การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ กรณีศึกษา แบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ

นายศรัณย์ ตันรัตนาวงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Improving energy efficiency in building to Net zero energy building : A case study Standard Government office building

Mr. Sarun Tanrattanawong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ กรณีศึกษา แบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ
โดย	นายศรัณย์ ตันรัตนาวงศ์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค)

---------- กรรมการ
(ดร.ภัทร์ สีอัมพรโรจน์)

---------- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิจชัย จิตขจรวานิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศรัณย์ ตันรัตนาวงศ์ : การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ กรณีศึกษาแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ. (Improving energy efficiency in building to Net zero energy building : A case study Standard Government office building) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.ธนิต จินดาวณิค

การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงานโดยรวมสุทธิให้เท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building) ศึกษาผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Building Energy Code (BEC) Ver 1.0.6 แนวทางในการปรับปรุงที่สามารถทำให้การใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคารเท่ากันศูนย์(Net zero energy building) คือ 1) ใช้ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กก./ลบ.ม.) ขนาด 50 มิลลิเมตรที่ผนังทึบ 2) กระจกสะท้อนแสงสีเขียว ขนาด 6 มิลลิเมตร มีค่าการส่งผ่านความร้อน (SHGC) ที่ 0.41 3) หลังคาเพิ่มฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. หนา 25 มิลลิเมตร 4) ปรับปรุงระบบแสงสว่าง โดยเปลี่ยนเป็นหลอด LED 5) ปรับปรุงระบบปรับอากาศ 6) ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อทดแทนพลังงานที่ใช้ภายในอาคารโดยเลือกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพที่ 17.1%

พลังงานจากอาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุงมีค่าการใช้พลังงานโดยรวมต่อปี 209,091.33 kWh/year เมื่อรวมแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร ระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง ค่าการใช้พลังงานโดยรวม 94,963.32 kWh/year พลังงานลดลงจากเดิม 114,128.01 kWh/year หรือคิดสัดส่วนที่ลดลง 54.37% แผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานโดยรวมต่อปี 147,713.84 kWh/year เมื่อรวมแนวทางการปรับปรุงและการใช้พลังงานทดแทนจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้การใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคารสุทธิเท่ากับศูนย์ โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 14.39 ปี อัตราผลตอบแทนที่ 4.87% เมื่อคิดรวมกับอัตราเพิ่มขึ้นค่าไฟฟ้าระยะเวลาคืนทุนที่ 21.06 ปี อัตราผลตอบแทน 10.59%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6073339525 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: Net zero energy building, Energy savings, Energy conservation, Renewable energy, Solar energy

Sarun Tanrattanawong : Improving energy efficiency in building to Net zero energy building : A case study Standard Government office building. Advisor: Assoc. Prof. THANIT CHINDAVANIG

The objective of this study is to increase the energy efficiency in the standard type of government office building.This study was conducted through a computer program Building Energy Code (BEC) version 1.0.6 . Guidelines to the Net Zero Energy Building can be archived by: (1) using 50 mm. fiberglass insulation with a density of 32 kilogram / cubic meter (kg/m^3) in a solid wall, (2) using 6 mm. green reflective glass with 0.41 heat transmission value (SHGC), (3) adding a 25 mm thickness glass fiber insulation with density of 32 kg/m^3 to the rooftop, (4) changing the lighting system to LED, (5) improvement of the air conditioning system, and (6) using solar energy panels with 17.1% efficiency as a renewable energy.

In this case study, the selected building has the total energy consumption of 209,091.33 kWh/year before the improvement, and reduced to 94,963.32 kWh/year after the improvement by improving solid and translucent wall, roofing, air-condition system and lighting system. The total energy consumption is reduced by 114,128.01 kWh/year (54.37%). The solar panels can produce a total energy of 147,713.84 kWh/year. Including improvement guidelines and use renewable energy from solar panels Making the overall energy consumption in the building to net zero energy. The payback period is 14.39 years and 4.87% rate of return. with escalation rate of electricity that increases payback period to 21.06 years, rate of return 10.59%

Field of Study: Architecture Student's Signature .....

Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือและให้คำคำแนะนำที่ดียิ่ง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ธนิต จินดาวณิค ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ที่ถ่ายทอดความรู้ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ และคอยให้คำแนะนำที่ดีเสมอตลอดการศึกษาในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร ผู้เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ดร.ภัทร์ สีอัมพรโรจน์ ผู้เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.กิจชัย จิตขจรวานิช ผู้เป็นกรรมการสอบจากภายนอกมหาวิทยาลัย ที่สละเวลามาร่วมสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำพร้อมข้อเสนอแนะในการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอบขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่านที่คอยแนะแนวทางในการดำเนินการต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยและร่วมถึงกระบวนการทำเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณครอบครัว และผู้ใกล้ชิดทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปได้อย่างลุล่วง

ขอขอบคุณพี่ๆน้องๆที่เรียนปริญญาโทมาพร้อมกันในการสนับสนุนให้คำปรึกษาชีวิตในมหาวิทยาลัย ขอบคุณนายอภิเกียรติ เจริญสุทธิโยธิน ผู้ซึ่งคอยสนับสนุนปรึกษาปัญหาและข้อผิดพลาดในการทำวิทยานิพนธ์และ นางสุภารัตน์ พิลางาม ซึ่งคอยชี้แนะและให้คำปรึกษาที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เป็นสถานที่คอยบ่มเพาะให้ความรู้แก่ตัวข้าพเจ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ศรัณย์ ตันรัตนาวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฐ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฒ

บทที่ 1 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 6

2.1 อาคารที่ใช้พลังงานเท่ากับศูนย์ (Zero Energy Building: ZEB) 6

2.2 ความหมายอาคารที่ใช้พลังงานเท่ากับศูนย์ 6

2.3 อาคารเขียว(Green Building) 8

2.4 อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy-efficient Buildings) 8

2.5 ปัจจัยที่ทำให้อาคารมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน 8

2.6 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร 12

2.7 เซลล์แสงอาทิตย์ 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.8 Charge Controller 15
2.9 แบตเตอรี่ (Battery).....16
2.10 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....17
2.12 การสนับสนุนการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากภาครัฐ 20
2.13 กฎหมายและข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคาร 21
2.14 ระบบกรอบอาคาร 21
2.15 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 22
2.16 ระบบปรับอากาศ.....23
2.17 กระจก 25
2.18 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร 25
2.19 การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร 25
2.20 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร OTTV.....26
2.22 Life – cycle cost benefit.....27
2.24 Payback period 28
2.25 Simple Rate of return on investment 29
2.26 Discount Payback Period.....29
2.27 Internal rate of return (IRR).....30
2.28 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 30
บทที่ 3 34
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย.....34
3.2 อาคารกรณีศึกษา.....34
3.3 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล 37
3.4 ข้อมูลวัสดุภายในอาคารกรณีศึกษา.....38
3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4 49
4.1 การวิเคราะห์พลังงานจากอาคารต้นแบบ 49
4.2 กำหนดวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงกรอบอาคาร 51
4.3 การปรับปรุงหลังคา 55
4.4 การคัดเลือกแนวทางในการปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งแสง 57
4.5 แนวทางในการปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งแสง ร่วมกับหลังคา 60
4.6 การใช้พลังงานหมุนเวียนจากแสงอาทิตย์ 61
4.7 การเปลี่ยนอุปกรณ์แสงสว่าง 63
4.8 การเปลี่ยนระบบปรับอากาศ 68
4.9 สรุปค่าใช้จ่ายและความคุ้มทุนในการเปลี่ยนระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ 72
4.10 ความคุ้มค่าการลงทุนในแนวทางการปรับปรุง 73
4.11 สรุปความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ 73
บทที่ 5 76
5.1 สรุปอาคารกรณีศึกษาและแนวทางการออกแบบปรับปรุง 76
5.2 สรุปแนวทางการเลือกวัสดุกรอบอาคาร และหลังคา 77
5.3 สรุปแนวทางการเลือกใช้ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง 77
5.4 สรุปค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารและหลังคา ก่อนและหลังปรับปรุง 78
5.5 สรุปทางเลือกการปรับปรุงทางเศรษฐศาสตร์ 78
5.6 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อ 79
บรรณานุกรม 80
ภาคผนวก ก 83
ภาคผนวก ข 88
ประวัติผู้เขียน 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกในแต่ละอาคาร 21
ตารางที่ 2 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาในแต่ละอาคาร 22
ตารางที่ 3 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละอาคาร 22
ตารางที่ 4 ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง 23
ตารางที่ 5 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละอาคาร 24
ตารางที่ 6 ค่าประสิทธิภาพฉลากเบอร์ 5 ระบบปรับอากาศชนิด Fixed Speed 24
ตารางที่ 7 ค่าประสิทธิภาพฉลากเบอร์ 5 ระบบปรับอากาศชนิด Variable Speed / Inverter 24
ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนผ่านกระจก 25
ตารางที่ 9 แสดงพื้นที่และขนาดของส่วนปรับอากาศและส่วนที่ไม่ปรับอากาศชั้นที่ 1 40
ตารางที่ 10 แสดงพื้นที่และขนาดของส่วนปรับอากาศและส่วนที่ไม่ปรับอากาศชั้นที่ 2 41
ตารางที่ 11 แสดงพื้นที่และขนาดของส่วนปรับอากาศและส่วนที่ไม่ปรับอากาศชั้นที่ 3 41
ตารางที่ 12 แสดงประเภท จำนวนหลอดต่อวัตต์และจำนวนดวงโคมไฟในอาคารสำนักงานชั้นที่ 1..42
ตารางที่ 13 แสดงประเภท จำนวนหลอดต่อวัตต์และจำนวนดวงโคมไฟในอาคารสำนักงานชั้นที่ 2..43
ตารางที่ 14 แสดงประเภท จำนวนหลอดต่อวัตต์และจำนวนดวงโคมไฟในอาคารสำนักงานชั้นที่ 3..43
ตารางที่ 15 ตารางแสดงระบบปรับอากาศแยกตามห้องในอาคารสำนักงานชั้นที่ 1 44
ตารางที่ 16 ตารางแสดงระบบปรับอากาศแยกตามห้องในอาคารสำนักงานชั้นที่ 2 45
ตารางที่ 17 ตารางแสดงระบบปรับอากาศแยกตามห้องในอาคารสำนักงานชั้นที่ 3 45
ตารางที่ 18 แสดงค่าไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม BEC 1.0.6 49
ตารางที่ 19 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีจากแต่ละระบบจากการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม BEC 1.0.6 49

Chulalongkorn University

ตารางที่ 20 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) โดยกำหนดเกณฑ์จาก กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.....50

ตารางที่ 21 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตราฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.....50

ตารางที่ 22 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตราฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.....50

ตารางที่ 23 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศผนัง กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตราฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 51

ตารางที่ 24 แสดงความหนาแน่นของฉนวนใยแก้ว ความหนาของแผ่นและราคาต่อตารางเมตร 52

ตารางที่ 25 แสดงความหนาแน่นของฉนวนใยแก้ว ความหนาของแผ่นและราคาต่อตารางเมตร 52

ตารางที่ 26 แสดงรายการวัสดุผนังทึบที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV).....53

ตารางที่ 27 แสดงรายการวัสดุผนังโปร่งแสงที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV).....54

ตารางที่ 28 แสดงรายการวัสดุหลังคาที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (RTTV) 56

ตารางที่ 29 แสดงรายการวัสดุผนังทึบและผนังโปร่งแสงที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าพลังงานโดยรวมต่อปีเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี.....58

ตารางที่ 30 แสดงรายการวัสดุผนังทึบ ผนังโปร่งแสงและหลังคา ที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี 60

ตารางที่ 31 แสดงพื้นที่ และประสิทธิภาพ จำนวนแผง และราคาของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 62

ตารางที่ 32 แสดงจำนวนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวนเครื่อง อินเวอร์เตอร์ ราคาต่อหน่วย และเงินลงทุนทั้งหมด 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 33 แสดงผลิตภัณฑ์ จำนวนแผ่น ราคาต่อแผ่น เงินลงทุนและค่าพลังงานโดยรวมต่อปี 62

ตารางที่ 34 แสดงพลังงานที่ได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับพลังงานโดยรวมของอาคารกรณีศึกษา และเทียบกับการปรับปรุงกรอบอาคารที่มีราคาถูกสุดและมีประสิทธิภาพดีสุด.....63

ตารางที่ 35 แสดงข้อมูลหลอดไฟเดิมอาคารสำนักงานราชการ.....64

ตารางที่ 36 แสดงข้อมูลหลอดไฟใหม่อาคารสำนักงานราชการ 64

ตารางที่ 37 แสดงข้อมูลหลอดไฟเดิมเปรียบเทียบค่าการส่องสว่าง (Lumen) และ วัตต์ (Watt) กับหลอดไฟใหม่ และแสดงราคาการปรับปรุง 65

ตารางที่ 38 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (kWh/year) ของหลอดไฟเดิมและหลอดไฟใหม่.....67

ตารางที่ 39 แสดงราคาหลอดไฟต่อหลอดและราคาโดยรวมของหลอดไฟทั้งหมดที่ใช้ในการปรับปรุง 67

ตารางที่ 40 ตารางแสดงจำนวน BTU ค่าการบริโภคพลังงาน (Power consumption) และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของระบบปรับอากาศเดิม.....68

ตารางที่ 41 ค่าประสิทธิภาพฉลากเบอร์ 5 ระบบปรับอากาศชนิด Fixed Speed จากการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย 68

ตารางที่ 42 ค่าประสิทธิภาพฉลากเบอร์ 5 ระบบปรับอากาศชนิด Variable Speed / Inverter จากการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย.....69

ตารางที่ 43 แสดงรุ่นเครื่องปรับอากาศ ค่าประสิทธิภาพ และราคาเครื่องปรับอากาศ.....69

ตารางที่ 44 แสดงขนาดเครื่องปรับอากาศ ค่าประสิทธิภาพ ค่าบริโภคพลังงาน และค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี 70

ตารางที่ 45 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีในระบบปรับอากาศ.....71

ตารางที่ 46 แสดงขนาด BTU เครื่องปรับอากาศเดิมและเครื่องปรับอากาศใหม่ และราคาต่อเครื่อง71

ตารางที่ 47 แสดงเงินลงทุนในระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ 72

ตารางที่ 48 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี(kWh/year) และค่าไฟฟ้า (บาท) ของอาคารกรณีศึกษาก่อนและหลังปรับปรุง และแสดงระยะคืนทุน.....72

ตารางที่ 49 แสดงค่า OTTV RTTV ค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี ราคาลงทุน และระยะเวลาคืนทุน.....73

ตารางที่ 50 แสดงการหาค่า Present Worth สัดส่วนผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุน.....74

ตารางที่ 51 แสดงการหาค่า Present Worth สัดส่วนผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุนแบบมี อัตราเพิ่มขึ้นค่าไฟฟ้า (escalation rate).....75

ตารางที่ 52 แสดงรายการวัสดุผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา ที่ใช้ในการปรับปรุง.....77

ตารางที่ 53 แสดงค่าการใช้พลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/year) ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างก่อนและหลังปรับปรุง.....78

ตารางที่ 54 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) และพลังงานโดยรวมต่อปี 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 รูปด้านอาคารสำนักงานราชการเขตทุ่งครุ 3
ภาพที่ 2 ผังอาคารสำนักงานราชการเขตทุ่งครุ 4
ภาพที่ 3 ตัวอย่างโปรแกรม BEC V 1.06 4
ภาพที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ 5
ภาพที่ 5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว 14
ภาพที่ 6 เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก 14
ภาพที่ 7 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส 15
ภาพที่ 8 Charge Controller 16
ภาพที่ 9 Battery 17
ภาพที่ 10 Inverter 17
ภาพที่ 11 แสดงระบบติดตั้งแบบอิสระ 18
ภาพที่ 12 แสดงระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย 19
ภาพที่ 13 แสดงระบบติดตั้งแบบผสมผสาน 20
ภาพที่ 14 อาคารสำนักงานราชการเขตทวีวัฒนา 35
ภาพที่ 15 อาคารสำนักงานราชการเขตบางแค 35
ภาพที่ 16 อาคารสำนักงานราชการเขตทุ่งครุ 36
ภาพที่ 17 พื้นที่โถงกลางภายในอาคารสำนักงานเขตทวีวัฒนา 36
ภาพที่ 18 พื้นที่ชั้นดาดฟ้าอาคารสำนักงานเขตทวีวัฒนา 37
ภาพที่ 19 แสดงผังชั้นล่างจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการและแสดงห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ 38
ภาพที่ 20 แสดงผังชั้นสองจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการและแสดงห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 21 แสดงผังชั้นสามจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการและแสดงห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ 39

ภาพที่ 22 แสดงผังชั้นดาดจากแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ.....40

ภาพที่ 23 หัวข้อการคำนวณพลังงานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (PV system) จากโปรแกรม BEC ver 1.0.6.....48

ภาพที่ 24 พื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 แสดงค่า OTTV ของผนังทึบหลังจำลองในโปรแกรม BEC 1.0.6 53

แผนภูมิที่ 2 แสดงค่า SHGC ของกระจกแต่ละประเภท.....54

แผนภูมิที่ 3 แสดงค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงหลังจำลองในโปรแกรม BEC 1.0.6 55

แผนภูมิที่ 4 แสดงค่า RTTV ของหลังคาหลังจำลองในโปรแกรม BEC 1.0.6.....56

แผนภูมิที่ 5 แสดงค่า OTTV ของผนังทึบและผนังโปร่งแสงหลังจำลองในโปรแกรม BEC 1.0.6 59

แผนภูมิที่ 6 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี ของผนังทึบและผนังโปร่งแสง.....59

แผนภูมิที่ 7 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี ของผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา.....60

แผนภูมิที่ 8 แสดงข้อมูลหลอดไฟเดิมเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าวัตต์ (Watt) กับหลอดไฟใหม่ และแสดงราคาการปรับปรุง 65

แผนภูมิที่ 9 แสดงค่าไฟฟ้าของหลอดไฟเดิมและหลอดไฟใหม่โดยรวมต่อปี.....67

แผนภูมิที่ 10 แสดงค่าบริโภคพลังงาน ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงระบบปรับอากาศ.....71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากวิกฤตด้านพลังงานในปี 2516 ที่เกิดการขาดแคลนพลังงานจากประเทศผู้ผลิตหยุดการจัดส่งน้ำมันทำให้ราคาน้ำมันพุ่งสูงแตะที่ระดับ 40 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล หลายประเทศจึงเห็นความจำเป็นของพลังงานและต้องการลดการพึ่งพาพลังงานนำเข้าจากประเทศผู้ผลิต ทำให้เกิดการค้นหาพลังงานทดแทนขึ้น ไม่ว่าจะเป็นก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงานจากแสงอาทิตย์ (ลูกโลกสีเขียว, 2551) และในด้านการออกแบบเกิดรูปแบบการออกแบบอาคารที่เรียกว่า Passive Design ที่เน้นการปรับอากาศและระบายอากาศโดยไม่ใช้เครื่องจักร ทว่าต่อมาช่วงปี 2532 การออกแบบ passive design ได้สูญหายไป เนื่องจากราคาน้ำมันในตลาดโลกที่ปรับตัวถูกลง อาคารทุกหลังจึงหันมาติดตั้งระบบปรับอากาศแทนกระทั่งปี 2530 นักวิทยาศาสตร์พบว่าสาร CFC (Chlorofluorocarbon) ในเครื่องปรับอากาศเป็นตัวทำลายชั้นบรรยากาศโลก และต่อมาได้พบอีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide ,Co2)ที่ปล่อยมาจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นตัวทำให้โลกร้อนขึ้น จึงเกิดกระแสเรียกร้องให้มีการอนุรักษ์พลังงาน(อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2561)

เวลาต่อมามีการประชุมผู้นำกลุ่มความร่วมมือทางเศรษฐกิจเอเชีย-แปซิฟิก (APEC) ช่วงพฤศจิกายน 2554 ณ สหรัฐอเมริกา ประเทศไทยได้ประกาศปฏิญญาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความมั่นคงทางพลังงานและการพัฒนาพลังงานสะอาด APEC มีเป้าหมายที่จะลดอัตราส่วนของปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อผลของกิจกรรมหรือลดความเข้มการใช้พลังงาน (Energy Intensity, EI) ลง (แผนอนุรักษ์พลังงาน 2558 - 2579) กระทรวงพลังงานจึงเริ่มใช้ดัชนีความเข้มการใช้พลังงาน (EI) เป็นแนวทางกำหนดนโยบายและจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงานในระยะยาวของประเทศไทย และได้กำหนดเป้าหมายที่จะลดความเข้มการใช้พลังงานลงร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2573 (แผนอนุรักษ์พลังงาน 2558 - 2579) และจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่งและภาคพลังงานให้ได้ร้อยละ 7-20 จากปริมาณที่ปล่อยในปี พ.ศ. 2548 จากอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) ธันวาคม 2557 ณ กรุงลิมา สาธารณรัฐเปรู

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นไปด้วยซึ่งส่งผลกระทบต่อการจัดหาพลังงานในอนาคต นอกจากนี้ประเทศไทยยังต้องเผชิญกับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน เช่นภาวะโลกร้อน จึงเป็นสาเหตุที่จำเป็นต้องมีการอนุรักษ์การพลังงาน ซึ่งในบริบทนี้หมายถึง การประหยัดหรือการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหนึ่งในมาตราการที่จะช่วยลดภาระด้านพลังงานคือการใช้พลังงานทางเลือก ซึ่งมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งเชื้อเพลิงชีวภาพ (Bio Fuel) แสงอาทิตย์ และลม โดยจัดเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด เฉลี่ยร้อยละ 5.8 ต่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปี ในช่วงปี 2553 ถึง 2583 เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากแหล่งเหล่านี้มีต้นทุนน้อยลงแต่ประสิทธิภาพดีขึ้น (สำนักงานนโยบายและแผนพัฒนา พ.ศ. 2560 - 2564)

นอกจากนี้ได้เริ่มมีกระแสการลดการใช้พลังงานโดยทำการปรับเปลี่ยนวัสดุและอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในอาคารให้ได้ประสิทธิภาพตามมาตราฐานในการลดการใช้พลังงานควบคู่กับ การใช้พลังงานทดแทน คืออาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ (zero-energy building) เป็นอาคารที่ผลิตพลังงานได้ปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าที่อาคารใช้ในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 1 ปี (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2561)ได้ผลทางตรงคือการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละอาคารและผลทางอ้อมคือลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ลดมูลค่านำเข้าพลังงานและการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่ม และประเทศไทยถือเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาจึงเกิดอาคารประเภท สำนักงาน โรงงาน ห้างสรรพสินค้า และที่อยู่อาศัยขึ้นตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจและอาคารเหล่านี้ มีความต้องการพลังงานเป็นจำนวนมากในการดำเนินงานภายในอาคาร

ที่มาของการทำวิจัยนี้ ได้เล็งเห็นถึงการใช้พลังงานภายในอาคารประเภทสำนักงาน ซึ่งเป็นสถานที่ที่คนส่วนใหญ่ใช้เวลาอยู่ภายในอาคารเป็นประจำและมีช่วงเวลาการใช้พลังงานค่อนข้างแน่นอน ทำให้สามารถทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานภายในอาคารได้แม่นยำมากกว่าอาคารประเภทอื่น โดยงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารมากขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยรวมผ่านการจำลองอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC (Building Energy Code) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองพลังงานของกระทรวงพลังงาน เพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานโดยรวมต่อปีภายในอาคารลงให้มากที่สุด และนำพลังงานหมุนเวียนคือพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทดแทนพลังงานที่ใช้ไปภายในอาคาร เพื่อให้นำไปสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิ์เป็นศูนย์ นอกจากนี้ต้องมีความสัมพันธ์กับความคุ้มค่าและระยะเวลาในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากแบบมาตรฐานของอาคารสำนักงาน

2.วิเคราะห์ปัจจัยการใช้พลังงานและแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคารให้สามารถมีพลังงานโดยรวมต่อปีเท่ากับศูนย์

3.สรุปผลและเสนอแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการเพื่อนำไปสู่การใช้พลังงานอาคารสุทธิเท่ากับศูนย์ และหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.ศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานของแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ ผ่านการจำลองอาคารโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC V1.06

2.ศึกษาเฉพาะการใช้พลังงานเฉพาะกรอบอาคาร เครื่องปรับอากาศ และการใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์แสงไฟประดิษฐ์

3.วิเคราะห์และเสนอเป็นแนวทางการออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยกำหนดแนวทางการปรับปรุงเฉพาะกรอบอาคาร เครื่องปรับอากาศ และการใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์แสงไฟประดิษฐ์เพื่อปรับปรุงการใช้พลังงานของแบบมาตราฐานสำนักงานสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์และเสนอจุดคุ้มทุนทางเศรษศาสตร์

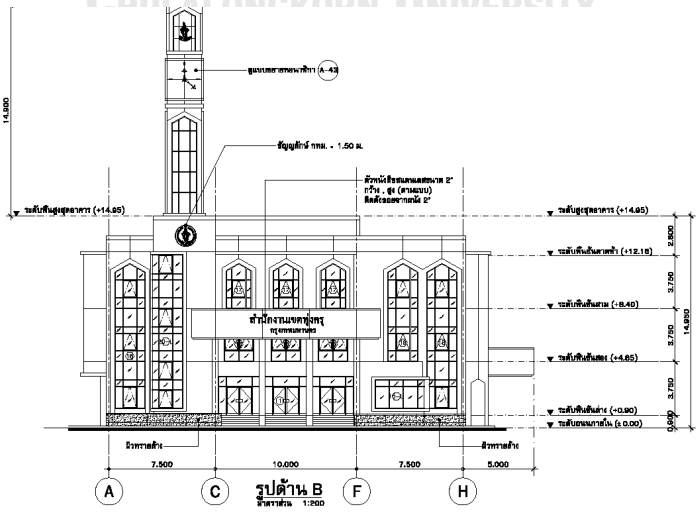
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษาโดยการจำลองค่าการถ่ายเทความร้อนและการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ทำการศึกษาผ่านโปรแกรมจำลองสภาพอาคาร BEC V 1.06 และนำผลที่ได้มาเสนอแนะวิธีการปรับเปลี่ยนเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สู่การใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

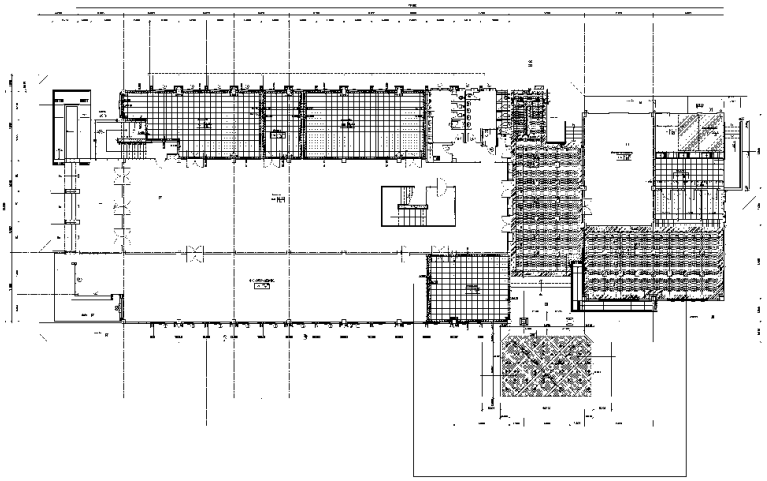
1.การรวบรวมข้อมูล

1.1 ศึกษาข้อมูลด้านทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานอาคารสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ในด้านอาคารสำนักงาน

1.2 ศึกษาวัสดุกรอบอาคาร ประเภทผนังทึบ ผนังโปร่งแสง ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศภายในอาคารสำนักงานราชการที่ทำการศึกษา



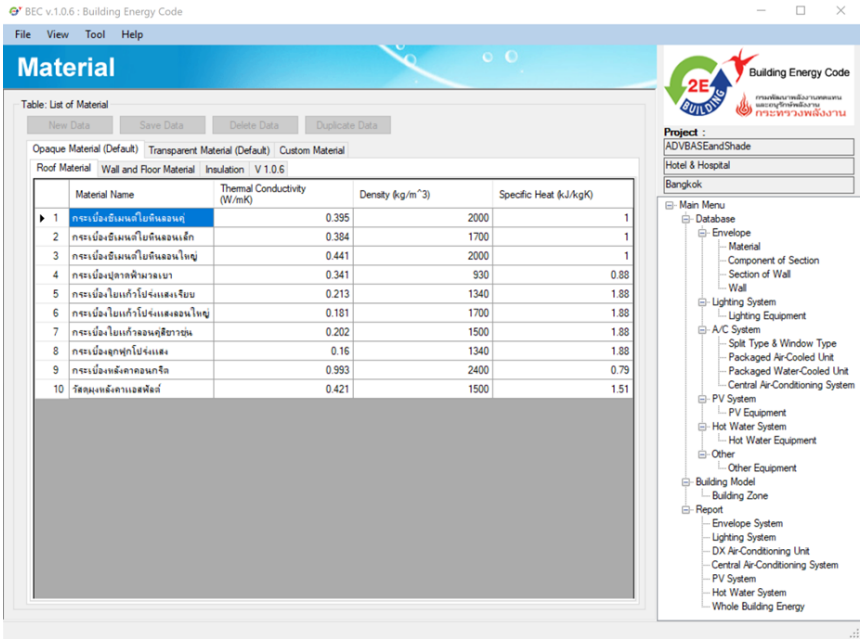
ภาพที่ 1 รูปด้านอาคารสำนักงานราชการเขตทุ่งครุ



ภาพที่ 2 ผังอาคารสำนักงานราชการเขตทุ่งครุ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลและการทดลอง

2.1 ทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยรวมภายในอาคารและหาค่าการใช้พลังงานรวมต่อปีของอาคารสำนักงานราชการที่ทำการศึกษาผ่านโปรแกรม BEC V 1.06



ภาพที่ 3 ตัวอย่างโปรแกรม BEC V 1.06

2.2 ปรับเปลี่ยนกรอบอาคาร ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง ระบบแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ให้มีการใช้พลังงานโดยรวม

