การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

นางสาววรรษา อุไรรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY CONSERVATION IN PORT AUTHORITY OF THAILAND HEAD OFFICE BUILDING

Miss Vansa Urairat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย
โดย	นางสาววรรษา อุไรรัตน์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. อุริช อัชชโคสิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วรรษา อุไรรัตน์ : การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย (ENERGY CONSERVATION IN PORT AUTHORITY OF THAILAND HEAD OFFICE BUILDING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. วิทยา ยงเจริญ, 120 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่ใช้สอย 26,130 ตารางเมตร คนทำงาน 2,000 คน และเวลาทำการของอาคารตั้งแต่วันจันทร์ - วันศุกร์ เวลา 08.30 - 16.30 น. การศึกษามุ่งเน้นที่ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อหาแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร เมื่อได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานจะตรวจวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ก่อนการปรับปรุง เพื่อประเมินผลประหยัดพลังงาน และความคุ้มค่าในการลงทุน จากการศึกษาพบว่าอาคารใช้ระบบการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอนของกระทรวงพลังงาน ในปี 2558 อาคารมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 3,573,100 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 13,649,715 บาทต่อปี และมีดัชนีการใช้พลังงาน 136.74 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าหลักอยู่ที่ระบบปรับอากาศ ร้อยละ 52 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ร้อยละ 18 และระบบอื่นๆ ร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร ได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพรวม 6 มาตรการ ได้แก่ 1) มาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น 2) มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล 3) มาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา 4) มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED 5) มาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร และ 6) มาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร รวมผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากทุกมาตรการเท่ากับ 644,775 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นเงิน 2,463,041 บาทต่อปี มีระยะเวลาคืนทุนระหว่าง 0.34 – 15.12 ปี

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน	ลายมือชื่อนิสิต	....
ปีการศึกษา	2558	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....

5787578920 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: ENERGY MANAGEMENT / OFFICE BUILDING / ENERGY CONSERVATION MEASURE

VANSA URAIRAT: ENERGY CONSERVATION IN PORT AUTHORITY OF THAILAND HEAD OFFICE BUILDING. ADVISOR: ASSOC. PROF. WITHAYA YONGCHAREON, Ph.D., 120 pp.

This research is a study of energy conservation in the Port Authority of Thailand Head Office Building which has a functional area of 26,130 m^2, 2,000 employees and working hours from 08.30 am. – 04.30 pm during weekdays. This study is concentrated on air conditioning systems and lighting systems, particularly by collecting data from machinery and electrical equipments in order to determine energy management in the building. When the potential energy saving measures were obtained, the efficiency of the equipments before improvements were measured for energy saving assessment and worthiness of investment. Referring to the study, the building has used the 8 steps of energy management system from the Ministry of Energy. During 2015, the Port Authority of Thailand Head Office Building consumed 3,573,100 kWh/year or equal to 13,649,715 Baht/year with a specific energy consumption of 136.74 kWh/m^2. The energy consumption proportions included air conditioning system (52%), lighting systems (18%) and others systems (30%). The building then implemented 5 energy conservation measures as follow 1) The measure for installation of VSD in Chilled Water Pump 2) The measure for installation of Automatic Condenser Tubes Cleaning System 3) The measure for installation of Split Type Air Condition Unit in areas that have overtime working employees 4) The measure for changing Fluorescent lamp to LED 5) The measure for increasing heating insulation for ceiling and 6) The measure for increasing heating insulation for wall, and sum up energy saving all over these 6 measures equal to 644,775 kWh/year or 2,463,041 Baht/year and payback period is 0.34 – 15.12 years.

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature	....
		Advisor's Signature	....
Academic Year:	2015		

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยและการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยเมตตาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางและวิธีการในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางด้านการศึกษาหรือปัญหาด้านการงาน รวมทั้งให้กำลังใจผู้จัดทำด้วยความเมตตาตั้งแต่เริ่มทำวิจัยจนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษางานวิจัย คอยแนะนำ ชี้แนะแนวคิดอันเป็นประโยชน์ และคอยให้ความช่วยเหลือตั้งแต่เริ่มงานวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการดำเนินงาน

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฎ

สารบัญรูปภาพ .... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตเนื้อหางานวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การอนุรักษ์พลังงาน 5

2.1.1 คำจำกัดความ 5

2.1.2 แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานหรือการใช้พลังงานเชิงอนุรักษ์ที่สำคัญ 5

2.1.3 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 แก้ไขเพิ่มเติมโดย พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 6

2.1.4 ขั้นตอนการจัดการพลังงาน 8

2.2 การใช้พลังงานในอาคาร 11

2.2.1 การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 12

2.3 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคาร 13

2.3.1 เกณฑ์การใช้พลังงานรวมของอาคารสำนักงานแบ่งได้ดังนี้ 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.4 แหล่งความร้อนของอาคาร 15
2.5 ผนังอาคาร 16
2.5.1 วัสดุผนังทึบ 16
2.5.2 กระจก 16
2.6 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร 18
2.6.1 การนำความร้อน (Conduction) 18
2.6.2 การพาความร้อน (Convection) 18
2.6.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) 18
2.7 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร 19
2.8 ระบบปรับอากาศ 22
2.8.1 ประเภทของระบบปรับอากาศ 22
2.8.2 สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) 24
2.8.3 ประสิทธิภาพการให้ความเย็น (Energy Efficiency Ratio, EER) 24
2.8.4 มาตรฐานระบบปรับอากาศ 25
2.9 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 26
2.9.1 แสงสว่าง 26
2.9.2 แหล่งกำเนิดแสง 26
2.9.3 นิยามศัพท์ที่สำคัญเกี่ยวกับปริมาณแสง 27
2.9.4 ระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร 28
2.9.5 อุปกรณ์สำคัญในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 29
2.9.6 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับหลอดไฟฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงาน 31
2.9.7 หลักการให้แสงสว่าง 33
2.9.8 ประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟ 33

หน้า

2.10 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน 34
2.10.1 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ 34
2.10.2 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 35
2.11 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน 37
2.11.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) 37
2.11.2 อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) 38
2.11.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) 39
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 44
3.1 การกำหนดแนวทางในการวิจัย 44
3.2 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย 45
3.2.1 ข้อมูลทั่วไป 45
3.2.2 อัตราค่าไฟฟ้าของอาคาร 46
3.2.3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 46
3.2.4 ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ 49
3.3 ศึกษาระบบการจัดการพลังงานของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย 54
3.4 เก็บข้อมูลงานวิจัยเพื่อกำหนดแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร 67
3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด 67
3.4.2 การตรวจวัดเครื่องสูบน้ำเย็น 69
3.4.3 การตรวจวัดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ 72
3.4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องปรับอากาศนอกเวลา 73
3.4.5 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง 73

หน้า

3.4.6 การเก็บรวบรวมข้อมูลกรอบอาคาร 75
บทที่ 4 วิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัย 76
4.1 การจัดการพลังงานในระบบปรับอากาศ 76
4.1.1 มาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น 76
4.1.2 มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล 80
4.1.3 มาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา 82
4.2 การจัดการพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 85
4.2.1 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED 85
4.3 การจัดการพลังงานในส่วนกรอบอาคาร 89
4.3.1 มาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร 89
4.3.2 มาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร 92
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 101
5.1 สรุปผลการวิจัย 101
5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย 106
รายการอ้างอิง 107
ภาคผนวก 110
ภาคผนวก ก ตารางการคำนวณความคุ้มค่าทางการเงิน 111
ภาคผนวก ข รูปเครื่องจักร อุปกรณ์ และวิธีการตรวจวัด 114
ภาคผนวก ค หน่วยวัด 119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงานวิจัย 4
ตารางที่ 2-1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารประเภทต่างๆ โดยแยกตามระบบ 11
ตารางที่ 2-2 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ ในอาคารสำนักงาน 13
ตารางที่ 2-3 ค่า OTTV และค่า RTTV สูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ 21
ตารางที่ 2-4 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ 21
ตารางที่ 2-5 เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 ชนิด Fixed speed 25
ตารางที่ 2-6 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก 25
ตารางที่ 2-7 ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ 26
ตารางที่ 2-8 ระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคารตามข้อแนะนำของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย 28
ตารางที่ 2-9 ข้อดี - ข้อเสีย ของบัลลาสต์แกนเหล็ก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 32
ตารางที่ 2-10 ประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟประเภทต่างๆ 33
ตารางที่ 3-1 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff: TOD Tariff) 46
ตารางที่ 3-2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมทั้งปีของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ปี 2556 – 2558 47
ตารางที่ 3-3 ข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมทั้งปีของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ปี 2556 – 2558 48
ตารางที่ 3-4 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ปี 2558 49
ตารางที่ 3-5 ข้อมูลหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย 49

หน้า

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย 53

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย 54

ตารางที่ 3-8 การประเมินการจัดการพลังงานของการท่าเรือแห่งประเทศไทย 57

ตารางที่ 3-9 สรุปผลการตรวจสอบการปฏิบัติตามเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานสำหรับมาตรการด้านไฟฟ้า 60

ตารางที่ 3-10 การตรวจติดตามการดำเนินการจัดการพลังงาน 62

ตารางที่ 3-11 สรุปผลการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน ประจำปี 2557 66

ตารางที่ 3-12 สูตรที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเย็น 70

ตารางที่ 3-13 ตารางผลการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเย็น 71

ตารางที่ 3-14 ตารางผลการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างจากหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W และหลอด LED ขนาด 18 W 74

ตารางที่ 4-1 ผลการตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องสูบน้ำเย็น 78

ตารางที่ 4-2 ผลการตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์โดยใช้แปรงทำความสะอาด 81

ตารางที่ 4-3 บริเวณที่จะทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมและขนาดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสม 83

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำนอกเวลาทำการ 84

ตารางที่ 4-5 ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนอกเวลาทำการ 84

ตารางที่ 4-6 ผลการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W และหลอด LED ขนาด 18 W บริเวณห้องประชุม 1002 87

ตารางที่ 4-7 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ก่อนและหลังการปรับปรุง...... 90

หน้า

ตารางที่ 4-8 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของหลังคาอาคารก่อนการปรับปรุง 90
ตารางที่ 4-9 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารก่อนการปรับปรุง 90
ตารางที่ 4-10 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของหลังคาอาคารหลังการปรับปรุง 91
ตารางที่ 4-11 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารหลังการปรับปรุง 91
ตารางที่ 4-12 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ชั้น 9 ก่อนและหลังการปรับปรุง 93
ตารางที่ 4-13 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของผนังทึบก่อนการปรับปรุง 94
ตารางที่ 4-14 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของผนังโปร่งแสง (กระจก) ก่อนการปรับปรุง 95
ตารางที่ 4-15 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารก่อนการปรับปรุง 96
ตารางที่ 4-16 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของผนังทึบหลังการปรับปรุง 97
ตารางที่ 4-17 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของผนังโปร่งแสง (กระจก) หลังการปรับปรุง 98
ตารางที่ 4-18 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารหลังการปรับปรุง 99
ตารางที่ 5-1 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่มีศักยภาพ 6 มาตรการ 105
ตารางที่ ก-1 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น 111
ตารางที่ ก-2 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล 111
ตารางที่ ก-3 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา 112

หน้า

ตารางที่ ก-4 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED..112

ตารางที่ ก-5 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา................113

ตารางที่ ก-6 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร 113

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน... 8

รูปที่ 2.2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงาน 12

รูปที่ 2.3 รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงาน 12

รูปที่ 2.4 แหล่งความร้อนต่างๆ ของภาระการปรับอากาศ.. 15

รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ... 18

รูปที่ 2.6 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับกระจก 19

รูปที่ 3.1 อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย 45

รูปที่ 3.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร.. 47

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 48

รูปที่ 3.4 เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Meter)... 67

รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ (Ultrasonic flow meter) 68

รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดระดับความส่องสว่าง (Lux Meter) 68

รูปที่ 3.7 เกจความดันแบบท่อบูร์ดอง (Bourdon tube pressure gauge)... 69

รูปที่ 3.8 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ 69

รูปที่ 3.9 ตลับเมตร 69

รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมแสดงตำแหน่งตรวจวัด.. 70

รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมแสดงตำแหน่งจุดตรวจวัด 74

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าก่อนและหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ 81

รูปที่ 5.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร.. 102

รูปที่ ข.1 เครื่องสูบน้ำเย็นที่ทำการตรวจวัด 114

รูปที่ ข.2 การตรวจวัดความดันด้านดูดของเครื่องสูบน้ำเย็น 114

หน้า

รูปที่ ข.3 การตรวจวัดความดันด้านจ่ายของเครื่องสูบน้ำเย็น..115
รูปที่ ข.4 เครื่องทำน้ำเย็นที่ทำการตรวจวัด 115
รูปที่ ข.5 ห้องที่ทำการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง 116
รูปที่ ข.6 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของหลอดไฟฟ้าภายในห้อง...116
รูปที่ ข.7 การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED 117
รูปที่ ข.8 อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย 117
รูปที่ ข.9 ดาดฟ้าอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย..118
รูปที่ ข.10 แบบแปลนอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยชั้น 9 118

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากแนวโน้มราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบให้ทุกภาคส่วนของประเทศต้องหันมาให้ความสำคัญเรื่องการอนุรักษ์และการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ภาคอาคารธุรกิจการค้าและการบริการถือเป็นภาคเศรษฐกิจหลักที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ อีกทั้งยังมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “อาคารของรัฐ” ซึ่งถือได้ว่าเป็นอาคารที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูง

ปัจจุบันหน่วยงานราชการ และรัฐวิสาหกิจมีอาคารที่อยู่ในสังกัดจำนวนมาก แต่ละอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนในปริมาณสูง เช่น อาคารสำนักงาน โรงพยาบาล และสถานศึกษา ดังนั้นจึงควรมีการอนุรักษ์และการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพในอาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีสูง เพื่อก่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ในทางกฎหมายได้จัดอาคารเหล่านี้ให้อยู่ในประเภทของอาคารควบคุม ซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดการพลังงานและต้องปฏิบัติตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด (1)

พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถกำกับและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดให้อาคารและโรงงานที่มีขนาดและการใช้พลังงานตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกาเป็นโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย (2)

อาคารควบคุมส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจเป็นกลุ่มหน่วยงานที่มีหน้าที่ต้องปฏิบัติตามกฎหมายดังกล่าว ดังนั้นการส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุมส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจจึงเป็นตัวอย่างที่ดีต่ออาคารควบคุมเอกชนอื่นๆ จากการดำเนินงานอนุรักษ์พลังงานของหน่วยงานราชการต่างๆ พบว่าอาคารควบคุมส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจจำนวนหนึ่งยังไม่สามารถดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นไปตามกฎหมายได้ เนื่องจากบุคลากรด้านพลังงานของอาคารควบคุมภาครัฐยังขาดความเข้าใจในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย

การอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุมภาครัฐจะเห็นผลอย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืนจำเป็นต้องมีระบบการจัดการพลังงานในหน่วยงาน โดยให้บุคลากรทุกระดับ ทุกฝ่าย รวมถึงผู้บริหารตระหนักถึงความสำคัญและมีส่วนร่วมในทุกกระบวนการ ซึ่งจำเป็นต้องมีการกระตุ้น ให้ความรู้รวมถึงการบังคับใช้กฎหมายที่ส่งเสริมและเป็นแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน การปลูกจิตสำนึกการ

อนุรักษ์พลังงานภายในองค์กรจะทำให้เกิดใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดเสถียรภาพความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศไทย และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2545 และได้ขึ้นทะเบียนสินทรัพย์เป็นสินทรัพย์สิ่งปลูกสร้างด้วยมูลค่า 689 ล้านบาทเศษ พร้อมอาคารประกอบรายล้อมอีก 3 อาคารซึ่งเป็นอาคารที่สามารถเชื่อมติดต่อกันได้ ได้แก่ อาคาร A ส่วนสำนักงาน มี 19 ชั้น รวมพื้นที่ 19,975 m^2 อาคาร A ส่วน PODIUM มี 5 ชั้น รวมพื้นที่ 4,890 m^2 อาคาร B (อาคาร ONE STOP) มี 6 ชั้น รวมพื้นที่ 12,555 m^2 และ อาคาร C (อาคารจอดรถ) มี 8 ชั้น รวมพื้นที่ 22,800 m^2

<u>งานวิจัยนี้เลือกใช้อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยในส่วนอาคาร A และ PODIUM เป็นอาคารกรณีศึกษาเนื่องจาก</u>

1) กิจกรรมและการใช้งานภายในอาคารไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเป็นอาคารสำนักงานที่มีการใช้งานอาคารตามที่ทางราชการกำหนด จึงสามารถควบคุมตัวแปรทางด้านการใช้งานอาคารของผู้ใช้อาคารได้ค่อนข้างแน่นอน

2) ขนาดอาคารและการแบ่งพื้นที่ภายในอาคารมีความเหมาะสมที่จะทำการศึกษา

3) มีความเป็นไปได้ที่องค์กรจะนำผลการศึกษาในครั้งนี้มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงอาคารจริงในอนาคต เพื่อที่จะได้นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผลการปรับปรุง และสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารอื่นๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยให้เป็นแนวทางในการใช้พลังงานอย่างประหยัด

2) เพื่อหามาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

3) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและความเหมาะสมทางการเงินสำหรับการเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

1.3 ขอบเขตเนื้อหางานวิจัย

1) ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

2) ศึกษาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1) ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงาน และเทคนิคการจัดการพลังงานของอาคารสำนักงาน

2) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน และการจัดการพลังงานภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

- ศึกษาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง
- สำรวจศักยภาพเบื้องต้นในการจัดการระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง

3) ศึกษาระบบการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

4) ตรวจวัดข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยตามมาตรการที่ได้สำรวจเบื้องต้น

5) วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

6) จัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

7) วิเคราะห์ต้นทุน ประเมินผลการประหยัดพลังงาน และความคุ้มค่าในการลงทุน

8) สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

9) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้แนวทางในการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

2) ได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

3) สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยในระยะยาว

4) สามารถนำไปเป็นต้นแบบในการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานอื่นๆ

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงาน								
		ต.ค. 58	พ.ย. 58	ธ.ค. 58	ม.ค. 59	ก.พ. 59	มี.ค. 59	เม.ย. 59	พ.ค. 59	มิ.ย. 59
1.	ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงาน เทคนิคการจัดการพลังงาน และข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกรอบอาคารของอาคารสำนักงาน									
2.	ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน และการจัดการพลังงานภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย - ศึกษาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง - สำรวจศักยภาพเบื้องต้นในการจัดการระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่าง									
3.	ศึกษาระบบการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย									
4.	ตรวจวัดข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยตามมาตรการที่ได้สำรวจเบื้องต้น									
5.	วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยตามมาตรฐานการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร									
6.	จัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย									
7.	วิเคราะห์ต้นทุน ประเมินผลการประหยัดพลังงาน และความคุ้มค่าในการลงทุน									
8.	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ									
9.	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์									

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอนุรักษ์พลังงาน

2.1.1 คำจำกัดความ

การอนุรักษ์พลังงาน หมายถึง การลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นรวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน นั่นหมายถึงการใช้พลังงานน้อยลงแต่ได้ผลลัพธ์เท่าเดิมโดยครอบคลุมทั้งการใช้พลังงานด้านแสงสว่าง ระบบความร้อนและความเย็น การขนส่ง และเครื่องจักรกลในกระบวนการผลิต การอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ ช่วยลดค่าใช้จ่ายของภาคครัวเรือน ลดต้นทุนในภาคการผลิตและบริการ ตลอดจนลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน (3)

การอนุรักษ์พลังงานให้เกิดผลอย่างจริงจังและยั่งยืนจำเป็นต้องวางระบบในการดำเนินงานที่เหมาะสม และปฏิบัติอย่างต่อเนื่องด้วยความตั้งใจ และร่วมใจกันทุกฝ่าย ตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูงลงไปพร้อมทั้งกำหนดแผนงานเพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์

2.1.2 แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานหรือการใช้พลังงานเชิงอนุรักษ์ที่สำคัญ

1) การใช้พลังงานอย่างประหยัดและคุ้มค่าโดยการสร้างค่านิยมและจิตใต้สำนึกการใช้พลังงาน
2) การใช้พลังงานอย่างรู้คุณค่าจะต้องมีการวางแผนและควบคุมการใช้อย่างเต็มประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ลดการสูญเสียพลังงานทุกขั้นตอน ตรวจสอบและดูแลการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา เพื่อลดการรั่วไหลของพลังงาน เป็นต้น
3) การใช้พลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และอื่นๆ
4) การเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าเบอร์ 5 หลอดผอมประหยัดไฟ เป็นต้น
5) การเพิ่มประสิทธิภาพเชื้อเพลิง เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้พลังงานมากขึ้น
6) การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยการนำวัสดุที่ชำรุดนำมาซ่อมใช้ใหม่ การลดการทิ้งขยะที่ไม่จำเป็นหรือการหมุนเวียนกลับมาผลิตใหม่ (Recycle) (4)

2.1.3 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ดังนี้

1) เพื่อกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุนให้ผู้ที่ต้องการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายมีการอนุรักษ์พลังงานด้วยการผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด

2) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานขึ้นใช้ในประเทศ และให้มีการใช้อย่างแพร่หลาย

3) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการอนุรักษ์พลังงานอย่างเป็นรูปธรรม โดยการจัดตั้ง “กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน” เพื่อใช้เป็นกลไกในการให้ความช่วยเหลือทางการเงินแก่ผู้ที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย

2.1.3.1 ขอบเขตการบังคับใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุนให้ “โรงงานควบคุม” และ “อาคารควบคุม” ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานด้วยการผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด และเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการผลิตเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานขึ้นในประเทศและให้มีการใช้อย่างแพร่หลาย ฉะนั้น กลุ่มเป้าหมายที่รัฐมุ่งเข้าไปกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุนเพื่อให้เกิดการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัตินี้จึงประกอบด้วย 3 กลุ่มดังนี้

1) โรงงานควบคุม

2) อาคารควบคุม

3) ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมถึงวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ด้วยเหตุนี้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 จึงบังคับใช้กับกลุ่มเป้าหมายเพียง 3 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้นเท่านั้น

ในส่วนของกลุ่มโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมที่อยู่ภายใต้บังคับของพระราชบัญญัติฯ นั้น จะมุ่งเน้นโรงงานและอาคารที่มีการใช้พลังงานในปริมาณมากและมีศักยภาพพร้อมที่จะดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้ทันที โรงงานหรืออาคารใดจะเข้าข่ายเป็นโรงงานควบคุมหรืออาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ควบคุมเป็นไปตามที่พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540 และพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 ได้กำหนดไว้

ในส่วนของกลุ่มผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมถึงวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานนั้นจะได้รับสิทธิอุดหนุนช่วยเหลือทางการเงินเพื่อให้มีการผลิตหรือจำหน่ายเครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุเหล่านี้จำหน่ายให้แก่ประชาชนอย่างแพร่หลายและมีราคาถูก ซึ่งจะช่วยให้ประชาชนทั่วไปลดการใช้พลังงานลงได้ ทั้งนี้ การกำหนดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ตามประเภท ขนาด ปริมาณการใช้พลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างใด เป็นเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่อยู่ภายใต้บังคับของพระราชบัญญัตินี้ ย่อมเป็นไปตามกฎกระทรวงซึ่งได้กำหนดเป็นเรื่องๆ ไป

2.1.3.2 แนวทางการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

ลักษณะของอาคารควบคุมและโรงงานควบคุม

ผู้ที่อยู่ภายใต้กฎหมายฉบับนี้ มีหน้าที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานนั้น จะถูกเรียกว่า “อาคารควบคุม” หรือ “โรงงานควบคุม” แล้วแต่กรณี โดยจะเน้นที่อาคารและโรงงานที่มีการใช้พลังงานในปริมาณที่มากและมีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน โดยประกาศออกมาเป็นพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม และ พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุมมาใช้บังคับ

อาคารหรือโรงงานที่เข้าข่ายเป็นอาคารควบคุมหรือโรงงานควบคุมนั้น ต้องมีลักษณะการใช้พลังงานอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1) ได้รับอนุมัติจากผู้จำหน่ายไฟฟ้าให้ ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป หรือติดตั้งหม้อแปลงตัวเดียวหรือหลายตัวรวมกันมีขนาดตั้งแต่ 1,175 kVA ขึ้นไป หรือ

2) มีการใช้พลังงานไฟฟ้า ความร้อนจากไอน้ำ หรือพลังงานสิ้นเปลืองอย่างใดอย่างหนึ่งรวมกันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคมของปีที่ผ่านมา มีปริมาณพลังงานเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 20 ล้านเมกะจูลขึ้นไป

พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม และ พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุมนี้ มีผลใช้บังคับแล้วตั้งแต่วันที่ 12 ธันวาคม 2538 และวันที่ 17 กรกฎาคม 2540 ตามลำดับ ดังนั้นอาคารหรือโรงงานที่มีการใช้พลังงานดังกล่าวข้างต้น ต้องเริ่มดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามที่กฎหมายกำหนดไว้ สำหรับโรงงานหรืออาคารใดๆ ที่มีลักษณะการใช้พลังงานตามเกณฑ์ที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกาฯ หลังวันที่มีผลใช้บังคับแล้ว จะมีผลเป็นอาคารควบคุมหรือโรงงานควบคุมในทันที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้าที่ของอาคารควบคุมและโรงงานควบคุม

ในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ได้กำหนดให้ผู้ที่เป็นเจ้าของอาคารควบคุมและโรงงานควบคุม มีหน้าที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานดังต่อไปนี้

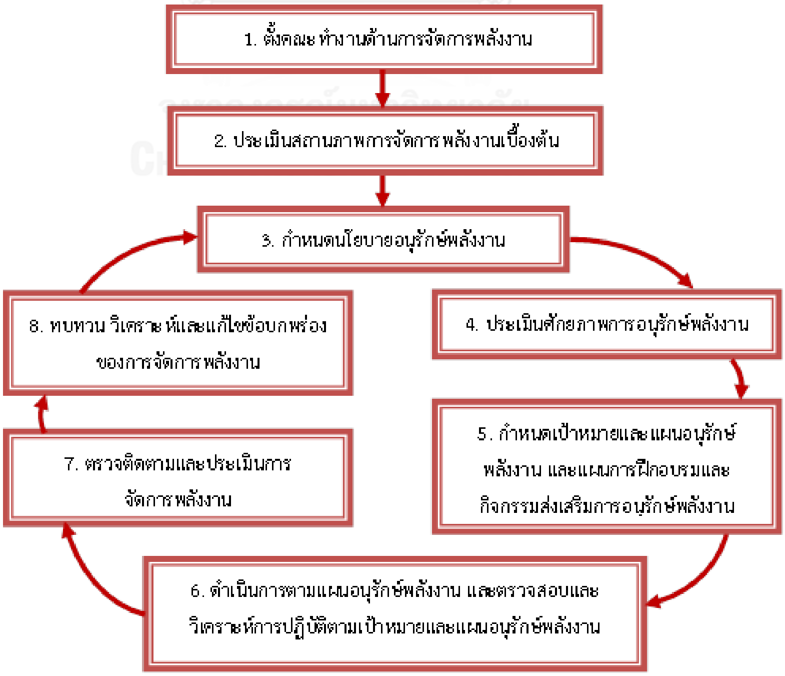
1) จัดให้มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงานที่มีคุณสมบัติ และจำนวนตามที่กำหนดใน กฎกระทรวง ภายในเวลาที่กำหนด

2) ต้องดำเนินการจัดให้มีการอนุรักษ์พลังงานตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการการจัดการพลังงานที่กำหนดในกฎกระทรวง

3) ส่งรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานให้ พพ. ภายในเดือนมีนาคมของทุกปี โดยต้องได้รับการตรวจสอบและรับรองจากผู้ตรวจสอบพลังงานที่ได้รับใบอนุญาตจาก พพ.

