาคารประชุมนานาชาติ**		
ชนิดหลอด (หลอด)	FLO	T8 36W	385	FLO	T8 36W	117
		T8 18W	49		T5	112
		T5	1,096			
	CFL		13	CFL		56
รวมหลอดไฟ (หลอด)	1,543			285		
จำนวนห้อง (ห้อง)	74			13		

หัวข้อ	อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี	อาคารประชุมนานาชาติ
ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (LUX)	96.67 - 1,126.33	177.33 - 835
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	62 (83.78%)	11 (84.61)
ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (Luminous Efficacy Ratio; LER) (lm/W)	8.61 – 139.50	4.03 – 54.58
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	8 (10.81%)	ไม่มีห้องที่ผ่านมาตรฐาน
ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (Lighting Power Density; LPD) (W/m^2)	0.72 – 28.53	7.11 - 34.50
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	49 (66.22%)	ไม่มีห้องที่ผ่านมาตรฐาน

หมายเหตุ ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (Luminous Efficacy Ratio; LER) และ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (Lighting Power Density; LPD) ไม่คิดพื้นที่จอดรถ

จากผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EnPIs ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง พบว่า อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมีผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างจะมีค่าระหว่าง 96.67 - 1,126.33 LUX โดยพื้นที่ห้องภายในอาคารส่วนใหญ่จะเป็นห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ และห้องสำนักงานที่มาค่าความส่องสว่างมาตรฐานระหว่าง 300 – 400 LUX ทำให้มีห้องที่ผ่านมาตรฐาน จำนวน 62 ห้อง คิดเป็น 83.78% โดยพื้นที่ห้องที่ไม่ผ่านค่ามาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ห้องที่ค่าความส่องสว่าง (LUX) ไม่ผ่านค่ามาตรฐาน

ประเภทห้อง	ค่าความส่องสว่าง	ค่ามาตรฐาน	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้องคณะบดี 1217	399.00	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1324	394.30	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องพักอาจารย์ 1418	343.33	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องพักอาจารย์ 1419	174.67	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1501	336.10	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1504	294.73	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1516	348.00	400	ต่ำกว่าเกณฑ์

ประเภทห้อง	ค่าความส่องสว่าง	ค่ามาตรฐาน	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้องปฏิบัติการ 1521	350.90	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1530	391.40	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1534	316.13	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องสำนักงาน 1536	399.33	400	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องพักอาจารย์ 1539	310.90	400	ต่ำกว่าเกณฑ์

โดยผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอด Lamp Luminous Efficacy จากการตรวจวัดมีค่าระหว่าง 8.61 – 139.50 lm/W จากมาตรฐานที่กำหนดต้องมีค่ามากกว่า 75 lm/W โดยมีห้องที่ผ่านมาตรฐานเพียง 8 ห้องจาก 74 ห้อง คิดเป็น 10.81% จะเห็นได้ว่าจำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐานนั้นมีจำนวนน้อย เนื่องจากอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมีการใช้งานหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์มากถึง 99.16% เช่น ห้องเรียน 1203 ห้องเรียน 1413 และห้องสำนักงาน 1218 ดังแสดงในภาพที่ 70 ซึ่งเป็นหลอดที่มีความร้อนสูง ทำให้เปลืองพลังงานไฟฟ้าส่งผลให้ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องมีค่าระหว่าง 0.72 – 28.53 W/m^2 จากค่ามาตรฐานที่กำหนดไม่เกิน 14 W/m^2 โดยที่มีห้องที่ผ่านมาตรฐาน จำนวน 49 ห้อง คิดเป็น 66.22% โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจะเป็นพื้นที่ห้องสำนักงาน ห้องน้ำที่มีการติดตั้งหลอดหน้ากระจก และห้องปฏิบัติการ เนื่องจากห้องดังกล่าวมีพื้นที่ห้องขนาดเล็ก แต่มีการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่มีกำลังไฟฟ้าสูง ดังแสดงในภาพที่ 71

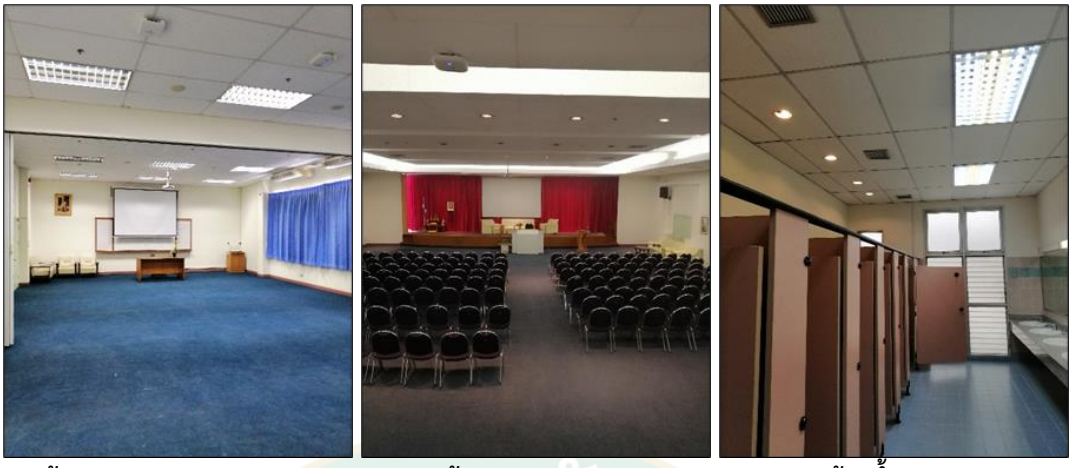
ห้องเรียน 1203 **ห้องเรียน 1413** **ห้องสำนักงาน 1218/3**

ภาพที่ 70 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

ห้องน้ำหญิง 1409 **ห้องปฏิบัติการ 1508** **ห้องสำนักงาน 1218/1**

ภาพที่ 71 ลักษณะห้องภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากตารางที่ 19 การวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EnPIs ระบบไฟฟ้าส่องสว่างของอาคารประชุมนานาชาติ พบว่า ความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง 8,222.48 kWh/year โดยมีผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างมีค่าระหว่าง 177.33 – 835.00 LUX โดยพื้นที่ห้องภายในอาคารส่วนใหญ่จะเป็นห้องประชุมขนาดใหญ่ ห้องเครื่อง และห้องน้ำ โดยพื้นที่ชั้น 1 ของอาคารทั้งหมดคือพื้นที่จอดรถ ที่มาค่าความส่องสว่างมาตรฐานระหว่าง 50 – 400 LUX ทำให้มีห้องที่ผ่านมาตรฐาน จำนวน 11 ห้อง จาก 13 ห้อง คิดเป็น 84.61% และผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอด Lamp Luminous Efficacy จากการตรวจวัดมีค่าระหว่าง 4.03 – 54.58 lm/W จากมาตรฐานที่กำหนดต้องมีค่ามากกว่า 75 lm/W ส่งผลให้ไม่มีพื้นที่ภายในอาคารที่ผ่านค่ามาตรฐาน เนื่องจากอาคารประชุมนานาชาติมีการใช้งานหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด T8 36 W มากถึง 41.05% เช่น ห้องประชุม 2201 – 2202 ห้องประชุม 2204 และห้องน้ำ 2208 ดังแสดงในภาพที่ 72 ซึ่งเป็นหลอดที่มีความร้อนสูง ที่มีบัลลาสแกนเหล็กที่ใช้กำลังไฟฟ้า 10 W/lamp ทำให้เปลืองพลังงานไฟฟ้าส่งผลให้ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องมีค่าระหว่าง 7.11 - 34.50 W/m^2 จากค่ามาตรฐานที่กำหนดไม่เกิน 14 W/m^2 ส่งผลให้ไม่มีพื้นที่ห้องที่ผ่านมาตรฐานที่กำหนด เนื่องจากชนิดหลอดที่ใช้ภายในอาคารเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงให้ความส่องสว่างน้อยและให้ความร้อนมาก โดยพื้นที่ห้องที่มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องสูงที่สูด คือ ห้องน้ำชั้น 1 มีค่า LPD สูงถึง 270 W/m^2 และห้องประชุม 2204 ที่มีการใช้งานมากที่สุด มีค่า LPD สูงถึง 34.60 W/m^2 จึงส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่เฉลี่ยสูง



ห้องประชุม 2201 – 2202 **ห้องประชุม 2204** **ห้องน้ำ 2208**

ภาพที่ 72 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในอาคารประชุมนานาชาติ

4.2.2 ส่วนที่ 2 ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในพื้นที่ฟาร์มคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบไปด้วย 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก พื้นที่ฟาร์มสุกร และพื้นที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ โดยมีผลการสำรวจและการวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EnPIs ดังนี้

4.2.2.1 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างพื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในพื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก ประกอบด้วยอาคารสำนักงานและปฏิบัติการ จำนวน 1 อาคาร และโรงเรือนสำหรับเลี้ยงไก่ จำนวน 5 โรงเรือน ดังแสดงในภาพที่ 73 พบว่า มีความต้องการการใช้พลังงานในฟาร์มสัตว์ปีกรวม 3,614.15 kWh/year โดยส่วนของฟาร์มสัตว์ปีกมีการใช้หลอดทั้งหมด 3 ปะเภท โดยหลอด LED ที่มีการติดตั้งภายในโรงเรือน เป็นหลอดที่ใช้งานมากที่สุด เท่ากับ 44 หลอด คิดเป็น 63.77% ของหลอดไฟทั้งหมด โดยฟาร์มสัตว์ปีกใช้หลอดไฟเพื่อให้แสงสว่างเท่านั้น เนื่องจากในแต่ละโรงเรือนมีเครื่องกกที่ใช้พลังงานจากก๊าซ LPG เพื่อให้ความร้อนสำหรับลูกไก่โดยเฉพาะ โดยผลการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเทียบกับมาตรฐาน พบว่า ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 17.53 - 111.43 LUX ส่งผลให้มีพื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 3 พื้นที่ คิดเป็น 33.33% ซึ่งเป็นพื้นที่โรงเรือนของทั้งหมด โดยมาตรฐานค่าความส่องสว่างในโรงเรือนเลี้ยงไก่ มีค่าเท่ากับ 30 LUX (International. (2016)) โดยส่วนของอาคารยังมีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ และหลอด LED ภายในอาคาร ส่งผลให้ค่าความส่องสว่างของพื้นที่อาคารยังต่ำกว่ามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในฟาร์มสัตว์ปีก

หัวข้อ	ฟาร์มสัตว์ปีก
ชนิดหลอด (หลอด)	FLO T8 36W 6 CFL 19 LED 44
รวมหลอดไฟ (หลอด)	69
จำนวนห้อง (ห้อง)	4
โรงเรือนภายในฟาร์มสัตว์ปีก (โรงเรือน)	5
ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (LUX)	17.53 - 111.43
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	3 (33.33%)
ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (Luminous Efficacy Ratio; LER) (lm/W)	37.57 - 96.90
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	2 (50%)
ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (Lighting Power Density; LPD) (W/m^2)	2.11 - 3.68
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	4 (100%)

จากตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอด Lamp Luminous Efficacy จากการตรวจวัดมีค่าระหว่าง 37.57 - 96.90 lm/W โดยที่ค่ามาตรฐานที่กำหนดต้องมีค่ามากกว่า 75 lm/W ส่งผลให้มีห้องที่ผ่านมาตรฐาน 2 ห้อง คือห้องพักอาจารย์ และโรงฟักไก่ ดังแสดงในภาพที่ 74 และผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องมีค่าระหว่าง 2.11 - 3.68 W/m^2 จากค่ามาตรฐานที่กำหนดไม่เกิน 14 W/m^2 ส่งผลให้พื้นที่ห้องในอาคารผ่านมาตรฐานทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ค่า LPD จะผ่านมาตรฐานทั้งหมด แต่ไม่มีห้องที่มีค่าความส่องสว่างผ่านมาตรฐาน เนื่องจากภายในอาคารมีการติดตั้งหลอดที่ประสิทธิภาพต่ำ อีกทั้งจำนวนหลอดยังไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน

โรงเรือนไก่เนื้อ M1 **โรงเรือนไก่เนื้อ M2** **โรงเรือนไก่ไข่**

ภาพที่ 73 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในโรงเรือน

ห้องพักอาจารย์ **โรงฟักไก่**

ภาพที่ 74 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในอาคารฟาร์มสัตว์ปีก

4.2.2.2 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างพื้นที่ฟาร์มสุกร

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในพื้นที่ฟาร์มสุกร โดยพื้นที่ที่เข้าตรวจวัดประกอบไปด้วย อาคารสำนักงานฟาร์มสุกร โรงเรือนสุกรระบบเปิด จำนวน 1 โรงเรือน และโรงเรือนสุกรระบบปิด จำนวน 2 โรงเรือน จากการสำรวจ พบว่า ภายในฟาร์มสุกรมีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง 46,158.08 kWh/year โดยมีการใช้หลอดไฟ 2 ประเภท คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด T8 36W และ T8 18W รวม 46 หลอด คิดเป็น 40.71% เพื่อให้แสงสว่าง และหลอดไส้ ขนาดกำลังไฟฟ้า 100 W จำนวน 67 หลอด คิดเป็น 59.29% ของหลอดไฟทั้งหมดของพื้นที่ฟาร์ม ดังแสดงในตารางที่ 22 จึงเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าส่องสว่างของฟาร์มสุกรมีค่าสูง โดยกำลังไฟฟ้าของหลอดไส้ มีค่า 34,749.00 kWh/year คิดเป็น

75.28% ของพลังงานไฟฟ้าระบบไฟฟ้าส่องสว่างในพื้นที่ฟาร์มสุกร เพื่อให้ความร้อนกับลูกสุกรให้เกิดความอบอุ่น อย่างน้อยวันละ 18 ชั่วโมง ในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่ำ

ตารางที่ 22 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในฟาร์มสุกร

หัวข้อ	**ฟาร์มสุกร**		
ชนิดหลอด (หลอด)	FLO	T8 36W	21
		T8 18W	25
	IN		67
รวมหลอดไฟ (หลอด)	113		
จำนวนห้อง (ห้อง)	2		
โรงเรือนภายในฟาร์มสุกร (โรงเรือน)	3		
ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (LUX)	56.80 - 318.63		
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	5 (100%)		
ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (Luminous Efficacy Ratio; LER) (lm/W)	17.42 - 60.69		
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	ไม่มีห้องที่ผ่านมาตรฐาน		
ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (Lighting Power Density; LPD) (W/m^2)	5.52 - 9.33		
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	2 (100%)		

จากตารางที่ 22 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 56.80 - 318.63 LUX ทำให้มีพื้นที่ทั้งหมดผ่านค่ามาตรฐานทั้งส่วนของอาคารฟาร์มสุกรและภายในโรงเรือน อีกทั้งยังมีการใช้แสงจากธรรมชาติช่วยให้ความสว่างภายในพื้นที่ ดังแสดงในรูป (ก) และรูปที่ (ข) โดยค่าความส่องสว่างภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรต้องไม่ต่ำกว่า 40 LUX ตามมาตรฐานองค์การเพื่อสุขภาพสัตว์โลก (The World Organisation for Animal Health; OIE) (Board (2019)) ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอด Lamp Luminous Efficacy จากการตรวจวัดมีค่าอยู่ระหว่าง 17.42 - 60.69 lm/W โดยที่ค่ามาตรฐานที่กำหนดต้องมีค่ามากกว่า 75 lm/W ส่งผลให้ไม่มีพื้นที่ห้องที่ผ่านค่ามาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้องมีค่าระหว่าง 5.52 - 9.33 W/m^2 จากค่ามาตรฐานที่กำหนดไม่เกิน 14 W/m^2 ส่งผลให้พื้นที่ห้องในอาคารผ่านมาตรฐานทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ค่า LPD และค่า LUX จะผ่านมาตรฐานทั้งหมด แต่ไม่มีห้องที่ค่า LER ผ่านมาตรฐาน เนื่องจาก ภายในอาคารมีการติดตั้งหลอดที่ประสิทธิภาพต่ำ มีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงให้ความส่องสว่างน้อยและให้

ความร้อนมาก อีกทั้งยังมีบัลลาสแกนเหล็กที่มีกำลังไฟฟ้า 10 W/bulb ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าต่อหลอดสูงขึ้นไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 75

(ก) โรงเรือนสุกรระบบปิด **(ข) โรงเรือนสุกรระบบเปิด** **(ค) หลอดไฟในสำนักงาน**

ภาพที่ 75 ลักษณะการใช้งานหลอดไฟในพื้นที่ฟาร์มสุกร

4.2.2.3 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างพื้นที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในพื้นที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ มีลักษณะการเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นแบบเปิด ปล่อยให้โคนม-โคเนื้อ และแพะหากินในเวลากัน โดยพื้นที่ที่เข้าตรวจวัดประกอบด้วย โรงเรือนคอกแพะที่รวมกับห้องพักอาจารย์และห้องพักนักศึกษา โรงวัว โรงรีดนมวัว และโรงวัวสาว ผลจากการสำรวจ พบว่า พื้นที่ภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ มีความต้องการการใช้พลังงาน 1,968.08 kWh/year โดยมีรายละเอียดการใช้งานหลอดไฟ 2 ประเภท คือ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 20 W และ 23 W มากถึง 31 หลอด จากจำนวนทั้งหมด 33 หลอด คิดเป็น 93.94% และหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีการใช้งานเพื่อให้แสงว่างในพื้นที่เฉพาะเท่านั้น ส่งผลให้จำนวนหลอดไฟในพื้นที่มีจำนวนน้อย มีการติดตั้งตามอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 76 (ก) (ข) และ (ค) โดยฟาร์มโคนม-โคเนื้อใช้หลอดไฟเพื่อให้แสงสว่าง และในพื้นที่ฟาร์มได้ใช้แสงธรรมชาติเป็นหลัก โดยผลการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเทียบกับมาตรฐาน พบว่า ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 53.22 - 273.43 LUX ส่งผลให้มีพื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 3 พื้นที่ จากพื้นที่ทั้งหมด คิดเป็น 42.86% โดยมาตรฐานค่าความส่องสว่างในโรงเรือนโคนม-โคเนื้อ มีค่าเท่ากับ 200 LUX (Ministry of Agriculture (2016)) โดยส่วนของพื้นที่สำนักงานยังมีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ภายในอาคาร ส่งผลให้ค่าความส่องสว่างของพื้นที่อาคารยังต่ำกว่ามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

หัวข้อ	ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ
ชนิดหลอด (หลอด)	FLO T8 36W 2 CFL 31
รวมหลอดไฟ (หลอด)	33
จำนวนห้อง (ห้อง)	3
โรงเรือนภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ (โรงเรือน)	4
ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (LUX)	53.22 - 273.43
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	3 (42.86%)
ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (Luminous Efficacy Ratio; LER) (lm/W)	11.91 - 437.49
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	1 (33.33%)
ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ห้อง (Lighting Power Density; LPD) (W/m^2)	0.27 - 11.50
จำนวนห้องที่ผ่านมาตรฐาน (ห้อง)	3 (100%)

จากตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอด Lamp Luminous Efficacy จากการตรวจวัดมีค่าระหว่าง 11.91 - 437.49 lm/W โดยที่ค่ามาตรฐานที่กำหนดต้องมีค่ามากกว่า 75 lm/W ส่งผลให้มีห้องที่ผ่านมาตรฐาน 1 ห้อง คือ ห้องพักอาจารย์ ดังแสดงในภาพที่ 77 (ก) เนื่องจาก และผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่มีค่าระหว่าง 0.27 - 11.50 W/m^2 จากค่ามาตรฐานที่กำหนดไม่เกิน 14 W/m^2 ส่งผลให้พื้นที่ห้องในอาคารผ่านมาตรฐานทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ค่า LPD จะผ่านมาตรฐานทั้งหมด แต่ห้องที่มีค่าความส่องสว่างผ่านมาตรฐานและผ่านค่าประสิทธิผลการส่องสว่างมีจำนวนน้อย เนื่องจาก ภายในอาคารมีการติดตั้งหลอดที่ประสิทธิภาพต่ำ อีกทั้งจำนวนหลอดยังไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 77 (ข) และ (ค)

(ก) โรงวัวสาว (ข) โรงเรือนคอกแพะ (ค) โรงวัว

ภาพที่ 76 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

(ก) ห้องพักอาจารย์ (ข) ห้องพักนักศึกษา (ค) ห้องน้ำ

ภาพที่ 77 ลักษณะการติดตั้งหลอดส่วนของสำนักงานภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

4.3 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบปรับอากาศ

จากการสำรวจและตรวจวัดพลังงานระบบปรับอากาศภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี แบ่งผลการสำรวจและวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นที่อาคาร และส่วนของพื้นที่ฟาร์ม โดยมีผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

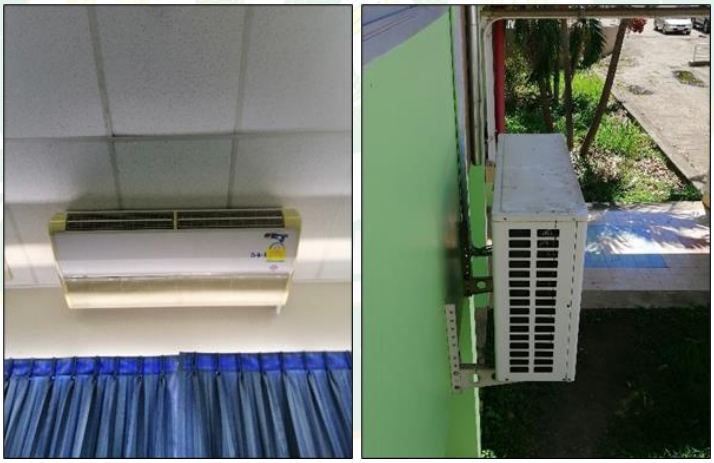
4.3.1 ส่วนที่ 1 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบปรับอากาศภายในพื้นที่อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า อาคารอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมีลักษณะการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ คือ ห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ และห้องสำนักงานของคณะฯ มีห้องที่ใช้งาน จำนวน 74 ห้อง มีพื้นที่ห้องปรับอากาศ จำนวน 21 ห้อง รวมทั้งหมด 48 เครื่อง มีขนาดทำความเย็นตั้งแต่ 12,000 -

48,000 Btu/hr ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 60,405.02 kWh/year โดยภายในอาคารมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 25,000 Btu/hr มากที่สุด จำนวน 29 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1.68 kW/เครื่อง และมีค่าพลังงานไฟฟ้ารวม 28,149.98 kWh/year โดยที่เครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานระหว่าง 6 - 18 ปี ดังแสดงในตารางที่ 24 ภายในอาคารจะติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 78

ตารางที่ 24 ผลการตรวจวัดระบบปรับอากาศภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (kW/เครื่อง)	การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)	อายุการใช้งาน (year)
9,000	3	1.44	479.59	6
25,000	29	1.68	28,149.98	6, 14, 17
30,000	14	2.09	31,261.26	8, 9, 18
40,000	2	2.23	514.20	18
รวม	**48**	**-**	**60,405.02**	**-**



ภาพที่ 78 ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (COP) ตามเกณฑ์มาตรฐานเครื่องปรับอากาศชนิด Split Type ภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่ามีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ขนาดทำความเย็น 9,000 - 40,000 Btu/hr มีทั้งหมด 48 เครื่อง มีค่าเฉลี่ย COP ตั่งแต่ 2.56 - 4.58 และค่าเฉลี่ย EER ตั่งแต่ 8.57 - 15.61 (Btu/hr)/W เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาเทียบกับมาตรฐาน ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตัน

ความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 ที่กำหนดค่า COP ไม่ต่ำกว่า 3.22 W_{th}/W_e และค่า EER ไม่ต่ำกว่า 11 (Btu/hr)/W ซึ่งมีพื้นที่ห้องที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 16 ห้อง ถึงแม้ว่าเครื่องปรับอากาศภายในอาคารส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานมาก แต่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอาคารควบคุม จึงมีแผนการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ค่าเฉลี่ยสมรรถนะของระบบปรับอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐานกว่า 76.19% ของพื้นที่ห้องทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