ลดลง โดยเทียบกับ ค่าการใช้พลังงานจากการทดลองอาคารสำนักงานราชการที่ได้ทำการศึกษา

2.3 เสนอแนวทางการปรับเปลี่ยนวัสดุเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคาร และหาพลังงานที่ต้องใช้เพื่อทดแทนพลังงานที่เสียไป โดยการติดตั้งแผ่นพลังงานแสงอาทิตย์

3.สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะแนวทาง

3.1 สรุปผลการปรับปรุงในแต่ละแนวทางเพื่อหาแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด

3.2 หาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ในแต่ละแนวทาง

3.3 อภิปรายสรุปผล และเสนอแนวทางการออกแบบที่มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

แนวทางเลือก	เงินลงทุน investment (บาท)	ค่าไฟฟ้า /ปี (บาท)	A - P (y=20, i=8%)	Present Worth of Operating Cost (Electricity)	Total P.W (LCC) (บาท)
แบบที่ 1.	0.00	15358.73	9.818	150,792.01	150,792.01
แบบที่ 2.	13,746.00	15340.48	9.818	150,612.83	164,358.83
แบบที่ 3.	23,490.00	15300.08	9.818	150,216.19	173,706.19
แบบที่ 4.	37,236.00	15299.44	9.818	150,209.90	187,445.90
แบบที่ 5.	31,420.00	15290.31	9.818	150,120.26	181,540.26

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา

2.ทราบแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงอาคารประเภทอาคารสำนักงานที่ได้ทำการศึกษา และความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นทางเลือกในการลงทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อาคารที่ใช้พลังงานเท่ากับศูนย์ (Zero Energy Building: ZEB)

อาคารที่ใช้พลังงานเท่ากับศูนย์(Zero Energy Building: NZEB) คืออาคารที่มีการปรับปรุงหรือออกแบบการใช้พลังงานในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด (ปารวี ตั้งจิตวิทยา, 2556) ซึ่งเป็นอาคารที่สามารถสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนได้อย่างน้อยเท่ากับพลังงานที่ถูกใช้ในอาคาร (สุรเชษฐ์ ณ เชียงใหม่, 2560) และในระดับนานาชาติยังเป็นเป็นแนวทางปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยส่วนประกอบก๊าซเรือนกระจกเช่น Co2 และลดการใช้พลังงานจากภาคอาคารลง (Marszal et al., 2011) ด้วยความสนใจและจำนวนงานวิจัยทางด้าน ZEB ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดเป้าหมายที่จะดำเนินการทางด้าน ZEB ในระดับนานาชาติเช่น USA คือ the Energy Independence and Security Act of 2007 (EISA 2007) และในยุโรปคือ the recast of the Directive on Energy Performance of Buildings (EPBD) เพื่อช่วยส่งเสริมให้เกิด ZEB ได้โดยรัฐบาลจะส่งเสริมให้อาคารใช้พลังงานทดแทนอีก 50% ซึ่งประมาณการณ์ว่าภายในปี ค.ศ.2030 อาคารทุกหลังจะสามารถสร้างให้ประหยัดพลังงานได้ถึงขั้น zero-energy ซึ่งเกณฑ์การออกแบบ 50% นี้ได้ถูกบรรจุเข้าไปในเกณฑ์การประเมิน LEED Version 4.0 ที่บังคับใช้กับอาคารเขียวอย่างเป็นทางการตั้งแต่เดือนตุลาปี พ.ศ.2559(อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2561)

2.2 ความหมายอาคารที่ใช้พลังงานเท่ากับศูนย์

มีความสับสนในการเลือกใช้ระหว่าง อาคารที่มีการใช้พลังงานเท่ากับศูนย์ (Zero Energy Building : ZEB) และอาคารที่มีการใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building : NZEB) โดยคำจำกัดความนี้คณะกรรมการ international Energy Agency (IEA) joint Solar Heating and cooling (SHC) และ Energy Conservation in Building and Community Systems (ECBCS) ได้แยกคำจำกัดความทั้งสองออกจากกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้(กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

อาคารที่มีการใช้พลังงานเท่ากับศูนย์ (Zero Energy Building : ZEB) คืออาคารที่มีผลรวมปริมาณการใช้พลังงานเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานทดแทนทั้งนอกและในสถานที่ตั้งของอาคาร รวมเป็นศูนย์ต่อปี และเป็นอาคารที่เป็นอิสระจากระบบพลังงาน โดยสามารถสร้างพลังงานด้วยตัวเองอย่างเพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งไม่ต้องพึ่งการนำพลังงานจากภายนอกมาใช้ภายในอาคาร โดยสามารถใช้แหล่งพลังงานทดแทน (Renewable Energy Source : RES) ในสถานที่ตั้งอาคารนั้นเอง (Autonomous, off-grid ZEB) ซึ่งอาคารประเภทนี้ถูกจัดให้เป็นเป้าหมายรองด้าน

อาคารเขียว (Marszal et al., 2011) เมื่อรวมกับคำว่า สุทธิ (Net) เป็นคำขยายความที่ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานของอาคารและผู้ใช้พลังงาน เทียบกับพลังงานที่อาคารสามารถสร้างได้จากแหล่งพลังงานทดแทน และสามารถจ่ายคืนกลับสาระบบเครือข่ายภายนอก (Grid) ได้ (Karsten Voss, Eike Musall, and Markus Lichtmeß, 2011)

อาคารที่มีการใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building : NZEB) นั้นในปัจจุบันยังไม่มีความหมายกลางที่เป็นข้อตกลงร่วมกันของทุกองค์กร (Deng, Wang, and Dai, 2014) เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับเป้าหมายของโครงการ เป้าหมายของผู้ออกแบบอาคาร หรือเป้าหมายของเจ้าของอาคาร (Deng et al., 2014) แต่โดยทั่วไปสามารถให้ความหมาย NZEB ได้หมายถึง อาคารที่สามารถสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนได้อย่างน้อยเท่ากับพลังงานที่ถูกใช้ในอาคารและมีการเชื่อมระบบด้านพลังงานเข้ากับระบบสาธารณูปโภคในระดับที่ใหญ่กว่า และไม่ใช่อาคารที่ดำรงอยู่ได้ด้วยตนเอง(มิได้ปลดตนเองออกจากระบบพลังงานภายนอก) โดยใช้พลังงานรวมทั้งหมดเป็นศูนย์ต่อหนึ่งช่วงเวลา หรือสามารถสร้างพลังงานจ่ายกลับคืนสู่ระบบได้ ซึ่งอาคารประเภทนี้เป็นเป้าหมายที่องค์กรด้านพัฒนาอาคารเขียวพยายามมุ่งพัฒนาให้เกิดขึ้นอาทิเช่น LEED และ BREEAM เป็นต้น (Marszal et al., 2011) (Sartori, Napolitano, and Voss, 2012)

นอกจากนี้คำจำกัดความของอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่ (ปารวี ตั้งจิตวิทยา, 2556)

1.Net Zero Site Energy (Site ZEB) หมายถึงอาคารที่สามารถสร้างพลังงานได้เพียงพอต่อการใช้งานตลอดปี

2.Net Zero Source energy (Source ZEB) หมายถึงอาคารที่สามารถสร้างพลังงานได้เพียงพอต่อการใช้งานเองตลอดปี เมื่อคิดคำนวณที่แหล่งพลังงาน โดยแหล่งพลังงานคือพลังงานที่ใช้ในการสร้างและขนส่งมายังที่ตั้ง

3.Net zero energy cost (Cost ZEB) หมายถึง รายได้จากการขายพลังงานที่สร้างได้ ณ ที่ตั้งอาคาร เพียงพอหรือมากกว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซื้อบริการพลังงานมายังอาคาร

4. Net Zero Energy Emissions (Emission-based ZEB) หมายถึง อาคารสร้างพลังงานหมุนเวียนชนิด emission free ได้เท่ากับหรือมากกว่าแหล่งพลังงานชนิด emission producing ที่ใช้ไป

โดยสรุปแล้วการจะทำให้การทำให้การใช้พลังงานในอาคารสุทธิเป็นศูนย์นั้นสามารถทำได้ด้วยการทำให้อาคารมีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูง ต้องมีการบริโภคพลังงานในอาคารให้ต่ำที่สุด และมีการผลิตพลังงานเองภายในอาคารให้เพียงพอต่อความต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 อาคารเขียว(Green Building)

เกิดจากการนำเอาแนวความมาจากสถาปัตยกรรมยั่งยืน (Sustainable Architecture) มาใช้โดยสถาปัตยกรรมยั่งยืนมีรากฐานมาจากแนวความคิดการออกแบบ passive design ซึ่งเกิดขึ้นในปี 1973 โดยเน้นทางด้านการปรับอากาศและการระบายอากาศโดยไม่ใช้เครื่องจักรกลที่ใช้พลังงาน ทว่าในช่วงปี 1980 passive design ได้สูญหายไปพร้อมกับอุตสาหกรรมแผงโซลาร์เซลล์ และพลังงานทดแทน เนื่องจากพลังงานมีราคาถูกลง

กระทั่งในปี 1987 นักวิทยาศาสตร์พบว่าสาร CFC ในเครื่องปรับอากาศเป็นตัวทำลายชั้นบรรยากาศโลก และก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์จากโรงงานไฟฟ้าทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นจึงทำให้เกิดกระแสเรียกร้องการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างจริงจัง นับแต่นั้นจึงเกิดคำว่าการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable development) นอกจากนี้ทางด้านสถาปัตยกรรมได้เกิดกระแส สถาปัตยกรรมยั่งยืน(Sustainable Architecture) ที่มาพร้อมกับคำว่า พลังงานสะสมรวม (Embodied energy) ที่มีการคำนึงถึงการใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่ใช้พลังงานน้อยในแง่ของการผลิต ขนส่ง และการก่อสร้าง แต่คำว่า สถาปัตยกรรมยั่งยืนก็ยังมีความหมายที่คลุมเครือไม่ชัดเจนจึงเกิดคำว่า อาคารเขียว โดยนำเอาเทคโนโลยีที่เหมาสม และการออกแบบ passive design มาประกอบด้วย (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2561) โดยความหมายของอาคารเขียวคือ “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้อาคารสามารถใช้ประโยชน์จากสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ (แสงแดด ลม ดิน น้ำ พืชพันธ์ สัตว์) ด้วยวิธี passive อย่างเต็มที่และใช้วิธี active เท่าที่จำเป็น” (Behling and Behling, 1996)

2.4 อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy-efficient Buildings)

แนวคิดของอาคารอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน คือความต้องการใช้พลังงานเพื่อตอบสนองสภาวะแวดล้อมที่น่าพึงพอใจแต่มีการใช้พลังงานที่น้อยลง (Omer, 2008a) การออกแบบโดยคำนึงถึงความร้อนและความเย็นเป็นหนึ่งในแนวทางที่ดีที่สุดที่จะช่วงลดค่าใช้พลังด้านพลังงานให้กับอาคาร (Omer, 2008b) เพื่อที่จะทำให้อาคารมีประสิทธิภาพด้านพลังงานจึงต้องมีการออกแบบที่หลากหลายและการเลือกใช้โครงสร้างที่มีประสิทธิภาพ (Feng, 2004) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องชี้ชัดว่าการออกแบบรูปแบบใดที่จะส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน และผลลัพท์นั้นจะตอบสนองต่อความต้องการด้านพลังงานของอาคารอย่างไร โดยปัจจัยเหล่านี้มีรายละเอียดดังนี้

2.5 ปัจจัยที่ทำให้อาคารมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน

ความหมายของอาคารที่มีประสิทธิภาภด้านพลังงาน (Energy – efficient Building: EeB) คืออาคารที่สามารถลดการใช้พลังงานด้านอาคารให้ได้ต่ำที่สุดโดยที่สามารถตอบสนองการใช้งานและสามารถสร้างสภาวะแวดล้อมภายในอาคารให้ได้ตามต้องการรวมถึงสร้างภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้อาคาร

ได้(กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, 2558)ปัจจัยด้านการออกแบบอาคารมีอิทธิพลอย่างมากโดยต้องนำปัจจัยเหล่านั้นมาประกอบรวมกันอย่างเหมาะสมเพื่อทำให้อาคารบรรลุการมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน มีดังต่อไปนี้ (Pacheco, Ordóñez, and Martínez, 2012)

2.5.1 ปัจจัยด้านสถานที่ตั้งอาคาร (Site)

อาคารควรใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบทางธรรมชาติของสถานที่ตั้งและสิ่งแวดล้อมรอบข้างให้มากที่สุด ซึ่งไม่เพียงเป็นการส่งเสริมให้มีภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้อาคาร ยังสามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคารให้ลดลงได้(กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, 2558) ปัจจัย

2.5.2 ปัจจัยด้านรูปทรงอาคาร (Building Shape)

รูปทรงอาคารนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลโดยตรงกับการใช้พลังงานของอาคาร เนื่องจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบอาคารสามารถเพิ่มความต้องการการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้สูงถึง 25%(Elasfouri, Maraqa, and Tabbalat, 1991)นอกจากนี้รูปทรงอาคารยังชี้ถึงปริมาณพื้นที่ของเปลือกอาคารที่อาจมีการรั่วไหลของอากาศที่ถูกปรับสภาวะแล้วออกสู่ภายนอก เป็นสาเหตุให้สิ้นเปลืองพลังงานได้ สำหรับการออกแบบอาคารที่มีการปรับอากาศ สัดส่วนของพื้นที่ผิวเปลือกอาคารกับปริมาตรรวมของอาคารนั้นควรมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

2.5.3 ปัจจัยด้านทิศทางการวางอาคาร (Orientation)

ปัจจัยด้านทิศทางการวางอาคาร เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงที่สุด ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับการรับรังสีอาทิตย์ของเปลือกอาคาร ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดทิศทางการวางอาคารได้อย่างเหมาะสมนั้นคือ มุมทิศ (Azimuth) คือการวัดขนาดมุมทางราบที่วัดจากแนวทิศเหนือหลักเวียนตามเข็มนาฬิกามาบรรจบกับแนวเป้าหมายที่ต้องการ มุมทิศนี้จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 360 เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอุปกรณ์บังแดด ทิศทางการวางอาคารและการรับรังสีอาทิตย์ (Orientation and solar radiation received) เป็นประเด็นสำคัญเนื่องจากอาคารในเขตร้อนชื้นเช่นประเทศไทยจำเป็นต้องควบคุมการรับรังสีอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมตลอดทั้งปี การรับรังสีอาทิตย์โดยตรง อาจทำให้ได้รับพลังงานความร้อนมากเกินไป ส่งผลให้เกิดภาระในการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ (กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข ,2558) และเกิดพังงานไฟฟ้าขึ้น

2.5.4 ปัจจัยด้านลักษณะกรอบอาคาร (Building Envelope)

กรอบอาคาร (Building Envelope) เป็นส่วนของอาคารที่เป็นกรอบด้านนอกสุด ที่กั้นสภาพแวดล้อมภายในอาคารออกจากสภาพแวดล้อมภายนอก โดยกรอบอาคารได้แก่ ฐานราก หลังคา ผนัง ประตู และหน้าต่าง พบว่าโดยปกติภาระการปรับอากาศภายในอาคารเป็นผลมาจาก

ความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกประมาณ 60% ที่เหลือเกิดจากความร้อนภายในตัวอาคาร(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553) ความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกมีการส่งผ่านพลังงานเข้าสู่อาคารโดยตรง ผ่านพื้นที่ผิวโปร่งแสง เช่นหน้าต่าง และหลังคาโปร่งแสง (Skylight) ผ่านพื้นที่ผิวทึบแสง เช่น ผนังทึบ พื้น หลังคา นอกจากนี้มีความร้อนที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศเข้าออกอาคาร (infiltration) องค์ประกอบของกรอบอาคาร เป็นส่วนสำคัญที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร มีดังต่อไปนี้(Pacheco et al., 2012)

2.5.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient: U) ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านวัสดุกรอบอาคารต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot {}^oK)$ หรือ$W/(m^2 \cdot {}^oC)$ โดยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) นั้นคือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน (R) คือ U = 1/R โดยค่า U จะแสดงถึงอัตราการส่งผ่านความร้อนในวัสดุตัวอย่างเช่นถ้าวัสดุมีค่า U มากนั้นหมายถึงวัสดุนั้นมีอัตราการส่งผ่านความร้อนมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ไม่ดี แต่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เป็นต้น(กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

2.5.4.2 ค่าอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือ ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนัง (Window-to-Wall Ratio: WWR) คือพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง (ที่เป็นกระจก) หารด้วยพื้นที่ผนังทั้งหมด ค่า WWR นี้จะมีค่าตั้งแต่ 0.00 ถึง 1.00หรืออาจระบุเป็นค่าร้อยละ(%) ได้ตัวอย่างเช่น ผนังผืนหนึ่งมีค่า WWR เท่ากับ 0.6 หรือ 60% เป็นต้นโดยปกติแล้ว เมื่อออกแบบอาคารที่มีการปรับอากาศให้มีค่า WWR ลดลง อาคารนั้นจะมีการใช้พลังงานลดลงตามไปด้วย (Lollini, Barozzi, Fasano, Meroni, and Zinzi, 2006)

2.5.5 ปัจจัยด้านอุปกรณ์บังแดด (Shading on Building)

อุปกรณ์บังแดด คือองค์ประกอบอาคาร ที่ตติดตั้งบริเวณกรอบอาคารใช้ควบคุมปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่อาคาร โดยเฉพาะผนังโปร่งแสง ซึ่งสามารถลดภาระด้านพลังงานในระบบการปรับอากาศลง โดยสิ่งที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์บังแดดคือค่า สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Co efficient: SC)

$$\text{Shading Coefficient} = \frac{\text{Solar Factor ของกระจกที่ต้องการจะวัด}}{\text{Solar Factor ของกระจกใสหนา3 มิลลิเมตร}}$$

โดย ค่าประกอบรังสีอาทิตย์ (Solar Factor หรือ Solar Heat Gain Factor) เป็นอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ทั้งหมดผ่านกระจหรือผนังโปร่งแสง เข้ามาในอาคาร ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2010; (Pacheco et al., 2012)

โดยอุปกรณ์บังแดดที่ดี ไม่ควรทึบมากเกินไปเนื่องจากอาจปิดกั้นแสงจากธรรมชาติ ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานในระบบไฟฟ้าส่องสว่างในช่วงกลางวัน

2.5.6 ปัจจัยด้านช่องเปิดกระจก (Glazing)

ช่องเปิดกระจกเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร เนื่องจากช่องเปิดไม่เพียงแต่นำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร แต่ยังนำความร้อนเข้าสู่อาคาร ในกระบวนการออกแบบด้านพลังงานจำเป็นต้องคำนึงถึงประเด็นที่เกี่ยวข้องกับช่องเปิดกระจก ดังนี้

2.5.6.1 สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal comfort) และ ความสว่างจากแสงธรรมชาติภายในอาคาร (Indoor illumination)

2.5.6.2 ประเภทของกระจก (Glazing Types)

1. กระจกดูดความร้อน (Heat-absorbing Glass)
2. กระจกสะท้อนความร้อน (Heat-reflecting Glass)
3. กระจกแผ่รังสีต่ำ (Low Radiation Glass)

2.5.6.3 การเคลือบกระจก (Film-Plating Glazing) คือการเคลือบผิวกระจกด้านนอก, ด้านใน หรือ ทั้งสองด้าน โดยวัสดุประเภทสารประกอบโลหะ ได้แก่ ฟิล์มเพื่อลดการแผ่รังสี ฟิล์มสะท้อนแสง ฟิล์มย้อมสีกระจก หรือการเคลือบเพื่อยอมให้คลื่นแสงผ่านได้เฉพาะบางช่วงคลื่น

2.5.7 ปัจจัยด้านระบบแสงสว่าง (Lighting)

ระบบแสงสว่างภายในอาคาร เป็นปัจจัยสำคัญต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยอาจมีค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างสูงถึง 15-25% ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร (Nelson,2014) ปัจจัยด้านระบบแสงสว่างที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารเช่น องค์ประกอบของการเลือกหลอดไฟส่องสว่างที่เหมาะสมและต้องพิจารณาคือ ประสิทธิภาพของหลอดไฟ (Efficacy: Lumens per watt) อุณหภูมิของแสง (Color Temperature) ดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index: CRI) อายุการใช้งาน การบำรุงรักษา ความสะดวกในการซื้อหา ความเหมาะสมของปุบกรณ์ประกอบ ความสามารถในการหรี่แสง (Dimming Capability)(กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

2.5.8 ปัจจัยด้านระบบการสร้างสิ่งแวดล้อมอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive System)

อาคารควรใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบทางธรรมชาติของสถานที่ตั้งและสิ่งแวดล้อมรอบข้างให้มากที่สุด เพื่อลดภาระการปรับอากาศภายในอาคารให้ต่ำที่สุด โดยระบบการสร้างสิ่งแวดล้อมอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Systems) ในประเทศสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Hot-humid Climate) มุ่งเน้นการใช้งาน ระบบทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Cooling) ได้แก่

2.5.8.1 ระบบการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Nature Ventilation)

2.5.8.2 ระบบการทำความเย็นด้วยการพาความร้อนในเวลากลางคืน (Nocturnal Convective)

2.5.8.3 ระบบการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี (Radiant Cooling)

2.5.8.4 ระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของไอน้ำในอากาศ (Evaporative Cooling)

2.5.8.5 ระบบการทำความเย็นด้วยกระแสลมใต้ดิน (Earth-air Cooling)

2.6 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ความร้อนภายในอาคาร มีสาเหตุมาจาก 2 แหล่งนั้นคือ ความร้อนจากภายนอก และความร้อนจากภายในโดยสามารถแบ่งแยกสาเหตุได้ดังนี้

ที่มาของความร้อนภายในอาคาร

1 ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Internal Heat Gain) ได้แก่ คน อุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

2 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร (External Heat gain) โดยจะแบ่งได้ 3 แบบดังนี้

2.1 การนำความร้อน Heat conduction

เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุล โดย “โมเลกุลที่อยู่ในสสารเดียวกันหรือระหว่างสสารสองชนิดที่สัมผัสกันโดยตรง การนำความร้อนเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่อุ่นกว่าสั่นสะเทือนถ่ายเทพลังงานของมันไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่า” โดยวัสดุที่มีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดีคือวัสดุประเภท โลหะ และวัสดุที่มีคุณสมบัติหน่วงความร้อนได้แก่ ไม้ ผ้า หรือฉนวนประเภทต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 การพาความร้อน (Heat convection)

เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่มีลักษณะเป็นของเหลวและก๊าซ โดยเมื่อโมเลกุลของเหลวหรือก๊าซได้รับความร้อนอุณหภูมิจะสูงขึ้นความหนาแน่นจะน้อยลงและเคลื่อนที่ลอยตัวสูงขึ้นในขณะที่ และโมเลกุลที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะมีความหนาแน่นมากและเคลื่อนที่ต่ำลง โดยสังเกตได้จากปรากฏการณ์ความร้อนที่ลอยขึ้นสู่ปล่องอากาศ

2.3 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Radiation)

เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic waves) โดยเดินทางจากวัตถุที่มีความร้อนไปสู่ผิวของวัตถุที่มีความความเย็น ในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง เช่น อาคารที่ได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นต้น

2.7 เซลล์แสงอาทิตย์

เป็นกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยใช้สารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนเพื่อให้สามารถปล่อยประจุไฟฟ้าได้ โดยสารกึ่งตัวนำที่มีการใช้เช่น ซิลิกอน ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในทรายทำให้มีราคาถูก โดยหลักการทำงานคือ เมื่อได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะเปลี่ยนตัวเองเป็นตัวนำไฟฟ้า โดยแยกเป็นประจุบวก และประจุลบ เพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้ โดยประโยชน์ของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์คือ

1.เป็นแหล่งไฟฟ้าหมุนเวียนที่มาจากธรรมชาติ สามารถใช้ได้ไม่วันหมด

2.ไม่ต้องการการดูแลรักษาบ่อย

3.กระบวนการผลิตไฟฟ้าไม่ทำให้เกิดมลภาวะ

4. สามารถผลิตได้หลากหลายขนาด ทำให้ยืดหยุ่นต่อการใช้งานและติดตั้ง

5.สามารถผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆมาก

6.สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทุกที่แม้จะห่างไกลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า

7.ประสิทธิภาพการใช้งานคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับขนาด

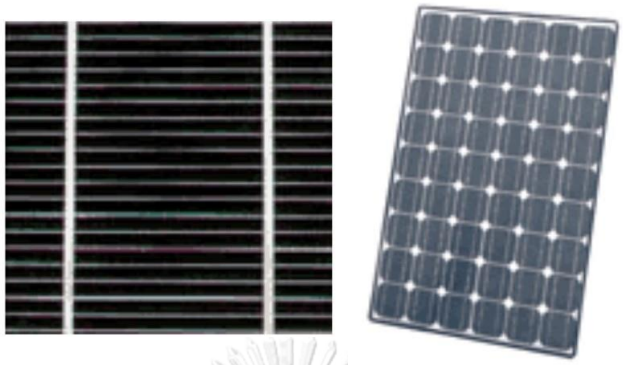
8.ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวจากการผลิตไฟฟ้าทำให้ไม่เกิดมลภาวะทางเสียง

แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ หรือแผ่น PV ซึ่งย่อมาจาก photovoltaic ซึ่งแยกเป็น 2 คำคือ photo และ volt รวมกันแล้วเป็นคำว่าแรงดันไฟฟ้า โดยสร้างขึ้นเพื่อปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยผู้ที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์คนแรกในปี 1883 คือนักวิจัย Charles Fritts เซลล์แสงอาทิตย์ยุคแรกทำจาก ซีลีเนียม ต่อมาในปี 1954 ได้ถูกดัดแปลงเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในปี 1959 กระทั่งปัจจุบัน เซลล์แสงอาทิตย์ ทำมาจากสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิคอน(Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (GaAs : Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟต์ (Indium Phosphide), แคดเมียน เทลไรด์ (CaTe : Cadmium Telluride)และ คอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper indium Diselenide) (ชาญณรงค์ น้อยบางยาง and ถาวร สุวรรณกิจ, 2556)

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้ 3 รูปแบบ

1. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือ Monocrystalline Silicon Solar Cell เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางผลิตจากแท่งผลึกซิลิคอน ที่เกิดจากการหลอมละลายซิลิคอนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 องศาเซลเซียส ผ่านกระบวนการตกผลึกอย่างช้า ๆ และนำมาตัดเป็นแผ่นบาง ข้อดีของแผงชนิดนี้คือมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากผลิตจากซิลิคอนเกรดดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 15-20% โดยเฉลี่ยมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 25 ปี สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้แม้อยู่ในภาวะแสน้อย

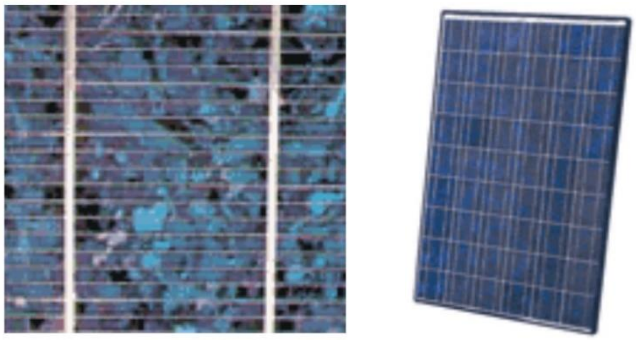
ข้อเสียของแผงคือ มีราคาแพงที่สุด และถ้าตัวแผ่นมีความสกปรก หรือถูกบังแสงบางส่วนของแผงอาจทำให้วงจรหรือ inverter ไหม้ได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2015)



ภาพที่ 5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

ที่มา : http://www4.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_technology [สืบค้น 3 มิถุนายน 2562]

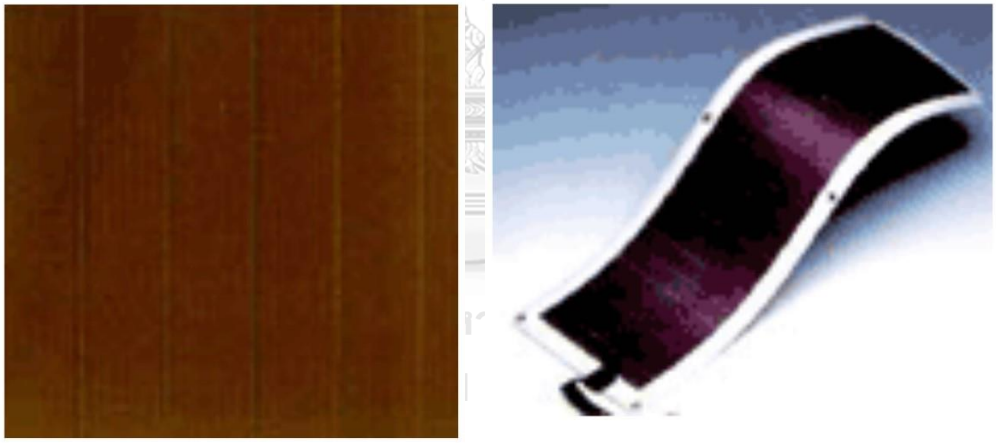
2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก (Polycrystalline silicon solar cell หรือ PC-Si) กระบวนการผลิตผลึกชนิดนี้เริ่มจากการนำซิลิคอนบริสุทธิ์มาหลอมเป็นแท่ง แล้วปล่อยให้เย็นตัวอย่างช้าๆ ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นบาง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีราคาต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว การสังเกตความแตกต่าง ระหว่างเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวและผลึกรวม คือเซลล์ผลึกรวมจะเห็นหน้าผลึกหลาย ๆ ด้านในแผ่นเซลล์ ในขณะที่ผลึกเดี่ยวจะเป็นสีน้ำเงินเข้มสีเดียว ข้อดีของแผงชนิดนี้คือ มีขั้นตอนกระบวนการผลิตง่าย ไม่ซับซ้อนจึงใช้ปริมาณซิลิคอนในการผลิตน้อย และมีประสิทธิภาพในการใช้งานในที่อุณหภูมิสูงดีกว่า ชนิดผลึกเดี่ยว เล็กน้อย ข้อเสียคือ มีประสิทธิภาพน้อยกว่าแบบผลึกเดี่ยวโดย มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 13–16% ตัวแผ่นมีเฉพาะสีน้ำเงินทำให้ดูไม่สวยงามเมื่อเทียบกับแบบ แผ่นผลึกเดี่ยว หรือแผ่นอะมอร์ฟัส (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2015)