2.1.4 ขั้นตอนการจัดการพลังงาน

จากข้อกำหนดตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 ซึ่งกำหนดให้โรงงานควบคุมและอาคารควบคุมจำเป็นต้องเริ่มให้มีวิธีการจัดการพลังงานเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยวิธีการจัดการพลังงานนั้นต้องมีการปฏิบัติอย่างเป็นขั้นตอน รวมทั้งมีการวางแผนการดำเนินการที่ดีและเหมาะสมกับองค์กร เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายของการจัดการพลังงาน การดำเนินการสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 2.1 การจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน

ที่มา: พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

ขั้นตอนที่ 1 การแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดโครงสร้างคณะทำงานที่จะรับผิดชอบในการประสานระบบการจัดการพลังงานที่เป็นระบบใหม่เข้ากับระบบที่มีอยู่เดิม โดยไม่ให้เกิดปัญหาหรือให้มีน้อยที่สุด นอกจากนั้นคณะทำงานหรือทีมอนุรักษ์พลังงานยังมีหน้าที่ถ่ายทอดนโยบายพลังงาน ประชาสัมพันธ์ จัดโครงการหรือกิจกรรมต่างๆ ให้เกิดขึ้น รวมทั้งเป็นศูนย์กลางในการประสานงานระหว่างหน่วยงานต่างๆ ในองค์กร ทั้งนี้จะต้องได้รับการแต่งตั้งคณะทำงานอย่างเป็นทางการจากผู้บริหารระดับสูง

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น

การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นขององค์กรโดยใช้ตารางการประเมินการจัดการด้านพลังงาน (Energy Management Matrix: EMM) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงสถานภาพการจัดการพลังงานภายในองค์กรในเรื่องของแนวนโยบายด้านการจัดการพลังงาน รูปแบบการจัดองค์กร การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ รวมทั้งระบบข้อมูลข่าวสาร การประชาสัมพันธ์ และการลงทุน และใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาระบบการจัดการพลังงานต่อไป โดยได้ดำเนินการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นทั้งในหน่วยงานย่อยตามโครงสร้างและภาพรวมขององค์กร

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้พนักงานทุกระดับในองค์กรทราบถึงวิสัยทัศน์และการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง ส่วนการประชาสัมพันธ์นั้นเพื่อให้เกิดการสื่อสารด้านการอนุรักษ์พลังงานทั่วทั้งองค์กรจากระดับผู้บริหารระดับสูงไปยังพนักงานระดับปฏิบัติงาน และจากพนักงานไปยังผู้บริหาร เพื่อให้เกิดความร่วมมือร่วมใจกันทั้งองค์กร โดยสิ่งที่จะต้องดำเนินการในขั้นตอนนี้ คือ การประกาศนโยบายพลังงานอย่างเป็นทางการ รวมทั้งหัวข้อประชาสัมพันธ์หรือแนวทางการรณรงค์ให้ทั่วทั้งองค์กร

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

การกำหนดนโยบายการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงานจำเป็นต้องสอดคล้องกับศักยภาพหรือความสามารถขององค์กรในการอนุรักษ์พลังงาน เช่น ด้านความพร้อมของบุคลากร เทคโนโลยีที่มีใช้ในองค์กร และองค์ความรู้ในการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงาน

ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานและแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

การดำเนินการจัดการพลังงานของสำนักงาน การจัดทำแผนการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงาน เป็นสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้เด็ดขาด โดยการกำหนดเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงาน จากนั้นดำเนินการหาแนวทาง มาตรการในการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงานที่จะบรรลุเป้าหมายนั้น และจัดทำแผนการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงาน แผนประชาสัมพันธ์เพื่อกระตุ้นหรือปลูกจิตสำนึกด้านอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงาน และแผนงานในการฝึกอบรมและกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจด้านการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงาน เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของแผนงานอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงานประกอบไปด้วย รายชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงาน วัตถุประสงค์ของมาตรการ ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินมาตรการ งบประมาณ และผู้รับผิดชอบในการดำเนินงานตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงานแต่ละมาตรการ

ขั้นตอนที่ 6 การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานและการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

เมื่อกำหนดแผนงานการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงานเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ต้องมีการดำเนินการตามแผนงานที่กำหนด มีการตรวจสอบและวิเคราะห์การดำเนินงาน ปฏิบัติตามแผนงานเป็นระยะๆ ว่าเป็นไปตามแผนงานหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแผนงานหรือไม่ หากไม่เป็นไปตามแผนงานต้องดำเนินการแก้ไขอย่างไร

ขั้นตอนที่ 7 การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน

เมื่อการดำเนินงานตามแผนการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงานเสร็จเรียบร้อยจำเป็นที่จะต้องดำเนินการตรวจติดตามและประเมินผลการจัดการพลังงานของสำนักงานว่าเป็นไปตามนโยบายที่กำหนดและบรรลุเป้าหมายการจัดการพลังงานของสำนักงานหรือไม่อย่างไร

ขั้นตอนที่ 8 การทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

หากการดำเนินงานการจัดการพลังงานของสำนักงานไม่เป็นไปตามนโยบายที่กำหนดและไม่บรรลุเป้าหมายการจัดการพลังงานของสำนักงานต้องดำเนินการทบทวน วิเคราะห์แผนงานและมาตรการการอนุรักษ์พลังงานหรือลดการใช้พลังงานนั้น เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่มี เพื่อให้ผลการดำเนินงานการจัดการพลังงานของสำนักงานสำเร็จตามนโยบายและบรรลุเป้าหมายการจัดการพลังงานของสำนักงานที่กำหนด ต้องดำเนินการสนับสนุนและส่งเสริมแผนงานหรือมาตรการนั้นต่อไป เพื่อให้เกิดการจัดการพลังงานของสำนักงานอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

2.2 การใช้พลังงานในอาคาร

โดยทั่วไปค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคารมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 10 ของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของอาคารทั้งหมด ค่าใช้จ่ายส่วนนี้สามารถควบคุมให้ลดลงได้โดยการบริหารจัดการและการใช้เครื่องจักร/อุปกรณ์อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งไม่มีค่าใช้จ่ายหรือมีค่าใช้จ่ายน้อย โดยการลงทุนปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร/อุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานยังจะช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร/อุปกรณ์ให้นานขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนอุปกรณ์ลดลงด้วย

การใช้พลังงานในอาคารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น

1) ประเภทอาคาร
2) ความต้องการของผู้ใช้อาคาร
3) ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร
4) ลักษณะการออกแบบอาคาร
5) ชั่วโมงการใช้งานอาคาร

ตารางที่ 2-1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารประเภทต่างๆ โดยแยกตามระบบ

ประเภทอาคาร	ระบบปรับอากาศ (%)	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (%)	ระบบอื่นๆ (%)
สำนักงาน	55	30	15
ศูนย์การค้า	62	23	15
สถานศึกษา	38	40	22
โรงแรม	65	18	17
สถานพยาบาล	55	25	20

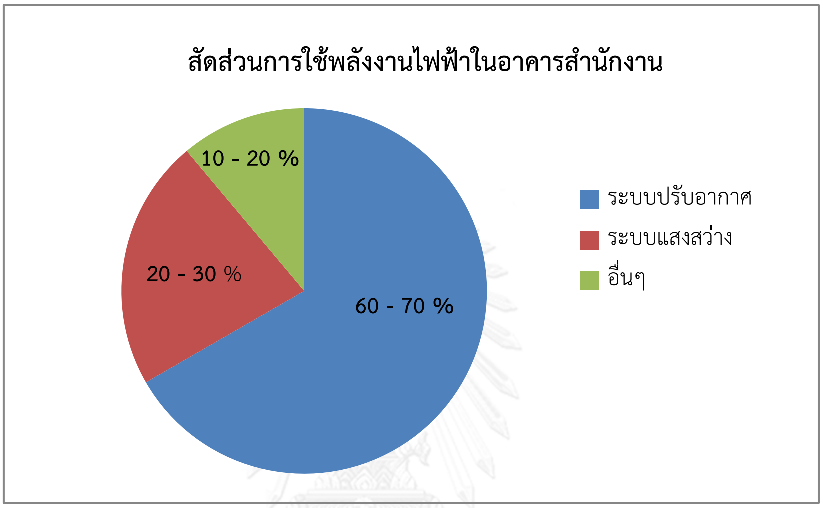
ที่มา: วัชระ มั่งวิทิตกุล, กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, หน้า 66.

จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศ ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบอื่นๆ ในอาคาร สัดส่วนและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบต่างๆ นั้น จะแตกต่างกันในแต่ละประเภทอาคาร (ดังแสดงในตารางที่ 2-1) โดยระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก โดยมีสัดส่วนรวมกันสูงถึงร้อยละ 75 - 85 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร ส่วนที่เหลือร้อยละ 15 - 25 จะถูกใช้ในระบบอื่นๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ ลิฟต์ บันไดเลื่อน อุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.1 การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานส่วนใหญ่เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นเรื่องระบบปรับอากาศประมาณร้อยละ 60 - 70 การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่าง และการตกแต่งเพื่อความสวยงาม ประมาณร้อยละ 20 - 30 ที่เหลือเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อขับเคลื่อนเครื่องจักรและอุปกรณ์ มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 10 – 20 สามารถแสดงรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงานได้ ดังนี้



รูปที่ 2.2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงาน
ที่มา: พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

รูปที่ 2.3 รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงาน

ตารางที่ 2-2 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ ในอาคารสำนักงาน

พื้นที่ในสำนักงาน	การใช้พลังงานในระบบต่างๆ			
	ระบบปรับอากาศ	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า	
			มอเตอร์	เครื่องสูบน้ำ
ส่วนหน้าประชาสัมพันธ์	●	●		
ห้องทำงาน	●	●		
ห้องประชุม	●	●		
ห้องครัว	●	●		
ทางเดินภายใน	●	●		
ทางเดินรอบนอก	●			
ลิฟต์และบันไดเลื่อน	●	●	●	
ห้องควบคุมไฟฟ้า	●	●		
ห้องควบคุมน้ำประปา	●	●	●	●
ห้องบำบัดน้ำเสีย	●	●	●	●
ห้องเครื่องทำความเย็น	●	●	●	●
ที่จอดรถ		●		

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารสำนักงานจำเป็นต้องมีความเข้าใจในกิจกรรม ระบบ และเครื่องจักร/อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในอาคารเป็นอย่างดี รวมถึงทราบลักษณะการใช้พลังงานของอาคาร และความสัมพันธ์กันของระบบเครื่องจักร/อุปกรณ์ต่างๆ ผู้ใช้อาคาร ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถแก้ไขจุดบกพร่องด้านการใช้พลังงานของอาคาร รวมถึงสามารถกำหนดการใช้พลังงานของระบบ และเครื่องจักร/อุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างประหยัดและถูกต้อง ตลอดจนกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคาร

ดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC) เป็นดัชนีที่ใช้แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเทียบกับผลผลิต หรือ การใช้ประโยชน์ของอาคาร ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานดังกล่าวจำเป็นต้องมีการดำเนินการสำรวจ และเก็บรวบรวมข้องมูลการใช้พลังงานและลักษณะการใช้ประโยชน์ของอาคารสำนักงานแต่ละแห่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้

พลังงาน (SEC) ที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการอาคารสำนักงานต่างๆ และเป็นประโยชน์ต่อประเทศดังนี้

1) อาคารสำนักงานแต่ละแห่งทราบสถานภาพการใช้พลังงาน และเกณฑ์ที่เหมาะสมของการใช้พลังงานต่อพื้นที่หรือต่อระบบอุปกรณ์ต่างๆ ของตนเอง

2) ผลจากการศึกษาสามารถนำมาใช้กำหนดมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) และใช้เป็นส่วนหนึ่งของดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานเบื้องต้นของอาคารสำนักงานแต่ละแห่ง

3) อาคารสำนักงานต่างๆ สามารถพิจารณานำข้อมูลมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ในอาคารมาใช้ประเมินผล เปรียบเทียบโอกาสและผลตอบแทนการลงทุน เพื่อดำเนินกิจกรรมในมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ อย่างเหมาะสม

4) เพื่อใช้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของกลุ่มอาคารสำนักงานเพื่อนำมาใช้ประกอบการกำหนดทิศทางแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า มีประสิทธิภาพสูงสุด และเพื่อสร้างขีดความสามารถในการรับมือต่อสถานการณ์ด้านพลังงานทั้งในปัจจุบันและอนาคต

2.3.1 เกณฑ์การใช้พลังงานรวมของอาคารสำนักงานแบ่งได้ดังนี้

ดัชนีการใช้พลังงานรวมของอาคารสำนักงาน (SEC)

โดยใช้วิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis)

$$Y = bX \qquad \text{..... (2.1)}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยที่

Y คือ การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานแต่ละแห่งต่อปี (kWh/year)

b คือ ดัชนีการใช้พลังงานรวม (SEC) (kWh/m^2)

X คือ พื้นที่ใช้สอยจริงของอาคารสำนักงานแต่ละแห่ง (m^2)
(% Occupancy x พื้นที่ใช้สอยในอาคารสำนักงาน)

$$SEC = \frac{\text{การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานแต่ละแห่งต่อปี } (\mathrm{kWh}/year)}{\text{พื้นที่ใช้สอยจริงของอาคารสำนักงาน } (\%\ Occupancy \times \text{พื้นที่ใช้สอยในอาคารสำนักงาน } (m^2))} \qquad \text{..... (2.2)}$$

โดยที่

การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานแต่ละแห่งต่อปี คือ พลังงานไฟฟ้ารวมจากบิลค่าไฟฟ้าที่ใช้ทั้งปี (kWh/year)

% Occupancy คือ สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยจริงของอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยทั้งหมดเฉลี่ยทั้งปี

2.4 แหล่งความร้อนของอาคาร

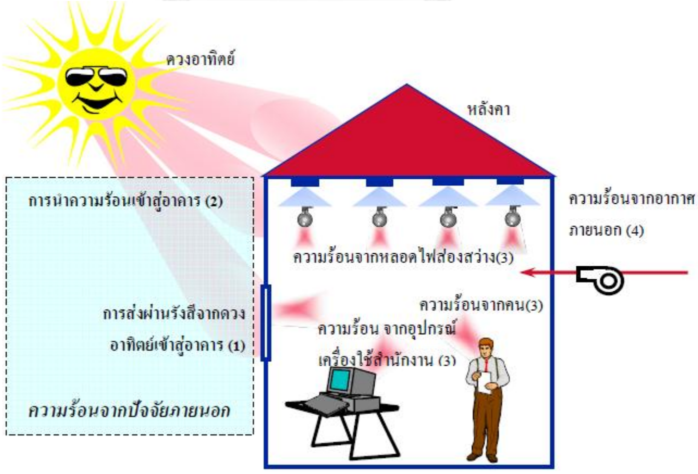
โดยปกติภาระการปรับอากาศของอาคารเป็นผลจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร และจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากภายในตัวอาคารเอง ปกติแล้วความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกจะมีสัดส่วนสูงกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายใน คิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการปรับอากาศ แหล่งความร้อนต่างๆ ของภาระการปรับอากาศประกอบด้วย

1) การส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารโดยตรงผ่านพื้นผิวที่โปร่งแสง เช่น หน้าต่าง และ หลังคาโปร่งแสง (Skylight)

2) การนำความร้อนเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางผนังภายนอก (ผนังทึบและผนังกระจก) พื้น และหลังคา

3) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวคน หลอดไฟส่องสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ในอาคาร

4) ความร้อนที่เกิดจากอากาศภายนอกที่นำเข้ามาเพื่อการระบายอากาศภายใน หรือที่แทรกซึมเข้าสู่อาคาร



รูปที่ 2.4 แหล่งความร้อนต่างๆ ของภาระการปรับอากาศ

ที่มา: พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

การเพิ่มสมรรถนะในการป้องกันความร้อนของกรอบอาคารจะช่วยลดภาระการปรับอากาศลงและสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ (5)

2.5 ผนังอาคาร

ผนังอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ผนังทึบและผนังกระจก ผนังทั้งสองชนิดนี้มีความแตกต่างกันชัดเจนทั้งด้านกายภาพ และกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น

2.5.1 วัสดุผนังทึบ

วัสดุที่ใช้ประกอบเป็นผนังทึบมีหลายชนิด แต่หากพิจารณาโดยอาศัยเกณฑ์การถ่ายเทความร้อนแล้ว วัสดุก่อสร้างในส่วนของผนังทึบสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) วัสดุที่ไม่มีความเป็นฉนวน
2) วัสดุที่มีความเป็นฉนวน

2.5.2 กระจก

กระจกเป็นวัสดุกรอบอาคารที่ปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย มีหลายประเภท แต่ละประเภทมีความหนาและค่าสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกัน กระจกที่ใช้ประกอบอาคารโดยทั่วไปได้แก่ กระจกชั้นเดียวที่มีความหนาระหว่าง 3 - 6 mm

กระจกมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อภาระความร้อนของอาคาร ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังกระจกอาจมีค่าสูงกว่าผนังทึบประมาณ 5 - 10 เท่า การเลือกใช้กระจกที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนจะสามารถลดภาระความร้อนของอาคารลงได้อย่างมาก ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ทันสมัยสามารถผลิตกระจกที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ มีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดีและสามารถนำเอาแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม

กระจกธรรมดา (Float glass) เป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรง แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ กระจกใส และกระจกสี

- กระจกใส (Float glass) เป็นกระจกโปร่งใสที่มีผิวทั้งสองด้านเรียบสนิท ให้ภาพในการมองเห็นชัดเจน และมีราคาถูกที่สุด กระจกชนิดนี้ยอมให้แสงผ่านเข้ามาสูง (ร้อยละ 88) จึงมีแสงสว่างกระจายเข้ามาภายในห้องเป็นจำนวนมาก แต่ในขณะเดียวกันก็จะมีปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามามากด้วยเช่นกัน (ร้อยละ 83) การใช้งานมักมีการติดฟิล์มกรองแสง หรือใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด
- กระจกสี (Color glass) หรือ กระจกดูดกลืนความร้อน (Heat absorbing glass) ผลิตขึ้นโดยการผสมโลหะออกไซด์เข้าไปในส่วนผสมในขั้นตอนการผลิตกระจกทำให้กระจกมีสีสัน ความเข้มของสีจะมากขึ้นตามความหนาของกระจก ส่งผลให้การดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่สะสมอยู่ในเนื้อกระจกมีมากขึ้น

กระจกอบความร้อน (Heat treated glass) เป็นกระจกใสหรือกระจกสีที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อกระจก เพื่อให้มีความแข็งแกร่งมากขึ้น แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

- กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered glass) เป็นการนำกระจกไปผ่านกระบวนการเทมเปอริ่ง (Tempering) เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง โดยการสร้างให้เกิดชั้นของแรงอัดขึ้นที่ผิวแก้วเพื่อต้านแรงจากภายนอก ซึ่งทำได้โดยการให้ความร้อนกับกระจกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวของแก้วเล็กน้อยที่ประมาณ 650 - 700°C และทำให้ผิวกระจกเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

- กระจกฮีตสเตรงเทน (Heat strengthen glass) เป็นกระจกที่ได้จากกระบวนการผลิตที่คล้ายกับกระจกนิรภัยเทมเปอร์ คือ ให้ความร้อนกับกระจกแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง แต่ต่างจากกระจกนิรภัยเทมเปอร์ตรงที่การผลิตกระจกฮีตสเตรงเทนจะปล่อยให้กระจกเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จึงทำให้ความแข็งแรงน้อยกว่ากระจกนิรภัย

กระจกเคลือบผิว (Surface coated glass) เป็นกระจกธรรมดาที่นำไปผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจก เพื่อให้เกิดการสะท้อนแสงและความร้อนจากแสงอาทิตย์ เหมาะสำหรับใช้งานด้านการประหยัดพลังงาน และยังมีความสวยงาม

- กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar reflective glass) เป็นกระจกธรรมดาที่เคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสง ทำให้สามารถสะท้อนพลังงานจากรังสีอาทิตย์ได้บางส่วน กระจกมีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย มีสีสันสวยงามขึ้นกับรูปแบบการเคลือบและสีของกระจกที่เป็นวัตถุดิบที่นำมาเคลือบ

- กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-e glass) เป็นกระจกที่เคลือบสารโลหะโดยมีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นองค์ประกอบสำคัญเพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมากเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานโดยที่กระจกยังใส ไม่ทึบแสง ให้ค่าแสงส่งผ่านมากและมีค่าการสะท้อนแสงน้อย กระจกชนิดนี้ถูกนำไปใช้ทำเป็นกระจกฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี

กระจกดัดแปลง (Processed glass) เป็นกระจกที่นำมาดัดแปลงด้วยกระบวนการต่างๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป กระจกในกลุ่มนี้ ได้แก่ กระจกฉนวนกันความร้อน และกระจกนิรภัยหลายชั้น

กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated glass) มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนต่ำ สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี สามารถแบ่งตามชนิดของฉนวนกันความร้อนได้ ดังนี้

- กระจกกันความร้อนชนิดใช้อากาศแห้งเป็นฉนวน
- กระจกกันความร้อนชนิดใช้ก๊าซเป็นฉนวน

2.6 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) อาจเกิดจากวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายๆ วิธีพร้อม กัน กระบวนการถ่ายเทความร้อนจะดำเนินไปจนสู่สมดุลทางความร้อน

2.6.1 การนำความร้อน (Conduction)

เป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน ทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

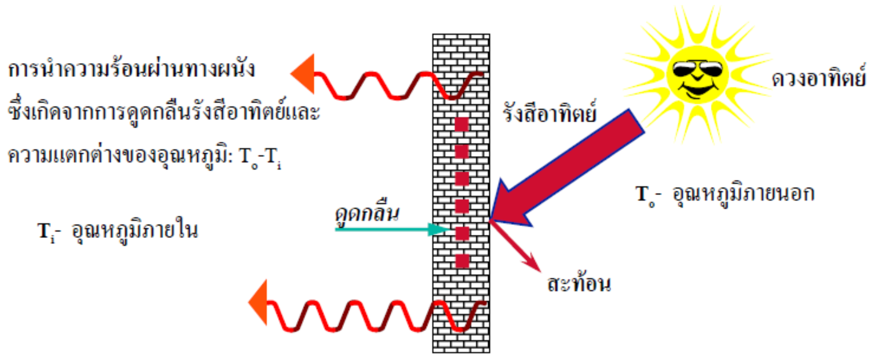
2.6.2 การพาความร้อน (Convection)

เป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ เมื่อของไหลสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุใดๆ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น การพาความร้อนเกิดได้ 2 ลักษณะคือ การพาความร้อนโดยธรรมชาติ และการพาความร้อนโดยการบังคับ

2.6.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทุกทาง รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังทึบส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและสะสมไว้ และทำให้ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น

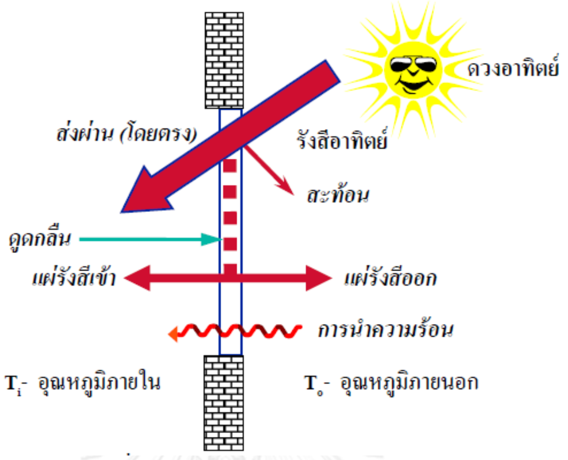
การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของผนังเป็นผลจากพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารในช่วงเวลากลางคืน เมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงผนังทึบจะมีการถ่ายเทความร้อนจากตัวผนังสู่สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ

ที่มา: พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

รูปที่ 2.5 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวกระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและสิ่งแวดล้อมภายนอก



รูปที่ 2.6 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับกระจก
ที่มา: พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

นอกจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก และความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจก ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร ในช่วงเวลากลางคืน ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านกระจกไปยังสิ่งแวดล้อมได้เช่นเดียวกับกรณีของผนังทึบ

2.7 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

ประเทศไทยได้มีการบังคับให้อาคารควบคุมต้องมีค่า OTTV และ RTTV เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอาคารควบคุมนั้นๆ เป็นอาคารที่กรอบอาคารมีสมรรถนะดีเพียงพอในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เกณฑ์ดังกล่าวนี้บังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 และในปี พ.ศ. 2544 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้ปรับปรุงวิธีการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ให้มีความแม่นยำและมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทยมากยิ่งขึ้นดังนี้

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) สามารถคำนวณจากสมการที่ 2.3

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad ..... (2.3)$$

โดยที่

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา, W/m^2

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ, $W/m^2.°C$

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, °C

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก, $W/m^2.°C$

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง, W/m^2

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_{ni}$) สามารถคำนวณจากสมการที่ 2.4

$$RTTV_{ni} = (U_r)(1-SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad \text{..... (2.4)}$$

โดยที่

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

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบแสง, $W/m^2.°C$

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, °C

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง, $W/m^2.°C$

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ESR คือ รังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน หรือปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหลังคาโปร่งแสง และ/หรือ หลังคาทึบแสง, W/m^2

ตารางที่ 2-3 ค่า OTTV และค่า RTTV สูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	OTTV (W/m^2 ของผนังด้านนอกอาคาร)	RTTV (W/m^2 ของหลังคาอาคาร)
สถานศึกษา สำนักงาน	O-OTTV ≤ 50	O-RTTV ≤ 15
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	S-OTTV ≤ 40	S-RTTV ≤ 12
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	H-OTTV ≤ 30	H-RTTV ≤ 10

ที่มา: พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

หมายเหตุ O, S และ H ที่นำหน้า OTTV และ RTTV เพื่อแสดงว่าเป็นการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยใช้สูตรการคำนวณใหม่ ซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทการใช้งานของอาคาร โดย

O หมายถึง สำนักงาน และสถานศึกษา

S หมายถึง ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือ ซุปเปอร์สโตร์

H หมายถึง โรงแรม โรงพยาบาล หรือสถานพักฟื้น

ตารางที่ 2-4 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (W/m^2)
สถานศึกษา สำนักงาน	14
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	18
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	12

ที่มา: พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ คือ กระบวนการรักษาสภาวะอากาศโดยการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลม และ เสียง ให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัยและเพื่อให้เกิดสภาวะอากาศตามความต้องการของกระบวนการผลิต

ระบบปรับอากาศเป็นการประยุกต์การใช้งานของระบบทำความเย็น ดังนั้นการทำงานในอุปกรณ์หลักจะเหมือนระบบทำความเย็น ส่วนใหญ่เราใช้ระบบปรับอากาศเพื่อความสบายโดยเฉพาะในส่วนสำนักงาน เพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น สำหรับอุตสาหกรรมบางประเภทมีการใช้ระบบปรับอากาศในกระบวนการผลิตเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสม รวมทั้งการใช้เพื่อระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในกระบวนการผลิต (6)

ระบบปรับอากาศในภาคอาคารธุรกิจซึ่งได้แก่ อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา ถือว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด ในบางแห่งสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศอาจสูงกว่า 50% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร ดังนั้นการออกแบบอาคารที่ดีไม่ว่าจะเป็นการปรับภูมิทัศน์หรือเลือกวัสดุป้องกันความร้อนประเภทต่างๆ เข้ามาภายในอาคาร รวมทั้งการออกแบบระบบปรับอากาศและระบบควบคุมที่ดีและถูกต้องจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น

2.8.1 ประเภทของระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)

เป็นระบบปรับอากาศขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ขนาดทำความเย็นจะไม่เกิน 40,000 Btu/hr ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศจะแยกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของคอล์ยทำความเย็น ที่เรียกว่าคอล์ยเย็น (Fan Coil Unit) ซึ่งจะติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศ และคอล์ยร้อน (Condensing Unit) ซึ่งจะมีเครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) อยู่ภายในโดยจะติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ระหว่างชุดคอล์ยร้อนและคอล์ยเย็นจะมีท่อสารทำความเย็นทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนออกจากห้องปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package)