ห้อง	ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	อายุการใช้งาน (year)	ค่า COP (W_{th}/W_e)	ค่า EER ((Btu/hr)/W)	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้องเรียน 1203	30,000	9	4.03 – 4.58	13.75 – 15.61	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องสมุด 1206	30,000	8	3.49 – 4.14	11.92 – 14.14	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องประชุม 1208	25,000	17	3.98 – 4.06	13.58 – 13.84	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องประชุม 1213	25,000	18	3.70	12.63	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องสำนักงาน 1216	30,000	18	3.12 – 3.72	10.64 – 12.71	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องประชุม 1218	30,000	18	3.67 – 4.05	12.51 - 13.83	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องประชุม 1220	40,000	18	2.67	9.10	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 1221	25,000	17	4.14 – 4.20	14.11 – 14.33	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 1308	25,000	17	3.44 – 3.72	11.79 – 12.68	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 1322	25,000	14, 6	3.87 – 4.26	13.22 – 14.53	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 1412	25,000	17	3.33 – 3.70	11.38 – 12.62	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 1413	25,000	17	3.32 – 4.05	11.32 – 13.81	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 1420	25,000	17	3.75 -3.81	12.79 - 12.99	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องเรียน 1421	25,000	17	3.77 – 3.93	12.85 - 13.40	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1501	9,000	6	2.75	9.37	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1502	9,000	6	2.61	8.89	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องสำนักงาน 1506	25,000	17	3.36	11.48	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1509	25,000	17	2.64 – 2.75	9.02 – 10.18	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องปฏิบัติการ 1511	25,000	17	3.20	10.90	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องพักอาจารย์ 1517	25,000	17	3.32 – 3.50	11.34 – 11.95	สูงกว่าเกณฑ์

ห้อง	ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	อายุการใช้งาน (year)	ค่า COP (W_{th}/W_e)	ค่า EER ((Btu/hr)/W)	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้องพักอาจารย์ 1539	9,000	6	2.56	8.75	ต่ำกว่าเกณฑ์

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบปรับอากาศภายในพื้นที่อาคารประชุมนานาชาติ พบว่าอาคารประชุมนานาชาติห้อง มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดในระบบปรับอากาศ (Energy Consumption) 3,469.80 kWh/year โดยอาคารส่วนใหญ่ คือ ห้องประชุม จำนวน 10 ห้อง มีพื้นที่ห้องปรับอากาศ จำนวน 6 ห้อง รวมทั้งหมด 12 เครื่อง โดยมีห้องประชุมขนาดใหญ่ จำนวน 1 ห้อง พื้นที่ 354 m^2 ที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศประเภทเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ดังแสดงในตารางที่ 26 ส่วนห้องที่เหลือ จำนวน 5 ห้อง จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) โดยมีขนาดทำความเย็น 25,000 Btu/hr ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 1,423.80 kWh/year มีจำนวน 10 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 2.3 kW/เครื่อง โดยที่เครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งาน 18 ปี ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 26 ผลการตรวจวัดระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ภายในอาคารประชุมนานาชาติ

ห้อง	พื้นที่ (m^2)	ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (kW/เครื่อง)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายปี (kWh/year)	อายุการใช้งาน (year)
ห้องประชุม 2204	354	150,000	2	17.05	2,046.00	18
รวม	**354**	**-**	**2**	**-**	**2,046.00**	**-**

ตารางที่ 27 ผลการตรวจวัดระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารประชุมนานาชาติ

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (kW/เครื่อง)	การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (kWh/year)	อายุการใช้งาน (year)
25,000	10	2.3	1,423.80	18
รวม	**10**	**-**	**1,423.80**	**-**

จากตารางที่ 26 เครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ขนาดทำความเย็น 150,000 Btu/hr หรือ 12.5 ตันความเย็น ดังแสดงในภาพที่ 79 ทำให้การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่เกิน 12 kW เป็นเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ จึงมีการเทียบค่ามาตรฐานจากระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ต้องมีค่าพลังไฟฟาต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น และสวนประกอบอื่นของระบบปรับอากาศ ขนาดความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระพิกัดของเครื่องทำน้ำเย็น (TON) น้อยกว่า 300 TON ต้องมีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น ไม่เกิน 1.33 kW/TON ดังแสดงในตารางที่ 10 จากมาตรฐานดังกล่าว ห้องประชุม 2204 ที่มีขนาดทำความเย็น 12.5 ตันความเย็น จำนวน 2 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 17.05 kW/เครื่อง หรือเท่ากับ 1.36 kW/TON ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด เนื่องจาก เครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานมากกว่า 18 ปี ทำให้วิธีการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศในปัจจุบันของอาคาร คือ การล้างเครื่องปรับอากาศ ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบขนาดใหญ่ได้ จึงทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ภาพที่ 79 ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) ของอาคารประชุมนานาชาติ

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (COP) ตามเกณฑ์มาตรฐานเครื่องปรับอากาศชนิด Split Type ภายในอาคารประชุมนานาชาติ พบว่า มีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ขนาดทำความเย็น 25,000 Btu/hr มีทั้งหมด 10 เครื่อง มีค่าเฉลี่ย COP ตั่งแต่ 2.63 - 3.92 และค่าเฉลี่ย EER ตั่งแต่ 8.96 - 13.39 (Btu/hr)/W เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาเทียบกับมาตรฐาน ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 ที่กำหนดค่า COP ไม่ต่ำกว่า 3.22 และค่า EER ไม่ต่ำกว่า 11 (Btu/hr)/W ซึ่งมีห้องที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 5 ห้อง เนื่องจาก เครื่องปรับอากาศมีอายุ

การใช้งานมากกว่า 18 ปี ทำให้วิธีการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ จึงทำให้ค่าเฉลี่ยสมรรถนะของระบบปรับอากาศต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 83.33% ของพื้นที่ห้องทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารประชุมนานาชาติ

ห้อง	อายุการใช้งาน (year)	ค่าเฉลี่ย COP (W_{th}/W_e)	ค่าเฉลี่ย EER ((Btu/hr)/W)	เกณฑ์มาตรฐาน
ห้องประชุม 2201	18	3.20	10.92	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องประชุม 2202	18	2.76	9.41	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องประชุม 2209	18	3.92	13.38	สูงกว่าเกณฑ์
ห้องประชุม 2210	18	3.12	10.66	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องประชุม 2211	18	3.14	10.71	ต่ำกว่าเกณฑ์

4.3.2 ส่วนที่ 2 ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบปรับอากาศภายในพื้นที่ฟาร์มคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า พื้นที่ที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ คือ อาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีก และอาคารสำนักงานฟาร์มสุกร ส่วนพื้นที่ฟาร์มโคนม - โคเนื้อยังไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในพื้นที่ โดยอาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีก มีพื้นที่การติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จำนวน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องพักอาจารย์ ติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 25,000 Btu/hr จำนวน 1 เครื่อง มีค่ากำลังไฟฟ้า 2.24 kW และใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี 1,411.20 kWh/year และห้องเย็นเก็บไก่ฟัก มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 13,000 Btu/hr จำนวน 1 เครื่อง โดยที่มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อควบคุมอุณหภูมิในห้องให้คงที่ตลอดเวลา ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 6,401.81 kWh/year โดยที่เครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานในพื้นที่ฟาร์มระหว่าง 6 - 14 ปี ทำให้ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 7,813.01 kWh/year และพื้นที่อาคารสำนักงานฟาร์มสุกร ติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในห้องพักอาจารย์ ขนาดทำความเย็น 18,000 Btu/hr จำนวน 2 เครื่อง มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 2.23 kW/เครื่อง และใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี 512.82 kWh/year และมีอายุการใช้งาน 12 ปี ดังแสดงในตารางที่ 29 โดยภายในอาคารทั้ง 2 แห่ง จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ดังแสดงในภาพที่ 80

ตารางที่ 29 ผลการตรวจวัดระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีกและอาคารสำนักงานฟาร์มสุกร

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW/เครื่อง)	การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (kWh/year)	อายุการใช้งาน (year)
อาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีก				
13,000	1	1.16	6,401.81	6
25,000	1	2.24	1,411.20	14
รวม	**2**	**-**	**7,813.01**	**-**
อาคารสำนักงานฟาร์มสุกร				
18,000	2	1.36	512.82	12
รวม	**2**	**-**	**512.82**	**-**

ภาพที่ 80 ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ภายในฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (COP) และค่าเฉลี่ยอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) ตามเกณฑ์มาตรฐานเครื่องปรับอากาศชนิด Split Type ภายในอาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีก พบว่า มีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ขนาดทำความเย็น 13,000 และ 25,000 Btu/hr จำนวนขนาดละ 1 เครื่อง มีค่า COP เท่ากับ 2.12 และ 3.68 ตามลำดับ และค่า EER เท่ากับ 7.22 – 12.56 (Btu/hr)/W ตามลำดับ เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาเทียบกับมาตรฐาน ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 ที่กำหนดค่า COP ไม่ต่ำกว่า 3.22 และค่า EER ไม่ต่ำกว่า

11 (Btu/hr)/W จะพบว่า เครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 13,000 Btu/hr ที่ติดตั้งห้องเย็นเก็บไก่ฟัก มีค่า COP และค่า EER ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจาก มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอดเวลาขาดการบำรุงรักษา ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง และอาคารสำนักงานฟาร์มสุกร ขนาดทำความเย็น 18,000 Btu/hr จำนวน 2 เครื่อง มีค่า COP เฉลี่ย 2.79 และค่า EER เฉลี่ย 9.51 (Btu/hr)/W ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เนื่องจาก เครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานมากกว่า 12 ปี และขาดการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอของเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง จึงทำให้ค่าเฉลี่ยสมรรถนะของระบบปรับอากาศต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ค่า COP และค่า EER ของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) ภายในอาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีกและอาคารสำนักงานฟาร์มสุกร

ห้อง	อายุการใช้งาน (year)	ค่าเฉลี่ย COP (W_{th}/W_e)	ค่าเฉลี่ย EER ((Btu/hr)/W)	เกณฑ์มาตรฐาน
อาคารสำนักงานฟาร์มสัตว์ปีก				
ห้องเย็นเก็บไก่ฟัก	6	2.12	7.22	ต่ำกว่าเกณฑ์
ห้องพักอาจารย์	14	3.68	12.56	สูงกว่าเกณฑ์
อาคารสำนักงานฟาร์มสุกร				
ห้องพักอาจารย์	12	2.79	9.51	ต่ำกว่าเกณฑ์

4.4 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี จากการสำรวจกำลังไฟฟ้าจาก Name plate และตารางเวลาการใช้งาน แบ่งผลการสำรวจและวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นที่อาคาร และส่วนของพื้นที่ฟาร์ม โดยมีผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.4.1 ส่วนที่ 1 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้ง 2 อาคาร เท่ากับ 47,064.81 kWh/year โดยแยกเป็นอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี 46,430.49 kWh/year และอาคารประชุมนานาชาติ 634.32 kWh/year โดยอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารประชุมนานาชาติ จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับห้องประชุมเป็นหลัก เช่น เครื่องฉายภาพ เครื่องควบคุมเสียง ไมโครโฟนและชุมควบคุม ลำโพง และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น เนื่องจาก ลักษณะการใช้งานของอาคาร

เพื่อจัดประชุมหรือสัมมนาเป็นหลัก ส่วนอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นอาคารที่ใช้งานหลัก จะมีอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่หลากหลายชนิด เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานอาคาร สามารถแยกอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการใช้งานอาคาร ได้แก่ อุปกรณ์ภายในสำนักงาน เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องปริ้น เครื่องถ่ายเอกสาร พัดลม ตู้เย็น กาต้มน้ำร้อน เป็นต้น อุปกรณ์สำหรับห้องเรียน เช่น เครื่องฉายภาพ เครื่องควบคุมเสียง ไมโครโฟนและชุมควบคุมลำโพง และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น และอุปกรณ์สำหรับห้องปฏิบัติการ โดยอาคารดังกล่าว จะมีอุปกรณ์สำหรับห้องปฏิบัติการ เพื่อให้อาจารย์ นักวิจัย หรือนักศึกษาทุกระดับเข้ามาใช้งาน เช่น ตู้อบความร้อน ตู้แช่แข็ง เครื่องสกัดหาปริมาณไขมัน กล้องจุลทรรศน์ไฟฟ้า เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล เป็นต้น โดยตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 81

ไมโครโฟนและชุมควบคุม

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

เครื่องสกัดหาปริมาณไขมัน

ตู้เย็นและตู้แช่แข็ง

คอมพิวเตอร์

เครื่องถ่ายเอกสาร

ภาพที่ 81 ตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ

4.4.2 ส่วนที่ 2 ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ภายในพื้นที่ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า พื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 8,695.76 kWh/year พื้นที่ฟาร์มสุกร ใช้พลังงานไฟฟ้า 3,929.46 kWh/year และฟาร์มโคนม-โคเนื้อ ใช้พลังงานไฟฟ้า 6,343.84 kWh/year รวมความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ประมาณ 18,969.06 kWh/year ดังแสดงตารางที่ 31

ตารางที่ 31 พลังงานไฟฟ้าในระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ภายในพื้นที่ฟาร์มคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

พื้นที่	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายปี (kWh/year)
ฟาร์มสัตว์ปีก	8,695.76
ฟาร์มสุกร	3,929.46
ฟาร์มโค	6,343.84
รวม	**18,969.06**

4.5 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบระบายอากาศ

จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบระบายอากาศภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นการสำรวจกำลังไฟฟ้าจาก Name plate และเวลาการใช้งาน แบ่งผลการสำรวจออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.5.1 ส่วนที่ 1 อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบระบายอากาศภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 1,182.43 kWh/year เกิดจากพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งภายในอาคาร โดยมีขนาด 6 – 20 นิ้ว รวมจำนวน 64 เครื่อง โดยมีการติดตั้งในพื้นที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อระบายอากาศในห้องขณะมีผู้ใช้งานภายในพื้นที่

4.5.2 ส่วนที่ 2 ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบระบายอากาศภายในพื้นที่ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า ในพื้นที่แต่ละฟาร์มทั้ง 3 ส่วน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบระบายอากาศ ประมาณ 70,630.26 kWh/year โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละฟาร์ม ดังนี้

4.5.2.1 พื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก

จากการสำรวจตรวจวัดระบบระบายอากาศในพื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบระบายอากาศ 21,379.50 kWh/year จากการติดตั้งพัดลมและปั๊มน้ำภายในโรงเรือน จำนวน 4 โรงเรือน ดังแสดงภาพที่ 82 โดยโรงเรือนไก่เนื้อ M1 โรงเรือนไก่เนื้อ M2 และโรงเรือนไก่เนื้อ M3 จะมีอุปกรณ์ภายในโรงเรือนที่เหมือนกัน ได้แก่ พัดลมระบายอากาศ ขนาด 48 นิ้ว จำนวน 2 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.746 kW/เครื่อง จะมีการใช้งานในช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูง เปิดสลับใช้งานตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีต่อโรงเรือน 2,417.04 kWh/year พัดลมระบายอากาศ ขนาด 36 นิ้ว จำนวน 2 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.370 kW/เครื่อง จะเป็นพัดลมหลักในการใช้งานเพื่อระบายอากาศภายในโรงเรือนตลอดทั้งปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 3,357.00 kWh/year และปั๊มน้ำ กำลังไฟฟ้า 0.120 kW ที่มีการใช้งานเฉพาะฤดูร้อนเช่นเดียวกับพัดลม ขนาด 48 นิ้ว มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 57.60 kWh/year และโรงเรือนไก่ไข่ มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ ขนาด 36 นิ้ว จำนวน 2 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเครื่องละ 0.370 kW/เครื่อง โดยที่จะการใช้งานพัดลมหลัก จำนวน 1 เครื่อง ที่มีการใช้งานตลอด 24 hr/year ส่งผลให้มีพลังงานไฟฟ้ารวม 3,826.98 kWh/year และปั๊มน้ำ กำลังไฟฟ้า 0.120 W จะมีการใช้งานเฉพาะในฤดูร้อนหรือช่วงที่มีอุณภูมิภายในโรงเรือนสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 57.60 kW/year ดังแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 อุปกรณ์ระบบระบายอากาศภายในโรงเรือนฟาร์มสัตว์ปีก

พื้นที่	อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW/เครื่อง)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)
โรงเรือนไก่	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 48″	2	0.746	2,417.04
เนื้อ M1	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 36″	2	0.370	3,357.00
	ปั๊มน้ำ	1	0.120	57.60
โรงเรือนไก่	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 48″	2	0.746	2,417.04
เนื้อ M2	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 36″	2	0.370	3,357.00
	ปั๊มน้ำ	1	0.120	57.60
โรงเรือนไก่	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 48″	2	0.746	2,417.04
เนื้อ M3	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 36″	2	0.370	3,357.00
	ปั๊มน้ำ	1	0.120	57.60
โรงเรือนไก่	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 36″	2	0.370	3,826.98
ไข่	ปั๊มน้ำ	1	0.120	57.60
	รวม			**21,379.50**

ภาพที่ 82 ลักษณะอุปกรณ์พัดลมและปั๊มน้ำของระบบระบายอากาศในฟาร์มสัตว์ปีก

4.5.2.2 พื้นที่ฟาร์มสุกร

จากการสำรวจระบบระบายอากาศในพื้นที่ฟาร์มสุกร พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบระบายอากาศ 48,600 kWh/year จากการติดตั้งพัดลมและปั๊มน้ำภายในโรงเรือนทั้ง 2 โรงเรือน คือ โรงเรือนสุกรแม่พันธ์ระบบปิด จะมีอุปกรณ์ ได้แก่ พัดลมระบายอากาศ ขนาด 56 นิ้ว จำนวน 8 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1.5 kW/เครื่อง โดยจะมีการใช้งานพัดลมหลัก จำนวน 6 เครื่อง เปิดสลับใช้งานตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ และมีพัดลมสำรอง จำนวน 2 เครื่อง ในกรณีที่มีพัดลดหลักชำรุด หรืออุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงเกินค่าที่กำหนดไว้ จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 31,320 kWh/year และปั๊มน้ำ ขนาด 2 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง กำลังไฟฟ้า 1.5 kW จะมีการใช้งานในฤดูร้อนหรือช่วงที่อุณหภูมิสูง มีค่าพลังงานไฟฟ้า 720 kWh/year และโรงเรือนสุกรขุนระบบปิดมีพัดลมระบายอากาศ ขนาด 50 นิ้ว จำนวน 4 เครื่อง มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1.1 kW/เครื่อง ใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 15,840 kWh/year และปั๊มน้ำ ขนาด 2 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง ที่มีค่ากำลังไฟฟ้า 1.5 kW จะมีการใช้งานในฤดูร้อนหรือช่วงที่อุณหภูมิสูง มีค่าพลังงานไฟฟ้า 720 kWh/year ดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 อุปกรณ์ระบบระบายอากาศภายในโรงเรือนฟาร์มสุกร

พื้นที่	อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW/เครื่อง)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)
โรงเรือนสุกรแม่พันธ์ระบบปิด	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 56″ (สำรอง)	6 (2)	1.5	31,320.00
	ปั๊มน้ำขนาด 2 แรงม้า	1	1.5	720.00
โรงเรือนสุกรขุนระบบปิด	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 50″	4	1.1	15,840.00
	ปั๊มน้ำขนาด 2 แรงม้า	1	1.5	720.00
รวม				**48,600.00**

4.5.2.3 พื้นที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

จากการสำรวจระบบระบายอากาศในพื้นที่ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบระบายอากาศ 650.76 kWh/year จากการติดตั้งพัดลมและปั๊มน้ำภายในโรงเรือน ดังแสดงในภาพที่ 83 โดยพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งภายในโรงวัว จะมีอุปกรณ์ ได้แก่ พัดลมระบายอากาศ ขนาด 34 นิ้ว จำนวน 2 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.260 kW/เครื่อง จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 187.20 kWh/year และปั๊มน้ำ ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง กำลังไฟฟ้า 0.746 kW มีค่าพลังงานไฟฟ้า 268.56 kWh/year และโรงเรือนคอกแพะมีพัดลมระบายอากาศ ขนาด 34 นิ้ว จำนวน 1 เครื่อง มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.260 kW/เครื่อง ใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 195 kWh/year จะมีการใช้งานในฤดูร้อนหรือช่วงที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้เกิดการไหลเวียนอากาศในโรงเรือน ดังแสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 อุปกรณ์ระบบระบายอากาศภายในโรงเรือนฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

พื้นที่	อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW/เครื่อง)	พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/year)
โรงวัว	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 34″	2	0.260	187.20
	ปั๊มน้ำ	1	0.746	268.56
คอกแพะ	พัดลมระบายอากาศ ขนาด 34″	1	0.260	195
	รวม			**650.76**

ภาพที่ 83 ลักษณะอุปกรณ์พัดลมและปั๊มน้ำของระบบระบายอากาศในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

4.6 ผลการสำรวจตรวจวัดระบบปั๊มน้ำและลิฟท์

จากการสำรวจตรวจวัดพลังงานระบบปั๊มน้ำและลิฟท์ที่มีการติดตั้งภายในพื้นที่ อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า ในพื้นที่อาคารมีการใช้งานปั๊มน้ำ ขนาด 7.5 แรงม้า หรือคิดเป็น

5.59 kW จำนวน 2 เครื่อง โดยมีลักษณะการใช้งานประมาณ 2 หรือ 3 วันต่อการใช้งาน 1 ครั้ง แบบสลับกัน ตามปริมาณน้ำภายในถังเก็บน้ำของอาคาร จะมีระยะเวลาการใช้งานในช่วงเช้า ประมาณ 30 นาที เพื่อเติมน้ำเข้าสู่ถังเก็บน้ำภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และในพื้นที่ของอาคารมีการติดตั้งลิฟท์โดยสาร จำนวน 1 ตัว ขนาดมอเตอร์ 9.5 แรงม้า หรือเป็นกำลังไฟฟ้า 7.08 kW จำนวน 1 เครื่อง มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้า 1,771.04 kWh/year ดังแสดงในตารางที่ 35

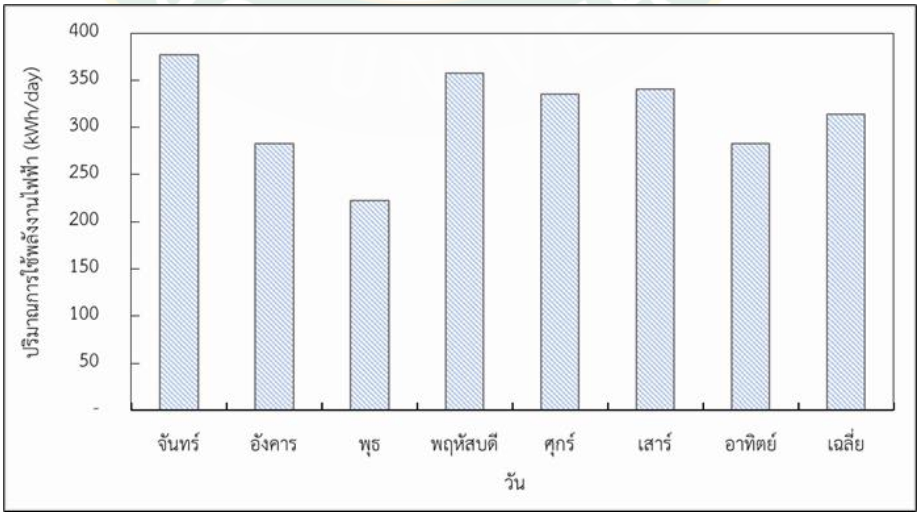
ตารางที่ 35 รายละเอียดผลการสำรวจตรวจวัดระบบปั๊มน้ำและลิฟท์

	ขนาด (แรงม้า)	กำลังไฟฟ้า (kW)	จำนวน (เครื่อง)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)
ระบบปั๊มน้ำ	7.5	5.59	2	257.27
ระบบลิฟท์	9.5	7.08	1	1,771.04

4.7 ระบบหม้อแปลงไฟฟ้า

4.7.1 การวิเคราะห์ระบบหม้อแปลงและตู้ MDB ของอาคารภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,500 kVA สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอาคาร 2 หลัง คือ อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมือตรวจวัด โดยการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นช่วงเปิดภาคเรียนการศึกษาที่ 2/2563 สามารถแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวัน ดังแสดงในภาพที่ 84