ภาพที่ 6 เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก

ที่มา : http://www4.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_technology [สืบค้น 3 มิถุนายน 2562]

3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบามาก เป็นการนำเอาสารที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นกระแสไฟฟ้า มาฉาบเป็นฟิล์มหรือชั้นบางๆ ซ้อนกันหลายๆชั้น จึงเรียก โซล่าเซลล์ชนิดนี้ว่า ฟิล์มบาง หรือ thin film ซึ่งสารฉาบที่ว่านี้ก็มีด้วยกันหลายชนิด ชื่อเรียกของ แผงโซล่าเซลล์ ชนิดฟิล์มบางจึงแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่นำมาใช้ ได้แก่ อะมอร์ฟัส Amorphous silicon (a-Si),Cadmium telluride (CdTe),Copper indium gallium selenide (CIS/CIGS) และ Organic photovoltaic cells (OPC)ด้านประสิทธิภาพของ แผงโซล่าเซลล์ ชนิดฟิล์มบางนั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นฟิล์มฉาบ แต่สำหรับบ้านเรือนโดยทั่วไปแล้ว มีเพียงประมาณ 5% ข้อดีของแผ่นคือ เป็นฟิล์มชนิดบาง มีราคาถูกกว่า ในที่อากาศร้อนจัด แผงแบบอะมอร์ฟัสมีผลกระทบน้อยกว่าไม่มีปัญหาเรื่องแผ่นสกปรกแล้ววงจรไหม้ นอกจากนี้ยังประหยัดพื้นที่ติดตั้ง ข้อเสียคือ ตัวแผ่นมีประสิทธิภาพต่ำ การรับประกันสั้นกว่าชนิดผลึกซิลิคอน



ภาพที่ 7 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส

ที่มา : http://www4.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_technology [สืบค้น 3 มิถุนายน 2562]

2.8 Charge Controller

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาประจุให้กับแบตเตอรี่ซึ่งการประจุนี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัดทำให้เสื่อมสภาพเร็วและเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็ต้องจัดการชาร์จทันที (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ,2015)

ภาพที่ 8 Charge Controller
ที่มา : https://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2016/02/2-solar.pdf
[สืบค้น 3 มิถุนายน 2562]

2.9 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้จัดเก็บพลังงานไฟฟ้ามีการพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากขึ้น โดยการออกแบบให้แผ่นธาตุตะกั่วมีความหนาเป็นพิเศษเป็นผลทำให้ค่าความต้านทานภายในสูงสามารถจัดเก็บได้สูงแต่จะจ่ายกระแสออกมาได้ไม่สูงมากนัก ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงๆในระยะเวลาสั้นๆเช่นการใช้กับรถยนต์ซึ่งมีความต้องการกระแสที่สูงมากในช่วงสตาร์ทเครื่องยนต์ ส่วนเครื่องสำรองไฟ (Uninterruptible Power Supply: UPS) หรือการเก็บพลังงานสำรองจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งแบตเตอรี่แบบใช้ในรถยนต์และแบตเตอรี่เก็บสำรองพลังงานทดแทนนี้ มีราคา ขนาด และน้ำหนักที่ต่างกันมากถึงแม้มีกำลัง วัตต์ต่อชั่วโมง (Watt Hour :WH) เท่ากัน โดยการใช้งานแบตเตอรี่ต้องทราบข้อจำกัดด้านอุณหภูมิและระดับความลึกในการคายประจุ (Depth of Discharge: DOD) ในระหว่างทำงานด้วยซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ควรเก็บตัวแบตเตอรี่ไว้ในอากาศเย็นและไม่ควรใช้ประจุไฟฟ้าต่ำกว่าระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ,2015)

ภาพที่ 9 Battery

ที่มา : https://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2016/02/2-solar.pdf

[สืบค้น 3 มิถุนายน 2562]

2.10 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานกระแสตรงจากแบตเตอรี่หรือจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านโดยทั่วไป อินเวอร์เตอร์จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้ Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ 50Hz ในระบบที่มีขนาดเล็ก ผู้ผลิตอาจจะรวมสงจรอินเวอร์เตอร์เข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุมประจุไฟฟ้าแบตเตอร์รี่ (Battery Charger and Controller) ในการใช้งานต้องมีค่ากำลังงานสูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 15-20% เนื่องจากอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพประมาณ 80-85% เช่นกำลังวัตต์ที่ใช้งาน 800 วัตต์ ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

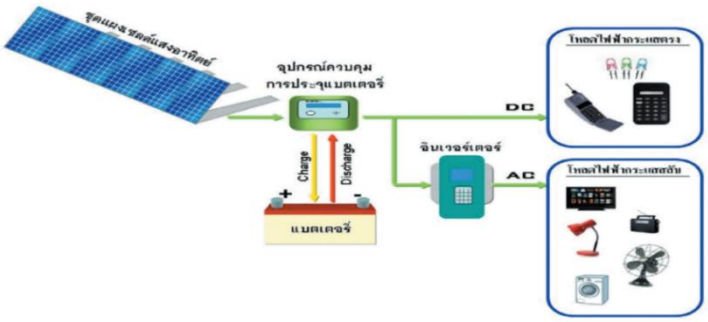
ภาพที่ 10 Inverter

ที่มา : https://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2016/02/2-solar.pdf

[สืบค้น 3 มิถุนายน 2562]

2.11 ระบบการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์

1. ระบบติดตั้งแบบอิสระ (Stand alone system) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจาก National Grid โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมกัน ส่วนในช่วงกลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้น พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Stand alone เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2015)



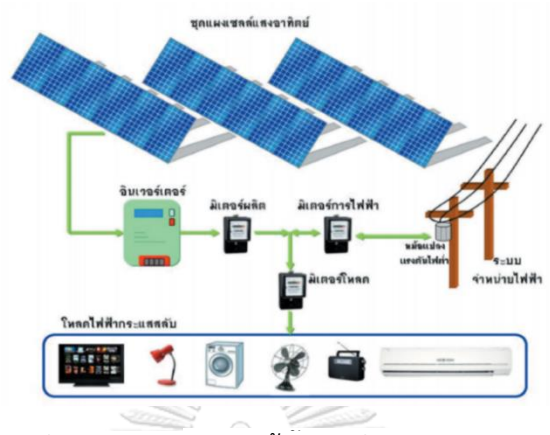
ภาพที่ 11 แสดงระบบติดตั้งแบบอิสระ

ที่มา : http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=804 [สืบค้น 23 กันยายน 2561]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า สังเกตได้เนื่องจากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนปกติ ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผง

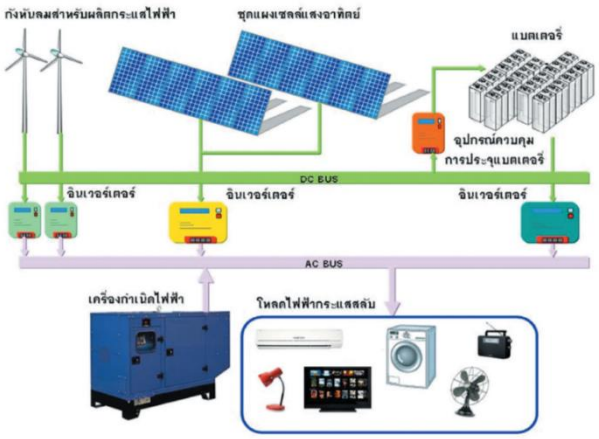
เซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid connected เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2015)



ภาพที่ 12 แสดงระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

ที่มา : http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=804 [สืบค้น 23 กันยายน 2561]

3. ระบบติดตั้งแบบผสมผสาน (Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล มีหลักการทำงาน กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ จะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Multi function ทำงานร่วมกับไฟฟ้าจากพลังงานลม จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดพร้อมทั้งทำงานประจุไฟฟ้าส่วนที่เกินไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีพลังงานลมต่ำไม่สามารถผลิตไฟฟ้าหรือเวลากลางคืนไม่มีไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลด และกรณีแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้ามากจนถึงพิกัดที่ออกแบบไว้ เครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานโดยอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์สำรองพลังงาน กล่าวคือจะจ่ายกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่โดยตรงและแบ่งจ่ายให้แก่โหลดพร้อมกัน และหากโหลดมีมากเกินไประบบจะหยุดทำงานทันที และจะทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์หรือพลังงานลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ได้ปริมาณตามพิกัดที่ออกแบบไว้พร้อมทั้งขนาดโหลดอยู่ในพิกัดที่ชุดแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้



ภาพที่ 13 แสดงระบบติดตั้งแบบผสมผสาน

ที่มา : http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=804 [สืบค้น 23 กันยายน 2561]

2.12 การสนับสนุนการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากภาครัฐ

โดยการลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนหรือพลังงานแสงอาทิตย์ มีราคาสูง ดังนั้นจึงมีการสนับสนุนใน จากภาครัฐของแต่ละประเทศให้แก่ผู้ลงทุน การสนับสนุนทางการเงินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1.สนับสนุนเงินค่าติดตั้งในรูปแบบของการให้เปล่าหรือการคืนภาษี

2. สนับสนุนการรับซื้อไฟฟ้าคืนในราคาพิเศษในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ แบบวิธีหักลบหน่วย (Net Metering) และ แบบอัตรารับซื้อไฟฟ้า (Feed-in tariff) (สัทธา ปัญญาแก้ว and ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558)

2.1 แบบวิธีหักลบหน่วย (Net Metering) ระบบนี้เป็นการนำไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ในอาคาร หากไฟฟ้าที่ผลิตไม่เพียงพอก็จะใช้ไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยไม่มีการแยกมิเตอร์ไฟฟ้าเข้าออกจากอาคาร หากผลิตไฟฟ้าได้มากเกินกว่าที่ใช้ในอาคาร สามารถขายให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ ซึ่งกฎเกณฑ์ของการขายแตกต่างกันไปหากได้รับการซื้อด้วยด้วยราคาที่สูงกว่าราคาค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากสายส่ง เรียกมาตรการนี้ว่า Adder

2.2 แบบอัตรารับซื้อไฟฟ้า (Feed-in tariff) ระบบนี้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะแยกจากระบบไฟฟ้าในอาคาร และขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าราคาพิเศษที่มักจะสูงกว่าราคาที่ซื้อไฟฟ้ามาจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยมีสัญญารับซื้อในราคาพิเศษนี้ในระยะเวลาที่กำหนด เช่น 10 ปี 20 ปี หรือ 25 ปี ทำให้อาคารต้องมีมิเตอร์ไฟฟ้า 2 ตัว คือตัวที่ใช้สำหรับไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร และตัวที่ใช้สำหรับไฟฟ้าที่ผลิตได้แล้วขายให้กับระบบ (สัทธา ปัญญาแก้ว and ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558)

2.13 กฎหมายและข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคาร

อาคารที่ก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคารที่มีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงกำหนด หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 กฎกระทรวงนี้ ครอบคลุมอาคาร 9 ประเภท ดังนี้

1. สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล
2. สถานศึกษา
3. สานักงาน
4. อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด
5. อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร
6. อาคารโรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร
7. อาคารโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม
8. อาคารสถานบริหารตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ
9. อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

2.14 ระบบกรอบอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารต้องมีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร)
ก) สถานศึกษา สำนักงาน	50
ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40
ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30

ตารางที่ 1 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกในแต่ละอาคาร
ที่มา กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศคำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้านรวมกัน

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร)
ก) สถานศึกษา สำนักงาน	15
ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	12
ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	10

ตารางที่ 2 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาในแต่ละอาคาร

ที่มา กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

2.15 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร โดยไม่รวม พื้นที่จอดรถ ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอ และเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารหรือกฎหมายเฉพาะว่าด้วยการนั้นกำหนด อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารต้องใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละประเภท ของอาคารมีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
ก) สถานศึกษา สำนักงาน	15
ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	12
ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	10

ตารางที่ 3 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละอาคาร

ที่มา กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

จากประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ในความตามข้อ 4 ของกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัน และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559 “ความเข้มของแสงสว่าง” หมายความว่าปริมาณแสงที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร ซึ่งในประกาศนี้ใช้หน่วยของความเข้มของแสงสว่างเป็นลักซ์ (Lux) โดยมาตรฐานความเข้มของแสงที่ใช้ในการศึกษา คือลักษณะงานละเอียดเล็กน้อย งานประจำในสำนักงาน มีค่าความเข้มของแสงสว่าง (Lux) ที่ 400 – 500 lux ดังตารางที่ 4

การใช้สายตา	ลักษณะงาน	ตัวอย่างลักษณะงาน	ค่าความเข้มของแสงสว่าง (Lux)
งานละเอียดเล็กน้อย	งานที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลางหรือเล็กสามารถมองเห็นได้แต่ไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีปานกลาง	งานประจำสำนักงาน เช่นงานเขียน งานพิมพ์ งานบันทึกข้อมูล การอ่านและประมาณข้อมูล การจัดเก็บแฟ้ม	400 - 500
		การปฏิบัติงานที่ชิ้นงานมีขนาดตั้งแต่ 125 ไมโครเมตร	
		งานออกแบบและเขียนแบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	
		งานประกอบรถยนต์และตัวถัง	
		งานตรวจสอบแผ่นเหล็ก	
		การทำงานไม้อย่างละเอียดบนโต๊ะหรือเครื่องจักร	
		การทอผ้าสีอ่อน ทอละเอียด	

ตารางที่ 4 ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง

ที่มา : กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัน และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.16 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศประเภทและขนาดต่าง ๆ ที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นในรูปของอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานและ ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ โดยเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะหรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำดังตารางที่ 5

ขนาดเครื่องปรับอากาศ (วัตต์)	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) (วัตต์ต่อวัตต์)	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) (บีทียูต่อชั่วโมงต่อวัตต์)
ไม่เกิน 12000	3.22	11

ตารางที่ 5 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละอาคาร

ที่มา : กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

จากประกาศเกณฑ์มาตรฐานค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศจาก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยประกาศไว้ ณ ปี 2562 ได้เพิ่มค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศในระบบ fixed speed และระบบ inverter ขึ้นจะได้ดังตารางที่ 6 และ 7

เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ ชนิด Fixed Speed ปี ค.ศ. 2019

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ค่าประสิทธิภาพ (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์)			
	เบอร์ 5	เบอร์ 5 ★	เบอร์ 5 ★★	เบอร์ 5★★★
ไม่เกิน 8000 วัตต์ (≤ 27296 บีทียู /ชั่วโมง)	12.85 - 13.84	13.85 - 14.84	14.85-15.84	≥ 15.85
มากกว่า 8000 - 12000 วัตต์ (> 27296 - 40991 บีทียู/ชั่วโมง)	12.40-13.39	13.40-14.39	14.40-15.39	≥ 15.40

ตารางที่ 6 ค่าประสิทธิภาพฉลากเบอร์ 5 ระบบปรับอากาศชนิด Fixed Speed

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ ชนิด Variable Speed/Inverter ปี ค.ศ. 2019

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ค่าประสิทธิภาพ (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์)			
	เบอร์ 5	เบอร์ 5 ★	เบอร์ 5 ★★	เบอร์ 5★★★
ไม่เกิน 8000 วัตต์ (≤ 27296 บีทียู /ชั่วโมง)	15.00 - 17.49	17.50 - 19.99	20.00 - 22.49	≥ 22.50
มากกว่า 8000 - 12000 วัตต์ (> 27296 - 40991 บีทียู/ชั่วโมง)	14.00 - 16.49	16.50 - 18.99	19.00 - 21.49	≥ 21.50

ตารางที่ 7 ค่าประสิทธิภาพฉลากเบอร์ 5 ระบบปรับอากาศชนิด Variable Speed / Inverter

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

2.17 กระจก

กระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจาก รังสีอาทิตย์ไม่มากกว่า และมีค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน จากรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่าค่ามาตรฐานพลังงานที่กำหนดดังตารางที่ 8

ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	0.55
ค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์	1.2

ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนผ่านกระจก

ที่มา ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ พ.ศ. 2553

2.18 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

ในกรณีที่การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อก่อสร้าง หรือ ดัดแปลงอาคารไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อาคารสามารถพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเป็นทางเลือกได้ ทั้งนี้ เกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกำหนดให้อาคารที่ขออนุญาตต้องมีค่าใช้การใช้พลังงานโดยรวมต่ำกว่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงที่มีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และมีค่าของระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ เป็นไปตามข้อกาหนดของแต่ละระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.19 การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร

การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร สามารถนำมาลดการใช้พลังงานของอาคารได้ดังต่อไปนี้

1. เมื่อมีการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร ให้ยกเว้นการนับรวมการใช้ไฟฟ้าบางส่วนในอาคารในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารที่มีการออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติเพื่อการส่องสว่างภายในอาคารในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร ให้ถือเสมือนว่าไม่การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคารนั้น โดยการออกแบบดังกล่าวต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1.1) ต้องแสดงอย่างชัดเจนว่า มีการออกแบบสวิตซ์ที่สามารถเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้กับพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างต้องมีระยะห่างจากกรอบอาคารไม่เกิน 1.5 เท่า ของความสูงของหน้าต่างในพื้นที่นั้น

1.2) กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารตาม 1) ต้องมีค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด (effective shading coefficient) ไม่น้อยกว่า 0.3 และอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน (light to solar gain) มากกว่า 1.0 และพื้นที่กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารตาม (1) ต้องไม่น้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบ

2. อาคารที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอาคาร สามารถนาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

2.20 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร OTTV

$$\mathrm{OTTV} = (\mathrm{U_w})(1 - \mathrm{WWR})\left(\mathrm{TD_{eq}}\right) + (\mathrm{SC})(\mathrm{WWR})(\mathrm{SF}) + (\mathrm{U_f})(\mathrm{WWR})(\Delta \mathrm{T})$$

OTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืน
รังสีอาทิตย์ของผนังทึบ

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทยค่านี้คือ 5°

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์

2.21 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา RTTV

$$\mathrm{RTTV} = (\mathrm{U_r})(1 - \mathrm{SSR})\left(\mathrm{TD_{eq}}\right) + (\mathrm{SC})(\mathrm{SRR})(\mathrm{SF}) + (\mathrm{U_s})(\mathrm{SRR})(\Delta \mathrm{T})$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

RTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืน รังสีอาทิตย์ของผนังทึบ

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทยค่านี้คือ 5°

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์

2.22 Life – cycle cost benefit

คือกระบวนการที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อติดสินใจเลือกแนวทางให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด โดย life cycle cost benefit analysis จะใช้ในการหาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของวัสดุที่เกิดขึ้นจริง เพื่อประเมินหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วย

1.investment cost เป็นเงินลงทุนเริ่มต้น ที่ใช้ในการก่อสร้างใช้ใน การวิเคราะห์ทางเลือกของการออกแบบจะเป็นเงินทุนที่ใช้ในค่าวัสดุ ค่าระบบและติดตั้งส่วนประกอบของทางเลือกส่วนนั้น

2. Operating Cost หรือ Annual Cost เป็นค่าใช้จ่ายในการใช้อาคาร ในที่นี้ของการวิเคราะห์ทางด้านพลังงาน ค่าที่ใช้จ่ายส่วนใหญ่ที่ใช้ในอาคารจะเป็นค่าไฟฟ้า

3. Repair and maintenance เป็นค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาอาคาร

4.Replacement Cost เป็นค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์และวัสดุประกอบ แต่โดยทั่วไปมักจะไม่นำค่าใช้จ่ายในรายการนี้มาใช้คำนวณหา life-cycle cost

ดังนั้น life-cycle cost จะได้หาได้สมการดังนี้

Life-Cycle cost (LCC) = investment cost + Operating cost + Repair and Maintenance + Replacement Cost

2.23 Present Worth

เป็นวิธีการรวมมูลค่าปัจจุบันและมูลค่าในอนาคตที่แปลงกลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยไม่มีค่าดอกเบี้ยหรือการเพิ่มขึ้นของราคาเข้ามาเกี่ยว โดยจะได้สมการดังนี้

$$P = A\,\frac{(1+i)^y - 1}{i(1+i)^y}$$

เมื่อ P = ค่าเงินปัจจุบัน (present worth or value)

A = ค่าใช้จ่ายรายปี (Equivalent Annual Cost or Benefit)

I = อัตราดอกเบี้ย (Interest Rate)

y = Life in years

และการคิด present worth แบบมีอัตตราดอกเบี้ยและราคาของไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปีจะได้ดังสมการดังนี้

$$P = A\,[PWIF]$$

โดยสามารถเขียนสูตร PWIF ได้ดังนี้

$$P = A\left(\frac{1+r}{1-r}\right)1 - \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^y$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ P = ค่าเงินปัจจุบัน (present worth or value)

A = ค่าใช้จ่ายรายปี (Equivalent Annual Cost or Benefit)

I = อัตราดอกเบี้ย (Interest Rate)

y = Life in years

r = annual rate of price increase, inflation or escalation rate

2.24 Payback period

เป็นการประเมินระยะเวลาในการคืนทุนหรือจุดคุ้มทุน (ปี) อย่างง่ายเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการเลือกทางเลือกในการออกแบบว่าทางใดเหมาะสมที่จะลงทุน

$$\text{Simple Payback Period} = \frac{\text{Initial Capital investment (C)}}{\text{Annual saving (A)}}$$

2.25 Simple Rate of return on investment

หรือ Initial rate of return เป็นการประเมินหาผลตอบแทนในการลงทุนอย่างง่าย การคิดหาอัตราผลตอบแทนทางการลงทุน เป็นส่วนช่วยประกอบตัดสินใจในการเลือกแนวทางการออกแบบว่าคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ โดยเทียบกับอัตราผลตอบแทนทั่วไปที่ได้รับจากนักลงทุน

$$\text{Simple rate of return (Percent / year)} = \frac{\text{Annual Saving (A)}}{\text{Initial Capital investment (C)}} \times 100$$

2.26 Discount Payback Period

คือวิธีคำนวณประเมินระยะเวลาคืนทุนหรือจุดคุ้มทุน (ปี) โดยคิดค่า escalation rate พร้อมทั้งมีเรื่อง time of value of money มาเกี่ยวข้องและใรปัจจัย discount rate เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

$$\text{T(Year)} = \frac{In[\frac{(r-d)C}{A}+1]}{In[\frac{1+r}{1+d}]}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ T = Payback period in year

C = First cost

A = Annual saving incurred during the first year

r = Annual price escalation rate

d = Annual Discount rate

2.27 Internal rate of return (IRR)

คืออัตราผลตอบแทนที่ทำให้ผลตอบแทนที่ได้จากการประหยัดตลอดอายุการใช้งาน (Lifetime saving) เท่ากับเงินลงทุนทั้งหมด (Lifetime costs) ซึ่ง ณ ที่นี้คือ first cost

$$\text{Life time saving} = \frac{P}{A\,[PWIF]\,[\frac{i\,(1+i)^y}{(1+i)^y-1}]}$$

เมื่อ P = First cost

A = ค่าใช้จ่ายรายปี (Equivalent Annual Cost or Benefit)

i = interest rate

y = Life in years

2.28 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ได้ทำการศึกษาเนื้อหาแบ่งเป็น 4 หัวข้อคือ

1. วรรณกรรมที่เสนอแนวทางการออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงจนสามารถเกิดการใช้พลังงานภายในอาคารสุทธิเป็นศูนย์ได้

2. วรรณกรรมที่ทำการทดลองสร้างพลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ได้และแนวทางการปรับปรุงที่ได้จากการทดลอง

3. วรรณกรรมที่ทดลองการแนวทางการปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงได้ พร้อมแนวทางการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

4. วรรณกรรมที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทดลองและความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

1.วรรณกรรมที่เสนอแนวทางการออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคารลง จนสามารถเกิดการใช้พลังงานภายในอาคารสุทธิเป็นศูนย์ได้

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร

ได้ทำบทความเกี่ยวกับอาคารใช้พลังงานในอาคารให้เป็นศูนย์ โดยเนื้อหาจะกล่าวถึง**การแนะแนวทางการออกแบบการใช้พลังงานในอาคารให้เป็นศูนย์** โดยช่วงเริ่มต้นโครงการมีขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอนนั้นคือ

1.การวิเคราะห์แนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารและการลงทุน

2.การวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของโครงการ

แนวทางในการออกแบบอาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ที่วรรณกรรมนี้เสนอคือ ตัวอาคารต้องมี**การออกแบบที่ต้องเน้นไปที่การป้องกันความร้อนไม่ใช้เข้าสู่อาคาร และการออกแบบพึ่งพาธรรมชาติ**ที่สามารถแบ่งเป็น 4 หัวข้อนั้นคือ

1.การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศ เพื่อวิเคราะห์โครงการว่าภูมิอากาศเป็นอย่างไรและต้องใช้แนวทางไหนในการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับภูมิอากาศของโครงการโดยการใช้โปรแกรม Climate Consultant ซึ่งสามารถสรุปแนวทางการออกแบบอาคารเบื้องต้นจากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร อาทิเช่น การใช้ระบบปรับอากาศควบคู่กับการออกแบบให้ไม่มีความร้อนเกิดขึ้นภายในมากจนเกินไป หน้าต่างต้องมีแผงกันแดด ควรมีช่องเปิดมากและสามารถเปิดปิดช่องเปิดได้ และการเลือกใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นต้น

2.รูปทรงและการวางทิศทางอาคาร การจัดวางอาคารจะต้องวางหลบรังสีอาทิตย์ไม่ให้เข้าอาคาร จึงนิยมวางอาคารตามตะวันคือการวางอาคารหันด้านยาวไปทางทิศเหนือและใต้เพื่อให้ด้านแคบรับแสงแดดด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

3. การป้องกันรังสีอาทิตย์ โดยจะกล่าวถึงการใช้การออกแบบอาคารให้สามารถบังรังสีอาทิตย์ให้กับตัวเองได้ (Self-Shading)

4.การเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร กล่าวถึงการเลือกใช้วัสดุประเภทผนังทึบ หลังคาทึบ ผนังโปร่งแสง ที่ควรได้รับการรับรองคุณสมบัติจากทางภาครัฐ

นอกจากนี้จากบทความยังแนะนำการใช้เลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร และงานระบบอาทิเช่น

1. ผนังและหลังคา ที่ต้องคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการเลือกใช้ฉนวนเพื่อลดความร้อน

2. กระจกที่ควรมีแผงกันแดด การเลือกใช้ประเภทของกระจก ปริมาณและทิศทางในการติดตั้งอย่างระมัดระวัง

3.ระบบปรับอากาศ ซึ่งเป็นระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุดสำหรับอาคารทั่วไปในประเทศไทย จึงควรหาวิธีลดความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารไม่ให้สร้างภาระแก่ระบบปรับอากาศ หรือการเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพ

4. ระบบแสงแสว่าง โดยแนะนำให้ใช้หลอดไฟ LED

พร้อมทั้งแนะนำการใช้ passive design ด้านพลังงานลม และแสงสว่างจากธรรมชาติ เข้ามาใช้ภายในอาคาร พร้อมทั้งการใช้พลังงานหมุนเวียนเช่น พลังงานลมจากกังหันลม และพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำมาใช้ภายในอาคาร

2.วรรณกรรมที่ทำการทดลองสร้างพลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ได้และแนวทางการปรับปรุงที่ได้จากการทดลองได้

ปารวี ตั้งจิตวิทยา, 2556

ผู้วิจัยได้ทำวิจัยเกี่ยวกับ**การออกแบบอาคารบ้านเดี่ยวขนาดพื้นที่ไม่เกิน 150 ตารางเมตร โดยต้องการที่จะให้อาคารใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์** โดยการทำการทดสอบการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งในช่วงเวลาที่ต่างกันในแต่ละทิศทั้งหมด 4 ทิศทางได้แก่ เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก และได้สรุปผลเป็นกราฟออกมาทำให้ทราบว่าการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาจะให้พลังงานที่ต่างกัน แต่เมื่อเฉลี่ยค่าพลังงานที่ได้โดยรวมแล้วทิศใต้จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งในช่วง ฤดูร้อน (เมษายน) และฤดูหนาว (ธันวาคม) เมื่อได้ทิศทางที่ได้พลังงานมากที่สุดแล้วจึงทำการออกแบบไว้ 3 รูปแบบคือ

1.แบบบ้านประหยัดพลังงานพลังคาแบนและติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

2.แบบบ้านกรณีศึกษาพลังคาทรงปั้นหยาติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์และแผงกันแดดให้กับอาคาร

3.แบบบ้านกรณีศึกษาหลังคาเอียง 14 องศาติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์และติดตั้งแผงกันแดด

จากผลที่ได้แบบที่ 3 สามารถผลิตพลังงานได้มาก 1.84-2.03 เท่าของกรณีที่ 1 และ 2

3. วรรณกรรมที่ทดลองการแนวทางการปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงได้ พร้อมแนวทางการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สุรพล เดชพล ,2552

ศึกษา**แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของอาคารสำนักงานอธิการบดี ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE ในการจำลองการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยในขั้นตอนการศึกษา ได้ศึกษาข้อมูลจากอาคารจริง ด้านระบบกรอบอาคาร ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบแสงสว่าง และ ระบบปรับอากาศ และได้ผ่านการจำลองในโปรแกรม VisualDOE และนำมาเปรียบเทียบกับ เกณฑ์มาตรฐานแบบการประเมินอาคารประหยัดพลังงาน ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ. 2551 และ พ.ร.บ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2551 ทำให้ทราบว่าในส่วนของการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (OTTV) ผ่านเกณฑ์ของแบบการประเมินอาคารประหยัดพลังงาน แต่ไม่ผ่าน พ.ร.บ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ในส่วนของ การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ผ่านทั้งสองเกณฑ์ และเมื่อปริมาณการใช้

ไฟฟ้าภายในอาคารทำให้ทราบว่า การใช้พลังงานภายในอาคารแบ่งเป็น 3 หมวด ส่วน**ของระบบปรับอากาศมีปริมาณเยอะที่สุด** ส่วนต่อมาคือ ระบบแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งในระบบทั้งสองมีค่าการใช้ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมผู้ใช้ภายในอาคาร สรุปผลการวิจัย คือได้เลือกใช้ ผนังทึบเพิ่มฉนวนใยแก้ว ผนังโปร่งแสงเลือกกระตกสีใสสะท้อนแสง หลังคาเลือกใช้ฉนวนใยแก้ว โดยรวมสามารถลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 11.31 คืนทุน 11.9 ปี