เป็นระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารธุรกิจขนาดเล็กที่มีจำนวนห้องที่จำเป็นต้องปรับอากาศหลายห้อง หลายโซน หรือหลายชั้น ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศประกอบด้วย แผงคอล์ยเย็น คอล์ยร้อน และเครื่องอัดสารทำความเย็น จะรวมอยู่ในชุดแพ็คเกจเดียวกันโดยมีท่อส่งลมเย็นและท่อลมกลับซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านในแล้วต่อผ่านทะลุออกมาตามผนังด้านนอกอาคารแล้วต่อเชื่อมเข้ากับตัวเครื่องปรับอากาศแพ็คเกจซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านนอกอาคาร ท่อส่งลมเย็น (Supply Air Duct) ทำหน้าที่จ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศ และท่อลมกลับ (Return Air Duct) ทำหน้าที่นำลมเย็นที่ได้แลกเปลี่ยนความเย็นให้กับห้องปรับอากาศกลับมายังแผงทำความเย็นอีกครั้ง นอกจากนี้ยังมีการ

ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายปริมาณลมเย็น (Variable Air Volume, VAV) เพื่อควบคุมให้ปริมาณลมเย็นเหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่ต้องการ โดยเฉพาะกรณีที่มีภาระลดลงโดยที่อุณหภูมิยังคงที่จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจที่มีหลายประเภท ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน

ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่บางครั้งเรียกว่า ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ที่ต้องการปรับอากาศ มีจำนวนห้องที่จำเป็นต้องปรับอากาศหลายห้อง หลายโซน หรือหลายชั้น โดยส่วนใหญ่จะใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน หรือความเย็น มีส่วนประกอบของระบบดังต่อไปนี้

เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นหัวใจของระบบปรับอากาศประเภทนี้ เครื่องทำน้ำเย็นจะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่องระเหย (Evaporator) ให้ได้ 12 °C และ 7 °C โดยมีอัตราการไหลของน้ำเย็นตามมาตรฐานการออกแบบของผู้ผลิตอยู่ที่ 2.4 แกลลอนต่อนาทีต่อตันความเย็น ภายในประกอบไปด้วยระบบทำน้ำเย็นโดยมีวัฏจักรการทำความเย็นที่มีส่วนประกอบ 4 ส่วนคือ เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องอัดไอ (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) และวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) เครื่องทำน้ำเย็นมีหลายประเภทมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน สามารถแบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser) ออกเป็น 2 ประเภท คือ

- ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller) โดยปกติขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 500 Ton เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้ง หรือระบบน้ำสำหรับระบายความร้อน ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะอยู่ระหว่าง 1.4 - 1.6 kW/Ton
- ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) ใช้สำหรับระบบที่ต้องการขนาดการทำความเย็นมาก ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำดีกว่าระบายความร้อนด้วยอากาศ อยู่ระหว่าง 0.62 - 0.75 kW/Ton เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงกว่าเนื่องจากต้องมีการติดตั้งหอระบายความร้อน (Cooling Tower) เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) และต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการสึกกร่อนและตะกรันในระบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอันเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นต่ำลง

เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สูบสารตัวกลางหรือน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็นไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเช่นเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) หรือคอล์ยเย็น (Fan Coil Unit)

ระบบส่งจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit) และท่อส่งลมเย็น (Air Duct System) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิอากาศภายนอก (Fresh Air) หรืออุณหภูมิอากาศไหลกลับ (Return Air) ให้อยู่ในระดับที่ควบคุมโดยอากาศจะถูกเป่าด้วยพัดลม (Blower) ผ่านแผงคอล์ยน้ำเย็น (Cooling Coil) ซึ่งจะมีวาล์วควบคุมปริมาณน้ำเย็นที่ส่งมาจากเครื่องทำน้ำเย็นด้วยเครื่องสูบน้ำเย็นตามความต้องการของภาระการทำความเย็น ณ ขณะนั้น อากาศเย็นที่ไหลผ่านแผงคอล์ยเย็นจะไหลไปตามระบบท่อส่งลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศ

คอล์ยร้อน (Condensing Unit) สำหรับระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ หรือ **หอระบายความร้อน (Cooling Tower)** สำหรับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะสารทำความเย็นจากก๊าซไปเป็นของเหลว

2.8.2 สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP)

สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) คือค่าที่ใช้แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างผลของความสามารถในการทำความเย็นที่ได้ต่อกำลังงานที่ใช้ใน Compressor ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่

$$COP = \frac{Q}{W} \qquad \text{..... (2.5)}$$

โดยที่

Q = ความสามารถในการทำความเย็น (W)

W = ค่ากำลังงานที่ใช้ใน Compressor (W)

2.8.3 ประสิทธิภาพการให้ความเย็น (Energy Efficiency Ratio, EER)

ประสิทธิภาพการให้ความเย็น (Energy Efficiency Ratio, EER) คือค่าที่ใช้แสดงอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องทำความเย็น โดยเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างผลของความสามารถในการทำความเย็นที่ได้ต่อกำลังงานที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ ใช้อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องทำความเย็น และเครื่องปรับอากาศ ถ้าค่า EER ของเครื่องปรับอากาศมีค่าสูงแสดงว่าเครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นมาก ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้กับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

$$EER = \frac{Q}{W} \qquad \text{..... (2.6)}$$

โดยที่

Q = ความสามารถในการทำความเย็น (W)

W = ค่ากำลังงานที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ (W)

2.8.4 มาตรฐานระบบปรับอากาศ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 ชนิด Fixed speed

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	**อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Btu/hr/W)**		
	เบอร์ 3	**เบอร์ 4**	**เบอร์ 5**
ไม่เกิน 8,000 W (27,296 Btu/hr)	10.60 – 10.99	11.00 – 11.59	≥11.60
มากกว่า 8,000 – 12,000 W (>27,296 – 40,944 Btu/hr)	9.60 – 10.59	10.60 - 10.99	≥11.00

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 (ออกตามกฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2552) ได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำน้ำเย็นดังนี้ (7)

เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะหรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ขนาดของเครื่องปรับอากาศ	COP (W/W)	EER (Btu/hr/W)
ไม่เกิน 12,000 W หรือ 3.41 Ton	3.22	11

ที่มา: ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552

ตารางที่ 2-7 ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่

ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ		**ภาระความเย็นพิกัด (Ton)**	**ค่า kW/Ton (kW/Ton)**
ชนิดการระบายความร้อน	**ชนิดของเครื่องอัด**		
ระบายความร้อนด้วยอากาศ	ทุกชนิด	น้อยกว่า 300	1.33
		มากกว่า 300	1.31
ระบายความร้อนด้วยน้ำ	แบบลูกสูบ	ทุกขนาด	1.24
	แบบโรตารี่ สกรู หรือ สครอลล์	น้อยกว่า 150	0.89
		มากกว่า 150	0.78
	แบบแรงเหวี่ยง	น้อยกว่า 500	0.76
		มากกว่า 500	0.62

ที่มา: ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

2.9.1 แสงสว่าง

แสงสว่างจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ แสงสว่างมีทั้งในส่วนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ หรือแสงสว่างจากดวงจันทร์หรือดวงดาวต่างๆ เป็นต้น แสงสว่างเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีลักษณะเป็นคลื่นสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีคุณสมบัติทำให้ตามนุษย์สามารถมองเห็นแสงสว่างสีต่างๆ ได้ การที่มนุษย์สามารถมองเห็นแสงสีต่างๆ ได้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงสว่างสีที่ตกกระทบตา

2.9.2 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ ได้แก่ แสงอาทิตย์ แสงจากดวงดาว และแสงจากสัตว์ เช่น หิ่งห้อย เป็นต้น ดวงอาทิตย์จัดเป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติที่มนุษย์คุ้นเคยและใช้ประโยชน์มายาวนาน จากการศึกษาลักษณะสเปคตรัม (Spectrum) ของรังสีอาทิตย์ พบว่าพลังงานของรังสีอาทิตย์ในช่วงที่เป็นแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้นั้นคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 50

2) แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ ได้แก่ เทียนไข น้ำมัน และหลอดไฟฟ้าประเภทต่างๆ แสงประดิษฐ์เหล่านี้เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงาน เช่น แสงจากเทียนไขเกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานแสง หรือ กรณีแสงจากหลอดแสงฟลูออเรสเซนต์ เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในสารฟลูออเรสเซนต์ที่เคลือบอยู่บนผิวหลอดด้านในแล้วปลดปล่อยพลังงานอยู่ในรูปพลังงานแสงที่ตามองเห็น

2.9.3 นิยามศัพท์ที่สำคัญเกี่ยวกับปริมาณแสง

ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous Intensity: I) หรือกำลังส่องสว่าง (Candle power) เป็นค่าแสดงระดับกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยวัดเป็น แคนเดลา (Candela) คณะกรรมการระหว่างประเทศในเรื่องการส่องสว่าง (International Commission on Illumination, CIE) ได้มีการกำหนดมาตรฐานปริมาณความเข้มการส่องสว่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 1948 ปัจจุบันกำหนดให้ 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนดของแหล่งกำเนิดที่แผ่รังสีชนิดสีเดียวที่มีความถี่เป็น $540*10^{12}$ Hz และมีความเข้มการแผ่รังสีในทิศทาง 1/683 W/sr

ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux: Φ) เป็นปริมาณแสงทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสงมีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen: lm) ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ที่ห่างจากจุดกำเนิดแสง 1 แคนเดลลาเป็นระยะทาง 1 หน่วย

ความสว่าง (Illuminance: E) เป็นปริมาณแสงที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่ขนาด 1 m^2 โดยทั่วไปเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting level) จึงเป็นค่าที่บ่งบอกพื้นที่นั้นๆ ได้รับแสงสว่างเพียงพอหรือไม่ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m^2) หรือลักซ์ (Lux) ค่าความสว่างจะแปรผันตรงกับความเข้มการส่องสว่าง และแปรผกผันกับระยะทางกำลังสองระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและพื้นที่รับแสง สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$E = \frac{F}{A} \qquad \text{..... (2.7)}$$

โดยที่

E คือ ความสว่าง (lm/m^2) หรือ (Lux)

F คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

A คือ พื้นที่รับแสง (m^2)

ประสิทธิผลการส่องสว่าง (Efficacy) คือ อัตราส่วนของปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อกำลังไฟฟ้า (W) ที่ป้อนให้แก่หลอด มีหน่วยเป็นลูเมนต่อWสามารถคำนวณได้จาก

$$Efficacy = \frac{\Phi}{P} \qquad \text{..... (2.8)}$$

โดยที่

Efficacy คือ ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)

Φ คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่แหล่งกำเนิดแสง (W)

2.9.4 ระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

ตารางที่ 2-8 ระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคารตามข้อแนะนำของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	**ความส่องสว่าง (Lux)**
พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป	
โถงทางเข้าอาคาร	100
โถงนั่งพัก	200
พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100
บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน	150
พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร	150
ห้องอาหารทั่วไปภายในอาคาร	200
ห้องพักผ่อนทั่วไป	100
ห้องออกกำลังกาย	300
ห้องน้ำ ห้องสุขา ห้องรับฝากของ	200
ห้องปฐมพยาบาล	500
ห้องตรวจคนไข้ทั่วไป	500
ห้องอุปกรณ์ไฟฟ้า Switch gear	200
ห้องชุมสายโทรศัพท์/ไปรษณีย์/พัสดุ	500

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (Lux)
ห้องเก็บของ	50
ห้องบรรจุหีบห่อ ขนถ่ายวัสดุ	300
ห้องควบคุม	200
อาคารสำนักงาน	
พื้นที่เก็บเอกสาร ถ่ายเอกสาร และพื้นที่ทั่วไปที่มีการสัญจร	300
พื้นที่ที่มีการเขียน พิมพ์ อ่าน ใช้คอมพิวเตอร์และ data processing	500
พื้นที่ที่ใช้สำหรับเขียนแบบ	750
พื้นที่ทำงานด้าน CAD (Computer Aid Design)	500
ห้องประชุม	300
พื้นที่เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์ ต้อนรับ	300
ห้องเก็บเอกสารสำคัญ	200

ที่มา: สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (8)

2.9.5 อุปกรณ์สำคัญในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

หลอดไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) หลอดปล่อยประจุก๊าซหรือหลอดดีสชาร์จ (Discharge Lamp) และหลอดประเภทเรืองแสงในตัว (Luminescence Lamps)

หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) หลอดประเภทนี้อาศัยหลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดที่ทำจากทังสเตน ทำให้เกิดความร้อนและแสงสว่างขึ้น มีประสิทธิผลการส่องสว่างน้อยที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด รวมทั้งมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้นประมาณ 1,000 – 3,000 ชั่วโมง หลอดชนิดนี้นิยมใช้อย่างมากเนื่องจากติดตั้งง่ายและค่าติดตั้งเริ่มต้นถูก สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ หลอดไส้แบบธรรมดา (Normal Incandescent Lamp) และหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

หลอดไส้แบบธรรมดา หลอดชนิดนี้ประกอบด้วยขดลวดทังสเตนบรรจุในหลอดแก้ว เมื่อกระแสไหลผ่านไส้หลอดจะเกิดการเปล่งแสงออกมา ขณะหลอดทำงานขดลวดทังสเตนจะค่อยๆ ระเหยจนกระทั่งหมดอายุการใช้งาน ไส้หลอดมีลักษณะเป็นขดลวดส่วนใหญ่ทำจากทังสเตน (Tungsten) เหมาะสำหรับการให้แสงสว่างทั่วๆ ไปโดยเฉพาะบริเวณที่ต้องการความรู้สึกแบบอบอุ่น และการใช้งานแสงสว่างในระยะเวลาสั้นๆ มีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง สามารถแบ่งได้

เป็น 2 ประเภท ได้แก่ หลอด GLS (General Lighting Service) และหลอดสะท้อนแสง (Reflector Lamp) ประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไส้ชนิดธรรมดาขึ้นอยู่กับขนาดของหลอด

หลอดทังสเตนฮาโลเจน อุณหภูมิจะสูงขณะใช้งานเนื่องจากหลอดเผาไส้ธรรมดาเกิดการระเหิดของทังสเตนที่ใช้ทำไส้หลอดมาเกาะอยู่ที่ผิวในกระเปาะทำให้กระเปาะแก้วมีสีดำ และไส้หลอดบางลงจนขาด ได้มีการพัฒนาหลอดเผาไส้ธรรมดานี้โดยบรรจุธาตุตระกูลฮาโลเจนเข้าไปกับแก๊สที่บรรจุในหลอดทำให้หลอดมีอายุการใช้นานขึ้น และช่วยให้หลอดไม่เปลี่ยนไปเป็นสีดำ หลอดทังสเตนฮาโลเจนนี้มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับทำเป็นหลอดแบบส่องเน้น เพราะสามารถให้ลำแสงแคบได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ หลอดทังสเตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ และหลอดทังสเตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ มีอายุการใช้งานประมาณ 3,000 ชั่วโมง

หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) เป็นหลอด Discharge lamp ให้แสงที่มองเห็นได้ด้วยการที่รังสี UV ที่เกิดจากการคายประจุของไอปรอทความดันต่ำไปกระตุ้นสารเรืองแสงภายในผิวหลอดแก้วจะมีสารเรืองแสงเคลือบอยู่ และที่ไส้หลอดรูปคอยล์ที่ขั้วหลอดจะมีสาร Emitter เคลือบอยู่ ในหลอดจะมีปรอทจำนวนเล็กน้อยกับก๊าซอาร์กอนบรรจุอยู่ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเกิดการคายประจุขึ้น ขั้วหลอดจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนร้อนออกมาอิเล็กตรอนจะไปชนกับอะตอมของปรอทเกิดรังสี UV ขึ้น และจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงและถูกแปลงเป็นแสงที่มองเห็นได้

หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 8,000 ชั่วโมง และประหยัดไฟได้มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ สามารถใช้ในบริเวณที่ต้องมีการเปิดไฟทิ้งไว้เป็นเวลานาน เช่น ไฟส่องสว่างทางเดิน เป็นต้น

หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Fluorescent) หลอดประเภทนี้ไม่มีขั้วหลอดจึงมีอายุการใช้งานนาน เช่น หลอดขนาด 100 - 150 W มีอายุการใช้งานนานถึง 60,000 ชั่วโมง

หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium) เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด หลอดโซเดียมความดันต่ำจะใช้ก๊าซนีออน (Neon) และก๊าซอาร์กอน (Argon) ช่วยในการจุดติดหลอด หลอดชนิดนี้เหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ต้องเปิดไฟเป็นเวลานาน

หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury) หรือหลอดแสงจันทร์ เป็นหลอดดีสชาร์จความดันสูงชนิดแรกที่มีการผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบใส และแบบเคลือบ

หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium) เป็นหลอดที่ให้ประสิทธิภาพการมองเห็นที่ดีที่สุดเนื่องจากหลอดเปล่งแสงสีทองเหลือง ซึ่งเป็นสีที่ไวต่อการมองเห็นของมนุษย์ หลอดประเภทนี้ มีอายุการใช้งานยาวนานจึงนิยมใช้สำหรับการให้แสงสว่างภายนอกอาคาร

หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide) มีลักษณะการทำงานคล้ายหลอดไอปรอทความดันสูง แตกต่างกันที่ภายในหลอดประเภทนี้จะเติมสารประกอบเมทัลฮาไลด์เข้าไปกับปรอท เพื่อทำให้สีของแสงดีขึ้น หลอดประเภทนี้มีคุณสมบัติทางสีที่ดี เหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการแสงสีที่ดี มีอายุการใช้งานประมาณ 9,000-20,000 ชั่วโมง

หลอดแอลอีดี (Ligh Emitting Diode, LED) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการเปล่งแสงและถูกควบคุมการกระจายแสงด้วยเลนส์ที่เคลือบไว้ เมื่อใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอิเล็กตรอนจะผ่านไปตามอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ทำให้เกิดแสงออกมาตามความถี่ของแสงที่ได้กำหนดไว้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาหลอดแอลอีดีให้มีความเข้มการส่องสว่างสูงจนสามารถใช้กับงานด้านแสงสว่างได้ มีข้อดีเมื่อเทียบกับหลอดประเภทอื่น คือ ขนาดเล็กกระทัดรัด ทนการสั่นสะเทือนสูง เปิดปิดได้บ่อยครั้ง อายุยาวนาน มีประสิทธิผลด้านแสงสูง ไม่มีการแผ่รังสี UV และอินฟราเรด ไม่มีกำลังสูญเสียในการจุดหลอด มีอายุการใช้งานประมาณ 50,000 ชั่วโมง

2.9.6 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับหลอดไฟฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงาน

บัลลาสต์ (Ballast) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการใช้งานควบคุมการทำงานของหลอดก๊าซดีสชาร์จ นอกจากจะช่วยในการทำงานของวงจรไฟฟ้าแสงสว่างให้สมบูรณ์แล้ว ยังมีผลต่อการควบคุมฟลักซ์การส่องสว่าง อายุการใช้งานของหลอด และการใช้พลังงานไฟฟ้าในวงจรด้วย บัลลาสต์มีหน้าที่หลักที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) ช่วยสร้างให้เกิดแรงดันเพียงพอในการจุดหลอดก๊าซดีสชาร์จให้ติดควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดขณะสตาร์ตและทำงาน

2) จ่ายกำลังไฟฟ้าให้หลอดอย่างเหมาะสม นอกจากนั้นอาจมีหน้าที่อื่นๆ เช่น การปรับหรี่แสงสว่าง เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บัลลาสต์แกนเหล็ก (Electromagnetic Ballast) โครงสร้างเป็นขดลวดพันรอบแกนเหล็ก (core & coil) ซึ่งชนิดที่นิยมใช้ในประเทศไทยเป็นแบบตัวเหนี่ยวนำ (inductor) หรือเรียกว่า โช้ก (choke) โดยทำหน้าที่หลักทั้ง 2 ประการของบัลลาสต์ คือ สร้างแรงดันสูงเหนี่ยวนำเพื่อใช้จุดหลอดให้ติด และจำกัดกระแสให้หลอดอย่างเหมาะสม

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic ballast) การทำงานเหมือนบัลลาสต์แกนเหล็ก มีโช้กทำหน้าที่หลักทั้ง 2 ประการของบัลลาสต์ แต่การจะลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในโช้กได้โดยการลดขนาดโช้กให้เล็กลงนั้นจำเป็นต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายปกติความถี่ 50 Hz เป็นความถี่สูงไม่น้อยกว่า 20,000 Hz ซึ่งการใช้ความถี่สูงก็จะทำให้สามารถลดขนาดโช้กของบัลลาสต์ให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีการสูญเสียต่ำ และประหยัดไฟได้มากกว่าบัลลาสต์แกนเหล็กได้

ตารางที่ 2-9 ข้อดี - ข้อเสีย ของบัลลาสต์แกนเหล็ก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

<table>
<tr><th colspan="2">บัลลาสต์แกนเหล็ก</th></tr>
<tr><th>ข้อดี</th><th>ข้อเสีย</th></tr>
<tr><td>• ราคาต่ำ และอายุใช้งานยาวนานมาก (20 ปี)
• ทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น แรงดันไม่คงที่ อุณหภูมิสูง
• ช่างติดตั้งได้อย่างคุ้นเคย และหาซื้อได้ทั่วไป</td><td>• มีการสูญเสียพลังงานสูงประมาณ 20% (6 - 10 W)
• เกิดความร้อนสู่สภาพแวดล้อมสูง มีเสียงฮัม
• มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (PF = 0.27 – 0.52)
• ใช้เวลาประมาณ 2 - 3 วินาทีจึงให้แสงสว่างและมีการกระเพื่อม
• มีการกระพริบเมื่อหลอดไฟฟ้า บัลลาสต์ หรือสตาร์ทเตอร์เสื่อม ซึ่งนอกจากเปลืองไฟแล้ว ยังอาจทำให้เกิดไฟไหม้ได้</td></tr>
<tr><th colspan="2">บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์</th></tr>
<tr><th>ข้อดี</th><th>ข้อเสีย</th></tr>
<tr><td>• ลดสูญเสียพลังงานประมาณ 20 %
• ลดความร้อนสู่สภาพแวดล้อม และลดเสียงคราง
• มีตัวประกอบกำลังสูง (โดยทั่วไป PF > 0.96)
• ให้แสงสว่างทันที และไม่มีการกระพริบ
• มีวงจรควบคุมตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อผิดปกติ
• ความเสื่อมของหลอดไฟลดลงช้า อายุใช้งานนานขึ้น
• ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้ และหรี่แสงได้
• สามารถใช้กับหลอดไฟฟ้าได้ 3 – 4 หลอด
• น้ำหนักเบา และไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ภายนอก</td><td>• ราคาสูง และอายุใช้งานสั้น
• มีข้อจำกัดในการใช้งานในสถานที่มีอุณหภูมิสูง
• มีฝุ่นละออง น้ำ ไอน้ำ หรือแรงดันไม่คงที่
• มีข้อที่ต้องระมัดระวังในการเลือกซื้อ และ การเลือกใช้ให้เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งาน</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โคมไฟส่องสว่าง (Luminaries) ทำหน้าที่บังคับทิศทางของแสงจากหลอดไฟให้กระจายไปในทิศทางต่างๆ โคมไฟแต่ละชนิดจึงเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้โคมไฟจึงต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน และความต้องการในเรื่องความสวยงามไปพร้อมๆ กันด้วย โคมที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีอยู่หลายประเภท หลายขนาด และมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน

การแบ่งดวงโคมประเภทต่างๆ ดวงโคมที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้จะมีอยู่หลายประเภท หลายขนาด และมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งานของดวงโคมแต่ละประเภท แต่ละสถานที่

2.9.7 หลักการให้แสงสว่าง

หลักการให้แสงสว่างแบ่งได้เป็น 3 ข้อ คือ

1) การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่ (General lighting) จะให้แสงสว่างจากโคมไฟที่ติดตั้งกระจายอย่างสม่ำเสมอบนเพดาน ซึ่งทำให้มีความสว่างเกือบเท่ากันตลอดพื้นที่ จึงทำให้มีข้อดีในแง่ที่สามารถออกแบบได้ง่ายไม่จำเป็นต้องทราบตำแหน่งทำงานที่แน่นอน และสามารถย้ายตำแหน่งที่ทำงานได้อย่างอิสระ แต่ข้อเสียคือ เป็นวิธีการให้แสงสว่างที่สิ้นเปลืองพลังงานสูง

2) การให้แสงสว่างเฉพาะพื้นที่ (Localized general lighting) จะให้แสงสว่างโดยการออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานในแต่ละพื้นที่ จึงทำให้ประหยัดพลังงานกว่าวิธีการแรก แต่ก็มีข้อเสียคือ ทำให้การย้ายตำแหน่งพื้นที่ทำงานเป็นไปอย่างไม่อิสระ จึงเหมาะสำหรับโรงงานที่มีสายกระบวนการผลิตที่ติดตั้งตายตัว หรือไม่มีการโยกย้ายตำแหน่ง

3) การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง (Local lighting) จะเป็นการให้แสงสว่างเสริม (เพิ่มเติม) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการปริมาณแสงในระดับสูง เช่น งานที่ต้องการความละเอียดสูง และ ใช้สำหรับผู้ปฏิบัติงานที่สูงอายุหรือสายตาผิดปกติ โดยการติดตั้งโคมไฟในบริเวณที่อยู่ใกล้ผู้ทำงานหรือชิ้นงาน เพื่อให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นวิธีการให้แสงสว่างที่ประหยัดพลังงานที่สุด แต่จะต้องควบคุมทิศทางและความสว่างให้เหมาะสม

2.9.8 ประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟ

จากประเภทหลอดไฟที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟประเภทต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 ประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟประเภทต่างๆ

ชนิดหลอด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งานเฉลี่ย (hr)
อินแคนเดสเซนต์	15 - 500	120 - 8,400	8 - 17	1,000
ฮาโลเจนแรงดันปกติ	75 - 2,000	975 - 50,000	13 - 25	2,000
ฟลูออเรสเซนต์ฟลักซ์การส่องสว่างสูง	18 - 36	1,300 - 3,350	72 - 93	12,000

ชนิดหลอด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งานเฉลี่ย (hr)
ฟลูออเรสเซนต์ฟลักซ์การส่องสว่างสูง ประสิทธิภาพสูง	14 - 35	1,350 - 3,650	93 - 104	20,000
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์บัลลาสต์แยกภายนอก	8 - 18	360 - 1,000	45 - 56	8,000
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์บัลลาสต์ในตัว	8 - 23	420 - 1,350	53 - 64	8,000
ฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ	100 - 150	8,000 - 12,000	80	60,000
โซเดียมความดันต่ำ (ประสิทธิผลการส่องสว่างสูง)	18 - 180	1,800 - 32,500	100 - 181	14,000
ไอปรอทความดันสูง (เคลือบ) แบบใช้บัลลาสต์	50 - 1,000	1,800 - 58,000	36 - 58	14,000
ไอปรอทความดันสูงแบบไม่ใช้บัลลาสต์	160 - 250	3,100 - 5,600	19 - 22	6,000
โซเดียมความดันสูง (มาตรฐาน)	50-1,000	3,450 - 130,000	69 - 130	18,000
โซเดียมความดันสูง ประสิทธิผลการส่องสว่างสูง	100 - 400	10,000 - 56,000	100 - 140	18,000
เมทัลฮาไลด์ (ขั้วเดี่ยว)	70 - 2,000	5,100 - 189,000	73 - 95	20,000
เมทัลฮาไลด์ (สองขั้ว)	70 - 2,000	5,500 - 220,000	79 - 80	9,000
แอลอีดีสมรรถนะสูง ขั้วหลอดแบบ E27	5	300	60	50,000
แอลอีดีสมรรถนะสูง ขั้วหลอดแบบ E40	28 - 180	2,100 - 13,800	75 - 77	50,000

ที่มา: พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

2.10 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

2.10.1 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศมีขั้นตอนต่อไปนี้

1) การพิจารณาสภาพ และลักษณะการใช้งาน สภาพในที่นี้หมายถึงสภาพแวดล้อมทั้งหมดที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ศึกษาพฤติกรรม และลักษณะของการใช้งานของตัวอุปกรณ์ต่างๆ และระบบรวมเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น

2) การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูล ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานและนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบค่าพิกัดของอุปกรณ์หรือค่าประเมินการใช้พลังงาน เพื่อจะได้ทราบระดับการใช้พลังงานและนำมาวิเคราะห์หาจุดที่สูญเสียพลังงานหรือจุดที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ

3) การหาแนวทางการปรับปรุงและติดตามผลที่ได้รับ หาแนวทางในการปรับปรุงจุดที่สูญเสียพลังงานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นเปรียบเทียบกับผลที่จะได้รับ เพื่อจะได้ทราบถึงความคุ้มทุนในแนวทางที่จะทำการปรับปรุง

4) การปรับปรุงและติดตามผล ทำการปรับปรุงจริงตามแนวทางที่ได้ศึกษา และเก็บข้อมูลพร้อมสรุปผลเพื่อให้การอนุรักษ์พลังงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

ตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ

- มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น
- มาตรการประหยัดพลังงานเครื่องสูบน้ำ หอทำความเย็น และระบบจ่ายน้ำ
- มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องส่งลมเย็นและระบบจ่ายลมเย็น
- มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติ

2.10.2 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

2.10.2.1 การใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ

ภายในอาคารส่วนมากแสงสว่างจากธรรมชาติไม่สามารถเข้าถึงได้ แสงสว่างจากไฟฟ้าจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการให้แสงสว่างภายในอาคาร แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่ควรละเลยการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้เพราะนอกจากเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่างแล้วยังเพิ่มคุณภาพให้กับสภาพแวดล้อมภายในอาคารอีกด้วย การนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้มีอยู่ 2 วิธี คือ

1) การใช้แสงสว่างจากดวงอาทิตย์

ในบริเวณที่รับแสงสว่างได้ควรพิจารณาปรับปรุงหลังคาบางส่วนให้โปร่งแสง แต่การรับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงซึ่งมีความเข้มแสงสูงถึง 80,700 lm/m^2 จึงต้องใช้ตัวกลางกระจายแสง เช่น กระเบื้องไฟเบอร์โปร่งแสง แสงชนิดนี้มีความไม่แน่นอนแปรเปลี่ยนได้มากในแต่ละช่วงเวลาอีกทั้งควบคุมได้ยาก ควรหลีกเลี่ยงการใช้ในพื้นที่ที่แสงสว่างมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน และพื้นที่ปรับอากาศ

2) การใช้แสงสว่างจากท้องฟ้า

การนำแสงธรรมชาติที่มาจากท้องฟ้า และแสงสะท้อนที่ปราศจากแสงโดยตรงมาใช้เป็นวิธีที่เหมาะอย่างยิ่งที่ใช้ในอาคาร เนื่องจากแสงชนิดนี้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอได้ง่าย และมีประสิทธิภาพแสงต่อความร้อนของแสงสูงถึง 140 lm/W ทั้งนี้ต้องอาศัยการออกแบบอาคารให้มีหน้าต่างรับแสงสว่างโดยมีส่วนยื่นหรือส่วนบังแดดที่เหมาะสม

ข้อดีและข้อเสียของการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ

1) การใช้แสงสว่างจากธรรมชาติไม่ต้องมีค่าใช้จ่าย

2) การออกแบบการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติที่ถูกต้องจะไม่ส่งผลให้ความร้อนในอาคารเพิ่มขึ้น และสามารถประหยัดพลังงานได้

3) ให้พิจารณาเรื่องความจ้าของแสงที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสภาวะการทำงานและความปลอดภัยในการทำงาน

4) แสงสว่างจากธรรมชาติทำให้เกิดสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดีกว่าแสงประดิษฐ์

2.10.2.2 การจัดระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

หลังจากทบทวนการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างในปัจจุบันแล้วควรพิจารณาปรับปรุงการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเสียก่อน โดยการปรับลดความสว่างให้เหมาะสม การควบคุมการเปิดปิด การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เช่น

- การปรับลดความสว่างให้เหมาะสม
- การควบคุมการเปิดปิด
- การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

2.10.2.3 การเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานประเภทต่างๆ

1) การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ในการเลือกชนิดหลอดไฟฟ้านั้นต้องคำนึงหลายปัจจัยประกอบกันเพื่อให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยแรก คือ ประเภทการทำงาน จะเป็นตัวกำหนดความสว่าง ความถูกต้องของสี อุณหภูมิแสง ความสามารถในการหรี่ไฟ ระยะเวลาในการอุ่นหลอด สถานที่ที่ติดตั้งเป็นตัวกำหนด เช่น ความชื้น ความสั่นสะเทือน ความสูงเพดาน และปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย เช่น ราคา อายุการใช้งาน หากตัดสินใจเปลี่ยนชนิดหลอดไฟฟ้าไม่ควรเปลี่ยนทั้งหมดทันทีทันใดแต่ควรกำหนดพื้นที่ส่วนหนึ่งเพื่อทดสอบการใช้งานจริงและการยอมรับของผู้ทำงานก่อน

2) การเลือกใช้บัลลาสต์สูญเสียต่ำ บัลลาสต์ที่สูญเสียต่ำสุดคือบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ บัลลาสต์ชนิดนี้มีข้อจำกัดเรื่องฝุ่นละออง และความชื้น ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

3) การเลือกใช้โคมประสิทธิภาพสูง การเลือกโคมที่มีประสิทธิภาพสูงที่เหมาะกับงานเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยประหยัดพลังงานได้มาก โดยโคมไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงประกอบด้วย

- แผ่นสะท้อนแสง (Reflector รวม Louvre) ที่มีประสิทธิภาพสูง
- แผ่นอลูมิเนียมชนิด Mirror อย่างดี มีค่า Total Reflectance ประมาณ 85 - 86 %
- แผ่นอลูมิเนียมชนิด Matt อย่างดี มีค่า Total Reflectance ประมาณ 85 - 86 %
- แผ่นอลูมิเนียมชนิดเคลือบด้วย Silver อย่างดี และแผ่นอลูมิเนียมชนิดที่เคลือบด้วยสาร Super Reflector Oxid - layer มีค่า Total Reflectance ประมาณ 92 - 95 %
- มีรูปแบบของโคมที่ให้การสะท้อนแสงลงพื้นงานได้สูงสุด

2.11 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

2.11.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของของกระแสเงินสดรับสุทธิ (ผลการประหยัดต้นทุนพลังงานจากมาตรการในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ) กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนที่จ่ายออกไปภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา โดยใช้อัตราคิดลด (Discount rate) ตัวใดตัวหนึ่งมาปรับมูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาให้มาอยู่ที่จุดเดียวกัน คือ ณ ปัจจุบัน วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ NPV นับเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีการนำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาร่วมพิจารณา และเป็นการคำนวณกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

- กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ
- กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ
- ระยะเวลาของโครงการ
- อัตราคิดลด หรือ ค่าของทุนของธุรกิจ

คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \qquad ..... (2.9)$$

โดยที่

n = อายุของโครงการ (ปี)

ESt = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment)

i = อัตราคิดลด (Discount rate)

ค่าของทุนที่ใช้เป็นอัตราคิดลด (Discount rate) จะมีค่าเดียวกันตลอดอายุโครงการและขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาดที่ผู้ลงทุนเผชิญอยู่ซึ่งค่าที่เป็น Base case อย่างน้อยควรมีค่าของทุนเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำที่ผู้ลงทุนได้รับ

ในการตัดสินใจเลือกโครงการค่า NPV จะแสดงให้เห็นว่าโครงการที่กำลังพิจารณามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไรเมื่อสิ้นสุดโครงการ ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการดังกล่าวสมควรที่จะลงทุน ในกรณีที่มีโครงการลงทุนที่น่าสนใจมากกว่า 1 โครงการ จะต้องจัดอันดับโครงการโดยเรียงลำดับตาม NPV ที่คำนวณได้จากค่ามากไปหาค่าน้อย และเลือกโครงการที่ให้ค่า NPV เป็นบวกสูงที่สุด แต่การใช้ NPV เพียงอย่างเดียวอาจทำให้มีข้อจำกัดในการตัดสินใจเลือกโครงการได้ในกรณีที่โครงการมีขนาดต่างกันแต่ให้ค่า NPV ที่เป็นบวกเท่ากัน ดังนั้นการตัดสินใจให้การสนับสนุนควรจะต้องนำเครื่องมืออื่นมาประกอบการพิจารณาควบคู่ไปกับการใช้ค่า NPV ด้วย (9)

2.11.2 อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลด (Discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เป็นอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ลงทุนจะได้รับจากการลงทุนตลอดอายุโครงการ ในทางปฏิบัติ IRR นิยมนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินโครงการอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธี IRR นี้มีการแสดงค่าผลตอบแทนเป็นร้อยละ ซึ่งทำให้เข้าใจง่ายและมีความสะดวกในการเปรียบเทียบระหว่างโครงการต่างๆ ที่เป็นทางเลือกของการลงทุนที่มีอยู่ขณะนั้น การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

- กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ
- กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ
- ระยะเวลาของโครงการ

คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้ (ภายใต้สมมติว่าไม่มีมูลค่าซากและเงินลงทุนสุทธิเท่ากับต้นทุนทางบัญชี)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

หรือ

$$I_0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} \quad \text{..... (2.10)}$$

โดยที่

n = อายุของโครงการ (ปี)

ESt = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment)

IRR = อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal rate of return)

การคำนวณหาค่า IRR ก็คือการหาค่า Discount rate ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าค่า IRR มากกว่า หรือ เท่ากับต้นทุนเงินทุน (Cost of capital) Discount rate (i) ที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใจถือได้ว่าโครงการดังกล่าวเป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยทั่วไปแล้วทั้งวิธีในการประเมินโครงการจากค่า IRR และ NPV จะให้ผลการตัดสินใจรับโครงการหรือปฏิเสธโครงการเป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่ในบางกรณีที่ใช้ข้อสมมติ เช่น การนำเงินที่ได้ในแต่ละปีไปลงทุนใหม่ (Reinvestment) หรือการใช้วิธีหักค่าเสื่อมราคา แบบ Double-declining Balance Method แทนแบบ Straight Line-Method ก็อาจทำให้คำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธีขัดแย้งกันได้ ดังนั้นการพิจารณาประเมินโครงการลงทุนจากทั้ง 2 วิธีจึงต้องคำนึงถึงข้อสมมติที่ใช้ในการคำนวณด้วย

2.11.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือ ระยะเวลาที่ใช้ไปในการลงทุน เพื่อให้กระแสเงินสดรับสุทธิที่ได้จากการลงทุนคุ้มค่ากับต้นทุนที่ต้องลงทุนไป ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการประเมินคร่าวๆ และรวดเร็วเหมาะกับเม็ดเงินลงทุนจำนวนไม่มาก อย่างไรก็ตามการคำนวณระยะเวลาคืนทุนมีจุดอ่อนตรงที่ไม่ได้นำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาพิจารณาและไม่ให้ความสำคัญกับกระแสเงินสดที่ได้รับภายหลังระยะเวลาคืนทุน ทำให้อาจเกิดการตัดสินใจเลือกโครงการลงทุนที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นในบางกรณีอาจแก้ปัญหาโดยนำกระแสเงินสดมาปรับลดด้วยอัตราคิดลด ซึ่งเป็นการสะท้อนมูลค่าเงินตามเวลาก่อนแล้วค่อยนำมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน หรือที่เรียกว่า ระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (Discount payback period: DPB)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$PB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \quad ..... (2.11)$$

$$DPB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \quad ..... (2.12)$$

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริมลาภ วสุวัต (2542) : “กลยุทธการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ : กรณีศึกษาอาคารกองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศ ดอนเมือง” (10)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหากลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมในเชิงเทคนิคและการเงินเบื้องต้นสำหรับอาคารสำนักงานราชการ โดยมีขั้นตอนการศึกษาและทดสอบการใช้พลังงานในอาคารดังนี้

1) การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคารที่มีการเก็บบันทึกข้อมูลไว้

2) การสำรวจอาคาร เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงที่เป็นไปได้

3) การศึกษาโดยละเอียด ประเมินแนวทาง และความเป็นไปได้ในการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้นเพื่อใช้ประกอบการพิจารณา

จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ในการพิจารณาปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารควรต้องพิจารณาอัตราส่วนการใช้พลังงานในอาคารก่อน และทำการศึกษาแนวทางการปรับปรุงตามตัวแปรที่เหมาะสมในเชิงเทคนิค และการเงิน

2) ถ้าอาคารใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศมากควรพิจารณาแหล่งความร้อนที่เข้าในอาคารและทำการควบคุมที่แหล่งกำเนิด

3) บางครั้งแนวทางการปรับปรุงอาคารที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดอาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

อรรณพ วรรณทองศรี (2552) : “การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสำหรับอาคารรัฐวิสาหกิจ” (11)

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการจัดทำระบบการจัดการพลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละ

ประเภทและนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กฎกระทรวงกำหนด พบว่า ค่าที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลังจากมีการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานมีค่าสูงขึ้น แต่ยังมีบางส่วนที่ค่าต่ำกว่ามาตรฐานเนื่องจากมีอายุการใช้งานนาน โดยข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ระบุว่า การที่จะทำให้ระบบการจัดการพลังงานประสบผลสำเร็จนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้บริหารระดับสูงขององค์กรต้องให้การสนับสนุนอย่างจริงจัง ปฏิบัติตนเป็นแบบอย่าง และสื่อสารให้พนักงานทราบอยู่เสมอด้วยวิธีการดังนี้

- จัดอบรมด้านการอนุรักษ์พลังงานให้แก่พนักงาน
- รณรงค์และประชาสัมพันธ์ จัดกิจกรรมให้พนักงานมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงาน
- สร้างแรงจูงใจโดยการให้รางวัลแก่พนักงานที่เสนอแนวทางในการอนุรักษ์พลังงาน
- ทำการประเมินผลการจัดการพลังงาน และนำมาวิเคราะห์ หาจุดแข็ง จุดอ่อนของกิจกรรมหรือมาตรการฯ
- ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละอาคาร

พรเทพ พินัยนิติศาสตร์ (2554) : “การจัดการอาคารสำนักงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษาอาคาร ดร.เจริญ คันธวงศ์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตกล้วยน้ำไท” (12)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้พลังงานในอาคาร ดร.เจริญคันธวงศ์ ที่มหาวิทยาลัยกรุงเทพวิทยาเขตกล้วยน้ำไท โดยเน้นที่ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานในอาคาร โดยทำการวิเคราะห์หามาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ และศึกษาข้อมูลด้านต่างๆ ของอาคารฯ เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานเชิงปริมาณและค่าใช้จ่าย เพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงาน การวิเคราะห์หามาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานในอาคาร และวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุนของทุกมาตรการที่ได้กำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานดังนี้

<u>มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ</u>

- การลดชั่วโมงการทำงานเครื่องทำน้ำเย็น
- การลดชั่วโมงการทำงานเครื่องสูบน้ำและหอผึ่งเย็น
- การลดชั่วโมงการทำงานเครื่องส่งลมเย็น
- การปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น
- การปรับตั้งค่าอุณหภูมิภายในพื้นที่ปรับอากาศให้เหมาะสม
- การบำรุงรักษาหอผึ่งเย็น
- การติดตั้งระบบทำความสะอาดท่อคอนเดนเซอร์แบบอัตโนมัติ
- การติดตั้งระบบเครื่องกำเนิดโอโซนบำบัดที่หอผึ่งเย็น

<u>มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง</u>

- การปิดไฟแสงสว่างช่วงพักกลางวันในส่วนสำนักงาน
- การลดชั่วโมงการเปิดไฟแสงสว่าง
- การปิดไฟแสงสว่างในพื้นที่ที่มีแสงสว่างจากธรรมชาติเพียงพอ
- การติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 แทนชนิด T8

อัคราวุฒิ ครองยุติ และคณะ (2556) : "การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานในอาคารสาธารณะ" (13)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจัดการพลังงานในอาคารสาธารณะซึ่งเป็นอาคารควบคุม เพื่อลดภาระการใช้พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการจัดการพลังงาน ได้ทำการศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และทำการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการจัดการพลังงาน มีการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบการจัดการพลังงานแบบ SWOT Analysis ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัญหาและอุปสรรคหลักๆ คือ การสื่อสารเพื่อประชาสัมพันธ์ในการอนุรักษ์พลังงาน โดยแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพคือ การนำกลยุทธ์การสื่อสารมาปรับใช้ในองค์กรซึ่งจะมีส่วนช่วยให้พนักงานเข้าใจในทิศทางเดียวกัน และมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมเพื่ออนุรักษ์พลังงานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการจัดการพลังงานสูงขึ้น

ปรัชญา ปัตถาวงศ์ (2556) : "การศึกษากรอบอาคารชุดและแนวทางการประหยัดพลังงาน" (14)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออนุรักษ์พลังงาน และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารชุด โดยได้ทำการสำรวจตัวอย่างอาคารชุดที่มีความสูงไม่เกิน 8 ชั้น ทั้งหมด 8 อาคาร ทำการศึกษาโดยใช้แปลนอาคาร (แบบพิมพ์เขียวอาคาร) มาวิเคราะห์หาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารและค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร โดยใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) v.1.0.5

ตัวแปรที่ใช้ในการปรับปรุงกรอบอาคารของงานวิจัยนี้ คือ

- ฉนวนสำหรับวัสดุผนังทึบ
- ฉากบังแสงแดดสำหรับบริเวณกระจก
- ฉนวนสำหรับหลังคา
- วัสดุกรอบอาคาร

ผลการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของอาคาร พบว่าอาคาร 7 อาคาร มีค่าไม่ผ่านเกณฑ์ และค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา พบว่าอาคาร 8 อาคารมีค่าไม่ผ่านเกณฑ์ และงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าความร้อนของกรอบอาคาร และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าในอาคารให้ดีขึ้น โดยเสนอการปรับปรุงกรอบอาคาร 2 ส่วน คือ ส่วนของ

ผนัง และ ส่วนของหลังคา และในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความคุ้มทุนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงที่ได้นำเสนอ

Guiwen Liu et al. (2012) : Energy Consumption and Management in Public Buildings in China: An Investigation of Chongqing (15)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้และการจัดการพลังงานในอาคารสาธารณะในนครฉงชิ่ง ประเทศจีน จากข้อมูลพบว่าการใช้พลังงานในอาคารของประเทศจีนคิดเป็น 30% ของการใช้พลังงาน โดยได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานจากอาคารสาธารณะโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) การเก็บข้อมูลพื้นฐานของอาคาร ได้แก่ สถานที่ตั้ง พื้นที่แต่ละชั้น ปีที่ก่อสร้าง โครงสร้าง และอื่นๆ

2) การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร การเข้าสำรวจพื้นที่เพื่อจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร

3) การตรวจสอบข้อมูลการใช้พลังงาน และมาตรการการอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดอ่อนของการจัดการและการใช้พลังงาน

จากผลการวิจัยพบว่า การใช้พลังงานของอาคารสาธารณะในประเทศจีนมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ดังนั้นจุดสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานควรสนใจเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้า และพบว่าอาคารพาณิชย์มีระบบการจัดการพลังงานที่เข้มงวดมากกว่าอาคารสำนักงานของรัฐบาล เหตุผลหลักของการสูญเสียพลังงานคือการขาดบุคคลากรที่มีส่วนร่วมในการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบอาคาร และผู้จัดการขาดการใส่ใจในการบริหารจัดการพลังงานอย่างจริงจัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย เริ่มจากการเก็บข้อมูลและทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอุปกรณ์และเครื่องจักรในอาคารสำนักงานฯ โดยมุ่งเน้นส่วนของระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง พร้อมทั้งประเมินศักยภาพและความเป็นไปได้ของมาตรการอนุรักษ์พลังงานเพื่อหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

ในการดำเนินการวิจัยจะทำการศึกษาข้อมูลด้านต่างๆ ของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยให้ครอบคลุมทุกด้าน เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานเชิงปริมาณและค่าใช้จ่าย เพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงาน ตรวจสอบรูปแบบการใช้และตำแหน่งที่ใช้พลังงาน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละบริเวณที่มีการใช้พลังงาน การวิเคราะห์หามาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง วิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าในการลงทุนในแต่ละมาตรการที่ได้กำหนด โดยทำการศึกษาข้อมูลต่างๆ ดังนี้

3.1 การกำหนดแนวทางในการวิจัย

ศึกษาแนวทางในการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน ตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 ซึ่งกำหนดให้โรงงานควบคุมและอาคารควบคุม จำเป็นต้องเริ่มให้มีวิธีการจัดการพลังงานเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยวิธีการจัดการพลังงานนั้นต้องมีการปฏิบัติอย่างเป็นขั้นตอน รวมทั้งมีการวางแผนการดำเนินการที่ดี และเหมาะสมกับองค์กร เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายของการจัดการพลังงาน การดำเนินการสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

1) การแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

2) การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น

3) การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

4) การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

5) การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานและแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

6) การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานและการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

7) การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน

8) การทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

3.2 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

3.2.1 ข้อมูลทั่วไป

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ตั้งอยู่เลขที่ 444 ถนนท่าเรือ แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110 ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2544 ปัจจุบันอาคารมีอายุ 14 ปี และได้ขึ้นทะเบียนสินทรัพย์เป็นสินทรัพย์สิ่งปลูกสร้างด้วยมูลค่า 689 ล้านบาทเศษ พร้อมอาคารประกอบรายล้อมอีก 3 อาคารซึ่งเป็นอาคารที่สามารถเชื่อมติดต่อกันได้ ได้แก่ อาคาร A ส่วนสำนักงาน มี 19 ชั้น อาคาร A ส่วน PODIUM มี 5 ชั้น อาคาร B มี 6 ชั้น และ อาคาร C (อาคารจอดรถ) มี 8 ชั้น

พื้นที่อาคาร

พื้นที่ทั้งหมดของอาคารสำนักงานใหญ่ A	26,130	m^2
พื้นที่ปรับอากาศ	23,517	m^2
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	2,613	m^2

ข้อมูลการใช้งานอาคาร

เนื่องจากอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยเป็นอาคารประเภทอาคารสำนักงานจะมีพนักงานประจำและผู้ใช้บริการ โดยมีค่าเฉลี่ยของผู้ใช้อาคารจำนวน 2,000 คนต่อวัน โดยอาคารมีเวลาทำการวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ยกเว้นวันหยุดราชการ เวลา 08.30 – 16.30 น. คิดเป็น 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 2,000 ชั่วโมงต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.1 อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

3.2.2 อัตราค่าไฟฟ้าของอาคาร

พลังงานที่อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยนำมาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง หมายเลขเครื่องวัด 32023315 เป็นมิเตอร์ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ประเภทย่อย 4.1.1 สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป หรือ มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff: TOD Tariff) ระดับแรงดัน 69 kV ขึ้นไป (16)

ตารางที่ 3-1 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff: TOD Tariff)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			**ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)**	**ค่าบริการ (บาท/เดือน)**
	On Peak	Partial Peak	Off Peak	ทุกช่วงเวลา	
4.1.1 แรงดัน 69 kV ขึ้นไป	224.30	29.91	0	3.1355	312.24
4.1.2 แรงดัน 12 – 24 kV	285.05	58.88	0	3.1729	312.24
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 kV	332.71	68.22	0	3.2009	312.24

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง

On Peak : เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน

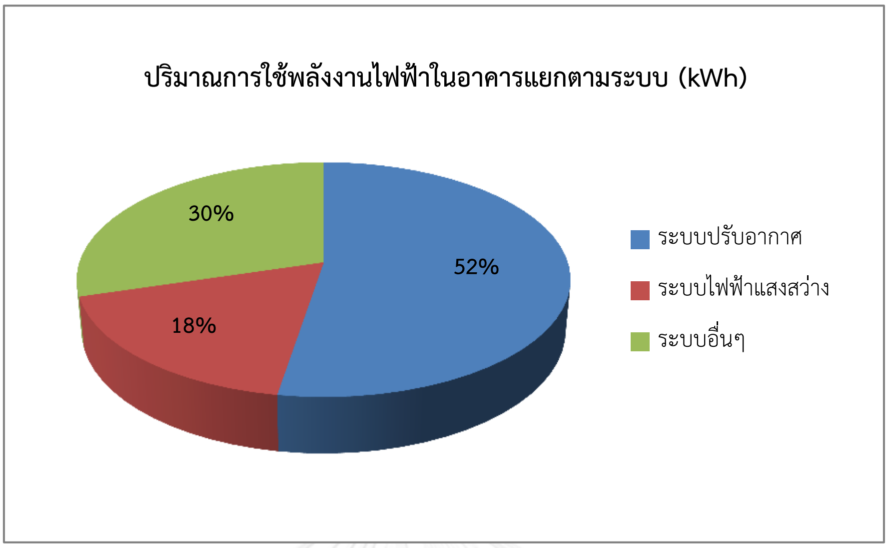
Partial Peak : เวลา 08.00 - 18.30 น. ของทุกวัน คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง On Peak

Off Peak : เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า

3.2.3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยสามารถแบ่งสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่นๆ เช่น ระบบสุขาภิบาล ระบบลิฟต์ ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น จะพบว่าสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ที่ระบบปรับอากาศ 1,786,327 kWh/ปี คิดเป็นร้อยละ 52 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 603,513 kWh/ปี คิดเป็นร้อยละ 18 ที่เหลือเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ

อื่นๆ 3,395,753 kWh/ปี คิดเป็นร้อยละ 30 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารฯ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร
สำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยแยกตามระบบ

จากการศึกษาและการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยสามารถแสดงในตารางที่ 3-2

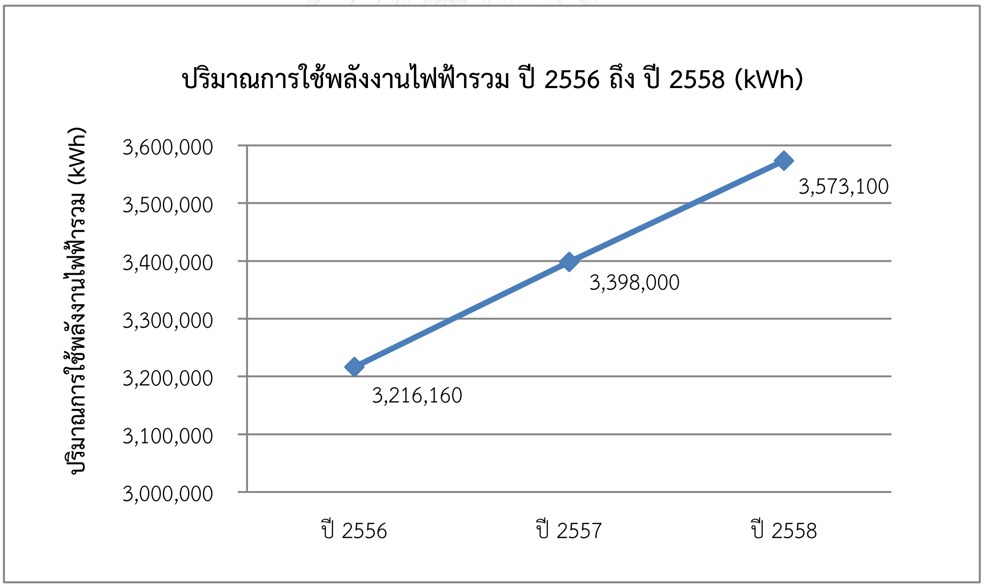
ตารางที่ 3-2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมทั้งปีของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ปี 2556 – 2558

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ (kWh)				
ระบบ	**ปี 2556**	**ปี 2557**	**ปี 2558**	**เฉลี่ย**
ระบบปรับอากาศ	1,788,000	1,772,400	1,798,580	1,786,327
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	592,564	615,618	602,356	603,513
ระบบอื่นๆ	835,596	1,009,982	1,172,164	1,005,914
รวม	3,216,160	3,398,000	3,573,100	3,395,753

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมทั้งปีของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ปี 2556 – 2558

ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ (kWh/m^2)				
ระบบ	**ปี 2556**	**ปี 2557**	**ปี 2558**	**เฉลี่ย**
ระบบปรับอากาศ	68.43	67.83	68.83	68.36
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	22.68	23.56	23.05	23.10
ระบบอื่นๆ	31.98	38.65	44.86	38.50
รวม	123.08	130.04	136.74	129.96

จากตารางที่ 3-3 จะเห็นได้ว่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารมีค่าเพิ่มขึ้นทุกปี แสดงว่าอาคารฯ ยังไม่มีมาตรการอนุรักษ์พลังงานเลย