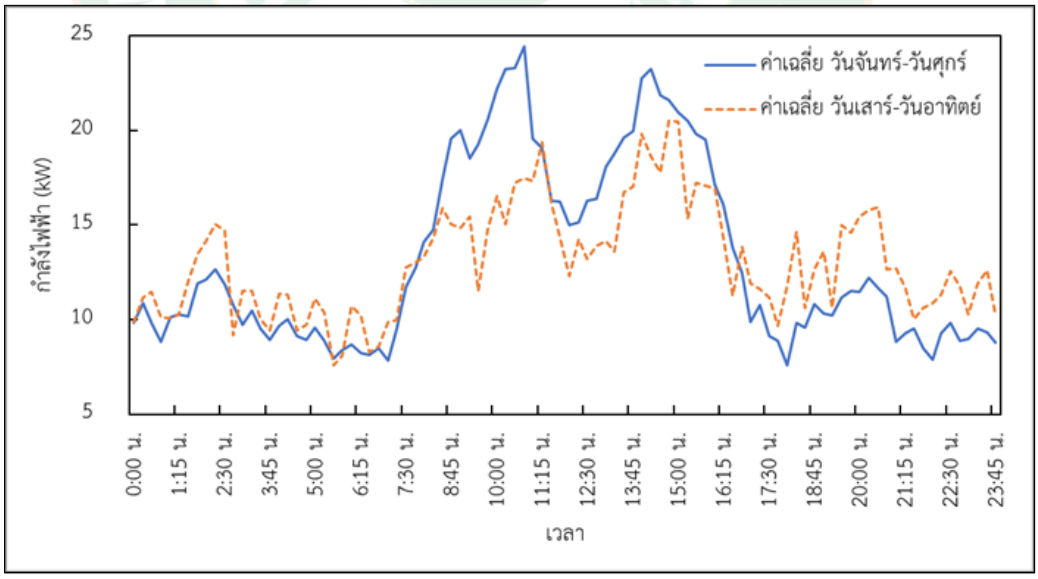


ภาพที่ 84 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละวันของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ

จากภาพที่ 84 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละวันของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ พบว่า มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันเฉลี่ยเท่ากับ 314 kWh/day โดยที่วันจันทร์เป็นวันที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดเท่ากับ 377.04 kWh/day และวันพฤหัสบดีรองลงมา เนื่องจากวันดังกล่าวมีการเรียนการสอนภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และวันพุธเป็นวันที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด เนื่องจากทุกวันพุธมหาวิทยาลัยได้มีนโยบายให้ช่วงบ่ายของทุกวันพุธเป็นเวลาสำหรับทำกิจกรรม นักศึกษาจึงไม่มีการเข้าเรียน จะสังเกตได้ว่าในวันเสาร์และวันอาทิตย์มีการใช้พลังงาน 340.98 kWh/day และ 282.69 kWh/day ตามลำดับ ซึ่งมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง เนื่องจากช่วงเวลาการเก็บข้อมูลดังกล่าว เป็นช่วงเวลาที่นักศึกษาอยู่ในช่วงปลายภาคการศึกษาจึงมีการทำการทดลองของแต่ละรายวิชาในวันหยุด ส่งผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในระดับสูง

4.7.2 ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

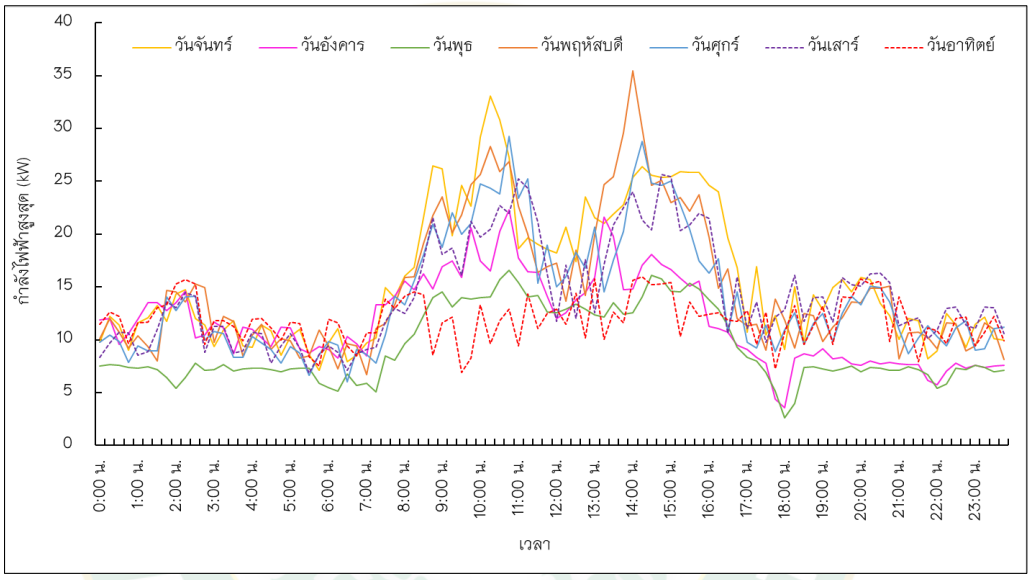
จากการเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลา เป็นระยะเวลา 7 วัน เริ่มตั้งแต่วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2564 โดยมีการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 15 นาที จะสามารถวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในวันปกติ คือ วันจันทร์ถึงวันศุกร์ และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยช่วงวันหยุด ได้แก่ วันเสาร์และวันอาทิตย์ จะมีลักษณะค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 85



ภาพที่ 85 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ

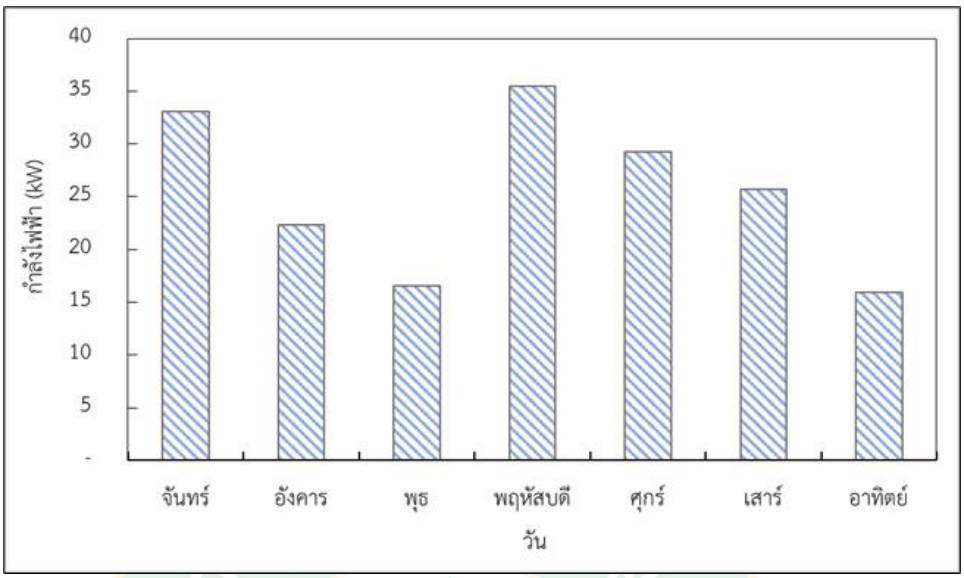
จากภาพที่ 85 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ พบว่า พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้อาคาร จะมีการใช้งานอาคารตั้งแต่

เวลาประมาณ 8.00 น. ถึง 17.00 น. โดยมีพฤติกรรมที่มีความคล้ายกันทั้ง 2 ช่วง ทั้งในช่วงของวันหยุดและวันปกติ โดยในช่วงเวลาที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 11.00 น. โดยจะมีค่ากำลังไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 16.23 – 24.45 kW ซึ่งเป็นเวลาที่มีการเรียนการสอนในภาคเช้า ส่งผลให้มีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้องเรียน เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องเสียง โทรทัศน์ เป็นต้น และช่วงเวลา 14.00 น. ถึง 16.00 น. จะมีค่ากำลังไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 17.14 - 23.25 kW นอกเหนือจากช่วงเวลาดังกล่าว พบว่า ภายในอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง ดังแสดงใน**ภาพที่ 86**



ภาพที่ 86 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ

เนื่องจากคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นสาขาวิชาที่มี การเรียนการสอน และงานวิจัยที่ทดลองต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมีอุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการมีการใช้งานตอลด 24 ชั่วโมง ส่งผลให้ลักษณะการใช้พลังงานของอาคารมีการใช้พลังงานตลอดเวลา จากพฤติกรรมการใช้พลังงานภายใน 7 วัน พบว่า ในวันพฤหัสบดีเป็นวันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 35.44 kW/day เนื่องจากวันพฤหัสบดีนั้น ได้มีการเรียนการสอนและมีการใช้งานห้องทดลองตลอดทั้งวัน ดังแสดงในภาพที่ 87



ภาพที่ 87 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ

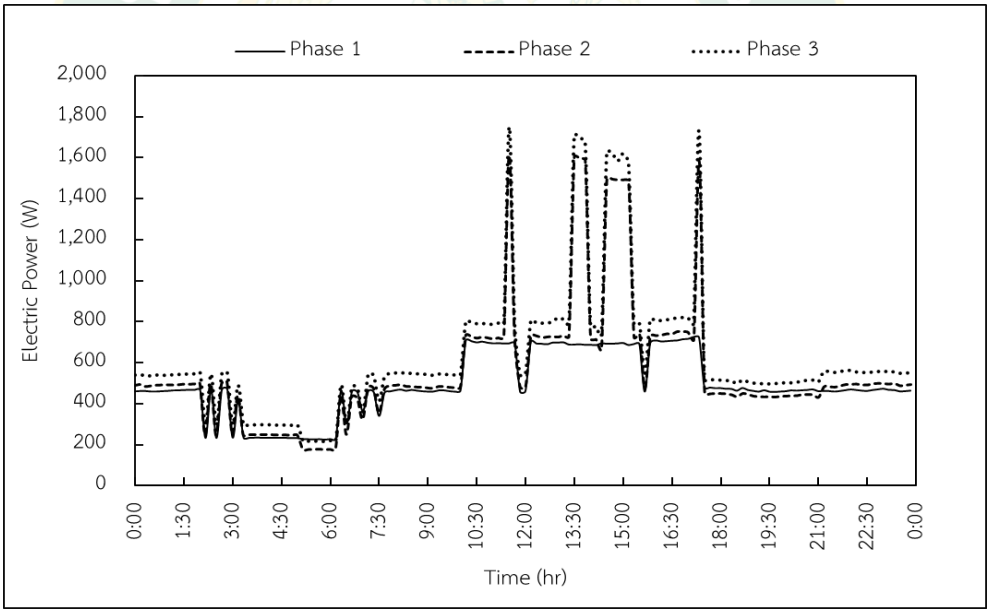
สำหรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ ได้ตรวจวัดข้อมูลจากตู้ MDB มีค่าเฉลี่ยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 0.86 ซึ่งตามมาตรฐานของการไฟฟ้าค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสูงที่สุดในรอบเดือนจะต้องมีค่าไม่เกิน 61.97% ของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา Peak เมื่อวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสูงสุดของอาคาร เท่ากับ 17.32 kVAR และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา Peak เท่ากับ 35.44 kW โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสูงสุด 48.87% ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและไม่เสียค่าปรับ รายละเอียดค่าไฟฟ้าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดของอาคารอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีและอาคารประชุมนานาชาติ

ข้อมูลทางไฟฟ้า	Phase-1	Phase-2	Phase-3	เฉลี่ย 3 Phase
ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V)	236.16	237.80	237.17	237.04
ค่าเฉลี่ยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.95	0.83	0.82	0.86
ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย (kW)				35.44
ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสูงสุด (kVAR)				17.32
ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุดเฉลี่ย (kVA)				39.15

4.7.3 การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของฟาร์มสัตว์ปีก

จากเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่โรงเรือนทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของฟาร์มสัตว์ปีก เป็นการยกตัวอย่างพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในโรงเรือนไก่ไข่ มีพื้นที่การใช้งานประมาณ 100 m^2 ที่มีจำนวนไก่ไข่ในโรงเรือน 300 ตัว พบว่า พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงเรือนมีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีการใช้พัดลมระบายอากาศเป็นหลัก มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 40.40 kWh/day และมีค่า SEC เท่ากับ 0.13 kWh/unit/day โดยในช่วงเวลา กลางวันจะมีการใช้งานตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 17.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูง จึงมีการใช้พัดลมระบายอากาศทั้งหมด จำนวน 4 เครื่อง ภายในโรงเรือน และช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 2.00 น. ที่มีการใช้งานพัดลมระบายอากาศจำนวน 1 – 2 เครื่องตามอุณหภูมิที่ทำการตั้งค่าไว้ รวมไปถึงมีการใช้งานหลอดไฟทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ดังแสดงในภาพที่ 88 ส่งผลให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม 4,087.55 W และค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 237.04 V และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.94 ดังแสดงในตารางที่ 37



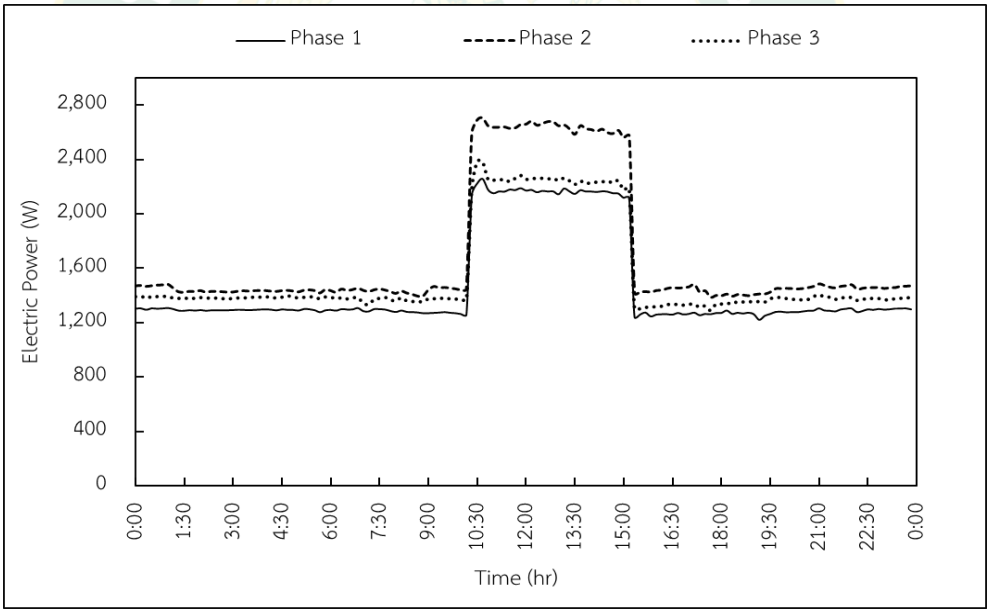
ภาพที่ 88 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงเรือนภายในฟาร์มสัตว์ปีก

ตารางที่ 37 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดภายในฟาร์มสัตว์ปีก

ข้อมูลทางไฟฟ้า	Phase-1	Phase-2	Phase-3	เฉลี่ย 3 Phase
ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V)	235.58	235.91	231.99	237.04
ค่าเฉลี่ย ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.93	0.94	0.95	0.94
ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (W)				**4,087.55**

4.7.4 การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของฟาร์มสุกร

จากเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่โรงเรือนสุกรระบบปิดทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นการยกตัวอย่างพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในโรงเรือนสุกรขุนระบบปิด มีพื้นที่การใช้งานประมาณ 616 m^2 ที่มีจำนวนสุกรในโรงเรือนประมาณ 300 ตัว พบว่า พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงเรือนมีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีการใช้พัดลมระบายอากาศเป็นหลัก มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 113 kWh/day และมีค่า SEC เท่ากับ 0.38 kWh/unit/day โดยในช่วงเวลากลางวันจะมีการใช้งานตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูง จึงมีการใช้พัดลมระบายอากาศทั้งหมดภายในโรงเรือน จำนวน 4 เครื่อง และช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 10.00 น. ที่มีการใช้งานพัดลมระบายอากาศจำนวน 1 – 2 เครื่องตามอุณหภูมิที่ทำการตั้งค่าไว้ รวมไปถึงมีการใช้งานหลอดไฟทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ดังแสดงในภาพที่ 89 ส่งผลให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม 7,350.85 W และค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 237.04 V และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.86 ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 38



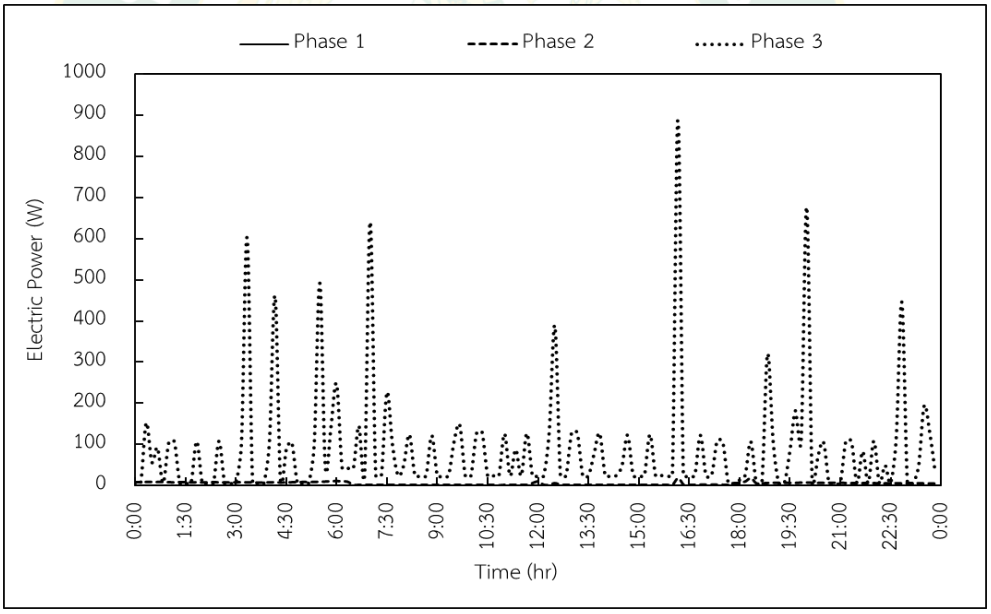
ภาพที่ 89 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงเรือนภายในฟาร์มสุกร

ตารางที่ 38 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดภายในฟาร์มสุกร

ข้อมูลทางไฟฟ้า	Phase-1	Phase-2	Phase-3	เฉลี่ย 3 Phase
ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V)	221.89	221.85	222.08	237.04
ค่าเฉลี่ยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.85	0.87	0.86	0.86
ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (W)				**7,350.85**

4.7.5 การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

จากเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่โรงเรือนสุกรระบบปิดทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นการยกตัวอย่างพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในโรงเรือนโคนม ที่มีพื้นที่การใช้งานประมาณ 536 m^2 ที่มีจำนวนสุกรในโรงเรือนประมาณ 31 ตัว พบว่า พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงเรือนมีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีการใช้พัดลมระบายอากาศเป็นหลักมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 2.2 kWh/day และมีค่า SEC เท่ากับ 0.07 kWh/unit/day สาเหตุพื้นที่ในฟาร์มโคนม-โคเนื้อมีการใช้พลังงานน้อย เนื่องจากพื้นที่ของฟาร์มจะเป็นโรงเรือนแบบเปิด จะมีเพียงเครื่องทำน้ำเย็นและหลอดไฟเท่านั้น อย่างไรก็ตามภายในโรงเรือนมีอุปกรณ์ของระบบระบายอากาศทั้งพัดลมระบายอากาศ และปั๊มน้ำ ที่จะมีการใช้งานเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูง จะสังเกตได้ว่าลักษณะการใช้พลังงานที่ไม่สม่ำเสมอทั้งในช่วงเวลากลางวันและเวลากลางคืน ดังแสดงในภาพที่ 90 ส่งผลให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม 906.41 W และค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 234.90 V และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.88 ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 39



ภาพที่ 90 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงเรือนภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

ตารางที่ 39 ข้อมูลทางไฟฟ้าจากการตรวจวัดภายในฟาร์มโคนม-โคเนื้อ

ข้อมูลทางไฟฟ้า	**Phase-1**	**Phase-2**	**Phase-3**	**เฉลี่ย 3 Phase**
ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V)	234.77	235.09	234.83	234.90
ค่าเฉลี่ย ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.90	0.76	0.99	0.88
ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (W)				**906.41**

4.7.6 ผลการวิเคราะห์ International Standard ISO 50015

ผลการวิเคราะห์ International Standard ISO 50015 Energy Management Systems - Measurement and Verification of Energy Performance of Organizations - General Principles and Guidance Management System จากการตรวจวัดระบบการใช้พลังงานต่าง ๆ ภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและบ่งชี้ระบบที่มีนัยสำคัญตามมาตรฐาน International Standard ISO 50002 จึงได้ทำการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ จากระบบการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญประกอบด้วยมาตรการระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบระบายอากาศรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.7.6.1 มาตรการระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

1) มาตรการการลดหลอดภายในอาคารสำหรับห้องที่มีค่ามาตรฐานความส่องสว่าง (LUX) สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

จากการสำรวจค่าความส่องสว่างภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ ที่มีค่า LUX สูงกว่ามาตรฐานจำนวนมาก เนื่องจากภายในอาคารส่วนใหญ่จะมีการติดตั้งโคมของหลอดไฟ โดยมีจำนวนหลอดไฟ 3 หลอดต่อโคม ส่งผลให้ค่า LUX สูง และค่า LPD ต่ำกว่ามาตรฐาน จากการเปรียบเทียบห้อง 1206 ที่มีการใช้หลอดไฟ 3 หลอด/โคม จะมีค่า LUX เท่ากับ 547.7 LUX กับห้อง 1218 ที่ใช้หลอดไฟ 2 หลอด/โคม จะมีค่า LUX เท่ากับ 415.3 LUX ส่งผลให้ค่า LUX ลดลง 24.17% ซึ่งมีแสงสว่างเพียงพอตามมาตรฐานที่ 400 LUX ณ ห้องดังกล่าว โดยอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมีพื้นที่ที่มีการลดหลอดไฟ จำนวน 35 ห้อง รวม 218 หลอด แบ่งเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 36W จำนวน 200 หลอด และชนิด T8 18W จำนวน 18 หลอด คิดเป็นกำลังไฟฟ้ารวม 40.02 kW และอาคารประชุมนานาชาติมีพื้นที่การลดหลอด จำนวน 7 ห้อง รวม 51 หลอด แบ่งเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 36W จำนวน 51 หลอด คิดเป็นกำลังไฟฟ้า 7.18 kW จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 7,490.66 kWh/year คิดเป็นเงิน 29,063.76 Baht/year โดยที่มาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ไม่มีการลงทุน ดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ผลประหยัดมาตรการการลดหลอดภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารประชุมนานาชาติ

รายการ	**อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี**	**อาคารประชุมนานาชาติ**
จำนวนหลอด	ชนิด T8 36W จำนวน 200 หลอด ชนิด T8 18W จำนวน 18 หลอด	ชนิด T8 36W จำนวน 51 หลอด

รายการ	อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี	อาคารประชุมนานาชาติ
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด	ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 48 W ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 28 W	ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 48 W
กำลังไฟฟ้ารวม	40.02 kW	7.18 kW
ชั่วโมงการใช้งาน	ตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตารางการใช้งานแต่ละห้อง
วันที่ทำงาน	ตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตารางการใช้งานแต่ละห้อง
พลังงานที่ลดลงต่อปี	7,271.24 kWh/year	219.42 kWh/year
คิดเป็นเงิน	28,212.41 Baht/year	851.35 Baht/year
ผลประหยัดพลังงาน	**7,490.66 kWh/year**	
ผลประหยัด	**29,063.76 Baht/year**	

2) มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง

โดยมาตรการเปลี่ยนหลอดประสิทธิภาพสูง มีสาเหตุมาจากในพื้นที่อาคารมีการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 และหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 เป็นหลัก ซึ่งจากการตรวจวัดและวิเคราะห์ตัวชี้วัดระบบไฟฟ้าส่องสว่างทั้ง 3 ตัวแปร คือ ค่า LUX ค่า LER และค่า LPD ที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน จึงมีการเสนอมาตรการเปลี่ยนหลอดที่ใช้งานในปัจจุบันให้เป็นหลอด LED และหลอดตะเกียบ LED ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานและค่าความสว่างสูง สำหรับอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีการใช้งานอาคารอย่างสม่ำเสมอ และอาคารประชุมนานาชาติที่เลือกเปลี่ยนหลอดไฟเพียงพื้นที่จอดรถ เนื่องจาก เป็นเพียงพื้นที่เดียวของอาคารที่มีการใช้งานสม่ำเสมอ ดังแสดงในตารางที่ 41 จากมาตรการดังกล่าวมีการเปลี่ยนหลอดทั้งหมดรวม 1,331 หลอด จากเดิมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 36W จำนวน 191 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 จำวน 1,096 หลอด เปลี่ยนเป็นหลอด LED ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 18 W รวมจำนวน 1,287 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 18W จำนวน 31 หลอด เปลี่ยนเป็นหลอด LED ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 9 W และหลอดคอมแพ็คหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 13 หลอด จำนวน 31 หลอด เปลี่ยนเป็นหลอดตะเกียบ LED จำนวน 13 หลอด จากเดิมกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่ารวม 40.13 kW หลังจากการปรับปรุงมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอด LED กำลังไฟฟ้าจะลดลงเหลือ 23.59 kW จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 15,450.82 kWh/year คิดเป็นเงิน 59,949.18 Baht/year โดยมาตรการเปลี่ยนหลอดทั้งหมด 1,331 หลอด จะมีเงินลงทุน 301,143 Baht จากผลประหยัดของมาตรการ ทำให้มาตรการเปลี่ยนหลอดประสิทธิภาพสูง มีระยะเวลาคืนทุน 5.02 year ดังแสดงในตารางที่ 42