4. วรรณกรรมที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทดลองและความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ ,2557

ศึกษาถึงศักยภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเลือกอาคารในการศึกษาจำนวน 10 อาคาร จาก 183 อาคารที่คาดว่าจะให้ค่าศักยภาพสูงสุด โดยใช้เกณฑ์ ทิศทาง รูปแบบอาคาร และลักษณะหลังคาในการคัดเลือก พบว่ามี 10 อาคารตามเกณฑ์ที่กำหนด จากการศึกษาได้กำหนดให้**แผ่นพลังงานแสงอาทิตย์ หันไปทางทิศใต้และให้ทำมุม 15 องศา** ซึ่งสามารถสร้างพลังงานได้ 5,296.98 kWh/day มีผลตอบแทน (NPV) ทั้ง 10 อาคารรวม 20 ปีเท่ากับ 26,744.616.98 **บาท โดยเฉลี่ยอายุ 20 ปีจากอายุแผงพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ 20-25 ปีแล้วแต่ผู้ผลิตกำหนด** มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ 15% ระยะคืนทุน 7-8 ปี ซึ่งถือว่าการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์มี ระยะคืนทุนที่สั้น และมีอัตราผลตอบแทนมีค่าเป็นบวก จึงถือว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ต้องการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จากแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ โดยอาศัยการวิเคราะห์ผลการจำลองพลังงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC (Building Energy Code) Version 1.06 เพื่อหาค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารต่อปี และประยุกต์เข้ากับพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้การใช้พลังงานสุทธิของอาคารเป็นศูนย์

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

1.ศึกษาข้อมูลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.ศึกษาลักษณะทางกายภาพจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการ

3.จำลองการใช้พลังงานอาคารต้นแบบผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC

4.สร้างแนวทางการออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

5.จำลองการใช้พลังงาน จากการสร้างแนวทางการออกแบบในข้อ 4. ผ่านโปรแกรม BEC

6.เปรียบเทียบการใช้พลังงานแต่ละแนวทางเพื่อหาพื้นที่การติดตั้งพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของแต่ละแนวทาง

7.วิเคราะห์ผลการทดลอง

8.สรุปผลและเสนอแนวทางการออกแบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 อาคารกรณีศึกษา

อาคารที่ศึกษาเป็นแบบมาตรฐานของอาคารสำนักงานราชการ ที่ถูกก่อสร้างเป็นสำนักงานเขตในหลายพื้นที่ อาทิเช่น สำนักงานเขตทวีวัฒนา สำนักงานเขตทุ่งครุ สำนักงานเขตบางแค เป็นต้น รูปแบบอาคารคือประเภทสำนักงานความสูง 4 ชั้น รวมดาดฟ้า อาคารแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ อาคาร A เป็นส่วนสำนักงานอาคารและมีชั้นดาดฟ้า และอาคาร B ห้องรับประทานอาหารของพนักงานอยู่ชั้นหนึ่ง ชั้นสองเป็นส่วนของห้องประชุมใหญ่มีพื้นที่โดยรวมทั้งสองอาคารประมาณ 7000 ตารางเมตร เปิดทำการวันจันทร์ ถึงวันศุกร์ ช่วงเวลาที่อาคารทำการคือ 8.30 ถึง 16.30 น. ภายในอาคารพื้นที่ส่วนปรับอากาศมีพื้นที่ 1,295 ตารางเมตร

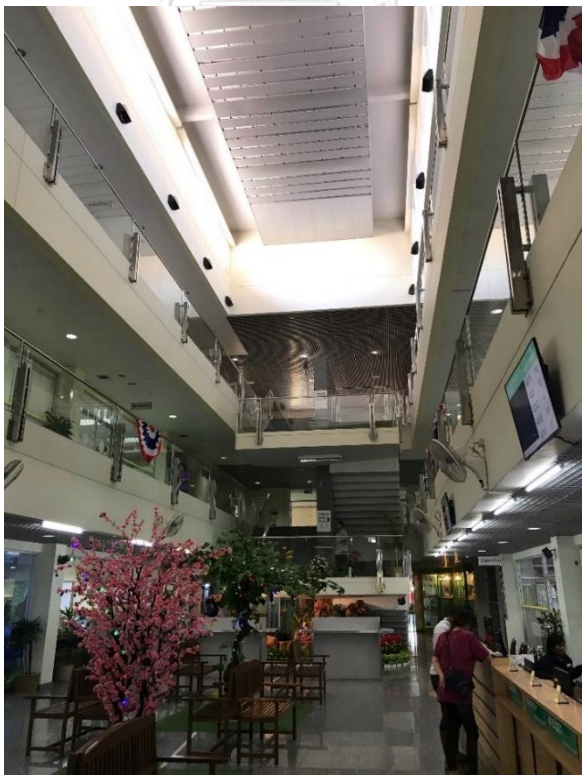
ภาพที่ 14 อาคารสำนักงานราชการเขตทวีวัฒนา

(ถ่ายโดยผู้วิจัยเมื่อ 22 มกราคม 2562 ณ อาคารสำนักงานเขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร)

ภาพที่ 15 อาคารสำนักงานราชการเขตบางแค

(ถ่ายโดยผู้วิจัยเมื่อ 21 มกราคม 2562 ณ อาคารสำนักงานเขตบางแค กรุงเทพมหานคร)

ภาพที่ 16 อาคารสำนักงานราชการเขตทุ่งครุ
(ถ่ายโดยผู้วิจัยเมื่อ 18 มกราคม 2562 ณ อาคารสำนักงานเขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร)



ภาพที่ 17 พื้นที่โถงกลางภายในอาคารสำนักงานเขตทวีวัฒนา
(ถ่ายโดยผู้วิจัยเมื่อ 18 มกราคม 2562 ณ อาคารสำนักงานเขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร)

ภาพที่ 18 พื้นที่ชั้นดาดฟ้าอาคารสำนักงานเขตทวีวัฒนา
(ถ่ายโดยผู้วิจัยเมื่อ 22 มกราคม 2562 ณ อาคารสำนักงานเขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร)

3.3 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการและการลงสำรวจสถานที่

1. ลักษณะรูปแบบอาคาร ประกอบไปด้วยผังอาคาร วัสดุก่อสร้าง สัดส่วนช่องเปิดในแต่ละด้านของอาคาร พื้นที่ใช้สอยโดยรวม

2. ข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร

2.1 ข้อมูลระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง ประกอบด้วย ชนิดหลอดไฟ จำนวน กำลังไฟฟ้า

2.2 ข้อมูลระบบปรับอากาศ ประกอบด้วย ประเภท จำนวน ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

3. รวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติวัสดุการถ่ายเทความร้อน ราคาวัสดุ โดยค้นหาจากเว็บไซต์และการลงพื้นที่สอบถามข้อมูล

3.4 ข้อมูลวัสดุภายในอาคารกรณีศึกษา

วัสดุกรอบอาคาร แสงไฟประดิษฐ์ และระบบปรับอาคารจากแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการจากอาคารต้นแบบมีดังนี้

3.4.1 กรอบอาคาร และหลังคา

ผนัง คอนกรีตมวลเบา หนา 10 ซ.ม. ฉาบปูน 2 ด้าน

กระจกสีเขียวใสขนาด 6 ม.ม.

หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดพื้นที่ 850.63 ตร.ม

หลังคาเมทัลชีท 154.85 ตร.ม

3.4.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

หลอดไฟชนิด ฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent)

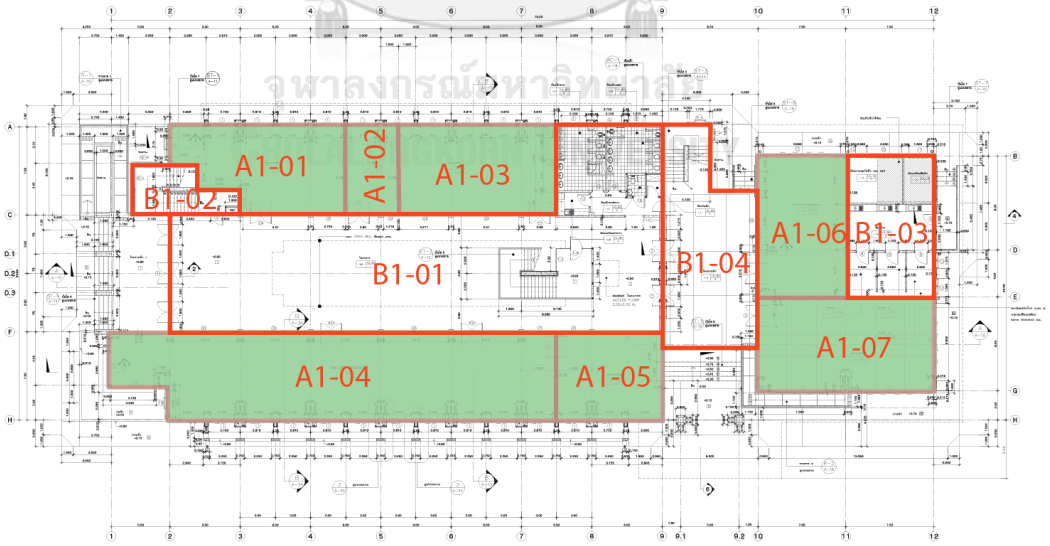
หลอด อินแคนเดสเซนต์ (Incandescent)

3.4.3 ระบบปรับอากาศ

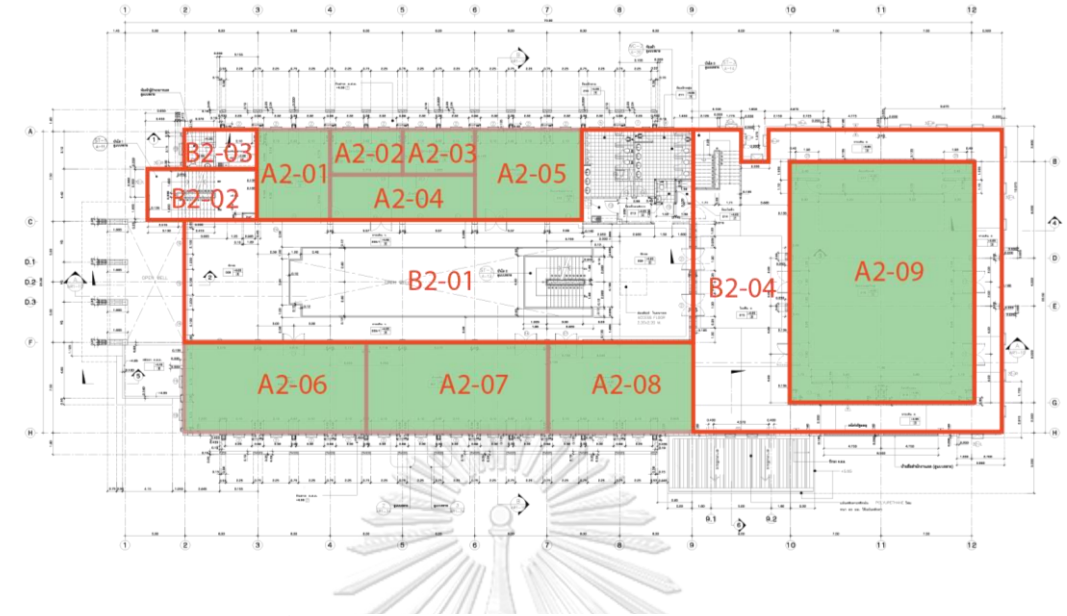
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)

3.4.4 ขนาดพื้นที่ส่วนปรับอากาศ และส่วนที่ไม่ปรับอากาศ

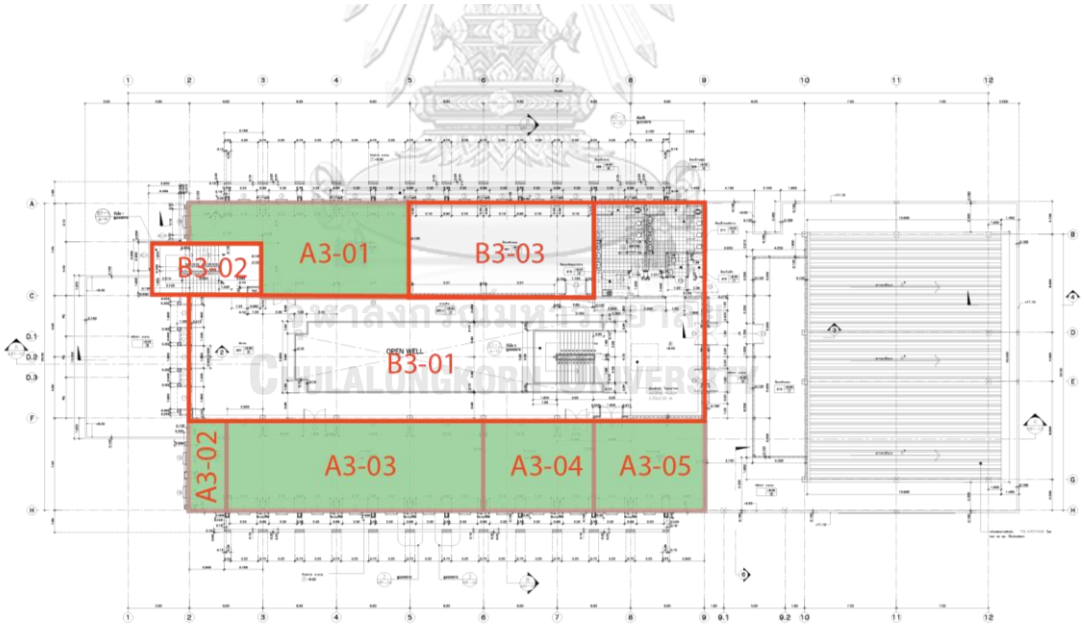
ในการเก็บข้อมูลขั้นแรก จำเป็นจะต้องแบ่งห้องภายในอาคารเป็นห้องที่ปรับอากาศและห้องที่ไม่ปรับอากาศ พร้อมทั้งหาพื้นที่ เพื่อใช้ในการป้อมข้อมูลลงโปรแกรมคำนวนพลังงานห้องตามชั้นได้ดังนี้



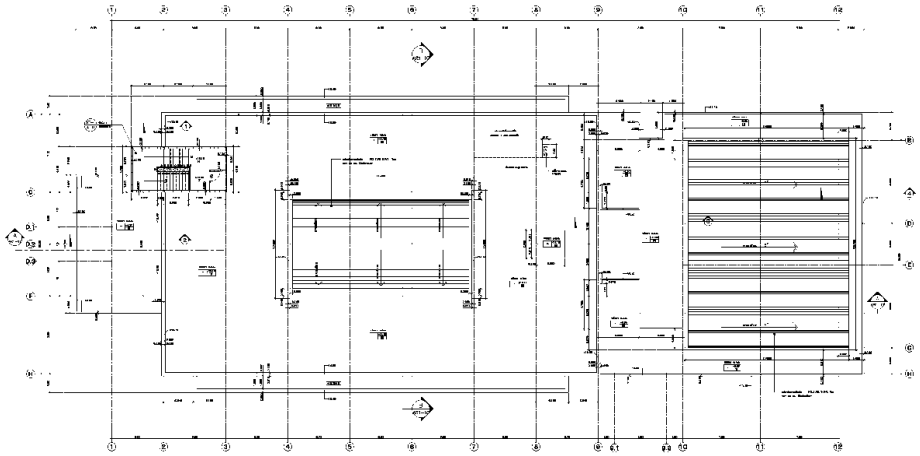
ภาพที่ 19 แสดงผังชั้นล่างจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการและแสดงห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 20 แสดงผังชั้นสองจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการและแสดงห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 21 แสดงผังชั้นสามจากแบบมาตราฐานอาคารสำนักงานราชการและแสดงห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 22 แสดงผังชั้นดาดจากแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ

ชั้น1					
ส่วนปรับอากาศ			ส่วนปรับไม่อากาศ		
Zone	Name	Area	Zone	Name	Area
A1-01	ฝ่ายรายได้	93.00	B1-01	โถงกลาง	493.37
A1-02	ฝ่ายสัสดี	31.96	B1-02	บันได01	25.73
A1-03	ฝ่ายเทศกิจ	97.97	B1-03	ห้องทำอาหาร	90.18
A1-04	ห้อง One Stop service	265.07	B1-04	โถงทางเชื่อม	
A1-05	ห้องฝ่ายทะเบียน	66.19			
A1-06	ฝ่ายรักษาความสะอาด	92.66			
A1-07	อเนกประสงค์	118.22			
	รวม	646.85		รวม	609.28

ตารางที่ 9 แสดงพื้นที่และขนาดของส่วนปรับอากาศและส่วนที่ไม่ปรับอากาศชั้นที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น 2					
ส่วนปรับอากาศ			ส่วนปรับไม่อากาศ		
Zone	Name	Area	Zone	Name	Area
A2-01	ห้องผู้อำนวยการเขต	44.96	B2-01	โถงกลางชั้น2	484.99
A2-02	ห้องผู้ช่วยอำนวยการเขต 1	21.42	B2-02	บันได02	33.32
A2-03	ห้องผู้ช่วยอำนวยการเขต 2	21.93	B2-03	ห้องเตรียมอาหาร	18.96
A2-04	ห้องเจ้าหน้าที่	41.12	B2-04	โถงทางเชื่อมและทางเดิน	624.29
A2-05	ฝ่ายพัฒนา	64.91			
A2-06	ฝ่ายปกครอง	110.22			
A2-07	ฝ่ายคลัง	109.18			
A2-08	ประชุมสภาเขต	90.67			
A2-09	ห้องประชุมใหญ่	245.85			
	รวม	504.41		รวม	1,161.57

ตารางที่ 10 แสดงพื้นที่และขนาดของส่วนปรับอากาศและส่วนที่ไม่ปรับอากาศชั้นที่ 2

ชั้น 3					
ส่วนปรับอากาศ			ส่วนปรับไม่อากาศ		
Zone	Name	Area	Zone	Name	Area
A3-01	ฝ่ายสิ่งแวดล้อม	107.49	B3-01	โถงกลางชั้น 3	482.48
A3-02	ห้องคอมพิวเตอร์	22.83	B3-02	บันได03	33.50
A3-03	ฝ่ายโยธา	152.51	B3-03	ห้องเก็บของ	108.98
A3-04	ฝ่ายศึกษา	65.12			
A3-05	ห้องประชุม	68.56			
	รวม	347.95		รวม	624.95

ตารางที่ 11 แสดงพื้นที่และขนาดของส่วนปรับอากาศและส่วนที่ไม่ปรับอากาศชั้นที่ 3

3.5.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

แยกพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ และจำนวนด้วงไฟในแต่ละห้องภายในอาคารสำนักงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้นที่ 1											
Zone	ห้อง	fluorescent				PL-C				Incandescent	
		2x36	2x18	1x36	1x18	2x26	2x18	1x13	1x18	1x100	1x60
A1-01	ฝ่ายรายได้	13	-	-	-	-	3		2		
A1-02	ฝ่ายสัสดี	4					2				
A1-03	ฝ่ายเทศกิจ	14					7				
A1-04	ห้อง One Stop service	35					17				
A1-05	ห้องฝ่ายทะเบียน	10					5				
A1-06	ฝ่ายรักษาความสะอาด	9					6				
A1-07	อเนกประสงค์						24				
B1-01	โถงกลางชั้น1และบันไดกลาง			1		39					
	ห้องน้ำ 1	1	4	2				5			
B1-02	บันได 1			1	1						
B1-03	ห้องระบบ	5	3								
B1-04	โถงทางเชื่อม						22				

ตารางที่ 12 แสดงประเภท จำนวนหลอดต่อวัตต์และจำนวนดวงโคมไฟในอาคารสำนักงานชั้นที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชั้นที่ 2											
Zone	ห้อง	fluorescent				PL-C				Incandescent	
		2x36	2x18	1x36	1x18	2x26	2x18	1x13	1x18	1x100	1x60
A2-01	ห้องผู้อำนวยการเขต	4									2
A2-02	ห้องผู้ช่วยอำนวยการเขต 1	2									2
A2-03	ห้องผู้ช่วยอำนวยการเขต 2	2									2
A2-04	ห้องเจ้าหน้าที่	4									2
A2-05	ฝ่ายพัฒนา	9					3				

A2-06	ฝ่ายปกครอง	16					8				
A2-07	ฝ่ายคลัง	16					8				
A2-08	ประชุมสภาเขต					16					12
A2-09	ห้องประชุมใหญ่	16				20				38	
B2-01	โถงกลางชั้น2 และบันได					40					
	ห้องน้ำ 2	1	4	4				6	1		
B2-02	บันได02			2							
B2-03	ห้องเตรียมอาหาร		2								
B2-04	โถงทางเชื่อมและ ทางเดิน					36					
	ห้องไฟฟ้า					4					

ตารางที่ 13 แสดงประเภท จำนวนหลอดต่อวัตต์และจำนวนดวงโคมไฟในอาคารสำนักงานชั้นที่ 2

ชั้นที่ 3											
Zone	ห้อง	fluorescent				PL-C				Incandescent	
		2x36	2x18	1x36	1x18	2x26	2x18	1x13	1x18	1x100	1x60
A3-01	ฝ่ายสิ่งแวดล้อม	14					3		2		
A3-02	ห้องคอมพิวเตอร์	2							2		
A3-03	ฝ่ายโยธาธิการ	18					9				
A3-04	ฝ่ายศึกษา	8					4				
A3-05	ห้องประชุม					13					10
B3-01	โถงกลางชั้น 3					40					
	ห้องน้ำ 3	1	4	4				6	1		
B3-02	บันได03			2							
B3-03	ห้องเก็บของ	10									

ตารางที่ 14 แสดงประเภท จำนวนหลอดต่อวัตต์และจำนวนดวงโคมไฟในอาคารสำนักงานชั้นที่ 3

3.5.3 ระบบปรับอากาศ

จากการสำรวจระบบปรับอากาศแต่ละชั้นสามารถแยกเครื่องปรับอากาศในแต่ละห้องตามชั้นได้ดังนี้

ชั้น 1					
Zone	ห้อง	ขนาดห้อง (ตารางเมตร)	ระบบแอร์	BTU	Rated power kW
A1-01	ฝ่ายรายได้	93	Split Type_1	36,000	3.27
			Split Type_2	36,000	3.27
A1-02	ฝ่ายสัสดี	31.96	Split Type_3	30,000	2.72
A1-03	ฝ่ายเทศกิจ	97.97	Split Type_4	42,000	3.818
			Split Type_5	42,000	3.818
A1-04	ห้อง One Stop service	265.07	Split Type_6	36,000	3.27
			Split Type_7	36,000	3.27
			Split Type_8	36,000	3.27
			Split Type_9	36,000	3.27
			Split Type_10	36,000	3.27
			Split Type_11	36,000	3.27
A1-05	ห้องฝ่ายทะเบียน	66.19	Split Type_12	36,000	3.27
			Split Type_13	36,000	3.27
A1-06	ฝ่ายรักษาความสะอาด	92.66	Split Type_14	36,000	3.27
			Split Type_15	36,000	3.27
A1-07	อเนกประสงค์	118.22	Split Type_16	36,000	3.27
			Split Type_17	36,000	3.27
			Split Type_18	36,000	3.27

ตารางที่ 15 ตารางแสดงระบบปรับอากาศแยกตามห้องในอาคารสำนักงานชั้นที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชั้น 2					
Zone	ห้อง	ขนาดห้อง (ตารางเมตร)	ระบบแอร์	BTU	Rated power kW
A2-01	ห้องผู้อำนวยการเขต	44.96	Split Type02_1	36,000	3.27
A2-02	ห้องผู้ช่วยอำนวยการเขต 1	21.42	Split Type02_2	18,000	1.63
A2-03	ห้องผู้ช่วยอำนวยการเขต 2	21.93	Split Type02_3	18,000	1.63
A2-04	ห้องเจ้าหน้าที่	41.12	Split Type02_4	36,000	3.27
A2-05	ฝ่ายพัฒนา	64.91	Split Type02_5	36,000	3.27
A2-06	ฝ่ายปกครอง	110.22	Split Type02_6	30,000	2.72
			Split Type02_7	30,000	2.72

			Split Type02_8	30,000	2.72
A2-07	ฝ่ายคลัง	109.18	Split Type02_9	36,000	3.27
			Split Type02_10	36,000	3.27
			Split Type02_11	36,000	3.27
A2-08	ประชุมสภาเขต	90.67	Split Type02_12	42,000	3.818
			Split Type02_13	42,000	3.818
A2-09	ห้องประชุมใหญ่	245.85	Split Type_AC1	84,000	7.63
			Split Type _AC2		
			Split Type_AC3		

ตารางที่ 16 ตารางแสดงระบบปรับอากาศแยกตามห้องในอาคารสำนักงานชั้นที่ 2

ชั้น 3					
Zone	ห้อง	ขนาดห้อง (ตารางเมตร)	ระบบแอร์	BTU	Rated power kW
A3-01	ฝ่ายสิ่งแวดล้อม	107.49	Split Type3_1	36,000	3.27
			Split Type3_2	36,000	3.27
			Split Type3_3	36,000	3.27
A3-02	ห้องคอมพิวเตอร์	22.83	Split Type3_4	36,000	3.27
A3-03	ฝ่ายโยธา	152.51	Split Type3_5	36,000	3.27
			Split Type3_6	36,000	3.27
			Split Type3_7	36,000	3.27
			Split Type3_8	36,000	3.27
A3-04	ฝ่ายศึกษา	65.12	Split Type3_9	36,000	3.27
			Split Type3_10	36,000	3.27
A3-05	ห้องประชุม	68.56	Split Type3_11	36,000	3.27
			Split Type3_12	36,000	3.27

ตารางที่ 17 ตารางแสดงระบบปรับอากาศแยกตามห้องในอาคารสำนักงานชั้นที่ 3

3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. โปรแกรม BEC (Building Energy Code) Version 1.06

โปรแกรม BEC (Building Energy Code) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตราฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามเกณฑ์

มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารซึ่งจัดทำขึ้นมาใหม่ภายใต้ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

รายละเอียดข้อมูลที่ต้องใส่ภายในโปรแกรมมีดังนี้

ส่วนที่ 1 สถานะ

1.แสดงรายละเอียดของอาคาร / โครงการปัจจุบัน

1.1 ชื่ออาคาร/โครงการ

1.2 ประเภทของอาคาร/โครงการ

1.3 สถานที่ตั้งของอาคาร/โครงการ

ส่วนที่ 2 เมนูหลัก

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับป้อมข้อมูลอาคารหรือโครงการ ดังนี้

1.Database – อธิบายการป้อนข้อมูลรายละเอียดของวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ

1.1 Envelop อธิบายการป้อมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุ และส่วนประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารที่ประกอบกันเป็นเขตพื้นที่

1.1.1 Material รายละเอียดของวัสดุที่จะประกอบเป็นส่วนของผนัง

1.1.2 Component of Section รายละเอียดของส่วนประกอบผนังทึบและผนังโปร่งแสงที่จะเป็น Section

1.1.3 Section of wall รายละเอียดของ Section ที่จะประกอบเป็นด้านของผนัง

1.1.4 Wall รายละเอียดของด้านผนัง

1.2 Lighting System อธิบายการป้อมข้อมูลรายละเอียดของชุดโคมไฟ

1.2.1 Lighting Equipment รายละเอียดของชุดโคมไฟ

1.3 A/C System อธิบายการป้อนข้อมูลรายละเอียดของชุดอุปกรณ์ปรับอากาศต่างๆ

1.3.1 Split Type & Window Type รายละเอียดของระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดประเภท Split Type และ Window Type

1.3.2 Package Air-Cooled Unit รายละเอียดของระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดประเภท Package Air – Cooled

1.3.3 Package Water-Cooled Unit รายละเอียดของระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดประเภท Packaged Water-Cooled

1.3.4 Central Air-Conditioning System รายละเอียดของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

1.4 PV System อธิบายการป้อมข้อมูลรายละเอียดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.4.1 PV Equipment รายละเอียดการใช้พลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 Hot Water System อธิบายการป้อมข้อมูลรายละเอียดของระบบเครื่องทำน้ำร้อน

1.5.1 Hot Water Equipment รายละเอียดการใช้พลังงานของระบบเครื่องทำน้ำร้อน

1.6 Other อธิบายการป้อมข้อมูลรายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ

1.6.1 Other Equipment รายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ

2 Building Model อธิบายรายละเอียดของเขตพื้นที่ภายใน การกำหนดส่วนประกอบของกรอบผนัง และการป้อมรายละเอียดของอุปกรณ์ที่อยู่ในแต่ละเขตพื้นที่

2.1 Building Zone รายละเอียดของเขตพื้นที่ภายในอาคาร

3 Report การแสดงผลการประเมินการใช้พลังงานของอาคาร โดยโปรแกรมสามารถแสดงผลการใช้พลังงานของแต่ละระบบ หรือแสดงผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาของอาคารแต่ละส่วน ในแต่ละเขตพื้นที่ หรือของทั้งอาคาร ตลอดจนแสดงผลประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารทั้งอาคาร เปรียบเทียบกับอาคารอ้างอิง

3.1 Envelope System รายงานสมรรถนะด้านการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง และหลังคาโดยรวมของทั้งอาคาร และแบ่งความด้านของผนังรวมถึงผลการประเมินเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตราฐานของกรอบอาคาร (ค่า OTTV หรือ RTTV แบ่งตามด้านของผนังหรือหลังคา)

3.2 Lighting System รายงานสมรรถนะด้านพลังงานและผลการประเมินเปรียบเทียบกันเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

3.3 DX Air-Condition System รายงานสมรรถนะด้านพลังงานและผลการประเมินเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตราฐานของระบบปรับอากาศแบบเป็นชุด

3.4 Central Air-Condition System รายงานสมมรถนะด้านพลังงานและผลการประเมินเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