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร
สำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ปี 2556 – 2558

ตารางที่ 3-4 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ปี 2558

เดือน	**ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)**	**ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (Baht/kW)**	**ค่าไฟฟ้า (Baht)**
มกราคม	272,000	3.94	1,072,490.57
กุมภาพันธ์	250,400	3.94	985,497.66
มีนาคม	247,200	3.88	959,785.04
เมษายน	327,200	3.92	1,283,871.38
พฤษภาคม	265,600	3.80	1,009,280.00
มิถุนายน	330,400	3.77	1,245,608.00
กรกฎาคม	325,600	3.77	1,228,589.09
สิงหาคม	300,800	3.79	1,140,774.85
กันยายน	332,000	3.77	1,250,517.08
ตุลาคม	331,400	3.77	1,247,747.33
พฤศจิกายน	287,900	3.77	1,084,751.90
ธันวาคม	302,600	3.77	1,140,802.00
รวม	3,573,100	-	13,649,714.89
เฉลี่ยต่อเดือน	**297,758**	**3.82**	**1,137,476.24**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.4 ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยมีกำลังไฟฟ้าส่องสว่างติดตั้งต่อพื้นที่ใช้สอยรวม 9.97 W/m^2 (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 14 W/m^2)

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

ชั้น	**ชนิดหลอด**	**ขนาด (W)**	**จำนวน (หลอด)**	**รวม (W)**
1	Fluorescent	36	156	5,616
		18	48	864
	Compact	18	6	108
	Par 38	120	129	15,480

ชั้น	ชนิดหลอด	ขนาด (W)	จำนวน (หลอด)	รวม (W)
2	Fluorescent	36	206	7,416
		18	47	846
	Par 38	120	69	8,280
3	Fluorescent	36	424	19,504
		18	45	810
	Compact	18	48	864
	Halogen	50	7	350
	Par 38	120	38	4,560
4	Fluorescent	36	403	18,538
		18	59	1,062
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350
	Par 38	120	37	4,440
5	Fluorescent	36	400	18,400
		18	59	1,062
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350
	Par 38	120	22	2,640
6	Fluorescent	36	141	5,076
		18	11	198
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350
7	Fluorescent	36	179	6,444
		18	10	180
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น	ชนิดหลอด	ขนาด (W)	จำนวน (หลอด)	รวม (W)
8	Fluorescent	36	141	5,076
		18	12	216
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350
9	Fluorescent	36	137	4,932
		18	10	180
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350
10	Fluorescent	36	143	5,148
		18	9	162
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350
11	Fluorescent	36	138	4,968
		18	9	162
	Compact	18	37	666
	Halogen	50	7	350
12	Fluorescent	36	134	4,824
		18	9	162
	Compact	18	36	648
	Halogen	50	7	350
13	Fluorescent	36	192	6,912
		18	24	432
	Compact	18	58	1,044
	Halogen	50	24	1,200
14	Fluorescent	36	204	7,344
		18	36	648
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น	ชนิดหลอด	ขนาด (W)	จำนวน (หลอด)	รวม (W)
15	Fluorescent	36	218	7,848
		18	24	432
	Compact	18	38	684
	Halogen	50	7	350
16	Fluorescent	36	60	2,160
		18	19	342
	Compact	18	136	2,448
	Halogen	50	68	3,400
17	Fluorescent	36	60	2,160
		18	19	342
	Compact	18	139	2,502
	Halogen	50	74	3,700
18	Fluorescent	36	36	1,296
		18	6	108
	Compact	18	100	1,800
	Halogen	50	57	2,850
19	Fluorescent	36	12	432
	Compact	18	85	1,530
	Par 38	120	52	6,240
	Halogen	50	29	1,450
	Incandescent	60	10	600
20	Fluorescent	36	24	864
	Metal halide	400	6	2,400
	Incandescent	100	16	1,600
รวม			**5,566**	**260,562**

กำลังไฟฟ้าส่องสว่างรวม	260,562	W
พื้นที่ใช้สอยรวมของอาคารสำนักงานใหญ่	26,130	m^2
กำลังไฟฟ้าส่องสว่างติดตั้งต่อพื้นที่ใช้สอยรวม	9.97	W/m^2

ระบบปรับอากาศ

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยมีการใช้ระบบปรับอากาศ 2 ประเภท คือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Condition Unit) และ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller)

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในพื้นที่ที่ต้องการความเย็นเพื่อช่วยในการทำความเย็น มีทั้งชนิดแขวนใต้ฝ้าและแบบตั้งพื้น ประกอบด้วย Fan Coil Unit และ Condensing Unit โดยใช้รีโมทคอนโทรลแบบมีสาย (Room Thermo Stat) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิและการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยทำการติดตั้งในพื้นที่ต่างๆ ดังนี้

- ห้องเครื่องลิฟท์
- ห้องไฟฟ้า
- ห้องแยกเอกสาร
- ห้องตู้สลับสาย
- ห้องคอมพิวเตอร์
- ห้องควบคุมความปลอดภัย
- ห้องประชุม

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

ขนาดทำความเย็น (BTU/hr)	**จำนวน (เครื่อง)**	**รวม (BTU/hr)**
12,000	7	84,000
13,000	7	91,000
16,000	2	32,000
22,800	4	91,200
36,000	6	216,000
38,000	11	418,000
รวม	**37**	**932,200**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 350 Ton จำนวน 3 เครื่อง รายละเอียดดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ภายในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

ประเภทเครื่องปรับอากาศ	ระบายความร้อนด้วยน้ำ
ประเภทเครื่องคอมเพรสเซอร์	คอมเพรสเซอร์แบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal)
ขนาดทำความเย็น	350 Ton
Refrigerant	R-123
Model	CVHE420
Serial No.	L00B00852
ชื่อผู้ผลิต	TRANE
ขนาดปั๊มน้ำเย็น CHP	75 HP
ขนาดปั๊มน้ำหล่อเย็น CDP	25 HP
จำนวน	3 เครื่อง
พ.ศ. ที่ติดตั้งใช้งาน	2544

3.3 ศึกษาระบบการจัดการพลังงานของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

การจัดการพลังงานของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยเริ่มต้นจากการที่ได้มีการกำหนดตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุนให้ “โรงงานควบคุม” และ “อาคารควบคุม” ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานด้วยการผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด และเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการผลิตเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานขึ้นในประเทศและให้มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยผู้ที่อยู่ภายใต้กฎหมายฉบับนี้มีหน้าที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมของการท่าเรือแห่งประเทศไทยเข้าข่ายอาคารควบคุม ประเภทกลุ่มอาคารควบคุม (ขนาดใหญ่) ที่ใช้เครื่องวัดไฟฟ้าหรือติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้ารวมกันตั้งแต่ 3,000 kW หรือ 3,530 kVA ขึ้นไปหรือ

อาคารควบคุมที่ใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนจากไอน้ำ หรือพลังงานสิ้นเปลืองอื่นๆ โดยมีปริมาณพลังงานเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 60 ล้านเมกะจูต่อปีขึ้นไป จึงมีหน้าที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

การท่าเรือแห่งประเทศไทยได้ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามแนวทางการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอนตามที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำหนด

ขั้นตอนที่ 1 การแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

การท่าเรือแห่งประเทศไทยได้จัดให้มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงานที่มีคุณสมบัติและจำนวนตามที่กำหนดในกฎกระทรวง และมีการแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน ท่าเรือกรุงเทพ และออกคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน ท่าเรือกรุงเทพ ในปี พ.ศ. 2554 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การดำเนินงานด้านการจัดการพลังงานของท่าเรือกรุงเทพเป็นไปโดยสอดคล้องกับพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 โดยได้ทำการเผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานให้พนักงานทุกคนรับทราบผ่านทางช่องทางต่างๆ เช่น การติดประกาศ การออกประกาศเสียงตามสายสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในช่วงเวลา 11.00 – 11.15 น. ระบบสารสนเทศ (Intranet) ฯลฯ คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานประกอบด้วย หัวหน้าคณะทำงาน คณะทำงาน เลขานุการ และ ผู้ช่วยเลขานุการ โดยคณะทำงานฯ มีหน้าที่และความรับผิดชอบดังนี้

1) ดำเนินการจัดการด้านพลังงานให้สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และนโยบายอนุรักษ์พลังงานตามที่ท่าเรือกรุงเทพกำหนด

2) ประสานงานกับหน่วยงานทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความร่วมมือในการปฏิบัติตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงาน รวมทั้งจัดการอบรมหรือกิจกรรมด้านการอนุรักษ์พลังงานให้เหมาะสมกับเจ้าหน้าที่ในแต่ละหน่วยงาน

3) ควบคุมดูแลให้วิธีการจัดการพลังงานของท่าเรือกรุงเทพดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดให้มีการดำเนินการดังนี้

- รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานที่ผ่านมาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- ตรวจสอบสถานภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- ตรวจสอบผลการดำเนินงานและการจัดการพลังงานของหน่วยงานต่างๆ จากรายงานผลการดำเนินงานที่หน่วยงานแต่ละหน่วยงานได้จัดทำขึ้น

4) ทบทวนนโยบายอนุรักษ์พลังงานและการจัดการพลังงานอย่างสม่ำเสมอ พร้อมทั้งรวบรวมข้อเสนอและวิธีการจัดการพลังงาน

5) ดำเนินงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงาน

6) รายงานผลการดำเนินงานให้ผู้อำนวยการท่าเรือกรุงเทพทราบ

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น

การท่าเรือแห่งประเทศไทยได้ทำการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นประจำทุกปี และได้ทำการรายงานผลการประเมินฯ เสนอต่อ พพ. ในเล่มรายงานการจัดการพลังงานประจำปีเป็นประจำทุกปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-8 การประเมินการจัดการพลังงานของการท่าเรือแห่งประเทศไทย

ระดับคะแนน	นโยบายการอนุรักษ์พลังงาน	การจัดองค์กร	การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ	ระบบข้อมูลข่าวสาร	ประชาสัมพันธ์	การลงทุน
4	มีนโยบายการจัดการพลังงานจากฝ่ายบริหารและถือเป็นส่วนหนึ่งของนโยบายของบริษัท	มีการจัดองค์กรและเป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งของฝ่ายบริหารกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบไว้ชัดเจน	มีการประสานงานระหว่างผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน และทีมงานทุก ระดับอย่างสม่ำเสมอ	กำหนดเป้าหมายที่ครอบคลุม ติดตามผล หาข้อผิดพลาดประเมินผล และควบคุมการใช้งบประมาณ	ประชาสัมพันธ์คุณค่าของการประหยัดพลังงานและผลการดำเนินงานของการจัดการพลังงาน	จัดสรรงบประมาณโดยละเอียด โดยพิจารณาถึงความสำคัญของโครงการ
3	มีนโยบายและมีการสนับสนุนเป็นครั้งคราวจากฝ่ายบริหาร	ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานรายงานโดยตรงต่อคณะกรรมการจัดการพลังงาน ซึ่งประกอบด้วยหัวหน้าฝ่ายต่างๆ	คณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานเป็นช่องทางหลักในการดำเนินงาน	แจ้งผลการใช้พลังงานจากมิเตอร์ย่อยให้แต่ละฝ่ายทราบ แต่ไม่มีการแจ้งถึงผลการประหยัด	ให้พนักงานรับทราบโครงการอนุรักษ์พลังงานและให้มีการประชาสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอ	ใช้ระยะเวลา คุ้มทุนเป็นหลักในการพิจารณาการลงทุน
2	ไม่มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจน โดยผู้บริหารหรือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงานรายงานต่อคณะกรรมการเฉพาะกิจ แต่สายงานบังคับบัญชาไม่ชัดเจน	คณะกรรมการเฉพาะกิจเป็นผู้ดำเนินการ	ทำรายงานติดตามประเมินผล โดยดูจากมิเตอร์ให้คณะกรรมการเฉพาะกิจเข้ามาเกี่ยวข้องกับการตั้งงบประมาณ	จัดฝึกอบรมให้พนักงานรับทราบเป็นครั้งคราว	ลงทุนโดยดูมาตรการที่มีระยะเวลาคุ้มทุนเร็ว
1	ไม่มีแนวทางปฏิบัติที่ทำไว้เป็นลายลักษณ์อักษร	ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานมีขอบเขตหน้าที่ความรับผิดชอบจำกัด	มีการติดต่ออย่างไม่เป็นทางการระหว่างวิศวกรกับผู้ใช้พลังงาน (พนักงาน)	มีการสรุปรายงานด้านค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานเพื่อใช้กันภายในฝ่ายวิศวกรรม	แจ้งให้พนักงานทราบอย่างไม่เป็นทางการเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ	พิจารณาเฉพาะมาตรการที่ลงทุนต่ำ
0	ไม่มีนโยบายที่ ชัดเจน	ไม่มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	ไม่มีการติดต่อกับผู้ใช้พลังงาน	ไม่มีระบบรวบรวมข้อมูลและบัญชีการใช้พลังงาน	ไม่มีการสนับสนุนการประหยัดพลังงาน	ไม่มีการลงทุนใดๆในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การประเมินการจัดการพลังงานของการท่าเรือแห่งประเทศไทยสามารถสรุปได้ดังนี้

นโยบายการอนุรักษ์พลังงาน	:	มีนโยบายและมีการสนับสนุนเป็นครั้งคราวจากฝ่ายบริหาร
การจัดองค์กร	:	ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานมีขอบเขตหน้าที่ความรับผิดชอบจำกัด
การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ	:	มีการติดต่ออย่างไม่เป็นทางการระหว่างวิศวกรกับผู้ใช้พลังงาน (พนักงาน)
ระบบข้อมูลข่าวสาร	:	มีการสรุปรายงานด้านค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานเพื่อใช้กันภายในฝ่ายวิศวกรรม
ประชาสัมพันธ์	:	จัดฝึกอบรมให้พนักงานรับทราบเป็นครั้งคราว
การลงทุน	:	ลงทุนโดยดูมาตรการที่มีระยะเวลาคุ้มทุนเร็ว

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

การท่าเรือแห่งประเทศไทยได้กำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงานขององค์กร ในปี พ.ศ. 2554 เพื่อแสดงเจตจำนงและความมุ่งมั่นในการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงาน โดยได้กำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงานตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานซึ่งสอดคล้องกับสถานภาพการใช้พลังงาน และเหมาะสมกับอาคารควบคุม มีรายละเอียดดังนี้

ท่าเรือกรุงเทพได้กำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงานเพื่อใช้เป็นแนวทางการดำเนินงานด้านพลังงาน และเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยได้ทำการเผยแพร่นโยบายอนุรักษ์พลังงาน ท่าเรือกรุงเทพ ให้พนักงานทุกคนรับทราบผ่านทางช่องทางต่างๆ เช่น การติดประกาศ การออกประกาศเสียงตามสายสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในช่วงเวลา 11.00 – 11.15 น. ระบบสารสนเทศ (Intranet) ฯลฯ นโยบายอนุรักษ์พลังงาน ท่าเรือกรุงเทพ มีรายละเอียดดังนี้

1) ดำเนินการและพัฒนาระบบการจัดการพลังงานอย่างเหมาะสม โดยกำหนดให้การอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานของท่าเรือกรุงเทพให้สอดคล้องกับกฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2) ดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรพลังงานขององค์กรอย่างต่อเนื่องและเหมาะสมกับธุรกิจ เทคโนโลยีที่ใช้ และแนวทางปฏิบัติที่ดี

3) กำหนดแผนและเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละปี และสื่อสารให้พนักงานทุกคนเข้าใจและปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง

4) กำหนดให้การอนุรักษ์พลังงานเป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้บริหารและพนักงานของท่าเรือกรุงเทพทุกระดับที่จะให้ความร่วมมือในการปฏิบัติตามมาตรการที่กไหนด ติดตามตรวจสอบและรายงานต่อคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

5) ให้การสนับสนุนที่จำเป็นรวมทั้งทรัพยากรด้านบุคลากร ด้านงบประมาณ เวลาในการทำงาน การฝึกอบรม และการมีส่วนร่วมในการนำเสนอข้อคิดเห็นเพื่อพัฒนางานด้านพลังงาน

6) ผู้บริหารและคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานท่าเรือกรุงเทพ จะทบทวนและปรับปรุงนโยบาย เป้าหมาย และแผนการดำเนินงานด้านพลังงานทุกปี

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

การท่าเรือแห่งประเทศไทยได้ทำการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานขององค์กรแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ

1) การประเมินระดับองค์กร โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปี

2) การประเมินระดับการบริการ โดยทำการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอยที่ใช้งานจริงในรอบปี และวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานในรอบปี

3) การประเมินระดับเครื่องจักร/อุปกรณ์ โดยทำการค้นหาการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญในเครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก อาคารควบคุมได้ดำเนินการโดยการตรวจวัดหาข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานชั่วโมงการทำงาน และวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพและการสูญเสียพลังงานในแต่ละเครื่องจักร/อุปกรณ์หลักที่มีการใช้ในอาคารควบคุม เช่น เครื่องปรับอากาศในระบบปรับอากาศ หลอดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

การท่าเรือแห่งประเทศไทยได้กำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน คือ ร้อยละที่ลดลงของปริมาณพลังงานที่ใช้เดิม โดยมีค่าเป้าหมายที่ 0.40 และได้จัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า คือ มาตรการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง โดยทำการเปลี่ยนอุปกรณ์จำนวน 2,500 ชุด โดยมีเป้าหมายการประหยัดอยู่ที่ 72 kW 172,800 kWh/ปี คิดเป็นมูลค่าการประหยัด 660,096 บาท/ปี โดยมาตรการนี้ใช้เงินลงทุน 1,200,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 1.82 ปี

มีการกำหนดแผนการฝึกอบรม และกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานประจำปี

- อบรมการเขียนเล่มรายงานการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอน สำหรับคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

- จัดกิจกรรมรณรงค์การใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัด กลุ่มผู้เข้าร่วมกิจกรรมคือ พนักงานทุกระดับ

โดยจะมีการเผยแพร่แผนฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้พนักงานทุกคนรับทราบและเข้าร่วมดำเนินการตามแผนฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานขององค์กร ผ่านทางช่องทางต่างๆ เช่น การติดประกาศ การออกประกาศเสียงตามสายสัปดาห์ละ 5 ครั้ง ในช่วงเวลา 12.00 น. ฯลฯ

ขั้นตอนที่ 6 การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานและการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานจะดำเนินการติดตาถมความก้าวหน้าของการปฏิบัติตามมาตรการและแผนอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้ จากมาตรการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED สามารถดำเนินการได้ตรงตามแผนที่กำหนด โดยสามารถสรุปผลการตรวจสอบการปฏิบัติตามเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานสำหรับมาตรการด้านไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 สรุปผลการตรวจสอบการปฏิบัติตามเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานสำหรับมาตรการด้านไฟฟ้า

การติดตามการดำเนินการ	แผนการอนุรักษ์พลังงานตามเป้าหมาย	ผลการอนุรักษ์พลังงานที่เกิดขึ้นจริง
ร้อยละที่ลดลงของปริมาณพลังงานที่ใช้เดิม	0.40	0.40

การดำเนินงานตามหลักสูตรการฝึกอบรม และการดำเนินงานตามกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสามารถดำเนินการได้ตามแผนที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 7 การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน

การท่าเรือแห่งประเทศไทยได้ออกคำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบประเมินการจัดการพลังงานของการท่าเรือแห่งประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2555 เพื่อให้การดำเนินงานด้านการจัดการพลังงานของการท่าเรือแห่งประเทศไทยเป็นไปด้วยความเรียบร้อย โดยได้ทำการเผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานให้พนักงานทุกคนรับทราบผ่านทางช่องทางต่างๆ เช่น การติดประกาศ การออกประกาศเสียงตามสายสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในช่วงเวลา 11.00 – 11.15 น. ระบบสารสนเทศ (Intranet) ฯลฯ คณะผู้ตรวจสอบประเมินการจัดการพลังงานของการท่าเรือแห่งประเทศไทยประกอบด้วยประธานคณะผู้ตรวจสอบ ผู้ตรวจสอบ และเลขานุการ คณะผู้ตรวจสอบฯ มีอำนาจและหน้าที่ดังนี้

1) ตรวจสอบและประเมินผลการดำเนินงานการจัดการด้านพลังงานของการท่าเรือแห่งประเทศไทย อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง

2) รายงานผลการตรวจสอบเสนอผู้บังคับบัญชาตามสายงานจนถึงผู้อำนวยการการท่าเรือแห่งประเทศไทยเพื่อทราบ หรือพิจารณาสั่งการต่อไป

สามารถสรุปผลการตรวจประเมินภายในองค์กรได้ดังตารางที่ 3-10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-10 การตรวจติดตามการดำเนินการจัดการพลังงาน

รายการตรวจประเมิน	สิ่งที่ต้องมีเอกสาร/หลักฐาน	ผลการตรวจสอบ		ความถูกต้องครบถ้วนตามข้อกำหนด		ข้อควรปรับปรุง/ข้อเสนอแนะ
		มี	ไม่มี	ครบ	ไม่ครบ	
1. คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน	1. คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน ที่ระบุ โครงสร้าง อำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของคณะทำงาน	✓		✓		
	2. เอกสารที่แสดงถึงการเผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานให้บุคลากรรับทราบด้วยวิธีการต่างๆ	✓		✓		ควรเพิ่มวิธีการ และการเผยแพร่ให้ทั่วถึง
	3. อื่นๆ (ระบุ)	-		-		
2. การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น	1. ผลการประเมินการดำเนินงานด้านพลังงานที่ผ่าน โดยใช้ตารางการประเมินการจัดการพลังงาน (Energy Management Matrix)	✓		✓		
	2. อื่นๆ (ระบุ)	-		-		
3. นโยบายอนุรักษ์พลังงาน	1. นโยบายอนุรักษ์พลังงาน	✓		✓		
	2. เอกสารที่แสดงถึงการเผยแพร่นโยบายอนุรักษ์พลังงานให้บุคลากรรับทราบด้วยวิธีการต่างๆ	✓		✓		ควรเพิ่มวิธีการ และการเผยแพร่ให้ทั่วถึง
	3. อื่นๆ (ระบุ)	-		-		

ตารางที่ 3-10 การตรวจติดตามการดำเนินการจัดการพลังงาน (ต่อ)

รายการตรวจประเมิน	สิ่งที่ต้องมีเอกสาร/หลักฐาน	ผลการตรวจสอบ		ความถูกต้องครบถ้วนตามข้อกำหนด		ข้อควรปรับปรุง/ข้อเสนอแนะ
		มี	ไม่มี	ครบ	ไม่ครบ	
4. การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	1. การประเมินการใช้พลังงานระดับองค์กร	✓		✓		
	2. การประเมินการใช้พลังงานระดับการบริการ	✓		✓		
	3. การประเมินการใช้พลังงานระดับเครื่องจักร/อุปกรณ์	✓		✓		
	4. อื่นๆ (ระบุ)	✓		✓		
5. การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์ พลังงาน	1. มาตรการและเป้าหมายในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน	✓		✓		
	2. แผนการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า	✓		✓		
	3. แผนการอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อน	-		-		
	4. แผนการฝึกอบรม	✓		✓		ควรเพิ่มวิธีการ และการเผยแพร่ให้ทั่วถึง
	5. แผนกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน	✓		✓		ควรเพิ่มวิธีการ และการเผยแพร่ให้ทั่วถึง
	6. อื่นๆ (ระบุ)	✓		✓		

ตารางที่ 3-10 การตรวจติดตามการดำเนินการจัดการพลังงาน (ต่อ)

รายการตรวจประเมิน	สิ่งที่ต้องมีเอกสาร/หลักฐาน	ผลการตรวจสอบ		ความถูกต้องครบถ้วนตามข้อกำหนด		ข้อควรปรับปรุง/ข้อเสนอแนะ
		มี	ไม่มี	ครบ	ไม่ครบ	
6. การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน	1. ผลการดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน	✓		✓		
	2. ผลการตรวจสอบการปฏิบัติตามเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน	✓		✓		
	3. ผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานสำหรับมาตรการด้านไฟฟ้า	✓		✓		
	4. ผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานสำหรับมาตรการด้านความร้อน	-		-		
	5. ผลการติดตามการดำเนินการตามแผนฝึกอบรม	✓		✓		
	6. ผลการติดตามการดำเนินการตามแผนกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน	✓		✓		
	7. อื่นๆ (ระบุ)	-		-		
7. การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน	1. คำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กร	✓		✓		
	2. รายงานผลการตรวจประเมิน	✓		✓		
	3. อื่นๆ (ระบุ)	-		-		
8. การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน	1. แผนการทบทวนการดำเนินงานการจัดการพลังงาน	✓		✓		
	2. รายงานสรุปผลการทบทวน วิเคราะห์และแนวทางการแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน	✓		✓		
	3. อื่นๆ (ระบุ)	-		-		

ขั้นตอนที่ 8 การทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

มีการจัดประชุมเพื่อทบทวนผลการดำเนินการด้านการจัดการพลังงาน รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้จากคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรมาใช้ในการปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการ รวมถึงมีการเผยแพร่ผลการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน เพื่อให้พนักงานทุกคนรับทราบและติดตามผลการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานขององค์กร ผ่านทางช่องทางต่างๆ เช่น การติดประกาศ ฯลฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-11 สรุปผลการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน ประจำปี 2557

ขั้นตอน	ผลการทบทวน		ข้อบกพร่องที่ตรวจพบ	แนวทางการปรับปรุง	หมายเหตุ
	เหมาะสม	ควรปรับปรุง			
1. คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน	✓	✓	การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ไม่ทั่วถึง	ควรเพิ่มวิธีการ และการเผยแพร่ให้ทั่วถึงบุคลากรทุกระดับ	-
2. การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น	✓		-	-	-
3. นโยบายอนุรักษ์พลังงาน		✓	การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ไม่ทั่วถึง	ควรเพิ่มวิธีการ และการเผยแพร่ให้ทั่วถึงบุคลากรทุกระดับ	-
4. การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	✓		-	-	-
5. การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน	✓	✓	การฝึกอบรมยังไม่ครอบคลุมบุคลากรทุกระดับ	เพิ่มเติมแผนการฝึกอบรมให้ครอบคลุมบุคลากรทุกระดับ	-
6. การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน	✓		-	-	-
7. การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน		✓	การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ไม่ทั่วถึง	ควรเพิ่มวิธีการ และการเผยแพร่ให้ทั่วถึงบุคลากรทุกระดับ	-

3.4 เก็บข้อมูลงานวิจัยเพื่อกำหนดแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเบื้องต้นในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย จะเห็นได้ว่าอาคารใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นหลัก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะลดการใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเก็บข้อมูลงานวิจัยโดยใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดดังนี้

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

1) เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Meter)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ โดยค่าที่ตรวจวัดได้จะมีทั้งแรงดัน (โวลท์) กระแสไฟฟ้า (แอมป์) เพาเวอร์แฟคเตอร์ และกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) เหมาะสำหรับการตรวจวัดปัจจัยต่างๆ ทางไฟฟ้าของมอเตอร์ หม้อแปลงกำลังไฟฟ้า และเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้า โดยไม่จำเป็นต้องปิดเครื่องเพื่อทำการตรวจวัด

รูปที่ 3.4 เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Meter)

2) เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Ultrasonic flow meter)

เป็นเครื่องมือในการวัดอัตราการไหลของน้ำ สามารถวัดได้แบบไม่ต้องตัดต่อท่อน้ำ หลักการวัดใช้การสะท้อนของคลื่นอัลตราโซนิค สามารถอ่านค่าได้แม่นยำ และสามารถอ่านช่วงการวัดได้กว้างมาก

รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ (Ultrasonic flow meter)

3) เครื่องวัดระดับความส่องสว่าง (Lux Meter)

เครื่องมือวัดระดับความส่องสว่างเป็นเครื่องมือวัดการส่องสว่างของแสง มีหน่วยเป็นแรงเทียน หรือลักซ์ การวัดอาศัยเซลล์ที่ไวต่อแสงแปลงระดับความส่องสว่างเป็นแรงดันไฟฟ้า เหมาะกับการใช้วัดความส่องสว่างตามจุดต่างๆ โดยระดับของแสงที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบการใช้พลังงานจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 1,000 แรงเทียน

รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดระดับความส่องสว่าง (Lux Meter)

4) เกจความดันแบบท่อบูร์ดอง (Bourdon tube pressure gauge)

เกจความดันแบบท่อบูร์ดอง ถูกตั้งชื่อตาม “Eugene Bourdon” ผู้คิดค้นเซนเซอร์ชนิดนี้ ซึ่งต่อมาภายหลังได้กลายมาเป็นเซนเซอร์ตรวจวัดความดันชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนของท่อจะทำมาจากวัสดุจำพวกโลหะผสม เช่น เหล็กสแตนเลส หรือ ทองเหลือ เป็นต้น ลักษณะเป็นท่อที่มีรูปทรงหน้าตัดเป็นวงรีหรือเป็นวงไข่ โดยปลายท่อด้านหนึ่งของท่อจะถูกปิดไว้ รูปแบบของท่อมีหลากหลายลักษณะ เช่น ขดเป็นวงก้นหอย ขดเป็นวง และ ขดเป็นเกลียว

รูปที่ 3.7 เกจความดันแบบท่อบูร์ดอง (Bourdon tube pressure gauge)

5) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

รูปที่ 3.8 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

6) ตลับเมตร ใช้วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของอุปกรณ์

รูปที่ 3.9 ตลับเมตร

3.4.2 การตรวจวัดเครื่องสูบน้ำเย็น

วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดเครื่องสูบน้ำเย็น

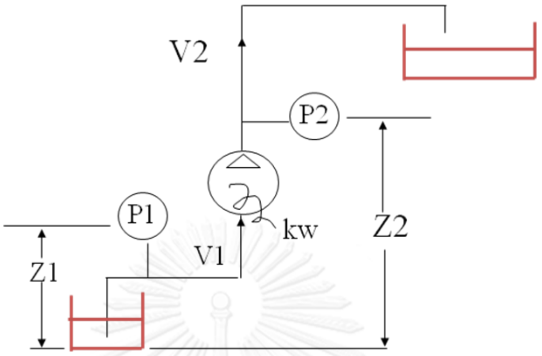
1) ใช้เกจวัดความดันด้านดูดและความดันด้านจ่ายของเครื่องสูบน้ำเย็น

2) ใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Ultrasonic flow meter) วัดอัตราการไหลของน้ำเย็นในท่อ

3) ใช้เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Meter) วัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำเย็น

4) โดยวัดตามตำแหน่งที่แสดงตามรูปที่ 3.10

5) สามารถคำนวณประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำเย็นได้โดยใช้สูตรในตารางที่ 3-12 และ ได้ผลการคำนวณประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำเย็นดังตารางที่ 3-13



รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมแสดงตำแหน่งตรวจวัด

ตารางที่ 3-12 สูตรที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเย็น

ตัวแปร	สัญลักษณ์	สูตร	หน่วย
น้ำหนักจำเพาะ	γ		N/m^3
ความเร็วด้านดูด	V_1	$V_1 = Q/(\pi D_1^2/4)$	m/s
ความเร็วด้านจ่าย	V_2	$V_2 = Q/(\pi D_2^2/4)$	m/s
กำลังงานน้ำด้านออกเครื่องสูบ	$W_{out,\,p}$	$W_{out,\,p} = Q\Delta P_{eq}$	kW
กำลังงานกลด้านเข้าเครื่องสูบ	$W_{in,\,p}$	$W_{in,\,p} = \eta_m W_{in,\,m}$	kW
Total Dynamic Head	TDH	$TDH = ((P_2 - P_1)/\gamma) + (V_2^2 - V_1^2)/2g + (Z_2 - Z_1)$	m
กำลังไฮดรอลิก	P_H	$P_H = \gamma * Q * TDH$	kW
ประสิทธิภาพเครื่องสูบ	η_p	$\eta_p = 100 P_H / W_{in,\,p}$	%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3-13 ตารางผลการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเย็น

ตัวแปรที่ตรวจวัด	**สัญลักษณ์**	**ค่าที่ตรวจวัด**	**หน่วย**
สภาวะการเปิดวาล์ว	%	100	%
กำลังไฟฟ้าด้านเข้ามอเตอร์เครื่องสูบน้ำ	$W_{in, m}$	50.97	kW
ความถี่ไฟฟ้าด้านเข้ามอเตอร์	f	50	Hz
ความดันด้านดูด	P_1	90	psi
ความดันด้านจ่าย	P_2	152	psi
อัตราการไหล	Q	0.094	m^3/s
ขนาดท่อด้านดูด	D_1	8	in
ขนาดท่อด้านจ่าย	D_2	6	in
ผลต่างของความสูงด้านจ่ายและด้านดูด	$Z_2 - Z_1$	0.1	m
ประสิทธิภาพมอเตอร์	η_m	0.85	%

จากความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (N) อัตราการไหล (Q) ความดันของปั๊ม (H) และพลังงานของปั๊ม (P) จะได้ว่า

อัตราการไหล (Q) แปรผันตามความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ (N) ดังสมการ

$$Q = KN \qquad ..... (2.13)$$

ความดันของปั๊ม (H) แปรผันกับอัตราการไหล (Q) ยกกำลังสองดังสมการ

$$H = KQ^2 \qquad ..... (2.14)$$

กำลังงานของปั๊ม (P) เท่ากับ อัตราการไหล (Q) คูณกับความดันของปั๊ม (H) ดังสมการ

$$P = K \times H \times Q \quad \text{หรือ} \quad P = const.Q^3 \qquad ..... (2.15)$$

Affinity Laws แสดงถึงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอัตราการไหล (flow) ความเร็วของเครื่องสูบน้ำ (pump speed) ความดัน (head) และกำลังงานทางกลที่ใช้ (power consumption) สำหรับเครื่องสูบน้ำ จากสมการข้างต้นจะได้ความสัมพันธ์ตามกฎของ Affinity Laws ดังนี้

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{N1}{N2} \quad ..... (2.16)$$

$$\frac{H1}{H2} = \left[\frac{N1}{N2}\right]^2 \quad ..... (2.17)$$

$$\frac{P1}{P2} = \left[\frac{N1}{N2}\right]^3 \quad ..... (2.18)$$

โดยที่

Q	=	อัตราการไหล (flow) (m^3/s)
N	=	ความเร็วของเครื่องสูบน้ำ (pump speed) (Hz)
H	=	ความดัน (head) (m)
P	=	กำลังงานทางกลที่ใช้ (power) (kW)

จากกฎดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแม้แต่อัตราการไหลลดลงเพียงเล็กน้อยจะช่วยลดกำลังที่ต้องการลงได้อย่างมาก นั่นหมายถึงพลังงานที่ต้องใช้ที่ลดลงด้วย กฎดังกล่าวเป็นพื้นฐานของการประหยัดพลังงาน

3.4.3 การตรวจวัดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์

วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์

1) ใช้เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Meter) วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของคอมเพรสเซอร

2) อ่านค่าอุณหภูมิเข้าใกล้ (Approach Temperature) ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้านออกและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นด้านคอนเดนเซอร์ จากหน้าจอแสดงผลแบบดิจิตอลของเครื่องทำน้ำเย็น

3) หาความสัมพันธ์เส้นตรงระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิเข้าใกล้ก่อนและหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ที่ภาระทำความเย็นเท่ากัน

4) คำนวณผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่ใช้

3.4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องปรับอากาศนอกเวลา

1) เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานอาคารนอกเวลาทำการดังนี้

- หน่วยงานและพื้นที่ที่มีการใช้งานอาคารนอกเวลาทำการ
- จำนวนชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำภายในอาคารนอกเวลาทำการเฉลี่ยในรอบ 1 ปี

2) สำรวจพื้นที่ที่มีการทำงานนอกเวลาทำการบ่อยครั้ง เพื่อกำหนดพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมสำหรับเปิดใช้งานนอกเวลา

3) คำนวณพื้นที่ห้องที่จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมสำหรับเปิดใช้งานนอกเวลา

4) คำนวณขนาดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่เหมาะสมกับขนาดของห้อง

3.4.5 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

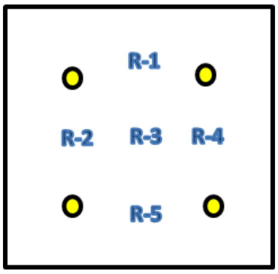
การตรวจวัดความเข้มแสงสว่างภายในอาคาร วิธีการตรวจวัดโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ วัดที่จุดทำงาน และวัดแบบค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั่วไป

1) การวัดแบบจุด (Spot Measurement)

เป็นการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างบริเวณที่ลูกจ้างต้องทำงานโดยใช้สายตาเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาอยู่กับที่ในการทำงาน ตรวจวัดในจุดที่สายตากระทบชิ้นงานหรือจุดที่ทำงานของคนงาน (Point of Work) โดยวางเครื่องวัดแสงในแนวระนาบเดียวกับชิ้นงาน หรือพื้นผิวที่สายตาตกกระทบแล้วอ่านค่า

2) การวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไป (Area Measurement)

เป็นการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างในบริเวณพื้นที่ทั่วไปภายในสถานประกอบกิจการ เช่น ทางเดิน และบริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตที่ลูกจ้างทำงาน โดยแบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็น 2 x 2 m^2 โดยถือเซลรับแสงในแนวระนาบสูงจากพื้น 30" (75 cm) แล้วอ่านค่า (ในขณะที่วัดนั้นต้องมิให้เงาของผู้วัดบังแสงสว่าง) โดยทำการตรวจวัดที่ตำแหน่งดังรูปที่ 3.11 นำค่าที่ตรวจวัดได้มาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมแสดงตำแหน่งจุดตรวจวัด

○ = ตำแหน่งหลอดไฟ

R = ตำแหน่งวัดค่าความเข้มแสงสว่าง

$$\text{ความเข้มแสงสว่างเฉลี่ย } (Lux) = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_N \text{ (Lux)}}{N} \qquad \text{..... (2.20)}$$

โดยที่

R = ค่าความเข้มแสงสว่าง (Lux)

N = จำนวนจุดตรวจวัด (จุด)

ตารางที่ 3-14 ตารางผลการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างจากหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W และหลอด LED ขนาด 18 W

ค่าความเข้มแสงสว่าง (Lux)			
สถานที่ตรวจวัด	**จุดที่**	**หลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W**	**หลอด LED ขนาด 18 W**
ห้องประชุม 1002 ชั้น 10 อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย	1	700	430
	2	740	440
	3	790	520
	4	800	510
	5	820	450
	6	600	470
	7	580	460
	8	590	460
	9	590	520
	10	700	510
	11	720	490

ค่าความเข้มแสงสว่าง (Lux)			
สถานที่ตรวจวัด	**จุดที่**	**หลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W**	**หลอด LED ขนาด 18 W**
ห้องประชุม 1002 ชั้น 10 อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย	12	710	480
	13	780	520
	14	760	430
	15	630	510
	16	690	520
	ค่าเฉลี่ย	700	483

3.4.6 การเก็บรวบรวมข้อมูลกรอบอาคาร

1) ศึกษาแปลนอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยเพื่อดูรายละเอียดของโครงสร้างและวัสดุกรอบอาคาร

2) คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ก่อนการปรับปรุง

3) คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ได้โดยใช้สมการที่ 2.3 และ 2.4

4) หาแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV)

5) คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) หลังการปรับปรุง

บทที่ 4
วิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัย

การศึกษาการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย และใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมกับการใช้งานภายในอาคารฯ เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารฯ และทำการตรวจวัดค่าต่างๆ เช่น การตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง การตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องสูบน้ำ เพื่อนำผลที่ได้จากการตรวจวัดมาใช้ประกอบการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารฯ และใช้ในการคำนวณผลประหยัดในแต่ละมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีผลการศึกษาดังนี้

4.1 การจัดการพลังงานในระบบปรับอากาศ

4.1.1 มาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยมีการใช้งานระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยทำน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นส่งไปยังส่วนต่างๆ ภายในอาคารด้วยเครื่องสูบน้ำเย็น ซึ่งประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำเย็นขนาด 55.93 kW (75 HP) จำนวน 3 เครื่อง เพื่อใช้ในระบบปรับอากาศและเครื่องจักร ซึ่งขนาดของเครื่องสูบน้ำถูกออกแบบมาให้ครอบคลุมปริมาณการใช้ทั้งหมด จากข้อมูลสเปคของเครื่องทำน้ำเย็นพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีอัตราการไหลของน้ำ (Q2) เท่ากับ 0.063 m^3/s (830 GPM) และจากผลการตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องสูบน้ำเย็นได้ความถี่ไฟฟ้า เท่ากับ 50 Hz และอัตราการไหลของน้ำ (Q1) เท่ากับ 0.094 m^3/s (1,240 GPM)

จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหลของน้ำที่ตรวจวัดได้เท่ากับ 0.094 m^3/s มีค่ามากกว่าอัตราการไหลของน้ำที่กำหนดในสเปคของเครื่องทำน้ำเย็นเท่ากับ 0.063 m^3/s ดังนั้นเพื่อปรับอัตราการไหลของน้ำให้เหมาะสมกับเครื่องทำน้ำเย็นจึงควรติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD) ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น

2) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ในระบบน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระการใช้งานอยู่ตลอดเวลา อัตราการไหลของน้ำจากเครื่องสูบน้ำจะมีค่าปรับเปลี่ยนไปตามความต้องการของระบบ โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นจากการปรับหรี่วาล์วสามารถทำได้ทั้งการปรับหรี่แบบอัตโนมัติและปรับหรี่โดยใช้คน การปรับหรี่วาล์วนี้จะสร้างให้เกิดแรงดันต้านในระบบและเกิดการสูญเสียพลังงานที่วาล์ว ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ

มอเตอร์ (Variable Speed Drive – VSD) กับเครื่องสูบน้ำจะเป็นการปรับอัตราการไหลของน้ำให้ลดลงได้โดยไม่ต้องปรับหรี่วาล์วเพื่อสร้างความดันต้านการไหลของน้ำขึ้นในระบบ ทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้

อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ทำงานโดยอาศัยหลักการปรับความถี่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไป โดยความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงไปของมอเตอร์จากการเปลี่ยนความถี่จะทำให้อุปกรณ์ที่ต่อใช้งานอยู่กับมอเตอร์ เช่น เครื่องสูบน้ำ หรือพัดลม มีความเร็วรอบลดลงตามไปด้วย มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์โดยรวมลดลง

จากความสัมพันธ์ตามกฎของ Affinity Laws

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{N1}{N2}$$

โดยการประมาณความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำใกล้เคียงกับความถี่ไฟฟ้า จะได้

$$\mathrm{N2} = \frac{N1 \times Q2}{Q1}$$

$$\mathrm{N2} = \frac{50 \times 0.063}{0.094}$$

$$\mathrm{N2} = 33.51$$

ดังนั้น ความเร็วของเครื่องสูบน้ำหลังติดตั้ง VSD เท่ากับ 33.51 Hz

$$\frac{H1}{H2} = \left[\frac{N1}{N2}\right]^2$$

จะได้

$$\mathrm{H2} = H1 \times \left[\frac{N2}{N1}\right]^2$$

$$\mathrm{H2} = 44.60 \times \left[\frac{33.51}{50}\right]^2$$

$$\mathrm{H2} = 20.03$$

ดังนั้น ความดันของเครื่องสูบน้ำหลังติดตั้ง VSD เท่ากับ 20.03 m

$$\frac{P1}{P2} = \left[\frac{N1}{N2}\right]^3$$

จะได้

$$\mathrm{P2} = P1 \times \left[\frac{N2}{N1}\right]^3$$

$$\mathrm{P2} = 50.97 \times \left[\frac{33.51}{50}\right]^3$$

$$\mathrm{P2} = 15.34$$

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้หลังติดตั้ง VSD เท่ากับ 15.34 kW

กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = กำลังไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้ก่อนติดตั้ง VSD - กำลังไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้หลังติดตั้ง VSD

กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 50.97 – 15.34 = 35.63 kW

ดังนั้น สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 35.63 kW

3) <u>ผลการตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องสูบน้ำเย็น</u>

เมื่อทำการวัดค่าการทำงานของเครื่องสูบน้ำเย็นก่อนติดตั้ง VSD เครื่องสูบน้ำมีความถี่ 50 Hz ใช้กำลังไฟฟ้า 50.97 kW ความดันด้านดูด 620.53 KPa ความดันด้านจ่าย 1,048 KPa อัตราการไหล 0.094 m^3/s สามารถคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเย็นได้ 94.93 %

ตารางที่ 4-1 ผลการตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องสูบน้ำเย็น

ตัวแปรที่ตรวจวัด	**ค่าที่ตรวจวัด**	**หน่วย**
สภาวะการเปิดวาล์ว	100	%
กำลังด้านเข้ามอเตอร์เครื่องสูบน้ำเย็น	50.97	kW
ความถี่ไฟฟ้าด้านเข้ามอเตอร์	50	Hz
ความดันด้านดูด	620.53	kPa
ความดันด้านจ่าย	1,048	kPa
อัตราการไหล	0.094	m^3/s
ขนาดท่อด้านจ่าย	6	in
ขนาดท่อด้านดูด	8	in

ตัวแปรที่ตรวจวัด	ค่าที่ตรวจวัด	หน่วย
ผลต่างของความสูงด้านจ่ายและด้านดูด	0.1	m
Total Dynamic Head	44.60	m
กำลังงานน้ำด้านออกเครื่องสูบ	41.13	kW
กำลังงานกลด้านเข้าเครื่องสูบ	43.32	kW
ประสิทธิภาพมอเตอร์	85	%
ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำเย็น	94.93	%

4) <u>ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น</u>

มาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง	50.97	kW
กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง	15.34	kW
จำนวนเครื่องสูบน้ำเย็น	3	pcs.
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ลดลง	106.89	kW
สัดส่วนการทำงานของปั๊ม	100	%
ชั่วโมงทำงานต่อวัน	8	hr/day
วันทำงานต่อปี	250	day/year
ชั่วโมงทำงานต่อปี	2,000	hr/year
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	213,780	kWh/year
ผลประหยัดที่ได้		
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	3.82	Baht/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	816,640	Baht/year

5) <u>การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินจากมาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น</u>

ในการลงทุนสำหรับการติดตั้งระบบ VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น จำนวน 3 เครื่อง รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งประมาณ 263,500 บาท โดยมีอายุการใช้งาน 10 ปี สามารถคำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% ได้ดังตารางที่ ก-1 ในภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากมาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็นจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 6,037,813 บาท ค่าอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) เท่ากับ 326.43% และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 0.34 ปี

4.1.2 มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยมีการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 350 Ton โดยปกติอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยบำรุงรักษาคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นโดยวิธีหยุดล้างทำความสะอาดโดยใช้แปรงและน้ำยาทำความสะอาดตามระยะเวลาประมาณปีละ 1 ครั้ง จากผลการตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นพบว่าค่า Approach Temp ที่ได้จากการตรวจวัดก่อนทำความสะอาดคอนเดนเซอร์มีค่าสูงประมาณ 9.6 °F โดยค่าที่สูงขึ้นเกิดจากท่อน้ำภายในคอนเดนเซอร์เริ่มสกปรก หรือมีตะกรันจับที่ผิวด้านในคอนเดนเซอร์ทำให้ระบายความร้อนได้น้อยลง ความดันในระบบสารทำความเย็นสูงขึ้น เครื่องทำน้ำเย็นจะมีประสิทธิภาพลดลงส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปอาจต้องใช้พลังงานในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 10 - 25% (17) ดังนั้นเพื่อช่วยให้คอนเดนเซอร์มีประสิทธิภาพการใช้งานดังเดิมหรือใกล้เคียงเดิมสามารถทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อัตโนมัติเพื่อทำความสะอาดตามระยะเวลา นอกจากนั้นยังช่วยลดความถี่ในการหยุดเดินเครื่องทำน้ำเย็นลงอีกด้วย

2) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

โดยทั่วไปการรักษาสภาพคอนเดนเซอร์จะกำหนดให้มีการล้างทำความสะอาดท่อน้ำภายในคอนเดนเซอร์เป็นระยะๆ อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้งโดยการเปิดคอนเดนเซอร์แล้วใช้อุปกรณ์สอดเข้าไปขัดทำความสะอาดภายในท่อ แต่ปัจจุบันมีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ขึ้นมาโดยการใช้ระบบทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อัตโนมัติ (Automatic Condenser Cleaning) โดยใช้หลักการทางกลคือจะใช้ลูกบอลเป็นตัวทำความสะอาดคอนเดนเซอร์โดยไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องทำน้ำเย็น

การติดตั้งระบบทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อัตโนมัติชนิดที่ใช้ลูกบอลฟองน้ำเป็นตัวกลางในการทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบเครื่องทำน้ำเย็น โดยลูกบอลดังกล่าวจะไหลไปตามกระแสน้ำระบายความร้อนด้านคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อลูกบอลฟองน้ำไหลผ่านท่อน้ำระบายความร้อนภายในคอนเดนเซอร์ ลูกบอลฟองน้ำจะทำหน้าที่ขัดล้างทำความสะอาดคราบสกปรกต่างๆ ที่เกาะอยู่บนผิวของท่อภายในคอนเดนเซอร์จนสะอาด เช่น คราบตะกอนตะกรัน หรือรา เป็นต้น ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นและน้ำหล่อเย็นมี

ประสิทธิภาพสูงคงที่ ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีการใช้พลังงานต่ำลงและประสิทธิภาพสูงคงที่ โดยลูกบอลที่ออกมาจากคอนเดนเซอร์จะกลับเข้าสู่ถังพักลูกบอลเพื่อรอการปล่อยออกไปทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ฟองน้ำในรอบต่อไปวนเป็นวัฏจักร

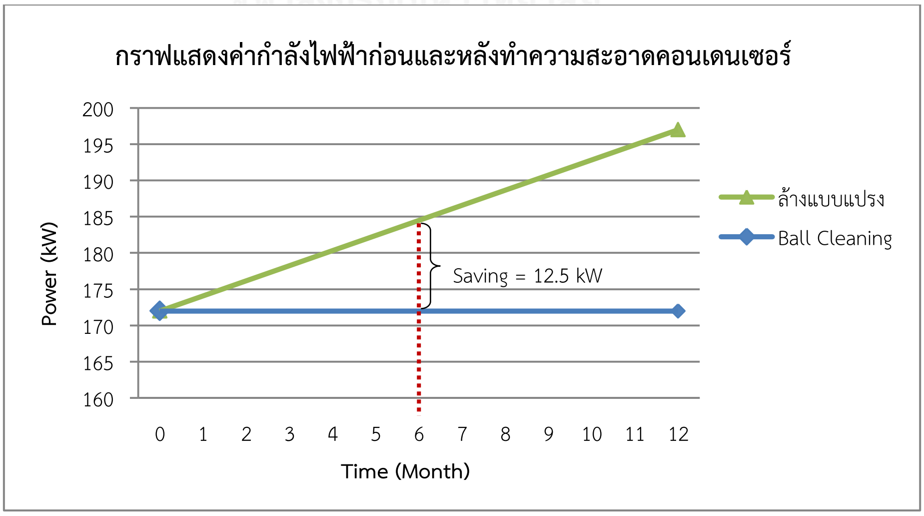
3) ผลการตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น

ตารางที่ 4-2 ผลการตรวจวัดค่าการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนและหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์โดยใช้แปรงทำความสะอาด

	Approach Temp (°F)	กำลังไฟฟ้า (kW)
ก่อนทำความสะอาดคอนเดนเซอร์	9.6	197
หลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์	0.8	172

สมมติฐาน การวิเคราะห์การประหยัดพลังงานและผลตอบแทนทางด้านการเงินของมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอลมีสมมติฐานดังนี้

- ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์แบบปกติ (แบบใช้แปรงทำความสะอาด) 1 ครั้งต่อปี
- ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อใช้อุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอลมีค่าคงที่ตลอดทั้งปี
- ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อใช้การทำความสะอาดคอนเดนเซอร์แบบปกติ (แบบใช้แปรงทำความสะอาด) มีค่าลดลงตามระยะเวลาแบบเส้นตรง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าก่อนและหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์

หมายเหตุ เดือนที่ 0 หมายถึง หลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์

เดือนที่ 12 หมายถึง ก่อนทำความสะอาดคอนเดนเซอร์

4) ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล

มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	12.5	kW
จำนวนเครื่องคอนเดนเซอร์	3	pcs.
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ลดลง	37.5	kW
ชั่วโมงทำงานต่อปี	2,700	hr/year
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	101,250	kWh/year
ผลประหยัดที่ได้		
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	3.82	Baht/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	386,775	Baht/year
ค่าล้างท่อด้วยแปรงที่ประหยัดได้ 1 ครั้งต่อปี	32,000	Baht/year
รวมผลประหยัด	418,775	Baht/year

5) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินจากมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล

ในการลงทุนสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอลจำนวน 3 เครื่อง รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งประมาณ 720,000 บาท โดยมีอายุการใช้งาน 10 ปี สามารถคำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% ได้ดังตารางที่ ก-2 ในภาคผนวก ก

จากมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอลจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 1,942,067 บาท ค่าอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) เท่ากับ 53.59% และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 2.28 ปี

4.1.3 มาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

จากการสำรวจข้อมูลช่วงเวลาการใช้งานอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย พบว่ามีการใช้งานอาคารฯ ในช่วงเวลาทำการ คือ วันจันทร์ - วันศุกร์ เวลา 08.30 – 16.30 น. แต่บางครั้งที่บางหน่วยงานจะต้องปฏิบัติงานนอกช่วงเวลาดังกล่าว จึงต้องมีการเปิดใช้งานระบบปรับ

อากาศ เนื่องจากอาคารฯ มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจะต้องเดินเครื่องทั้งระบบซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็น จึงมีแนวคิดที่จะทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในอาคารฯ สำหรับการใช้งานนอกเวลาทำการปกติ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจากการเดินระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

2) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ทำการสำรวจและกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมสำหรับการใช้งานนอกช่วงเวลาทำการ โดยในการเลือกพื้นที่จะเลือกพื้นที่ที่มีการทำงานนอกเวลาปกติบ่อยครั้ง จากการสำรวจพื้นที่พบว่าบริเวณชั้น 3 ห้อง A มีพื้นที่ 117 m^2 และบริเวณชั้น 7 ห้อง B มีพื้นที่ 67 m^2 และห้อง C มีพื้นที่ 32 m^2 มีความเหมาะสมที่จะใช้สำหรับการปฏิบัติงานนอกเวลาปกติ โดยในการเลือกเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจะต้องคำนึงถึงขนาดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศให้มีความเหมาะสมกับขนาดและรูปแบบการใช้งานของห้องดังกล่าว สามารถพิจารณาขนาดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่เหมาะสมกับขนาดและการใช้งานของห้องดังกล่าวได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 บริเวณที่จะทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมและขนาดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสม

สถานที่	**ขนาดห้อง (m^2)**	**ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)**	**ขนาดเครื่องทำความเย็น (Btu/hr)**	**จำนวน (เครื่อง)**
ห้อง A ชั้น 3	117	81,532.85	30,000	2
			22,000	1
ห้อง B ชั้น 7	67	46,807.60	24,000	2
ห้อง C ชั้น 7	32	21,873.60	22,000	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) <u>ผลการตรวจวัดค่าการทำงานของระบบปรับอากาศที่เปิดใช้นอกเวลาทำการ</u>

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการใช้งานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำที่เปิดใช้นอกเวลาทำการพบว่า มีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำในช่วงวันธรรมดาหลังเวลาทำการปกติ วันเสาร์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ เฉลี่ยประมาณ 700 ชั่วโมงต่อปี โดยจะเปิดใช้งานระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำขนาดทำความเย็น 350 Ton เพียง 1 ชุด โดยเดินเครื่องประมาณ 40% รายละเอียดดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำนอกเวลาทำการ

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	COP (W/W)	W	kW	kWh
1,680,000	2.43	202,344.31	202.34	141,641.01

สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำนอกเวลาทำการได้เท่ากับ 202.34 kW คิดเป็น 141,641.01 kWh หรือค่าไฟฟ้า 541,068.67 บาทต่อปี

เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่จะทำการติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อใช้งานนอกเวลาทำการได้ข้อมูลดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนอกเวลาทำการ

ขนาดทำความเย็น (Btu/hr)	EER (Btu/hr/W)	W	kW	kWh	ค่าไฟฟ้า (บาท)
22,000	12.31	1,787.16	1.79	1,251.02	4,778.88
24,000	13.23	1,814.06	1.81	1,269.84	4,850.79
30,000	12.03	2,493.77	2.49	1,745.64	6,668.33
รวม		6,094.99	6.09	4,266.50	16,298

จากมาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 22,000 24,000 และ 30,000 Btu/hr อย่างละ 2 เครื่อง รวมทั้งหมด 6 เครื่อง สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนอกเวลาทำการได้เท่ากับ 12.19 kW คิดเป็น 8,533 kWh หรือค่าไฟฟ้า 32,596 บาทต่อปี

4) <u>ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง	202.34	kW
กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง	12.19	kW
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ลดลง	190.15	kW
ชั่วโมงทำงานต่อปี	700	hr/year
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	133,105	kWh/year
ผลประหยัดที่ได้		
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	3.82	Baht/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	508,461	Baht/year

5) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินจากมาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา

ในการลงทุนสำหรับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบริเวณห้อง A ชั้น 3 ห้อง B ชั้น 7 และห้อง C ชั้น 7 รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งประมาณ 213,400 บาท โดยมีอายุการใช้งาน 10 ปี สามารถคำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% ได้ดังตารางที่ ก-3 ในภาคผนวก ก

จากมาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลาจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 3,680,479 บาท ค่าอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) เท่ากับ 250.26% และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 0.44 ปี

4.2 การจัดการพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

4.2.1 มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยมีการติดตั้งหลอดไฟฟ้าในบริเวณต่างๆ ทั่วทั้งอาคารทั้งในส่วนของสำนักงาน ห้องประชุม ห้องนิทรรศการ ทางเดิน ฯลฯ โดยหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารฯ ส่วนใหญ่เป็นหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W มีจำนวนทั้งสิ้น 3,408 หลอด โดยบัลลาสต์ที่ใช้เป็นบัลลาสต์แกนเหล็ก มีการเปิดใช้งานหลอดไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีวันทำการ 250 วันต่อปี

2) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าส่งผลให้ผู้ผลิตได้มีการพัฒนาและคิดค้นหลอดไฟฟ้าประหยัดพลังงานอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับมีการส่งเสริมให้มีการใช้หลอด LED (Light Emitting Diode) กันมากยิ่งขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอด LED และหลอด Fluorescent ชนิด T8 พบว่า หลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W ให้ค่าความสว่างอยู่ที่ประมาณ 2,400 – 2,700 lm ขึ้นอยู่กับประเภทสีของหลอดไฟ ในขณะที่หลอด LED ขนาด 18 W ให้ค่าความสว่างอยู่ที่ประมาณ 1,800 – 2,600 lm ขึ้นอยู่กับประเภทสีของหลอดไฟ ในการพิจารณาเปลี่ยนชนิดหลอดไฟมีสาเหตุมาจากหลอด LED ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าหลอด Fluorescent ชนิด T8 ในขณะที่ให้ค่าความสว่างในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าหลอด LED จะให้ค่าความสว่างน้อยกว่า Fluorescent ชนิด T8 อยู่เล็กน้อยก็ตาม แต่ด้วยเหตุผลที่ว่า Fluorescent ชนิด T8 เป็นหลอดไฟที่ให้แสงสว่างโดยรอบหลอดไฟจึงมีการสูญเสียความสว่างไปส่วนหนึ่งเมื่อแสงสว่างสะท้อนไปยังโคมไฟแตกต่างจากหลอด LED ที่ให้แสงสว่างส่องตรงจุดพื้นที่ใช้งานเลย และนอกจากนี้หลอด LED ยังมีประโยชน์อีกมากมายหลายประการไม่ว่าจะเป็นมีอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 50,000 – 100,000 ชั่วโมง สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 75% มีการปล่อยความร้อนน้อย ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และช่วยลดภาระโลกร้อน สามารถเปิดปิดได้บ่อยครั้งโดยไม่มีปัญหาหลอดขาดหรือเสียง่ายเหมือนหลอด Fluorescent และนอกจากนี้ยังให้ความสว่างได้ทันทีเมื่อเปิดสวิตซ์ เทคโนโลยีหลอดแสงสว่างแบบ LED มีการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องจนปัจจุบันมีการพัฒนาให้หลอด LED มีคุณภาพของสีและแสงได้เทียบเท่ากับหลอด Fluorescent แต่ให้ความสว่างมากยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาจากข้อมูลข้างต้นจึงมีแนวคิดที่จะทำการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารฯ

3) ผลการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

เมื่อทำการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W และบัลลาสต์ขนาด 10 W 3,050 lm จำนวน 18 หลอด พบว่าได้ค่าความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 700 Lux และตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของ LED ขนาด 18 W 2,000 lm จำนวน 18 หลอด พบว่าได้ค่าความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 483 Lux ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ผลการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W และหลอด LED ขนาด 18 W บริเวณห้องประชุม 1002

ค่าความเข้มแสงสว่าง (Lux)			
สถานที่ตรวจวัด	**จุดที่**	**หลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W**	**หลอด LED ขนาด 18 W**
ห้องประชุม 1002	1	700	430
ชั้น 10	2	740	440
อาคารสำนักงานใหญ่การ	3	790	520
ท่าเรือแห่งประเทศไทย	4	800	510
	5	820	450
	6	600	470
	7	580	460
	8	590	460
	9	590	520
	10	700	510
	11	720	490
	12	710	480
	13	780	520
	14	760	430
	15	630	510
	16	690	520
	ค่าเฉลี่ย	700	483

จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ของหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W เท่ากับ 700 Lux มีค่าสูงเกินความจำเป็น และค่าความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ของหลอด LED ขนาด 18 W เท่ากับ 483 Lux เมื่อพิจารณาจากการใช้งานแล้ว พบว่าค่าความเข้มแสงสว่างที่ตรวจวัดได้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานตามเกณฑ์มาตรฐานระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานภายในอาคารตามข้อแนะนำของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย ที่กำหนดให้พื้นที่สำนักงานต้องมีความสว่างอยู่ระหว่าง 300 - 500 Lux ดังนั้นการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W มาเป็นหลอด LED ขนาด 18 W จะสามารถลด

กำลังไฟฟ้าลงเหลือเพียง 18 W ต่อหลอด และสามารถลดกำลังไฟฟ้าส่องสว่างติดตั้งต่อพื้นที่ใช้สอยรวมเหลือเพียง 6.32 W/m^2 จากเดิม 9.97 W/m^2

4) <u>ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED</u>

มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง	0.046	kW
กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง	0.018	kW
จำนวนหลอดไฟฟ้า	3,408	pcs.
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ลดลง	95.424	kW
ชั่วโมงทำงานต่อวัน	8	hr/day
วันทำงานต่อปี	250	day/year
ชั่วโมงทำงานต่อปี	2,000	hr/year
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	190,848	kWh/year
ผลประหยัดที่ได้		
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	3.82	Baht/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	729,039	Baht/year

5) <u>การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินจากมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการลงทุนติดตั้งหลอด LED ทดแทนหลอด Fluorescent จำนวน 3,408 หลอด รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งประมาณ 1,363,200 บาท (ราคาหลอด LED ขนาด 18 W รวมค่าติดตั้งประมาณ 400 บาทต่อหลอด) โดยมีอายุการใช้งาน 5 ปี สามารถคำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% ได้ดังตารางที่ ก-4 ในภาคผนวก ก

จากมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED จะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 1,805,324 บาท ค่าอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) เท่ากับ 52.27% และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 2.01 ปี

4.3 การจัดการพลังงานในส่วนกรอบอาคาร

4.3.1 มาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยเป็นอาคารสูง 19 ชั้น ดาดฟ้าอาคารมีพื้นที่ 592 m^2 เนื่องจากหลังคาอาคารฯ เป็นดาดฟ้าโล่งโดยพื้นดาดฟ้าเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารมีค่าสูง และจากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ได้เท่ากับ 21.33 W/m^2 จะเห็นได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่คำนวณได้มีค่าเกินกว่าเกณฑ์ประสิทธิภาพของกรอบอาคารที่กฎหมายกำหนดที่กำหนดให้อาคารสำนักงานและสถานศึกษามีค่า RTTV ไม่เกิน 15 W/m^2

2) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

อาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดจะส่งผลให้เครื่องปรับอากาศบริเวณชั้นบนสุดทำงานหนัก วิธีการในการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การใช้แผ่นสะท้อนความร้อนแบบแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ การติดฉนวนกันความร้อน การทาสีกันความร้อนชนิดเซรามิคโค้ตติ้ง เป็นต้น ในกรณีนี้จะทำการติดฉนวนกันความร้อนแบบฉนวนใยแก้ว (Glass Wool) ที่ฝ้าเพดาน โดยที่ฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ ช่วยต้านทานหรือป้องกันไม่ให้ความร้อนผ่านจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งได้อย่างสะดวก การพิจารณาคุณสมบัติของฉนวนมีหลายประการ ได้แก่ ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ความทนต่อการติดไฟ และ กำลังรับแรงอัด (Compressive strength) การเลือกชนิดของของฉนวนจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณฝ้าเพดานจะช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารลงได้ และยังเป็นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศอีกด้วย

3) <u>ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร</u>

เมื่อทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 21.33 W/m^2 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) หลังการปรับปรุงเท่ากับ 9.02 W/m^2 ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ก่อนและหลังการปรับปรุง

ประเภทอาคาร	**ค่า RTTV (W/m^2)**		
สำนักงาน	เกณฑ์ศักยภาพขั้นต่ำ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
	ไม่เกิน 15	21.33	9.02

ตารางที่ 4-8 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของหลังคาอาคารก่อนการปรับปรุง

หลังคา	**รายละเอียด**	**องค์ประกอบ**	**ความหนา** (m)	DSH $kJ/(m^2.°C)$	k (W/m.°C)	**ρ** (kg/m^3)	Cp (kJ/kg.°C)	R ($°C.m^2/W$)	U ($W/m^2.°C$)
หลังคา 1	R air out							0.055	
	พื้น คสล.	คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.120	264.960	1.442	2,400.00	0.920	0.083	
	ช่องว่างอากาศ		4.700	5.668		1.20	1.005	0.458	
	ฝ้าเพดาน	แผ่นยิบซั่มหนา 9 mm	0.009	7.848	0.282	800.00	1.090	0.032	
	R air in							0.162	
รวม			4.829	278.476	1.724	3,201.20	3.015	0.790	1.27
หลังคา 2	R air out							0.055	
	พื้น คสล. ผิวขัดมันเรียบ ผสมน้ำยากันซึม	คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.150	331.200	1.442	2,400.00	0.920	0.104	
	ช่องว่างอากาศ		4.700	5.668		1.20	1.005	0.458	
	ฝ้าเพดาน	แผ่นยิบซั่มหนา 9 mm	0.009	7.848	0.282	800.00	1.090	0.032	
	R air in							0.162	
รวม			4.859	344.716	1.724	3,201.20	3.015	0.811	1.23

ตารางที่ 4-9 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารก่อนการปรับปรุง

ทิศ	**ผนัง**	**มุมเอียง (องศา)**	**พื้นที่หลังคา** (m^2)	U ($W/m^2°C$)	DSH $kJ/(m^2.°C)$	TDeq (°C)	RTTV (W/m^2)
ระนาบ	หลังคา 1	0	372	1.27	278.476	17.3	21.89
	หลังคา 2	0	220	1.23	344.716	16.5	20.39
รวม	[(21.89x372)+ (20.33x220)]/(372+220)		592				21.33

ตารางที่ 4-10 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของหลังคาอาคารหลังการปรับปรุง

หลังคา	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	DSH kJ/(m^2.°C)	k (W/m.°C)	ρ (kg/m^3)	Cp (kJ/kg.°C)	R (°C.m^2/W)	U (W/m^2.°C)
หลังคา 1	R air out							0.055	
	พื้น คสล.	คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.120	264.960	1.442	2,400.00	0.920	0.083	
	ช่องว่างอากาศ		4.650	5.608		1.20	1.005	0.458	
	ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 10 kg/m^3		0.050	0.480	0.046	10.00	0.960	1.087	
	ฝ้าเพดาน	แผ่นยิบซั่มหนา 9 mm	0.009	7.848	0.282	800.00	1.090	0.032	
	R air in							0.162	
รวม			4.829	278.896	1.770	3,211.20	3.975	1.877	0.53
หลังคา 2	R air out							0.055	
	พื้น คสล. ผิวขัดมันเรียบ ผสมน้ำยากันซึม	คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.150	331.200	1.442	2,400.00	0.920	0.104	
	ช่องว่างอากาศ		4.650	5.608		1.20	1.005	0.458	
	ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 10 kg/m3		0.050	0.480	0.046	10.00	0.960	1.087	
	ฝ้าเพดาน	แผ่นยิบซั่มหนา 9 mm	0.009	7.848	0.282	800.00	1.090	0.032	
	R air in							0.162	
รวม			4.859	345.136	1.770	3,211.20	3.975	1.898	0.53

ตารางที่ 4-11 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารหลังการปรับปรุง

ทิศ	ผนัง	มุมเอียง (องศา)	พื้นที่หลังคา (m^2)	U (W/m^2°C)	DSH kJ/(m^2.°C)	TDeq (°C)	RTTV (W/m^2)
ระนาบ	หลังคา 1	0	372	0.53	278.956	17.3	9.21
	หลังคา 2	0	220	0.53	345.196	16.5	8.71
รวม	[(9.21x372)+ (8.71x220)]/(372+220)		592				9.02

4) <u>ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร</u>

มาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร

ค่า RTTV ของอาคารก่อนการปรับปรุง	21.33	W/m^2
ค่า RTTV ของอาคารหลังการปรับปรุง	9.02	W/m^2
ความแตกต่างของค่า RTTV ก่อนและหลังการปรับปรุง	12.31	W/m^2
พื้นที่ของหลังคาที่รับความร้อน	592	m^2
ค่าความร้อนที่ลดได้	7.29	kW

ค่า COP เฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศในชั้นบนสุดของอาคาร	3.40	kW/kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	2.14	kW
ชั่วโมงทำงานต่อวัน	8	hr/day
วันทำงานต่อปี	250	day/year
ชั่วโมงทำงานต่อปี	2,000	hr/year
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	4,287	kWh/year
ผลประหยัดที่ได้		
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	3.82	Baht/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	16,375	Baht/year

5) <u>การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินจากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร</u>

ในการลงทุนสำหรับการติดฉนวนใยแก้วกันความร้อนบนฝ้าใต้ดาดฟ้าอาคารซึ่งมีพื้นที่ 592 m^2 รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งประมาณ 86,432 บาท โดยมีอายุการใช้งาน 10 ปี สามารถคำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% ได้ดังตารางที่ ก-5 ในภาคผนวก ก

จากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคารจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 41,486 บาท ค่าอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) เท่ากับ 19.38% และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 6.22 ปี

4.3.2 มาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยเป็นอาคารสูง 19 ชั้น ผนังอาคารสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นผนังทึบ และส่วนที่เป็นผนังโปร่งแสง โดยส่วนที่เป็นผนังทึบมีหลายส่วนในแต่ละส่วนจะมีการใช้วัสดุแตกต่างกันออกไป เช่น คอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน เป็นต้น และส่วนที่เป็นผนังโปร่งแสงจะมีการใช้ประเภทกระจกแตกต่างกันออกไป เช่น กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508 กระจกสะท้อนแสงสีเงิน รุ่น SOLARTAG - SS108 กระจกสีชา เป็นต้น และจากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) บริเวณชั้น 9 ได้เท่ากับ 43.88 W/m^2 จะเห็นได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ประสิทธิภาพของกรอบอาคารที่

กฎหมายกำหนดที่กำหนดให้อาคารสำนักงานและสถานศึกษามีค่า OTTV ไม่เกิน 50 W/m^2 และอาคารต้องการที่จะลดค่า OTTV เพื่อให้ได้คะแนนเพิ่มขึ้นตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวภาครัฐ

2) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

อาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารสูง และต้องการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การติดฉนวนกันความร้อนเพิ่มเติมบริเวณผนังอาคาร การติดฟิล์มกรองแสงบริเวณกระจกอาคาร เป็นต้น ในกรณีนี้จะทำการติดแผ่นยิปซัมบอร์ดบริเวณผนังอาคารเพิ่มเติม โดยที่แผ่นยิบซัมบอร์ดมีคุณสมบัติหลายประการดังนี้ เป็นฉนวนกันความร้อนที่จะผ่านผนังอาคารทำให้ห้องเย็นสบาย ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าในการใช้เครื่องปรับอากาศ และยังเป็นฉนวนป้องกันไฟเนื่องจากผลิตขึ้นจากแร่ยิปซัม มีความแข็งแรง ทนทาน ใช้งานได้นาน และสามารถติดตั้งได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ดังนั้นจึงจะทำการติดแผ่นยิปซัมบอร์ดบริเวณผนังอาคารเพิ่มเติมเพื่อช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารลงได้ และยังเป็นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศอีกด้วย

3) <u>ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร</u>

เมื่อทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารโดยใช้ชั้นที่ 9 เป็นตัวแทนของอาคารพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 43.88 W/m^2 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) หลังการปรับปรุงเท่ากับ 39.32 W/m^2 ดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ชั้น 9 ก่อนและหลังการปรับปรุง

ประเภทอาคาร	**ค่า OTTV (W/m^2)**		
สำนักงาน	เกณฑ์ศักยภาพขั้นต่ำ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
	ไม่เกิน 50	43.88	39.32

ตารางที่ 4-13 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของผนังทึบก่อนการปรับปรุง

ด้าน	ผนัง	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	DSH kJ/(m^2.°C)	k (W/m.°C)	ρ (kg/m^3)	Cp (kJ/kg.°C)	R (°C.m^2/W)	U (W/m^2.°C)
ด้านที่ 1	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.79	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	136.182	1.938	5,335	2.47	0.346	2.89
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.069	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.233	4.29
ด้านที่ 2	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.79	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	136.182	1.938	5,335	2.47	0.346	2.89
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.069	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.233	4.29
ด้านที่ 3	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
			อิฐมอญ	0.140	178.619	0.498	1,615	0.79	0.281	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
		R air in							0.120	
	รวม			0.170	225.491	1.938	5,335	2.47	0.487	2.05
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.79	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	136.182	1.938	5,335	2.47	0.346	2.89
	ผนัง 3	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.069	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.233	4.29

ด้าน	ผนัง	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	DSH kJ/(m^2.°C)	k (W/m.°C)	ρ (kg/m^3)	Cp (kJ/kg.°C)	R (°C.m^2/W)	U (W/m^2.°C)
ด้านที่ 4	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
			อิฐมอญ	0.140	178.619	0.498	1,615	0.79	0.281	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
		R air in							0.120	
	รวม			0.170	225.491	1.938	5,335	2.47	0.487	2.05
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.79	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	136.182	1.938	5,335	2.47	0.346	2.89
	ผนัง 3	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.069	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.233	4.29
ด้านที่ 5	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.79	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.84	0.021	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	136.182	1.938	5,335	2.47	0.346	2.89
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.069	
		R air in							0.120	
	รวม			0.100	220.800	1.442	2,400	0.92	0.233	4.29

ตารางที่ 4-14 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของผนังโปร่งแสง (กระจก) ก่อนการปรับปรุง

ด้าน	ผนัง	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	k (W/m.°C)	SHGC	SC	R (°C.m^2/W)	U (W/m^2.°C)
ด้านที่ 1	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	
	ผนัง 2	R air out						0.044	
		GL-4	กระจกสะท้อนแสง สีเงิน รุ่น SOLARTAG - SS108	0.006		0.24	1		5.44
		R air in						0.120	
ด้านที่ 2	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	
	ผนัง 2	R air out						0.044	
		GL-4	กระจกสะท้อนแสง สีเงิน รุ่น SOLARTAG - SS108	0.006		0.24	1		5.44
		R air in						0.120	
ด้านที่ 3	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ด้าน	ผนัง	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	k (W/m.°C)	SHGC	SC	R (°C.m²/W)	U (W/m².°C)
ด้านที่ 4	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	
ด้านที่ 5	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	

ตารางที่ 4-15 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารก่อนการปรับปรุง

ด้าน	ทิศ	ผนัง	มุมเอียง (องศา)	พื้นที่ผนัง (m²)	U (W/m²°C)	DSH kJ/(m².°C)	TDeq (°C)	SHGC	SC	ESR	OTTV (W/m²)
ด้านที่ 1	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	90	44.61	2.89	136.18	9.9				50.04
		คสล.	90	6.72	4.29	220.80	9.0				
		GL-3	90	42.50	4.54		5	0.21	1	215.84	
		GL-4	90	9.20	5.44		5	0.24	1	215.84	
		รวม		103.03							
ด้านที่ 2	ตะวันออกเฉียงใต้	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	90	44.61	2.89	136.18	10.8				56.44
		คสล.	90	6.72	4.29	220.80	9.7				
		GL-3	90	42.50	4.54		5	0.21	1	263.14	
		GL-4	90	9.20	5.44		5	0.24	1	263.14	
		รวม		103.03							
ด้านที่ 3	ตะวันตกเฉียงใต้	ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน	90	16.29	2.05	225.49	9.0				39.51
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	90	73.12	2.89	136.18	10.2				
		คสล.	90	36.48	4.29	220.80	10.4				
		GL-3	90	24.30	4.54		5	0.21	1	256.82	
		รวม		150.19							
ด้านที่ 4	ตะวันตกเฉียงเหนือ	ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน	90	16.29	2.05	225.49	8.0				34.30
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	90	74.62	2.89	136.18	9.1				
		คสล.	90	26.97	4.29	220.80	8.1				
		GL-3	90	27.54	4.54		5	0.21	1	207.62	
		รวม		145.41							
ด้านที่ 5	ตะวันออก	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	90	32.12	2.89	136.18	10.6				45.87
		คสล.	90	8.84	4.29	220.80	9.6				
		GL-3	90	18.72	4.54		5	0.21	1	244.53	
		รวม		59.68							
รวม											**43.88**

ตารางที่ 4-16 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของผนังทึบหลังการปรับปรุง

ด้าน	ผนัง	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	DSH kJ/(m^2.°C)	k (W/m.°C)	ρ (kg/m^3)	Cp (kJ/kg.°C)	R (°C.m^2/W)	U (W/m^2.°C)
ด้านที่ 1	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.790	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	150.570	2.129	6,215	3.560	0.425	2.35
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.920	0.069	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	235.188	1.633	3,280	2.010	0.312	3.21
ด้านที่ 2	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.790	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	150.570	2.129	6,215	3.560	0.425	2.35
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.920	0.069	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	235.188	1.633	3,280	2.010	0.312	3.21
ด้านที่ 3	ผนัง1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
			อิฐมอญ	0.140	178.619	0.498	1,615	0.790	0.281	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.185	239.879	2.129	6,215	3.560	0.565	1.77
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.790	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	150.570	2.129	6,215	3.560	0.425	2.35
	ผนัง 3	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.920	0.069	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	235.188	1.633	3,280	2.010	0.312	3.21

ด้าน	ผนัง	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	DSH kJ/(m^2.°C)	k (W/m.°C)	ρ (kg/m^3)	Cp (kJ/kg.°C)	R (°C.m^2/W)	U (W/m^2.°C)
ด้านที่ 4	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
			อิฐมอญ	0.140	178.619	0.498	1,615	0.790	0.281	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.185	239.879	2.129	6,215	3.560	0.565	1.77
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.790	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	150.570	2.129	6,215	3.560	0.425	2.35
	ผนัง 3	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.920	0.069	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	235.188	1.633	3,280	2.010	0.312	3.21
ด้านที่ 5	ผนัง 1	R air out							0.044	
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน	ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
			อิฐมอญ	0.070	89.310	0.498	1,615	0.790	0.141	
			ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.015	23.436	0.720	1,860	0.840	0.021	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	150.570	2.129	6,215	3.560	0.425	2.35
	ผนัง 2	R air out							0.044	
		คสล.	คอนกรีต	0.100	220.800	1.442	2,400	0.920	0.069	
		แผ่นยิปซัมบอร์ด	แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.015	14.388	0.191	880	1.090	0.079	
		R air in							0.120	
	รวม			0.115	235.188	1.633	3,280	2.010	0.312	3.21

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4-17 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของผนังโปร่งแสง (กระจก) หลังการปรับปรุง

ด้าน	ผนัง	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	k (W/m.°C)	SHGC	SC	R (°C.m^2/W)	U (W/m^2.°C)
ด้านที่ 1	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	
	ผนัง 2	R air out						0.044	
		GL-4	กระจกสะท้อนแสง สีเงิน รุ่น SOLARTAG - SS108	0.006		0.24	1		5.44
		R air in						0.120	
ด้านที่ 2	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	
	ผนัง 2	R air out						0.044	
		GL-4	กระจกสะท้อนแสง สีเงิน รุ่น SOLARTAG - SS108	0.006		0.24	1		5.44
		R air in						0.120	

ด้าน	ผนัง	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	k (W/m.°C)	SHGC	SC	R (°C.m²/W)	U (W/m².°C)
ด้านที่ 3	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	
ด้านที่ 4	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	
ด้านที่ 5	ผนัง 1	R air out						0.044	
		GL-3	กระจกสะท้อนแสง สีน้ำเงิน รุ่น SOLARTAG - SS508	0.008		0.21	1		4.54
		R air in						0.120	

ตารางที่ 4-18 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารหลังการปรับปรุง

ด้าน	ทิศ	ผนัง	มุมเอียง (องศา)	พื้นที่ผนัง (m^2)	U ($W/m^2°C$)	DSH $kJ/(m^2.°C)$	TDeq (°C)	SHGC	SC	ESR	OTTV (W/m^2)
ด้านที่ 1	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	44.61	2.35	150.57	9.7				46.90
		คสล. + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	6.72	3.21	235.19	8.9				
		GL-3	90	42.50	4.54		5	0.21	1	215.84	
		GL-4	90	9.20	5.44		5	0.24	1	215.84	
		รวม		103.03							
ด้านที่ 2	ตะวันออกเฉียงใต้	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	44.61	2.35	150.57	10.6				53.03
		คสล. + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	6.72	3.21	235.19	9.6				
		GL-3	90	42.50	4.54		5	0.21	1	263.14	
		GL-4	90	9.20	5.44		5	0.24	1	263.14	
		รวม		103.03							
ด้านที่ 3	ตะวันตกเฉียงใต้	ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	16.29	1.77	239.88	8.9				33.43
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	73.12	2.35	150.57	9.9				
		คสล. + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	36.48	3.21	235.19	10.2				
		GL-3	90	24.30	4.54		5	0.21	1	256.82	
		รวม		150.19							
ด้านที่ 4	ตะวันตกเฉียงเหนือ	ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบ 2 ด้าน + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	16.29	1.77	239.88	8.0				29.63
		ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	74.62	2.35	150.57	8.9				
		คสล. + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	26.97	3.21	235.19	8.0				
		GL-3	90	27.54	4.54		5	0.21	1	207.62	
		รวม		145.41							
ด้านที่ 5	ตะวันออก	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบ 2 ด้าน + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	32.12	2.35	150.57	10.4				40.98
		คสล. + แผ่นยิปซัมบอร์ด	90	8.84	3.21	235.19	9.5				
		GL-3	90	18.72	4.54		5	0.21	1	244.53	
		รวม		59.68							
รวม											**39.32**

4) <u>ผลการประหยัดพลังงานจากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร</u>

มาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร

ค่า OTTV ของอาคารก่อนการปรับปรุง	43.88	W/m^2
ค่า OTTV ของอาคารหลังการปรับปรุง	39.32	W/m^2
ความแตกต่างของค่า OTTV ก่อนและหลังการปรับปรุง	4.56	W/m^2
พื้นที่ของผนังที่รับความร้อน	561	m^2
ค่าความร้อนที่ลดได้	2.56	kW
ค่า COP เฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร	3.40	kW/kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	0.75	kW
ชั่วโมงทำงานต่อวัน	8	hr/day
วันทำงานต่อปี	250	day/year
ชั่วโมงทำงานต่อปี	2,000	hr/year
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	1,505	kWh/year
ผลประหยัดที่ได้		
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	3.82	Baht/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	5,748	Baht/year

5) <u>การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินจากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการลงทุนสำหรับการติดแผ่นยิปซัมบอร์ดบริเวณผนังอาคารชั้น 9 เพิ่มเติม ซึ่งมีพื้นที่ของผนัง 387 m^2 รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งประมาณ 60,978 บาท โดยมีอายุการใช้งาน 20 ปี สามารถคำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% ได้ดังตารางที่ ก-6 ในภาคผนวก ก

จากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคารจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 12,123 บาท ค่าอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) เท่ากับ 12.33% และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 15.12 ปี

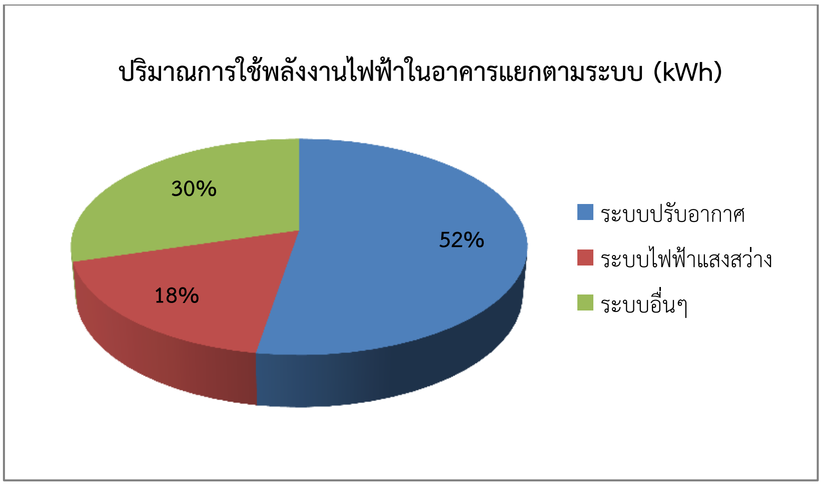
บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยเป็นอาคารควบคุมประเภทอาคารสำนักงาน สูง 19 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวม 26,130 m^2 แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 23,517 m^2 และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 2,613 m^2 มีจำนวนผู้ใช้อาคารประมาณ 2,000 คน และเวลาทำการของอาคารตั้งแต่วันจันทร์ - วันศุกร์ เวลา 08.30 - 16.30 น. ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2544 ปัจจุบันอาคารมีอายุ 14 ปี

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร ดังนี้ คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) โดยใช้ชั้นที่ 9 เป็นตัวแทนของอาคารได้ค่าเท่ากับ 43.88 W/m^2 (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 50 W/m^2) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) เท่ากับ 21.33 W/m^2 (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 15 W/m^2) ระบบปรับอากาศที่ใช้ภายในอาคารฯ มี 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Condition Unit) มีทั้งชนิดแขวนใต้ฝ้าและแบบตั้งพื้น มีขนาดทำความเย็นตั้งแต่ 12,000 - 38,000 Btu/hr และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) ขนาดทำความเย็น 350 Ton จำนวน 3 เครื่อง ระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร มีการติดตั้งหลอดไฟฟ้าภายในอาคารหลายประเภท ได้แก่ หลอด Fluorescent หลอด Compact หลอด Par 38 หลอด Halogen และหลอด Incandescent โดยมีกำลังไฟฟ้าส่องสว่างรวม 239,974 W คิดเป็นกำลังไฟฟ้าส่องสว่างติดตั้งต่อพื้นที่ใช้สอยรวม 9.97 W/m^2 (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 14 W/m^2) (18)

อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยสามารถแบ่งสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่นๆ เช่น ระบบสุขาภิบาล ระบบลิฟต์ ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น จะเห็นได้ว่าสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ที่ระบบปรับอากาศ 1,786,327 kWh/ปี คิดเป็นร้อยละ 52 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 603,513 kWh/ปี คิดเป็นร้อยละ 18 ที่เหลือเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอื่นๆ 3,395,753 kWh/ปี คิดเป็นร้อยละ 30 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารฯ ดังรูปที่ 5.1 และในปี พ.ศ. 2558 มีดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเท่ากับ 136.74 kWh/m^2 (ค่าเฉลี่ยดัชนีการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานเท่ากับ 209.90 kWh/m^2) (19)



รูปที่ 5.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร
สำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยแยกตามระบบ

หลังจากทำการศึกษาการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย พบว่าอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยได้ดำเนินการจัดการพลังงานภายในอาคารตามแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550)

จากการดำเนินการเก็บข้อมูลการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย มีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกันในแต่ละพื้นที่ โดยมีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในช่วงวันและเวลาราชการ เมื่อทำการศึกษาวิเคราะห์หาแนวทางการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานโดยมีมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพรวม 6 มาตรการ ดังนี้

การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ

1) มาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น

ทำการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็น จำนวน 3 เครื่อง เพื่อปรับอัตราการไหลของน้ำให้ลดลง โดยปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำเย็นจากเดิมความถี่อยู่ที่ 50 Hz ลดลงเหลือ 33.51 Hz และจากเดิมเครื่องสูบน้ำใช้กำลังไฟฟ้า 50.97 kW ลดลงเหลือ 15.34 kW ดังนั้นถ้าทำการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็นจำนวน 3 เครื่อง รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งในเครื่องสูบน้ำเย็น 263,500 บาท สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 106.89 kW พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 213,780 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 816,640 บาท/ปี คำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% โดยมี

ระยะเวลาโครงการ 10 ปี จะได้ NPV เท่ากับ 6,037,813 บาท IRR เท่ากับ 326.43% และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.34 ปี

2) มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล 3 ชุดโดยจะทำการต่อใช้งานกับเครื่องทำความเย็น 3 ชุด โดยเครื่องทำความเย็นมีภาระทำความเย็น 350 ตัน ระบบจะทำความสะอาดผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์โดยอัตโนมัติตลอดเวลาตามระยะเวลาที่กำหนด ทำให้ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนมีความสะอาดตลอดเวลา สามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างเต็มที่ส่งผลให้เครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงคงที่ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยให้เครื่องทำน้ำเย็นสามารถทำงานได้ตลอดเวลาโดยไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาด และยังประหยัดค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีในการทำความสะอาด นอกจากนั้นยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ก่อนทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ค่า Approach Temp มีค่าสูงประมาณ 9.6 °F ใช้กำลังงาน 197 kW เมื่อเปรียบเทียบกับหลังทำความสะอาดคอนเดนเซอร์มีค่า Approach Temp ประมาณ 0.8 °F ใช้กำลังงาน 172 kW ดังนั้นถ้าทำการติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล 3 ชุด รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล 720,000 บาท สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 37.5 kW พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 101,250 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 386,775 บาท/ปี และค่าล้างท่อด้วยแปรงที่ประหยัดได้ต่อปีเท่ากับ 32,000 บาท/ปี รวมผลประหยัด 418,775 บาท/ปี คำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% โดยมีระยะเวลาโครงการ 10 ปี จะได้ NPV เท่ากับ 1,942,067 บาท IRR เท่ากับ 53.59% และมีระยะเวลาคืนทุน 2.28 ปี

3) มาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา

ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมบริเวณชั้น 3 ห้อง A มีพื้นที่ 117 m^2 และบริเวณชั้น 7 ห้อง B มีพื้นที่ 67 m^2 และห้อง C มีพื้นที่ 32 m^2 โดยจะติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมขนาด 22,000 Btu/hr จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 24,000 Btu/hr จำนวน 2 เครื่อง และขนาด 30,000 Btu/hr จำนวน 2 เครื่อง รวมทั้งหมด 6 เครื่อง สำหรับเปิดใช้งานนอกเวลาทำการ รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 213,400 บาท สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 190.15 kW พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 133,150 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 508,488 บาท/ปี คำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% โดยมีระยะเวลาโครงการ 10 ปี จะได้ NPV เท่ากับ 3,680,479 บาท IRR เท่ากับ 250.26% และมีระยะเวลาคืนทุน 0.44 ปี

การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

1) มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED

ทำการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าภายในอาคารฯ 3,408 หลอด จากหลอด Fluorescent ชนิด T8 เป็นหลอด LED จากการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของหลอดไฟฟ้าภายในห้องตัวอย่าง 1 ห้อง โดยตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W และบัลลาสต์ขนาด 10 W 3,050 lm ได้ค่าความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 700 Lux ซึ่งมีค่าสูงเกินความจำเป็น เมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของ LED ขนาด 18 W 2,000 lm ได้ค่าความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 483 Lux ค่าความเข้มแสงสว่างที่ตรวจวัดได้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานตามเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นถ้าทำการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าภายในอาคารฯ จากหลอด Fluorescent ชนิด T8 ขนาด 36 W เป็นหลอด LED ขนาด 18 W ทั้งหมด 3,408 หลอด รวมค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้า 1,363,200 บาท สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 95.424 kW พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 190,848 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 729,039 บาท/ปี คำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% โดยมีระยะเวลาโครงการ 5 ปี จะได้ NPV เท่ากับ 1,805,324 บาท IRR เท่ากับ 52.27% และมีระยะเวลาคืนทุน 2.01 ปี

การอนุรักษ์พลังงานในส่วนกรอบอาคาร

1) มาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร

ทำการติดฉนวนใยแก้วกันความร้อนบริเวณฝ้าใต้ดาดฟ้าอาคารซึ่งมีพื้นที่ 592 m^2 การติดฉนวนใยแก้วกันความร้อนบริเวณฝ้าใต้ดาดฟ้าอาคารจะสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร และยังเป็นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศอีกด้วย หลังการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคารสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) เหลือ 9.02 W/m^2 จากเดิม 21.33 W/m^2 รวมค่าใช้จ่ายในการติดฉนวนกันความร้อน 86,432 บาท สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 2.14 kW พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 4,287 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 16,375 บาท/ปี คำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% โดยมีระยะเวลาโครงการ 10 ปี จะได้ NPV เท่ากับ 41,486 บาท IRR เท่ากับ 19.38% และมีระยะเวลาคืนทุน 6.22 ปี

2) มาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร

ทำการติดแผ่นยิปซัมบอร์ดบริเวณผนังอาคารชั้น 9 ซึ่งมีพื้นที่ผนังทึบ 387 m^2 การติดแผ่นยิปซัมบอร์ดบริเวณผนังอาคารจะสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร และยังเป็นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศอีกด้วย หลังการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคารชั้น 9 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) เหลือ 39.32 W/m^2 จากเดิม 43.88 W/m^2 รวมค่าใช้จ่ายในการติดฉนวนกันความร้อน 60,978 บาท สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 0.75 kW พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 1,505 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 5,748 บาท/ปี คำนวณความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ Discount rate 10% และ Inflation rate 5% โดยมีระยะเวลาโครงการ 20 ปี จะได้ NPV เท่ากับ 12,123 บาท IRR เท่ากับ 12.33% และมีระยะเวลาคืนทุน 15.12 ปี

รวมผลประหยัดที่ได้จากทุกมาตรการที่ได้นำเสนอคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 644,775 kWh/ปี คิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 18.05% จากปี พ.ศ. 2558 หรือคิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 2,463,041 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนระหว่าง 0.34 – 15.12 ปี

ตารางที่ 5-1 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่มีศักยภาพ 6 มาตรการ

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน	**NPV (บาท)**	**IRR (%)**	**PB (ปี)**	**ผลประหยัด**	
				พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)	**จำนวนเงิน (บาท/ปี)**
1) มาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น	6,037,813	326.43%	0.34	213,780	816,640
2) มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล	1,942,067	53.59%	2.28	101,250	386,775
3) มาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา	3,680,479	250.26%	0.44	133,105	508,461
4) มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED	1,805,324	52.27%	2.01	190,848	729,039
5) มาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร	41,486	19.38%	6.22	4,287	16,375
6) มาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร	12,123	12.33%	15.12	1,505	5,748
รวม			**0.34 - 15.12**	**644,775**	**2,463,041**

5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1) ควรทำการศึกษาการจัดการพลังงานและการใช้พลังงานในอาคารควบคุมประเภทอาคารสำนักงานขนาดต่างๆ เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษามาเปรียบเทียบว่ามีความเหมือนหรือมีความแตกต่างกันในด้านใด และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปต่อยอดในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานต่อไป

2) นอกจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ได้นำเสนอทั้งในระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบกรอบอาคาร ยังมีมาตรการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ ที่มีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย ซึ่งสามารถทำการศึกษาต่อไปได้ในอนาคต

3) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารอย่างยั่งยืนและได้ผลนอกจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ที่ได้นำเสนอแล้ว การสร้างจิตสำนึกของบุคลากรที่จะให้ความร่วมมือกับผู้บริหารในเรื่องการจัดการพลังงานในอาคารตลอดจนการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร รวมถึงการที่ผู้บริหารให้การสนับสนุนและส่งเสริมให้บุคลากรปฏิบัติตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่หน่วยงานได้กำหนดยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารอย่างยั่งยืนด้วย

4) ในการศึกษาวิจัยด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยในครั้งนี้สามารถทำการวิจัยต่อเนื่องได้ในด้านการศึกษาพฤติกรรมการประหยัดพลังงานของบุคลากรที่ใช้อาคารฯ ซึ่งเป็นการศึกษาวิจัยเชิงสำรวจโดยการใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการลดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. ประภัสสร วังศกาญจน์, มนต์ชัย พฤกษ์วิไลเลิศ. ระบบการจัดการพลังงานสำหรับอาคารควบคุมภาครัฐ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 22. 2557;1 109-14.

2. กระทรวงพลังงาน. พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) [อินเทอร์เน็ต]. 2535 [เข้าถึงเมื่อ 6 ส.ค. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=134.

3. กรณิศ ตันอังสนากุล. การอนุรักษ์พลังงานของอาคาร [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 2 พ.ย. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www.salforest.com/blog/building-energy-saving.

4. แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานหรือการใช้พลังงานเชิงอนุรักษ์ที่สำคัญ [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 4 พ.ย. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www.baanjomyut.com/library_2/energy_and_quality_of_life/16.html.

5. กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ระบบกรอบอาคาร [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [เข้าถึงเมื่อ 20 พ.ย. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13.pdf.

6. กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือการพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติในระบบปรับอากาศ [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 20 พ.ย. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%92%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%9A%E0%B8%B8%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A8.pdf.

7. กระทรวงพลังงาน. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 [อินเทอร์เน็ต]. 2552 [เข้าถึงเมื่อ 3 ส.ค. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://download.asa.or.th/03media/04law/eca/ma52.pdf.

8. สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. ระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคารตามข้อแนะนำของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [เข้าถึงเมื่อ 11 ต.ค. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www.tieathai.org/.

9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน [อินเทอร์เน็ต]. 2550 [เข้าถึงเมื่อ 8 ต.ค. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www2.dede.go.th/webpage/frame.htm.

10. ปริมลาภ วสุวัต. กลยุทธการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ : กรณีศึกษาอาคารกองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศ ดอนเมือง [ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2542.

11. อรรณพ วรรณทองศรี. การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสำหรับอาคารรัฐวิสาหกิจ [ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2552.

12. พรเทพ พินัยนิติศาสตร์. การจัดการอาคารสำนักงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษาอาคาร ดร. เจริญ คันธวงศ์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตกล้วยน้ำไท [ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยกรุงเทพ; 2554.

13. อัคราวุฒิ ครองยุติ, พัฒนะ รักความสุข, กูสกานา กูบาฮา. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานในอาคารสาธารณะ. วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงครพระนคร ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5.1:81-90.

14. ปรัชญา ปัตถาวงศ์. การศึกษากรอบอาคารชุดและแนวทางการประหยัดพลังงาน [สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.

15. Liu G, Wu Z, Hu M. Energy Consumption and Management in Public Buildings in China: An Investigation of Chongqing. Procedia. 2012; 14:1925-30.

16. การไฟฟ้านครหลวง. อัตราค่าไฟฟ้าของอาคาร: อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 9 ธ.ค. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www.mea.or.th/profile/index.php?l=th&tid=3&mid=114&pid=109.

17. สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. กรณีศึกษาการติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อัตโนมัติ [อินเทอร์เน็ต]. เอกสารเผยแพร่กรณีศึกษาที่ประสบผลสำเร็จด้านการอนุรักษ์พลังงาน. 2556 [เข้าถึงเมื่อ 1 ธ.ค. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/CaseStudy/CaseStudy%20Issue%20UEE.pdf.

18. กระทรวงพลังงาน. กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 [อินเทอร์เน็ต]. 2552 [เข้าถึงเมื่อ 30 ก.ย. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://enconfund.go.th/content/law/1-File1.pdf.

19. กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. เอกสารเผลแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน [อินเทอร์เน็ต]. 2551 [เข้าถึงเมื่อ 29 พ.ย. 2558]. เข้าถึงได้จาก: file:///C:/Users/user/Downloads/SEC%20%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%99%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99.pdf.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก ตารางการคำนวณความคุ้มค่าทางการเงิน

ตารางที่ ก-1 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น

List	Year										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investment Cost, Baht	263,500										
Benefit, Baht	816,640	857,472	900,346	945,363	992,631	1,042,263	1,094,376	1,149,094	1,206,549	1,266,877	1,330,221
Sunk, Baht											
Other Cost, Baht											
Expense, Baht											
Maintenance, Baht	10,000	10,500	11,025	11,576	12,155	12,763	13,401	14,071	14,775	15,513	16,289
Replace Equipment, Baht											
Ben-Exp-Other, Baht	806,640	846,972	889,321	933,787	980,476	1,029,500	1,080,975	1,135,023	1,191,775	1,251,363	1,313,932
Yearly PV		769,975	734,976	701,568	669,678	639,238	610,182	582,447	555,972	530,700	506,577
Accumulate PV		769,975	1,504,950	2,206,518	2,876,196	3,515,435	4,125,617	4,708,063	5,264,035	5,794,735	6,301,313
Cash Flow, Baht	(263,500)	506,475	1,241,450	1,943,018	2,612,696	3,251,935	3,862,117	4,444,563	5,000,535	5,531,235	6,037,813
GPV, Baht	6,301,313										
NPV, Baht	6,037,813										
Pay Back, Year	0.34										
IRR, %	326.43%										

ตารางที่ ก-2 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล

List	Year										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investment Cost, Baht	720,000										
Benefit, Baht	418,775	439,714	461,699	484,784	509,024	534,475	561,199	589,258	618,721	649,657	682,140
Sunk, Baht											
Other Cost, Baht											
Expense, Baht											
Maintenance, Baht	78,000	81,900	85,995	90,295	94,809	99,550	104,527	109,754	115,242	121,004	127,054
Replace Equipment, Baht											
Ben-Exp-Other, Baht	340,775	357,814	375,704	394,490	414,214	434,925	456,671	479,505	503,480	528,654	555,087
Yearly PV		325,285	310,500	296,386	282,914	270,054	257,779	246,062	234,877	224,201	214,010
Accumulate PV		325,285	635,785	932,171	1,215,085	1,485,139	1,742,918	1,988,979	2,223,856	2,448,057	2,662,067
Cash Flow, Baht	(720,000)	(394,715)	(84,215)	212,171	495,085	765,139	1,022,918	1,268,979	1,503,856	1,728,057	1,942,067
GPV, Baht	2,662,067										
NPV, Baht	1,942,067										
Pay Back, Year	2.28										
IRR, %	53.59%										

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก-3 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา

List	Year										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investment Cost, Baht	213,400										
Benefit, Baht	508,461	533,884	560,578	588,607	618,038	648,939	681,386	715,456	751,228	788,790	828,229
Sunk, Baht											
Other Cost, Baht											
Expense, Baht											
Maintenance, Baht	10,000	10,500	11,025	11,576	12,155	12,763	13,401	14,071	14,775	15,513	16,289
Replace Equipment, Baht											
Ben-Exp-Other, Baht	498,461	523,384	549,553	577,031	605,882	636,177	667,985	701,385	736,454	773,277	811,940
Yearly PV		475,804	454,176	433,532	413,826	395,016	377,060	359,921	343,561	327,945	313,038
Accumulate PV		475,804	929,980	1,363,512	1,777,338	2,172,353	2,549,414	2,909,335	3,252,896	3,580,841	3,893,879
Cash Flow, Baht	(213,400)	262,404	716,580	1,150,112	1,563,938	1,958,953	2,336,014	2,695,935	3,039,496	3,367,441	3,680,479
GPV, Baht	3,893,879										
NPV, Baht	3,680,479										
Pay Back, Year	0.44										
IRR, %	250.26%										

ตารางที่ ก-4 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED

List	Year					
	0	1	2	3	4	5
Investment Cost, Baht	1,363,200					
Benefit, Baht	729,039	765,491	803,765	843,954	886,151	930,459
Sunk, Baht						
Other Cost, Baht						
Expense, Baht						
Maintenance, Baht	2,000	2,100	2,205	2,315	2,431	2,553
Replace Equipment, Baht						
Ben-Exp-Other, Baht	727,039	763,391	801,560	841,639	883,720	927,906
Yearly PV		693,992	662,447	632,335	603,593	576,157
Accumulate PV		693,992	1,356,438	1,988,774	2,592,367	3,168,524
Cash Flow, Baht	(1,363,200)	(669,208)	(6,762)	625,574	1,229,167	1,805,324
GPV, Baht	3,168,524					
NPV, Baht	1,805,324					
Pay Back, Year	2.01					
IRR, %	52.27%					

ตารางที่ ก-5 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา

List	Year										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investment Cost, Baht	86,432										
Benefit, Baht	16,375	17,194	18,053	18,956	19,904	20,899	21,944	23,041	24,193	25,403	26,673
Sunk, Baht											
Other Cost, Baht											
Expense, Baht											
Maintenance, Baht											
Replace Equipment, Baht											
Ben-Exp-Other, Baht	16,375	17,194	18,053	18,956	19,904	20,899	21,944	23,041	24,193	25,403	26,673
Yearly PV		15,631	14,920	14,242	13,595	12,977	12,387	11,824	11,286	10,773	10,284
Accumulate PV		15,631	30,551	44,793	58,388	71,364	83,751	95,575	106,861	117,635	127,918
Cash Flow, Baht	(86,432)	(70,801)	(55,881)	(41,639)	(28,044)	(15,068)	(2,681)	9,143	20,429	31,203	41,486
GPV, Baht	127,918										
NPV, Baht	41,486										
Pay Back, Year	6.22										
IRR, %	19.38%										

ตารางที่ ก-6 ผลการคำนวณทางการเงินจากมาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร

List	Year										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investment Cost, Baht	60,978										
Benefit, Baht	5,748	6,035	6,337	6,654	6,987	7,336	7,703	8,088	8,492	8,917	9,363
Sunk, Baht											
Other Cost, Baht											
Expense, Baht											
Maintenance, Baht											
Replace Equipment, Baht											
Ben-Exp-Other, Baht	5,748	6,035	6,337	6,654	6,987	7,336	7,703	8,088	8,492	8,917	9,363
Yearly PV		5,487	5,237	4,999	4,772	4,555	4,348	4,150	3,962	3,782	3,610
Accumulate PV		5,487	10,724	15,723	20,495	25,050	29,399	33,549	37,511	41,292	44,902
Cash Flow, Baht	(60,978)	(55,491)	(50,254)	(45,255)	(40,483)	(35,928)	(31,579)	(27,429)	(23,467)	(19,686)	(16,076)
GPV, Baht	73,101										
NPV, Baht	12,123										
Pay Back, Year	15.12										
IRR, %	12.33%										

หมายเหตุ งานวิจัยนี้ใช้ Discount rate เท่ากับ 10% ตามที่การท่าเรือแห่งประเทศไทยใช้ในการเขียนโครงการลงทุนเพื่อของบประมาณของการท่าเรือฯ และ Inflation rate เท่ากับ 5% ตามอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคารที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี

ภาคผนวก ข รูปเครื่องจักร อุปกรณ์ และวิธีการตรวจวัด

รูปที่ ข.1 เครื่องสูบน้ำเย็นที่ทำการตรวจวัด

รูปที่ ข.2 การตรวจวัดความดันด้านดูดของเครื่องสูบน้ำเย็น

รูปที่ ข.3 การตรวจวัดความดันด้านจ่ายของเครื่องสูบน้ำเย็น

รูปที่ ข.4 เครื่องทำน้ำเย็นที่ทำการตรวจวัด

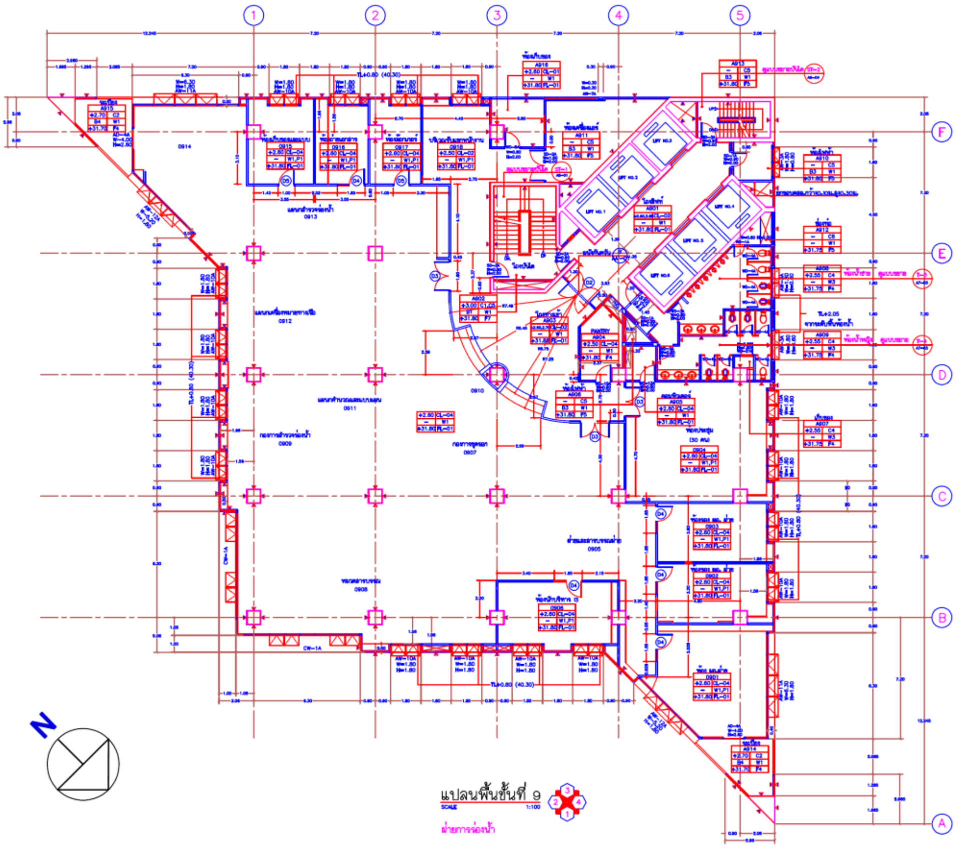
รูปที่ ข.5 ห้องที่ทำการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

รูปที่ ข.6 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของหลอดไฟฟ้าภายในห้อง

รูปที่ ข.7 การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED

รูปที่ ข.8 อาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย

รูปที่ ข.9 ดาดฟ้าอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย



รูปที่ ข.10 แบบแปลนอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยชั้น 9

ภาคผนวก ค หน่วยวัด

หน่วยการวัด SI (International System of Units)

มวล	m	กิโลกรัม	kg
พื้นที่	A	ตารางเมตร	m^2
ความดัน	P	นิวตันต่อตารางเมตร, ปาสคาล	N/m^2, Pa
ปริมาตร	V	ลูกบาศก์เมตร	m^3
ความหนาแน่น	ρ	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	kg/m^3
น้ำหนักจำเพาะ	γ	นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร	N/m^3
ระยะทาง	L	เมตร	m
เวลา	t	วินาที	s
ความเร็ว	v	เมตรต่อวินาที	m/s
อัตราการไหล	Q	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที	m^3/s
กำลังงาน	P	นิวตันเมตรต่อวินาที, วัตต์	Nm/s, W
ความเร็วรอบ	N	รอบต่อวินาที	rps
ปริมาณความร้อน	q	จูลต่อวินาที, วัตต์	J/s, W
ประสิทธิภาพ	η		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรษา อุไรรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษาจากโรงเรียนสายน้ำผึ้งในพระอุปถัมภ์ฯ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2555 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University