ตารางที่ 41 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงภายในอาคารประชุมนานาชาติ

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนหลอด	ชนิด T8 จำนวน 6 หลอด	[1] LED ชนิด T8 จำนวน 6 หลอด
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด	ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 48 W	LED ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 18 W
กำลังไฟฟ้ารวม	0.276 kW	0.108 kW
ชั่วโมงการใช้งาน	6	6
วันที่ทำงาน	365	365
พลังงานที่ใช้ต่อปี	604.44 kWh/year	236.52 kWh/year
คิดเป็นเงิน	2,345.23 Baht/year	917.70 Baht/year
ผลประหยัดพลังงาน	367.92 kWh/year	
ผลประหยัด	1,427.53 Baht/year	
เงินลงทุน	1,374 Baht	
ระยะเวลาคืนทุน	0.96 year	

ตารางที่ 42 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงภายในอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนหลอด	ชนิด T8 จำนวน 197 หลอด ชนิด T8 สั้น จำนวน 31 หลอด ชนิด T5 จำนวน 1,096 หลอด ตะเกียบ CFL จำนวน 13 หลอด	[1] LED ชนิด T8 จำนวน 1,293 หลอด [2] LED ชนิด T8 สั้น จำนวน 31 หลอด [3] ตะเกียบ LED จำนวน 13 หลอด
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด	ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 48 W ชนิด T8 สั้น กำลังไฟฟ้า 28 W ชนิด T5 กำลังไฟฟ้า 28 W ชนิด ตะเกียบ PLC กำลังไฟฟ้า 13 W	LED ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 18 W LED ชนิด T8 สั้น กำลังไฟฟ้า 9 W ตะเกียบ LED กำลังไฟฟ้า 11 W
กำลังไฟฟ้ารวม	40.13 kW	23.70 kW
ชั่วโมงการใช้งาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง
วันที่ทำงาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง
พลังงานที่ใช้ต่อปี	36,405.67 kWh/year	20,954.85 kWh/year

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
คิดเป็นเงิน	141,254.00 Baht/year	81,304.82 Baht/year
ผลประหยัดพลังงาน	**15,450.82 kWh/year**	
ผลประหยัด	**59,949.18 Baht/year**	
เงินลงทุน	**301,143 Baht**	
ระยะเวลาคืนทุน	**5.02 year**	

หมายเหตุ [1]ราคาหลอด LED ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 18 W หลอดละ 229 บาท

[2]ราคาหลอด LED ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 9 W หลอดละ 179 บาท

[3]ราคาหลอดตะเกียบ LED กำลังไฟฟ้า 11 W หลอดละ 67 บาท

จากมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงในพื้นที่ฟาร์มภายในคณะฯ พบว่า พื้นที่อาคารสำนักงานในแต่ละฟาร์ม ยังมีการใช้หลอดฟูลออเรสเซนต์ T8 36 W จำนวน 13 หลอด และหลอดคอมแพคฟูลออเรสเศนต์ จำนวน 6 หลอด ทำให้มีค่าความสว่างต่ำกว่ามาตรฐาน จึงเสนอให้มีการเปลี่ยนหลอดเป็นหลอด LED ที่มีกำลังไฟฟ้า 18 W จำนวน 13 หลอด และหลอดตะเกียบ LED กำลังไฟฟ้า 11 W จำนวน 6 หลอด จากการประเมินผลประหยัด พบว่า คำกำลังไฟฟ้าลดลงจาก 553 W หลังจากการปรับปรุงมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอด LED กำลังไฟฟ้าจะลดลงเหลือ 297 W คิดเป็น 46.29% ของกำลังไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ เท่ากับ 475.96 kWh/year คิดเป็น 1,846.72 Baht/year โดยจะมีเงินลงทุน 3,379 Baht และมีระยะเวลาคืนทุน 1.83 year ดังแสดงในตารางที่ 43

ตารางที่ 43 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงภายในอาคารสำนักงานของพื้นที่ฟาร์ม

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนหลอด	ชนิด T8 จำนวน 13 หลอด ตะเกียบ CFL จำนวน 6 หลอด	[1] LED ชนิด T8 จำนวน 13 หลอด [2] ตะเกียบ LED จำนวน 6 หลอด
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด	ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 48 W ตะเกียบ PLC กำลังไฟฟ้า 18 W	LED ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 18 W ตะเกียบ LED กำลังไฟฟ้า 11 W
กำลังไฟฟ้ารวม	553 W	297 W
ชั่วโมงการใช้งาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง
วันที่ทำงาน	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง	ตามตารางการใช้งานแต่ละห้อง
พลังงานที่ใช้ต่อปี	1,022.26 kWh/year	546.30 kWh/year

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
คิดเป็นเงิน	3,966.37 Baht/year	2,119.64 Baht/year
ผลประหยัดพลังงาน	**475.96 kWh/year**	
ผลประหยัด	**1,846.72 Baht/year**	
เงินลงทุน	**3,379 Baht**	
ระยะเวลาคืนทุน	**1.83 year**	

หมายเหตุ [1]ราคาหลอด LED ชนิด T8 กำลังไฟฟ้า 18 W หลอดละ 229 บาท

[2]ราคาหลอดตะเกียบ LED กำลังไฟฟ้า 11 W หลอดละ 67 บาท

4.7.6.2 ระบบปรับอากาศ

1) มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

จากการสำรวจระบบปรับอากาศในอาคาร พบว่า เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ส่วนใหญ่ในอาคารมีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี จำนวน 47 เครื่อง คิดเป็น 73.44% ของเครื่องปรับอากาศทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 91 ทำให้มีความสามารถในการทำความเย็นลดลงและใช้กำลังไฟฟ้าในระบบสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศต่ำลงไปด้วย อย่างไรก็ตามพื้นที่ห้องบางส่วนมีการใช้งานน้อย จึงเป็นที่มาขอการเสนอมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ โดยใช้การเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้งานมากกว่า 7 ชั่วโมงต่อวัน เพื่อความคุ้มค่าของมาตรการ

ภาพที่ 91 ตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในอาคารที่มีอายุการใช้งาน 15 ปี

โดยแนวทางการปรับปรุงมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง ทำโดยเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการใช้งานมากกว่า 7 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 6 ห้อง แบ่งออกเป็น ห้องเรียน จำนวน 2 ห้อง ห้องสำนักงาน จำนวน 3 ห้อง และห้องปฏิบัติการ จำนวน 1 ห้อง เป็นจำนวนเครื่องปรับอากาศทั้งหมด จำนวน 16 เครื่อง ประกอบไปด้วย เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็น 30,000 Btu/hr จำนวน 10 เครื่อง เครื่องปรับอากาศที่

มีขนาด 25,000 Btu/hr จำนวน 5 เครื่อง และเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็น 13,000 Btu/hr จำนวน 1 เครื่อง ทำการเปลี่ยนเครื่องปรับกาศทั้งหมดเป็นเครื่องปรับอากาศ Inverter ที่มีขนาด 30,000 Btu/hr ที่มีค่า SEER 15 (Btu/hr)/W ขนาด 25,000 Btu/hr ค่า SEER 16.05 (Btu/hr)/W และขนาด 13,000 Btu/hr (พื้นที่ฟาร์มสัตว์ปีก) ค่า SEER 17.49 (Btu/hr)/W ทั้งหมด จำนวน 16 เครื่อง โดยสรุปพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุงมาตรการ ดังแสดงในตารางที่ 44

ตารางที่ 44 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

ห้อง	ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง (kWh/year)	EER เครื่องปรับอากาศจากการตรวจวัด (Btu/hr/W)	SEER เครื่องปรับอากาศใหม่ (Btu/hr/W)	Saving (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ((Btu/hr)/W)
ห้องเรียน 1206	30,000	4,602.50	11.92	15	31.50	1,102.50
	30,000	4,637.50	12.56	15	32.50	1,137.50
	30,000	4,620.00	11.95	15	32.00	1,120.00
	30,000	4,585.00	14.14	15	31.00	1,085.00
สำนักงาน 1216	30,000	5,827.50	12.71	15	66.50	2,327.50
	30,000	5,897.50	10.64	15	68.50	2,397.50
สำนักงาน 1218	30,000	5,022.50	13.83	15	43.50	1,522.50
	30,000	5,215.00	12.88	15	49.00	1,715.00
	30,000	5,145.00	13.33	15	47.00	1,645.00
	30,000	4,655.00	12.51	15	33.00	1,155.00
ห้องเรียน 1412	25,000	2,968.00	12.41	16.05	36.10	787.31
	25,000	3,024.00	12.62	16.05	38.67	843.31
	25,000	3,066.00	11.90	16.05	40.60	885.31
	25,000	3,066.00	11.38	16.05	40.60	885.31
สำนักงาน 1506	25,000	3,605.00	11.48	16.05	32.25	879.14
ห้องเย็นเก็บไก่ฟัก	13,000	10,161.60	7.22	17.49	56.06	3,650.45
			รวมผลประหยัด			**23,138.35**

จากการเสนอมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง (Inverter) เมื่อดำเนินการตามมาตรการเสนอแนะ โดยมีงบประมาณในการดำเนินมาตรการเป็นเงิน 769,215 Baht ดังแสดงในตารางที่ 45 จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 23,138.35 kWh/year คิดเป็นเงิน 89,776.81 Baht/year (ค่าไฟฟ้าคิดที่ค่าไฟเฉลี่ยปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2562 ค่าไฟฟ้า 3.88 Baht/kWh) มีระยะเวลาคืนทุนจากมาตรการ 8.57 year ดังรายละเอียดเงินลงทุนและผลประหยัดจากมาตรการ ดังแสดงในตารางที่ 46

ตารางที่ 45 เงินลงทุนของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	[1]ราคาเครื่องปรับอากาศ (Baht/เครื่อง)	รวมราคาเครื่องปรับอากาศ (Baht)
30,000	10	52,645	526,450
25,000	5	45,241	226,205
13,000	1	16,560	16,560
รวมเงินลงทุน			**769,215**

หมายเหตุ [1]ราคาเครื่องปรับอากาศจากบริษัท บีบีแอร์ เทรดดิ้ง จำกัด

ตารางที่ 46 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

รายการ	หลังปรับปรุง
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	23,138.35
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)	89,776.80
เงินลงทุน (Baht)	769,215
ระยะเวลาคืนทุน (year)	**8.57**

2) มาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

จากมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงในห้องที่มีการใช้อย่างต่อเนื่อง จึงเป็นที่มาของการเสนอมาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศเป็นมาตรการต่อเนื่องเพื่อเกิดการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยจะลดเวลาการใช้งานโดยการติดตั้งเครื่องตั้งเวลาเปิดปิดอัตโนมัติ หรือ Timer เพื่อตั้งเวลาปิดเครื่องปรับอากาศก่อนออกจากห้องในแต่ละวัน 15 นาทีต่อวัน เนื่องจากยังมีความเย็นสะสมอยู่ภายในห้อง จึงได้เสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศ ด้วยมาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

โดยติดตั้งอุปกรณ์เปิดปิดอัตโนมัติ (Timer) ภายในห้องที่ทำการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ จำนวน 5 ห้อง ได้แก่ ห้องเรียน 1206 ห้องสำนักงาน 1216 ห้องสำนักงาน 1218 ห้องเรียน 1412 และห้องสำนักงาน 1506 ส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานได้ 1,658.88 kWh/year คิดเป็นเงิน 6,436.00 Baht/year โดยมาตรการดังกล่าว จะมีงบประมาณในการลงทุน 5,850.00 Baht และมีระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 0.91 year ดังแสดงในตารางที่ 47

ตารางที่ 47 ผลประหยัดมาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

ห้อง	ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	กำลังไฟฟ้ารวม (kW)	จำนวนชั่วโมงใช้งานที่ลดได้ (hr/day)	วันใช้งานต่อปี (day/year)	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)
ห้องเรียน 1206	30,000	11.4	0.25	250	500.00
ห้องสำนักงาน 1216	30,000	5.7	0.25	250	250.00
ห้องสำนักงาน 1218	30,000	11.4	0.25	250	500.00
ห้องเรียน 1412	25,000	8.88	0.25	200	311.53
ห้องสำนักงาน 1506	25,000	2.22	0.25	250	97.35
รวมพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้					**1,658.88**
[1]ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)					**6,436.45**
[2]เงินลงทุน (Baht)					**5,850.00**
ระยะเวลาคืนทุน (year)					**0.91**

4.7.6.3 ระบบระบายอากาศ

1) มาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

จากการสำรวจระบบระบายอากาศภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่าภายในโรงเรือนทั้ง 3 พื้นที่ มีการใช้พัดลมเพื่อระบายอากาศภายในโรงเรือน โดยมีอายุการใช้งานของพัดลมมากกว่า 15 ปี ดังแสดงในภาพที่ 92 จึงส่งผลให้การระบายอากาศภายในโรงเรือนได้ลดลง เนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลงต่ำลง จึงมีแนวทางเสนอมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศที่ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ภายในโรงเรือนทั้ง 6 แห่ง โดยจะเลือกเปลี่ยนเฉพาะพัดลมที่มีการใช้งานหลักของแต่ละโรงเรือน รวมจำนวน 18 ตัว แบ่งเป็น พัดลมระบายอากาศ ขนาด 36 นิ้ว จำนวน 8 ตัว ที่ขนาดมอเตอร์มีกำลังไฟฟ้า 370 W พัดลมระบายอากาศ ขนาด 56 นิ้ว ที่ขนาดมอเตอร์มีกำลังไฟฟ้า 1,500 W จำนวน 4 ตัว และพัดลมระบายอากาศ ขนาด 50 นิ้ว จำนวน 4 ตัว

ที่ขนาดมอเตอร์มีกำลังไฟฟ้า 1,100 W เมื่อมีการปรับปรุงมาตรการจะสามารถโดยสรุปพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุงมาตรการ ดังแสดงในตารางที่ 48

ภาพที่ 92 ลักษณะของพัดลมระบายอากาศและมอเตอร์

ตารางที่ 48 ผลประหยัดด้านพลังงานมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

พื้นที่	ขนาดพัดลม (นิ้ว)	พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง (kWh/year)	Standard Efficiency Motor (%)	พลังงานไฟฟ้าลดลง (kWh/year)	High Efficiency Motor (%)
โรงเรือนไก่เนื้อ M1	36	3,357.00	66	436.41	72.7
โรงเรือนไก่เนื้อ M2	36	3,357.00	66	436.41	72.7
โรงเรือนไก่เนื้อ M3	36	3,357.00	66	436.41	72.7
โรงเรือนไก่ไข่	36	3,826.98	66	535.78	72.7
แม่พันธ์ ฟาร์มปิด	56	31,320.00	77.2	2,505.60	82.8
สุกรขุน ฟาร์มปิด	50	15,840.00	77.2	1,267.20	82.8
รวม				**5617.81**	

หมายเหตุ [1]ราคาเครื่องปรับอากาศจากบริษัท ซาปิะ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

การเสนอแนวทางมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เมื่อดำเนินการตามมาตรการที่เสนอแนะ โดยมาตรการดังกล่าวจะมีงบประมาณในการลงทุนเป็นเงิน 195,000 Baht จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 5,617.81 kWh/year คิดเป็นเงิน 21,797.09 Baht/year มีระยะเวลาคืนทุนจากมาตรการ 8.95 year ดังแสดงในตารางที่ 49

ตารางที่ 49 ผลประหยัดของมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

รายการ	**หลังปรับปรุง**
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	5,617.81
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)	21,797.10
เงินลงทุน (Baht)	195,000.00
ระยะเวลาคืนทุน (year)	**8.95**

จากผลการวิเคราะห์ International Standard ISO 50015 Energy Management Systems - Measurement and Verification of Energy Performance of Organizations - General Principles and Guidance Management System ได้มีการเสนอมาตรการการอนุรักษ์พลังงานภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 5 มาตรการ ได้สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบระบายอากาศ โดยมีผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และระยะเวลาคืนทุน ดังแสดงในตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ผลประหยัดจากจากเสนอแนวทางมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และระยะเวลาคืนทุน

มาตรการ	**พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)**	**ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)**	**ระยะเวลาคืนทุน (year)**
มาตรการที่ 1 มาตรการการลดหลอดภายในอาคารหรับห้องที่มีค่ามาตรฐานความส่องสว่าง (LUX) สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน	7,490.66	29,063.76	-
มาตรการที่ 2 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง			
อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี	15,450.82	59,949.18	5.02
อาคารประชุมนานาชาติ	236.52	917.67	0.96
อาคารสำนักงานของพื้นที่ฟาร์ม	475.96	1,846.72	1.83
มาตรการที่ 3 มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง	23,138.35	89,776.80	8.57

มาตรการ	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)	ระยะเวลาคืนทุน (year)
มาตรการที่ 4 มาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ	1,658.88	6,436.45	0.91
มาตรการที่ 5 มาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	5,617.81	21,797.10	8.95
สรุปรวมผลประหยัด	**54,069.00**	**209,787.72**	**-**

จากการเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามการวิเคราะห์ตาม ISO 50015 หากทำการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการที่เสนอแนะ พบว่า คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 54,069.00 kWh/year คิดเป็นผลประหยัดเท่ากับ 209,787.72 Baht/year คิดเป็น 17.54% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 51

ตารางที่ 51 ผลการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

ลักษณะการใช้พลังงานคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี	ก่อนการปรับปรุงตามมาตรการที่เสนอแนะ	หลังการปรับปรุงตามมาตรการที่เสนอแนะ
การใช้พลังงาน (kWh/year)	308,268.72	254,199.72
ผลประหยัดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (kWh/year)	54,069.00	
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Baht/year)	209,787.72	

จากการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี เมื่อวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงานในระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบปรับอากาศ ในกรณีที่มีการดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงาน พบว่า ในระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ค่า LER จะมีค่าเท่ากับ 100 lumen/W ทั้งในส่วนของอาคารและฟาร์ม และค่า LPD ของอาคารลดลงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.23 – 13.50 W/m^2 ที่มีค่าผ่านมาตรฐาน และค่า LPD ของสำนักงานภายในฟาร์มจะลดลงอยู่ระหว่าง 0.30 – 5.50 W/m^2 ในส่วนของระบบปรับอากาศจะมี EnPI สำหรับเครื่องปรับอากาศที่ได้รับการดำเนินมาตรการ จะมีค่า COP อยู่ระหว่าง 2.12 – 4.14 W_{th}/W_e และค่า SEER จะมีค่าระหว่าง 15 - 17.49 Btu/hr/W ดังแสดงในตารางที่ 52

ตารางที่ 52 ผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EnPIs

ตัวชี้วัดด้านพลังงาน (EnPIs)		**ก่อนการปรับปรุงตามมาตรการที่เสนอแนะ**	**หลังการปรับปรุงตามมาตรการที่เสนอแนะ**
ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง			
ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง Luminous Efficacy Ratio (LER) (lumen/W)	อาคาร	8.61 – 137.19	100
	ฟาร์ม	11.91 – 122.24	100
ค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density: LPD) (W/m^2)	อาคาร	0.72 – 28.53	0.23 – 13.50
	ฟาร์ม	0.77 – 11.15	0.30 – 5.50
ระบบปรับอากาศ			
สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น COP (W_{th}/W_e)		2.12 - 4.14	4.39 - 5.13
สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ EER (Btu/hr/W)		7.22 - 14.14	SEER (Btu/hr/W) 15 - 17.49

4.7.6.4 มาตรการด้านพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร

มาตรการด้านพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร จากอุปกรณ์ที่มีการใช้ที่แตกต่างกันทำให้จึงมีมาตรการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนี้

1. ควรมีการรณรงค์และประชาสัมพันธ์การประหยัดพลังงาน ด้วยวิธีการจัดทำป้ายสติ๊กเกอร์ขอความร่วมมือ อาจารย์ นักศึกษา และผู้ใช้พลังงานทุกคน

2. ติดตั้งบอร์ดประชาสัมพันธ์แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

3. ควรใช้เครื่องพิมพ์แบบเครือข่ายเพื่อลดจำนวนปริ้นเตอร์ให้น้อยลง ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง

4. ปิดจอคอมพิวเตอร์ในเวลาพักเที่ยงเนื่องจากจอภาพใช้ไฟฟ้ากว่า 70% ของคอมพิวเตอร์

5. หมั่นทำความสะอาดแผงระบายความร้อนที่อยู่ด้านหลังของตู้เย็น

6. ควรติดตั้งตู้เย็นให้ห่างจากฝาผนังอย่างน้อย 15 cm เพื่อให้เกิดการระบายความร้อนได้ดี

7. ควรหมั่นตรวจสอบขอบยางของตู้เย็นว่าขอบยางปิดสนิทหรือไม่ โดยสามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการนำกระดาษไปไว้ระหว่างขอบยางของตู้เย็นแล้วปิดตู้เย็น ถ้ากระดาษไม่ตกแสดงว่าขอบยางมีประสิทธิภาพ แต่ถ้ากระดาษตกควรเปลี่ยนขอบยาง

8. ควรเลือกซื้อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5

9. ควรทำความสะอาดพัดลมระบายอากาศและประตูกันลมที่มีฝุ่นเกาะอยู่บริเวณใบพัดและประตูกันลม

10. สำรวจสภาพและทำความสะอาด อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในงานอย่างสม่ำเสมอ

4.8 การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน TREES-EB

เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) ถูกออกแบบเกณฑ์การประเมินบางหัวข้อเพื่อให้เหมาะกับบริบทของประเทศไทยทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า สำหรับเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารระหว่างใช้งาน หรือ TREES-EB เป็นเกณฑ์ที่มุ่งเน้นสำหรับอาคารที่ผ่านการใช้งานจริง โดยอาคารควรมีการใช้งานที่คงที่และเสถียร เนื่องจากต้องมีการใช้ข้อมูลจริงทั้งจากผู้ใช้อาคารและข้อมูลทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่วัดได้จริง จากการศึกษาประเมินในหมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) จะทำการประเมินเกณฑ์การให้คะแนน (EA Credit) หัวข้อย่อยจำนวน 2 หัวข้อ ได้แก่ EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน และ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ ดังนี้

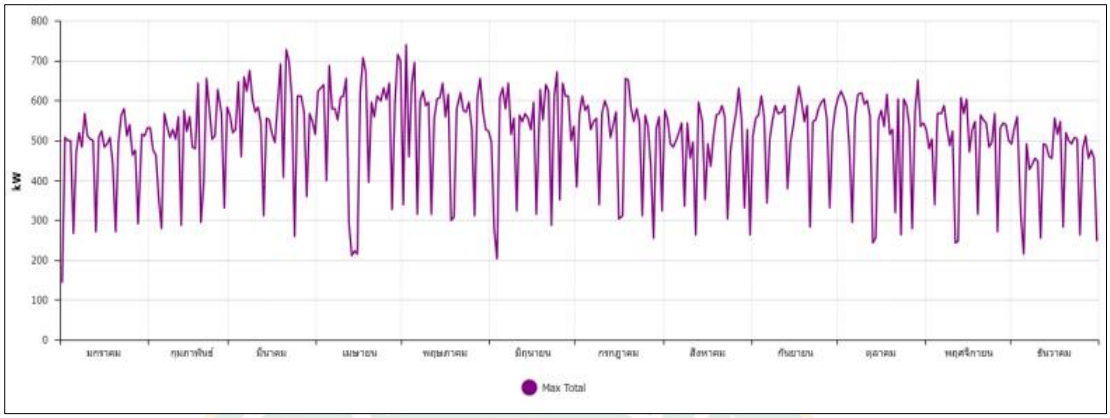
4.8.1 การวิเคราะห์ EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน

จากการประเมินตามมาตรฐานฯ มีการให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานหมุนเวียน เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยกำหนดให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในอาคาร เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เป็นต้น โดยมีการกำหนดเป้าหมายของการใช้พลังงานทดแทนให้ได้เป็นมูลค่า 0.5-3.5% ของค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคารต่อปี ดังนั้นในการศึกษาจึงทำการประเมินระบบการใช้พลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับอาคารและนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมิน ผลการศึกษามีดังนี้

4.8.1.1 การใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า การใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ในปี พ.ศ. 2562 จะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 740 kW เกิดขึ้นใน

วันที่ 2 พฤษภาคม พ.ศ. 2562 เวลา 14.30 น. ดังแสดงในภาพที่ 93 โดยตลอดทั้งปีจะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 538.06 kW



ภาพที่ 93 กำลังไฟฟ้าสูงสุดปี พ.ศ. 2562
[ที่มา: www.amr.pea.co.th]

จากการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความต้องการเพื่อคุมพีคของกำลังไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม PVsyst V. 7.2.2 (Trial Version) โดยทำการป้อนข้อมูลพื้นที่การติดตั้ง ความลาดเอียงของหลังคา และความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude) และตำแหน่งละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (Longitude) ของพื้นที่ติดตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 53 เพื่อเลือกขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์จากโปรแกรมเพื่อคำนวณจำนวนที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 53 ข้อมูลพื้นฐานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการออกแบบ

ตัวแปร	ค่าที่ป้อน
พื้นที่การติดตั้ง	1,120 m^2
ความลาดเอียงของหลังคา	30°
ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude)	351 m
ละติจูด (Latitude)	18.91° N
ลองจิจูด (Longitude)	99.02° E

จากข้อมูลดังกล่าวจึงได้การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อต้องการลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจึงมีการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานฟ้าในช่วงเวลากลางวันที่มีการใช้งานอาคารอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ สายไฟ

อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิใต้แผง และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ จึงมีค่าความสูญเสียที่เกิดจากปัจจัยเหล่านี้ ดังนั้น ในการออกแบบความต้องการของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จึงออกแบบเผื่อความสูญเสียต่อปัจจัยเหล่านี้ประมาณ 23.8% (Tur et al. (2018)) จากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 740 kW จึงได้ทำการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และเมื่อออกแบบเผื่อปัจจัยการสูญเสียอีก 23.8% ดังนั้นระบบที่ทำการออกแบบจะมีขนาดกำลังไฟฟ้า 916.12 kW อย่างไรก็ตามพื้นที่หลังคาของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ มีพื้นที่การติดตั้ง 1,120 m^2 ไม่เพียงพอต่อการติดตั้งระบบ ดังนั้นจึงออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถติดตั้งได้บนพื้นที่ขนาด 231 kW เมื่อคิดการสูญเสียในระบบจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 176.02 kW คิดเป็น 23.78% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 231 kW ทำการเลือกชนิดและจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ในโปรแกรม PVsyst V. 7.2.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 550 W ยี่ห้อ Longi Solar รุ่น LR5-72 HPH 550 M ดังแสดงในตารางที่ 54

ตารางที่ 54 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 550 W ยี่ห้อ Longi Solar รุ่น LR5-72 HPH 550 M

คุณสมบัติ	รุ่น LR5-72 HPH 550 M
Nominal Max. Power (Pmax)	550 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	41.95 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.12 A
Module Efficiency	21.5%

2. อินเวอร์เตอร์ขนาด 40 kW ยี่ห้อ SolarEdge รุ่น SE40K (480V Grid) ดังแสดงในตารางที่ 55

ตารางที่ 55 อินเวอร์เตอร์ขนาด 40 kW จาก SolarEdge รุ่น SE40K (480V Grid)

คุณสมบัติ	SE40K (480V Grid)
Input (DC)	
Max. DC input power (W)	70,000
Max. DC input voltage (V)	1,000
Output (AC)	
Rated output power (W)	40,000
Max. AC output current (A)	48.25
System	
Max. efficiency	98.10%

เมื่อทำการเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 550 W และอินเวอร์เตอร์ขนาด 40 kW จากการออกแบบจำลองของโปรแกรม พบว่า จะมีความต้องการการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 420 panel และอินเวอร์เตอร์ จำนวน 5 เครื่อง ดังแสดงใน**ตารางที่ 56** โดยผลการวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีการติดตั้งแบบอนุกรมทั้งสิ้น 15 string โดยในแต่ละ string มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 28 panel

ตารางที่ 56 รายละเอียดอุปกรณ์และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รายละเอียด	
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 550 W ยี่ห้อ Longi Solar รุ่น LR5-72 HPH 550 M	420 แผง
อินเวอร์เตอร์ 40 kW ยี่ห้อ SolarEdge รุ่น SE40K (480V Grid)	5 เครื่อง
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	378.22 MWh/year
สมรรถนะของระบบ (Performance Ratio: PR)	86.11%
CO_2 Emission Balance	4,190.8 tCO_2

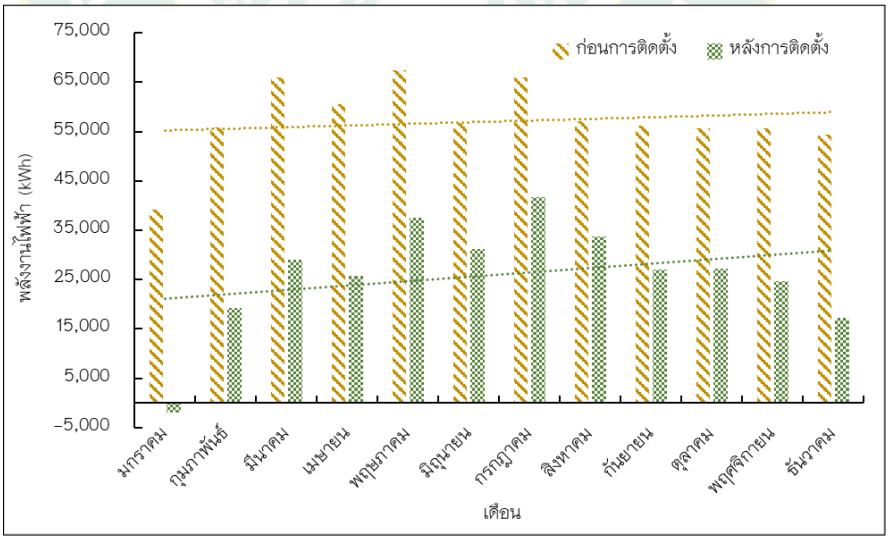
จากตารางที่ 56 แสดงผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จากโปรแกรม พบว่า ในแต่ละปีจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 148.47 MWh/year มีค่าสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio, PR) เท่ากับ 86.11% และแสดงให้เห็นถึงผลการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม โดยค่า CO_2 Emission Balance คือ ปริมาณของก๊าซ CO_2 ลดลงจากการดำเนินโครงการฯ ที่ปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศสุทธิ เท่ากับ 4,190.8 tCO_2 เมื่อเทียบกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน

จากการวิเคราะห์ตัวแปรทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) พบว่า เงินลงทุนโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กำลัง 231 kW มีเงินลงทุน 6,930,000 บาท ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือเงินลงทุน ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 550 W ราคาแผงละ 6,407.50 บาท อินเวอร์เตอร์ ขนาด 40 kW ราคาเครื่องละ 124,600 บาท และค่าติดตั้งคิดเป็น 15.65 บาท/W อ้างอิงราคาจาก บริษัท โซล่าฮับ จำกัด (https://www.solarhub.co.th) โดยที่คิดดอกเบี้ยเงินกู้จากธนาคารกรุงเทพ 5.75% ประจำวันที่ 6 ตุลาคม 2563 และส่วนที่ 2 คือ ค่าซ่อมบำรุงรายปี เช่น บริการล้างแผงและตรวจเช็คแผงเซลล์แสงอาทิตย์และตรวจสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วไป เป็นต้น คิดเป็นเงิน 10,000 บาท/ปี โดยที่โครงการมีระยะเวลา 25 ปี ผลประหยัดสุทธิจากการผลิตไฟฟ้า 1,457,493.60 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 4.75 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เท่ากับ 12,152,594.54 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เท่ากับ 20.85% ดังแสดงในตารางที่ 57

ตารางที่ 57 ค่าใช้จ่ายโครงการและการวิเคราะห์ตัวแปรทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รายการ	จำนวน	ราคา	มูลค่า
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 550 W	420 แผง	6,407.50 บาท	2,691,150 บาท
อินเวอร์เตอร์ ขนาด 40 kW	5 เครื่อง	124,600 บาท	623,000 บาท
ค่าติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	231 kW	15.65 บาท/W	3,615,850 บาท
ค่าซ่อมบำรุงรายปี		10,000 บาท/ปี	
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)		4.75 ปี	
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)		12,152,594.54 บาท	
อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)		20.85%	

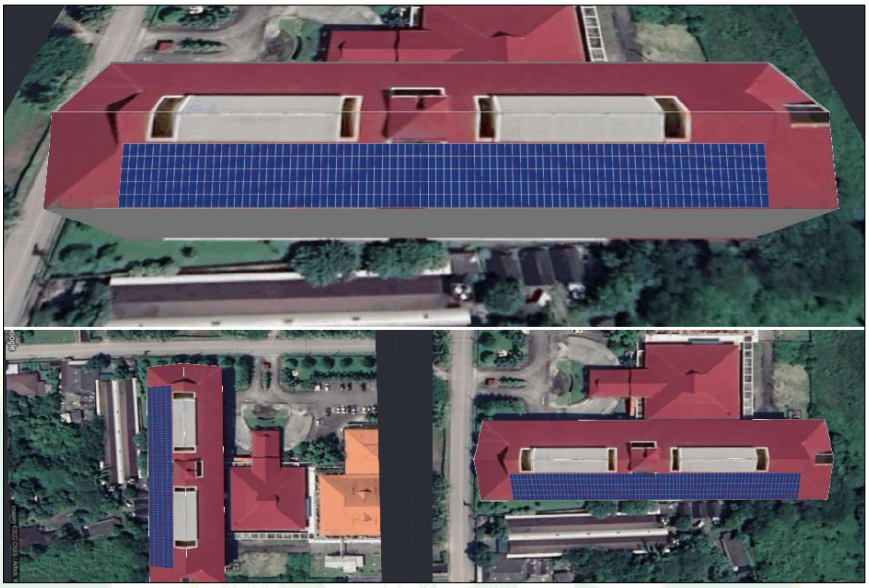
จากการวิเคราะห์ผลประหยัดภายใน 1 ปี พบว่า จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งปี 31,517.50 kWh/เดือน คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเฉลี่ย 54.74% ต่อเดือน โดยช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน – เมษายน จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด เท่ากับ 217,810 kWh เมื่อคิดเป็นภาพรวมตลอดทั้งปีจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 378,220 kWh คิดเป็นเงิน 1,467,493.60 บาท/ปี ดังแสดงภาพที่ 94



ภาพที่ 94 การใช้พลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กำลังการผลิตขนาด 231 kW เทียบกับปี พ.ศ. 2562

4.8.2 รูปแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

โดยมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 550 kW จำนวน 420 panel และ Inverter ขนาด 340 kW จำนวน 5 เครื่อง โดยจะมีทิศทางการติดตั้งให้หันไปทางทิศใต้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุด ดังแสดงในภาพที่ 95



ภาพที่ 95 รูปแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

4.8.2.1 การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีระบบผลิตแก๊สชีวภาพ

จากการสำรวจในส่วนของพื้นที่ฟาร์มภายในคณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่า จากโรงเรือนสุกรทั้งหมด จำนวน 5 โรงเรือน มีจำนวนสุกรรวมประมาณ 1,150 ตัว แบ่งออกเป็น สุกรพ่อพันธุ์ จำนวน 50 ตัว แม่พันธุ์ จำนวน 200 ตัว สุกรขุน จำนวน 300 ตัว และสุกรรวม จำนวน 2 โรงเรือน ๆ ละ 300 ตัว รวม 600 ตัว โดยสุกรแต่ละประเภทจะปล่อยของเสียต่อวันในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 58 จากน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรในแต่ละวัน สามารถน้ำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จากเทคโนโลยีระบบผลิตแก๊สชีวภาพ อีกทั้งยังสามารถบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากสุกรให้มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นได้

ตารางที่ 58 อัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสีย และค่าความสกปรกของน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง

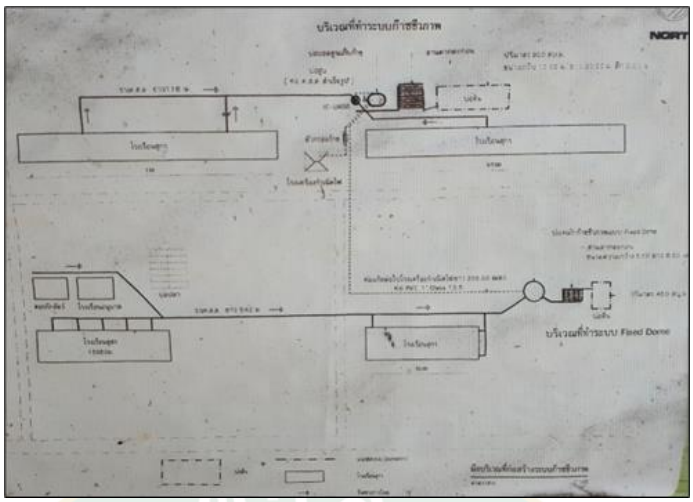
ประเภทสุกร	อัตราการใช้น้ำ (ลิตร/ตัว/วัน)	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	ค่าความสกปรกของน้ำเสีย (mg/lite)			
			BOD	COD	ของแข็งแขวนลอย	TKN
สุกรพ่อ-แม่พันธุ์	92	64	800	1,700	900	350
สุกรขุน	48	24	3,500	7,600	7,400	700
สุกรอนุบาล	32	20	2,500	5,400	3,000	350

ที่มา : คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร 2553

จากการสำรวจการใช้พลังงานภายในส่วนของฟาร์มสุกร พบว่า มีการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนเพื่อผลิตไฟฟ้า จากพื้นที่ดังกล่าวได้มีการใช้ระบบผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas) เพื่อผลิตไฟฟ้าผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 60 kW แสดงภาพที่ 96 โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพกำลังการผลิต 60 kW ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันสามารถใช้ภายในฟาร์มสุกรเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน

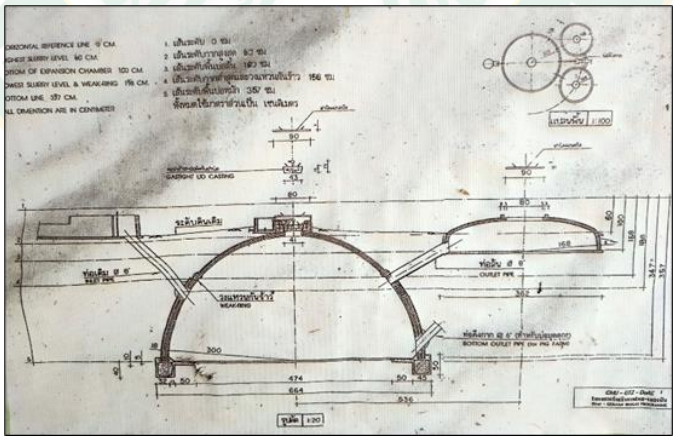
ภาพที่ 96 โรงไฟฟ้าแก๊สชีวภาพกำลังการผลิต 60 kW

โดยที่โรงไฟฟ้าแก๊สชีวภาพใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิต 2 ระบบ ได้แก่ ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) และระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) ดังแสดงในภาพที่ 97 บริเวณที่ติดตั้งระบบผลิตแก๊สชีวภาพในพื้นที่ฟาร์มสุกร



ภาพที่ 97 บริเวณที่ติดตั้งระบบผลิตแก๊สชีวภาพในพื้นที่ฟาร์มสุกร

1) ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ขนาด 200 m^3 โดยระบบนี้เป็นระบบหมักแก๊สชีวภาพที่มีการส่งเสริมให้ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็ก (สำหรับฟาร์มที่เลี้ยงสุกรเทียบเท่าสุกรขุนไม่เกิน 500 ตัว) มีขนาดตั้งแต่ 12 - 200 m^3 ส่วนใหญ่สร้างด้วยคอนกรีตหรือก่ออิฐโบกปูนฝังอยู่ในดินมีท่อ เพื่อเติมมูลสัตว์และท่อให้มูลสัตว์ไหลออกส่วนเก็บแก๊สจะสร้างด้วยคอนกรีตหรือก่ออิฐฉาบปูนติดกับตัวบ่อหมัก ทำให้แรงดันของแก๊สไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปริมาตรของแก๊สภายในบ่อ ซึ่งแบบก่อสร้างที่ติดตั้งระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ดังแสดงในภาพที่ 98



ภาพที่ 98 แบบก่อสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ใช้น้ำเสียจากโรงเรือนสุกร จำนวน 3 โรงเรียน ได้แก่ โรงเรือนแม่

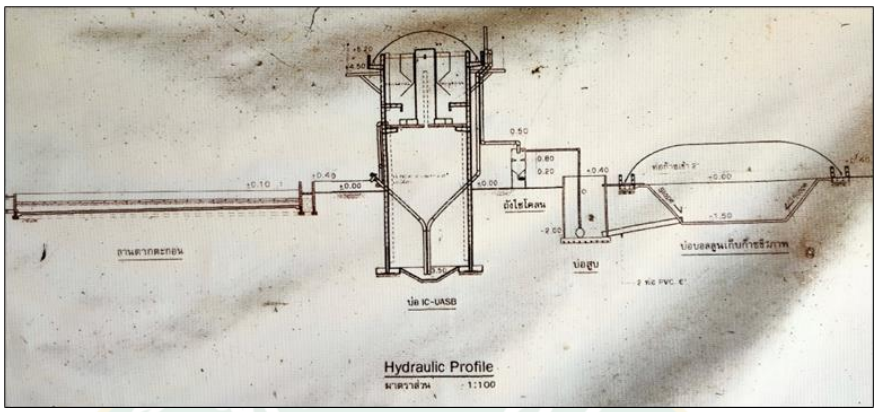
พันธุ์ จำนวน 200 ตัว โรงเรือนสุกรขุน จำนวน 300 ตัว และโรงเรือนสุกรรวม จำนวน 50 ตัว รวมจำนวนสุกร 550 ตัว ที่ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ และโครงสร้างของระบบแก๊สชีวภาพแบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ คือ 1) บ่อเติมมูลสัตว์ (Mixing Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับการผสมมูลสัตว์กับน้ำก่อนเติมลงในบ่อหมัก 2) บ่อหมัก (Digester Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับมูลสัตว์และน้ำจากบ่อเติมมูลสัตว์มาหมักให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซอื่น ๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะผลักดันให้มูลสัตว์และน้ำที่อยู่ด้านล่างของบ่อหมักไหลไปอยู่ก้นบ่อ 3) บ่อล้น (Expansion Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับมูลสัตว์และน้ำที่ถูกก๊าซผลักดันจากบ่อหมักโดยการทำงานจะเป็นระบบไดนามิ คือเมื่อก๊าซเกิดขึ้นภายในบ่อหมักก๊าซจะมีแรงผลักดันมูลสัตว์และน้ำที่อยู่ส่วนด้านล่างให้ทะลักขึ้นไปเก็บไว้ในบ่อล้น เมื่อนำก๊าซไปใช้น้ำในบ่อล้นจะไหลย้อนกลับเข้าไปในบ่อหมักเพื่อผลักดันก๊าซให้มีความดันเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ดังแสดงภาพที่ 99 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome)

ภาพที่ 99 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ขนาด 200 m^3

ข้อดีและข้อเสียของระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูง การทำงานและการสร้างบ่อหมักจะลำบากและในบริเวณส่วนโค้งของถังหมักจะต้องใชเทคนิคและความชำนาญสูง หากแก๊สชีวภาพไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน จะทำให้แก๊สชีวภาพในบ่อมีแรงดันสูง อาจทำให้บ่อเสียหายได้ อีกหนึ่งข้อเสียคือ การบำบัดน้ำเสียของระบบยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

2) ระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นระบบหมักที่ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยอาศัยหลักการสร้างสภาวะในถังหมักให้เหมาะสม โดยมีลักษณะการทำงานของบ่อ UASB คือน้ำเสียจะถูกสูบเข้าก้นถังตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถัง จะแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นที่ 1 (Sludge Bed) เป็นตะกอนเม็ด เป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่นมีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นที่ 2 เรียกว่า Sludge Blanket เป็นแบคทีเรียตะกอนเบาช่วงบนของถังหมักจะมีอุปกรณ์แยกแก๊สชีวภาพและตะกอนแบคทีเรีย (Gas-Solid Separator) โดยแบบก่อสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมัก

แบบ UASB ขนาด 200 m^3 ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ดังแสดงในภาพที่ 100



ภาพที่ 100 แบบก่อสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ใช้น้ำเสียจากโรงเรือนสุกรรวม จำนวน 2 โรงเรียน รวมจำนวนสุกร 600 ตัว ที่ปล่อยน้ำเสียเข้าระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB ดังแสดงภาพที่ 101

ภาพที่ 101 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) ในพื้นที่ฟาร์มสุกรภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

แต่ปัจจุบันไม่ได้มีการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพทั้ง 2 ระบบ เนื่องจากเกิดการชำรุดของอุปกรณ์และบ่อเก็บแก๊ส เพื่อเสนอให้มีการใช้งานระบบผลิตแก๊สชีวภาพ จึงมีการประเมินศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าภายในฟาร์มสุกรและลดการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน ดังแสดงในภาพที่ 102

(ก) ระบบแก๊สชีวภาพที่เสียหายของระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB

(ข) ระบบแก๊สชีวภาพที่เสียหายของระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome)

ภาพที่ 102 ระบบแก๊สชีวภาพที่เสียหายในพื้นที่ฟาร์มสุกร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

4.8.2.2 การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากข้อมูลจำนวนสุกรภายในฟาร์ม จำนวน 1,200 ตัว จะสามารถประเมินศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ เมื่อ

- น้ำหนักสุกร 500 กิโลกรัม เทียบเท่า 1 หน่วยปศุสัตว์ (Livestock unit, LU)
- 1 หน่วยปศุสัตว์ เกิดปริมาณน้ำเสีย 225 ลิตร/หน่วยปศุสัตว์·วัน [กรมปศุสัตว์, 2547]
- ปริมาณน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 1 m3 เท่ากับ แก๊สชีวภาพ 3.5 m^3 กำหนดให้แก๊สชีวภาพ 1 m3 มีแก๊สมีเทน 60-65% [Energy for Environment Foundation, 2549ข]
- แก๊สชีวภาพ 1 m^3 เท่ากับ พลังงานไฟฟ้า 1.2 kWh หรือ ก๊าซ LPG 0.46 ลิตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

จากค่าการเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าระบบแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียในฟาร์มสุกร สามารถแสดงการคำนวณเพื่อประเมินระบบผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพ ดังนี้

ประเมินน้ำหนักในหน่วยปศุสัตว์ (Livestock Unit, LU)

โดยที่ ; สุกรพ่อ-แม่พันธุ์ น้ำหนัก 170 kg

สุกรขุน น้ำหนัก 60 kg

ลูกสุกร น้ำหนัก 12 kg

จะได้ ; สุกรพ่อ-แม่พันธุ์ จำนวน 300 ตัว × 170 kg = 51,000 kg

สุกรขุน จำนวน 300 ตัว × 60 kg = 18,000 kg

สุกรรวม จำนวน 600 ตัว × 60 kg = 36,000 kg

น้ำหนักรวม = 105,000 kg

หน่วยปศุสัตว์ (Livestock unit, LU) = 105,000/500 kg/kg

= 210 LU

ประเมินน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกร

จากการประเมินน้ำหนักในหน่วยปศุสัตว์ เท่ากับ 210 LU

จะได้ ; น้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกร = 210 LU × 225 l/LU▪day

= 47,250 l/day

หรือคิดเป็น = 47.25 m^3/day

ประเมินแก๊สชีวภาพที่เกิดจากฟาร์มสุกร

จากการประเมินน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกร เท่ากับ 47.25 m^3