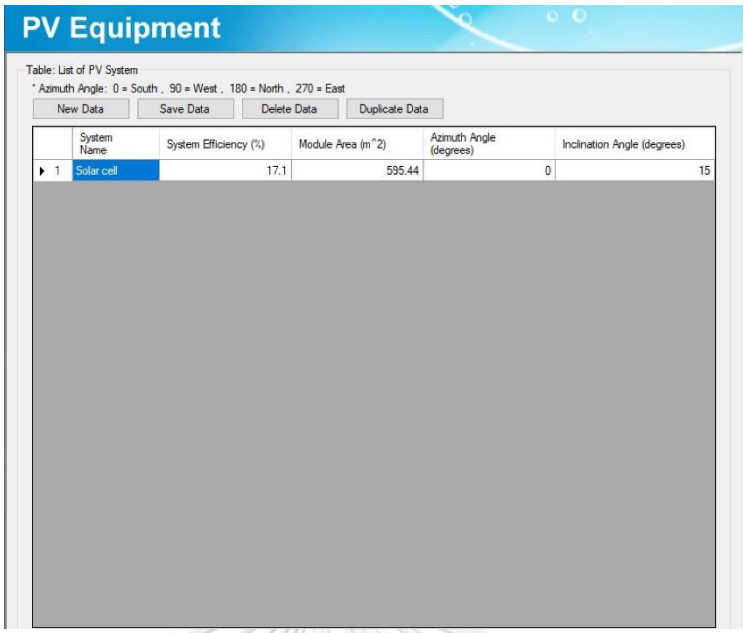
3.5 PV System Report รายงานสมรรถนะด้านพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

3.6 Hot Water System Report รายงานสมรรถนะด้านพลังงานของระบบเครื่องทำน้ำร้อน

3.7 Whole Building Energy รายงานสมรรถนะด้านพลังงานและผลการประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งอาคาร หรือโครงการ

3.5 พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ (Solar Cell)

บริเวณที่ตั้งติดอยู่บริเวณชั้นดาดฟ้ามีพื้นที่โดยรวม 1005.49 ตารางเมตร พื้นที่หลังคาที่สามารถติดตั้งได้รวม 850.63 ตารางเมตร บนหลังคาคอนกรีต ติดตั้งด้วยแผ่น PV Solar cell ชนิด Polycrystalline ขนาดกี่วัตต์ 330 วัตต์ ขนาดแผ่น 1x2 เมตร โดยการคำนวณสามารถทำได้จากโปรแกรม BEC ในส่วนของ หัวข้อเมนูหลัก ส่วนของ PV system



ภาพที่ 23 หัวข้อการคำนวณพลังงานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (PV system) จากโปรแกรม BEC ver 1.0.6

3.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการปรับปรุงตลอดอายุการใช้งานโครงการโดยวิธี การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และ Life cycle cost (LCC) ซึ่งรวมค่าเงินในปัจจุบันและอนาคตปรับมาเป็นค่าเงินปัจจุบันด้วย Present Worth เพื่อวิเคราะห์หาทางเลือกในการปรับเปลี่ยนวัสดุ โดยอายุการใช้งานของโครงการใช้ระยะเวลา 20 ปี ตามอายุการใช้งานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
วิเคราะห์ผลการดำเนินวิจัย

4.1 การวิเคราะห์พลังงานจากอาคารต้นแบบ

จากการจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารของอาคารต้นแบบ (Building Consumption) ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานที่ 209,091.33 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/year) เมื่อเปรียบเทียบอาคารอ้างอิงตามที่โปรแกรม (Net Energy Consumption Reference Building) กำหนด ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานอาคารที่กำหนดโดยกระทรวงพลังงานมีการใช้พลังงานที่ 248,060.63 kWh/year ทำให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ดังตารางที่ 18

building consumption	Net energy consumption Reference Building
209,091.33 kWh/year	248,060.63 kWh/year

ตารางที่ 18 แสดงค่าไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม BEC 1.0.6

แต่เนื่องด้วยจุดประสงค์ของการศึกษานี้คือการปรับปรุงอาคารเพื่อการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์จึงต้องหามาตรการเพื่อลดการใช้พลังงานลง พลังงานจากอาคารต้นแบบสามารถแบ่งเป็นพลังงานจากระบบปรับอากาศ 108,791.86 kWh/year ระบบแสงสว่าง 85,557.15 kWh/year และจากอุปกรณ์ไฟฟ้าเช่นคอมพิวเตอร์ 14,742.32 kWh/year ดังตารางที่ 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าพลังงานโดยรวมต่อปีจากระบบปรับอากาศ	ค่าพลังงานโดยรวมต่อปีจากระบบแสงสว่าง	ค่าพลังงานโดยรวมต่อปีจากอุปกรณ์ไฟฟ้า
108,791.86 kWh/year	85,557.15 kWh/year	14,742.32 kWh/year

ตารางที่ 19 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีจากแต่ละระบบจากการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม BEC 1.0.6

เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของการถ่ายเทความร้อนรวมจากเกณฑ์ของกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 (ตารางที่ 4.4 และ 4.5) ทำให้ทราบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) จากอาคารสำนักงานราชการที่ยังไม่ได้ปรับปรุงมีค่า 75.798 วัตต์ต่อตารางเมตร

(W/m^2) ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดคือ 50 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่ในส่วนหลังคาของอาคารกรณีศึกษาใช้ฉนวน PU (Polyurethane) ในหลังคาเหล็กทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) เท่ากับ 11.422 W/m^2 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดที่ 15 W/m^2 ถือว่าผ่านเกณฑ์ดังตารางที่ 4.3

รายละเอียด	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2)	เกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม อาคารสำนักงาน	สรุปผล
OTTV	75.798 W/m^2	50 W/m^2	ไม่ผ่าน
RTTV	11.422 W/m^2	15 W/m^2	ผ่าน

ตารางที่ 20 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) โดยกำหนดเกณฑ์จาก กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร)
ก) สถานศึกษา สำนักงาน	50
ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40
ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30

ตารางที่ 21 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตราฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร)
ก) สถานศึกษา สำนักงาน	15
ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	12
ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	10

ตารางที่ 22 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตราฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

จากการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้เห็นว่า ค่าส่งผ่านความร้อนของกรอบอาคารไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดจึงต้องหามาตรการเพื่อหาวิธีการลดการใช้พลังงานลงให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดโดยเลือกวิธีดังนี้

1.การปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารของผนังทึบ โดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเดิมของอาคาร

2.การปรับปรุงการส่งผ่านความร้อนของผนังโปร่งแสงโดยคงขนาดและรูปแบบเดิมไว้

3.การปรับปรุงหลังคา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคาร

4.2 กำหนดวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงกรอบอาคาร

2.1 ช่องว่างอากาศในผนังทึบ

ในการปรับปรุงผนังทึบ ผู้ทำวิจัยเลือกที่จะเพิ่มการต้านทานความร้อนให้กับผนังมากขึ้นด้วยการเว้นช่องอากาศ 100 มิลลิเมตร เพื่อให้มีค่าต้านทานความร้อนสูงที่สุด ซึ่งตามกฎกระทรวงพลังงาน

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านในช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศตามความหนาของช่องว่างอากาศ ((m2. °C)/W)		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีพื้นที่ผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิการแผ่รังสีสูง	0.110	0.158	0.160
กรณีพื้นที่ผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิการแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606

ตารางที่ 23 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศผนัง กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตราฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

2.2 การเลือกใช้ฉนวนเข้ามาช่วยในการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

ในการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร การเลือกใช้ฉนวนเป็นหนึ่งในวิธีที่จะช่วยลดความร้อนที่จะเข้ามาสู่ภายในอาคารได้

	ประเภท	ความหนาแน่น (กก.ลบ.ม)	ราคา/ตารางเมตร (บาท)	thermal conductivity (W/mK)	ความหนา (มิลลิเมตร)
1	ฉนวนใยแก้วกันความร้อน	16.00	149.00	0.038	50
2	ฉนวนใยแก้วกันความร้อน	24.00	196.00	0.035	50
3	ฉนวนใยแก้วกันความร้อน	32.00	205.00	0.033	50
4	ฉนวนใยแก้วกันความร้อน	32.00	150.00	0.033	25

ตารางที่ 24 แสดงความหนาแน่นของฉนวนใยแก้ว ความหนาของแผ่นและราคาต่อตารางเมตร

	ประเภท	ความหนาแน่น (กก.ลบ.ม)	ราคา/ตารางเมตร (บาท)	thermal conductivity (W/mK)	ความหนา (มิลลิเมตร)
1	โฟม Polystyrene	16.00	150.00	0.037	50
2	โฟม Polystyrene	20.00	180.00	0.036	50
3	โฟม Polystyrene	24.00	210.00	0.035	50
4	โฟม Polystyrene	24.00	95.00	0.035	25

ตารางที่ 25 แสดงความหนาแน่นของฉนวนใยแก้ว ความหนาของแผ่นและราคาต่อตารางเมตร

2.3 แนวทางการปรับปรุงผนังทึบ

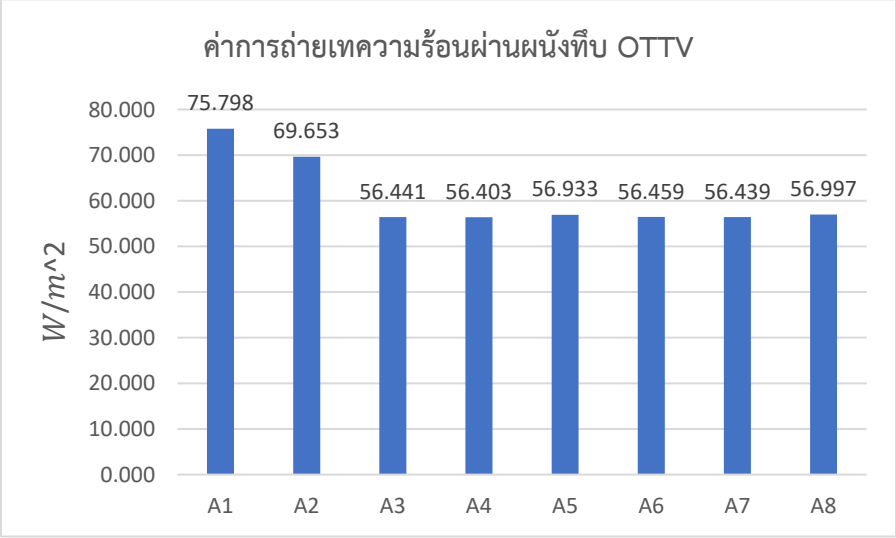
แนวทางที่นำมาปรับปรุงผนังทึบ เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายในอาคาร ประกอบไปด้วย แนวทางแรกการเพิ่ม Air gap ระหว่างผนัง 10 ซม.และปิดด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ดตราช้าง ขนาด 12 มิลลิเมตร และแนวทางต่อมาคือ การเพิ่มการติดตั้งฉนวนใยแก้วขนาด 16 24 และ 32 ลูกบาศก์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าต้านทานความร้อนและราคาที่ต่างกัน เมื่อนำมาจำลองหาค่าพลังงานในโปรแกรม BEC 1.0.6 จะได้ค่าตามตารางที่ 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผนัง			
รหัส	รายการ	ราคา (บาท) ตร.ม	OTTV
A1	ปูนฉาบ+อิฐมวลเบา+ปูนฉาบ (วัสดุอาคารต้นแบบ)	-	75.798
A2	(วัสดุอาคารต้นแบบ)เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม. + แผ่นยิปซั่มบอร์ด	58.00	69.653
A3	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 24 ขนาด 50 มม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	254.00	56.441
A4	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	263.00	56.403
A5	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 ขนาด 25 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	208.00	56.933
A6	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน PS หนาแน่น 20 ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	238.00	56.459
A7	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน PS หนาแน่น 24 ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	268.00	56.439
A8	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน PS หนาแน่น 24 ขนาด 25 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	153.00	56.997

ตารางที่ 26 แสดงรายการวัสดุผนังทึบที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



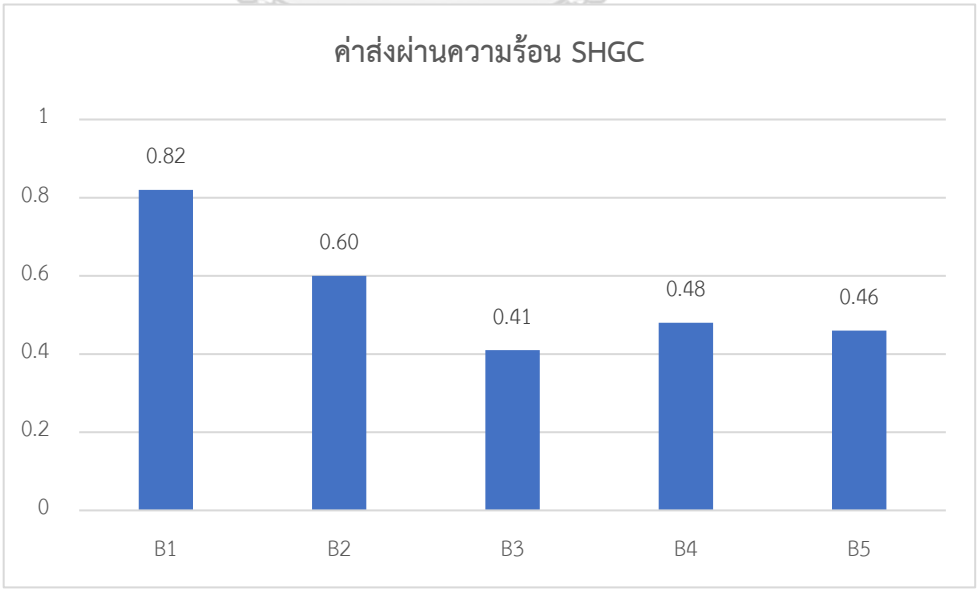
แผนภูมิที่ 1 แสดงค่า OTTV ของผนังทึบหลังจำลองในโปรแกรม BEC 1.0.6

2.4 กำหนดวัสดุผนังโปร่งแสง

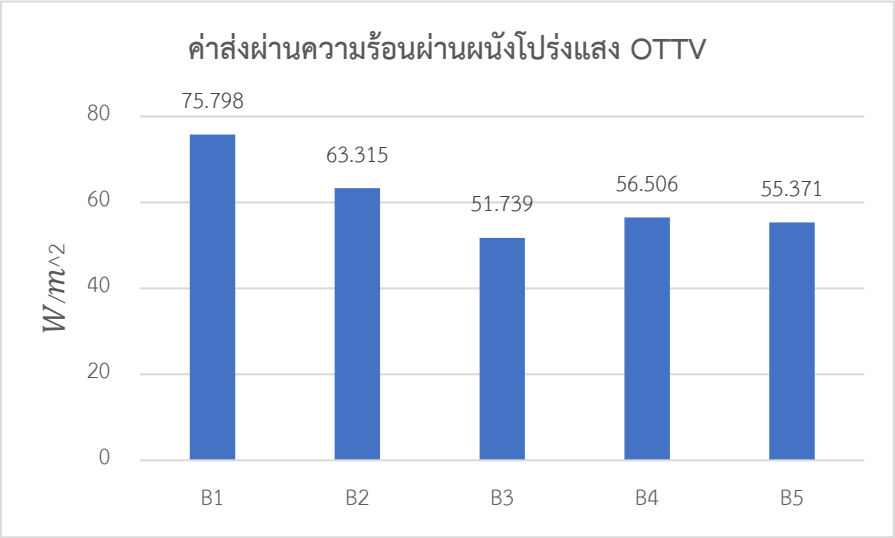
แนวทางในการเลือกวัสดุผนังโปร่งแสงจะเลือกโดยใช้ขนาดความหนากระจกเดิมของตัวอาคารที่ทำการศึกษาซึ่งมีขนาดอยู่ที่ 6 มิลลิเมตรโดยในรหัส B1 จะเป็นกระจกโฟลตใสขนาด 6 มิลลิเมตร (มม.) ซึ่งเป็นวัสดุเดิมของตัวอาคาร รหัส B2 เป็นกระจกโฟลตแต่เพิ่มสีเขียว รหัส B3 จะเป็นเปลี่ยนประเภทกระจกเป็นแบบสะท้อนแสง และแบบ B4 B5 เป็นกระจกโฟลตใสที่เพิ่มฟิล์มกันความร้อนลงไป เมื่อได้จำลองค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรม BEC Ver 1.0.6 จะได้ดังนี้

กระจก				
รหัส	รายการ	SHGC	ราคา (บาท) ตร.ฟ	OTTV
B1	กระจกโฟลตใสขนาด 6 mm (วัสดุอาคารต้นแบบ)	0.82	-	75.798
B2	กระจกโฟลตสีเขียว ขนาด 6 mm	0.60	20.00	63.315
B3	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว ขนาด 6 mm	0.41	250.00	51.739
B4	กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีใส ขนาด 6 mm	0.48	205.00	56.506
B5	กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีฟ้าใส ขนาด 6 mm	0.46	435.00	55.371

ตารางที่ 27 แสดงรายการวัสดุผนังโปร่งแสงที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV)



แผนภูมิที่ 2 แสดงค่า SHGC ของกระจกแต่ละประเภท



แผนภูมิที่ 3 แสดงค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงหลังจำลองในโปรแกรม BEC 1.0.6

จะเห็นได้ว่ายิ่งมีค่า SHGC ที่น้อย ค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (OTTV) ก็จะน้อยลงไปด้วยโดย กระจกสะท้อนแสงจะมีค่า OTTV ที่น้อยที่สุดที่ 51.739 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) ต่อมาคือ กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีฟ้าใสมีค่า OTTV ที่ 55.371 W/m^2 และกระจกที่มีค่า OTTV มากที่สุดในทางเลือกที่ทำการปรับปรุงคือ กระจกโฟลตสีเขียวมีค่า OTTV เท่ากับ 63.315 W/m^2

ด้านราคาติดตั้ง กระจกโฟลตสีเขียวราคาถูกที่สุดที่ 20 บาทต่อตารางฟุต ต่อมาคือกระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีใสราคาที่ 205 บาทต่อตารางฟุต กระจกสะท้อนแสงสีเขียว 250 บาทต่อตารางฟุต และแพงสุดคือ กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีฟ้าใสที่ 435 บาทต่อตารางฟุต

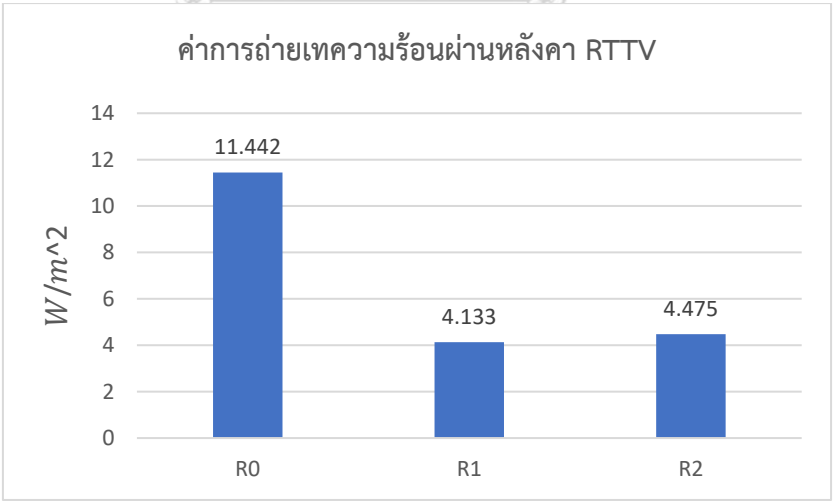
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 การปรับปรุงหลังคา

ในการปรับปรุงหลังคาจะแบ่งเป็น 3 แนวทาง คือรหัส R0 เป็นวัสดุหลังคาของอาคารที่ทำการศึกษา รหัส R1 เป็นการเพิ่มฉนวนใยแก้วที่ความหนาแน่น 32 ลูกบาศก์ต่อตารางเมตร มีความหนา 50 มิลลิเมตร มีราคาอยู่ที่ 205 บาทต่อตารางเมตร และรหัส R2 เป็นการใช้ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 ลูกบาศก์ต่อตารางเมตรเช่นเดิมแต่ความหนาของตัวแผ่นจะอยู่ที่ 25 มิลลิเมตรซึ่งมีราคาถูกกว่า

หลังคา			
รหัส	รายการ	ราคา (บาท) ตร.ม	RTTV
R0	1.คอนกรีต+Airgap+แผ่นยิปซั่มบอร์ด , 2.แผ่นหลังคาเหล็ก+ฉนวน ESP ขนาด 40 มม.+Air gap+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	-	11.442
R1	1.คอนกรีต+Air gap+ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 หนา 50 มม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด , 2.แผ่นหลังคาเหล็ก+ฉนวน PU ขนาด 40 มม.+Air gap+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	205	4.133
R2	1.คอนกรีต+Air gap+ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 หนา 25 มม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด , 2.แผ่นหลังคาเหล็ก+ฉนวน PU ขนาด 40 มม.+Air gap+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	150	4.475

ตารางที่ 28 แสดงรายการวัสดุหลังคาที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (RTTV)



แผนภูมิที่ 4 แสดงค่า RTTV ของหลังคาหลังจำลองในโปรแกรม BEC 1.0.6

เมื่อนำไปจำลองการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาในโปรแกรม BEC 1.0.6 จากตารางที่ 4.11 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (RTTV) ของอาคารที่ทำการศึกษา แม้ไม่ได้ปรับปรุงมีค่า RTTV ที่ผ่านเกณฑ์ของกระทรวงพลังงาน ที่ต้องให้ค่า RTTV น้อยกว่า 15 เนื่องจากพื้นที่ปรับอากาศโดย

ส่วนมากไม่ติดกับหลังคาและอาคารมีโถงขนาดใหญ่ที่ติดกับหลังคาแต่ไม่ได้ติดเครื่องปรับอากาศ ทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ที่ติดเครื่องปรับอากาศไม่โดยความร้อนจากหลังคาจึงไม่เกิดการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

ในการปรับปรุงหลังคา ได้ทำการปรับปรุงในพื้นที่บริเวณห้องที่มีการปรับอากาศ โดยห้องที่ปรับอากาศและติดกับหลังคา ได้ทำการเพิ่มฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดานทำให้ค่า RTTV มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดย รหัส R1 เพิ่มฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 ลูกบาศก์ต่อตารางเมตร ความหนาแผ่นที่ 50 มิลลิเมตร ทำให้ค่า RTTV เท่ากับ 4.133 วัตต์ต่อตารางเมตร และรหัส R2 เพิ่มฉนวนใยแก้วความหนาแน่นที่เท่ากันแต่ความหนาของตัวแผ่นอยู่ที่ 25 มิลลิเมตรซึ่งมีราคาถูกกว่า ทำให้ค่า RTTV เท่ากับ 4.475 วัตต์ต่อตารางเมตร

4.4 การคัดเลือกแนวทางในการปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งแสง

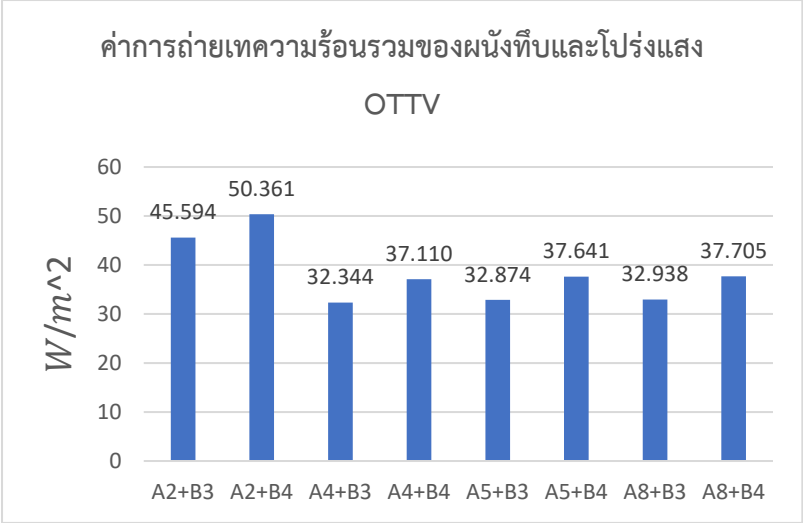
ในการเลือกแนวทางการปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งแสง แนวทางในการเลือกคือ 1) เลือกวัสดุที่มีราคาถูกสุด ผนังทึบคือผนัง A2 เว้นช่องอากาศและเพิ่มแผ่นยิปซั่มบอร์ดมีราคาที่ 58 บาทต่อตารางเมตร และผนังโปร่งแสงคือ กระจก B4 กระจกโฟลตสีใสติดฟิล์มใส ราคา 205 บาทต่อตารางฟุต ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานที่กระทรวงพลังงานกำหนดคือ ผนังโปร่งแสงต้องมีค่า SHGC อยู่ที่ 0.3 ถึง 0.55 2) เลือกวัสดุที่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนัง (OTTV) น้อยที่สุด ซึ่งในวัสดุผนังทึบมีแนวทางที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันหลายตัวจึงต้องทำการเลือกชนิดและขนาดที่ต่างกันเพื่อหาวัสดุที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนที่สุด โดย ผนังทึบ A4 A5 เป็นฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 ลูกบาศก์ต่อตารางเมตรเท่ากัน โดยผนัง A4 มีความหนาตัวแผ่นที่ 50 มิลลิเมตร ราคา 263 บาทต่อตารางเมตร ผนัง A5 ความหนา 25 มิลลิเมตรมีราคา 208 บาทต่อตารางเมตร และผนังA8 ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน (Polystyrene, PS) ความหนาแน่น 24 ลูกบาศก์ต่อตารางเมตร ความหนาตัวแผ่น 25 มิลลิเมตร ราคา 153 บาทต่อตารางเมตร ถือว่าถูกที่สุดในทางเลือกการบุฉนวนและมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังมีความใกล้เคียงกับการบุฉนวนในทางเลือกอื่น ในส่วนผนังโปร่งแสงวัสดุที่มีค่า OTTV น้อยที่สุดคือ B3 กระจกสะท้อนแสงสีเขียว มีค่า OTTV เท่ากับ 51.739 W/m^2 ราคา 250 บาทต่อตารางฟุต เมื่อวัสดุผนังทึบใช้ร่วมกับผนังโปร่งแสง ค่า OTTV และค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีได้ดังตารางที่ 29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

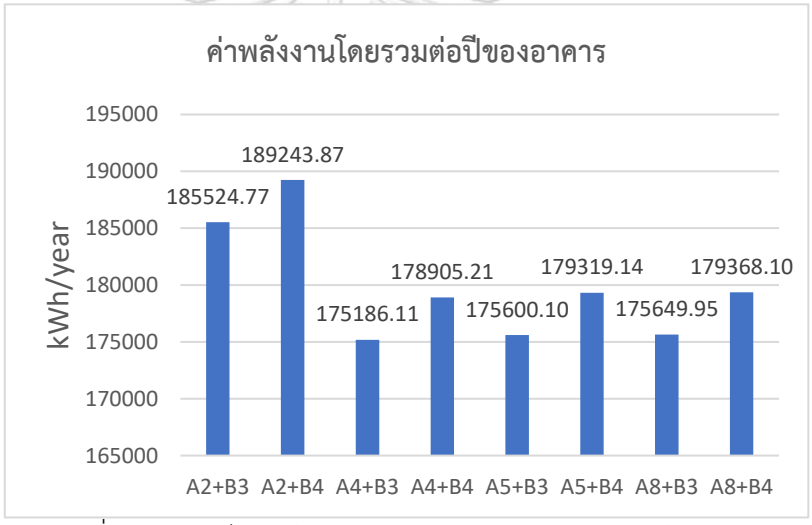
ผนัง + กระจก				
รหัส	รายการ		OTTV (W/m^2)	พลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/year)
	ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง		
A2+B3	(วัสดุอาคารต้นแบบ)เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม. + แผ่นยิปซั่มบอร์ด	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	45.594	185,524.77
A2+B4	(วัสดุอาคารต้นแบบ)เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม. + แผ่นยิปซั่มบอร์ด	กระจกโฟลตใสติดฟิลม์สีใส	50.361	189,243.87
A4+B3	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	32.344	175,186.11
A4+B4	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	กระจกโฟลตใสติดฟิลม์สีใส	37.110	178,905.21
A5+B3	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 ขนาด 25 มม	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	32.874	175,600.10
A5+B4	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 ขนาด 25 มม	กระจกโฟลตใสติดฟิลม์สีใส	37.641	179,319.14
A8+B3	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน PS หนาแน่น 24 ขนาด 25 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	32.938	175,649.95
A8+B4	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน PS หนาแน่น 24 ขนาด 25 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	กระจกโฟลตใสติดฟิลม์สีใส	37.705	179,368.10

ตารางที่ 29 แสดงรายการวัสดุผนังทึบและผนังโปร่งแสงที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าพลังงานโดยรวมต่อปีเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 5 แสดงค่า OTTV ของผนังทึบและผนังโปร่งแสงหลังจำลองในโปรแกรม BEC 1.0.6



แผนภูมิที่ 6 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี ของผนังทึบและผนังโปร่งแสง

จากตารางที่ 4.12 พบว่าการใช้ผนัง A4 และกระจก B3 คือการเว้นช่องว่างอากาศ เพิ่มฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 ลูกบาศก์ต่อตารางเมตรที่ความหนา 50 มิลลิเมตร และกระจกสะท้อนแสงสีเขียวจะมีค่า OTTV ที่ 32.344 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าไฟฟ้าที่ 175,186.11 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ซึ่งเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพที่สุดในแนวทางการปรับปรุงทั้ง 8 แบบ และจากแผนภูมิที่ 4.5 จะเห็นว่าการเลือกใช้กระจกและฉนวนส่งผลโดยตรงในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

แนวทางการปรับปรุงผนังที่ราคาถูกที่สุดคือผนัง A2 และ กระจก B4 กระจกโฟลตสีใสติดฟิล์มสีใส แต่ทว่าไม่ผ่านเกณฑ์ที่กฎกระทรวงได้กำหนดไว้ ที่ค่า OTTV ต้องมีค่าน้อยกว่า 50 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งในแนวทางนี้ได้ค่า OTTV ที่ 50.361 ซึ่งยังถือว่าเกินกว่าที่กำหนดไว้

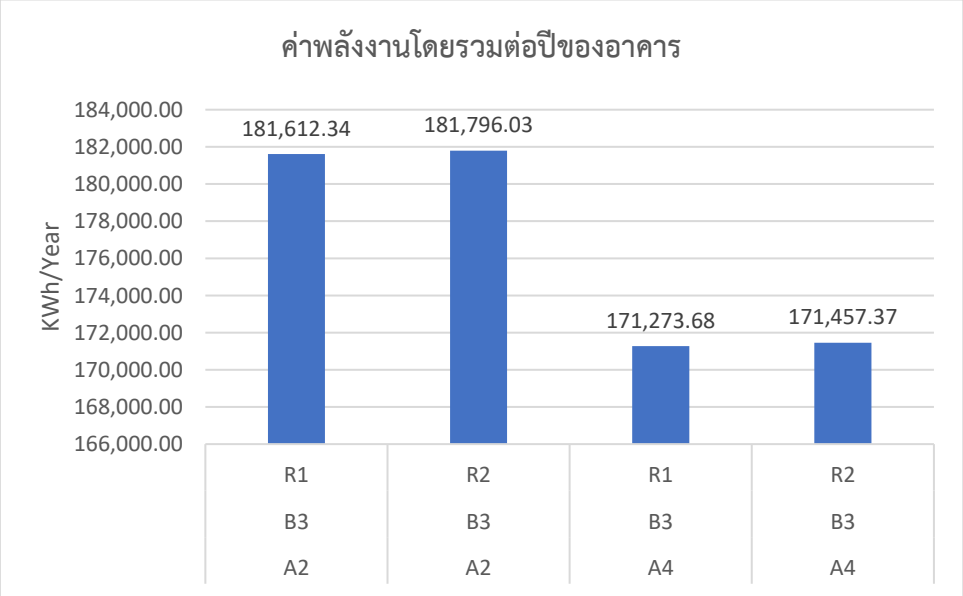
ดังนั้นแนวทางที่ถูกที่สุดและมีค่า OTTV ที่ผ่านเกณฑ์คือ การเลือกใช้ผนัง A2 และกระจก B3 คือเว้นช่องว่างอากาศ 10 ซม. และกระจกสะท้อนแสงสีเขียว ซึ่งมีค่า OTTV ที่ 45.594 และค่าไฟฟ้าที่ 185,524.77 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ถือว่าผ่านเกณฑ์ที่กฎกระทรวงกำหนด

4.5 แนวทางในการปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งแสง ร่วมกับหลังคา

เมื่อนำทางเลือกราคาถูกสุดและทางเลือกที่มีประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ดีที่สุด ผ่านการจำลองพลังงานร่วมกับหลังคาจะได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังหลังคา และพลังงานโดยรวมต่อปี (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี : kWh/year) ตารางที่ 30

รหัส	ราคา (บาท)	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)	พลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/year)	ค่าพลังงานที่ลดลงเทียบกับอาคารต้นแบบ (kWh/year)	ระยะคืนทุน (ปี)
A2+B3+R1	1,221,854	45.594	4.133	181,612.34	27,478.99	11.11
A2+B3+R2	1,157,276	45.594	4.475	181,796.03	27,295.30	10.59
A4+B3+R1	1,370,857	32.344	4.133	171,273.68	37,817.65	9.06
A4+B3+R2	1,306,279	32.344	4.475	171,457.37	37,633.96	8.67

ตารางที่ 30 แสดงรายการวัสดุผนังทึบ ผนังโปร่งแสงและหลังคา ที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พร้อมค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี

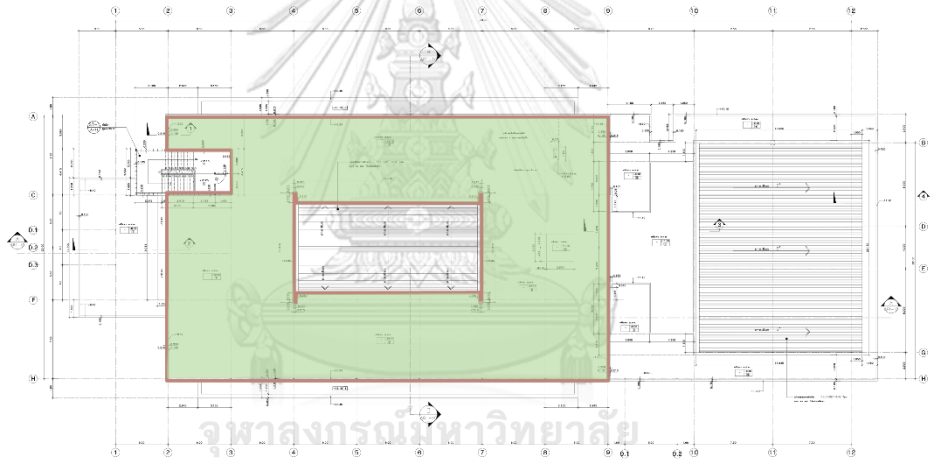


แผนภูมิที่ 7 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี ของผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา

โดยแนวทางการเปลี่ยนกรอบอาคารและหลังคาที่นำมาเลือกใช้ปรับปรุงร่วมกับระบบแสงสว่างและไฟฟ้าคือ A4+B3+R2 โดยมีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุดราคาต้นทุนที่ 1,306,279 บาท ค่าพลังงานโดยรวมต่อปีที่ 171,457.37 kWh/year และแนวทางซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุด

4.6 การใช้พลังงานหมุนเวียนจากแสงอาทิตย์

เนื่องจากวิจัยนี้ต้องการหาแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานภายในอาคารรวมสุทธิให้เท่ากับศูนย์ จึงต้องมีการใช้พลังงานหมุนเวียนเข้ามาช่วย และพลังงานหมุนเวียนที่สามารถหาได้ง่ายคือพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ทางภาครัฐโดยคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน(กกพ.) ได้กำหนดราคารับซื้อพลังงานไฟฟ้า ทำการรับซื้อค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 1.68 บาทต่อหน่วย ทำให้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่ดีและสะดวกที่สุดในการนำมาใช้ โดยพื้นที่ที่ติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาด 850.63 ตารางเมตร บนชั้นดาดฟ้าของอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 24 พื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ขนาดแผงพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 1.956 x 0.991 มีพื้นที่รวม 1.938 ตารางเมตรมีประสิทธิภาพพลังงานอยู่ที่ 17.10 เปอร์เซ็นต์ ราคาที่ 3500 บาทต่อแผง ดังนั้นจะมีจำนวนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด 438 แผ่น แต่ทว่าในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นจะต้องมีพื้นที่ไว้ใช้สำหรับการบำรุงรักษา 30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ และใช้พื้นที่สำหรับการติดตั้งได้เพียง 70 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หรือ 595.44 ตารางเมตร (สุรเชษฐ์ ณ เชียงใหม่, 2560) ตีเป็นจำนวนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 307 แผง ตัวแผงพลังงานแสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ ด้วยมุม 15 องศา (ปารวี ตั้งจิตวิทยา ,2556) ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้แผ่นพลังงานแสงอาทิตย์ของ Astronergy ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ 17.10 ดังตารางที่ 31

ผลิตภัณฑ์	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ประสิทธิภาพ	จำนวนแผ่น	ราคาต่อแผ่น (บาท)
Astronergy	595.44	17.10	307	3,500

ตารางที่ 31 แสดงพื้นที่ และประสิทธิภาพ จำนวนแผง และราคาของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

โดยการศึกษานี้ใช้เงินลงทุนด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งสิ้น 1,074,500 บาท จากราคาต่อแผ่น 3500 บาท จำนวน 307 แผ่น และราคาอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นตัวแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงมาเป็นกระแสสลับมีจำนวน 6 เครื่อง (ภาคผนวก ข)ใช้เงินลงทุน 602,700 บาท ดังตารางที่ 32

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (บาท)	เงินลงทุน (บาท)
แผงพลังงานแสงอาทิตย์	307	3,500	1,074,500
อินเวอร์เตอร์	6	100,450	602,700

ตารางที่ 32 แสดงจำนวนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวนเครื่อง อินเวอร์เตอร์ ราคาต่อหน่วย และเงินลงทุนทั้งหมด

การติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในขั้นตอนการดำเนินการ โดยทั่วไปบริษัทที่รับติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะคิดค่าดำเนินการ 10-20% (สัทธา ปัญญาแก้ว and ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558) โดยในการศึกษานี้จะเลือกใช้ที่ 20% จะได้เงินลงทุนในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 2,012,640 บาทพลังงานโดยรวมต่อปี 147.713.84 kWh/y ดังตารางที่ 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลิตภัณฑ์	ขนาดแผ่น (ตารางเมตร)	จำนวนแผ่น	ราคาต่อแผ่น (บาท)	ค่าดำเนินการ	เงินลงทุน (บาท)	พลังงานโดยรวมต่อปี แผงพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh/y)
Astronergy	1.983	307	3,500	20%	2,012,640	147,713.84

ตารางที่ 33 แสดงผลิตภัณฑ์ จำนวนแผ่น ราคาต่อแผ่น เงินลงทุนและค่าพลังงานโดยรวมต่อปี

เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าโดยรวมต่อปีของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับแนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคาในแนวทางที่มีการลงทุนถูกที่สุดและแนวทางที่มีประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด กับอาคารกรณีศึกษาค่าพลังงานโดยรวมต่อปี จะได้ดังตารางที่ 34

พลังงานที่ได้ต่อปี kWh/y			
แผงพลังงานแสงอาทิตย์	อาคารศึกษา	ราคาถูกสุด	ประสิทธิภาพมากที่สุด
		A2 B3 R2	A4 B3 R2
147,713.83	209,091.33	181,796.03	171,457.37

ตารางที่ 34 แสดงพลังงานที่ได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับพลังงานโดยรวมของอาคารกรณีศึกษา และเทียบกับการปรับปรุงกรอบอาคารที่มีราคาถูกสุดและมีประสิทธิภาพดีสุด

ตารางที่ 34 ทำให้ทราบว่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารยังไม่เพียงพอต่อการเป็นพลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์จึงต้องเพิ่มมาตรการการลดพลังงานอีก 2 วิธีนั้นคือ

1.การเปลี่ยนอุปกรณ์ให้แสงสว่างภายในอาคารให้ลดการใช้พลังงานลด

2.การเปลี่ยนเครื่องปรับความเย็นในมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและลดการใช้พลังงานลง

โดยมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงานโดยรวมต่อปีลงและให้พลังงานที่ได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าจึงจะได้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.7 การเปลี่ยนอุปกรณ์แสงสว่าง

เนื่องจากหลอดไฟเดิมมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมาก จึงต้องทำการเปลี่ยนเป็นหลอด LED ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานที่น้อยกว่า เมื่อเทียบค่า การส่องสว่าง (Luminous Flux) ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ต้องเป็นไปตาม ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ซึ่งเป็นฉบับใหม่ได้กำหนดไว้ นั้นคือในห้องทำงานของสำนักงาน ควรมีค่า lux เท่ากับ 400 – 500 lux และทางเดินเท่ากับ 200 lux โดยจำนวนหลอด วัตต์ ของหลอดไฟเดิมและหลอดไฟใหม่โดยรวมจะได้ดังตารางที่ 35 และ 36

หลอดไฟเดิม				
ประเภท	จำนวนหลอด	วัตต์	Luminous flux	วัตต์รวม
Fluorescent	2	36	5,200	72
Fluorescent	2	18	2,060	36
Fluorescent	1	36	2,600	36
Fluorescent	1	18	1,030	18
PL-C with Ballast	2	18	2,400	36
PL-C with Ballast	2	26	3,600	52
PL-C with Ballast	1	13	900	13
PL-C with Ballast	1	18	1,200	18
Incandescent	1	100	1,380	100
Incandescent	1	60	630	60

ตารางที่ 35 แสดงข้อมูลหลอดไฟเดิมอาคารสำนักงานราชการ

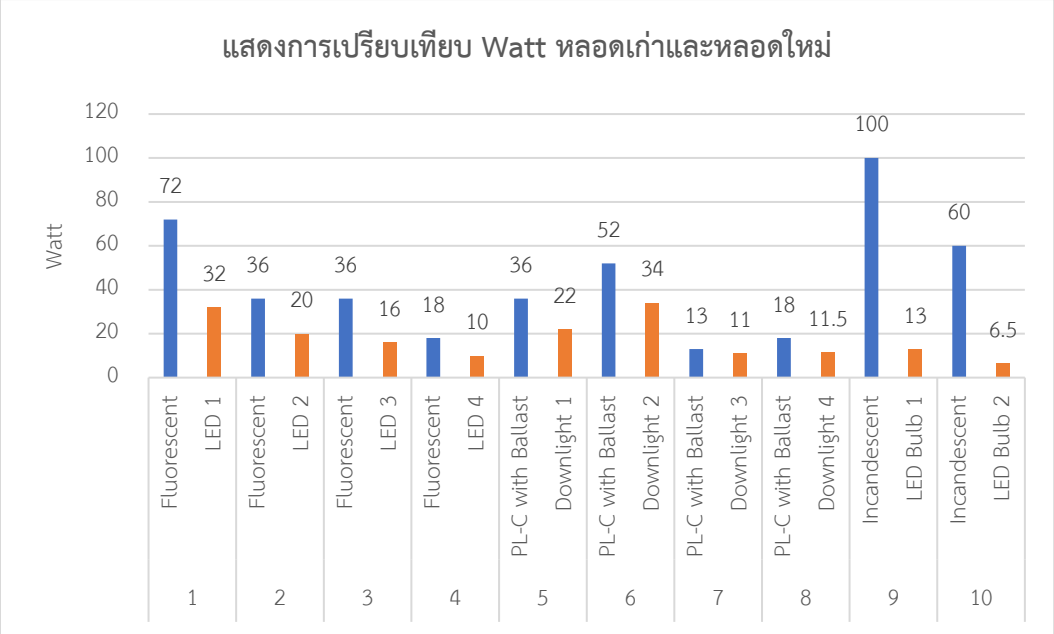
หลอดไฟใหม่				
ประเภท	จำนวนหลอด	วัตต์	Luminous flux	วัตต์รวม
LED 1	2	16	5,000	32
LED 2	2	10	2,100	20
LED 3	1	16	2,500	16
LED 4	1	10	1,050	10
Downlight 1	1	22	2,300	22
Downlight 2	1	34	3,500	34
Downlight 3	1	11	900	11
Downlight 4	1	11.5	1,100	11.5
LED Bulb 1	1	13	1,400	13
LED Bulb 2	1	6.5	600	6.5

ตารางที่ 36 แสดงข้อมูลหลอดไฟใหม่อาคารสำนักงานราชการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	หลอดไฟเดิม			หลอดไฟใหม่			
	ประเภท	Luminous Flux	วัตต์รวม	ประเภท	Luminous Flux	วัตต์รวม	ราคาปรับปรุง บาท/หลอด
1	Fluorescent	5,200	72	LED 1	5,000	32	2,600
2	Fluorescent	2,060	36	LED 2	2,100	20	300
3	Fluorescent	2,600	36	LED 3	2,500	16	1,300
4	Fluorescent	1,030	18	LED 4	1,050	10	300
5	PL-C with Ballast	2,400	36	Downlight 1	2,300	22	5,600
6	PL-C with Ballast	3,600	52	Downlight 2	3,500	34	4,000
7	PL-C with Ballast	900	13	Downlight 3	900	11	600
8	PL-C with Ballast	1,200	18	Downlight 4	1,100	11.5	2,000
9	Incandescent	1,380	100	LED Bulb 1	1,400	13	250
10	Incandescent	630	60	LED Bulb 2	600	6.5	150

ตารางที่ 37 แสดงข้อมูลหลอดไฟเดิมเปรียบเทียบค่าการส่องสว่าง (Lumen) และ วัตต์ (Watt) กับหลอดไฟใหม่ และแสดงราคาการปรับปรุง



แผนภูมิที่ 8 แสดงข้อมูลหลอดไฟเดิมเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าวัตต์ (Watt) กับหลอดไฟใหม่ และแสดงราคาการปรับปรุง

จากตารางที่ 37 และแผนภูมิที่ 8 จะเห็นว่าในหลอดไฟเก่าจะมีค่าไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดใหม่ที่เปลี่ยนมาใช้ LED ในค่าการส่องสว่างที่เท่ากัน (Luminous Flux)

โดยค่าไฟของหลอด Fluorescent 2 หลอด 36 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 72 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ LED 1 หลอดไฟจำนวน 2 หลอด 16 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 32 วัตต์

หลอด Fluorescent 2 หลอด 18 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 36 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ LED 2 หลอดไฟจำนวน 2 หลอด 10 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 20 วัตต์

หลอด Fluorescent 1 หลอด 36 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 36 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ LED 3 หลอดไฟจำนวน 1 หลอด 16 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 16 วัตต์

หลอด Fluorescent 1 หลอด 18 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 18 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ LED 4 หลอดไฟจำนวน 1 หลอด 10 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 10 วัตต์

ในส่วนของหลอด PL-C ตัวหลอดค่อนข้างเก่าจึงต้องทำการเปลี่ยนทั้งดวงโคมเป็นแบบดาว์ไลท์ (Downlight) ดังนี้ หลอด PL-C จำนวน 2 หลอด 18 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 36 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ Downlight 1 จำนวน 1 หลอด 22 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 22 วัตต์ในการเปลี่ยนมาใช้ Downlight จะเปลี่ยนมาใช้เพียง 1 หลอดทั้งหมด แต่ยังคงการส่องสว่าง(Luminous Flux)ไว้เท่าหลอดเดิม

หลอด PL-C จำนวน 2 หลอด 26 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 52 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ Downlight 2 จำนวน 1 หลอด 34 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 34 วัตต์

หลอด PL-C จำนวน 1 หลอด 13 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 13 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ Downlight 3 จำนวน 1 หลอด 11 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 11 วัตต์

หลอด PL-C จำนวน 1 หลอด 18 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 18 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ Downlight 4 จำนวน 1 หลอด 11.5 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 11.5 วัตต์

หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) เป็นหลอดเก่าและมีค่าการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างสูง จึงทำการเปลี่ยนเป็นหลอด LED Bulb ซึ่งสามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ค่อนข้างมากในขณะที่ยังคงการส่องสว่างเท่าเดิม

หลอด Incandescent จำนวน 1 หลอด 100 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 100 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ LED Blub 1 จำนวน 1 หลอด 13 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 13 วัตต์

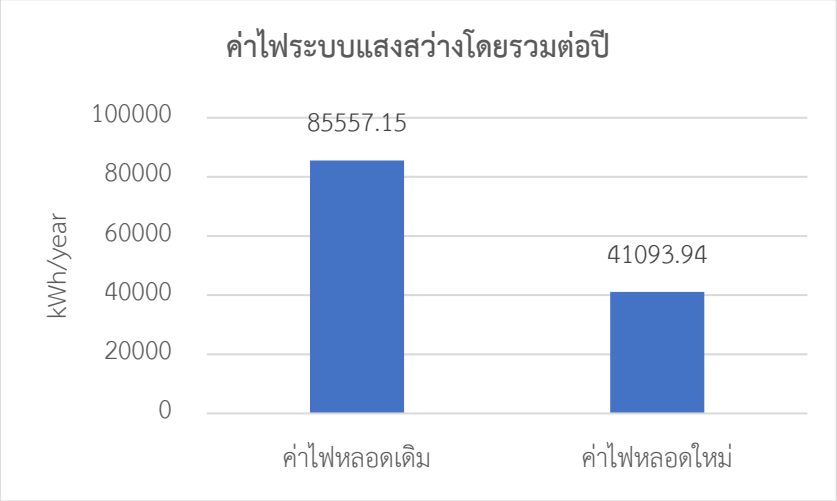
หลอด Incandescent จำนวน 1 หลอด 60 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 60 วัตต์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ LED Blub 2 จำนวน 1 หลอด 6.5 วัตต์ใช้ไฟฟ้าจำนวน 6.5 วัตต์

เมื่อเปลี่ยนหลอดไฟเดิมไปใช้หลอดไฟใหม่ ค่าไฟฟ้าในระบบแสงสว่างโดยรวมต่อปีมีค่าดังตารางที่ 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าไฟในระบบแสงสว่างโดยรวมต่อปี	
ค่าไฟหลอดเดิม	ค่าไฟหลอดใหม่
85,557.15 kWh/year	41,093.94 kWh/year

ตารางที่ 38 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (kWh/year) ของหลอดไฟเดิมและหลอดไฟใหม่



แผนภูมิที่ 9 แสดงค่าไฟฟ้าของหลอดไฟเดิมและหลอดไฟใหม่โดยรวมต่อปี

รายการ	fluorescent				PL-C				Incandescent	
	2x36	2x18	1x36	1x18	2x26	2x18	1x13	1x18	1x100	1x60
จำนวนหลอดไฟทั้งหมด	214	17	16	1	208	121	17	8	38	30
ราคาต่อหลอด	2,600	300	1,300	300	4,000	5,600	600	2,000	250	150
รวมราคา	556,400	5,100	20,800	300	832,000	677,600	10,200	16,000	9,500	4,500

ตารางที่ 39 แสดงราคาหลอดไฟต่อหลอดและราคาโดยรวมของหลอดไฟทั้งหมดที่ใช้ในการปรับปรุง

เมื่อรวมราคาการเปลี่ยนหลอดไฟแล้วต้องใช้เงินลงทุนจำนวน 2,132,400 บาทในการลงทุน และเมื่อเทียบกับความคุ้มค่าในการลงทุนโดยคิดค่าไฟฟ้าราคาหน่วยละ 4 บาท ตามการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จะได้ระยะเวลาคืนทุนที่ 12 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.8 การเปลี่ยนระบบปรับอากาศ

การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักของค่าไฟฟ้าภายในอาคาร โดยการจะทำให้การใช้พลังงานภายในอาคารลดลงจำเป็นจะต้องเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีค่าการบริโภคพลังงานลดลง โดยอัตราการบริโภคพลังงานของเครื่องปรับอากาศเดิมมีดังนี้

ลำดับที่	ขนาด เครื่องปรับอากาศ (BTU)	ค่าประสิทธิภาพ(EER)	ค่าบริโภคพลังงาน	พลังงานโดยรวมต่อปี(ก่อนปรับปรุง) kW/h/y
1	18,000	11	1.63	108,791.86
2	30,000	11	2.72	
3	36,000	11	3.27	
4	42,000	11	3.818	
5	84,000	11	7.63	

ตารางที่ 40 ตารางแสดงจำนวน BTU ค่าการบริโภคพลังงาน (Power consumption) และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของระบบปรับอากาศเดิม

ในปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้กำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงาน (EER) การทำความเย็นให้สูงขึ้นเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานจึงต้องทำการเปลี่ยนระบบปรับอากาศตามเกณฑ์ที่ กฟผ. กำหนดเพื่อลดค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นให้สามารถทำพลังงานสุทธิเท่ากันศูนย์ได้ โดยเกณฑ์ที่กำหนดจะได้ดังตารางที่ 41 และ 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ ชนิด Fixed Speed ปี ค.ศ. 2019

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ค่าประสิทธิภาพ (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์)			
	เบอร์ 5	เบอร์ 5 ★	เบอร์ 5 ★★	เบอร์ 5★★★
ไม่เกิน 8000 วัตต์ (≤ 27296 บีทียู /ชั่วโมง)	12.85 - 13.84	13.85 - 14.84	14.85 - 15.84	≥15.85
มากกว่า 8000 - 12000 วัตต์ (> 27296 - 40991 บีทียู/ชั่วโมง)	12.40 - 13.39	13.40 - 14.39	14.40 - 15.39	≥15.40

ตารางที่ 41 ค่าประสิทธิภาพฉลากเบอร์ 5 ระบบปรับอากาศชนิด Fixed Speed จากการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ ชนิด Variable Speed/Inverter ปี ค.ศ. 2019

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ค่าประสิทธิภาพ (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์)			
	เบอร์ 5	เบอร์ 5 ★	เบอร์ 5 ★★	เบอร์ 5★★★
ไม่เกิน 8000 วัตต์ (≤ 27296 บีทียู /ชั่วโมง)	15.00 - 17.49	17.50 - 19.99	20.00 - 22.49	≥ 22.50
มากกว่า 8000 - 12000 วัตต์ (> 27296 - 40991 บีทียู/ชั่วโมง)	14.00 - 16.49	16.50 - 18.99	19.00 - 21.49	≥ 21.50

ตารางที่ 42 ค่าประสิทธิภาพฉลากเบอร์ 5 ระบบปรับอากาศชนิด Variable Speed / Inverter จากการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศลง มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้เป็นระบบที่มีค่าประสิทธิภาพสูง โดยเลือกใช้ระบบปรับอากาศแบบ Inverter ซึ่งเป็นระบบอัจฉริยะที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้เมื่อเปิดไปช่วงระยะเวลาหนึ่งทำให้มีค่าประสิทธิภาพที่สูงเมื่อเทียบกับแบบ Fixed Speed โดยระบบปรับอากาศที่เลือกใช้เป็น เครื่องปรับอากาศที่มีฉลากเบอร์ 5 แบบใหม่ที่ได้รับการรับรองจาก กฟผ. โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 43

เครื่องหมายการค้า	**ชนิด**	**ประเภท**	**ขนาด บีทียู / ชั่วโมง**	**ค่าประสิทธิภาพ (EER) บีทียู / ชั่วโมง / วัตต์**	**ระดับ**	**ราคา (บาท)**
DAIKIN	CONCEALED/ DUCT TYPE	INVERTER	18,010	20.10	5 ★★	31,700
DAIKIN	CONCEALED/ DUCT TYPE	INVERTER	30,900	19.20	5 ★★	43,800
DAIKIN	CONCEALED/ DUCT TYPE	INVERTER	36,170	19.00	5 ★★	56,800
DAIKIN	CONCEALED/ DUCT TYPE	INVERTER	42,000	16.42	5	58,100
Carrier	CONCEALED/ DUCT TYPE	INVERTER	60,700	16.50	5	67,800

ตารางที่ 43 แสดงรุ่นเครื่องปรับอากาศ ค่าประสิทธิภาพ และราคาเครื่องปรับอากาศ

ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องปรับอากาศของ ไดกิ้น (DAIKIN) และ แคเลีย (CARRIER) ซึ่งได้รับการรับรองฉลากเบอร์ 5 จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในชนิดเดียวกันและ ราคาได้จากการสอบถามผู้เป็นตัวแทนจัดจำหน่าย

เครื่องปรับอากาศใหม่ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ ได้เลือกหน่วยความร้อน (BTU) ที่ใกล้เคียงกับอาคารต้นแบบ คือ ขนาด 18,000 BTU เปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศรุ่น DAIKIN ขนาด 18,010 BTU มีค่าประสิทธิภาพ 20.1 อยู่ในระดับฉลากเบอร์ 5 สองดาว

ขนาดเครื่องปรับอากาศอาคารต้นแบบที่ 30,000 BTU เปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศรุ่น DAIKIN ขนาด 30,900 BTU มีค่าประสิทธิภาพ 19.2 อยู่ในระดับฉลากเบอร์ 5 สองดาว

ขนาดเครื่องปรับอากาศอาคารต้นแบบที่ 36,000 BTU เปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศรุ่น DAIKIN ขนาด 36170 BTU มีค่าประสิทธิภาพ 19 อยู่ในระดับฉลากเบอร์ 5 สองดาว

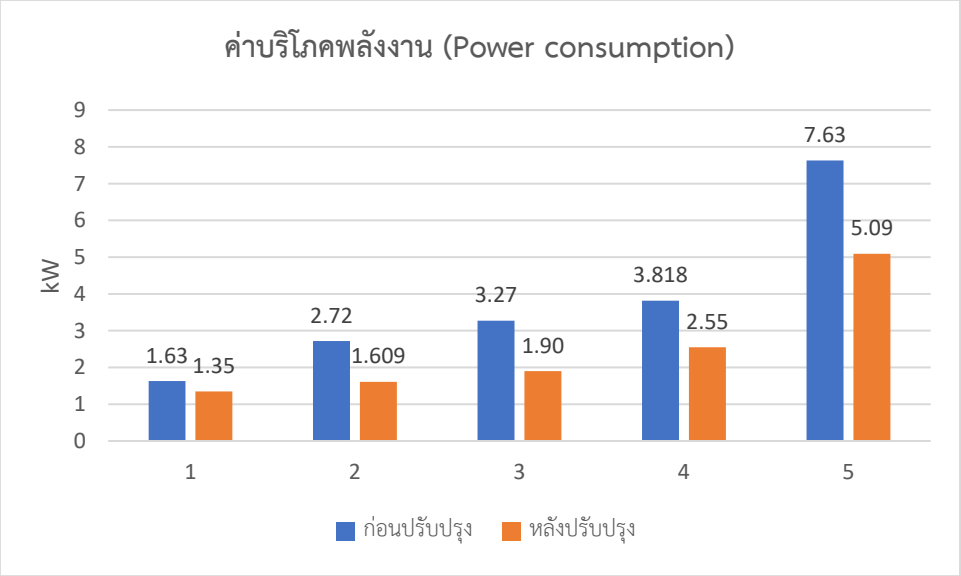
ขนาดเครื่องปรับอากาศอาคารต้นแบบที่ 42,000 BTU เปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศรุ่น DAIKIN ขนาด 42,000 BTU มีค่าประสิทธิภาพ 16.42 อยู่ในระดับฉลากเบอร์ 5

ขนาดเครื่องปรับอากาศอาคารต้นแบบที่ 84,000 BTU เปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศรุ่น CARRIER ขนาด 60,700 BTU มีค่าประสิทธิภาพ 16.50 อยู่ในระดับฉลากเบอร์ 5 โดยเครื่องปรับอากาศขนาด 84,000 BTU ไม่มีขายตามท้องตลาดทำให้จำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดเครื่องปรับอากาศให้สามารถหาซื้อได้ จึงต้องทำการเพิ่มเครื่องปรับอากาศ จากเดิม 84,000 BTU ใช้ 3เครื่อง เปลี่ยนเป็น 60,700 ใช้ 4 เครื่องแทนโดยค่าการบริโภคพลังงานและค่าไฟโดยรวมต่อปีจะได้ดังตารางที่ 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ลำดับที่	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU)	ค่าประสิทธิภาพ(EER)	ค่าบริโภคพลังงาน	ค่าพลังงานโดยรวมต่อปี(หลังปรับปรุง) kW/h/y
1	18,010	20.10	1.35	65,210.41
2	30,900	19.20	1.609	
3	36,170	19.00	1.90	
4	42,000	16.42	2.55	
5	60,700	16.50	5.09	

ตารางที่ 44 แสดงขนาดเครื่องปรับอากาศ ค่าประสิทธิภาพ ค่าบริโภคพลังงาน และค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี



แผนภูมิที่ 10 แสดงค่าบริโภคพลังงาน ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงระบบปรับอากาศ

ค่าไฟฟ้าในระบบปรับอากาศโดยรวมต่อปี	
ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
104,909.16 kWh/year	62,940.11 kWh/year

ตารางที่ 45 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีในระบบปรับอากาศ

ขนาดเครื่องเก่า	จำนวน	ขนาดเครื่องใหม่	ราคาต่อเครื่อง	รวม(บาท)
18,000	2	18,010	31,700	63,400
30,000	7	30,900	43,800	306,600
36,000	30	36,170	56,800	1,704,000
42,000	2	42,000	58,100	116,200
84,000	3	60,700	67,800	203,400