จะได้ ; แก๊สชีวภาพ = 47.25 m^3/day × 3.5 m^3

= 165.37 m^3/day

ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจะมีความสามารถในการรวบรวมแก๊สเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ 82.5%

∴ ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจะสามารถผลิตได้ = 0.825 × 165.37 m^3/day

= 136.43 m^3/day

ประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบก๊าซชีวภาพ

จากการประเมินก๊าซชีวภาพที่เกิดจากฟาร์มสุกร เท่ากับ 136.43 m^3/day

จะได้ ; พลังงานไฟฟ้าจากระบบก๊าซชีวภาพ = 136.43 m^3/day × 1.2 kWh

= 163.72 kWh/day

การศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่า ศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของฟาร์มสุกรจากสุกรทั้งหมด 1,200 ตัว พบว่า สุกรทั้งหมดภายในฟาร์ม มีน้ำหนักคิดเป็นหน่วยปศุสัตว์รวม 210 หน่วยปศุสัตว์ จากข้อมูลจะพบว่า ในหนึ่งวันจะเกิดปริมาณน้ำเสีย 47.25 m^3/day โดยที่ความสามารถในการรวบรวมแก๊สเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ 82.5% (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ

อนุรักษ์พลังงาน) จะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้เท่ากับ 136.43 m^3/day หากมีการนำมาใช้จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 163.72 kWh/day

4.8.2.3 แนะนำระบบที่เหมาะสมกับพื้นที่

จากการประเมินศักยภาพแก๊สชีวภาพ พบว่า น้ำเสียที่เกิดจากสุกรทั้งหมด 47.25 m^3/day ส่งผลให้สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 136.43 m^3/day จากปริมาตรแก๊สที่ผลิตได้ในแต่ละวัน จะเห็นได้ว่าระบบเพียงระบบเดียวก็เพียงพอต่อการใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากแต่ละระบบในพื้นที่มีบ่อเก็บแก๊สขนาด 200 m^3 ซึ่งในแต่ละวันในฟาร์มสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 136.43 m^3/day จึงมีการแนะนำให้ใช้งานระบบที่มีอยู่ในพื้นที่เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน โดยระบบที่เหมาะสมกับพื้นที่ คือ ระบบผลิตแก๊สชีวภาพหมักแบบ UASB ที่มีข้อดี คือ ประสิทธิภาพกำจัด COD สูงสุดถึง 90% สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ความเข้มข้นก๊าซมีเทนสูงสุด 65-70% การบำรุงรักษาง่ายและมีเสถียรภาพ อีกทั้งยังสามารถดึงกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วออกมาได้จนหมดแล้วนำกากตะกอนออกมาเป็นปุ๋ยชีวภาพทำให้ไม่มีตะกอนตกค้างในบ่อ ทำให้ควบคุมดูแลได้ง่ายกว่าระบบผลิตแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูง การทำงานและการสร้างบ่อหมักจะลำบากและในบริเวณส่วนโค้งของถังหมักจะต้องใช้เทคนิคและความชำนาญสูง หากแก๊สชีวภาพไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน จะทำให้แก๊สชีวภาพในบ่อมีแรงดันสูง อาจทำให้บ่อเสียหายได้ อีกหนึ่งข้อเสียคือการบำบัดน้ำเสียของระบบยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

4.8.3 ผลการวิเคราะห์ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้สารทำความเย็นภายในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES หัวข้อ Energy and Atmosphere ผลการวิเคราะห์ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ

1) ข้อมูลของระบบทำความเย็นและสารทำความเย็น

สำหรับ EA Credit 4 มีจุดประสงค์เพื่อลดการใช้สารทำความเย็นที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ จากการใช้สารทำความเย็นในอาคารที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธีการเสนอมาตรการการลดการใช้สารทำความเย็น ซึ่งจากการตรวจวัดการใช้สารทำความเย็นภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า ในพื้นที่มีการใช้สารทำความเย็น ชนิด R-22 ซึ่งเป็นสารทำเย็นประเภท Hydrochlorofluorocarbon (HCFC) ในปริมาณทั้งหมด 226.24 kg คิดเป็น 100% ของสารทำความเย็นทั้งหมดในอาคาร โดยปริมาณความจุของสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในอาคาร เก็บข้อมูลจากการรวบนวมปริมาณสารทำความเย็นใน Name Plate ของเครื่องปรับอากาศ โดยสารทำความเย็น R-22 มีค่า Global Warming Potential (GWP) เท่ากับ 1,810 kgCO_2 และค่า

Ozone Depleting Potential (ODP) เท่ากับ 0.055 เป็นตัวเลขแสดงระดับในการทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตาโตสเฟียร์ และจากการตรวจวัดประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ พบว่า ระบบปรับอากาศภายในพื้นที่ มีค่าเฉลี่ย COP และ EER ที่ขนาดทำความเย็น 25,000 – 30,000 Btu/hr ที่ผ่านค่ามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 59

ตารางที่ 59 ปริมาณสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)	ขนาดความจุสารทำความเย็น (kg)	ชนิดของสารทำความเย็น	ค่าเฉลี่ย COP (W_{th}/W_e)	ค่าเฉลี่ย EER (Btu/hr/w)
9,000	3	0.58	R-22	2.64	9.00
13,000	1	1.5	R-22	2.12	7.22
18,000	2	1.6	R-22	2.79	9.51
25,000	40	3.5	R-22	3.54	12.09
30,000	14	3	R-22	3.88	13.24
40,000	2	4	R-22	3.18	10.86
150,000	2	15	R-22	3.17	10.80
รวม	**64**	**226.24**			

จากที่มีการวิเคราะห์ปริมาณสารทำความเย็นระบบปรับอากาศ ทำให้สามารถคิดปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นแบ่งตามช่วงอายุของอุปกรณ์ มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- การรั่วไหลในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ ในขั้นตอนนี้มีการรั่วไหลของสารทำความเย็นเท่ากับ 0 เนื่องจาก ภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์ฯ ไม่มีการเก็บภาชนะบรรจุสารทำความเย็น
- การรั่วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น ในขั้นตอนนี้มีการรั่วไหลของสารทำความเย็นเท่ากับ 0 เนื่องจาก เป็นขั้นตอนสำหรับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่ ซึ่งในช่วงปีปัจจุบัน ปี 2562 ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่
- การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน โดยวิเคราะห์ตามมาตรฐาน IPCC 2006 วิเคราะห์จากการรั่วไหลของสารทำความจากช่วงเวลาใช้งานตัวอุปกรณ์ 2% ต่อปี เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้นำเทคโนโลยีด้านระบบประอากาศ ทำให้สามารถคำนวณการรั่วไหลของสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์ฯ ในปี 2562 ประมาณ 4.52 kg

- การรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนนี้มีปริมาณสารทำความเย็นที่ถูกปล่อยออกมาเท่ากับ 180.99 kg จากข้อมูลปริมาณสารทำความเย็นในปี 2562 โดยที่คิดประสิทธิภาพการนำสารกลับมาใช้ใหม่เท่ากับ 0% และคิดปริมาณสารทำความเย็นที่เหลืออยู่ในขั้นตอนการกำจัดเมื่อเทียบกับร้อยละของสารที่ประจุทั้งหมดคิดที่ 80% ตามมาตรฐาน IPCC (2006)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารทำความเย็นระบบปรับอากาศภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์ฯ พบว่า การรั่วไหลของสารทำความเย็นประมาณ 185.51 kg คิดเป็นค่า Carbon Footprint 335,773.10 $kgCO_2$/year

จากการเสนอมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ จำนวน 16 เครื่อง พบว่า ก่อนการเสนอเสนอมาตรการจะมีเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น ชนิด R-22 จำนวน 49 kg มีค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น ชนิด R-22 เท่ากับ 72,725.80 $kgCO_2$/year เมื่อมีการดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศตามมาตรการดังกล่าว โดยเครื่องปรับอากาศใหม่จะใช้สารทำความเย็นชนิด R-32 ที่มีค่า GWP เท่ากับ 675 $kgCO_2$/year ซึ่งน้อยกว่าสารทำความเย็นชนิด R-22 โดยเครื่องปรับอากาศใหม่ที่มีค่า GWP น้อยกว่าแล้ว และยังมีค่า Ozone Depleting Potential (ODP) เท่ากับ 0 โดยค่า ODP หมายถึงค่าระดับการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ อีกทั้งยังมีปริมาณของสารทำความเย็นที่ลดลงเหลือ 14.7 kg ส่งผลให้ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นลดลง 64,592.05 $kgCO_2$/year ดังแสดงในตารางที่ 60

ตารางที่ 60 เปรียบเทียบปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 และ R-32

รายละเอียด	R-22	R-32
ปริมาณสารทำความเย็น (kg)	49	14.7
การรั่วไหลในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ (kg)	0	0
การรั่วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น (kg)	0	1.47
การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน (kg)	0.98	0.29
การรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ (kg)	39.2	11.76
รวมการรั่วไหลของสารทำความเย็น (kg/year)	40.18	12.05
ค่า Emission Factor สารทำความเย็น ($kgCO_2$)	1,810	675
ค่า Ozone Depleting Potential (ODP)	0.055	0
ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็น ($kgCO_2$/year)	72,725.80	8,133.75
ค่า Carbon Footprint ที่ลดลง	**64,592.05**	

4.9 วิจารณ์ผลการประเมินศักยภาพของระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES

จากการศึกษาผลการประเมินศักยภาพของระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES

1) ผลการประเมินระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 โดยวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารตามเกณฑ์ ISO 50002 มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 308,268.72 kWh/year แบ่งออกเป็น 6 ระบบ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 96,193.20 kWh/year คิดเป็น 31.20% ระบบปรับอากาศ 72,200.65 kWh/year คิดเป็น 23.42% ระบบระบายอากาศ 71,812.69 kWh/year คิดเป็น 23.30% ระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 66,033.87 kWh/year คิดเป็น 21.42% ระบบลิฟท์ 1,771.04 kWh/year คิดเป็น 0.57% และระบบปั๊มน้ำ 257.27 kWh/year คิดเป็น 0.08% โดยส่วนของอาคารที่มีอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารศูนย์ประชุมนานาชาติ มีการใช้พลังงานประมาณ 158,603.26 kWh/year คิดเป็น 51% ของการใช้พลังงานทั้งหมด และส่วนของพื้นที่ฟาร์มประกอบด้วย ฟาร์มสุกร ฟาร์มสัตว์ปีก และฟาร์มโคนม-โคเนื้อ มีปริมาณการใช้พลังงานรวม 149,665.46 kWh/year คิดเป็น 49% ของการใช้พลังงานทั้งหมด หากมีการจัดการพลังงานโดยดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามการวิเคราะห์ของเกณฑ์ ISO 50015 ได้แก่ มาตรการการลดหลอดภายในอาคารหรับห้องที่มีค่ามาตรฐานความส่องสว่าง (LUX) สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง มาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ และมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 53,832.48 kWh/year หรือคิดเป็นผลประหยัดได้ 208,870.02 Baht/year โดยผลจากการการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี เมื่อมีการปรับปรุงมาตรการดังกล่าวค่า EUI ของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ จะมีค่าเท่ากับ 49.18 และจะมีค่า EPI ของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ เท่ากับ -32.24% แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้นจากปีฐาน (ปี 2562) เมื่อวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านพลังงานในระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบปรับอากาศ ในกรณีที่มีการดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงาน พบว่า ในระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ค่า LER จะมีค่าเท่ากับ 100 lumen/W ทั้งในส่วนของอาคารและฟาร์ม และค่า LPD ของอาคารลดลงเหลือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.23 – 13.50 W/m^2 ในส่วนของระบบปรับอากาศจะมี EnPI สำหรับเครื่องปรับอากาศที่ได้รับการดำเนินมาตรการ จะมีค่า COP อยู่ระหว่าง 4.39 - 4.70 W_{th}/W_e และค่า SEER จะมีค่าระหว่าง 15 - 16.05 Btu/hr/W ดังแสดงในตารางที่ 61

ตารางที่ 61 ตัวชี้วัดด้านพลังงานในระบบต่าง ๆ ของอาคารศูนย์สัตวศาสตร์ฯ และอาคารศูนย์ประชุมนานาชาติ

ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EmPIs	อาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี		อาคารศูนย์ประชุมนานาชาติ	
	ก่อนการปรับปรุงมาตรการ	หลังการปรับปรุงมาตรการ	ก่อนการปรับปรุงมาตรการ	หลังการปรับปรุงมาตรการ
การใช้พลังงาน (kWh/year)	153,118.72	103,745.85	5,484.54	5,028.60
ดัชนีการใช้พลังงาน Energy Utilization Index (EUI)	24.99	49.18	-	-
ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน Energy Performance Index (EPI) (%)		-32.24		-
ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง				
ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง Luminous Efficacy Ratio (LER) (lumen/W)	8.61 – 139.50	100	4.03 – 54.58	100
ค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density: LPD) (W/m^2)	0.72 – 28.53	0.23 - 13.50	7.11 - 34.50	3.48 - 13.50
ระบบปรับอากาศ				
สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น COP (W_{th}/W_e)	2.56 - 4.58	4.39 - 4.70	2.63 - 3.92	-
สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ EER (Btu/hr/W)	8.75 - 15.61	SEER (Btu/hr/W) 15 - 16.05	8.96 - 13.39	-

ในส่วนของพื้นที่ฟาร์ม เมื่อมีการปรับปรุงมาตรการจะมีค่า SEC ที่ลดลงจากปีฐาน รวมไปถึง EnPIs ในระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบปรับอากาศที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 62

ตารางที่ 62 ตัวชี้วัดด้านพลังงานในระบบต่าง ๆ ของพื้นที่ฟาร์มในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

ตัวชี้วัดด้านพลังงาน EmPIs	ฟาร์มสัตว์ปีก		ฟาร์มสุกร		ฟาร์มโคมนม-โคเนื้อ	
	ก่อนการปรับปรุงมาตรการ	หลังการปรับปรุงมาตรการ	ก่อนการปรับปรุงมาตรการ	หลังการปรับปรุงมาตรการ	ก่อนการปรับปรุงมาตรการ	หลังการปรับปรุงมาตรการ
การใช้พลังงาน (kWh/year)	41,502.42	35,766.96	99,200.36	95,302.56	8,962.68	8,851.72
ค่าค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) (kWh/unit•year)	1.10	0.95	86.26	82.87	41.88	41.36
ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง						
ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง Luminous Efficacy Ratio (LER) (lumen/W)	37.57 - 96.90	100	17.42 - 60.69	100	11.91 - 437.49	100
ค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density: LPD) (W/m^2)	1.15 - 3.22	0.30 - 0.96	5.52 - 9.33	2.95 - 4.52	0.27 - 11.50	0.90 - 5.50
ระบบปรับอากาศ						
สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น COP (W_{th}/W_e)	2.11 - 3.68	4.70- 5.13	1.99 - 3.58	-	-	-
สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ EER (Btu/hr/W)	7.21 - 12.56	SEER (Btu/hr/W) 16.05 - 17.49	6.79 - 12.23	-	-	-

2) ผลการประเมินตามเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) จากการศึกษาประเมินในหมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) จะทำการประเมินเกณฑ์การให้คะแนน (EA Credit) หัวข้อย่อยจำนวน 2 หัวข้อ ได้แก่ EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน และ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ ดังนี้

2.1) ผลการประเมินตามเกณฑ์ EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน ได้เสนอการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม PVsyst V. 7.2.2 (Trial Version) จึงออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic System) โดยใช้งานระบบ On Grid System คือ ผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โหลดใช้งานโดยตรงกำลังผลิตรวม 231 kW หากอาคารมีการใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 378.22 MWh/year มีผลประหยัดจากค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิ 1,467,493.60 Baht/year และระบบการผลิตแก๊สชีวภาพจากปริมาณน้ำเสีย 47.25 m^3/day จะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้เท่ากับ 136.43 m^3/day หากมีการนำมาใช้จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 24.55 MWh/day

2.2) ผลการวิเคราะห์ด้านการใช้สารทำความเย็นดำเนินการตามเกณฑ์ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ ในพื้นที่ของคณะสัตวศาสตร์ฯ มีการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 100% โดยในปี 2562 มีการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคารทั้งหมด 185.51 kg และมีค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 เท่ากับ 335,773.10 kgCO_2/year จากการเสนอมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ จำนวน 16 เครื่อง พบว่าเมื่อมีการดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศตามมาตรการดังกล่าว โดยเครื่องปรับอากาศใหม่จะใช้สารทำความเย็นชนิด R-32 ที่มีค่า GWP เท่ากับ 675 kgCO_2/year ส่งผลให้ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นลดลง 64,592.05 kgCO_2/year

จากการศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES เมื่อมีการดำเนินแนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานและจัดการสิ่งแวดล้อมในอาคาอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพสูง จะส่งผลให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานรวม 456,839 kWh/year คิดเป็นเงิน 1,772,535.32 Bath/year จากการดำเนินแนวทางโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES นี้สามารถสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า 265,925.98 kgCO_2eq/year โดยที่ค่า Emission Factor ของไฟฟ้า 1 kWh มีค่า 0.5821 kgCO_2eq/kWh ในปีฐาน ดังแสดงในตารางที่ 63

ตารางที่ 63 ศักยภาพการประหยัดด้านพลังงานและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง

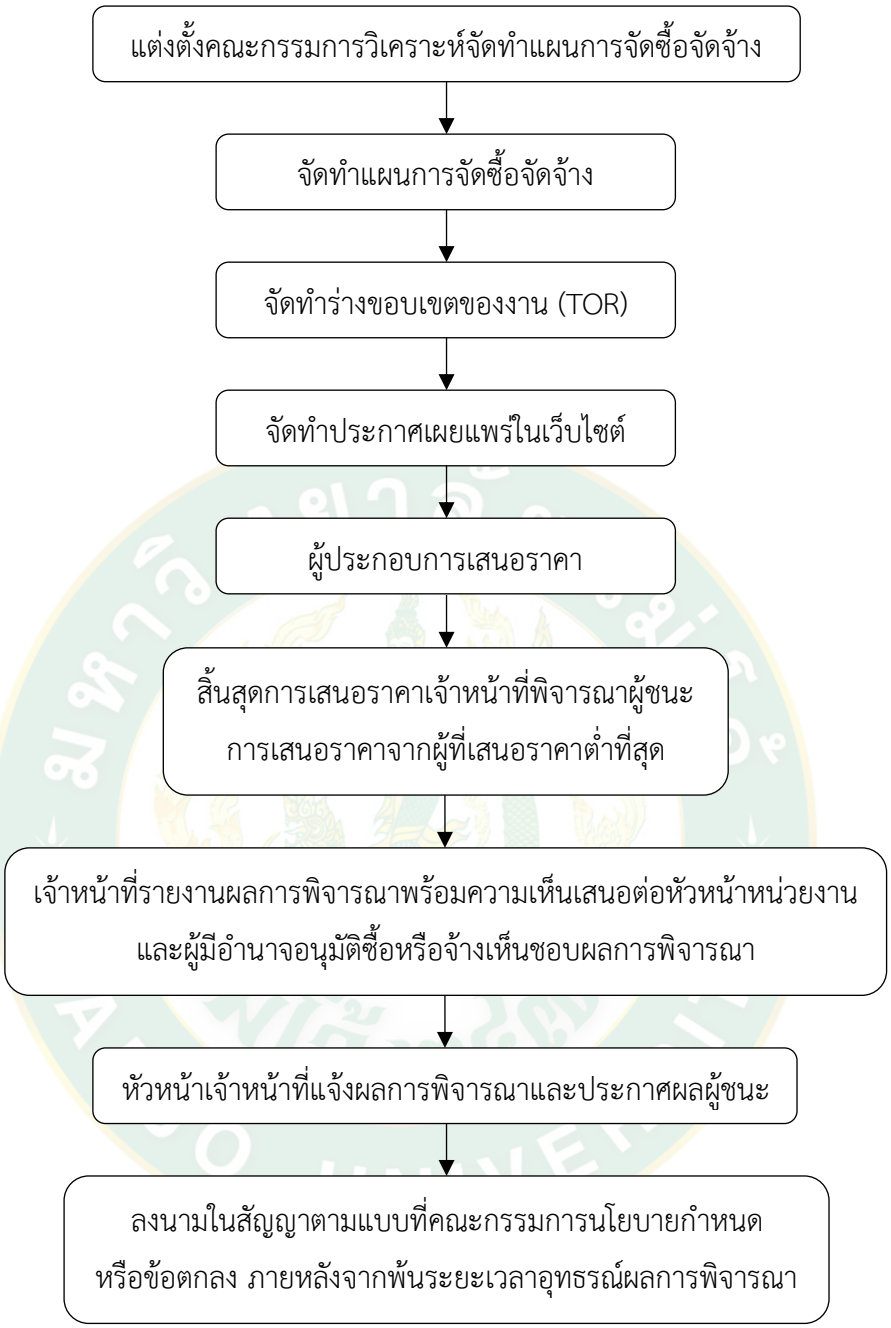
หัวข้อ	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)
มาตรการจากมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001	54,069	209,787.69
มาตรการจากอาคารเขียวไทย TREES		
ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 231 kW	378,220	1,467,493.60
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพ	24,550	95,254
ผลประหยัดด้านพลังงาน	456,839 kWh/year	
ผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	1,772,535.32 Baht/year	
ค่า Emission Factor ของพลังงานไฟฟ้า 1 kWh	0.5821 kgCO_2eq/kWh	
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง (CO_2emission)	265,925.98 kgCO_2eq	

4.9.1 แนวทางการจัดการพลังงานเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

สำหรับคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นพื้นที่อาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไข พ.ศ. 2550) โดยจะต้องปฏิบัติตามระบบการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 103 ต่อเนื่องทุก ๆ ปี

ภาพที่ 103 ขั้นตอนระบบการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน

จากการศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES ที่สามารถประยุกต์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอนได้ ในขั้นตอนที่ 4 – 6 ของระบบการจัดการพลังงาน เป็นการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน และการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน จากการเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานจากการศึกษาดังกล่าว แสดงดังในภาพที่ 104 จะมีแนวทางการดำเนินมาตรการดังนี้



ภาพที่ 104 แนวทางการดำเนินมาตรการ

จากระบบการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน เมื่อมีการปรับปรุงมาตรการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน จะสามารถตรวจติดตามและประเมินผล เพื่อทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของระบบการจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES เพื่อหาแนวทางและมาตรการการจัดการพลังงานเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาผ่านอาคารตัวอย่าง ได้แก่ อาคารภายในคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นพื้นที่อาคารควบคุม และมีการใช้งานที่หลากหลาย ทั้งส่วนของอาคารเรียน อาคารประชุม และส่วนของพื้นที่ฟาร์มต่าง ๆ โดยทำการรวบรวม สำรวจ ตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคาร และวิเคราะห์ตามเกณฑ์ต่าง ๆ เพื่อหาความเป็นไปได้และศักยภาพของการจัดการพลังงาน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลการประเมินระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 โดยวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารตามเกณฑ์ ISO 50002 มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 308,268.72 kWh/year โดยส่วนของอาคาร ที่มีอาคารศูนย์สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารศูนย์ประชุมนานาชาติ มีการใช้พลังงานประมาณ 158,603.26 kWh/year คิดเป็น 51% ของการใช้พลังงานทั้งหมด และส่วนของพื้นที่ฟาร์ม ประกอบด้วย ฟาร์มสุกร ฟาร์มสัตว์ปีก และฟาร์มโคนมโคเนื้อ มีปริมาณการใช้พลังงานรวม 149,665.46 kWh/year คิดเป็น 49% ของการใช้พลังงานทั้งหมด หากมีการจัดการพลังงานโดยดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามการวิเคราะห์ของเกณฑ์ ISO 50015 ได้แก่ มาตรการการลดหลอดภายในอาคารหรับห้องที่มีค่ามาตรฐานความส่องสว่าง (LUX) สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง มาตรการลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ และมาตรการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมระบายอากาศมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 54,069.00 kWh/year หรือคิดเป็นผลประหยัดได้ 209,787.72 Baht/year

2. ผลการประเมินตามเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) จากการศึกษาประเมินในหมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) จะทำการประเมินเกณฑ์การให้คะแนน (EA Credit) หัวข้อย่อยจำนวน 2 หัวข้อ ได้แก่ EA Credit 2 การใช้พลังงานทดแทน ได้เสนอการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม PVsyst V. 7.2.2 (Trial Version) จึงออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic System) โดยใช้งานระบบ On Grid System คือ ผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โหลดใช้งานโดยตรงกำลังผลิต 231 kW หากอาคารมีการใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 378.22 MWh/year มีผลประหยัดจากค่าพลังงานไฟฟ้า 1,467,493.60 Baht/year และระบบการผลิตแก๊สชีวภาพ จากปริมาณน้ำเสีย 47.25 m^3/day จะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 136.43 m^3/day

หากมีการน้ำมาใช้จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 24.55 MWh/day และผลการวิเคราะห์ด้านการใช้สารทำความเย็นดำเนินการตามเกณฑ์ EA Credit 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ ในพื้นที่ของคณะสัตวศาสตร์ฯ มีการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 100% โดยในปี 2562 มีการปลดปล่อยสารทำความเย็นในอาคารทั้งหมด 185.51 kg และมีค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 เท่ากับ 335,773.10 $kgCO_2$/year จากการเสนอมาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ จำนวน 16 เครื่อง โดยเครื่องปรับอากาศใหม่จะใช้สารทำความเย็นชนิด R-32 ที่มีค่า GWP เท่ากับ 675 $kgCO_2$/year ส่งผลให้ค่า Carbon Footprint จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นลดลง 64,592.05 $kgCO_2$/year

จากผลการศึกษาศักยภาพของการจัดการพลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES เมื่อมีการดำเนินแนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานและจัดการสิ่งแวดล้อมในอาคาอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพสูง จะส่งผลให้เกิดผลประหยัดด้านพลังงานรวม 456,839 kWh/year คิดเป็นเงิน 1,772,535.32 Bath/year จากการดำเนินแนวทางโดยใช้ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES นี้สามารถสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า 265,925.98 $kgCO_2eq$/year

ข้อเสนอแนะ

1) จากผลการศึกษาการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานในอาคารตามมาตรฐานระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES มาตรการอนุรักษ์พลังงานต่าง ๆ ในอาคารเป็นเพียงวิธีการประเมิน ยังมิได้มีการดำเนินการใช้งานจริง เพื่อให้ทราบผลการอนุรักษ์พลังงานที่เท็จจริงจะต้องมีการดำเนินการตามมาตรการที่ได้เสนอ

2) จากการศึกษาทำให้สามารถต่อยอดนำไปสู่การดำเนินการใช้จริงตามมาตรฐานระบบการจัดการพลังงานมาตรฐาน ISO 50001 ร่วมกับมาตรฐานอาคารเขียวไทย TREES เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ หรือเป็นต้นแบบให้ดำเนินต่อไปกับอาคารอื่น ๆ ในประเทศไทย

บรรณานุกรม

Board, A. a. H. D. (2019). **Lighting in pig buildings: The principles.**Unpublished manuscript.

ChangSinLED. 2019. หลอดไฟ **LED E27 Spotlamp Aluminium 4w.** [Online]. Available https://www.changsinled.com/product/96/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%94%E0%B9%84%E0%B8%9Fled-e27-spotlamp-aluminium-4w.

Danish, M. S. S., Senjyu, T., Ibrahimi, A. M., Ahmadi, M. & Howlader, A. M. 2019. A managed framework for energy-efficient building. **Journal of Building Engineering**, 21(120-128.

DuChateau, R. **R&D Building Receives Energy Star Certification**. [Online]. Available https://www.ringdu.com/energy-star-certification/.

Dzene, I., Polikarpova, I., Zogla, L. & Rosa, M. 2015. Application of ISO 50001 for implementation of sustainable energy action plans. **Energy Procedia**, 72(111-118.

https://learning-be.blogspot.com/2012/05/finance.html. 2555. การใช้แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์ด้านการเงิน (finance).

https://www.amazon.com/GE-LIGHTING-Mercury-Vapor-Light/dp/B00A6YCGDO. 2012. **GE LIGHTING 400 W.** [Online]. Available https://www.amazon.com/GE-LIGHTING-Mercury-Vapor-Light/dp/B00A6YCGDO.

https://www.homepro.co.th/p/5834. หลอดไส้ **PHILIPS GLS** 100 วัตต์ **WARM WHITE** สีใส. [Online]. Available https://www.homepro.co.th/p/5834.

https://www.sangchai.com/. หลอดไฟและอุปกรณ์. [Online]. Available https://www.sangchai.com/.

International., H.-L. (2016). คู่มือการจัดการไก่ไข่สายพันธุ์ **HY-LINE BROWN.**Unpublished manuscript.

Management, E. U. E. 2014. **pubblicata la norma ISO** 50002. [Online]. Available https://efficienza.wordpress.com/2014/07/15/e-nata-pubblicata-la-norma-iso-50002.

McKane, A., Therkelsen, P., Scodel, A., Rao, P., Aghajanzadeh, A., Hirzel, S., Zhang, R.,

Prem, R., Fossa, A., Lazarevska, A. M., Matteini, M., Schreck, B., Allard, F., Alcántar, N. V., Steyn, K., Hürdoğan, E., Björkman, T. & O'Sullivan, J. 2017. Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation. **Energy Policy**, 107(278-288.

Ministry of Agriculture, F. a. R. A. (2016). **Dairy Housing Lighting Options for Free Stall Housing.**Unpublished manuscript.

Pelser, W. A., Vosloo, J. C. & Mathews, M. J. 2018. Results and prospects of applying an ISO 50001 based reporting system on a cement plant. **Journal of Cleaner Production**, 198(642-653.

Rattawut Sudsanguan & Sulaksana Mongkon. 2017. **Energy management method and environmental impact of refrigerant using in maejo university building by LEED-EBOM standard**.

Siap, D., Payne, C. & Lekov, A. 2019. The United States Federal Energy Management Program lighting energy efficiency 2017 update and impacts. **Applied Energy**, 223-224(99-104.

Tomorn Sunthornnapha. 2017. Utilization of MLP and Linear Regression Methods to Build a Reliable Energy Baseline for Self-benchmarking Evaluation. 4 **th International Conference on Power and Energy Systems Engineering**, 189-193.

Tur, M. R., İ, C. & Bayindir, R. 2018. **Effect of Faults in Solar Panels on Production Rate and Efficiency**. 4-6 Dec. 2018.

www.pjr-electric.com/. หลอดเมทัลฮาไลด์ (**Metal Halide Lamp)**. [Online]. Available www.pjr-electric.com/.

www.premierlighting.co.th. 2021. ประเภทของแผงโซล่าเซลล์. [Online]. Available https://www.premierlighting.co.th/TH/news/news_6.html.

Yacout, D. M. M., El-Kawi, M. A. A. & Hassouna, M. S. 2014. Applying Energy Management in Textile Industry, Case Study: An Egyptian Textile Plant. **International Energy Journal**, 14(87-94.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือประกอบการฝึกอบรมพัฒนาบุคลากรด้านการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบต่าง ๆ Retrieved. from.

---. (2560). รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย. Retrieved. from.

ชนะบุญ สุทิน. 2560. สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยเบื้องต้น. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมาน.

ทองคำชุม, ฐ. 2021. หลอดโซเดียมความดันต่ำ คืออะไร. [Online]. Available https://www.changfi.com/fix/2021/08/31/sodium-lamp/.

นาคทอง, ว. 2016. **ISO** 50006:2014 แนวคิดการวัดสมรรถนะด้านพลังงาน. [Online]. Available https://ienergyguru.com/2016/03/iso-50006.

---. 2022. การประหยัดไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารสำนักงาน (**Energy Saving for Lighting System in Office Building**). [Online]. Available https://ienergyguru.com/2022/06/energy-saving-for-lighting-in-office/.

ประภัสสร วงศ์ยืน และวิทยา ยงเจริญ. 2558. การปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อาคารเขียวโดยใช้เกณฑ์ตามมาตรฐานการประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย. วารสารวิจัยพลังงาน, 12(1), 16-28.

พิเชฐ ปะเสนะ และสมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์. 2557. การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสู่มาตรฐานสากล ISO 500012011 สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. วารสารวิจัยพลังงาน, 11(1), 1-14.

ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทค. 2562. การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์. [Online]. Available http://www.kmutt.ac.th//hynae/รู้จักเซลล์แสงอาทิตย์.

สถาบันอาคารเขียวไทย. (2555). เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน). Retrieved. from.

สำนักกำกับและอนุรักษพลังงาน. (2559). คู่มือปฏิบัติงานการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐานสากล ISO 50001 สำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม. Retrieved. from.

สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. (2556). คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค. Retrieved. from.

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. (2554). การจัดการพลังงานไฟฟ้า หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ (โรงงาน). Retrieved. from.

---. (2555). คู่มือหลักสูตร “การพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ”. Retrieved. from.

อุทัย ผลภาษี. พาเรโตกับการพัฒนาคุณภาพ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก. 1 การคำนวณดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใชพลังงาน (Energy Utilization Index: EUI)

การคำนวณดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใชพลังงาน (EUI) เป็นตัวอย่างการคำนวณค่า EUI ของอาคารสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนด	จำนวนบุคลากร	73	คน
	พื้นที่การใช้สอยภายในอาคาร	4,561.17	m^2
	จำนวนนักศึกษา	757	คน
	จำนวนวันที่มีการเรียนการสอน	200	วัน
	อุณหภูมิ	28.4	^oC

ขั้นตอนที่ 1) คำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐาน

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

ไฟฟ้ามาตรฐาน = [(2.251 x 73) + (0.042 x 4,561.17) + (4.038 x (737 x 200 / 100)) +(8.090 x 0) + (1.406 x 0) + (1.550 x 0)] x [1.111 x 28.7]

= 204,125.86 kWh

ขั้นตอนที่ 2) คำนวณดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใชพลังงาน (EUI)

$$EUI = \frac{\text{(ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐาน) - ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง}}{\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาตรฐาน}} \text{ x100\%}$$

$$EUI = \frac{\text{(204,125.86 kWh) - 153,118.72 kWh}}{\text{204,125.86 kWh}} \text{ x100\%}$$

$$EUI = 24.99\%$$

ก. 2 การคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Performance Index: EPI)

การคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า (EPI) เป็นตัวอย่างการคำนวณค่า EUI ของอาคารสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

ขั้นตอนที่ 1) คำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า (EPI)

$$EPI = \frac{EUI_{Present} - EUI_{Base}}{EUI_{Base}} \times 100\%$$

$$EPI = \frac{153{,}118.72\ kWh - 103{,}745.85\ kWh}{153{,}118.72\ kWh} \times 100\%$$

EPI = 32.24%

ก. 3 การคำนวณดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

การคำนวณดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) เป็นตัวอย่างการคำนวณของโรงเรือนสุกรขุนภายในฟาร์มสุกร

กำหนด จำนวนสุกรในโรงเรือน 300 unit

พลังงานไฟฟ้า 113 kWh/day

ขั้นตอนที่ 1) ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

SEC = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ / ผลผลิต

= 113 kWh/day / 300 unit

= 0.38 kWh/unit/day

ก. 4 การคำนวณค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (Luminous Efficacy Ratio: LER)

การคำนวณค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (LER) จะเป็นการคำนวณจากค่า LUX ที่มีหน่วยเป็น lumen/m^2 โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณค่า LER ห้องเรียน 1221

กำหนด ค่าความส่องสว่าง (LUX) 496.3 lumen/m^2

พื้นที่ห้อง (A) 77.6 m^2

กำลังไฟฟ้าต่อห้อง (B) 672 W

ขั้นตอนที่ 1) ประสิทธิผลการส่องสว่าง (LER)

LER = 496.3 lumen/m^2 x 77.6 m^2

= 38,512.88 lumen

= 38,512.88 lumen / 672 W

=57.31 lumen/W

ก. 5 การคำนวณกำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้งาน (Light Power Density: LPD)

การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน (LPD) โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณค่า LPD ของห้องเรียน 1221

กำหนด พื้นที่ห้อง (A) 77.6 m^2

กำลังไฟฟ้าต่อห้อง (B) 672 W

ขั้นตอนที่ 1) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน (LPD)

LPD = B/A

= 672 W / 77.6 m^2

= 8.66 W/m^2

ก. 6 การคำนวณสมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP)

การคำนวณสมรรถนะการทำความเย็น (COP) โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณค่า COP ของห้องสำนักงาน 1216 ขนาดของเครื่องปรับอากาศ 30,000 BTU/hr

กำหนด	ความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (E_{Comp})	3.37	kW
	เอนทัลปีของอากาศที่เข้าคอยล์เย็น (h_{Return})	45.98	kJ/kg
	เอนทัลปีของอากาศที่เข้าคอยล์เย็น (h_{Supply})	26.77	kJ/kg
	ความหนาแน่น (ρ)	1.192	kg/m^3
	พื้นที่ของหัวจ่ายลม (A)	0.324	m^2
	ความเร็วของอากาศที่หัวลมจ่าย (V)	1.42	m/s

ขั้นตอนที่ 1) อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศผ่านคอยล์เย็น $\dot{m}_a$

$$\dot{m}_a = \rho_a \dot{V}_a = \rho_a v_a A$$

= (1.192 kg/m^3) x (1.42 m/s) x (0.324 m^2)

= 0.548 kg/s

ขั้นตอนที่ 2) ความสามารถในการทำความเย็น Q_{Evap}

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

= (0.548 kg/s) x (45.98 kJ/kg - 26.77 kJ/kg)

= 10.535 kW

ขั้นตอนที่ 3) สมรรถนะการทำความเย็น (COP)

$$COP = \frac{Q_{Evap}}{E_{Comp}}$$

= 10.535 kW / 3.37 kW

= 3.12

ก. 7 การคำนวณอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio: EER)

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณค่า EER ของห้องสำนักงาน 1216 ขนาดของเครื่องปรับอากาศ 30,000 BTU/hr

กำหนด COP = 3.12

ขั้นตอนที่ 1) อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)

EER = 3.412 x COP

= 3.412 x 3.12

= 10.64

ก. 8 การคำนวณการรั่วไหลของสารทำความเย็น

กำหนด

- การรั่วไหลในขั้นตอนการถ่ายเทภาชนะบรรจุ ($E_{container,t}$) ในขั้นตอนนี้มีการรั่วไหลของสารทำความเย็นเท่ากับ 0
- การรั่วไหลในขั้นตอนการประจุสารทำความเย็น ($E_{charge,t}$) ในขั้นตอนนี้มีการรั่วไหลของสารทำความเย็นเท่ากับ 0
- การรั่วไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาใช้งาน ($E_{lifetime,t}$) โดยวิเคราะห์ตามมาตรฐาน IPCC 2006 วิเคราะห์จากการรั่วไหลของสารทำความจากช่วงเวลาใช้งานตัวอุปกรณ์ 2% ต่อปี การรั่วไหลของสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในพื้นที่คณะสัตวศาสตร์ฯ ในปี 2562 ประมาณ 4.52 kg
- การรั่วไหลในขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ ($E_{end\ of\ life,t}$) ในขั้นตอนนี้มีปริมาณสารทำความเย็นที่ถูกปล่อยออกมาเท่ากับ 180.99 kg จากข้อมูลปริมาณสารทำความเย็นในปี 2562

ขั้นตอนที่ 1) การรั่วไหลของสารทำความเย็น

$E_{total} = E_{container,t} + E_{charge,t} + E_{lifetime,t} + E_{end\ of\ life,t}$

= 0 kg + 0 kg + 4.52 kg + 180.99 kg

= 185.51 kg

ก. 9 การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก (CO_2emission)

กำหนด พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 456,839 kWh/year

Emission Factor ของพลังงานไฟฟ้า 1 kWh เท่ากับ 0.5821 kgCO_2eq/kWh

ขั้นตอนที่ 1) ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (CO_2emission)

CO_2emission = พลังงานไฟฟ้าที่ลงลด x EF

= 456,839 kWh/year x 0.5821 kgCO_2eq/kWh

= 265,925.98 kgCO_2eq/year

ภาคผนวก ข

ผลงาน และการเผยแพร่งานวิจัย

Conference Proceedings

SUT INTERNATIONAL VIRTUAL CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY

28th August 2020

At Suranaree University of Technology

30th SUT ANNIVERSARY

https://ivcst.sut.ac.th/2020/

: https://www.facebook.com/ivcst2020/

SUT International Virtual Conference on Science and Technology
Nakhon-Ratchasima, Thailand
28th August 2020

EAT0053

Energy Auditing Assessment by ISO 50001 Energy Management Standard in University Building

Songpob Pasvorarotkool and Sulaksana Mongkon*

School of School of Renewable Energy, Maejo University, Chaing Mai, 50290, Thailand.

* Corresponding Author: s_mongkon@hotmail.com

Abstract. This research focuses to study the potential of energy auditing in university building following ISO 50001 Energy Management standard. The sample area is Faculty of Animal Science and Technology Building, Maejo University. The scope of area is a lecture building (building A) and conference building (building B). For energy indicators analysis is divided into three levels namely; organization level, system level, and equipment level. The results found that the sample building used 100% of electricity or about 166,041.66 kWh/year. The significant energy use (SEU) area was the air conditioning system that consumed the highest energy use about 38.33%, following by the lighting system, other systems, lift system, ventilation system and pump system which their proportion are 30.76%, 28.32%, 1.43%, 0.95%, and 0.21, respectively. The energy utilization index (EUI) before the study is equal to 5.49 kWh/m^2·year higher than after the study assessment that is equal to 3.75 kWh/m^2·year from four recommended measures for example; lighting bulb reducing in the brighter area than standard, changing the fluorescent bulb to LED bulb, changing air conditioning to use a high-efficiency air conditioner, and reducing time ventilation fans in the air-conditioned room. If the sample building will improve following recommended measures, the expected result is a great saving than the current situation. The energy performance index (EPI) of will be deceased by about 31.63%. The electricity will be saved of 32,239.38 kWh/year or equivalent to 125,088.78 Baht/year which the investment cost is about 682,075.00 Baht and get a payback period of 5.45 years.

Keywords: Energy auditing, ISO 50001, Energy management, University Building.

1. Introduction

At present, the demand for energy in Thailand is increasing steadily. Especially in the industrial and service sectors due to the expansion of business and many factory buildings as a result, the need to use more energy as well. The government therefore has the Department of Energy formulate an Energy Efficiency Plan)EEP 2015([1] which aims to reduce energy intensity by 30% by 2036. To promote energy conservation, ISO 50001 Energy Management System is used to propel the energy management of Thailand. The ISO 50001 is an energy management standard approved by the International Organization for Standardization released on 15 June 2011 [2]. The objective of ISO

50001 proposes to enable the improvement of energy performance in organizations. Comply with standards framework of ISO 50001 bases on the Plan Do Check Action (P-D-C-A) and can be integrated with other energy management standards such as energy management eight steps of Department of Alternative Energy Development and Efficiency and green building certification. For the related research, Pornchai and Wuttikon [3] studied the sustainable energy conservation of Siam University following ISO 50001: 2011 to set a model building of community institutions. The significant energy use (SEU) of the building was an electric power and energy baseline (EnBs) of the organization was 306,166.67 kWh/month. The energy reduction target would be reduced by about 5% when compared with energy consumption of the year 2015. Pelser *et al.* [4] studied the improvement method of energy management in the cement industry. The energy costs had increased in the year 2008 to 78% and increase continually in the future. When using ISO 50001 standard for one year, it was found that the energy consumption could be reduced by about 22%, or equivalent to 8.61 ZAR/t. Yacout D.M.M *et al.* [5] studied the energy management for the textile industry according to ISO 50001:2011. They found that measures that efficient for lighting systems, identifying and arresting compressed air leaks, and recovery steam condensate. By applying the measures, the monthly reduction of power consumption was 3.9% which achieved a saving of 919,500 EGP/year. Saleh N.J. Al-Saadi *et al.* [6] studied the reduction of energy in a library building with a total floor area of 2,756 m^2 in a hot climate of Oman. To offer opportunities to reduce energy consumption, it was found that the average energy-user-intensity (EUI) was 507 kWh/m^2/year. Several energy management opportunities (EMOs) were explored using the calibrated model. The top four significant recommendations for EMOs were 1) switch off the HVAC systems outside the occupancy hours 2) increase the thermostat setpoint 3) reduce the air infiltration by using sealant around the window frames and doors, and 4) reduce the lighting intensity and use LED lights instead of the current fluorescent lights. When the EMOs would proceed, the energy consumption could be reduced as much as 38.5%. From the above, it is obvious that ISO 50001 is widely used in both industries and buildings, however, there is less of an educational building that attends ISO 50001 standard such as Maejo University. For many years ago, Maejo University needs to enhance to a green university therefore it is appropriate to establish an energy management system following to ISO 50001 for upgrading energy conservation. The objective of this research is to study the potential of energy management in university buildings by ISO 50001 Energy Management System application.

2. Methodology

2.1. Sample Building

The area study is the location of Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University. In this research, the scope study focuses only on a building zone that had many building users. Building A is a lecture building and Building B is a conference building as shown in Figure 2. The total useful areas of both buildings are 5,048.17 m^2 and 3,522.30 m^2, respectively.

2.2. Research Procedure

The research procedure. It consists with collecting data of building, energy auditing, energy baselines analysis, calculation of energy indicators, and assessment of energy saving.

The preliminary data of sample building is collected according to ISO 50002 by ASHRAE Preliminary Energy Use and ASHRAE Level 1 Walk-Through Forms, for example; building usage, operating time of the building, electricity consumption per month and the area of the building. After that, the surveying and measuring the energy consumption of many systems with in the building is collected. To calculate Energy Utilization Index (EUI) and Energy Performance Index (EPI) as equation 1 [7] and equation 2 [7], respectively.

$$\text{EUI} = \frac{\text{Energy Consumption}}{\text{Building Area}} \qquad (1)$$

$$EPI = \frac{EUI_{Present} - EUI_{Base}}{EUI_{Base}} \times 100 \quad (2)$$

Where EUI is an energy utilization index (kWh/m^2). EPI is Energy Performance Index (%). $EUI_{Present}$ is the energy utilization index for the present year (kWh/m^2). EUI_{Base} is the energy utilization index for the base year (kWh/m^2)

Figure 2. Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University.

In Figure 4(a) shows the air conditioning system. The power consumption by digital power clamp meter (Model; UNI-T UT231, resolution ±0.01 kW, accuracy ±3%) is measured. The air temperature and the relative humidity of the supply air and return air is measured by an anemometer (Model; Lutron AH-4223, resolution ± 0.1°C, ±0.1 %RH, ±0.1 m/s, accuracy ±3%). The measurement data uses to calculate the Coefficient of Performance (COP) and Energy Efficiency Ratio (EER) as following equations 3 [8] and equation 4 [8], respectively.

$$COP = \frac{Q_{Evap}}{E_{Comp}} \quad (3)$$

Where E_{Comp} is the power of compressor (kW). Q_{Evap} is heat input to the refrigerant in the evaporator (kW).

$$EER = 3.412 \times COP \quad (4)$$

Where EER is Energy Efficiency Ratio (Btu/hr·W)

For lighting system, number of bulbs, the type of lamp, the average light intensity in each area by using lux meter (Model; Center 337, resolution ±0.01 Lux, accuracy ±3%) has shown in Figure 4(b). In addition to the standard value, the Light Power Density: LPD and Lighting Efficacy Ratio: LER calculate as following equations 5 [8] and equation 6 [8].

$$LPD = B/A \quad (5)$$

Where LPD is Light Power Density (W/m^2). B is the power of lighting system (W). A is the area of room or using space (m^2).

$$LER = lumens/B \quad (6)$$

Where LER is Lighting Efficacy Ratio, (lumens/W). Lumens is the luminance of light (lumens).

(a) Air conditioning system. (b) Lighting measurement.

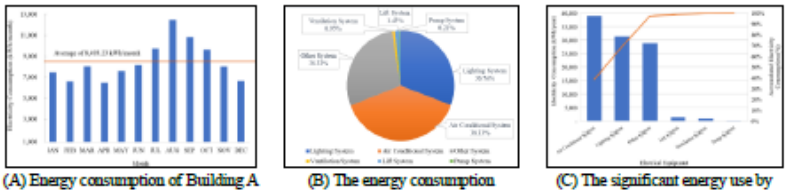
Figure 4. Energy measurement.

For the other systems such as the lift system, ventilation system, and pump system, the power of them are collected for the power consumption analysis. After the energy auditing step, all of the data is used as the Energy Baseline (EnB). And find the proportion of energy consumption, that will be analyzed by discussion of the Significant Energy Use (SEU) by the Pareto graph. For the energy performance indicators (EnPIs) considering, three levels are discussed as following the organization level (EUI, EPI), system-level (LPD), equipment level (LER, LUX for lighting, and COP, EER for air conditioning system). Finally, all information is summarized and used to present energy conservation measures and to calculate the energy savings.

3. Results and Discussion

3.1. Energy Consumption

The survey measured the energy in the building. In 2018, Faculty of Animal Science and Technology consumed total electricity of 661,336.02 kWh equivalent to 2,565,983.76 Baht or an average electricity cost of 3.88 Baht/kWh. The Energy Baseline (EnB) of electricity consumption of Building A and Building B in 2018 as shown in Figure 5(A) was a total of 101,918.80 kWh or equivalent to an average of 8,493.23 kWh/month. It found that the electricity was highest in August because it was the middle of the first semester that had many activities and experiments. Result in value the Energy Utilization Index (EUI) of the building was 5.49 kWh/m^2-year.



(A) Energy consumption of Building A and Building B

(B) The energy consumption proportion

(C) The significant energy use by Pareto Chart

Figure 5. Energy consumption data in 2018

In figure 5(B) shows the energy consumption proportion in both buildings in 2018. It was found that the air conditioning system mostly used the electricity with a proportion of 38.33% followed by, lighting system, other systems, lift system, ventilation system and pump system with 30.76%, 28.32%, 1.43%, 0.95% and 0.21%, respectively. When considering the Significant Energy Use (SEU) by the Pareto chart in Figure 5(C), it was found that the SEU systems were the air conditioning system, lighting systems and other systems, respectively. Their summation of proportional was over 80%.

3.1.1. Lighting System

Table 1 presents the results of the energy auditing of the lighting systems of both buildings. The electricity consumption of the lighting system was equal to 31,350.22 kWh/year. Building A has 74 rooms which used 1,096 bulbs of fluorescent T5. It is equivalent to 71.03% of the total number of fluorescent bulbs. The second type followed by fluorescent T8 (18 W and 36 W) and compact fluorescent lamps. Which a total of 434 bulbs accounted for 28.13% and 0.84% respectively. Building B has 13 rooms which were used the fluorescent T8 and T5 in proportions of 41.05% and 39.30%, respectively, and the compact fluorescent bulb inside the conference room had 56 bulbs.

For the luminance investigation of each room, it was found that 62 rooms of Building A and 11 rooms of Building B had passed the standards value 300-400 Lux [8], or accounting for 83.78% and 84.62%, respectively. The luminance from measurement varied from 96.60-1,126.30 Lux. Although many standard rooms still using low-efficiency tubes. For the Lighting Efficacy Ratio (LER) investigation, it was found that the only 5 standard rooms of Building A and Building B were passed, with the average of LER was 53.52 lumen/W and 11.63 lumen/W, respectively. The

reason that the LER is lower than the standard in which the standard is set to be greater than 75 lumens/W [9]. For the Light Power Density (LPD) Of Building A with an average of 12.23 W/m^2 and Building B with an average of 103.20 W/m^2 with 49 standardized rooms from a total of 87 rooms, the LPD standard value, not more than 14 W/m^2 [8].

Table 1. The data of the lighting system.

Issue			Building A	Building B
Number of survey rooms			74	13
Number of bulbs	fl	T8)36 W(	385	117
		T8 (18 W(	49	-
		T5 (28 W)	1,096	112
	pcl		13	56
The luminance from measurement (Lux)			96.70-1,126.30	177.33-835.00
Number of rooms that passing standard			62	11
The average Lighting Efficacy Ratio (LER))lumens/W(			53.52	11.63
Number of rooms with passing LER Standard			4	1
The average Light Power Density (LDP) (W/m^2)			12.23	103.20
Number of rooms with passing LPD Standard			48	1

Remark: fl is a fluorescent bulb, pcl is a compact fluorescent bulb.

3.1.2. Air Conditioning System

Table 2 shows the data from energy auditing of air conditioning systems with electrical energy consumption 39,065.48 kWh/year. Most sizes of the air conditioners in Building A and Building B was 25,000 Btu/hr with 37 units. The next following type was 30,000 Btu/hr, with 14 units installed in lecture classrooms, meeting rooms and offices. For the most laboratories did not have air conditioners. In which Building B has 2 large central air conditioners with 150,000 Btu/hr size in the conference room. However, from the study, the COP and EER values of most air conditioners are within the standards by the COP not less than 3.22, and EER not less than 11 Btu/hr·W [8]. The average COP and EER from the measurement was 3.58 and 12.20 Btu/hr·W$_e$. However, even if the air conditioners have the average values of COP and EER will pass the standards. But air conditioners have a life of more than 10 years, resulting in high demand for electrical energy. As the compressor has a long cutting period.

3.1.3. Other Systems

For the other systems, the electrical equipment in Building A was mainly used in the lecture rooms and dean offices, such as computers, photocopiers, audio and other convenience electrical appliances. The equipment was used in the specific operation in each field study. Building B used the electrical appliances in the meeting room such as computers, stereos and projectors. Both buildings consumed the electricity about of 28,863.40 kWh/year. The observation from the measurement is that it was unable to evaluate the energy savings because the users had unstable usage behavior. Therefore, the recommendation to adjust the energy saving should be conducted by the energy policy of building.

3.2. Energy Conservation Measures

From the energy survey, there are two main energy-consuming systems, air conditioning and lighting, in Table 3 shows three energy measures that would be suggested for energy management improvement.

From the building survey data, it was found that the lighting illumination was higher than the standard value. The Most of the light bulbs are about 92.23% fluorescent lamps, resulting in high electrical consumption. Therefore, measures were proposed two suggestion measures were

reducing the lighting bulb and changing the fluorescent bulb to a high efficiency LED bulb which power is 18 W per bulb. Therefore, the lighting systems will save an energy consumption of about 24,989.21 kWh/year or equivalent to 96,958.14 Baht/year. The investment cost was 350,775.00 Baht and the simple payback period was 5.62 years, in Table 3.

Table 2. The data of the air conditioning system.

Issue	Building A	Building B
Air conditioners size (Btu/hr)	9,000 (3 units) 25,000 (31 units) 30,000 (14 units) 40,000 (2 units)	25,000 (6 units) 150,000 (2 units)
Life time of air conditioners (years)	8-18	18
Power consumption of compressor (W)	0.76-3.54	2.21-17.5
Coefficient of Performance	2.56-4.58	2.63-3.92
Energy Efficiency Ratio (Btu/hr·W_e)	8.75-15.61	8.96-13.39

Table 3. The suggestion measures from energy auditing.

Measures	Savings		Investment (Baht)	Payback Period (year)
	Electrical Energy (kWh/year)	Cost (Baht/year)		
1. Lighting bulb reduction	8,898.44	34,525.95	-	-
2. Changing fluorescent bulb to LED bulb	16,090.77	62,432.19	350,775.00	5.62
3. Changing an old air conditioner to use high-efficiency air conditioner	7,096.83	27,535.70	331,300.00	12.03
4. Reducing the operation time of ventilation fan	153.34	594.94	-	-
Total	32,239.38	125,088.78	682,075.00	5.45

Remark: An average electrical cost of a building is 3.88 Baht/kWh.

From air conditioning systems, it was found that COP and EER of most air conditioners were lower than the standard value because it also had a total lifetime of 8units more than 10years that resulting low performance. Therefore, the suggestion measures was changing an old air conditioner (on-off type) to use high-efficiency air conditioner (inverter type). The energy saving of this measure was approximately 7,096.83 kWh/year or equivalent to 27,535.70 Baht/year. The investment cost was 331,300 Baht and the simple payback period was 12.03 years. Also, some air conditioned rooms had the ventilation fans that often used while the air conditioner was on so the cooled air was leaked to the outside and made work load of compressor increasing. In this issue, the suggested measure could reduce the period time of ventilation fan by about 50%. The energy saving would be predicted of 153.34 kwh/year or equivalent to 594.94 Baht/year. From the air conditioning systems analysis would save a total of 7,250.17 kWh/year or 28,130.64 Baht/year.

From the suggestion of building energy saving measures. Will be able to save energy to reach a total of 32,239.38 kWh/year or equivalent to 125,088.78 baht/year with payback period of 5.45 years as shown in Table 3.

3.3. Energy Performance Indicator

For Energy Performance Indicator (EnPI) analysis presents as following Table 4 with three levels assessment. The results show that for the organization level, EUI after the discussion was 3.75 kWh/m^2·year that decreased equal to 1.74 kWh/m^2·year and Energy Performance Index (EPI) would be decreased about 31.63%.

For system level, LPD after assessment of building B was equal to 39. 26 W/m^2 higher than building A was equal to 6.35 W/m^2 due to Building B is a conference room and has many light bulbs per room. For equipment level, LER of the lighting was 100 W/lumen, COP, and SEER of air conditioners were between 4.99-5.93 and 17.03-20. 25Btu/hr·W_e greater than before the study.

Table 4. Assessment of energy performance indicators before and after the measures improvement.

Level	Issue		EnPI	Before		After	
Level 1	Organization Level		EUI (kWh/m^2·year)	5.49		3.75	
			EPI (%)	-		31.63	
				Building		Building	
				A	B	A	B
Level 2	System Level (Lighting System)		LPD (W/m^2)	12.23	103.2	6.35	39.26
Level 3	Equipment Level	Lighting	LER (W/lumen)	91.33	51.71	100	100
		Air Conditioning	COP	2.56-4.58	2.63-3.92	4.99-5.93	5.67
			EER (Btu/ hr·W$_h$)	8.75-15.61	8.96-13.39	17.03*-20.25*	19.33*

Remark: * Due to the measuring the efficiency of inverter type air conditioners depends on the compressor load according to the operating load conditions such as room temperature and an outside temperature in each season, therefore the efficiency will be reported in a term of Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER).

4. Conclusions

In this study, the energy auditing assessment demonstrated along with ISO 50001 procedures in Faculty of Animal Science and Technology Building, Maejo University. It found that the most proportion of energy consumption was air conditioning. After study assessment, four energy measures were suggested such as lighting bulb reduction, changing fluorescent bulb to LED bulb, high-efficiency air conditioner using and reducing the operation time of ventilation fan which the electricity energy was save of 32,239.38 kWh/year or equivalent to 125,088.78 Baht/year. The energy utilization index (EUI) before the study is equal to 5.49 kWh/m2·year higher than after the study assessment that is equal to 3.75 kWh/m^2·year, after discussion decreased equal to 1.74 kWh/m^2·year resulted in Energy Performance Indicator (EPI) decreased about 31.63%. If the sample building uses the results of the study, the actual result will happen in the future. However, the assessment of environmental impact from all measures should be analyzed for green university promoting in a future.

Acknowledgments

The author would like to thank School of Renewable Energy, Maejo University That provides scholarships under the graduate student building and development project in the Renewable Energy Research Fund in ASEAN at the graduate level And Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, the research facility, and would like to thank the faculty at the School of Renewable Energy, Maejo University.

References

[1] Ministry of Energy 2015. *Energy Efficiency Plan: EEP 2015* chapter 1:1
[2] Ministry of Energy 2016. *Handbook for the Development of Energy Management Systems International Standard ISO 50001 for Designated Factory and Designated Building* chapter 1:1
[3] Pornchai M. and Wuttikon J. 2016. *Sustainable Practice on higher Education Conference*
[4] Wiehan A., Jan C. and Marc J. 2018. *Journal of Cleaner Production* :198
[5] Dalia Y., M.A. A. and M.S. H.2014 . *International Energy Journal :14*
[6] Saleh A.I., Muthukumar R., Hamed A.I., Malik A.I. and Majed A.I. 2017. *Procedia* :141
[7] Ministry of Energy *Handbook for reporting additional information for the index of energy consumption of government agencies* chapter 1:1-3
[8] Ministry of Energy *Handbook for assess the potential for energy conservation* (Thailand: Bankok)
[9] David S., Christopher P. and Alex L. 2019. *Applied Energy* :233–234.

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม PVsyst

Version 7.2.2

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Faculty of Animal Science and Tachnology Maejo University

Variant: New simulation variant 231 kW

No 3D scene defined, no shadings

System power: 231 kWp

Faculty of Animal Science and Tachnology Maejo University - Thailand

Author

PVsyst V7.2.2
VC1, Simulation date:
03/06/23 16:00
with v7.2.2

Project: Faculty of Animal Science and Technology Maejo University

Variant: New simulation variant 231 kW

Project summary

Geographical Site
Faculty of Animal Science and Technology Maejo University
Thailand

Situation

Latitude	18.91 °N
Longitude	99.02 °E
Altitude	351 m
Time zone	UTC+7

Project settings
Albedo 0.20

Meteo data
Faculty of Animal Science and Technology Maejo University
Meteonorm 8.0 (1991-2000), Sat=100% - Synthetic

System summary

Grid-Connected System

No 3D scene defined, no shadings

PV Field Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 30 / 0 °

Near Shadings
No Shadings

User's needs
Unlimited load (grid)

System information

PV Array		Inverters	
Nb. of modules	420 units	Nb. of units	5 units
Pnom total	231 kWp	Pnom total	200 kWac
		Pnom ratio	1.155

Results summary

Produced Energy	378.2 MWh/year	Specific production	1637 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	86.11 %

Table of contents

Project and results summary 2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses 3
Main results 4
Loss diagram 5
Special graphs 6
CO_2 Emission Balance 7

Project: Faculty of Animal Science and Tachnology Maejo University

Variant: New simulation variant 231 kW

General parameters

Grid-Connected System — **No 3D scene defined, no shadings**

PV Field Orientation

Orientation		Sheds configuration	Models used	
Fixed plane		No 3D scene defined	Transposition	Perez
Tilt/Azimuth	30 / 0 °		Diffuse	Perez, Meteonorm
			Circumsolar	separate

Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module

Manufacturer	Longi Solar
Model	LR5-72 HPH 550 M
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	550 Wp
Number of PV modules	420 units
Nominal (STC)	231 kWp
Optimizer Array	15 Strings x 28 in series
At operating cond. (50°C)	
Pmpp	211 kWp
Output of optimizers	
Voper	850 V
I at Poper	248 A

Inverter

Manufacturer	SolarEdge
Model	SE120K-JP/SE80K-JP unit (480V)
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	40.0 kWac
Number of inverters	5 units
Total power	200 kWac
Operating voltage	850 V
Pnom ratio (DC:AC)	1.11

SolarEdge Power Optimizer

Model	P601 Worldwide
Unit Nom. Power	600 W
Modules	1 String x 1 in series

Total PV power

Nominal (STC)	231 kWp
Total	420 modules
Module area	1074 m²
Cell area	974 m²

Total inverter power

Total power	200 kWac
Nb. of inverters	5 units
Pnom ratio	1.16

Array losses

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses
Global array res. 47 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Module Quality Loss
Loss Fraction -0.3 %

Module mismatch losses
Loss Fraction (Fixed voltage) 0.0 %

IAM loss factor
Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	25°	45°	60°	65°	70°	75°	80°	90°
1.000	1.000	0.995	0.962	0.936	0.903	0.851	0.754	0.000

PVsyst V7.2.2
VC1, Simulation date:
03/06/23 16:00
with v7.2.2

Project: Faculty of Animal Science and Tachnology Maejo University

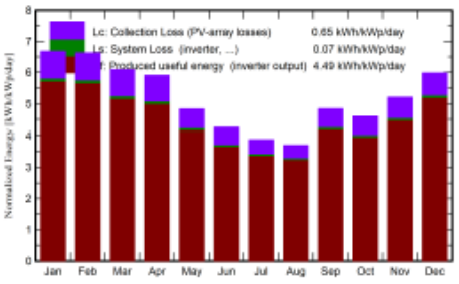
Variant: New simulation variant 231 kW

Main results

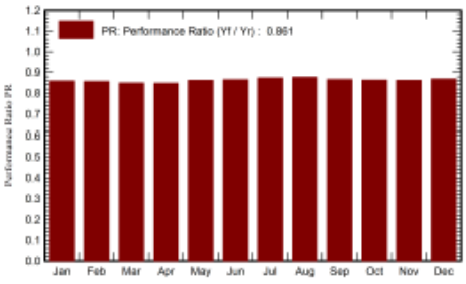
System Production

Produced Energy	378.2 MWh/year	Specific production	1637 kWh/kWp/year
		Performance Ratio PR	86.11 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	156.2	39.70	21.92	207.0	205.0	41.72	41.04	0.859
February	153.9	53.61	24.32	185.6	183.2	37.31	36.71	0.856
March	178.4	75.26	27.39	188.9	185.9	37.64	37.03	0.849
April	186.8	82.87	29.40	177.2	173.7	35.29	34.71	0.848
May	172.3	87.12	28.46	150.1	146.5	30.38	29.88	0.862
June	153.0	74.60	27.43	127.5	124.0	25.91	25.48	0.865
July	139.8	87.25	27.43	120.1	116.8	24.65	24.24	0.874
August	126.9	79.98	26.87	115.0	112.2	23.68	23.29	0.876
September	145.6	71.71	26.42	145.3	142.5	29.55	29.06	0.866
October	129.9	64.89	26.40	142.7	140.5	28.92	28.45	0.863
November	125.0	45.71	24.33	156.2	154.2	31.60	31.09	0.862
December	138.0	44.99	22.19	185.7	183.5	37.85	37.23	0.868
Year	1805.7	807.69	26.05	1901.4	1867.9	384.49	378.22	0.861

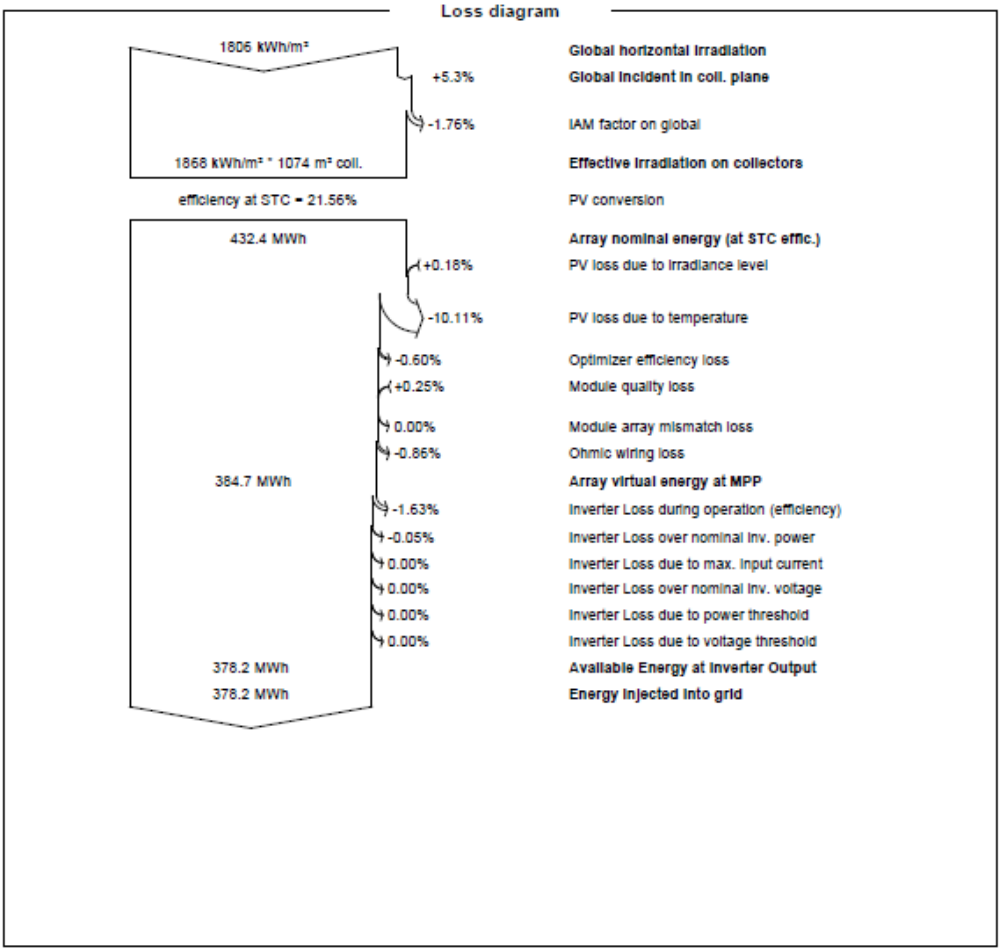
Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Project: Faculty of Animal Science and Tachnology Maejo University

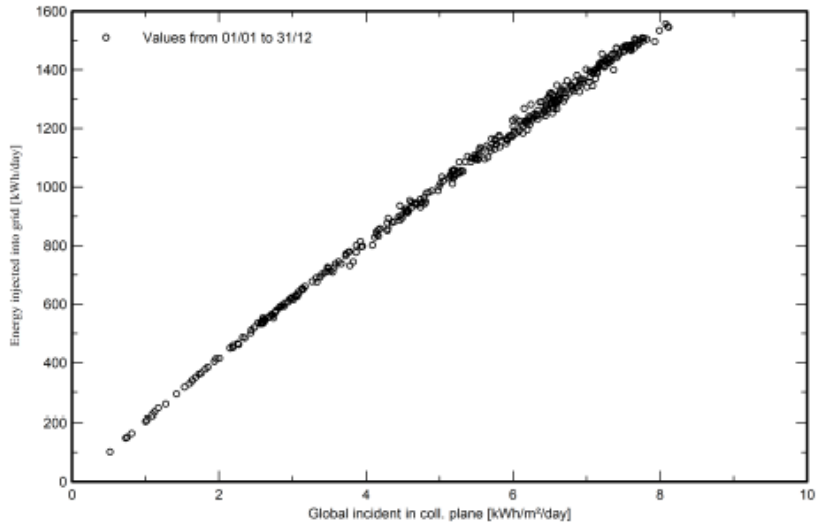
Variant: New simulation variant 231 kW

Loss diagram

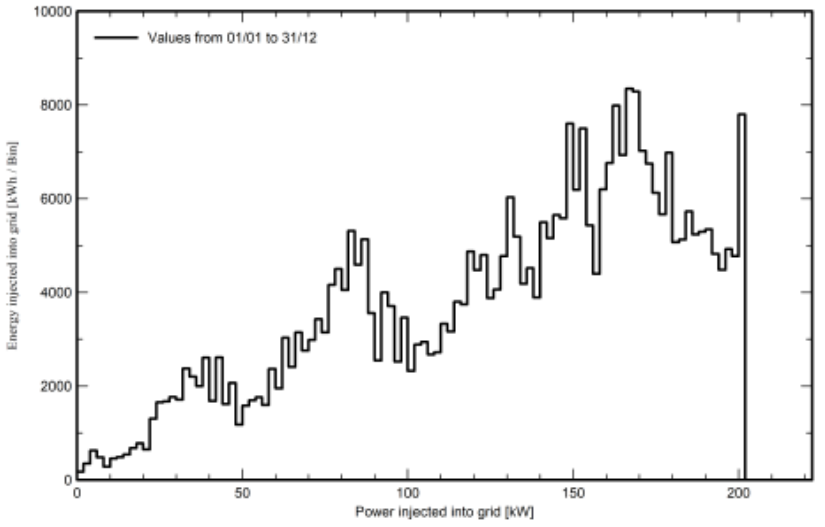


Special graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution



Project: Faculty of Animal Science and Tachnology Maejo University

Variant: New simulation variant 231 kW

CO_2 Emission Balance

Total: 4190.8 tCO_2

Generated emissions

Total: 162.16 tCO_2

Source: Detailed calculation from table below:

Replaced Emissions

Total: 4898.0 tCO_2

System production: 378.22 MWh/yr

Grid Lifecycle Emissions: 518 gCO_2/kWh

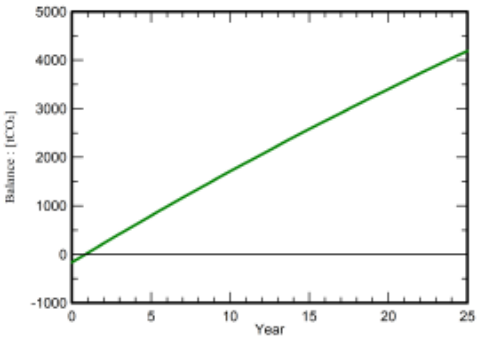
Source: IEA List

Country: Thailand

Lifetime: 25 years

Annual degradation: 1.0 %

Saved CO_2 Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[$kgCO_2$]
Modules	1713 kgCO2/kWp	90.8 kWp	155429
Supports	3.46 kgCO2/kg	1650 kg	5701
Inverters	342 kgCO2/units	3.00 units	1027

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล ทรงภพ ภาสวรโรจน์กุล

เกิดเมื่อ 14 พฤศจิกายน 2537

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2560 ระดับปริญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2556 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเทศบาลเมืองแม่ฮ่องสอน