ตารางที่ 46 แสดงขนาด BTU เครื่องปรับอากาศเดิมและเครื่องปรับอากาศใหม่ และราคาต่อเครื่อง

เมื่อรวมราคาการเปลี่ยนระบบปรับอากาศแล้วต้องใช้เงินลงทุนจำนวน 2,393,600 บาทในการลงทุนและเมื่อเทียบกับความคุ้มค่าในการลงทุนโดยคิดค่าไฟฟ้าราคาหน่วยละ 4 บาทตามการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย จะได้ระยะเวลาคืนทุนที่ 14 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.9 สรุปค่าใช้จ่ายและความคุ้มทุนในการเปลี่ยนระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ

ในการเปลี่ยนระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง ใช้เงินลงทุนระบบแสงสว่าง 2,132,400 บาท ระบบปรับอากาศ 2,393,600 บาท รวมค่าลงทุนในการปรับปรุง 4,526,000 บาท ดังตารางที่ 47

เงินลงทุน (บาท)		รวม (บาท)
ระบบแสงสว่าง	ระบบปรับอากาศ	
2,132,400	2,393,600	4,526,000

ตารางที่ 47 แสดงเงินลงทุนในระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ

เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าโดยรวมต่อปีของอาคารกรณีศึกษา เปรียบเทียบแนวทางที่ได้รับการปรับปรุงระบบแสงสว่างและระบบปรับอาคาร แสดงให้เห็นค่าพลังงานที่ลดลงและความคุ้มทุน ดังตารางที่ 48

ค่าพลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/y)		ค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (บาท)		ค่าไฟฟ้าที่ลดลงเทียบกับอาคารต้นแบบ (บาท)	ระยะคืนทุน (ปี)
อาคารกรณีศึกษา	อาคารหลังปรับปรุงระบบแสงและระบบปรับอากาศ	อาคารกรณีศึกษา	อาคารหลังปรับปรุงระบบแสงและระบบปรับอากาศ		
209,091.33	117,080.38	836,365.32	468,321.52	368,043.80	12.29

ตารางที่ 48 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี(kWh/year) และค่าไฟฟ้า (บาท) ของอาคารกรณีศึกษาก่อนและหลังปรับปรุง และแสดงระยะคืนทุน

จากตารางที่ 48 ค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีของอาคารอาคารสำนักงานราชการก่อนปรับปรุงมีค่า 209,091.33 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี มีค่าไฟฟ้าคิดที่หน่วยละ 4 บาท อยู่ที่ 836,365.32 บาท และเมื่อเปลี่ยนระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ ค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีอยู่ที่ 117,080.38 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 468,321.52 บาท ค่าไฟฟ้าที่ลดลงจากอาคารก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 368,043.80 บาท ระยะคืนทุน 12.29 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.10 ความคุ้มค่าการลงทุนในแนวทางการปรับปรุง

เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด จึงได้เลือกแนวทางการเปลี่ยนกรอบอาคารและหลังคาปรับปรุงร่วมกับระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศโดยแนวทางการปรับปรุงที่เลือกคือ A4+B3+R2 ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุด เมื่อนำมาปรับปรุงร่วมกับแนวทางการปรับปรุงระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศแล้วจะได้ดังตารางที่ 49

รหัส	OTTV	RTTV	ราคา(บาท)	ค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (kWh/y)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลงเทียบกับอาคารต้นแบบ(kWh/y)	ระยะคืนทุน (ปี)
A4+B3+R2+ ปรับอากาศ+ ระบบแสงสว่าง	32.344	4.133	5,832,278.67	94,963.32	114,128.01	12.77

ตารางที่ 49 แสดงค่า OTTV RTTV ค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี ราคาลงทุน และระยะเวลาคืนทุน

จากตารางที่ 49 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับปรุงรวมกันในระบบกรอบอาคาร หลังคา ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง ซึ่งมีมูลค่าลงทุนที่ 5,832,278.67 บาท สามารถทำให้ค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีลดลงเหลือ 94,963.32 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ลดลงเทียบกับอาคารสำนักงานราชการที่ศึกษาได้ 114,128.01 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี เมื่อหาระยะเวลาคืนทุนแล้วอยู่ที่ 12.77 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.11 สรุปความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

จากการปรับปรุงลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงเพื่อหาแนวทางที่ช่วยตัดสินใจในการลงทุนจึงต้องทำการ วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของอาคาร (Life Cycle Cost , LCC) ในรูปแบบ Present Worth (PW) โดยอ้างอิง อายุการใช้งานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอายุ 20 ปี และสร้างทางเลือก 5 แบบคือ 1) แบบไม่มีการปรับปรุง 2) ทางเลือก 1 เปลี่ยนกรอบอาคาร หลังคา ร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง 3) ทางเลือก 2 เปลี่ยนเฉพาะกรอบอาคารและหลังคา 4) ทางเลือก 3 เปลี่ยนกรอบอาคาร หลังคา ร่วมกับระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาช่วยในการสร้างพลังงานทดแทน 5) ทางเลือก 4 เปลี่ยนเฉพาะระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง

รายละเอียด	อาคารต้นแบบ	ทางเลือก 1	ทางเลือก 2	ทางเลือก 3	ทางเลือก 4
รายละเอียดทางเลือก	ไม่มีการปรับปรุง	เปลี่ยนกรอบอาคาร A4+B3+R2ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง	เปลี่ยนเฉพาะกรอบอาคาร A4+B3+R2	เปลี่ยนกรอบอาคาร A4+B3+R2 และระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง พร้อมแผงพลังงานแผงอาทิตย์	เปลี่ยนเฉพาะระบบปรับอากาศและแสงสว่าง
Total P.W. (LCC)	9,591,437.49	10,188,437.09	9,171,371.15	11,184,772.91	9,896,711.19
สัดส่วนผลตอบแทน	-	4.48%	1.64%	4.87%	3.71%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	-	12.77	8.67	14.39	12.29

ตารางที่ 50 แสดงการหาค่า Present Worth สัดส่วนผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุน

หมายเหตุ 1. ในการศึกษาคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท

2. $[A \longrightarrow P]_{i=7}^{y=20} = 11.468$

3. ราคาต้นทุนไม่รวมค่าแรงในการติดตั้งหรือดำเนินงาน

4. สัดส่วนผลตอบแทน คือ Rate of return

5. คิดการรับซื้อไฟฟ้าคือที่ 1.68 บาท ต่อหน่วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 50 ทางเลือกที่ 3 คือแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานสู่การใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ได้ ซึ่งในทางเลือกที่ 1 2 และ 4 ไม่สามารถสร้างพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ แต่เป็นการหาความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ในแนวทางที่ต้องการลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงโดยไม่พึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจลงทุนด้านพลังงานที่ต้องการเฉพาะลดค่าไฟฟ้าลง

และในทางเลือกที่ 3 ซึ่งเป็นทางเลือกที่สามารถทำให้อาคารลดการใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ได้ เพิ่มการคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อปีที่ 3.5% (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์, 2558) จะได้ดังตารางดังนี้

รายละเอียด	อาคารต้นแบบ	ทางเลือก 3
รายละเอียดทางเลือก	ไม่มีการปรับปรุง	เปลี่ยนกรอบอาคาร A4+B3+R2 และระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง พร้อมแผงพลังงานแผงอาทิตย์
Total P.W. (LCC)	12,014,387.82	12,028,473.19
สัดส่วนผลตอบแทน	-	10.59%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	-	21.06

ตารางที่ 51 แสดงการหาค่า Present Worth สัดส่วนผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุนแบบมี อัตราเพิ่มขึ้นค่าไฟฟ้า (escalation rate)

หมายเหตุ 1. ในการศึกษาคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท

2. $[PWIF]^{y=20}_{i=7\%,\ r=3.5\%} = 14.365$

3. ราคาต้นทุนไม่รวมค่าแรงในการติดตั้งหรือดำเนินงาน

4. สัดส่วนผลตอบแทน คือ Internal rate of return (IRR)

5. ระยะเวลาคืนทุนคิดด้วย Discounted payback period

6. คิดการรับซื้อไฟฟ้าคือที่ 1.68 บาท ต่อหน่วย

7. อัตราการเพิ่มขึ้นค่าไฟฟ้า (Escalation rate) = 3.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและหาแนวทางการปรับปรุงอาคารจากแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการมีพื้นที่โดยรวม 7,020 ตารางเมตร สู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์(Net Zero energy building) ซึ่งได้จำลองการใช้พลังงานผ่านโปรแกรม BEC ver. 1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองพลังงานของกระทรวงพลังงานโดยสรุปแนวทางการปรับปรุงจะได้ดังนี้

5.1 สรุปอาคารกรณีศึกษาและแนวทางการออกแบบปรับปรุง

ในการศึกษาได้ได้เลือกกรณีศึกษาเป็นแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานของสำนักงานเขตที่ใช้สร้างในหลายพื้นที่ อาทิเช่น สำนักงานเขตทวีวัฒนา สำนักงานเขตบางแค และสำนักงานเขตทุ่งครุ เป็นต้น โดยใช้เป็นแบบอ้างอิงในการประเมินศักยภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งจากการศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ จากทฤษฎีงานวิจัย และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง มีแนวทางการออกแบบสรุปได้ 10 ข้อนั้นคือ (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2559) (กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

1. ปัจจัยด้านสถานที่ตั้งอาคาร (Site)
2. ปัจจัยด้านรูปทรงอาคาร (Building Shape)
3. ปัจจัยด้านทิศทางการวางอาคาร (Orientation)
4. ปัจจัยด้านกรอบอาคาร (Building Envelop)
5. ปัจจัยด้านอุปกรณ์บังแดด (Shading on Building)
6. ปัจจัยด้านกระจกช่องเปิด (Glazing)
7. ปัจจัยด้านแสงสว่าง (Lighting)
8. ปัจจัยด้านระบบการสร้างสิ่งแวดล้อมอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive System)
9. ระบบปรับอากาศ
10. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แนวทางการปรับปรุงด้านกรอบอาคาร เช่นผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา แนวทางการปรับปรุงกระจกช่องเปิด ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้อาคารสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า และนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 สรุปแนวทางการเลือกวัสดุกรอบอาคาร และหลังคา

ในแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา เลือกใช้วัสดุที่มีราคาถูกที่สุดและมีประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อน ผ่านเกณฑ์การถ่ายเทความร้อนตามประกาศกฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตราฐานหลักเกณฑ์ และวิธีและวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 จะได้ดังตารางที่ 51

รหัส	รูปแบบ	รายละเอียด	ราคาต่อหน่วย	ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารและหลังคา (OTTV),(RTTV)
A4	ผนังทึบ	(วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 ขนาด 50 มม+ แผ่นยิปซั่มบอร์ด	263 บาท/ตร.ม	OTTV = 56.403
B3	ผนังโปร่งแสง	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว ขนาด 6 mm	205 บาท/ตร.ฟ	OTTV = 56.506
R2	หลังคา	1.คอนกรีต+Air gap+ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 หนา 25มม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด , 2.แผ่นหลังคาเหล็ก+ฉนวน PU ขนาด 40 มม.+ Air gap+ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 หนา 50มม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด	150 บาท/ตร.ม	RTTV = 4.475

ตารางที่ 52 แสดงรายการวัสดุผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา ที่ใช้ในการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3 สรุปแนวทางการเลือกใช้ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง

ในการปรับปรุงระบบแสงสว่างได้เปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอด LED ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานจากเดิม 85,557.15 kWh/year หลังเปลี่ยนเท่ากับ 41,093.94 kWh/year คิดเป็นสัดส่วนลดลงร้อยละ 48.03% และระบบปรับอากาศก่อนปรับปรุงค่าพลังงานโดยรวมต่อปีที่ 104,909.16 kWh/year เมื่อปรับปรุงโดยเปลี่ยนระบบปรับอากาศไปใช้ตามเกณฑ์ฉลากเบอร์ 5 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2562 ค่าการใช้พลังงานโดยรวมต่อปีลดลงเหลือ 62,940.11 kWh/year สัดส่วนลดลงร้อยละ 59.99% ดังตารางที่ 52

รายละเอียด	พลังงานโดยรวมต่อปีก่อนปรับปรุง (kWh/year)	พลังงานโดยรวมต่อปีหลังปรับปรุง (kWh/year)	สัดส่วนที่ลดลง ร้อยละ
ระบบแสงสว่าง	85,557.15	41,093.94	48.03%
ระบบปรับอากาศ	104,909.16	62,940.11	59.99%

ตารางที่ 53 แสดงค่าการใช้พลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/year) ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างก่อนและหลังปรับปรุง

5.4 สรุปค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารและหลังคา ก่อนและหลังปรับปรุง

ในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง(OTTV)และหลังคา(RTTV) ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดและพลังงานโดยรวมต่อปีก่อนปรับปรุงมีค่า 209,091 kWh/year หลังปรับปรุงพลังงานโดยรวมต่อปีเหลือ 94,963.32 คิดเป็นร้อยละ 45.42% ดังตารางที่ 53

รายละเอียด	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)	พลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/year)
ก่อนปรับปรุง	75.798	11.422	209,091.33
หลังปรับปรุง	32.344	4.475	94,963.32

ตารางที่ 54 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) และพลังงานโดยรวมต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.5 สรุปทางเลือกการปรับปรุงทางเศรษฐศาสตร์

จากการหาค่า Present Worth ในตารางที่ 50 ทางเลือก 3 ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมภายในอาคารเหลือ 94,963 kWh/year ซึ่งเมื่อเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 147,713.84 kWh/year ทำให้มีค่ามากกว่าพลังงานที่ใช้โดยรวมภายในอาคาร ซึ่งสามารถทำให้การใช้พลังงานสุทธิภายในอาคารเท่ากับศูนย์ (Net zero energy building) โดยมีสัดสวนผลตอบแทนที่ 4.87% ซึ่งถือว่าคุ้มค่าในการลงทุน และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 14.39 ปี หากนำอัตราค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (Escalation rate) ที่ 3.5% นำมาคำนวณเพิ่มจะได้สัดส่วนผลตอบแทนที่ 10.59% ซึ่งมากกว่าแบบไม่ที่ได้นำอัตราค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาคิด แต่ระยะเวลาคืนทุนเพิ่มขึ้นที่ 21.06 ปี

5.6 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อ

1.ในการศึกษาการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอาคารขนาดใหญ่ครั้งนี้ศึกษาเฉพาะอาคารจากแบบมาตราฐาน การศึกษาอาคารจริงสามารถช่วยให้มีความแม่นยำในการลดพลังงานได้มากขึ้น

2.การศึกษาครั้งนี้มิได้รวมถึงการศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้ภายในอาคาร ควรมีการศึกษาพฤติกรรมและช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าภายในอาคารที่ศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Behling, S., Behling, S. **Sol power : The Evolution of Solar Architecture.** Newyork: Prestel, 1996

Deng, S.,Wang, R. Z., Dai, Y. J. (2014). How to evaluate performance of net zero energy building – A literature research. **Energy**, 71, 1-16.

Elasfouri, A. S.,Maraqa, R., Tabbalat, R. (1991). Shading control by neighbouring buildings: application to buildings in Amman, Jordan. **International Journal of Refrigeration**, 14(2), 112-116.

Feng, Y. (2004). Thermal design standards for energy efficiency of residential buildings in hot summer/cold winter zones. **Energy and Buildings**, 36(12), 1309-1312.

Karsten Voss,Eike Musall, Markus Lichtmeß. (2011). From low-energy to net zero-energy building : Status and Perspectives. **Journal of Green Building**, 6(1), 46-57.

Lollini,Barozzi,Fasano,Meroni, Zinzi. (2006). Optimisation of opaque components of the building envelope. Energy, economic and environmental issues. **Building and Environment**, 41(8), 1001-1013.

Marszal, A. J.,Heiselberg, P.,Bourrelle, J. S.,Musall, E.,Voss, K.,Sartori, I., Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings**, 43(4), 971-979.

Omer, A. M. (2008a). Energy, environment and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 12(9), 2265-2300.

Omer, A. M. (2008b). Renewable building energy systems and passive human comfort solutions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 12(6), 1562-1587.

Pacheco, R.,Ordóñez, J., Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(6), 3559-3573.

Sartori, I.,Napolitano, A., Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings**, 48, 220-232.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2553). **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร)** [Online]**.** บทที่ 3 กรอบอาคาร. แหล่งที่มา: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ส. (2015). **เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า**[Online]**.** แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=804

กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข. (2558). **โครงการการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์**[Online]**.** แหล่งที่มา: http://dcd.hss.moph.go.th/web/index.php/works/academic/โครงการการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2559). อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์. **Journal of Architectural Research and Studies** *2559,* 13.

ชาญณรงค์ น้อยบางยาง, ถาวร สุวรรณกิจ. (2556). **การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับระบบเฝ้าระวังและสัญญาณเตือนภัยจากไฟฟ้ารั่วเนื่องจากภาวะน้ำท่วมฉับพลัน ระบบไร้สาร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา** [Online]**.** แหล่งที่มา: http://rdi.aru.ac.th/e_journal/pdf/147.pdf

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์. (2558). การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **วารสารวิจัยพลังงาน***,* ปีที่ 12(ฉบับที่ 2).

นายสุรพล เดชพล. **แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานราชการ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

ปารวี ตั้งจิตวิทยา. **การออกแบบกรอบอาคารบ้านเดี่ยว เพื่อนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัญฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2556

ลูกโลกสีเขียว. (2551). **สถานการณ์โลกและวิกฤติพลังงาน** [Online]**.** แหล่งที่มา: https://www.greenglobeinstitute.com/Upload/Content/Attachments/91aaff70-a37e-4f0b-9524-04be67ff0b69.pdf

สัทธา ปัญญาแก้ว, ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. **คู่มือการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคารในประเทศไทย**. บริษัท พลัสเพรส จำกัด: สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558

สุรเชษฐ์ ณ เชียงใหม่. **การพัฒนาอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2560

อรรจน์ เศรษฐบุตร. **อาคารเขียว.** คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: โรงพิมพ์มติชน ปากเกร็ด, 2561

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

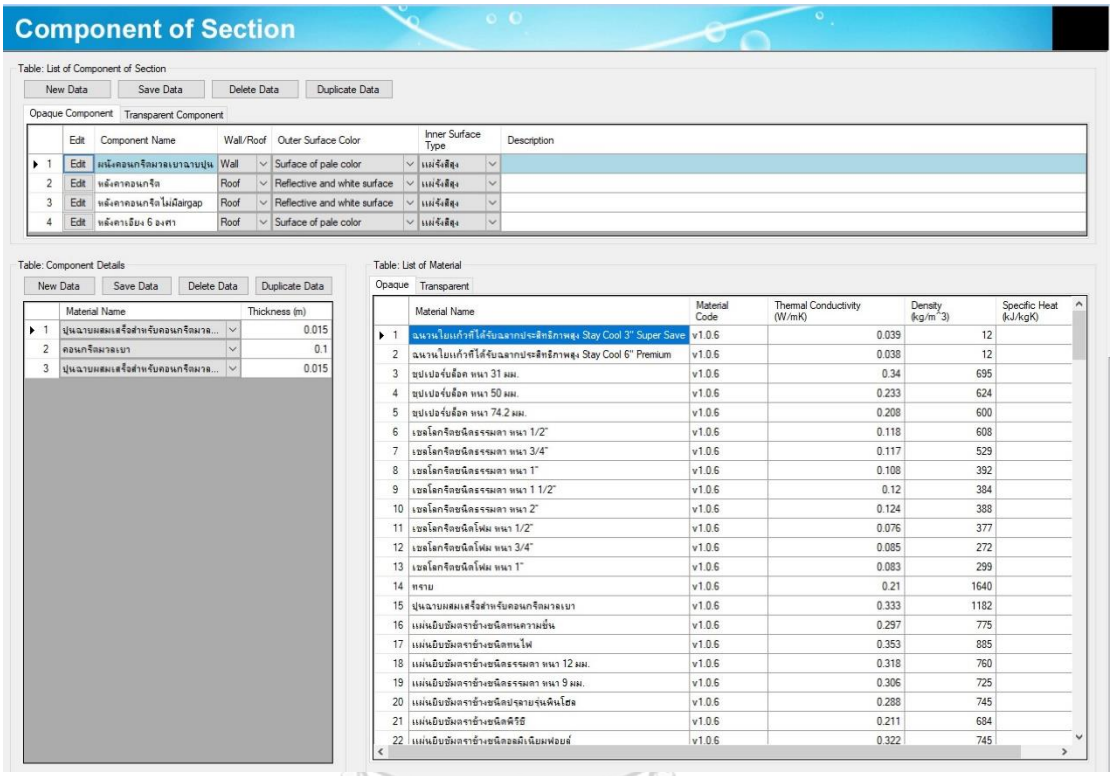
ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

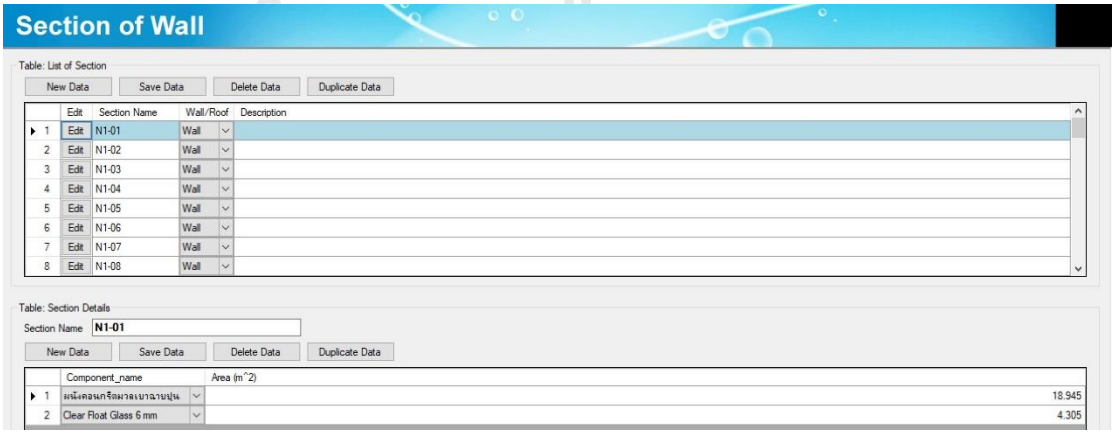
ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม BEC

คำสั่งส่วนของวัสดุผนัง

1. Component of Section

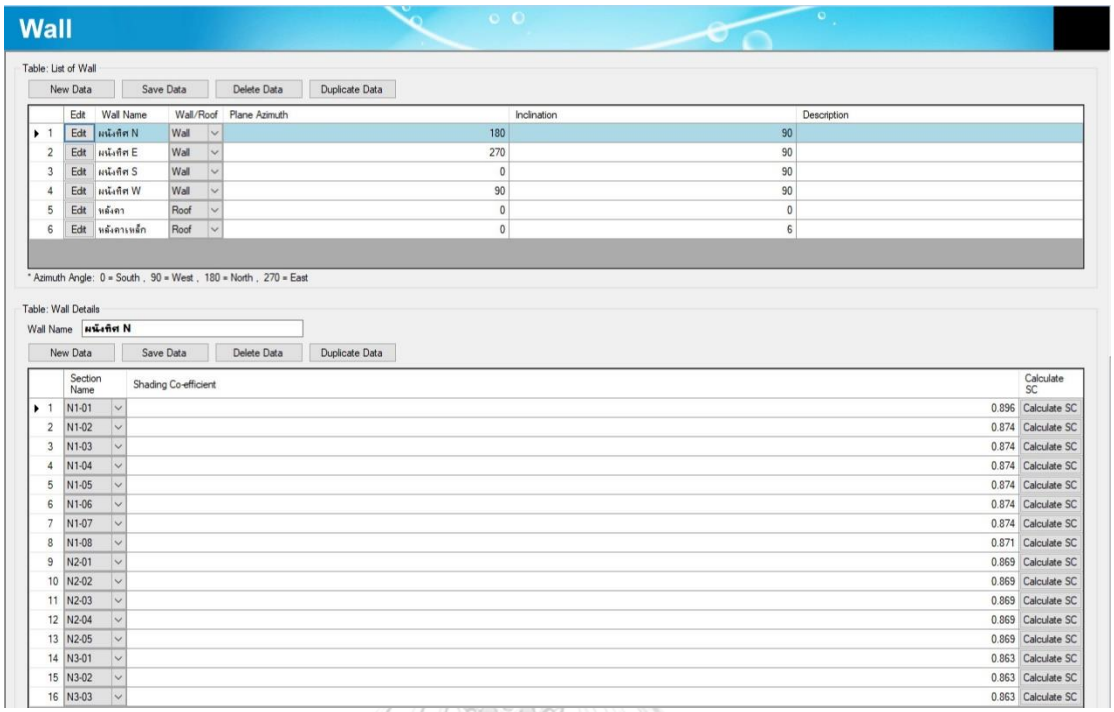


2. Section of wall



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. Wall



Wall

Table: List of Wall

New Data | Save Data | Delete Data | Duplicate Data

	Edit	Wall Name	Wall/Roof	Plane Azimuth	Inclination	Description
1	Edit	ผนังทิศ N	Wall	180	90	
2	Edit	ผนังทิศ E	Wall	270	90	
3	Edit	ผนังทิศ S	Wall	0	90	
4	Edit	ผนังทิศ W	Wall	90	90	
5	Edit	หลังคา	Roof	0	0	
6	Edit	หลังคาเหล็ก	Roof	0	6	

* Azimuth Angle: 0 = South , 90 = West , 180 = North , 270 = East

Table: Wall Details

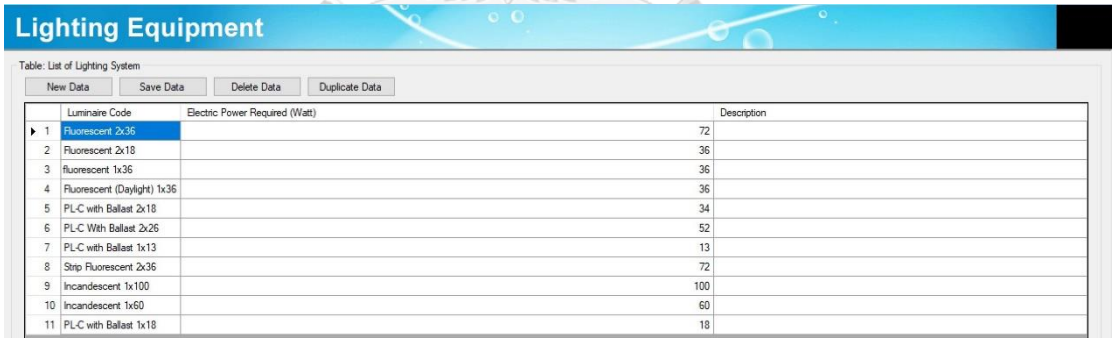
Wall Name: ผนังทิศ N

New Data | Save Data | Delete Data | Duplicate Data

	Section Name	Shading Co-efficient	Calculate SC
1	N1-01	0.896	Calculate SC
2	N1-02	0.874	Calculate SC
3	N1-03	0.874	Calculate SC
4	N1-04	0.874	Calculate SC
5	N1-05	0.874	Calculate SC
6	N1-06	0.874	Calculate SC
7	N1-07	0.874	Calculate SC
8	N1-08	0.871	Calculate SC
9	N2-01	0.869	Calculate SC
10	N2-02	0.869	Calculate SC
11	N2-03	0.869	Calculate SC
12	N2-04	0.869	Calculate SC
13	N2-05	0.869	Calculate SC
14	N3-01	0.863	Calculate SC
15	N3-02	0.863	Calculate SC
16	N3-03	0.863	Calculate SC

คำสั่งส่วนระบบแสงสว่าง

1.Lighting Equipment



Lighting Equipment

Table: List of Lighting System

New Data | Save Data | Delete Data | Duplicate Data

	Luminaire Code	Electric Power Required (Watt)	Description
1	Fluorescent 2x36	72	
2	Fluorescent 2x18	36	
3	fluorescent 1x36	36	
4	Fluorescent (Daylight) 1x36	36	
5	PL-C with Ballast 2x18	34	
6	PL-C With Ballast 2x26	52	
7	PL-C with Ballast 1x13	13	
8	Strip Fluorescent 2x36	72	
9	Incandescent 1x100	100	
10	Incandescent 1x60	60	
11	PL-C with Ballast 1x18	18	

คำสั่งส่วนระบบปรับอากาศ

1.Split Type

Split Type & Window Type

Table: List of Split Type and Window Type

New Data | Save Data | Delete Data | Duplicate Data

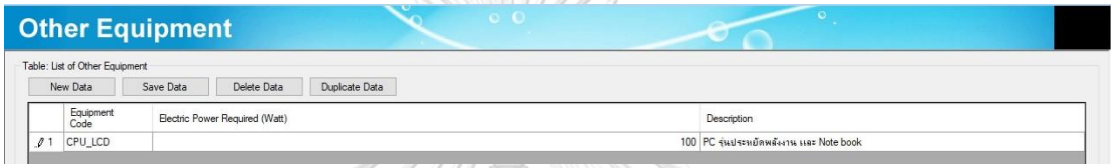
	Code	Cooling Capacity	Unit	Rated Power (kW)	Description
1	AC36	36	kBtu/h	3.27	
2	AC30	30	kBtu/h	2.72	
3	AC18	18	kBtu/h	1.63	
4	AC42	42	kBtu/h	3.818	
5	AHU	84	kBtu/h	7.63	

คำสั่งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

1.PV Equipment

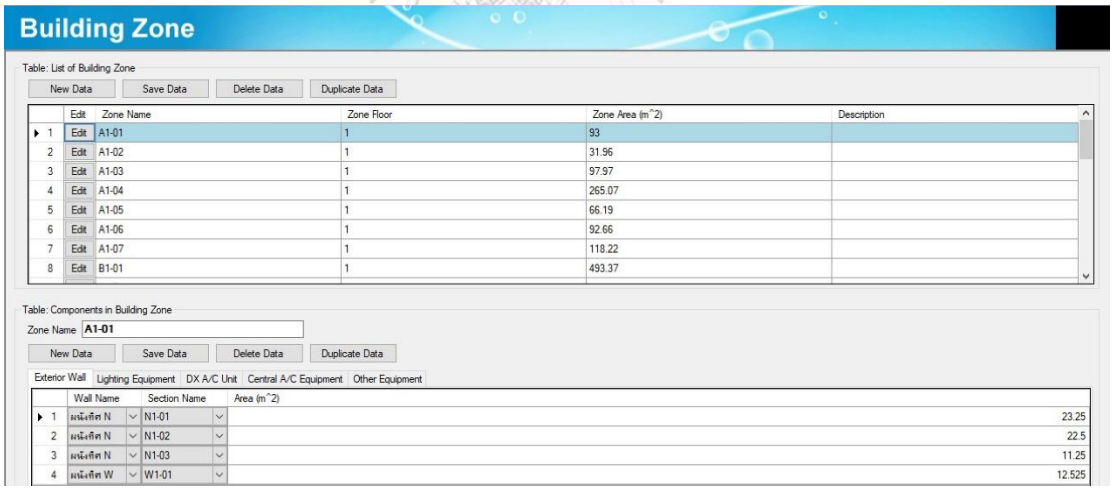
คำสั่งอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.Other Equipment (เฉพาะคอมพิวเตอร์)



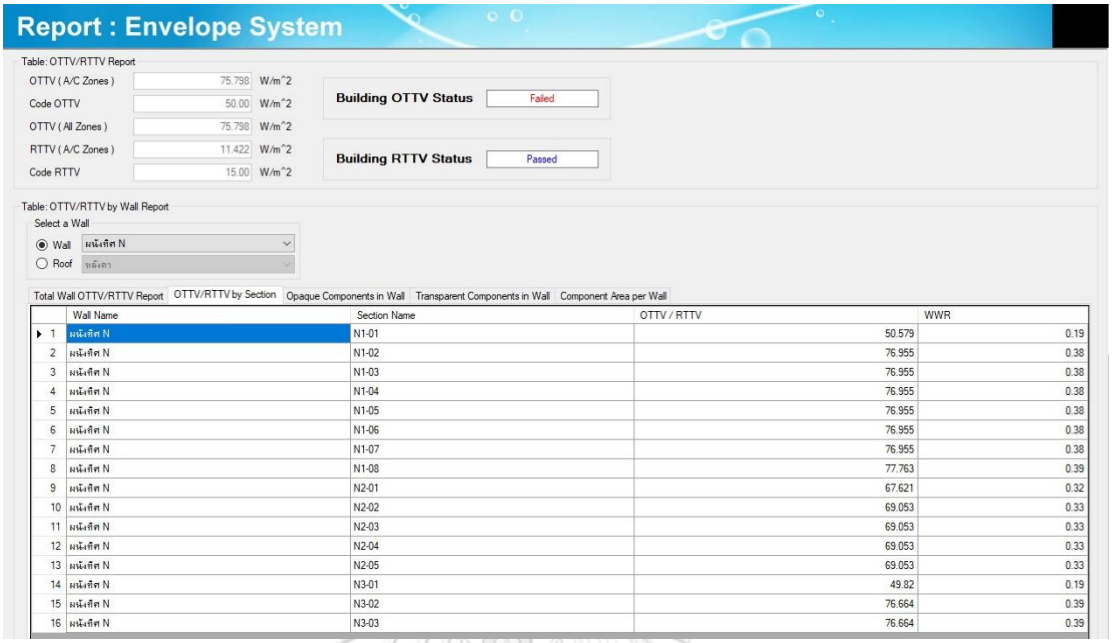
คำสั่งการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดในระบบในแต่ละ zone

1.Building Zone



คำสั่งประเมินค่าพลังงานในระบบทั้งหมด

1.Report : Envelop System (ประเมินเฉพาะส่วนระบบกรอบผนัง)



Report : Envelope System

Table: OTTV/RTTV Report

OTTV (A/C Zones)	75.798	W/m^2
Code OTTV	50.00	W/m^2
OTTV (All Zones)	75.798	W/m^2
RTTV (A/C Zones)	11.422	W/m^2
Code RTTV	15.00	W/m^2

Building OTTV Status: Failed

Building RTTV Status: Passed

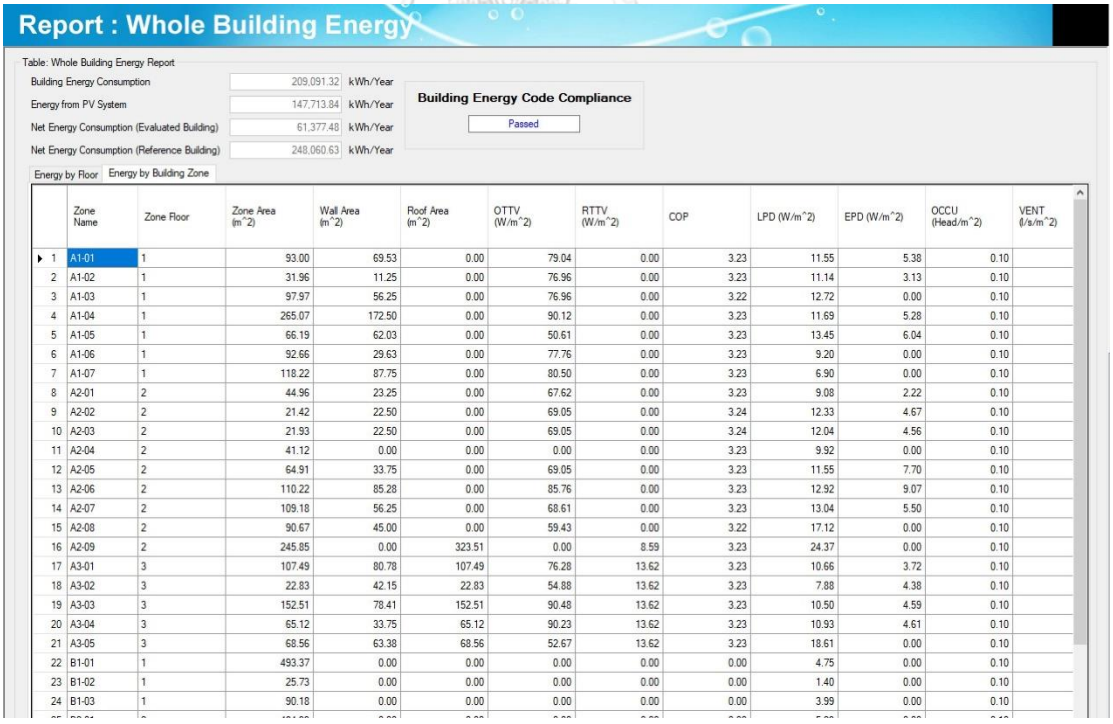
Table: OTTV/RTTV by Wall Report

Select a Wall: Wall ผนังทิศ N / Roof หลังคา

Total Wall OTTV/RTTV Report | OTTV/RTTV by Section | Opaque Components in Wall | Transparent Components in Wall | Component Area per Wall

	Wall Name	Section Name	OTTV / RTTV	WWR
1	ผนังทิศ N	N1-01	50.579	0.19
2	ผนังทิศ N	N1-02	76.955	0.38
3	ผนังทิศ N	N1-03	76.955	0.38
4	ผนังทิศ N	N1-04	76.955	0.38
5	ผนังทิศ N	N1-05	76.955	0.38
6	ผนังทิศ N	N1-06	76.955	0.38
7	ผนังทิศ N	N1-07	76.955	0.38
8	ผนังทิศ N	N1-08	77.763	0.39
9	ผนังทิศ N	N2-01	67.621	0.32
10	ผนังทิศ N	N2-02	69.053	0.33
11	ผนังทิศ N	N2-03	69.053	0.33
12	ผนังทิศ N	N2-04	69.053	0.33
13	ผนังทิศ N	N2-05	69.053	0.33
14	ผนังทิศ N	N3-01	49.82	0.19
15	ผนังทิศ N	N3-02	76.664	0.39
16	ผนังทิศ N	N3-03	76.664	0.39

2.Report : Whole Building Energy (ประเมินค่าพลังงานภายในอาคารทั้งหมด)



Report : Whole Building Energy

Table: Whole Building Energy Report

Building Energy Consumption	209,091.32	kWh/Year
Energy from PV System	147,713.84	kWh/Year
Net Energy Consumption (Evaluated Building)	61,377.48	kWh/Year
Net Energy Consumption (Reference Building)	248,060.63	kWh/Year

Building Energy Code Compliance: Passed

Energy by Floor | Energy by Building Zone

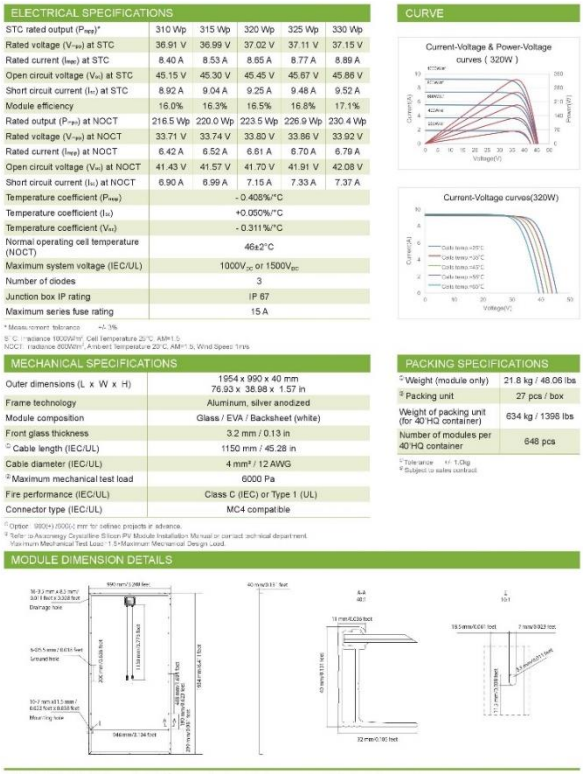
	Zone Name	Zone Floor	Zone Area (m^2)	Wall Area (m^2)	Roof Area (m^2)	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)	COP	LPD (W/m^2)	EPD (W/m^2)	OCCU (Head/m^2)	VENT (l/s/m^2)
1	A1-01	1	93.00	69.53	0.00	79.04	0.00	3.23	11.55	5.38	0.10	
2	A1-02	1	31.96	11.25	0.00	76.96	0.00	3.23	11.14	3.13	0.10	
3	A1-03	1	97.97	56.25	0.00	76.96	0.00	3.22	12.72	0.00	0.10	
4	A1-04	1	265.07	172.50	0.00	90.12	0.00	3.23	11.69	5.28	0.10	
5	A1-05	1	66.19	62.03	0.00	50.61	0.00	3.23	13.45	6.04	0.10	
6	A1-06	1	92.66	29.63	0.00	77.76	0.00	3.23	9.20	0.00	0.10	
7	A1-07	1	118.22	87.75	0.00	80.50	0.00	3.23	6.90	0.00	0.10	
8	A2-01	2	44.96	23.25	0.00	67.62	0.00	3.23	9.08	2.22	0.10	
9	A2-02	2	21.42	22.50	0.00	69.05	0.00	3.24	12.33	4.67	0.10	
10	A2-03	2	21.93	22.50	0.00	69.05	0.00	3.24	12.04	4.56	0.10	
11	A2-04	2	41.12	0.00	0.00	0.00	0.00	3.23	9.92	0.00	0.10	
12	A2-05	2	64.91	33.75	0.00	69.05	0.00	3.23	11.55	7.70	0.10	
13	A2-06	2	110.22	85.28	0.00	85.76	0.00	3.23	12.92	9.07	0.10	
14	A2-07	2	109.18	56.25	0.00	68.61	0.00	3.23	13.04	5.50	0.10	
15	A2-08	2	90.67	45.00	0.00	59.43	0.00	3.22	17.12	0.00	0.10	
16	A2-09	2	245.85	0.00	323.51	0.00	8.59	3.23	24.37	0.00	0.10	
17	A3-01	3	107.49	80.78	107.49	76.28	13.62	3.23	10.66	3.72	0.10	
18	A3-02	3	22.83	42.15	22.83	54.88	13.62	3.23	7.88	4.38	0.10	
19	A3-03	3	152.51	78.41	152.51	90.48	13.62	3.23	10.50	4.59	0.10	
20	A3-04	3	65.12	33.75	65.12	90.23	13.62	3.23	10.93	4.61	0.10	
21	A3-05	3	68.56	63.38	68.56	52.67	13.62	3.23	18.61	0.00	0.10	
22	B1-01	1	493.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.75	0.00	0.10	
23	B1-02	1	25.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	0.00	0.10	
24	B1-03	1	90.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.99	0.00	0.10	

ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อุปกรณ์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เลือกใช้

1.ผลิตภัณฑ์แผ่นพลังงานแสงอาทิตย์จากจาก Astronegy



ELECTRICAL SPECIFICATIONS

STC rated output (P_{max})*	310 Wp	315 Wp	320 Wp	325 Wp	330 Wp
Rated voltage (V_{mp}) at STC	36.91 V	36.99 V	37.02 V	37.11 V	37.15 V
Rated current (I_{mp}) at STC	8.40 A	8.53 A	8.65 A	8.77 A	8.89 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at STC	45.15 V	45.30 V	45.45 V	45.67 V	45.86 V
Short circuit current (I_{sc}) at STC	8.92 A	9.04 A	9.25 A	9.48 A	9.52 A
Module efficiency	16.0%	16.3%	16.5%	16.8%	17.1%
Rated output (P_{max}) at NOCT	216.5 Wp	220.0 Wp	223.5 Wp	226.9 Wp	230.4 Wp
Rated voltage (V_{mp}) at NOCT	33.71 V	33.74 V	33.80 V	33.86 V	33.92 V
Rated current (I_{mp}) at NOCT	6.42 A	6.52 A	6.61 A	6.70 A	6.79 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at NOCT	41.43 V	41.57 V	41.70 V	41.91 V	42.08 V
Short circuit current (I_{sc}) at NOCT	6.90 A	6.99 A	7.15 A	7.33 A	7.37 A
Temperature coefficient (P_{max})	- 0.408%/°C				
Temperature coefficient (I_{sc})	+0.050%/°C				
Temperature coefficient (V_{oc})	- 0.311%/°C				
Normal operating cell temperature (NOCT)	46±2°C				
Maximum system voltage (IEC/UL)	1000V$_{DC}$ or 1500V$_{DC}$				
Number of diodes	3				
Junction box IP rating	IP 67				
Maximum series fuse rating	15 A				

* Measurement tolerance +/- 3%

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5
NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, AM=1.5, Wind Speed 1m/s

CURVE

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Outer dimensions (L x W x H)	1954 x 990 x 40 mm 76.93 x 38.98 x 1.57 in
Frame technology	Aluminum, silver anodized
Module composition	Glass / EVA / Backsheet (white)
Front glass thickness	3.2 mm / 0.13 in
① Cable length (IEC/UL)	1150 mm / 45.28 in
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm² / 12 AWG
② Maximum mechanical test load	6000 Pa
Fire performance (IEC/UL)	Class C (IEC) or Type 1 (UL)
Connector type (IEC/UL)	MC4 compatible

① Option: 980(+)/600(-) mm for bifacial projects in advance.
② Refer to Astronergy Crystalline Silicon PV Module Installation Manual or contact technical department.
Maximum Mechanical Test Load / 1.5=Maximum Mechanical Design Load.

PACKING SPECIFICATIONS

① Weight (module only)	21.8 kg / 48.06 lbs
② Packing unit	27 pcs / box
Weight of packing unit (for 40 HQ container)	634 kg / 1398 lbs
Number of modules per 40'HQ container	648 pcs

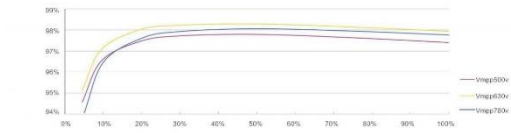
① Tolerance +/- 1.0kg
② Subject to sales contract

MODULE DIMENSION DETAILS

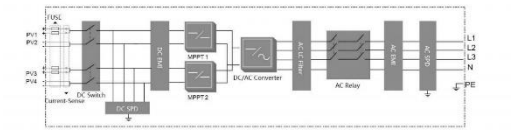
2.ผลิตภัณฑ์ Inverter จาก Tranergy

ในการเลือกใช้หาจากการผลิตไฟฟ้าได้ในหนึ่งวันของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ จาก 147,713.84 Kw/year เปลี่ยนเป็นพลังงานที่สามารถผลิตได้ต่อ 1 วันคือ (147,713.84/365)/4 = 101.17 Kw

Efficiency Curve



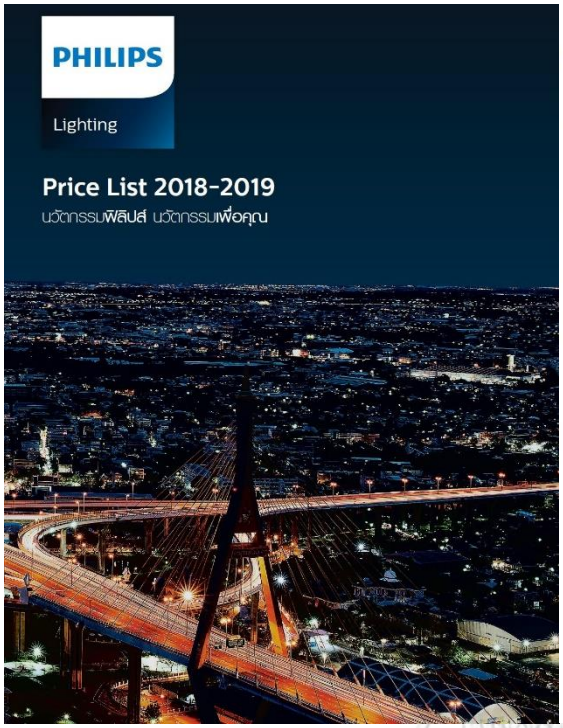
Circuit Diagram

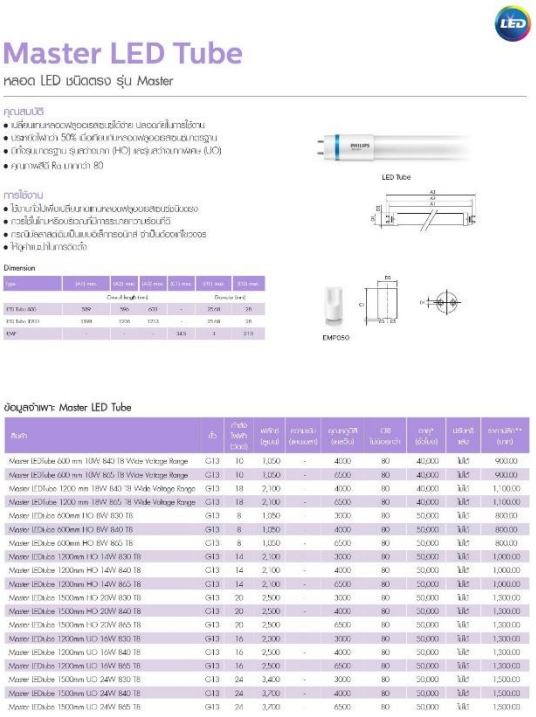


Model	TRN010KTL	TRN012KTL	TRN015KTL	TRN017KTL	TRN020kTL	TRN023kTL	TRN025kTL
Rated AC Power	10000 W	12000 W	15000 W	17000 W	20000 W	23000 W	25000 W
Max. AC Power	10000 VA	12000 VA	15000 VA	17000 VA	20000 VA	23000 VA	25000 VA
DC Input							
Max. Input Power	11000W	13000 W	16000 W	18200 W	21500 W	24800 W	27000 W
Max. DC Input Voltage	1000Vdc	1000 Vdc	1000 Vdc	1000 Vdc	1000 Vdc	1000 Vdc	1000 Vdc
MPPT Operating Voltage Range	250 ~ 800 Vdc	250 ~ 800 Vdc	250 ~ 800 Vdc	250 ~ 800 Vdc	250 ~ 800 Vdc	250 ~ 800 Vdc	250 ~ 800 Vdc
Startup Voltage	200 Vdc	200 Vdc	200 Vdc	200 Vdc	200 Vdc	200 Vdc	200 Vdc
Initial Feeding Voltage	300 Vdc	300 Vdc	300 Vdc	300 Vdc	300 Vdc	300 Vdc	300 Vdc
Max. Input Current	10Adc /10 Adc	10Adc /20 Adc	20Adc /20 Adc	20Adc /20 Adc	20Adc /20 Adc	20Adc /30 Adc	20Adc /30 Adc
MPPT Number	2	2	2	2	2	2	2
Max.Number of PV Strings Per MPPT	1	1~2	2	2	2	2 / 3	2 / 3
AC Output							
Nominal AC Voltage	380 Vac / 400 Vac						
AC Connection	3N~PE						
AC Voltage Range	310 ~ 470 Vac						
AC Frequency Range	50/60 Hz, -5 Hz ... +5 Hz						
Max. Output Current	15.5 A	18.5 A	23.0 A	26.0 A	30.5 A	35.0 A	38.0 A
Power Factor	> 0.99, 0.8 leading to 0.8 lagging controllable						
THDi	< 3%						
Efficiency							
Max. Efficiency	> 98.1%	> 98.1%	> 98.2%	> 98.2%	> 98.3%	> 98.3%	> 98.3%
European Efficiency	> 97.6%	> 97.6%	> 97.7%	> 97.7%	> 97.8%	> 97.8%	> 97.8%
MPPT Efficiency	> 99.9%	> 99.9%	> 99.9%	> 99.9%	> 99.9%	> 99.9%	> 99.9%
Protection							
Anti-Islanding Protection	Integrated						
DC Reverse Polarity Protection	Integrated						
Insulation Monitoring	Integrated						
AC Over Current Protection	Integrated						
Residual Current Detection	Integrated						
Over Temperature Protection	Integrated						
DC Switch	Integrated						
General Data							
Ambient temperature range	-25 ° C ~ +60 ° C						
Relative Humidity	0 ~ 95%						
Operating Altitude	< 2000m						
Dimensions (W / H / D)	520mm x 180mm x 700mm						
Weight	35 Kg	35 Kg	35 Kg	35 Kg	35 Kg	36 Kg	36 Kg
Mounting	Wall Bracket						
Topology	Transformerless						
Cooling Method	Natural convection						
Night Power Consumption	< 0.2 W						
Degree of Protection	IP65						
Noise Emission	< 30 dB						
Display	LCD 2 x 16 Characters						
Communication	GPRS / Wi-Fi / RS485 /Ethernet/WiFi/GPRS/USB						
Warranty	Standard 5 years 10/15/20/25 years extension optional						
Certifications & Standards							
Grid Regulation	VDE AR-N-4105, VDE 0126-1-1+A1, CE, G83/2, UTE C15-712, MEA, PEA, AS4777						
Safety	IEC62109-1, IEC62109-2, AS/NZS3100						
EMC	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, AS/NZS3100						

อุปกรณ์ในระบบแสงสว่าง

ในการเลือกปรับปรุงระบบแสงสว่างได้เลือกใช้ผลิตภัณฑ์จาก Philips





รายชื่อรุ่นที่ปรับปรุงหลอดไฟ

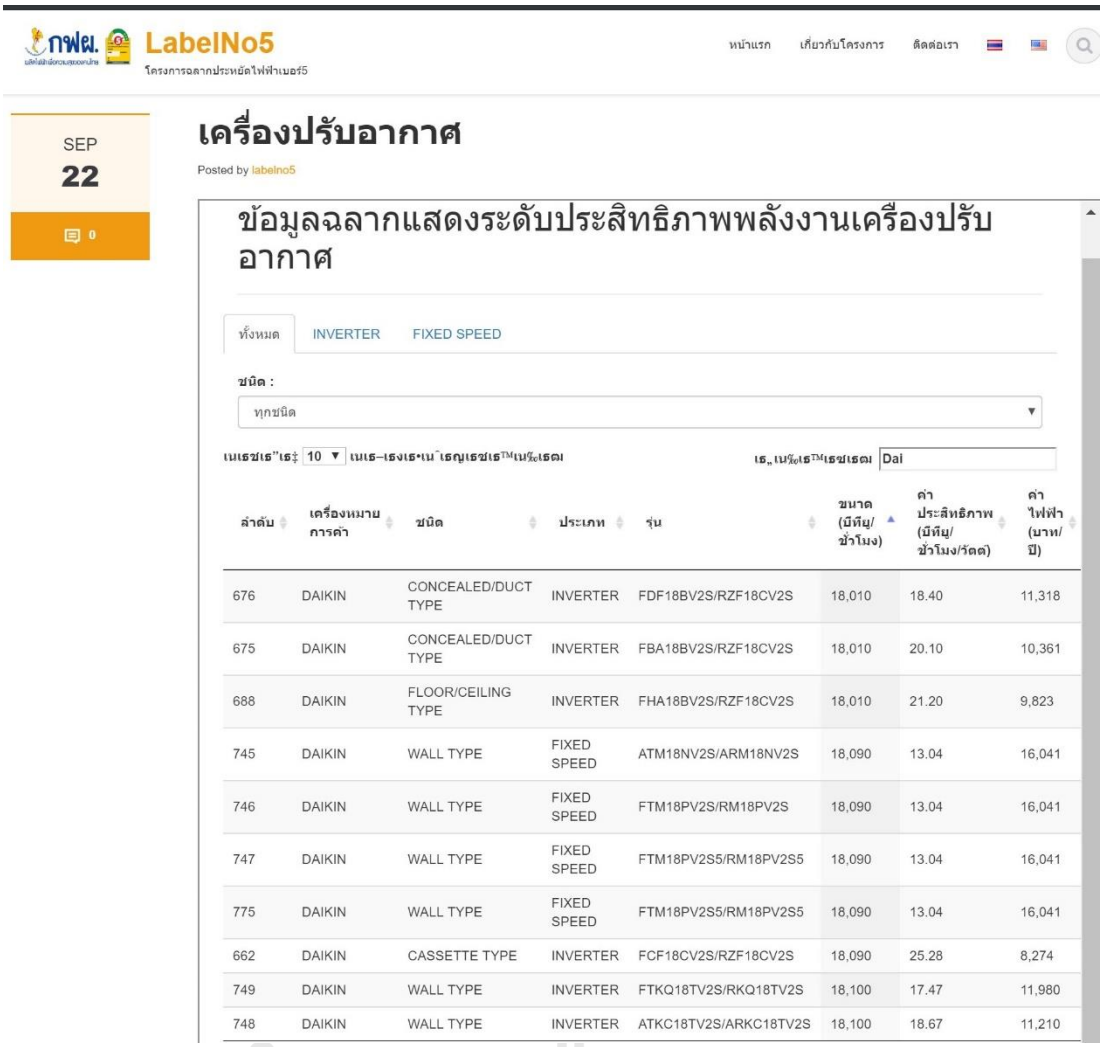
หลอดไฟเดิม		หลอดไฟใหม่	
ประเภท	**วัตต์**	**ประเภท**	**วัตต์**
Fluorescent	36	Master LED Tube	16
Fluorescent	18	EcofitLEDtube	10
PL-C with Ballast	18	DownLight GreenSpace Gen4	22
PL-C with Ballast	26	DownLight GreenSpace Gen2	34
PL-C with Ballast	13	Essential SmartBright Gen2	11
PL-C with Ballast	18	DownLight GreenSpace Gen4	11.5
Incandescent	100	LED Blub	13
Incandescent	60	LED Blub	6.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ

ในการเปลี่ยนระบบปรับอากาศได้เลือกใช้เกณฑ์ฉลากเบอร์ 5 จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

รายละเอียดรุ่นที่ได้รับรองจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



กฟผ. LabelNo5
โครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์5

หน้าแรก เกี่ยวกับโครงการ ติดต่อเรา

SEP
22
0

เครื่องปรับอากาศ

Posted by labelno5

ข้อมูลฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ

ทั้งหมด | INVERTER | FIXED SPEED

ชนิด :

ทุกชนิด

Dai

ลำดับ	เครื่องหมายการค้า	ชนิด	ประเภท	รุ่น	ขนาด (บีทียู/ชั่วโมง)	ค่าประสิทธิภาพ (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)
676	DAIKIN	CONCEALED/DUCT TYPE	INVERTER	FDF18BV2S/RZF18CV2S	18,010	18.40	11,318
675	DAIKIN	CONCEALED/DUCT TYPE	INVERTER	FBA18BV2S/RZF18CV2S	18,010	20.10	10,361
688	DAIKIN	FLOOR/CEILING TYPE	INVERTER	FHA18BV2S/RZF18CV2S	18,010	21.20	9,823
745	DAIKIN	WALL TYPE	FIXED SPEED	ATM18NV2S/ARM18NV2S	18,090	13.04	16,041
746	DAIKIN	WALL TYPE	FIXED SPEED	FTM18PV2S/RM18PV2S	18,090	13.04	16,041
747	DAIKIN	WALL TYPE	FIXED SPEED	FTM18PV2S5/RM18PV2S5	18,090	13.04	16,041
775	DAIKIN	WALL TYPE	FIXED SPEED	FTM18PV2S5/RM18PV2S5	18,090	13.04	16,041
662	DAIKIN	CASSETTE TYPE	INVERTER	FCF18CV2S/RZF18CV2S	18,090	25.28	8,274
749	DAIKIN	WALL TYPE	INVERTER	FTKQ18TV2S/RKQ18TV2S	18,100	17.47	11,980
748	DAIKIN	WALL TYPE	INVERTER	ATKC18TV2S/ARKC18TV2S	18,100	18.67	11,210

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รุ่นที่ได้ทำการเลือกเพื่อนำมาปรับปรุงอาคาร

เครื่องหมายการค้า	ชนิด	ประเภท	รุ่น	ขนาด บีทียู / ชั่วโมง	ค่าประสิทธิภาพ (EER) บีทียู / ชั่วโมง / วัตต์	ระดับ
DAIKIN	CONCEALED /DUCT TYPE	INVERTER	FBA18BV 2S/RZF18 CV2S	18,010	20.1	5 ★★
DAIKIN	CONCEALED /DUCT TYPE	INVERTER	FBA30BV 2S/RZF30 CV2S	30,900	19.2	5 ★★
DAIKIN	CONCEALED /DUCT TYPE	INVERTER	FBA36BV 2S/RZF36 CV2S	36,170	19	5 ★★
DAIKIN	CONCEALED /DUCT TYPE	INVERTER	FBA42BV 2S	42,000	16.42	5
Carrier	CONCEALED /DUCT TYPE	INVERTER	42TGV06 01BP	60,700	16.5	5

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล ศรัณย์ ตันรัตนาวงศ์

วัน เดือน ปี เกิด 10 ตุลาคม 2534

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY