การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

55th YEAR PRINCESS MAHA CHAKRI SIRINDHORN BUILDING ENERGY AUDIT TO INCREASING ENERGY EFFICIENCY.

พิมประภา จินดากร

PHIMPRAPA JINDAGON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AR-M-002-021

การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

55th YEAR PRINCESS MAHA CHAKRI SIRINDHORN BUILDING ENERGY AUDIT TO INCREASING ENERGY EFFICIENCY.

พิมประภา จินดากร

PHIMPRAPA JINDAGON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

KMITL-2016-AR-M-002-021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55th YEAR PRINCESS MAHA CHAKRI SIRINDHORN BUILDING ENERGY AUDIT TO INCREASING ENERGY EFFICIENCY.

PHIMPRAPA JINDAGON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ARCHITECTURE PROGRAM IN TROPICAL ARCHITECTURE

FACULTY OF ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

KMITL-2016-AR-M-002-021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2016

FACULTY 0F ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
55TH YEAR PRINCESS MAHA CHAKRI SIRINDHORN BUILDING ENERGY AUDIT TO INCREASING ENERGY EFFICIENCY

นักศึกษา นางสาวพิมประภา จินดากร

รหัสประจำตัว 54620504

ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ศุทธา ศรีเผด็จ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ศุทธา	ศรีเผด็จ	
รองศาสตราจารย์สุพัฒน์	บุณยฤทธิกิจ	
รองศาสตราจารย์ชนินทร์	ทิพโยภาส	
อาจารย์ ดร.รวิช	ควรประเสริฐ	
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา	รังสิรักษ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 14 กรกฎาคม 2559 เวลา 09.00 น.

สถานที่สอบ กลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเชฐ โสวิทยสกุล)
คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
วันที่ 29 **เดือน** กรกฎาคม **พ.ศ.** 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษาสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
นักศึกษา	นางสาว พิมประภา จินดากร
รหัสประจำตัว	54620504
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ศุทธา ศรีเผด็จ

บทคัดย่อ

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล) เป็นจำนวนมาก มีค่าใช้จ่ายเป็นค่าไฟฟ้าปีละ 115 ล้านบาท การดำเนินการตรวจสอบเพื่อศึกษาวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร และมีมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นได้เพื่อเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานในอาคาร ผลการศึกษาตามเกณฑ์การตรวจประเมินอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายประเภทสำนักงานและสถานศึกษา พบว่า เกณฑ์ขั้นต่ำของระบบต่าง ๆ ในอาคาร ระบบกรอบอาคารไม่ผ่านเกณฑ์ ค่าปริมาณความร้อนกรอบอาคาร 56.42 วัตต์ต่อตารางเมตร ระบบไฟฟ้าแสงสว่างผ่านเกณฑ์มีค่าน้อยมากที่ 8.17 วัตต์ต่อตารางเมตร ระบบปรับอากาศประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.59-1.8 หมายความว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของระบบต่าง ๆ ในอาคารไม่ผ่านเกณฑ์ และเมื่อดำเนินการวิเคราะห์การใช้พลังงานรวมของอาคารเป็นอาคารที่มีการอนุรักษ์พลังงานที่ผ่านเกณฑ์แต่อย่างไรก็ตามการดำเนินการปรับปรุงระบบต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำโดยการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าใช้หลอดT5 ทั้งหมด การปรับปรุงอุปกรณ์กันแดดให้กับผนังและการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งหมด สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ถึงปีละ 268,032.77 kWh/ปี เป็นเงิน 1,192,477บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	55th year Princess Maha Chakri Sirindhorn building energy audit to increasing energy efficiency.
Student	Miss.Phimprapa jindagon
Student ID	54620504
Degree	Master of Architecture
Program	Tropical Architecture
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Sutta Sriphadej

ABSTRACT

There is a lot of electricity consumption used in King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) which electric cost per year around 115 million Baht. To perform energy monitoring and analyzing in order to study of how to increase an efficiency of using electricity in the building in order to save cost.The result of study, according to the assessment criteria for energy conservation of The building Energy code following to the Office building and school found out that the Building Envelope System does not meet the minimum required qualification. The amount of heat from Building Envelope is 56.42 watts per square meter. The lighting which is qualified still has low score at 8.17 watts per square meter.The air conditioning, the efficiency of air conditioner does not meet the minimum required qualification; its score is in 0.59-1.8. This means that the assessment of the building system does not meet the qualification.After performing the analysis, it found out that the total energyconsumption of the building is concerned asmeeting the criteria of being energy conservation building. However, there must be an implement of developing the building system which does not meet the minimum required qualification by changing all the light bulb to use only T5, developing all sun protection equipment for the building's wall, changing to use high quality air conditioner. By doing all these, it can reduce the electricity consumption to 268,032.77kWh per year or around 1,192,477THB per year.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและเมตตาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ศุทธา ศรีเผด็จ ผู้ที่มีความตั้งใจให้ความรู้ ประสบการณ์ และโอกาสที่สำคัญแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.อาจ วสุวานิช ผู้ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษาสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีและให้การช่วยเหลือในการหาข้อมูลจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปรีชญารังสิรักษ์ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือเสมอมา มีความตั้งใจให้ความรู้อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อนทุกท่าน ที่ทุ่มเทถ่ายทอดความรู้และความเข้าใจอันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนเขตร้อนรุ่น54 ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา ให้กำลังใจและเกื้อกูลทั้งความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบคุณ น.ส.ฐิติมาแตงสุข ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือเกี่ยวกับโปรแกรม BEC ตลอดมา

ขอขอบคุณ บิดา มารดา พี่ชาย ที่ให้ทั้งกำลังใจ ทุนการศึกษาและความเข้าใจอันเป็นกำลังสำคัญในการดำเนินงานตลอดมา

สำหรับคุณประโยชน์และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดา พี่ชาย ผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้ามาจนตลอดจนถึงทุกวันนี้

พิมประภา จินดากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....IV
สารบัญ.....V
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูป.....XI
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและกรอบแนวคิด.....5
2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษาสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี.....5
2.1.1 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ.2535.....5
2.1.2 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550.....6
2.1.3 กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ.2552.....6
2.1.4 ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคารพ.ศ.2552.....9
2.2 การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่2ปี พ.ศ.2550.....38
2.2.1 การตรวจสอบการใช้พลังงาน.....38
2.3 การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร.....41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.1 ศึกษาลักษณะช่องเปิดที่เหมาะสมกับอาคาร.....41

2.3.2 ศึกษาการป้องกันแสงแดดและวิธีคำนวณขนาดของอุปกรณ์บังแดด.....43

2.3.3 ศึกษาการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ.....48

2.3.4 สภาวะน่าสบาย.....52

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....52

2.5 กรอบแนวความคิด.....53

2.5.1 เพื่อเสนอแนวทางในการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่2ปี พ.ศ.2550..53

2.5.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร.....54

บทที่ 3 การสร้างเครื่องมือ.....57

3.1 เครื่องมือและวิธีการวิจัยในการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน.....57

3.1.1 โปรแกรม Building Energy Code (BEC).....57

3.1.2 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ.....61

3.2 สร้างเครื่องมือและข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคา.....99

3.2.1 ข้อจำกัดในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร.....99

บทที่ 4 การดำเนินการทดลอง.....100

4.1 ดำเนินการทดลองตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 ปี พ.ศ.2550.....100

4.1.1 การทดลองระบบกรอบอาคาร (Envelope System).....100

4.1.2 ดำเนินการทดลองระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....114

4.1.3 ดำเนินการทดลองระบบปรับอากาศ.....119

4.1.4 ดำเนินการทดลองการใช้พลังงานรวมของอาคาร.....124

4.2 เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร.....127

4.2.1 การทดลองเพิ่มประสิทธิภาพระบบกรอบอาคาร.....127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.2 ดำเนินการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....143
4.2.3 ดำเนินการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ.....147
4.2.4 ดำเนินการทดลองการใช้พลังงานรวมของอาคาร.....149
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....152
5.1 บทสรุป.....152
5.1.1 การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราช
บัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 ปี พ.ศ.2550.....152
5.1.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร.....150
5.2 ข้อเสนอแนะ.....154
รายการอ้างอิง.....155
ประวัติผู้เขียน.....157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 เกณฑ์ขั้นต่ำของค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารแต่ละประเภท (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2552).....1
2.1 หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน.....8
2.2 เครื่องทำน้ำร้อนชนิดฮีตปั๊มแบบใช้อากาศเป็นแหล่งพลังงาน (Air-Source Heat Pump Water Heater).....8
2.3 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร.....13
2.4 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร.....14
2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ.....15
2.6 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า.....19
2.7 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง...22
2.8 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท..23
2.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible Transmittance, τ_{vis}) ของกระจกชนิดต่าง ๆ.....24
2.10 ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศและจำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท.....37
2.11 เกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 ปี พ.ศ.2550....53
3.1 การใช้วัสดุประกอบในส่วนของผนังทึบ.....66
3.2 การใช้วัสดุประกอบในส่วนของผนังโปร่ง.....67
3.3 ผนัง (Section) ของอาคาร.....67
3.4 ตารางข้อมูล ส่วนของผนัง.....68
3.5 ข้อมูลที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร.....78
3.6 ข้อมูลที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารแยกโซน.....79
3.7 ที่ใช้ในระบบปรับอากาศภายในอาคารแยกโซน.....83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

3.8 ตารางเก็บข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้า อื่นๆ.....86
3.9 โซนและการใช้พื้นที่ของอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษาสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ....88
4.1 ผลคำนวณค่าOTTV/ RTTV แยกรายการกรอบอาคาร จากโปรแกรม BEC.....101
4.2 OTTV/ RTTV by Section จากโปรแกรม BEC.....102
4.3 Opaque Components in Wall จากโปรแกรม BEC.....104
4.4 Transparent Components in Wall จากโปรแกรม BEC.....108
4.5 Component Area Per Wall จากโปรแกรม BEC.....110
4.6 Wall Component Detail จากโปรแกรม BEC.....113
4.7 การทดลองระบบกรอบอาคาร (Envelope System).....114
4.8 รายงานผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามชั้นอาคารจากโปรแกรม BEC.....115
4.9 รายงานผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามโซนจากโปรแกรมBEC.....118
4.10 ผลการใช้พลังงานการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั้น (Lighting System) จากโปรแกรม BEC.....118
4.11 การใช้พลังงานระบบปรับอากาศ (Air Condition System) 122
4.12 รายงานผลวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จากโปรแกรมBEC.....123
4.13 รายงานแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามชั้น จากโปรแกรม BEC.....126
4.14 รายงานแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามโซน จากโปรแกรม BEC.....125
4.15 การใช้พลังงานรวมของอาคาร (Whole Building Energy) จากโปรแกรม BEC.....126
4.16 รายละเอียดผลคำนวณ OTTV/ RTTV แยกรายผนัง จากโปรแกรม BEC.....128
4.17 OTTV/ RTTV by Section จากโปรแกรม BEC.....129
4.18 Opaque Components in Wall จากโปรแกรม BEC.....131
4.19 Transparent Components in Wall จากโปรแกรม BEC.....133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.20 Component Area Per Wall จากโปรแกรม BEC.....136
4.21 Wall Component Detail จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....139
4.22 การทดลองระบบกรอบอาคาร (Envelope System) หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....140
4.23 รายงานผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามชั้นอาคารจากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....143
4.24 รายงานผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามโซนจากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....144
4.25 ผลการใช้พลังงานการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั้น (Lighting System) จากโปรแกรม BEC.....147
4.26 รายงานผลวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....148
4.27 ผลการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศ (Air Condition System) หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....148
4.28 รายงานแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามชั้นจากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....149
4.29 รายงานแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามโซนจากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....150
4.30 การใช้พลังงานรวมของอาคาร (Whole Building Energy) จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง.....151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 การดำเนินการ....4
2.1 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน*n* ชนิด....12
2.2 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน*n* ชนิดและมีช่องว่างอากาศภายใน....13
2.3 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลกตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้....26
2.4 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่างๆบนระนาบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์....28
2.5 การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง....30
2.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในอาคารในการเปรียบเทียบช่องเปิดที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดมีอุปกรณ์บังแดดภายในและมีอุปกรณ์บังแดดภายนอก....41
2.7 แสดงลักษณะระนาบของช่องเปิดที่มีผลต่อมุมตกกระทบรังสีดวงอาทิตย์....42
2.8 แสดงเงาของแผงบังแดดแบบต่างๆ....45
2.9 แสดงอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอน....47
2.10 แสดงอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบต่างๆ....50
2.11 แผนภูมิPsychometric Chart....51
3.1 หน้าหลักของโปรแกรมBEC....57
3.2 เมนูหลักของโปรแกรม....58
3.3 รายงานผลวิเคราะห์ –ระบบกรอบอาคาร....58
3.4 รายงานผล –ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง....59
3.5 รายงานผล วิเคราะห์–ระบบปรับอากาศ....59
3.6 รายงานผล วิเคราะห์....59
3.7 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบอาคาร....60
3.8 ผังอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ....63
3.9 ผังบริเวณอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.10 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯด้านหน้า.....65
3.11รูปด้านทางทิศใต้.....72
3.12 รูปด้านทางทิศตะวันออก.....73
3.13 รูปด้านทางทิศเหนือ.....74
3.14 รูปด้านทางทิศตะวันตก.....75
3.15 ลักษณะแผงกันแดด1.....76
3.16 ลักษณะแผงกันแดด2.....76
3.17 รูปตัดแผงกันแดดแบบที่ 1.....76
3.18 รูปตัดแผงกันแดดแบบที่ 2.....76
3.19 รูปตัดแผงกันแดดแบบที่ 3.....76
3.20 แปลนแผงกันแดดแบบที่ 3 76
3.21 ลักษณะช่องเปิดด้านทิศใต้.....77
3.22 ลักษณะช่องเปิดด้านทิศเหนือ.....77
3.23 ลักษณะช่องเปิดด้านทิศตะวันออก.....77
3.24 ลักษณะช่องเปิดด้านทิศตะวันตก.....77
3.25 โคมติดลอยตะแกรงถี่แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม 95% พร้อมหลอด Fluorescent3X36.....78
3.26 โคมดาวน์ไลท์ หลอดCompactFluorescent1X20 W (Cool White).....78
3.27 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน.....83
3.28 เครื่องมือวัดความชื้นและอุณหภูมิภายในอาคาร.....84
3.29 เครื่องมือวัดความเร็วลม.....84
3.30 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 2/3 เฟส.....85
3.31 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 1.....90
3.32 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 2.....91
3.33 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 3.....92
3.34 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 4.....93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.35 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 5.....94
3.36 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 6.....95
3.37 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 7.....96
3.38 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 8.....97
3.39 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศชั้นดาดฟ้า.....98
4.1 การวัดค่าข้อมูลหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน.....120
4.2 วัดพื้นที่หัวจ่ายลม.....120
4.3 แผนภูมิPsychometric Chart.....121
4.4 แผงกันแดดก่อนกาปรับปรุง.....141
4.5 แผงกันแดดหลังการปรับปรุง.....141
4.6 อาคารหลังการปรับปรุง.....142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเจ้าของโครงการเจ้าของอาคารหน่วยงานต่างๆทั้งภาครัฐและภาคเอกชนเริ่มให้ความสนใจอย่างมากในการจัดการกับสภาพสิ่งแวดล้อมและการใช้พลังงานในส่วนของอาคารเพื่อช่วยแก้ปัญหาลดภาวะโลกร้อนโดยการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและลดการใช้พลังงานซึ่งจะเป็นพื้นฐานเพื่อนาไปสู่การพัฒนาประเทศที่ยั่งยืน การถูกรับรองให้เป็นอาคารเขียวเป็นวิธีส่งเสริมภาพพจน์ของธุรกิจนั้นด้วยเนื่องจากเป็นตัวชี้วัดให้บุคคลภายนอกเห็นถึงความรับผิดชอบความใส่ใจ ของเจ้าของอาคารที่มีต่อสังคมส่วนรวมผู้ใช้งานและผู้อยู่อาศัยอีกด้วย

สำหรับอาคารเดิมที่เปิดใช้งานแล้วณปัจจุบันภาครัฐให้ความสำคัญอย่างมากถึงขั้นมีการกำหนดแผนกลยุทธ์และการปฏิบัติการเพื่อมุ่งสู่การเป็นอาคารเขียวของภาครัฐระยะเวลา 6 ปีให้ได้ภายในปี 2559 โดยที่กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดเป็นยุทธศาสตร์ของกรมขณะนี้ได้มีหลายหน่วยงานของภาครัฐได้นำกลยุทธ์ที่กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดไว้ไปเริ่มศึกษาถึงขั้นตอนและวิธีการในการปรับปรุงอาคารเหล่านั้นความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาการใช้พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและนำมาซึ่งความเจริญของประเทศโดยส่วนรวม การใช้พลังงานทุกรูปแบบให้ได้ประโยชน์สูงสุดเป็นการลดค่าใช้จ่ายของหน่วยงานและลดการนำเข้าพลังงานลดการขาดดุลการค้าของประเทศและเป็นการสงวนทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่จำนวนจำกัดให้มีใช้ได้นานที่สุดวิธีหนึ่งของการใช้พลังงานให้ได้ประโยชน์สูงสุดคือการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขการใช้งานที่กำหนดการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารในประเทศไทย

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์ขั้นต่ำของระบบต่างๆภายในอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2552)

ระบบอาคาร	อาคาร สำนักงาน,สถานศึกษา
ระบบกรอบอาคาร	OTTV ≤ 50W/m² RTTV ≤ 15W/m²
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	14 W/m²
ระบบปรับอากาศ	COP 2.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้มีการจัดการใช้พลังงานในอาคารอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพจึงได้มีพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ.2535 ขึ้นจากนั้นจึงได้มีการออกพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุมและกฎกระทรวงพ.ศ.2538 ตามมาโดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2539 เป็นต้นมาเพื่อเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการใช้พลังงานในอาคารโดยสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆคือหลักเกณฑ์ในการควบคุมอาคารเก่าและอาคารใหม่สำหรับอาคารใหม่นั้นผู้ออกแบบทั้งสถาปนิกและวิศวกรจะต้องรับผิดชอบในการออกแบบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคารอยู่แล้วส่วนอาคารเก่าที่สร้างขึ้นก่อนที่จะมีพระราชบัญญัติควบคุมอาคารนั้นมีเป็นจำนวนมากที่ออกแบบมาโดยมิได้คำนึงถึงการประหยัดพลังงานจึงมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองกว่าที่ควรมากดังนั้นอาคารเก่านี้จึงควรจะได้รับการปรับปรุงและแก้ไขอย่างเร่งด่วนถึงแม้การปรับปรุงอาจต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นแต่ก็อาจดูมีค่าแก่การลงทุนถ้าได้ทำอย่างถูกวิธีงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นถึงการตรวจสอบอาคารเก่าเพื่อประเมินและปรับปรุงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพให้มากที่สุด

เนื่องจากอาคารเก่าที่ติดตั้งใช้งานแล้วไม่ได้มีการออกแบบที่คำนึงถึงการประหยัดตั้งแต่ต้นทำให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ประกอบกับการปรับปรุงอาคารที่ใช้งานอยู่แล้วมีความยุ่งยากและในบางกรณีไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น กระทรวงพลังงาน จึงได้ออกกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและหลักเกณฑ์และวิธีการมาตรฐานในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยกำหนดให้อาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลงที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตร จะต้องออกแบบให้ระบบต่างๆของอาคารเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎกระทรวง ทั้งนี้เพื่อให้อาคารที่ก่อสร้างใหม่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกฎกระทรวงดังกล่าวออกตาม ม.19 แห่ง พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม 2550) และถ้าคณะกรรมการควบคุมอาคาร ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 พิจารณาให้ความเห็นชอบที่จะนำมาใช้บังคับกับการควบคุมอาคารด้วยแล้ว ให้ถือว่ากฎกระทรวงดังกล่าวมีผลเสมือนเป็นกฎกระทรวงที่ออกตาม มาตรา 8 แห่ง พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 จึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์เรื่อง “**การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน**”

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อเสนอแนวทางในการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่2ปี พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่2ปี พ.ศ.2550

1.3.2 เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

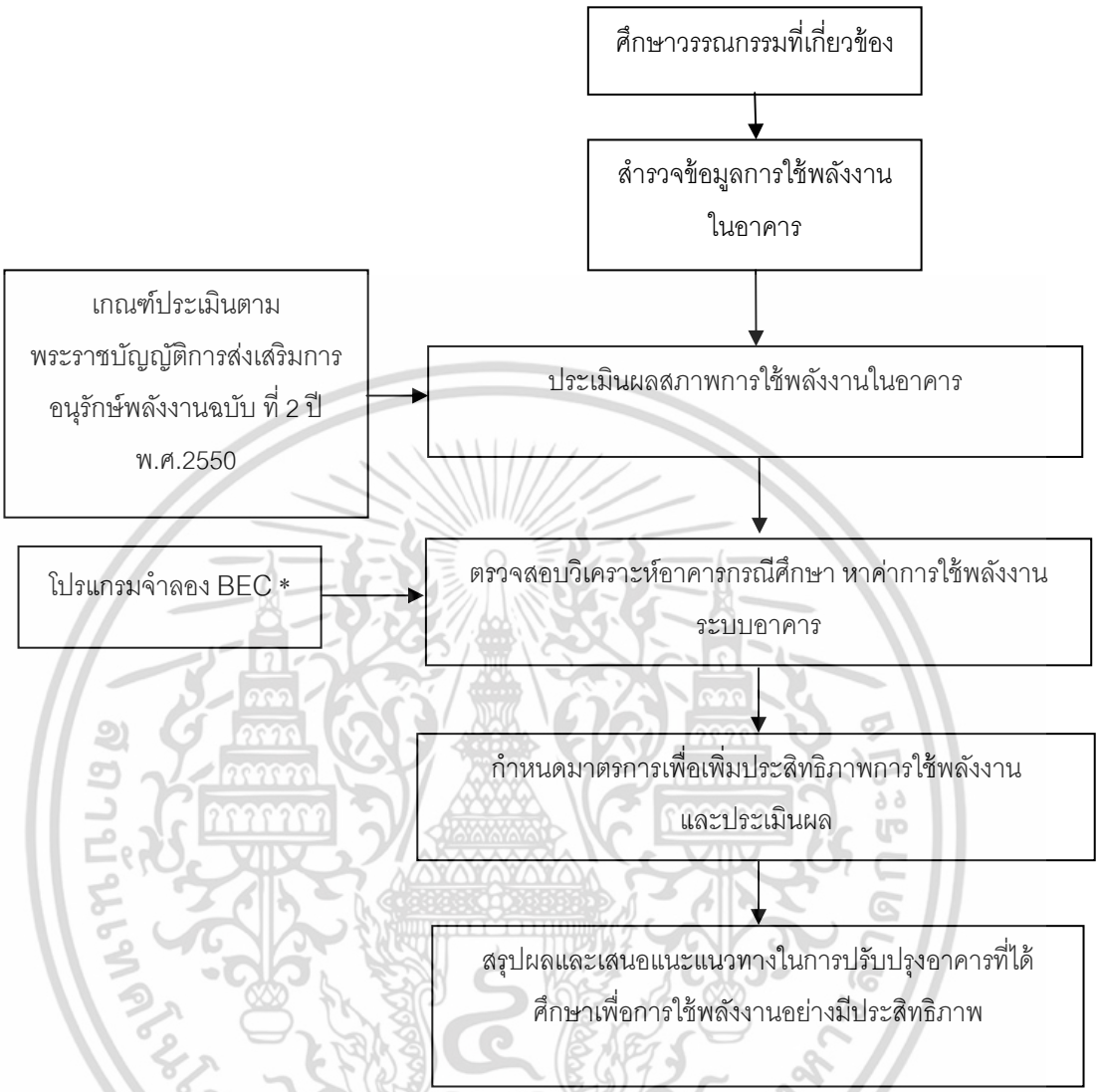
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถประเมินค่าประสิทธิภาพความสบายทางอุณหภูมิในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ได้

1.4.2 สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1.1 การดำเนินการ

*** โปรแกรม** Building Energy Code (BEC)

โปรแกรม BEC หรือ Building Energy code เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารซึ่งจัดทำใหม่ภายใต้ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและกรอบแนวคิด

2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

2.1.1 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ.2535

ประกอบไปด้วย 3 หมวดใหญ่ คือ

หมวด 1 การอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน

หมวด 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

หมวด 3 การอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักร หรืออุปกรณ์และส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

หมวดที่เกี่ยวข้อง กับการออกแบบสถานศึกษาและสำนักงาน คือ หมวดที่ 2 ดังต่อไปนี้

มาตรา 17 การอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้แก่การดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) การลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคาร

(2) การปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการรักษาอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

(3) การใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่จะช่วยอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการแสดงคุณภาพของวัสดุก่อสร้างนั้นๆ

(4) การใช้แสงสว่างในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

(5) การใช้และการติดตั้งเครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

(6) การใช้ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์

(7) การอนุรักษ์พลังงานโดยวิธีอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 18 การกำหนดอาคารประเภทใด ขนาด ปริมาณการใช้พลังงาน และวิธีการใช้พลังงานอย่างใดให้เป็นอาคารควบคุมเน้นอาคารขนาดใหญ่แบ่งออกเป็น อาคารเก่าและอาคารใหม่ ให้ตราเป็นพระราชกฤษฎีกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรา 19 เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่จะทำการก่อสร้างหรือดัดแปลงให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ มีอำนาจออกกฎกระทรวงในเรื่องดังต่อไปนี้

(1) กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารที่จะทำการก่อสร้างหรือดัดแปลงที่จะต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

(2) กำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารตาม (1) เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

2.1.2 **พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550**

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับใหม่พ.ศ. 2550 ได้ทำการปรับปรุงค่าจากกฎหมายเดิมคือกำหนดประเภทขนาดอาคารควบคุมใหม่ โดยอาคารขนาดใหญ่ทุกประเภท ที่มีพื้นที่ใช้งานเกินกว่า 2,000 ตารางเมตรโดยแบ่งประเภทอาคารตามลักษณะรูปแบบการใช้งานเป็นหมวดหมู่จากเดิมเป็นอาคารขนาดใหญ่ ใช้พลังงานเกินกำหนด แบ่งเป็นอาคารเก่าและอาคารใหม่มีการปรับปรุงเกณฑ์มาตรการระบบกรอบอาคารระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่างเพิ่มระบบอุปกรณ์ผลิตน้ำเย็นน้ำร้อนการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการชดเชยโดยใช้พลังงานทดแทนในอาคารที่มีความยืดหยุ่น และมีความทันสมัยกว่าการบังคับใช้เป็นการปฏิบัติเพื่อเป็นแนวทางที่ผู้ออกแบบยึดถือให้เป็นแนวทางเดียวกัน

2.1.3 **กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และ มาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2552**

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 6 วรรคสองและมาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคลซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 33 มาตรา 41 และมาตรา 43 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมายรัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน โดยคำแนะนำของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ออกกฎกระทรวงไว้ แบ่งเป็น 3 หมวด

หมวดที่เกี่ยวข้อง กับการออกแบบสถานศึกษาและสำนักงาน ดังต่อไปนี้

หมวด 1 ประเภทและขนาดของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารดังต่อไปนี้หากมีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไปต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงนี้

(1) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล

(2) สถานศึกษา

(3) สำนักงาน

(4) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

(5) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(6) อาคารโรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(7) อาคารโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

(8) อาคารสถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

(9) อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

การก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารดังต่อไปนี้หากมีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไปต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงนี้

(1) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล

(2) สถานศึกษา

หมวด 2มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร

ส่วนที่ 1 ระบบกรอบอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในประเภทของอาคารสถานศึกษาและสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในอาคารสถานศึกษาและสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 15 วัตต์ต่อตารางเมตร

ส่วนที่ 2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารต้องใช้กำลังไฟฟ้าในอาคารสถานศึกษาและสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 14 วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน

ส่วนที่ 3 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศประเภทและขนาดต่างๆของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งภายในอาคารต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นเป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดความเย็น เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดคือสถานศึกษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ประสิทธิภาพขั้นต่ำที่ COP= 2.82 หรือ EER = 9.62 Btu/hr/Watt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน

อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่ติดตั้งภายในอาคาร ต้องมีค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน

ประเภท	ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำ (ร้อยละ)
(ก) หม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (oil fired steam boiler)	85
(ข) หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (oil fired hotwater boiler)	80
(ค) หม้อไอน้ำที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (gas fired steam boiler)	80
(ง) หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (gas fired hot waterboiler)	80

ตารางที่ 2.2 เครื่องทำน้ำร้อนชนิดฮีตปั๊มแบบใช้อากาศเป็นแหล่งพลังงาน (air-source heat pump water heater)

ภาวะพิกัด				ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ
ลักษณะการออกแบบ	อุณหภูมิน้ำเข้า	อุณหภูมิน้ำออก	อุณหภูมิอากาศ	
	(องศาเซลเซียส)			
(ก) แบบที่ 1	30.0	50.0	30.0	3.5
(ข) แบบที่ 2	30.0	60.0	30.0	3.0

ส่วนที่ 5 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

การขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารตามข้อ 2 ที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในหมวด 2 ส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 หรือส่วนที่ 3 ให้พิจารณาตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

เกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารตามวรรคหนึ่ง ต้องมีค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงที่มีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และมีค่าของระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ เป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 6 การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร

เมื่อมีการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร ให้ยกเว้นการนับรวมการใช้ไฟฟ้าบางส่วนในอาคาร ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารที่มีการออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติเพื่อการส่องสว่างภายในอาคารในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร ให้ถือเสมือนว่าไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคารนั้น โดยการออกแบบดังกล่าวต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ต้องแสดงอย่างชัดเจนว่า มีการออกแบบสวิตช์ที่สามารถเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้กับพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างต้องมีระยะห่างจากกรอบอาคารไม่เกิน 1.5 เท่าของความสูงของหน้าต่างในพื้นที่นั้น และ

2. กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารตาม 1 ต้องมีค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด (Effective Shading Coefficient) ไม่น้อยกว่า 0.3 และอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน (Light to Solar Gain) มากกว่า 1.0 และพื้นที่กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารตาม 1 ต้องไม่น้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบอาคารที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอาคาร สามารถนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

หมวด 3 หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร

หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารตามหมวด 2 ให้เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด

2.1.4 ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคารพ.ศ.2552

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 10 แห่งกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิ และเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 33 มาตรา 41 และมาตรา 43 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยใช้อำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน จึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“**อาคาร**”หมายความว่า อาคารตามข้อ 2 ของกฎกระทรวง ว่าด้วยการกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบ อาคารเพื่อการอนุรักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานพ.ศ. 2552 ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมและการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

“**อาคารอ้างอิง**”หมายความว่า อาคารที่มีการออกแบบให้มีพื้นที่การใช้งาน ที่ตั้ง ทิศทาง พื้นที่กรอบอาคารแต่ละด้าน และลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง โดยอาคารดังกล่าวนั้นต้องมีค่าของระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศเป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบโดยแบ่งเป็น 6 หมวดใหญ่ หมวดที่เกี่ยวข้อง กับการออกแบบสถานศึกษาและสำนักงาน ดังต่อไปนี้

หมวด 1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบกรอบอาคาร

ส่วนที่ 1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

1.ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (overall thermal transfer value, OTTV)ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

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

เมื่อ *OTTVi* คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร(W/m^2)

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส($W/(m^2. C°)$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD eq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference)ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสี อาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส(C°)

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงหรือกระจกมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส ($W/(m^2.C°)$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔT	คือ	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (C°)
SHGC	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก
SC	คือ	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด
ESR	คือ	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงและ/หรือผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV *i*) รวมกัน ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$\mathrm{OTTV} = \frac{(\mathrm{A_{w1}})(\mathrm{OTTV_1}) + (\mathrm{A_{w2}})(\mathrm{OTTV_2}) + \cdots + (\mathrm{A_{wi}})(\mathrm{OTTV_i})}{\mathrm{A_{w1}} + \mathrm{A_{w2}} + \cdots \mathrm{A_{wi}}}$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสงมีหน่วยเป็นตารางเมตร(m2)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณามีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร(W/m2)

2. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ(*w U*)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบด้านนอกอาคาร(*w U*) แต่ละด้านให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$\mathrm{U} = \frac{1}{\mathrm{R_t}}$$

เมื่อ $\mathrm{R_t}$ คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม (total thermal resistance) มีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ((m². ºC)/W)

ค่าความต้านทานความร้อน (R) ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใด ๆ ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$\mathrm{U} = \frac{\Delta_x}{\mathrm{k}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน มีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ((m². °C)/W)

Δ_x คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร - องศาเซลเซียส (W/(m. °C))

ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคารการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคารขึ้นอยู่กับชนิดของผนังอาคาร ในกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

กรณีผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนรวม(R_t)ของส่วนใดๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ*n* ชนิดที่แตกต่างกันให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$R_t = R_o \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \cdots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i$$

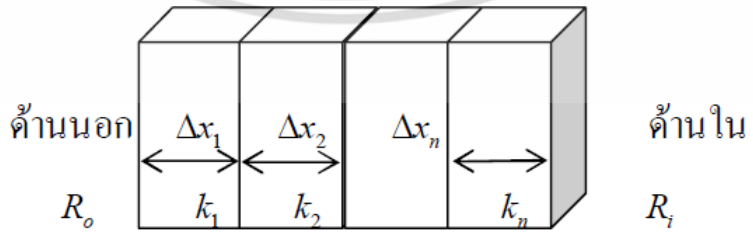
เมื่อ R_t คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ((m². °C)/W)

R_t คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ((m². °C)/W)

R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคารมีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ((m². °C)/W)

$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \ldots . \Delta x_n$ คือ ค่าความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคารมีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k_1, k_2, k_3, \ldots . k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร



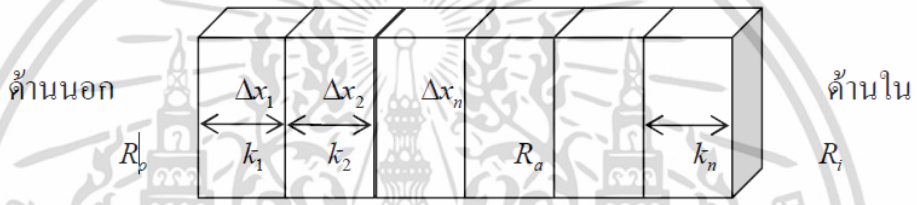
รูปที่ 2.1 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน *n* ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีผนังอาคารมีช่องว่างอากาศอยู่ภายในค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_t)ของส่วนใด ๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ *n*ชนิดที่แตกต่างกัน และมีช่องว่างอากาศภายใน ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$R_t = R_o \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \cdots + R_a + \cdots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i$$

เมื่อ R_a คือ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังอาคารมีหน่วยเป็นตารางเมตร- องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ((m². ºC)/W)



รูปที่ 2.2 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน *n* ชนิดและมีช่องว่างอากาศภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคารขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน(thermalemittance) ของผนังอาคารตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ((m². ºC)/W)	
	ที่ผิวผนังด้านใน(R_i)	ที่ผิวผนังด้านนอก(R_o)
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120	0.044
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงใช้สำหรับพื้นผิวผนังทั่วไปซึ่งถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงกรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของผนังอาคารเป็นผิวสะท้อนรังสีเช่นผนังที่มีการติดแผ่นฟอยล์สะท้อนรังสีเป็นต้น ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านในช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศตามความหนาของช่องว่างอากาศ((m². °C)/W)		
	5 มิลลิเมตร	10 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606

ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำใช้กับกรณีที่ผิวด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านในช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนแสง เช่น กรณีที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียมในช่องว่างอากาศเป็นต้นสำหรับในกรณีทั่วไปให้ถือว่าพื้นผิวผนังด้านในช่องว่างอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง

สำหรับกรณีที่ช่องว่างอากาศภายในผนังมีความหนาระหว่าง 5 มิลลิเมตรถึง 20 มิลลิเมตร หรือระหว่าง 20 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร ให้ใช้วิธีประมาณค่าในช่วงที่ต้องการด้วยวิธีเชิงเส้นตรง (linear interpolation) เพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ต้องการ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศมีความหนาเกินกว่า 100 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่มีความหนา 100 มิลลิเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (*k*) และคุณสมบัติอื่น ๆ ของวัสดุสำหรับวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity;k) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร - องศาเซลเซียส ((m². °C)/W)ความหนาแน่นของวัสดุ (density;ρ) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m³) และค่าความร้อนจำเพาะ(specific heat;c_p) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม - องศาเซลเซียส (kJ/(kg.°C)) ตามที่กำหนดในตารางที่ 2.5 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m . ºC))	ρ (kg/m3)	c_p (kJ/(kg. ºC))
1	วัสดุมุงหลังคา/ดาดฟ้า			
	(ก) กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.993	2400	0.79
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนเล็ก	0.384	1700	1.00
	(ค) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	0.441	2000	1.00
	(ง) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	0.395	2000	1.00
	(จ) วัสดุหลังคาแอสฟัลต์	0.421	1500	1.51
	(ฉ) กระเบื้องปูดาดฟ้ามวลเบา	0.341	930	0.88
	(ช) กระเบื้องใยแก้วโปร่งแสงเรียบ	0.213	1340	1.88
	(ซ) กระเบื้องใยแก้วโปร่งแสงลอนใหญ่	0.181	1700	1.88
	(ฌ) กระเบื้องลูกฟูกโปร่งแสง	0.160	1340	1.88
	(ญ) กระเบื้องใยแก้วลอนคู่สีขาวขุ่น	0.208	1500	1.88
2	วัสดุปูพื้น/ผนัง			
	(ก) ไลโนเลียม (พรมน้ำมัน)	0.227	1200	1.26
	(ข) กระเบื้องยาง	0.573	1900	1.26
	(ค) กระเบื้องเซรามิค	0.338	2100	0.80
	(ง) หินอ่อน	1.250	2700	0.80
	(จ) หินแกรนิต	1.276	2600	0.79
	(ฉ) หินกาบ	0.290	2640	0.96
	(ช) หินทราย	0.721	2440	0.96
	(ซ) ไม้ปาร์เก้	0.167	600	0.96
3	ผนังอิฐ/คอนกรีต			
	(ก) อิฐมอญไม่ฉาบ	0.473	1600	0.79
	(ข) อิฐมอญฉาบปูนสองหน้า	1.102	1700	0.79
	(ค) อิฐฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสด หรือกระเบื้องหน้าเดียว	0.807	1760	0.84
	(ง) คอนกรีตบล็อกกลวง๘๐มม. ไม่ฉาบ	0.546	2210	0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m . ºC))	ρ (kg/m3)	c_p (kJ/(kg. ºC))
	(จ) คอนกรีตสแลบ	1.442	2400	0.92
	(ฉ) ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.72	1860	0.84
4	คอนกรีตมวลเบาความหนาแน่นต่างๆ			
	(ก) 620 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.180	620	0.84
	(ข) 700กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.210	700	0.84
	(ค) 960กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.303	960	0.84
	(ง) 1120กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.346	1120	0.84
	(จ) 1280กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.476	1280	0.84
	(ฉ) ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบา	0.326	1200	0.84
5	วัสดุทำฝ้าเพดาน/ผนัง			
	(ก) แผ่นยิปซั่ม	0.282	800	1.09
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ	0.397	1700	1.00
	(ค) ไม้อัด	0.213	900	1.21
	(ง) แผ่นไฟเบอร์ (fiber board)	0.052	264	1.30
	(จ) เซลโลกรีตชนิดธรรมดา	0.106	500	1.30
	(ฉ) เซลโลกรีตชนิดโฟม	0.069	300	1.30
	(ช) แผ่นไฟเบอร์ชานอ้อย	0.052	250	1.26
	(ซ) แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01
	(ฌ) พลาสเตอร์ฉาบยิปซั่ม	0.230	720	1.09
6	ฉนวนใยแก้ว (ไฟเบอร์กลาส) แบบม้วน (blanket) แบบแผ่น (rigid board) และแบบท่อสำเร็จ (rigid pipe section)			
	(ก) ความหนาแน่น ๑๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.046	10	0.96
	(ข) ความหนาแน่น ๑๒ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.042	12	0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m . ºC))	ρ (kg/m3)	c_p (kJ/(kg. ºC))
	(ค) ความหนาแน่น๑๖กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.038	16	0.96
	(ง) ความหนาแน่น๒๔กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.035	24	0.96
	(จ) ความหนาแน่น๓๒- ๔๘กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.033	32-48	0.96
	(ฉ) ความหนาแน่น๕๖- ๖๙กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.031	56-69	0.96
7	ฉนวนใยหินแบบม้วน (blanket) และแบบแผ่น (rigid board)			
	ความหนาแน่น 6.4 - 32	0.039	6.4-32	0.8
8	ฉนวนชนิดโฟมโพลีสไตรีน แบบขยายตัว			
	(ก) ความหนาแน่น 9 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.047	9	1.21
	(ข) ความหนาแน่น 16 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.037	16	1.21
	(ค) ความหนาแน่น 20 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.036	20	1.21
	(ง) ความหนาแน่น 24 - 32 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.035	24-32	1.21
9	โฟมโพลีเอทิลีน	0.029	45	1.21
10	โฟมโพลียูรีเทน	0.023-0.026	24-40	1.59
11	ไม้			
	(ก) ไม้เนื้อแข็ง	0.217	800	1.30
	(ข) ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	0.176	600	1.30
	(ค) ไม้เนื้ออ่อน	0.131	500	1.30
	(ง) ไม้อัดชิพบอร์ด	0.144	800	1.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m . ºC))	ρ (kg/m3)	c_p (kJ/(kg. ºC))
12	กระดาษอัด			
13	แผ่นกระจก			
	(ก) กระจกใส			
	(ข) กระจกสีชา			
	(ค) กระจกสะท้อนแสง			
	(ง) กระจกเงา			
14	โลหะ			
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียมแบบธรรมดา	211	2672	0.896
	(ข) ทองแดง	388	8784	0.390
	(ค) เหล็กกล้า	47.6	7840	0.500

กรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุที่กำหนดในตารางที่ 2.5 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (equivalent temperature difference,TDeq)

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ซึ่งขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มวลของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนังโดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนังทึบซึ่งใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว แผ่นสะท้อนแสงทำด้วย อลูมิเนียม หินอ่อนสีขาว กรวดล้างสีขาว สีทาภายนอก สีขาว สีเงิน สีเงินหรือสีบรอนซ์สะท้อนแสง	0.3	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว หินอ่อนสีครีมหรือสีอ่อน หินแกรนิตสีครีมหรือสีอ่อน กรวดล้างสีครีมหรือสีอ่อน วัสดุปิดผิวสีอ่อน	0.5	วัสดุที่มีผิวสีอ่อน
สีทาภายนอก สีครีม สีฟ้าอ่อน สีเขียวอ่อน สีเหลืองอ่อน สีส้มอ่อน		
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว คอนกรีตไม่ทาสี อิฐไม่ทาสี แผ่นไฟเบอร์ไม่ทาสี กรวดล้างสีเทา แผ่นซีเมนต์แอสเบสทอสไม่ทาสี	0.7	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
สีทาภายนอก สีแดง สีฟ้า สีเขียว สีส้ม สีสนิม (Rustic)	0.7	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว อิฐสีแดง แอสฟัลต์ คอนกรีตสีเทาเข้มและสีดำ วัสดุมุงหลังคาสีเขียวเข้มและสีแดงเข้ม	0.9	วัสดุที่มีผิวสีเข้ม
สีทาภายนอก สีน้ำเงินหรือสีเขียวเข้ม สีเทาเข้ม สีน้ำตาลเข้ม สีดำ		

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (density - specific heat product, DSH) ของวัสดุผนัง

กรณีที่ผนังทึบประกอบด้วยวัสดุ *i* เพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่นเท่ากับρ_i ความร้อนจำเพาะเท่ากับ C_{pi}และมีความหนาเท่ากับ Δx_iผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i)$$

สำหรับกรณีที่ผนังทึบประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน*n* ชนิดผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะให้คำนวณจากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathrm{DSH} = (\mathrm{DSH_i})(\mathrm{DSH_2}) + \cdots + \mathrm{DSH_n}$$

เมื่อ $\mathrm{DSH_i}$ คือ ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ iมีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส (kJ/(m^2.°C))

ρ_i คือ ความหนาแน่นของวัสดุ iมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.5

c_{pi} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ iมีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส (kJ/(kg .°C)) ตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.5

Δx_i คือ ความหนาของวัสดุ iมีหน่วยเป็นเมตร (m)กรณีที่ผนังมีช่องว่างอากาศอยู่ภายใน ให้ถือว่าช่องว่างอากาศดังกล่าวนั้นไม่ทำให้ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนังเปลี่ยนแปลงไป

มุมเอียงของผนัง คือ มุมที่ผนังกระทำกับพื้นผิวโลกหรือพื้นดิน โดยกำหนดให้ ผนังแนวตั้งมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า $(\mathrm{TD_{ep}})$ของผนังทึบค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบสำหรับอาคารแต่ละประเภทซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนัง ค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนังให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดในตารางภาคผนวกท้ายประกาศนี้

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง$(\mathrm{U_f})$ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิต โดยค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าวจากผู้ผลิต ให้ใช้วิธีการคำนวณตามสมการดังต่อไปนี้

กระจกชั้นเดียวค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียวให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\mathrm{U_f} = \frac{1}{\mathrm{R_f}}$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o$$

เมื่อ R_f คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงมีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2.^\circ C)/W$)

R_iและR_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในและภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นตารางเมตร–องศาเซลเซียสต่อวัตต์($(m^2.^\circ C)/W$) ให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.1

Δx คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสงมีหน่วยเป็นเมตร(m)

k_g คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสงมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร – องศาเซลเซียส ($W/(m..^\circ C)$)

กระจกลามิเนตค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกลามิเนต ให้คำนวณโดยใช้สมการ ระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น และมีช่องว่างอากาศภายในในการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น ให้ใช้สมการ และให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศตามที่กำหนด ในตารางที่ 2.7 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความหนาของช่องว่างอากาศ (mm)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($(m^2.^\circ C)/W$)	
	พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
13	0.119	0.345
10	0.110	0.278
7	0.097	0.208
6	0.091	0.196
5	0.084	0.167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสงทั่วไป ให้ใช้ค่าพื้นผิวผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ในกรณีที่กระจกหรือผนังโปร่งแสงด้านที่ติดช่องว่างอากาศนั้นถูกเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ ให้ใช้ค่าพื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสำหรับกรณีความหนาของช่องว่างอากาศมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดให้ในตารางที่ 2.7 ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงที่ต้องการเพื่อหาความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศมีความหนาเกินกว่า 13 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง13 มิลลิเมตรค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ΔT)ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารซึ่งใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า $OTTV_i$ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภทให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร ΔT (°C)
สถานศึกษา สำนักงาน	5
โรงมหรสพศูนย์การค้าสถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	5
โรงแรมสถานพยาบาลอาคารชุด	3

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient,SHGC) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนที่โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายใอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าวให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.9 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (visible transmittance, τ_{vis}) ของกระจกชนิดต่าง ๆ

ความหนาของกระจก (mm)	ชนิดของกระจก	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (τ_{vis})	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC)
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว			
6	กระจกใส	0.88	0.73
6	กระจกสีบรอนซ์	0.54	0.54
6	กระจกสีเขียว	0.76	0.54
6	กระจกสีเทา	0.46	0.52
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว	0.75	0.55
	กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว		
6	กระจกใสเคลือบโลหะสเตนเลส 20%	0.20	0.28
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 20%	0.20	0.27
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม-30%	0.30	0.35
กระจกสองชั้นไม่เคลือบผิว			
6	กระจกใส - กระจกใส	0.78	0.60
6	กระจกสีบรอนซ์ - กระจกใส	0.47	0.41
6	กระจกสีเขียว - กระจกใส	0.68	0.41
6	กระจกสีเทา - กระจกใส	0.41	0.39
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว - กระจกใส	0.67	0.43
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง - กระจกใส	0.59	0.33

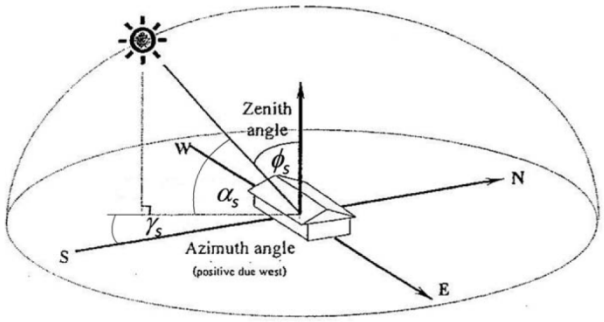
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (visible transmittance, τ_{vis}) ของกระจกชนิดต่าง ๆ(ต่อ)

ความหนาของกระจก (mm)	ชนิดของกระจก	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (τ_{vis})	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC)
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น			
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม ๓๐% และกระจกใส	0.27	0.25
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีเท่ากับ 0.2)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและกระจกใส	0.73	0.53
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีเท่ากับ 0.1)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและกระจกใส	0.72	0.44
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง - กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.57	0.27

สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC)ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้ ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใด ๆ บนพื้นโลก สามารถระบุได้โดยอาศัยมุมเงยหรือมุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (altitude, α_s) ซึ่งเป็นมุมที่แนวรังสีตรงของดวงอาทิตย์กระทำกับแนวระดับของพื้นโลก และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (azimuth, γ_s) ซึ่งเป็นมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกระทำกับทิศใต้ของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลกตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

ที่มา : ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

เวลาสุริยะ (solar time)คือ เวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยเวลาที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีค่ามุมเงยหรือมุมยกขึ้น (altitude) สูงสุด คือ เวลาเที่ยงสุริยะ(solar noon) เวลาสุริยะ ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$t_s = t_l - 4(L_{gs} - L_{gl}) + E_{qt}$$

เมื่อ t_s คือ เวลาสุริยะ

t_l คือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{gs} คือ เส้นแวงหลักมาตรฐานสำหรับประเทศไทยเท่ากับ 105 องศาตะวันออก

L_{gl} คือ เส้นแวงของตำแหน่งที่พิจารณาสำหรับประเทศไทย ให้ใช้ค่าเท่ากับ100.5 องศาตะวันออก

E_{qt} คือ สมการของเวลา (equation of time) หรือผลต่างของเวลาสุริยะกับเวลาปกติ มีหน่วยเป็นนาที

สมการของเวลาคำนวณได้จาก

$$E_{qt} = 9.87(\sin 2B) - 7.53(\cos B) - 1.5(\sin B)$$

$$B = \frac{(360°)(j_d - 81)}{364}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ j_d คือ วันจูเลียน (Julian date) คือ ลำดับที่ของวันในหนึ่งปี เช่น1 = วันที่ 1 มกราคม หรือ 152 = วันที่ 1 มิถุนายน เป็นต้น

ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของตำแหน่งของดวงอาทิตย์มุมเงยและมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\sin \alpha_s = (\sin L_t)(\sin \delta) + (\cos L_t)(\cos \delta)(\sin \delta\omega)$$

$$\sin \gamma_s = \frac{(\cos \delta)(\sin \delta\omega)}{(\cos \alpha_s)}$$

เมื่อ L_t คือ เส้นรุ้ง (latitude) ของตำแหน่งที่พิจารณา เช่น กรุงเทพมหานคร ให้ใช้ค่าเท่ากับ 13.7 องศาเหนือ

δ คือ มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ หรือมุมเดคลิเนชั่น (declination angle)มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ω คือ มุมแทนตำ แหน่งของดวงอาทิตย์ก่อนหรือหลังเวลาเที่ยงสุริยะ (solar hour angle) มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad)

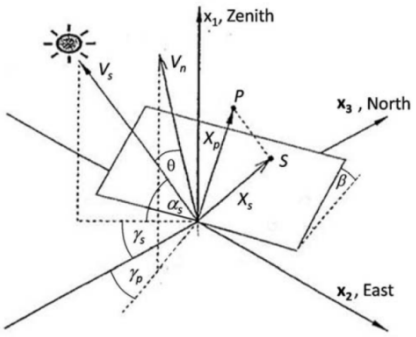
$$\omega = \pi(t_s - 12)/12$$

มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์คือมุมที่แนวลำแสงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกกระทำกับระนาบเส้นศูนย์สูตรมุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์สำหรับวันจูเลียน(j_d)ใดๆให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$\delta = 23.45 sin\left(\frac{(360°)(284 + j_d)}{365}\right)$$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ ให้คำนวณจากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่างๆบนระนาบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ที่มา : ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

พิจารณาพิกัด (x_1, x_2, x_3)ซึ่งถูกกำหนดด้วยเส้นซีนิธ (zenith) ทิศตะวันออกและทิศเหนือ เวคเตอร์แสดงทิศทางของดวงอาทิตย์ (โซลาร์เวคเตอร์$\mathrm{V_s^x}$) และเวคเตอร์ของระนาบเอียง($\mathrm{V_n^x}$) ซึ่งตั้งฉากกับระนาบเอียง ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\mathrm{V_n^x} = \begin{bmatrix} \sin\alpha_s \\ -\cos\alpha_s \,.\, \sin\gamma_s \\ -\cos\alpha_s \,.\, \cos\gamma_s \end{bmatrix}$$, โซลาร์เวคเตอร์

$$\mathrm{V_n^x} = \begin{bmatrix} cos\,\beta \\ -\sin\beta \,.\, \sin\gamma_p \\ -\cos\beta \,.\, \cos\gamma_p \end{bmatrix}$$, เวคเตอร์ของระนาบเอียง

เมื่อ θ คือ มุมระหว่างเวคเตอร์ทั้งสอง ให้คำนวณค่า $\cos\theta$จากสมการดังนี้

$$\cos\theta = (V_s^x, V_n^x)$$

$$= (sin\alpha_s)(cos\beta) + (cos\alpha_s)(sin\gamma_s)(sin\beta)\big(sin\gamma_p\big) + (cos\alpha_s)(cos\gamma_s)(sin\beta)\big(cos\gamma_p\big)$$

เมื่อ β คือ มุมเอียง (inclination angle) ของระนาบที่พิจารณา

γ_p คือ มุมอะซิมุทของระนาบที่พิจารณา (azimuth of surface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mathrm{Cos}\theta$ คือ โคซายน์ของมุมระหว่างระนาบที่พิจารณากับทิศทางของดวงอาทิตย์(โซลาร์เวคเตอร์)

รังสีอาทิตย์บนระนาบที่ไม่มีการบังแดดกรณีที่ช่องแสงของผนังหรือระนาบใด ๆ ไม่มีการบังแดด ปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบลงบนระนาบดังกล่าว ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$\mathrm{E_{et\theta}} = \mathrm{E_{es}}\cos\theta + \mathrm{E_{ed}}\frac{(1+\cos\beta)}{2}$$

เมื่อ $\mathrm{E_{es}}$ คือ รังสีตรงของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($\mathrm{W/m^2}$)

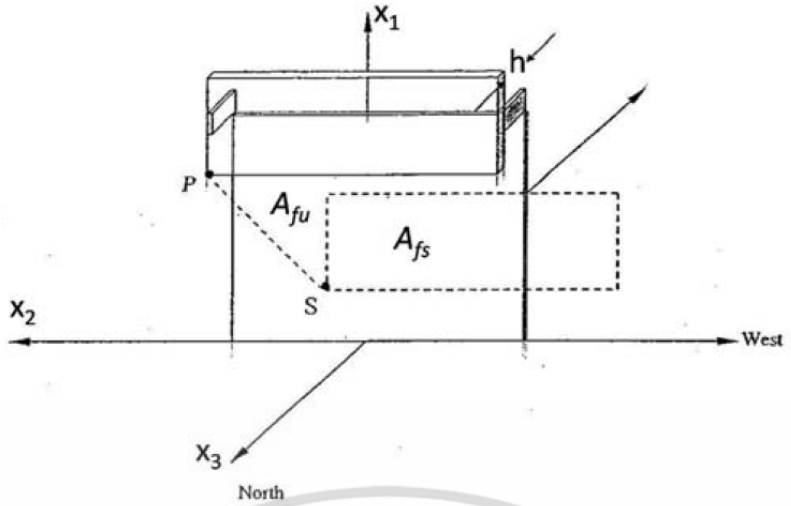
$\mathrm{E_{ed}}$คือ รังสีกระจายของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวแนวนอน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($\mathrm{W/m^2}$)

ตำแหน่งเกิดเงาเหนือระนาบที่พิจารณาจากรูปที่ 2.5 หากกำหนดให้ $\mathrm{X_p}$เป็นเวคเตอร์แสดงพิกัดของจุด pซึ่งอยู่เหนือระนาบที่พิจารณาและให้ระยะทางจากระนาบเอียงถึงจุด pเท่ากับ h
ให้ sเป็นเงาของจุด pที่ตกลงบนระนาบที่พิจารณาเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ เวคเตอร์ $\mathrm{X_s}$แสดงพิกัดของจุด sเวคเตอร์ $\mathrm{X_s}$เวคเตอร์ $\mathrm{X_p}$และเวคเตอร์ V_s^{x}มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\mathrm{X}_s = \mathrm{X_p}\frac{hV_s^{\mathrm{x}}}{\cos\theta}$$

เงาจะเกิดขึ้นบนระนาบที่พิจารณา ก็ต่อเมื่อจุดที่ทำให้เกิดเงาอยู่เหนือหรือหน้าระนาบที่พิจารณา และเมื่อดวงอาทิตย์หันเข้าหาระนาบที่พิจารณา
เงาที่เกิดจากอุปกรณ์บังแดดให้พิจารณาอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่างในรูปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง
ที่มา: ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

หน้าต่างหันไปทางทิศเหนือ จุด Pจะอยู่ที่มุมของอุปกรณ์บังแดดถ้าพิกัดของจุด Pแทนด้วย X_pพิกัดของจุด Sหรือจุดเงาที่เกิดขึ้นบนระนาบของหน้าต่างอันเนื่องมาจากจุด Pแทนด้วย X_s เวคเตอร์ X_sคำนวณได้จากสมการสำหรับกรณีนี้hคือ ระยะทางระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับหน้าต่าง พื้นที่ของเงาที่เกิดขึ้น คือ พื้นที่ที่เกิดจากการต่อจุดของจุดเงาที่เกิดจากมุม แต่ละมุมของอุปกรณ์บังแดด พื้นที่ A_{fs}คือ พื้นที่ที่เกิดเงาบนหน้าต่างซึ่งก็คือพื้นที่ที่ไม่ได้รับรังสีตรงจาก ดวงอาทิตย์ พื้นที่ A_{fu}คือ พื้นที่ที่ไม่เกิดเงาบนหน้าต่าง ทั้งรังสีตรงและบางส่วนของรังสีกระจายของดวงอาทิตย์ จึงตกลงบนพื้นที่ส่วน A_{fu}นี้ ขณะที่มีเฉพาะรังสีกระจายบางส่วนของดวงอาทิตย์เท่านั้นที่ตกลงบนพื้นที่ส่วน A_{fs}รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าต่างที่มีอุปกรณ์บังแดดถ้าพื้นที่ของหน้าต่างที่ไม่อยู่ภายใต้เงาคือ A_{fu}และพื้นที่หน้าต่างทั้งหมดคือ A_fรังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่าง (E_{ew})สำหรับหน้าต่างที่มีมุมเอียงβให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$E_{ew} = (A_{fu}/A_f)(E_{es})(\cos\theta) + (E_{ed})\frac{(1+\cos\beta)}{2}$$

สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (SC)ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$SC = \frac{E_{ew}}{E_{et\theta}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ E_{ew} คือ รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่าง ที่พิจารณามีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

$E_{et\theta}$ คือ รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

ส่วน 2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการ ที่กำหนด ดังนี้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (roof thermal transfer value, RTTV)ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (RTTV*i*) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_i = (U_r)(1 - SRR)(TD_{ep}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

เมื่อ RTTV*i* คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณามีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m2)

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส (W/(m2. °C))

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในของหลังคาซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส (W/(m2. °C))

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกหลังคา มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสงและ/หรือหลังคาทึบแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m2)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน (RTTV$_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$\mathrm{RTTV} = \frac{(\mathrm{A_{w1}})(\mathrm{RTTV_1}) + (\mathrm{A_{w2}})(\mathrm{RTTV_2}) + \cdots + (\mathrm{A_{wi}})(\mathrm{RTTV_i})}{\mathrm{A_{w1}} + \mathrm{A_{w2}} + \cdots \mathrm{A_{wi}}}$$

เมื่อ A $_{wi}$ คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m2)

RTTV $_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วนมีหน่วยเป็นต่อตารางเมตร (W/m2)

หมวด 2 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดที่ติดตั้งในพื้นที่ *i*คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอยทั้งหมดของบริเวณพื้นที่ *i*ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\mathrm{LPD_i} = \frac{(\mathrm{LW_i} + \mathrm{BW_i} - \mathrm{NW_i})}{\mathrm{A_i}}$$

เมื่อ LPD $_i$ คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ *i*มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m2)

LW$_i$ คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ *i*มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

BW$_i$ คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่$_i$ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

NW$_i$ คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ *i*ที่ถูกทดแทนด้วยแสงธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) ในหมวด ๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_i คือ พื้นที่ใช้สอยทั้งหมดของบริเวณพื้นที่ /มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m2)

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดที่ติดตั้งในอาคาร คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\mathrm{LPD} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(A_i(\mathrm{LPD}_i))}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

เมื่อ LPD คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อาคาร มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m2)

หมวด 3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศ

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

(1) เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (coefficient of performance, COP) คือ อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นวัตต์ กับพิกัดกำลังไฟฟ้าหน่วยเป็นวัตต์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\mathrm{COP} = \frac{Q}{W}$$

เมื่อ Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น คือ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นของระบบปรับอากาศโดยกำหนดในรูปของค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (energy efficiency ratio, EER) คือ อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง กับพิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$EER = 3.412(COP)$$

เมื่อ EER คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมงต่อวัตต์ ((Btu/h) /W)

หมวด 4 การคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน

การคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่ติดตั้งภายในอาคารให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

1.การคำนวณค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อนค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อนให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$EFF = \left[\frac{h_s - h_w}{(F)(HHV)}\right] sx\ 100$$

เมื่อ *Eff* คือ ค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มน้ำร้อน (ร้อยละ)

h_s คือ ค่าเอนทัลปี(enthalpy) ของไอน้ำหรือน้ำร้อนที่หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อนผลิตได้มีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อตัน (MJ/ton) จากตารางไอน้ำ (steam table) ทั่วไปกรณีไอน้ำและจากตาราง enthalpy ทั่วไป
กรณีน้ำร้อน

H_w คือ ค่าเอนทัลปี(enthalpy) ของน้ำที่อุณหภูม27องศาเซลเซียสและความดันหนึ่งบรรยากาศในที่นี้ให้ใช้ค่าเท่ากับ113เมกะจูลต่อตัน

S คือ ปริมาณไอน้ำหรือน้ำร้อนที่ผลิตได้มีหน่วยเป็นตันต่อวัน(ton/d) ดูจากเครื่องวัดปริมาณไอน้ำหรือน้ำร้อน

F คือ ปริมาณการใช้น้ำมันหรือแก๊สมีหน่วยเป็นตันต่อวัน(ton/d)

HHV คือ ค่าความร้อนสูง (higher heating value) ของน้ำมันหรือแก๊สที่ใช้มีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อตัน(MJ/ton)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดฮีตปั๊มแบบใช้อากาศเป็นแหล่งพลังงาน (air - source heat pump water heater)ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดฮีตปั๊มแบบใช้อากาศเป็นแหล่งพลังงานคืออัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำน้ำร้อนต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\mathrm{COP} = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{W}}$$

เมื่อ COP คือสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดฮีตปั๊มแบบใช้ อากาศเป็นแหล่งพลังงาน

Q คือ ความร้อนที่ใช้ในการทำน้ำร้อนมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

หมวด 5 การคำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

การคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกรณีที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หรือระบบใดระบบหนึ่งหรือมากกว่าของอาคารที่พิจารณาไม่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของระบบที่กำหนดในหมวด 1 หมวด 2 หรือหมวด 3 อาคารดังกล่าวสามารถนำเข้าสู่การพิจารณาประเมินตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งอาคารได้ โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวในรอบ 1 ปี นำมาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานโดยรวมในรอบ 1 ปี ของอาคารอ้างอิง อาคารจะผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมได้ก็ต่อเมื่อค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารนั้นทั้งปีต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานโดยรวมทั้งปีของอาคารอ้างอิง ซึ่งมีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และอาคารที่ใช้อ้างอิงต้องมีค่าระบบกรอบอาคารระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศเป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบ

การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารทั้งสองกรณี ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\mathrm{E_{pa}} = \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \left[\frac{\mathrm{A_{wi}\ (OTTV_i)}}{\mathrm{COP_i}} + \frac{\mathrm{A_{ri}\ (RTTV_i)}}{\mathrm{COP_i}} + \mathrm{A_i} \left\{ \frac{\mathrm{C_1(LPD_i) + C_e(EQD_i) + 130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}}{\mathrm{COP_i}} \right\} \right] + \sum_{i=1}^{n} A_i\ (LPD_i + EQD_i) n_h - PVE$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ LPD_i คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ *i* มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

EQD_i คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อหน่วยพื้นที่ *i* มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

$OCCU_i$ คือ ความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารในพื้นที่*i*มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร ($person/m^2$)

$VENT_i$ คือ อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ สำหรับพื้นที่ *i* มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที (l/s)

COP_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศขนาดเล็กหรือระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้งานสำหรับพื้นที่ *i*

A_i คือ พื้นที่ส่วนปรับอากาศ *i* (พื้นที่ *i*) มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

PVE คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ผลิตโดยเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วย เป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) (อ้างอิงในหมวด 6) สำหรับการใช้พลังงาน โดยรวมในอาคารอ้างอิง จะไม่มีค่า PVE ในสมการ กรณีที่มีส่วนที่เป็นผนังภายนอกอาคารล้อมรอบพื้นที่ *i*

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

A_{ri} คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

C_l ,C_e,C_oและ C_v คือ สัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ

จากไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ผู้ใช้ อาคารและการระบายอากาศ ตามลำดับ ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์นี้จาก ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อน ที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศและจำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท

n_h คือ จำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศและจำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	C_l	C_e	C_o	C_v	C_h
สถานศึกษา ,สำนักงาน	0.84	0.85	0.90	0.90	2340
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้าอาคารชุมนุมคน	0.84	0.85	0.90	0.90	4380
โรงแรมสถานพยาบาลอาคารชุด	1.0	1.0	1.0	1.0	8760

หมวด 6 การคำนวณค่าประสิทธิผล ค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน และค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีของการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร

การไม่นับรวมการใช้ไฟฟ้าบางส่วนในอาคารที่มีการใช้พลังงานหมุนเวียน ในกรณีที่อาคารนั้นมีการออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติเพื่อการส่องสว่างเป็นไปตามข้อกำหนด และเงื่อนไขที่ว่ากระจกหน้าต่างตามแนวทางกรอบอาคารต้องมีค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดดไม่น้อยกว่า 0.3 และอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อนมากกว่า 1.0 โดยใช้วิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1. ค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$SC_{eff} = (CS)(t_{vis})$$

เมื่อ SC_{eff} คือ ประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

t_{vis} คือ ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (visible transmittance)

2. ค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อนของกระจกให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$LSG = \frac{t_{vis}}{SHGC}$$

เมื่อ *LSG* คือ ค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรังสีอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารก่อนเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงในหมวด 5ค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ให้คิดจากค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ผลิตโดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการดังนี้

$$\mathrm{PVE} = \frac{(9)(365)(\mathrm{A_{mod}})(\eta_{sys})(\mathrm{ESR_{pv}})}{1000}$$

เมื่อ PVE คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ผลิตโดยเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)

(9)(365) คือ จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ใน1 ปี โดย (9) คือ จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่มีแสงอาทิตย์ใน 1 วัน และ(365) คือ จำนวนวันใน 1 ปี

$\mathrm{A_{mod}}$ คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m2)

η_{sys} คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบ

$\mathrm{ESR_{pv}}$ คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงและทิศทางที่ตรงกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร(W/m2) ให้ใช้ค่าที่กำหนดตามตารางที่ 1.9 สำหรับอาคารทุกประเภท(กรณีที่ มุมเอียงและทิศทางไม่ตรงกับค่าในตาราง ให้ใช้วิธีประมาณค่าในช่วง)

2.2 การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่2ปี พ.ศ.2550

2.2.1 การตรวจสอบการใช้พลังงาน

2.2.1.1 ระบบกรอบอาคาร

กรอบอาคารมีส่วนสำคัญยิ่งต่อการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารคิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศกรอบอาคารประกอบด้วยส่วนที่เป็นผนังทึบและผนังกระจก การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบและผนังกระจกมีลักษณะที่แตกต่างกันดัง สำหรับผนังทึบ รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังทึบส่วนหนึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและสะสมไว้ และทำให้ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทึบเป็นผลจาก

- ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้
- ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

สำหรับผนังกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวกระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยส่วนหนึ่งเข้าสู่อาคารและอีกส่วนที่เหลือสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกกลืนไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคารยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจกซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารเพื่อให้อาคารที่ก่อสร้างใหม่เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานประเทศไทยได้กำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารซึ่งเป็นการบังคับโดยกฎหมายประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารกำหนดด้วยค่าดัชนีการถ่ายเทความร้อนรวม OTTV และ RTTV อาคารที่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพของกรอบอาคาร

2.2.1.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนด

2.2.2.3 ระบบปรับอากาศ

การตรวจวัดและประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศในการประเมินสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศและระบบปรับอากาศแบบอัดไอ เราต้องทราบภาระการทำความเย็นและความต้องการใช้พลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศหรือระบบปรับอากาศนั้นๆเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวในทางปฏิบัติการประเมินสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว เราจะวัดภาระการทำความเย็นจากอากาศที่หมุนเวียนผ่านคอยล์เย็น และความต้องการไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์รวมกับพัดลมของอีวาโพเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ อย่างไรก็ตาม ความต้องการไฟฟ้าของพัดลมอีวาโพเรเตอร์และคอนเดนเซอร์จะมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับของคอมเพรสเซอร์

ก) การตรวจวัดภาระการทำความเย็น

ภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ในที่นี้หมายถึง ปริมาณหรืออัตราของพลังงานความร้อนที่ดูดซับโดยคอยล์เย็นหรืออีวาโปเรเตอร์ ในพื้นที่ปรับอากาศหนึ่งๆ ซึ่งประกอบด้วย

1. แหล่งความร้อนภายใน (Internal Heat Source) ได้แก่ คน ระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แหล่งความร้อนภายนอก (External Heat Source) ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน และการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ผ่านกรอบอาคารที่เป็นกระจก

3. อากาศระบายและอากาศรั่วไหล (Ventilation and Infiltration Air) ได้แก่ อากาศภายนอกที่ป้อนเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศเพื่อรักษาคุณภาพของอากาศ และอากาศภายนอกที่รั่วไหลเข้ามาตามรอยแยกของกรอบอาคารหรือวงกบประตูหน้าต่างอัตราการทำความเย็นที่คอยล์เย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ข) การตรวจวัดความต้องการไฟฟ้า

เราสามารถตรวจวัดความต้องการไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ (Ecomp) พัดลมที่อีวาโพเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ได้จากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าโดยตรงในขณะที่เครื่องปรับอากาศกำลังทำงาน ดังนั้น ในการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว รายการเครื่องมือวัดที่จำเป็นได้แก่ Power Meter หรือ kW Meter, Thermometer (เครื่องมือวัดอุณหภูมิ), Anemometer (เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ), Hygrometer (เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์) และPsychometric Chart (แผนภูมิอากาศ) โดยมีแนวทางการเก็บข้อมูล มีดังนี้

• บันทึกค่าความเร็วลมผ่านหน้าตัดของช่องลมกลับ ในหน่วย m/s โดยควรวัดหลาย ๆ จุดให้ทั่วทั้งหน้าตัดแล้วหาเป็นค่าเฉลี่ย

• วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องลมกลับ แล้วนำไปคูณกับค่าความเร็วลมเฉลี่ยเพื่อหาปริมาณลมหมุนเวียนผ่านคอยล์เย็นได้

• บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย (Supply Air) เพื่อนำไปหาค่าเอนทาลปีของลมจ่าย (he) จากแผนภูมิ Psychometric

• บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ (Return Air) เพื่อนำไปหาค่าเอนทาลปีของลมกลับ (hi) จากแผนภูมิ Psychometric

• บันทึกค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมเป็น kW ด้วย Power Meter

ค) สมรรถนะการทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแสดงในรูปของค่าสมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งนิยามด้วย อัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น (ปริมาณความเย็นที่ทำได้) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้

เมื่อ Q_L = อัตราการทำความเย็น, kW

Ecomp = ความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ, kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า COP สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบปรับอากาศ สำหรับค่า COP ที่พิจารณาเฉพาะพลังงานที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ เป็นเพียงค่าที่แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็นเท่านั้น ส่วนค่าสมรรถนะของทั้งระบบ (System COP, SCOP) จะต้องรวมพลังงานที่จ่ายให้กับพัดลมและเครื่องสูบน้ำด้วย ค่า SCOP สูงหมายถึงระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานน้อยในทางปฏิบัติ สมรรถนะของระบบปรับอากาศยังสามารถแสดงได้ในรูปของ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

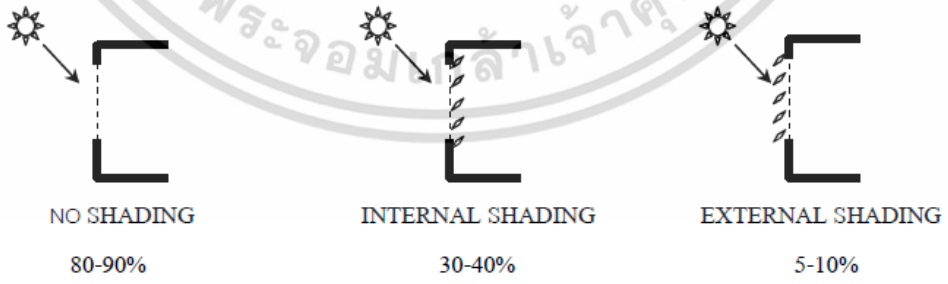
2.3 การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

2.3.1 ศึกษาลักษณะช่องเปิดที่เหมาะสมกับอาคาร

การเลือกใช้ช่องเปิดที่เหมาะสมกับรังสีดวงอาทิตย์กระแสลมและการระบายอากาศมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเรื่องการประหยัดพลังงานเนื่องจากถ้ามีการออกแบบและคำนึงถึงผลกระทบที่จะตามมาแล้วช่องเปิดที่นำมาใช้จะต้องสามารถรับลมและระบายอากาศได้อย่างเหมาะสมในขณะที่ต้องป้องกันแสงแดดไม่ให้เข้ามาภายในอาคารมากจนเกินไปโดยสามารถแบ่งลักษณะการศึกษาได้เป็น 2 ส่วนหลักๆได้ดังนี้

2.3.1.1 รังสีดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อช่องเปิด

รังสีจากดวงอาทิตย์เป็นรังสีคลื่นสั้น(Shortwave Energy) เมื่อกระทบผ่านวัตถุภายในรังสีคลื่นสั้นจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว (Longwave) ซึ่งกระจกที่ถูกนำมาใช้มากในการทำช่องเปิดก็มีคุณสมบัติเช่นเดียวกันนี้คือยอมให้รังสีความร้อนผ่านเข้ามาและเปลี่ยนรูปพลังงานดังนั้นความร้อนจึงถูกกักเก็บไว้ในพื้นที่ภายในฉะนั้นการออกแบบหน้าต่างกระจกใสให้มีอุปกรณ์บังแดดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าในอาคารจะลดลงมาก-น้อยตามลักษณะอุปกรณ์ที่เลือกใช้



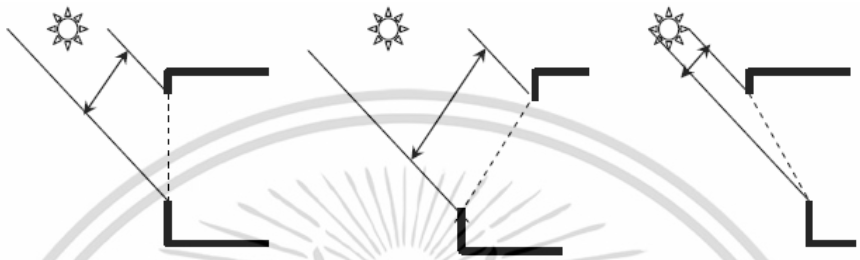
รูปที่ 2.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในอาคารในการเปรียบเทียบช่องเปิดที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดมีอุปกรณ์บังแดดภายในและมีอุปกรณ์บังแดดภายนอก

ที่มา : Benjamin H.Evans, Daylight in Architecture, (New York : AIA ,1981), 70.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ระนาบของช่องเปิดที่มีผลต่อความร้อนภายในอาคาร

ความเอียงจะมีผลต่อพื้นที่และค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามาภายในอาคารโดยตามปกติแล้วจะใช้ช่องเปิดที่มีระนาบ 90 องศากับพื้นซึ่งสะดวกในการใช้สอยและได้มุมมองในระดับสายตาที่ดีแต่ในบางส่วนอาจใช้ช่องเปิดที่มีระนาบมากกว่า 90 องศาซึ่งจะได้รับรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบกับระนาบของหน้าต่างน้อยกว่า



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะระนาบของช่องเปิดที่มีผลต่อมุมตกกระทบรังสีดวงอาทิตย์
ที่มา : Benjamin H.Evans, Daylight in Architecture, (New York : AIA ,1981), 72.

2.3.1.3 ความเหมาะสมของขนาดช่องเปิด

ที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนโดยไม่มีอุปกรณ์บังแดดเมื่อพิจารณาวัสดุประกอบอาคารในการถ่ายเทความร้อนซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตามมาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ.2535 ได้กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV) ไม่เกิน 45 วัตต์ /ตารางเมตรซึ่งในการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนของช่องเปิดขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุประกอบผนังชนิดของกระจกทิศทางการเปิดและอุปกรณ์บังแดดซึ่งถ้าจะเปรียบเทียบเฉพาะหน้าต่างกระจกใสที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆแล้วจะเห็นว่ากระจกใสที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงเมื่อมีการนำมาใช้ร่วมกับผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ 1 ตารางหน่วยจะพบว่าการที่จะทำให้ค่าOTTV ตามมาตรฐานกำหนดได้พื้นที่ส่วนที่เป็นกระจกต่อพื้นที่ผนังในทิศต่างๆกันดังนี้

-ด้านทิศเหนือขนาดช่องเปิดที่เป็นกระจกใสไม่ควรเกิน 15% ของพื้นที่ผนัง

- ด้านทิศใต้ขนาดช่องเปิดที่เป็นกระจกใสไม่ควรเกิน 10% ของพื้นที่ผนัง

- ด้านทิศตะวันออก - ทิศตะวันตกขนาดช่องเปิดที่เป็นกระจกใสไม่ควรเกิน10% ของพื้นที่ผนัง

- ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันตกเฉียงเหนือไม่ควรเกิน 11% ของพื้นที่ผนังทั้งหมด

- ด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้-ทิศตะวันออกเฉียงใต้ขนาดช่องเปิดที่เป็นกระจกใสไม่ควรเกิน 9% ของพื้นที่ผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ศึกษาการป้องกันแสงแดดและวิธีคำนวณขนาดของอุปกรณ์บังแดด

ความร้อนของแสงอาทิตย์ในเขตร้อนเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องหาทางลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าไปในอาคารโดยเฉพาะส่วนที่เป็นช่องเปิด (void) จะต้องมีความระมัดระวังยิ่งขึ้นโดยมีผลการวิจัยที่ทำในประเทศไทยหัวข้อการวิจัยเพื่อหาขนาดตันความเย็นเพื่อติดตั้งเครื่องปรับอากาศของอาคารสำนักงาน (Office Building) ต่างๆในกรุงเทพฯปรากฏว่าอาคารที่มีแผงกันแดดและมีกันสาดต้องการความเย็นประมาณ 20 – 30 ตรม./ตันความเย็นส่วนอาคารที่ผนังเป็นกระจกไม่มีแผงกันแดดมากนักต้องการความเย็น 15 – 17 ตรม./ตันความเย็นจะเห็นได้ว่าการออกแบบที่คำนึงถึงการลดความร้อนเข้าสู่อาคารจะเป็นการประหยัดขนาดของเครื่องปรับอากาศให้มีขนาดเล็กลงได้ทำให้ค่าการใช้พลังงานรวมก็จะลดลงตามไปด้วยซึ่งการออกแบบที่กันแดดที่มีความเหมาะสมกับอาคารโดยเฉพาะบริเวณช่องเปิดนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งไม่ว่าจะเป็นส่วนที่ปรับอากาศหรือไม่ปรับอากาศก็ตามปกติการออกแบบที่กันแดดแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือการออกแบบภายนอกอาคารและการออกแบบภายในอาคาร

การออกแบบที่กันแดดภายนอกอาคารจะได้ผลดีกว่าเพราะตัวชิ้นส่วนที่ใช้ในการกันแดดจะมีความร้อนขึ้นและแผ่รังสีออกมาซึ่งถ้าหากอยู่ภายในอาคารแล้วตัวอุปกรณ์บังแดดจะเป็นตัวเพิ่มความร้อนให้กับอาคารอีกทางหนึ่งแต่ในกรณีที่อุปกรณ์บังแดดอยู่ภายนอกการแผ่รังสีจะเข้ามาได้น้อยกว่าอีกทั้งยังมีอากาศและลมที่จะช่วยพัดพาและระบายความร้อนให้ลดลงด้วยที่บังแดดภายนอกอาคารอาจจะประยุกต์กับประโยชน์ใช้สอยอื่นๆของอาคารเองเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากชิ้นส่วนเดียวกันได้หลายทางและจะต้องระวังปัญหาเรื่องฝุ่นและความสกปรกที่จะมาจับกับอุปกรณ์บังแดดด้วยโดยลักษณะของที่กันแดดที่พบได้ในปัจจุบันสามารถแบ่งตามลักษณะของ Elements ได้ดังนี้

ที่กันแดดภายในอาคาร

1. กระจกฉนวน (Insulated Glass)
2. มู่ลี่บังตาภายใน (Blinds)
3. ม่าน (Curtains)

ที่กันแดดภายนอกอาคาร

1. หลังคาแบบร่ม (Parasol)หลังคาและชายคา
2. พื้นที่ยื่นเป็นกันสาด
3. ส่วนยื่นของโครงสร้างหรือผนังป้องกันมุมเบี่ยง
4. เฉลียง (Balcony)หรือเบญจา(Canopy)
5. ครีบหรือแผงกันแดด (Fins)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มู่ลี่

7. ร่มเงาจากต้นไม้

มุมที่เกิดจากตำแหน่งโคจรของดวงอาทิตย์

การศึกษาเรื่องมุมโคจรของดวงอาทิตย์เป็นพื้นฐานสำคัญก่อนที่จะทำการออกแบบอุปกรณ์บังแดดเพื่อทำให้ทราบถึงลักษณะของแสงอาทิตย์ที่จะมากระทบต่ออาคารโดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

- Angle of Declination คือมุมที่เกิดขึ้นเนื่องจากดวงอาทิตย์ทำมุมกับเส้นศูนย์สูตร (หรือระนาบของเส้นศูนย์สูตร)

- Angle of Incidence คือมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวตั้งฉากของผนัง (ไม่ได้ใช้ในการหาเงาแต่ใช้ในการหาปริมาณความร้อนที่ผนังหรือที่อาคารได้รับ)

- Altitude Angle คือมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำจริงทางแนวตั้งกับระนาบขอบฟ้าอ่านค่าได้ด้วยมุมตัด (Profile Angle) กับมุมเบี่ยง (Azimuth or Bearing Angle)

- Azimuth or Bearing Angle คือมุมตามแนวระดับที่ดวงอาทิตย์กระทำกับทิศใต้ซึ่งในตอนเช้าจะหมุนไปทางตะวันออกและตอนบ่ายจะหมุนไปทางทิศตะวันตก Azimuthในซีกโลกทางตอนเหนือเช่นประเทศไทยคือมุมที่ดวงอาทิตย์หมุนตามแนวระดับเบี่ยงกับทิศใต้Azimuthในซีกโลกทางตอนใต้คือมุมที่ดวงอาทิตย์หมุนตามแนวระดับเบี่ยงกับทิศเหนือ

- Profile Angle คือมุมที่ระดับของดวงอาทิตย์กระทำในระนาบที่ตั้งฉากกับผนังอาคารค่าของมุมตัดจะแตกต่างไปจากค่าของมุมกระทำและในการออกแบบค่ามุมตัดมีความสำคัญมากกว่ามุมกระทำเพราะจะทำไปพล็อตหาค่าความลึกของที่บังแดดแนวนอนได้

- Solar Time คือเวลาซึ่งเกิดจากการแบ่งการโคจรของดวงอาทิตย์เป็นเวลาที่เป็นจริงแต่ไม่ตรงกับเวลาของท้องถิ่นเนื่องจากเวลาของท้องถิ่นมักเป็นเวลาที่อนุโลมแล้วเพื่อให้มีมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศเวลาที่ใช้ในการออกแบบที่กันแดดเป็นเวลาตามระบบสุริยะ

- True North ใช้ในทิศเหนือตามแนวแกนของโลกเป็นหลักในการพิจารณาหาค่าทิศทางของการวางอาคารและมุมเบี่ยงที่ดวงอาทิตย์กระทำกับผนัง (ทิศเหนือแม่เหล็กหรือทิศเหนือเข็มทิศมีค่าต่างไปจากทิศเหนือภูมิศาสตร์)

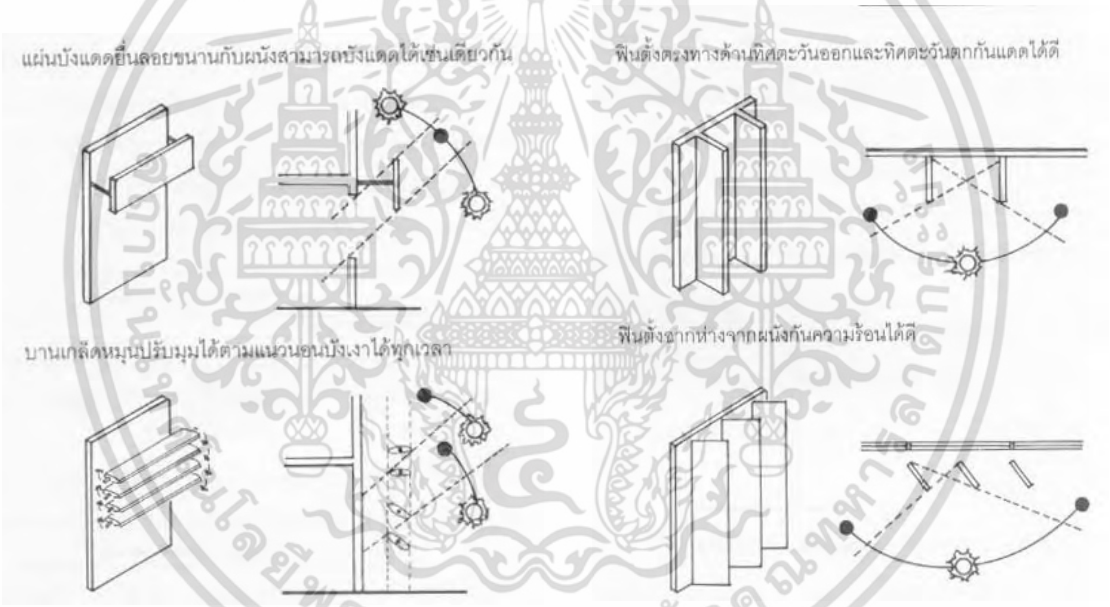
2.3.2.1 วิธีการออกแบบที่กันแดด

การออกแบบที่กันแดดแบ่งได้เป็นการออกแบบที่กันแดดแนวนอนหรือแนวระดับ (OverheadSunshades)และ การออกแบบที่กันแดดตามแนวตั้ง (Lateral Controls) ทางดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบที่กันแดดแนวนอนหรือแนวระดับ (OverheadSunshades)

การออกแบบที่กันแดดลักษณะนี้คือการออกแบบกันสาดหรือชายคานั้นเองให้มีความสามารถในการป้องกันแสงแดดไม่ให้ส่องผ่านเข้ามาผ่านทางประตูหรือหน้าต่างมากจนเกินความต้องการซึ่งประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของที่กันแดดสามารถคำนวณหาขนาดได้จากมุมเอียงของรังสีดวงอาทิตย์ที่มากระทำกับส่วนของอาคารได้ตามวิธีการแต่เมื่อนำมาใช้จริงอาจต้องมีการพิจารณาขนาดอีกครั้งเพราะในบางพื้นที่ก็ต้องการให้มีแสงธรรมชาติเข้ามาบ้างเพื่อเป็นการลดพลังงานในการสร้างความสว่างให้กับอาคารแต่แสงที่นำมาใช้ควรเป็นแสงสะท้อน (Indirect Light) แล้วไม่ควรใช้แสงทางตรง (Direct Light) มาใช้งานเลยเพราะจะมีความจ้าจนเกินไปและการยอมให้แสงผ่านเข้ามามากเท่าไรก็เสมือนกับการนำความร้อนเข้ามาในอาคารเพิ่มขึ้นเท่านั้นจึงจะต้องมีการพิจารณาให้มีความพอดีและเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละส่วนไม่เท่า



รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอน

ที่มา : Olgyay,V. “Design With Climate” (Princeton University Press , 1967), 20.

การหาความยาวของการยื่นชายคาหรือที่กันแดดการหาความยาวของการยื่นที่กันแดดจะต้องได้ค่าของมุมตัด (Profile Angle) เสียก่อนโดยจะต้องรู้ว่าจุดวิกฤติในการออกแบบอยู่ที่วันและเวลาใดที่จะใช้อาคารแล้วเอาค่าของมุมตัดมาหาความยาวและใช้ค่ามุมเบี่ยง (Bearing Angle) นำมาหาความกว้างตัวอย่างเช่นการอ่านค่ามุมของดวงอาทิตย์ที่ 14N เวลา 9.00น. ของวันที่ 21ก.พ.ของด้านทิศใต้ได้ค่ามุมตัด (Profile Angle)เท่ากับ 62ºและในเวลา 12.00น. ค่ามุมตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 66°ซึ่งจะแตกต่างกันออกไป (มุมยิ่งน้อยยิ่งต้องยื่นชายคายาวขึ้น) ซึ่งถ้าต้องการให้สามารถกันแสงแดดได้เกือบตลอดทั้งวันจะต้องใช้ค่า40ไปหาความยาวในการยื่นชายคาจากตัวอย่างรูปตัดตามขวางของอาคารจะได้ที่กันแดดยื่นยาวออกไปเท่ากับ 1.20 ม. แต่ทางทิศใต้วันที่ดวงอาทิตย์อ้อมใต้มากที่สุดคือวันที่ 21 ธ.ค. ถ้าต้องการให้กันแสงแดดได้ตลอดทั้งปีจะต้องนำมุมของวันนี้ไปคำนวณแต่ก็จะได้ค่าการยื่นชายคายาวยิ่งขึ้นซึ่งอาจไม่สะดวกในการใช้งานจริง

- การหาความกว้างของที่กันแดดนอกจากความยาวของที่กันแดดแล้วยังต้องพิจารณาถึงความกว้างด้วยมิฉะนั้นแสงแดดที่เอียงจะลอดเข้าทางด้านข้างของช่องเปิดได้ตัวอย่างเช่นการอ่านค่ามุมของดวงอาทิตย์ที่ 14°N เวลา 9.00น. ของวันที่ 21 ก.พ.ซึ่งได้ความยาวของการยื่นชายคาออกไปเท่ากับ 1.20 ม. ซึ่งค่าของมุมเบี่ยง (Bearing Angle)ในเวลาดังกล่าวเท่ากับ 60 ½°ทางตะวันออกของทิศใต้ใช้ผังพื้นอาคารเขียนเส้นแสดงแนวยื่นของชายคาเนื่องจากมุมเบี่ยงทำมุมไปทางตะวันออกของทิศใต้จึงใช้ริมหน้าต่างทางตะวันออกเป็นหลักทำมุมเท่ากับค่ามุมเบี่ยงลากเส้นจากขอบนอกของชายคาไปจนพบเส้นของมุมเบี่ยงจากจุดตัดลากเส้นไปตั้งฉากกับผนังอาคารเนื้อที่สี่เหลี่ยมที่ได้คือแผงกันแดดที่จะต้องกว้างออกไปเพื่อป้องกันมุมเบี่ยงของแสงอาทิตย์ซึ่งในที่นี้ได้ความกว้างออกไปอีกเท่ากับ 2.11 ม. รูปเงาที่เกิดขึ้นบนตารางโคจรจึงคลุมส่วนที่ควรจะกันแดดได้สมบูรณ์

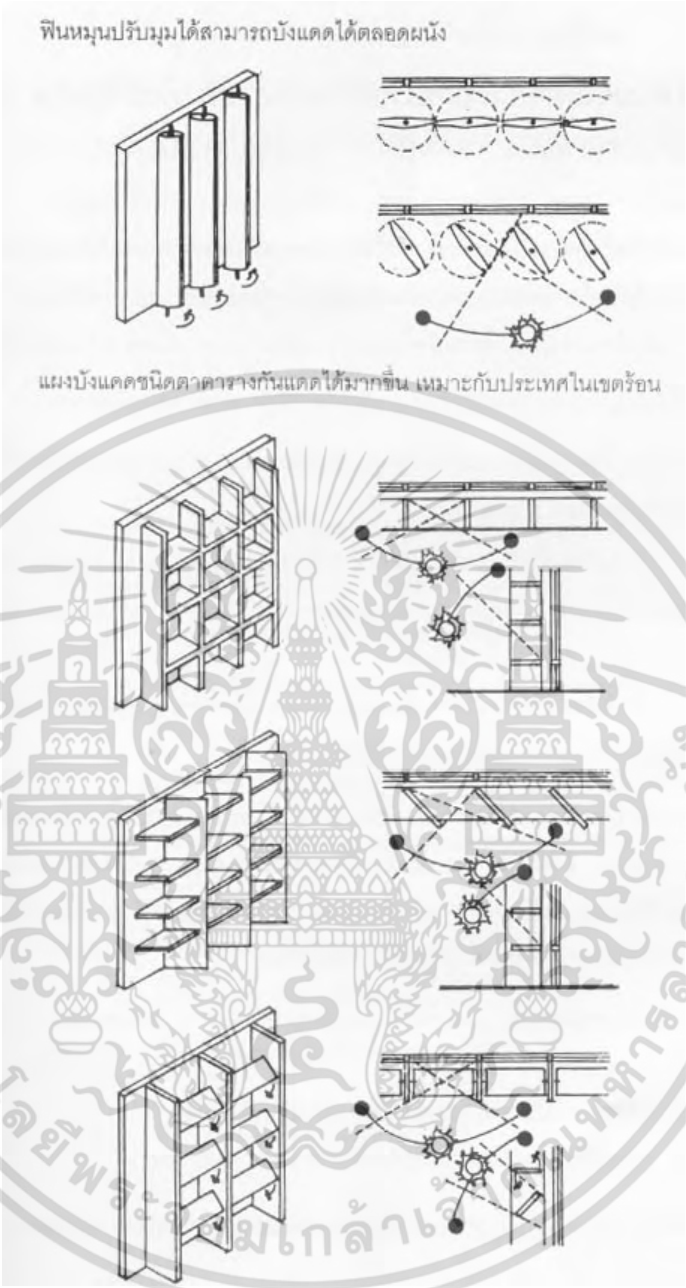
การออกแบบที่กันแดดตามแนวตั้ง (Lateral Controls)

ในบางกรณีการใช้วิธียื่นที่กันแดดตามแนวระดับหรือชายคาเพียงอย่างเดียวไม่สามารถจะป้องกันแสงแดดได้ทั้งนี้จะพบเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมตัด (Profile Angle) มีค่าน้อยมาก (แสดงว่าดวงอาทิตย์อยู่เรี่ยขอบฟ้าหรือเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมเบี่ยง (Bearing Angle หรือ Azimuth) มากๆ จนทำให้ต้องยืดความกว้างของที่กันแดดตามแนวระดับออกไปด้านข้างเกินปกติไปมาก

- ขนาดความลึกของที่กันแดดตามแนวตั้ง (Lateral Controls) ขนาดและทิศทางของที่กันแดดตามแนวตั้งได้จากค่าของมุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ (Bearing Angleและ Azimuth) เวลาช่วงเช้าและเย็นจะมีค่ามุมเบี่ยงมากที่สุดทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

- ความสูงของที่กันแดดตามแนวตั้งสิ่งพึงระวังของที่กันแดดตามแนวตั้งคือมุมตัด (Profile Angle) ของดวงอาทิตย์เพราะถ้ามุมตัดมีค่ามากมุมก็ยิ่งสูงที่กันแดดตามแนวตั้งก็จะต้องสูงขึ้นตามไปด้วยลากเส้นประซึ่งเป็นเส้นแสดงปลายของที่กันแดดในรูปแล้วพล็อตลงในรูปตัดของอาคารต่อเส้นประเลยขึ้นไปทำมุมที่ขอบบนหน้าต่างหรือช่องเปิดเท่ากับค่าของมุมตัดของเวลาที่มุมตัดสูงสุดกับเส้นประของที่กันแดดที่ต่อเลยขึ้นไปจุดตัดคือตำแหน่งความสูงของที่กันแดดตามแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบต่างๆ

ที่มา : Olgyay,V., “Design With Climate” (Princeton University Press , 1967), 21.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 **ศึกษาการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ** (Passive Cooling of Building)

การทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทยเนื่องจากมีสภาวะอยู่ในช่วงวิกฤติเกือบตลอดเวลาการทำความเย็นให้กับอาคารหรือการช่วยปรับสภาวะให้เกิดความรู้สึกสบายกับผู้อยู่อาศัยเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบซึ่งในปัจจุบันมีสิ่งอำนวยความสะดวกในการปรับอุณหภูมิให้ลดลงได้เช่นเครื่องปรับอากาศหรือพัดลมแต่การทำความเย็นด้วยวิธีนี้ตลอดเวลาจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้เป็นอย่างมากฉะนั้นการทำความเย็นโดยอาศัยธรรมชาติและสภาพแวดล้อมจะเป็นส่วนช่วยให้เกิดความเย็นได้โดยไม่ต้องสิ้นเปลืองพลังงานหรือมีการใช้พลังงานให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นจึงจะเป็นการดีสำหรับบ้านที่ต้องการความสบายและสามารถลดการใช้พลังงานลงได้โดยการทำความเย็นโดยอาศัยธรรมชาตินั้นสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

การออกแบบบริเวณรอบอาคารเพื่อเอื้อประโยชน์ในการลดความร้อน

การออกแบบบริเวณรอบอาคารโดยใช้ประโยชน์ของภูมิสถาปัตย์เข้าช่วยเช่นการลดพื้นที่ที่เป็นhard scape และใช้เป็นsolf scape แทนโดยการปลูกหญ้าคลุมผิวดินรอบบ้านเนื่องจากผิวดินที่มีหญ้าปกคลุมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวดินปกติและพื้นคอนกรีตหรือการใช้น้ำเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของลมที่พัดผ่านเข้ามาแต่ในส่วนนี้ต้องคำนึงถึงขนาดและระยะห่างของบ่อน้ำด้วยเพราะนอกจากจะนำความเย็นเข้าสู่ตัวบ้านแล้วยังจะนำความชื้นรวมเข้ามาด้วยซึ่งไม่เป็นผลดีต่อบริเวณที่ต้องการปรับอากาศแน่นอน

การใช้ที่กันแดดที่สามารถให้ร่มเงากับพื้นดินบริเวณรอบอาคารอาจด้วยการยื่นชายคาหรือการทำเป็นระแนงไม้ยื่นออกไปรอบๆบ้านและหลีกเลี่ยงการเจาะช่องเปิดยาวจรดพื้นเนื่องจากความร้อนที่ตกกระทบมายังบริเวณใกล้อาคารจะสะท้อนกลับเข้ามาในตัวอาคารได้อีก

การถมดินให้เป็นเนินในบางส่วนที่ติดกับตัวอาคารเพื่อเบี่ยงเบนการสะท้อนของรังสดวงอาทิตย์อีกทั้งยังสามารถมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอาคารกับพื้นดินได้อีกด้วยเนื่องจากกรุงเทพมหานครอุณหภูมิของดินจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเกือบตลอดเวลาโดยเฉพาะช่วงเวลากลางวันซึ่งในกรณีนี้จะแตกต่างจากบ้านในสมัยก่อนหรือแม้แต่บ้านในปัจจุบันที่อยู่ตามต่างจังหวัดที่มักจะมีการสร้างบ้านแบบยกใต้ถุนสูงเพื่อให้ลมพัดผ่านแต่สำหรับลมในเขตกทม.จะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงการจะนำมาใช้โดยตรงอาจจะไม่เหมาะนักการทำรั้วโปร่งหรือทำให้มีลักษณะเป็นครีบเพื่อช่วยให้ลมสามารถพัดผ่านได้สะดวกและครีบจะเป็นตัวดักลมให้เข้ามายังทิศทางที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ

ธรรมชาติที่มีอยู่รอบตัวสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากมายหากมีการเลือกใช้ให้เหมาะสมและวางให้ถูกตำแหน่งเริ่มจากการปลูกต้นไม้ใหญ่ที่นอกจากจะให้ร่มเงาแล้วยังช่วยเป็นตัวบังคับทิศทางลมให้พัดไปในทางที่ต้องการได้อีกด้วยหรือแม้แต่การปลูกพืชคลุมดินก็จะช่วยลดการสะท้อนและอุณหภูมิของผิวดินธรรมชาติอีกประการที่ถ้ามีการออกแบบให้ดีจะสามารถดึงมาใช้ประโยชน์ได้มากนั้นก็คือลมซึ่งถ้าดูจากสถิติแล้วลมในเขตกทม.จะมีความแรงไม่มากหรือแทบไม่มีเลยฉะนั้นการวางอาคารหรือองค์ประกอบรอบบ้านเพื่อให้เกิดความกดอากาศที่ต่างกันจะเป็นตัวช่วยให้เกิดกระแสลมเองได้

ศึกษาการใช้ระบบ Active เข้ามาช่วยในการทำความเย็น

การที่จะนำระบบ Active เข้ามาช่วยในการทำความเย็นให้กับอาคารควรทำความเข้าใจกับคำว่าระบบ Active ก่อนซึ่งในที่นี้หมายถึงการใช้เครื่องกลที่ต้องใช้พลังงานในการทำงานเพื่อทำให้เกิดความเย็นเข้ามาทดแทนในส่วน Passive บางส่วนที่ผู้อยู่อาศัยต้องการที่จะปรับอากาศให้อยู่ในภาวะที่เย็นสบายในช่วงเวลาและสถานที่ที่ต้องการได้ในทันทีโดยไม่ต้องอาศัยกระแสลมธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ตลอดเวลาโดยเฉพาะคนที่อาศัยอยู่ในเขตกทม. ในที่นี้หมายถึงการนำเครื่องปรับอากาศมาใช้ซึ่งแม้จะต้องมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นก็ตามแต่ก็มีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบเพื่อรองรับพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศไว้ก่อนเพราะส่วนมากบ้านพักอาศัยทั่วไปจะมีการนำเครื่องปรับอากาศเข้ามาติดตั้งภายหลังมากกว่า90% ซึ่งได้ข้อมูลจากแบบสอบถามที่ผู้วิจัยรวบรวมการสูญเสียพลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศก็จะมากกว่าการที่มีการออกแบบเพื่อรองรับไว้ก่อนโดยการศึกษาการทำงานของระบบ Active สามารถแยกการศึกษาออกตามลักษณะต่างๆกันได้ดังนี้

ความสามารถในการปรับตัวของมนุษย์ให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

ร่างกายของมนุษย์มีความสามารถที่จะปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมในสภาพแวดล้อมทีหนาวเย็นเส้นเลือดจะหดตัวเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีของผิวหนังมีผลทำให้อุณหภูมิที่ผิวหนังลดต่ำลงแต่ในสภาพที่อากาศอบอุ่นเส้นเลือดจะขยายตัวและการแผ่รังสีความร้อนจากผิวหนังจะเพิ่มขึ้นเช่นเมื่ออยู่ในภาวะที่ร้อนจัดร่างกายจะขับเหงื่อออกมาเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของผิวหนังซึ่งเป็นความสามารถที่พิเศษของมนุษย์ในการปรับให้อุณหภูมิร่างกายคงที่เกือบทุกภาวะ อย่างไรก็ตามความสามารถนี้ก็มีขอบเขตจำกัดตามสภาพร่างกายของแต่ละคน

ซึ่งจากผลการสรุปทางการแพทย์พบว่าอุณหภูมิของร่างกายที่เหมาะสมที่สุดคือ33 ˚C (อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนัง) การจะให้ร่างกายมีอุณหภูมิดังกล่าว “ความร้อนจากการแผ่รังสีจะต้องสัมพันธ์กับความร้อนที่ร่างกายคายออก” คนจะไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวทันทีทันใดเมื่อค่าอุณหภูมิของผิวกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ไม่ทำให้คนรู้สึกร้อนหรือหนาวในทันทีเรียกว่า “ขอบเขตเป็นกลาง” (Neutral Band) ซึ่งมีค่า ± 1.5 ˚C ที่วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ในกระเปาะดำ (ถ้าเทียบเป็นอุณหภูมิของอากาศจะได้ประมาณครึ่งหนึ่งของค่านี้) เมื่อใช้เครื่องปรับอากาศความแตกต่างของอุณหภูมิ ± 0.7 ˚C จึงเป็นที่ยอมรับได้

ด้วยเหตุที่ร่างกายของมนุษย์มีปฏิกิริยาต่อการเข้าไปอยู่ในอากาศที่หนาวเย็นทันทีทันใดโดยการหดตัวของเส้นเลือดความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายนอกและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องปรับอากาศจึงมักจะควบคุมให้ไม่เกิน 7 ˚C

ที่มา : ปรัชศณี เมฆศรีสวัสดิ์ “การออกแบบบ้านประหยัดพลังงานที่ใช้ธรรมชาติร่วมกับระบบปรับอากาศ (บ้านต้นแบบในเขตชานเมือง กรุงเทพมหานคร) (2548)

การหาค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

1. ตรวจวัดข้อมูลด้าน output

- ปริมาณการไหลของอากาศ (m3/min) (จากการตรวจวัด)
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าและออกของเครื่องปรับอากาศ (%) (จากการตรวจวัด)
- อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและออกของเครื่องปรับอากาศ (°C) (จากการตรวจวัด)
- ค่า Enthalpy ของอากาศ Hr, Hs (Psychromatric chart) ตัวอย่างแสดงด้านล่าง

2. ตรวจวัดด้าน input

- กำลังไฟฟ้า (kW) (จากการตรวจวัด)

$$P = VI \times COS\theta$$

- ค่ากระแสไฟฟ้า (A) (จากการตรวจวัด)
- ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) (จากการตรวจวัด)

3. การหาประสิทธิภาพพลังงาน

- ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศโดย

จะสามารถคำนวณประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศได้ตามสมการ

$$EER = \frac{\text{Cooling load (BTU/hr)}}{\text{Electrical Power (Watt)}} \quad [1]$$

หรือ

$$EER = 3.412 \times COP \quad [2]$$

$$CFM = \text{Air Flow Rate (ft3/min)} \quad [3]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= Supply Air Speed (ft/min) *Grill Area (ft2)

Q = 4.5*CFM*(h2 -h1) [4]

เมื่อ

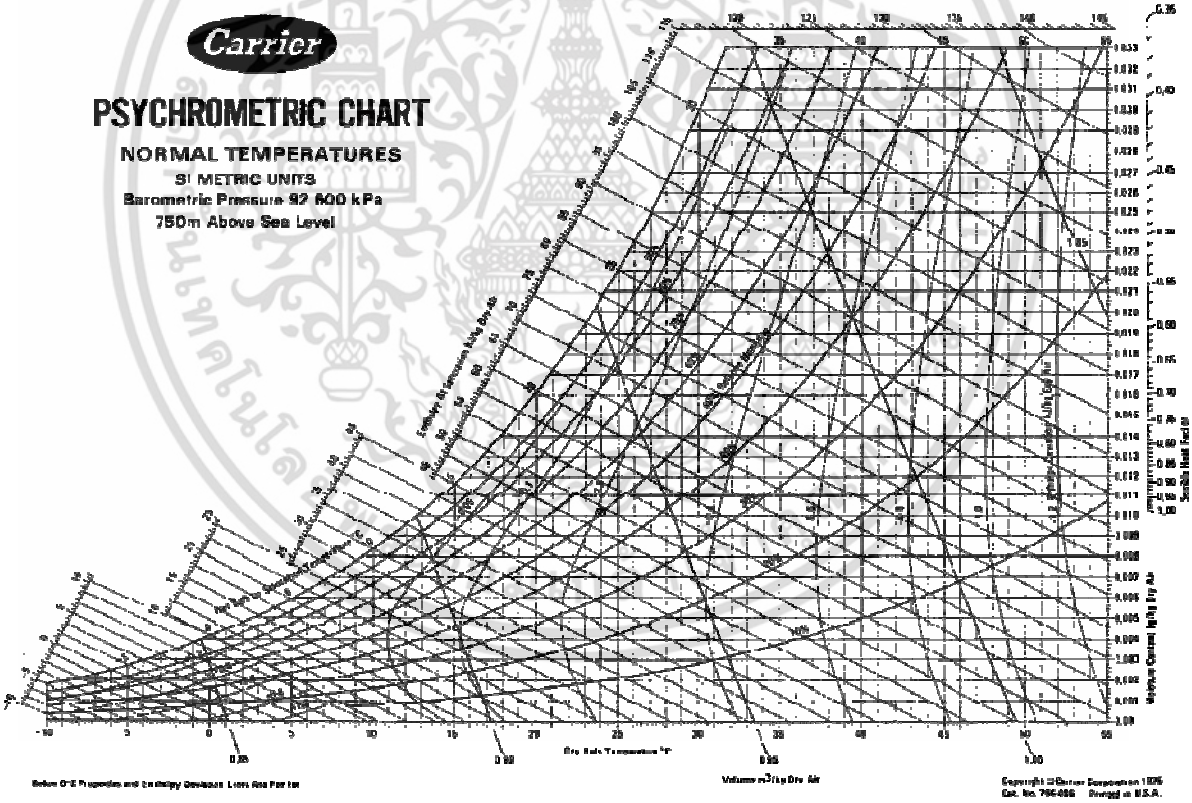
Q = การคำนวณภาระการทำความเย็น (BTU/hr)

CFM = อัตราการจ่ายลมของระบบปรับอากาศ

h2 และ h1 = enthalpy ของลมจ่ายและลมกลับซึ่งอ่านค่าได้จาก Psychometric Chart (รูปที่ 2.8)

h2 = สภาวะอุณหภูมิและความชื้นด้านลมกลับ (Btu/lbs)

h1 = สภาวะอุณหภูมิและความชื้นด้านลมจ่าย (Btu/lbs)



รูปที่ 2.11 แผนภูมิ Psychometric Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 **สภาวะน่าสบาย**

Bioclimatic Chart ของกรุงเทพฯ แสดงถึงขอบเขตความสบายของกรุงเทพฯ อยู่ที่อุณหภูมิ 22 – 27 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 20 - 75 % จัดทำโดย The Center for Tropical and Near Eastern Architecture, Pratt Institute,Brooklyn, N.Y. 1967 - 1968 จากสภาพภูมิศาสตร์และภูมิอากาศของประเทศไทยซึ่งมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ใกล้เขตเส้นศูนย์สูตรโดยมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เกือบตลอดปีนั้นเมื่อวิเคราะห์จากการศึกษาของ Victor Olgyay ผนวกกับการศึกษาอื่นๆทำให้ได้ข้อสรุปซึ่งเป็นช่วงกว้างๆของเขตสบายของประเทศไทยที่อุณหภูมิ 22 - 27 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 20 – 75 % ความเร็วลมค่อนข้างสงบอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวพื้นโดยรอบมีค่าเท่ากันการแต่งกายเป็นแบบลำลองและกิจกรรมเบาๆและเมื่อสภาวะอากาศอยู่นอกขอบเขตสบายนี้โดยมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าที่กำหนดก็สามารถใช้กระแสลมที่มีความเร็วที่เหมาะสมมาช่วยให้อยู่ในเขตสบายได้อุณหภูมิภายในของร่างกายเฉลี่ยที่ประมาณ 37.5 °C และที่ผิวของร่างกายควรมีอุณหภูมิประมาณ 32 °C จึงจะรู้สึกสบายและถ้าระดับความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับช่วง 20 - 80 % อุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 21 - 26 °C ปริมาณของอากาศที่เคลื่อนที่อยู่ระหว่างความเร็วประมาณ 0.051 - 1.02m/s ก็จะสามารถทำให้ร่างกายมีโอกาสที่อยู่ในสภาวะน่าสบาย

ดังนั้นการออกแบบจึงคำนึงเรื่องควบคุมสภาวะน่าสบายในอาคารและประหยัดพลังงานไปด้วยซึ่งอาจแยกเป็นแนวทางของการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานได้สองแนวทางใหญ่ๆคือ

- แบบพึ่งพาธรรมชาติ
- แบบพึ่งพาเครื่องกลโดยติดตั้งระบบปรับอากาศเป็นหลัก

2.4 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

งานวิจัย“**การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทอาคารหอสมุดในสถาบันการศึกษา เพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา : อาคาร 7 สำนักหอสมุดและศูนย์สาระสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต** “ ของ พีระพงษ์ โมลิกา (2546)

การศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันเพื่อที่จะลดการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยจะทำการศึกษากรณีของอาคารหอสมุดในสถาบันการศึกษา เนื่องจากหอสมุดนี้มีดัชนีการใช้พลังงานที่สูง กว่าอาคารอื่นๆในสถาบันการศึกษา หรืออาคารเรียนทั่วๆไป โดยใช้ “ อาคาร 7 สำนักหอสมุดและศูนย์สาระสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต “ เป็นอาคารกรณีศึกษา จากการศึกษาพบว่ากรณีศึกษามีการใช้พลังงานภายในอาคารโดยเฉพาะในส่วนระบบปรับอากาศ เท่ากับ 478,115 kWh. ต่อปี คิดเป็น 64.47%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ในอาคาร การที่อาคารกรณีศึกษามีค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่สูง เนื่องจากกรอบอาคารอาจไม่มีประสิทธิภาพ ในการป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร

โดยอาคารที่มีการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร เท่ากับ 82.56 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาเท่ากับ 53.85 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าภาระการทำความเย็น (Cooling Load) เฉพาะในส่วนกรอบอาคาร เท่ากับ 13,905,222 บีทียู-ชม. คิดเป็น 44% ของภาระการทำความเย็นโดยรวมของทั้งอาคาร

ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุที่ทำให้กรอบอาคารไม่มีประสิทธิภาพ ได้ดังนี้

1. อุปกรณ์บังแดดของอาคารไม่มีประสิทธิภาพในการบังแดดให้กับอาคารเนื่องจากขนาดของอุปกรณ์บังแดดละลักษณะการจัดวางทิศของอาคาร
2. พื้นที่ส่วนที่เป็นผนังกระจกมีพื้นที่ที่มากเกินไป โดยมีอัตราส่วนของช่องเปิด เท่ากับ 50% และค่าสัมประสิทธิ์ การบังแดดของกระจกมีค่าสูง คือ 0.96 แนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคาร ทั้งในส่วนผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และในส่วนของหลังคานั้น ให้มีแนวทางที่เหมาะสมกับรูปแบบโครงสร้างเดิมของอาคาร

จากการศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้จึงมีกรอบแนวความคิดงานวิจัยเรื่องของ สาเหตุที่ทำให้กรอบอาคารไม่มีประสิทธิภาพ อุปกรณ์บังแดดของอาคารไม่มีประสิทธิภาพในการบังแดดให้กับอาคาร เนื่องจากขนาดของอุปกรณ์บังแดดและลักษณะการจัดวางทิศของอาคารและพื้นที่ส่วนที่เป็นผนังกระจกมีพื้นที่ที่มากเกินไปมีค่าภาระการทำความเย็นเฉพาะในส่วนกรอบอาคารสูง

งานวิจัย **“แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารเพื่อลดการ ถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) และการใช้พลังงานในอาคาร ประเภทสำนักงาน กรณีศึกษา : อาคารไทยประกันชีวิต”** ของ ธนาวุฒิ ขุนทอง(2538)

อาคารไทยประกันชีวิต เป็นอาคารกรณีศึกษา จากการศึกษาพบว่าอาคารไทยประกันชีวิตมีการใช้พลังงาน ไฟฟ้าภายในอาคารโดยรวมเท่ากับ 77,725,534 kWh ต่อปี ซึ่ง จะเป็นการใช้เพื่อการปรับอากาศเท่ากับ 5,498,180 kWh ต่อปี คิดเป็น 71.2% ของการใช้พลังงานทั้งอาคาร จากการ วิเคราะห์ทำให้ทราบว่า การที่อาคารไทยประกันชีวิต มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศสูง เนื่องจากกรอบอาคาร ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน ที่จะถ่ายเทเข้า สู่อาคาร โดยที่อาคารมีค่า OTTV เท่ากับ 79.6 วัตต์ต่อตาราง เมตรและมีค่าภาระความเย็นเฉพาะในส่วนของกรอบอาคารเท่ากับ 5,097,364 Btu/h คิดเป็น 74.0% ของโหลดภาระความเย็นรวมทั้งอาคาร ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุที่ทำให้ส่วนของกรอบอาคารไม่ มีประสิทธิภาพได้ดังนี้ 1) อุปกรณ์บังแดดของอาคารไม่มีประสิทธิภาพที่จะบัง แดดให้กับอาคาร เนื่องจากขนาดของอุปกรณ์บังแดดและการวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางของตัวอาคาร พื้นที่ส่วนที่เป็นกระจกของกรอบอาคารมีมากเกินไป โดยมีอัตราส่วนช่วงปิดเท่ากับ 48% และกระจกมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) สูงเท่ากับ 0.64 จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะปรับปรุงกรอบ อาคารสามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงอาคารในส่วนพื้นที่กระจก มีความเป็นไปได้สูงโดยจะมีแนวทางและวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม กับโครงสร้างเดิมในการที่จะปรับปรุงอยู่ 2 แนวทาง คือ 1) วิธีการลดพื้นที่กระจกโดยติดตั้งระบบผนังกันร้อน ภายนอก ซึ่งจะทำให้อัตราส่วนช่องเปิด ลดลงเหลือ 38.4% 2) วิธีการติดฟิล์มกรองแสงให้กับกรอบอาคารส่วนเป็น กระจก เพื่อที่จะลดค่าสัมประสิทธิการบังแดด (SC) ของ กระจกลงเหลือ 0.32 การวิเคราะห์ภายหลังการออกแบบปรับปรุงกรอบอาคาร พบว่าอาคารไทยประกันชีวิต จะมีค่าการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยรวมเท่ากับ 6,515,845 kWh ต่อปี ซึ่งลดลงจากเดิมเท่า กับ 1,209,689 kWh ต่อปี และมีการใช้พลังงานเพื่อการปรับ อากาศเท่ากับ 4,288,491 kWh ต่อปี คิดเป็น 65.8% ของการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งลดลงจากเดิมเท่ากับ 1,209,689 kWh ต่อปี ทั้งนี้เป็นผลมาจากการปรับปรุงกรอบอาคารจึงทำให้ อาคารมีค่า OTTV ลดลงเท่ากับ 40.9 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าภาระความเย็น ในส่วนของกรอบอาคาร เท่ากับ 3,395,213 Btu/h ซึ่งลดลงจากเดิมเท่ากับ 1,702,151 Btu/h ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการลดพลังงานของอาคารในส่วนการ ปรับอากาศลง สรุปได้ว่าแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร ในการวิจัยนี้ จะสามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคาร และทำให้สภาพของอาคารอยู่ในเกณฑ์กำหนดของพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานตามมาตราที่ 19 ซึ่งมีสาระ สำคัญในการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร นับเป็นการสนองนโยบาย ของรัฐบาลในการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ ความเป็นไปได้ในการที่จะปรับปรุงกรอบ อาคารสามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงอาคารในส่วนพื้นที่กระจก มีความเป็นไปได้สูงโดยจะมีแนวทางและวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม กับโครงสร้างเดิมในการที่จะปรับปรุงอยู่ 2 แนวทาง คือ 1) วิธีการลดพื้นที่กระจกโดยติดตั้งระบบผนังกันร้อน ภายนอก ซึ่งจะทำให้อัตราส่วนช่องเปิด ลดลงเหลือ 38.4% 2) วิธีการติดฟิล์มกรองแสงให้กับกรอบอาคารส่วนเป็น กระจก เพื่อที่จะลดค่าสัมประสิทธิการบังแดด (SC) ของ กระจกลงเหลือ 0.32 การวิเคราะห์ภายหลังการออกแบบปรับปรุงกรอบอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กรอบแนวความคิด

2.5.1 เพื่อเสนอแนวทางในการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่2ปี พ.ศ.2550

ตารางที่ 2.11 เกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 ปี พ.ศ. 2550

ระบบอาคาร	อาคาร สำนักงาน,สถานศึกษา	
ระบบกรอบอาคาร	OTTV ≤ 50W/m²	
	RTTV ≤ 15W/m²	
ระบบไฟฟ้า	14 W/m²	
ระบบปรับอากาศ	COP = 2.82	EER = 9.62 $\frac{\text{Btuh}^{-1}}{\text{w}}$

2.5.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

ความร้อนของแสงอาทิตย์ในเขตร้อนเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องหาทางลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าไปในอาคารโดยเฉพาะส่วนที่เป็นช่องเปิด (void) จะต้องมีความระมัดระวังยิ่งขึ้นโดยมีผลการวิจัยที่ทำในประเทศไทยหัวข้อการวิจัยเพื่อหาขนาดตันความเย็นเพื่อติดตั้งเครื่องปรับอากาศของอาคารสำนักงาน (Office Building) ต่างๆในกรุงเทพฯปรากฏว่าอาคารที่มีแผงกันแดดและมีกันสาดต้องการความเย็นประมาณ 20 – 30 ตารางเมตร/ตันความเย็นส่วนอาคารที่ผนังเป็นกระจกไม่มีแผงกันแดดมากนักต้องการความเย็น 15 – 17 ตารางเมตร/ตันความเย็นจะเห็นได้ว่าการออกแบบที่คำนึงถึงการลดความร้อนเข้าสู่อาคารจะเป็นการประหยัดขนาดของเครื่องปรับอากาศให้มีขนาดเล็กลงได้ทำให้ค่าการใช้พลังงานรวมก็จะลดลงตามไปด้วย

EER : Energy Efficiency Ratio อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน เป็นดัชนีที่มีความสำคัญในการเปรียบเทียบความสามารถ ของระบบปรับอากาศ หากเครื่องปรับอากาศมีค่า EER สูงแสดงว่าเครื่องปรับอากาศนั้นมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้ดี ซึ่งในประเทศไทยในปัจจุบันเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงมีค่าเท่ากับ 10.6-11 (บีทียูต่อวัตต์ชั่วโมง) ที่มา : Electricity Generating Authority of Thailand [EGAT],2005

COP. :Coefficient of Performance เป็นสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นที่สำคัญตัวหนึ่ง หมายถึงปริมาณความเย็นที่ทำได้ (R.E.) เทียบกับพลังที่ใช้ขับคอมเพรสเซอร์ เครื่องทำความเย็นที่ประหยัดพลังงานจะมีค่าCOPสูงค่า COP แปรเปลี่ยนตามสภาวะการออกแบบ ภาระการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสภาวะการใช้งานของเครื่อง ผู้ออกแบบเครื่อง สร้างเครื่อง ทำการบำรุงรักษาโดยค่า COP และ EER เป็นการกำหนดประสิทธิภาพ เครื่องปรับอากาศนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้างเครื่องมือ

3.1 เครื่องมือและวิธีการวิจัยในการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

3.1.1 โปรแกรม Building Energy Code (BEC)

โปรแกรม BEC หรือ Building Energy code เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารซึ่งจัดทำใหม่ภายใต้ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่มีผลบังคับใช้จริงในเดือน มิถุนายน 2551

โปรแกรม BEC

1. โครงสร้างของโปรแกรม BEC

    1.1 ฐานข้อมูล

    1.2 แบบจำลองอาคาร

    1.3 การรายงานผล

2. ตัวอย่างการใช้โปรแกรม

    2.1ลักษณะของอาคารตัวอย่าง

    2.2 การป้อนข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

รูปที่ 3.1 หน้าหลักของโปรแกรมBEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนูหลักของโปรแกรม

ฐานข้อมูล

- วัสดุกรอบอาคาร (ผนังทึบ ผนังกระจก อุปกรณ์บังแดด)

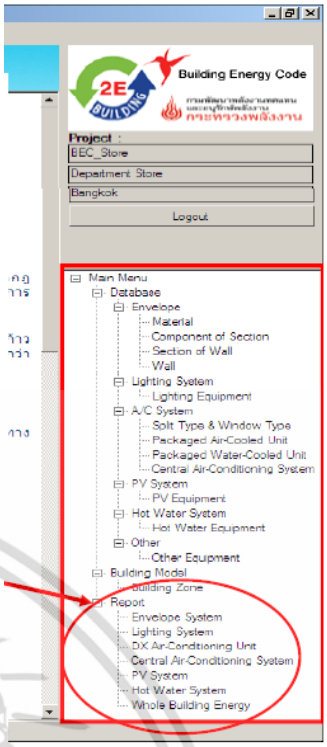
- ส่วนของผนังอาคาร

- อุปกรณ์ของระบบอาคาร (ไฟฟ้าแสงสว่าง , ปรับอากาศ.....)

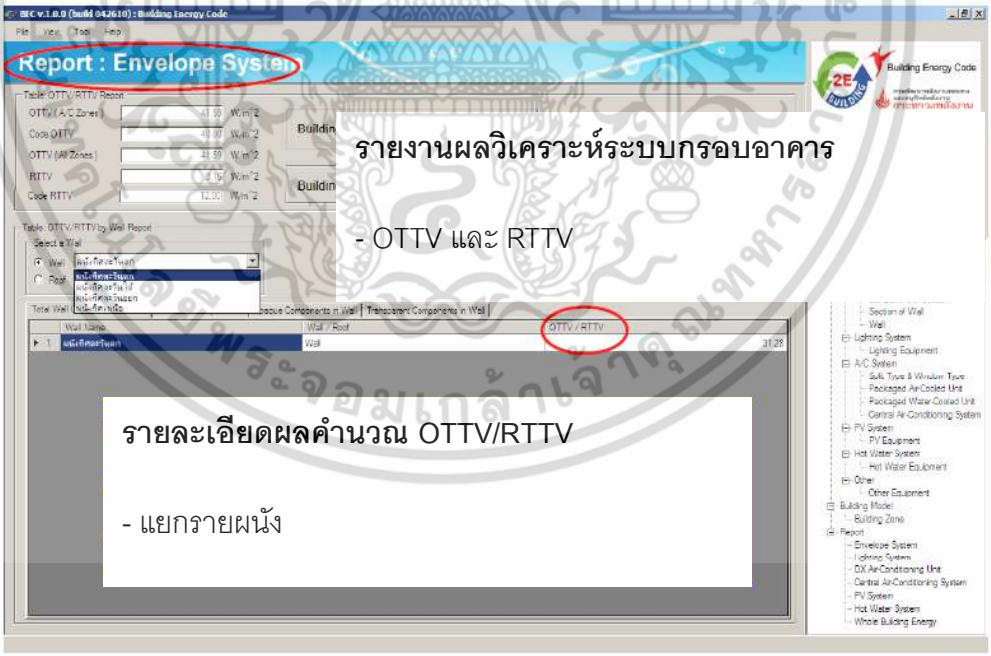
แบบจำลองอาคาร

- การสร้างแบบจำลองอาคาร (โซน)

- การป้อนข้อมูลอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับอาคาร

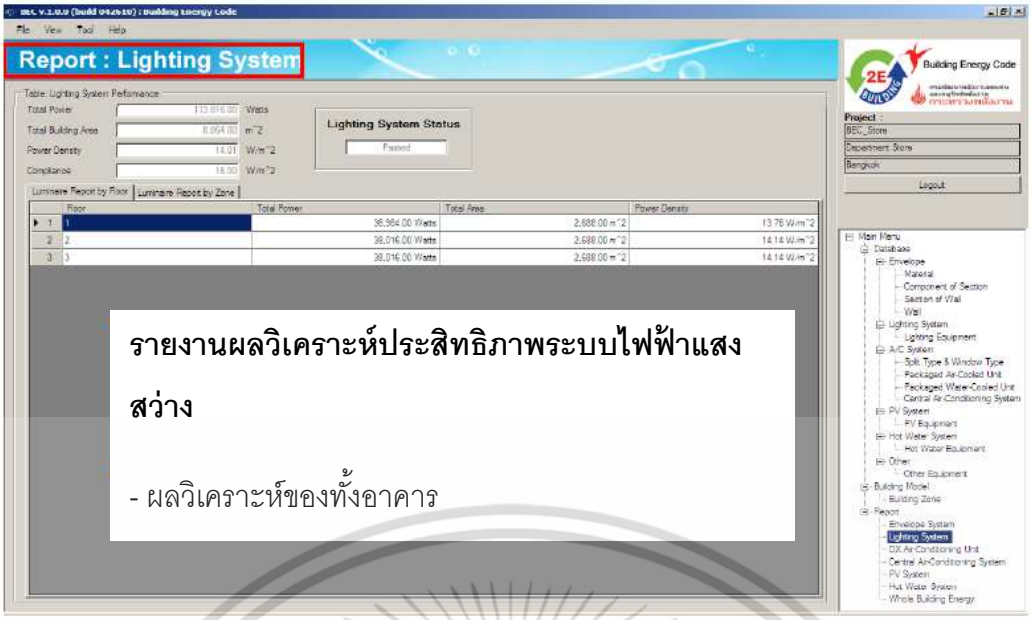


รูปที่ 3.2 เมนูหลักของโปรแกรม



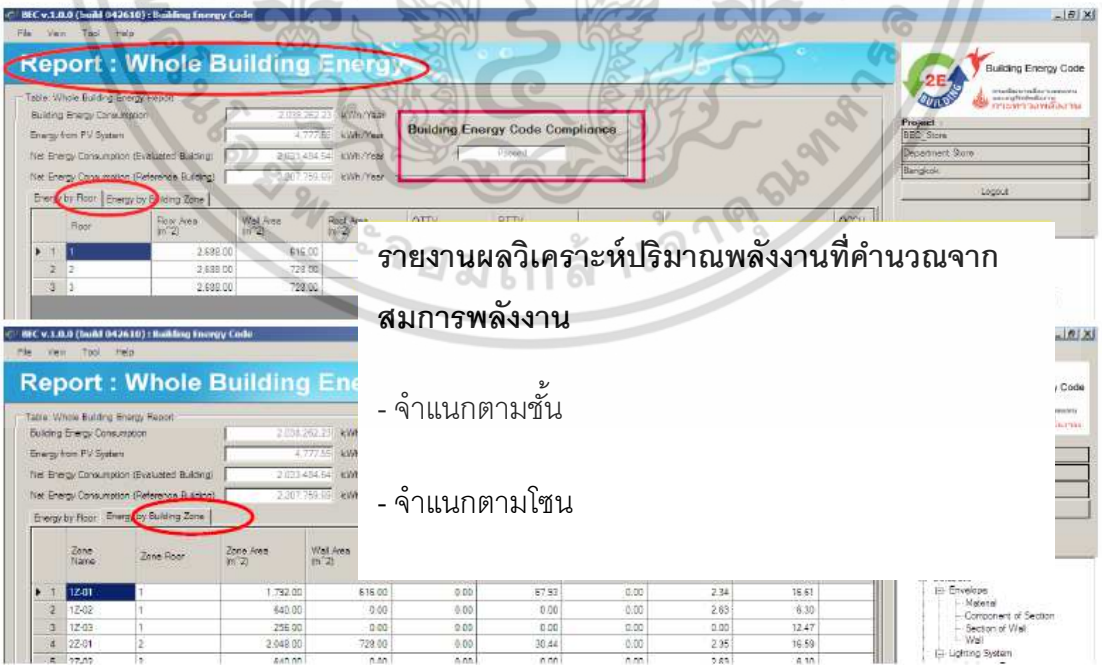
รูปที่ 3.3 รายงานผลวิเคราะห์ –ระบบกรอบอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รายงานผล –ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

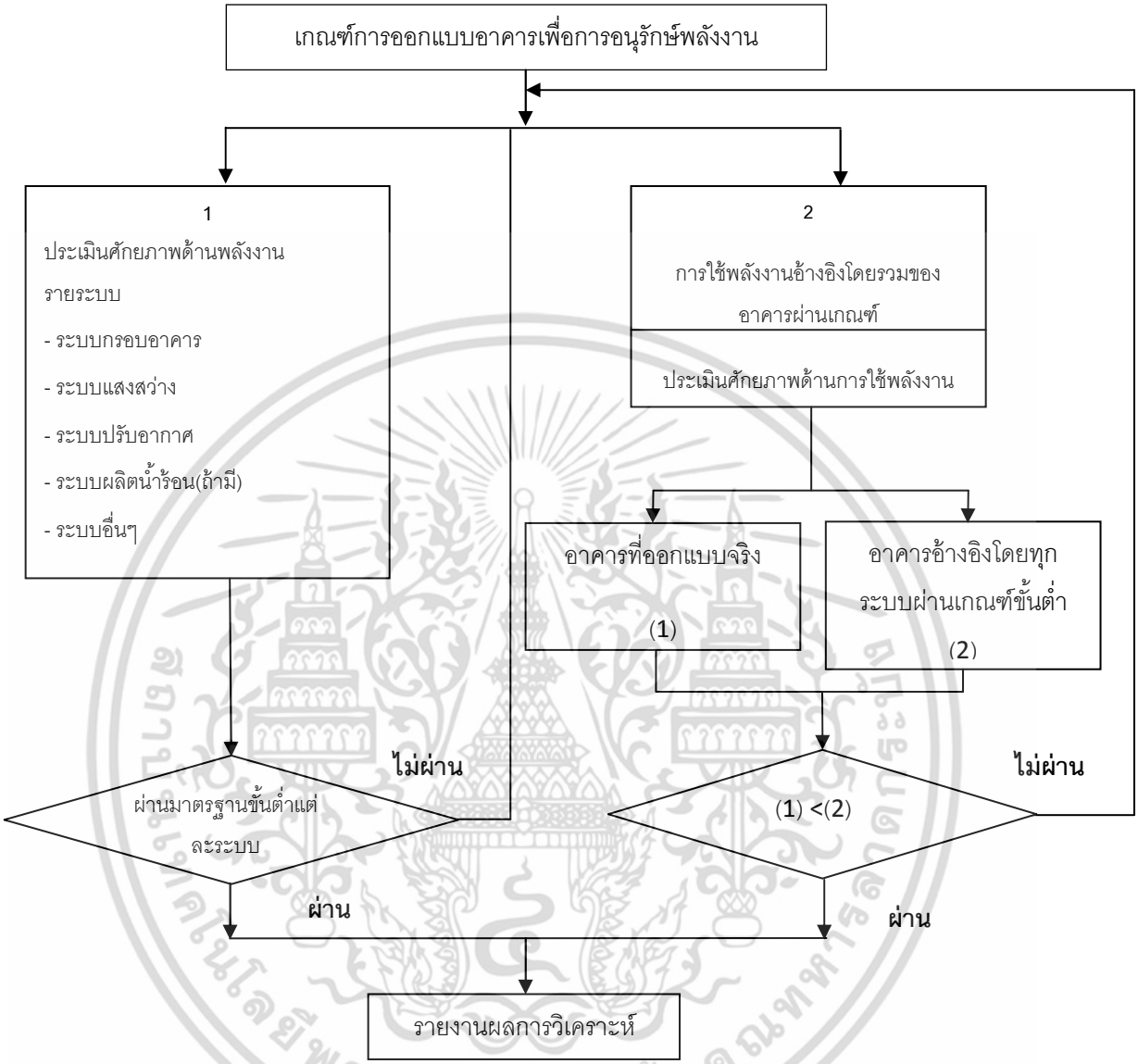
รูปที่ 3.5 รายงานผล วิเคราะห์–ระบบปรับอากาศ



รูปที่ 3.6 รายงานผล วิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบอาคาร



รูปที่ 3.7 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบอาคาร

การเตรียมข้อมูลสำหรับโปรแกรม(BEC)

1. ประเภทอาคารที่ตั้งอาคาร ทิศ
2. กรอบอาคาร - รายละเอียดวัสดุ
   - รายละเอียดของส่วนประกอบรูปตัดผนัง ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง
   -รายละเอียดที่จะประกอบเป็นด้านของผนัง
   -รายละเอียดของด้านของผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รายละเอียดของชุดโคมไฟ

4. รายละเอียดของชุดอุปกรณ์ปรับอากาศ

5. รายละเอียดระบบอื่นๆ

6. รายละเอียดของเขตพื้นที่ภายในอาคาร

3.1.2 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ

ในโอกาสครบรอบ 50 ปี สถาบันฯ ได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินเปิดอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี หรือ อาคารปฏิบัติการกลางทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พร้อมทั้งทรงเปิดอาคารวิจัยนาโนเทคโนโลยีในวันที่ 24 สิงหาคม 2553 ซึ่งก่อสร้างเพื่อเป็นห้องวิจัยขั้นสูงในหลายสาขา เช่น สิ่งแวดล้อม ดาราศาสตร์ รวมทั้งดนตรีไทย

ข้อมูลทั่วไป

ประเภทอาคาร : สถานศึกษา

เจ้าของโครงการ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ออกแบบ : อาจ วสุวานิช , อภิชัย อยู่พุ่ม

สถานโครงการ : ก่อสร้างแล้วเสร็จ

พื้นที่ใช้สอย

พื้นที่ใช้สอยรวม : 9419.54 ตารางเมตร

พื้นที่ปรับอากาศ : 4746.94 ตารางเมตร

พื้นที่ไม่ปรับอากาศ : 3738.7 ตารางเมตร

พื้นที่จอดรถในอาคาร : -

พื้นที่ใช้สอยดาดฟ้า : 933.9 ตารางเมตร

รูปแบบอาคารส่วนใหญ่

จำนวนชั้นความสูง/ : 8 ชั้น ดังนี้

1. ชั้นที่ 1 เป็นพื้นที่เปิดโล่ง มีส่วนของห้องเครื่องไฟฟ้า , ปั๊มน้ำ , ห้องSERVER

2. ชั้นที่ 2 เป็นพื้นที่ห้อง CLEAN ROOM, ห้องปฏิบัติการ , ห้องสัมนา ป.โท/เอก,ห้องธุรการ, ห้องรับรอง ,

3. ชั้นที่ 3 เป็นพื้นที่ห้องพักผู้บริหาร 1 , CLEAN ROOM, ห้องปฏิบัติการ , ห้องสัมนา ป.โท/เอก,ห้องธุรการ, ห้องรับรอง ,

4. ชั้นที่ 4 เป็นพื้นที่ สำนักงาน ,ห้องปฏิบัติการMOBILE ,ห้องปฏิบัติการCIRCUIT, ห้องปฏิบัติการMIXED , ห้องพักรองผู้อำนวยการ ,ห้องพักผู้อำนวยการ ,ห้องประชุมย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ชั้นที่ 5 เป็นพื้นที่ห้องสัมนาและ กิจกรรม ,ห้องปฏิบัติการNETWORK , ห้องปฏิบัติการ MV , ห้องปฏิบัติการIS , ห้องปฏิบัติการMD,R&D , ห้องปฏิบัติการCONTROL , ห้องปฏิบัติการ EME , ห้องปฏิบัติการSIGNAL , ห้องปฏิบัติการSATELLITE , ห้องปฏิบัติการWIRELESS , ห้องปฏิบัติการBIO, ห้องปฏิบัติการEMC

6. ชั้นที่ 6 เป็นพื้นที่ห้องสัมนาและ กิจกรรม ,ห้องปฏิบัติการ

7. ชั้นที่ 7 เป็นพื้นที่ห้องสัมนาและ กิจกรรม ,ห้องปฏิบัติการ

8. ชั้นที่ 8 เป็นพื้นที่เปิดโล่ง มีส่วนของเครื่องลิฟท์ ,พื้นถังเก็บน้ำ

ผนัง : ผนังภายนอกคอนกรีตมวลเบา หนา 15 cm. ฉาบปูนเรียบทาสีอะคริลิก 100% สีเทา

ผนังภายในอาคาร ใช้เป็นส่วนกันพื้นที่ภายใน ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา หนา 7.5 cm. ฉาบปูนเรียบทาสีอะคริลิก 100%

โครงสร้าง : เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมด เสาคอนกรีตสี่เหลี่ยม ขนาด 60 x 60 ม. พื้นคอนกรีตหล่อในที่ หนา 250 มม.ส่วนแถบเสาหนา 500 มม. ส่วนวัสดุผิวแตกต่างกันไปตามพื้นที่ใช้งาน

ช่องเปิด (Openning Wall)หรือผนังกระจก (Glazing Wall):กระจกใส 6 มม.และ กระจกใสกันเสียง 2ชั้น

หลังคา: หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Flat Slab) ความหนา 250 มม.มีระยะช่องว่างของอากาศ จากท้องพื้นคอนกรีต ถึงฝ้าเพดาน400 มม.ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. บุฉนวนกันความร้อน โครงเคร่าเหล็กอาบสังกะสี ฉาบเรียบทาสีอะคริลิก 100%

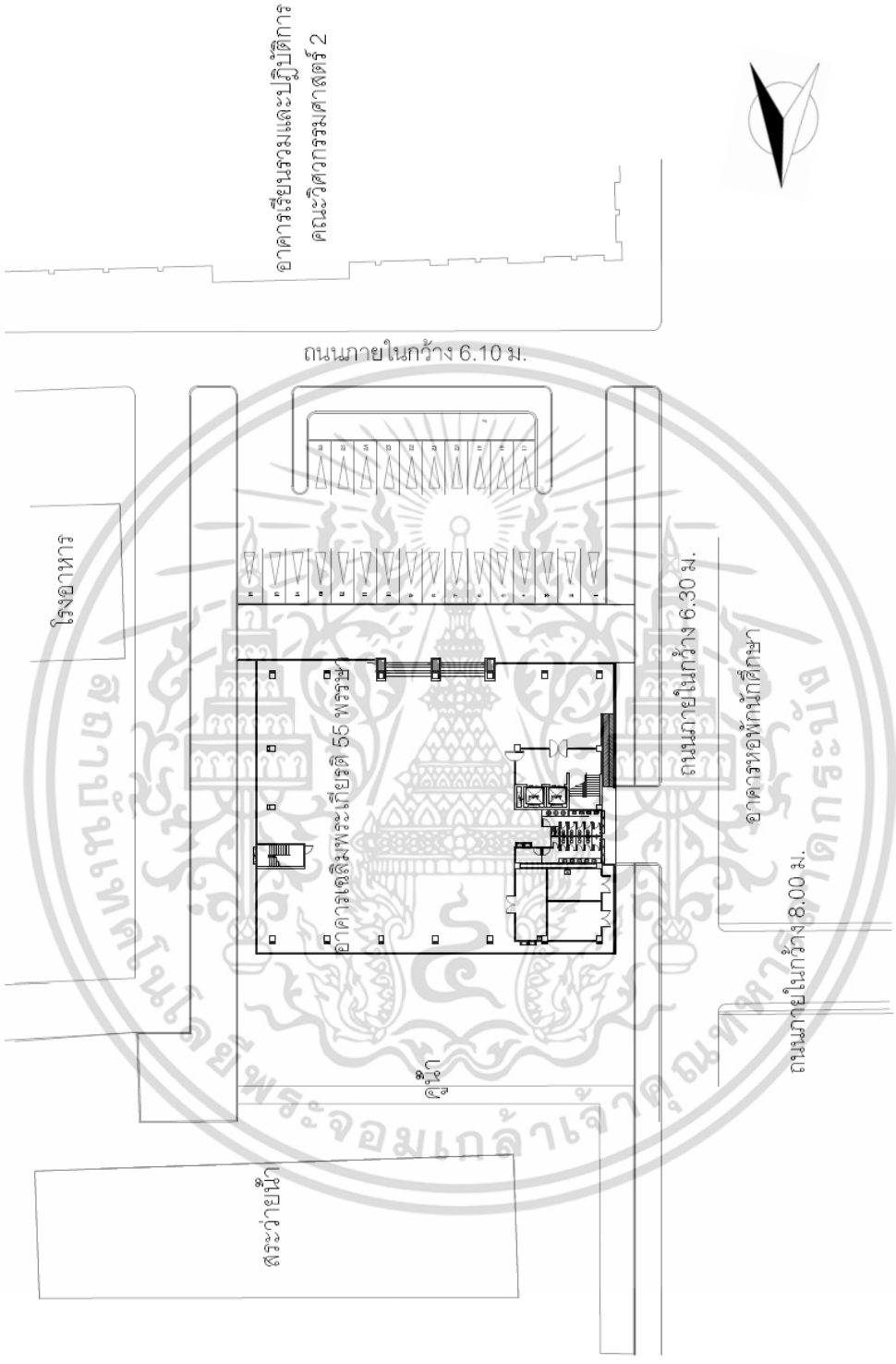
1. ทิศเหนือติดกับ สระว่ายน้ำ
2. ทิศใต้ติดกับ อาคารเรียนรวมและปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ 2
3. ทิศตะวันออกติดกับ โรงอาหาร
4. ทิศตะวันตกติดกับ อาคารหอพักนักศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 ผังบริเวณที่ตั้งโครงการ ซอยประชาอุทิศ 55 แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร

ที่มา : Google Earth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แบบแปลนชั้นที่ 1 คณะ ศศ ตึกสัญจรสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 บริษัทโตชิบาเอวีซีคอมพิวเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตึก SS ชั้นที่ 2 ห้องประชุมเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 ข้อมูลรายละเอียดวัสดุ

กรอบอาคารส่วนของผนัง (Section) ของอาคาร จากแบบอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯประกอบด้วย

- ส่วนของผนังทึบได้ 6 ลักษณะ
- ส่วนของผนังโปร่งแสงได้ 2 ลักษณะ

ตารางที่ 3.1 การใช้วัสดุประกอบในส่วนของผนังทึบ

ชื่อ Component of Section	**วัสดุ**	Conductivity (W/m-K)	Density (kg/m³)	Specific Heat (J/ kg-K)	Construction/ Thickness (m)
Column_1	คอนกรีต	1.442	2400	920	เสา 0.60
Beam_1	คอนกรีต	1.442	2400	920	คาน 0.40
Wall_1	ปูนฉาบสำหรับอิฐมวลเบา	0.326	1200	840	ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา หนา 0. 15ฉาบปูนเรียบทาสี
	คอนกรีตมวลเบา	0.476	1280	840	
	ปูนฉาบผสมสำหรับอิฐมวลเบา	0.326	1200	840	
Wall_2	ปูนฉาบสำหรับอิฐมวลเบา	0.326	1200	840	ผนังก่อคอนกรีตมวลเบาหนา 7.5 cm. ฉาบปูนเรียบทสี
	คอนกรีตมวลเบา	0.476	1280	840	
	ปูนฉาบผสมสำหรับอิฐมวลเบา	0.326	1200	840	
Roof_1	คอนกรีต	1.442	1200	920	หลังคา SLAP มีฉนวนใยแก้วฝ้ายิปซั่มบอร์ด
	Air Gap	0	0	0	
	ฉนวนใยแก้ว	0.039	12	960	
	ฝ้ายิปซั่มบอร์ด	0.306	725	1090	
D7	ไม้อัด	0.213	900	1210	ประตูไม้อัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การใช้วัสดุประกอบในส่วนของผนังโปร่ง

Component Name	SHGC	Visible Transmittance	Construction/Thickness
Clear Float Glass6 mm	0.82	0.88	
กระจกใสกันเสียง ชั้น 2	0.61	0.703	

3.1.2.2 รายละเอียดของส่วนประกอบรูปตัดผนัง ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง

ตารางที่ 3.3 ผนัง (Section) ของอาคาร

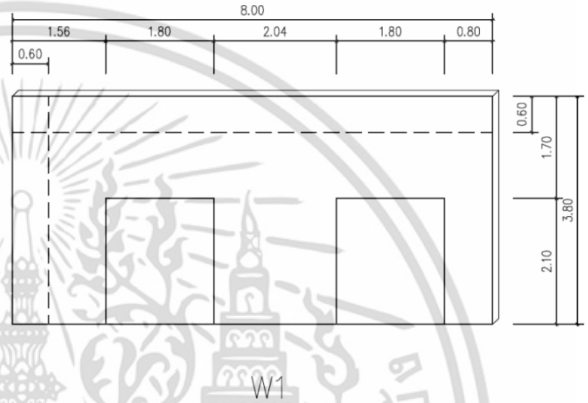
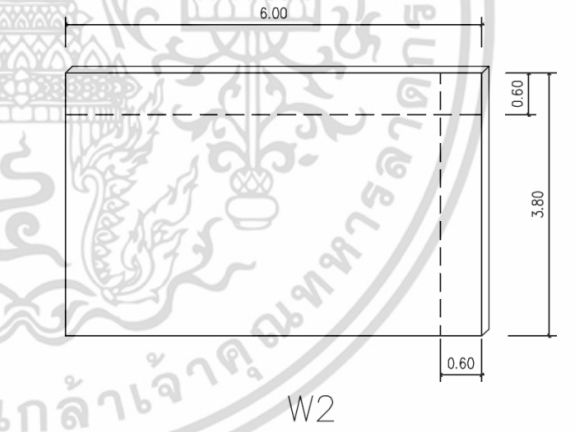
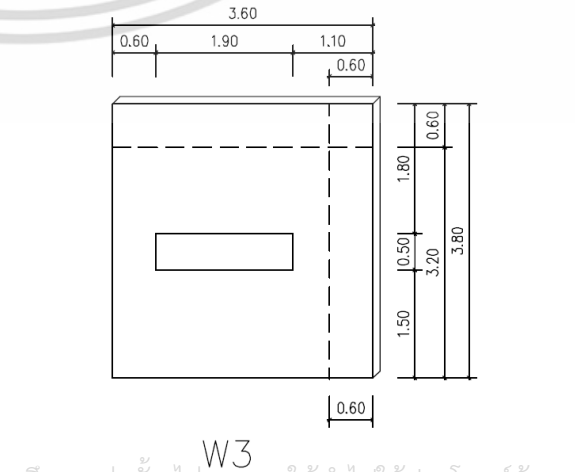
รหัสผนัง	**องค์ประกอบ**	**ความหนา (ม.)**
C	- ปูนฉาบ	0.015
	- คอนกรีต	0.60
	- ปูนฉาบ	0.015
B	- ปูนฉาบ	0.015
	- คอนกรีต	0.60
	- ปูนฉาบ	0.015
W1	- ปูนฉาบ	0.015
	- คอนกรีตมวลเบา	0.12
	- ปูนฉาบ	0.015
W2	- ปูนฉาบ	0.015
	- คอนกรีต	0.045
	- ปูนฉาบ	0.015
WIN 1	- กระจกใส	0.006
WIN 2	- กระจกใสกันเสียง	0.01
Roof	- คอนกรีต	0.25
	- air gap	0.40
	- ฉนวนใยแก้ว	0.05
	- ฝ้ายิปซั่มบอร์ด	0.009
D	- ไม้อัด	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.3 รายละเอียดที่จะประกอบเป็นด้านของผนัง

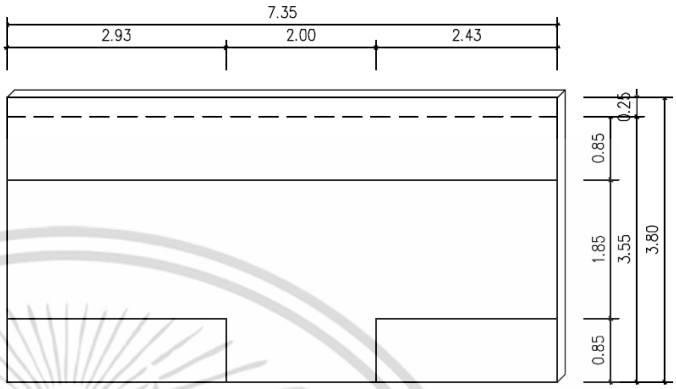
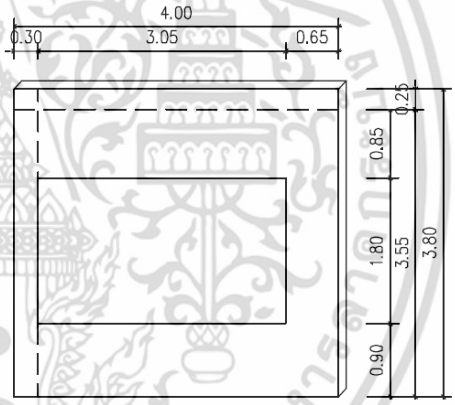
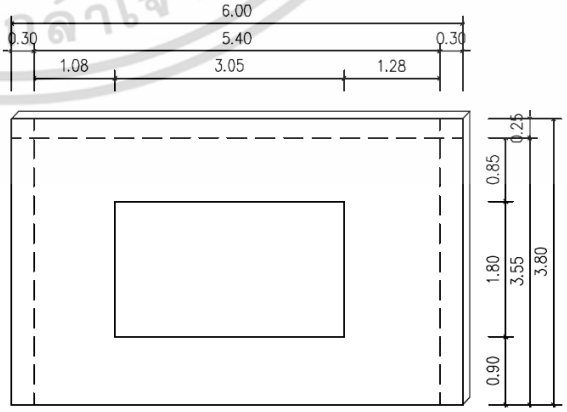
ประกอบไปด้วยรูปแบบของผนัง 12 รูปแบบรายละเอียดดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.4 ตารางข้อมูล ส่วนของผนัง

รหัส	**รายละเอียด**		**รูป**
	ส่วนของผนัง	**พื้นที่ (ตร.ม.)**	
W1	C	3.84	
	B	5.16	
	W1	16.12	
	D	7.56	
	พื้นที่รวม	32.68	
W2	C	1.92	
	B	3.6	
	W1	17.28	
	พื้นที่รวม	22.8	
W3	C	1.92	
	B	2.19	
	WIN 1	0.95	
	W1	8.81	
	พื้นที่รวม	13.87	

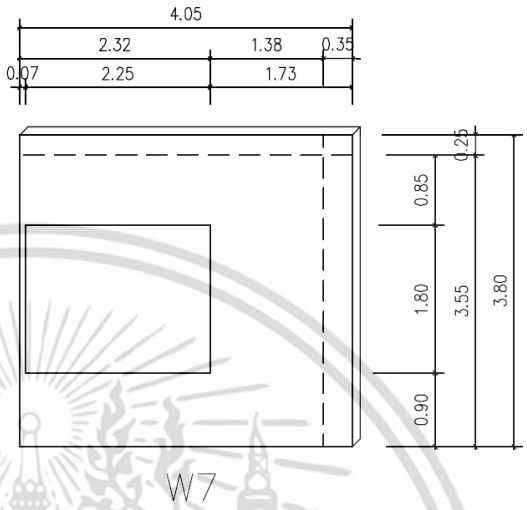
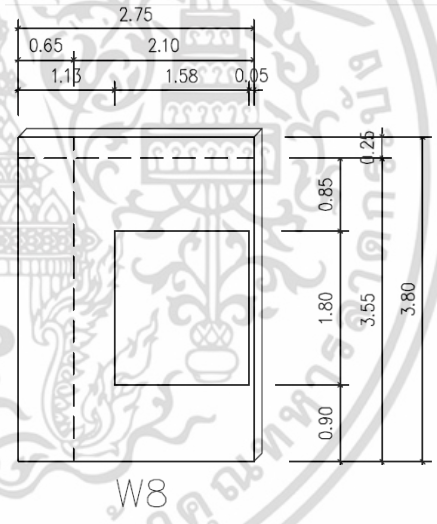
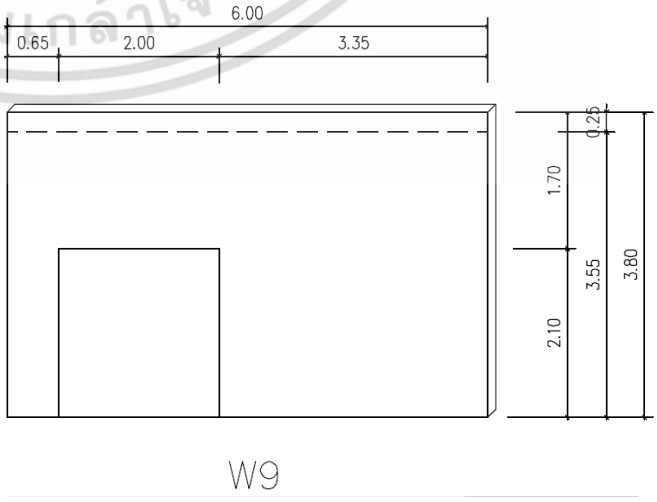
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

รหัส	**รายละเอียด**		**รูป**
	ส่วนของผนัง	**พื้นที่ (ตร.ม.)**	
W4	B	1.8375	
	WIN 1	15.353	
	พื้นที่รวม	17.190	
			W4
W5	C	1.065	
	B	1	
	WIN 2	5.185	
	W1	7.95	
	พื้นที่รวม	15.2	
			W5
W6	C	2.13	
	B	1.5	
	WIN 2	5. 49	
	W1	13.68	
	พื้นที่รวม	22.8	
			W6

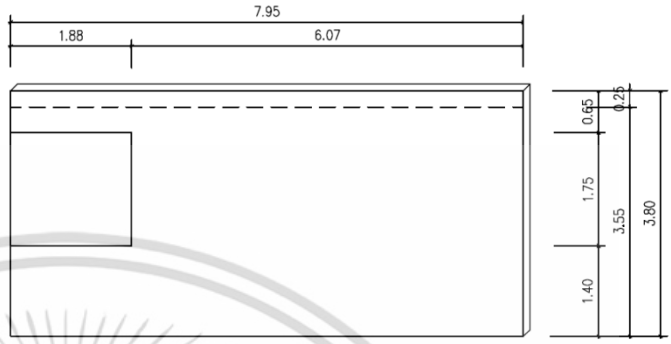
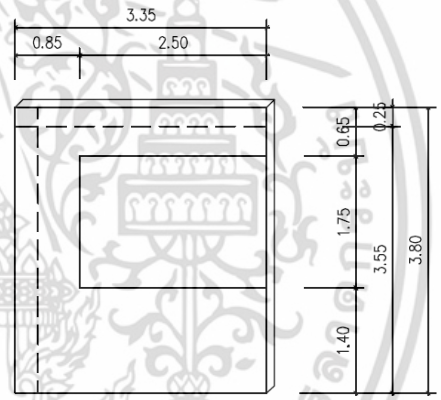
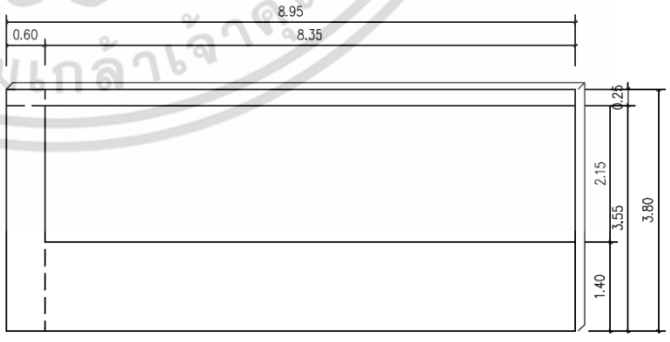
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

รหัส	รายละเอียด		รูป
	ส่วนของผนัง	**พื้นที่ (ตร.ม.)**	
W7	C	1.012	
	B	1.025	
	WIN 2	4.05	
	W1	9.303	
	พื้นที่รวม	15.39	
W8	C	2.13	
	B	0.6875	
	WIN 2	2.844	
	W1	4.7885	
	พื้นที่รวม	10.45	
W9	C	2.3	
	B	4.2	
	W1	28.46	
	พื้นที่รวม	34.96	

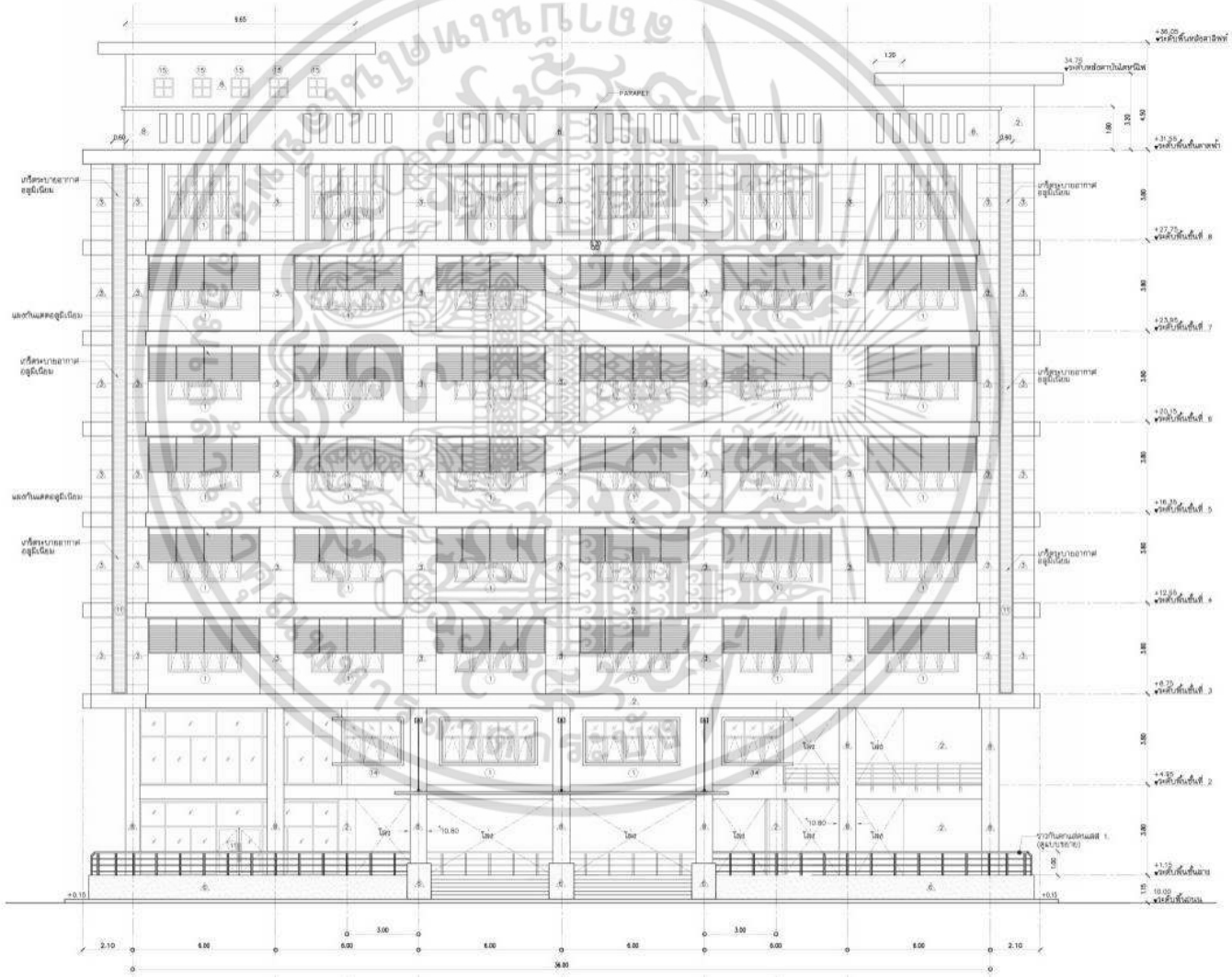
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

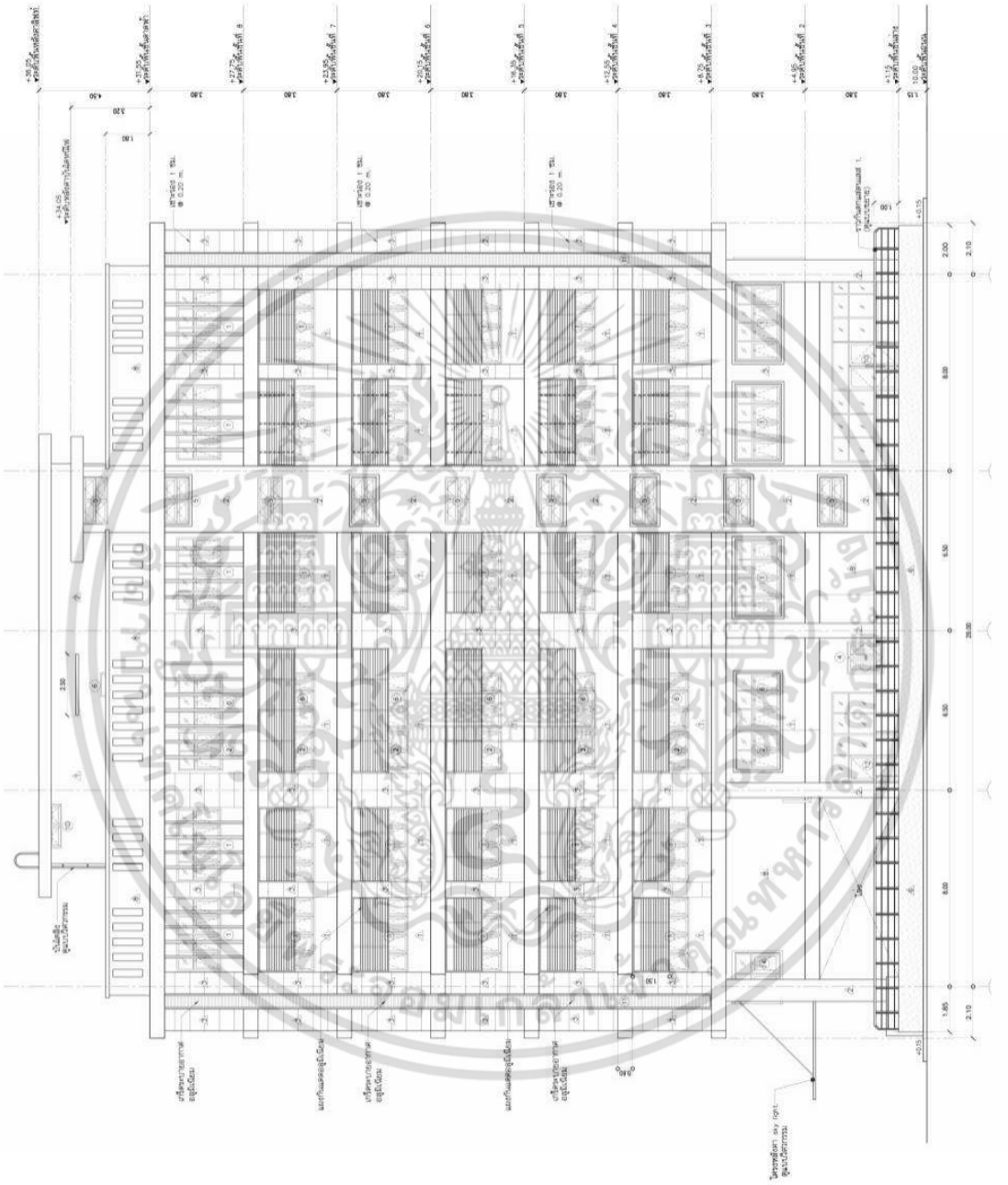
รหัส	**รายละเอียด**		**รูป**
	ส่วนของผนัง	**พื้นที่ (ตร.ม.)**	
W10	B	1.9875	
	WIN 2	3.29	
	W2	6.4725	
	พื้นที่รวม	11.75	W10
W11	C	1.065	
	B	0.8375	
	WIN 2	4.375	
	W2	6.4525	
	พื้นที่รวม	12.73	W11
W12	C	2.13	
	B	2.2375	
	WIN 2	17.9525	
	W2	11.69	
	พื้นที่รวม	34.01	W12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 รายละเอียดด้านของผนังรูปด้านอาคาร

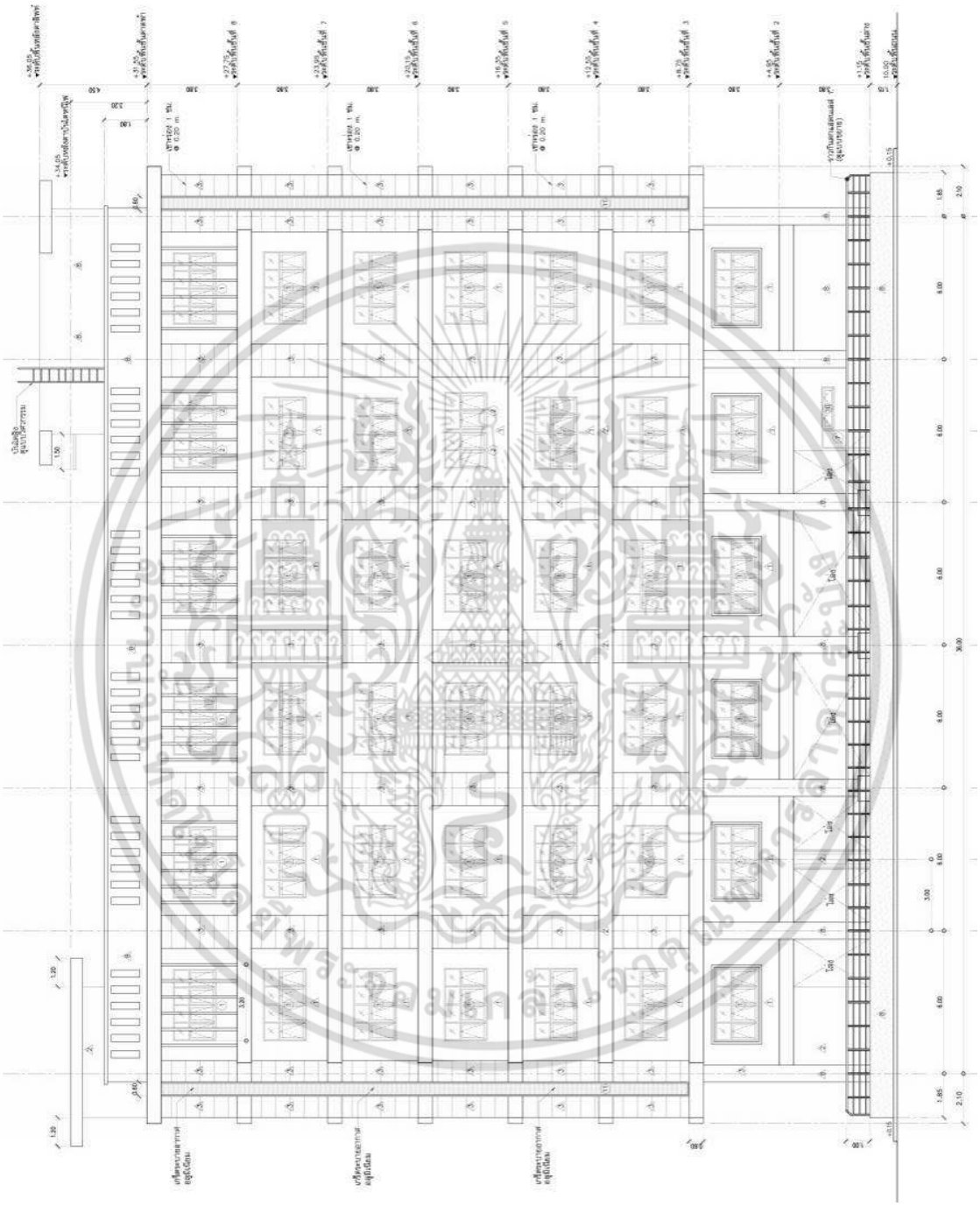


รูปที่ 3.11 รูปด้านทางทิศใต้



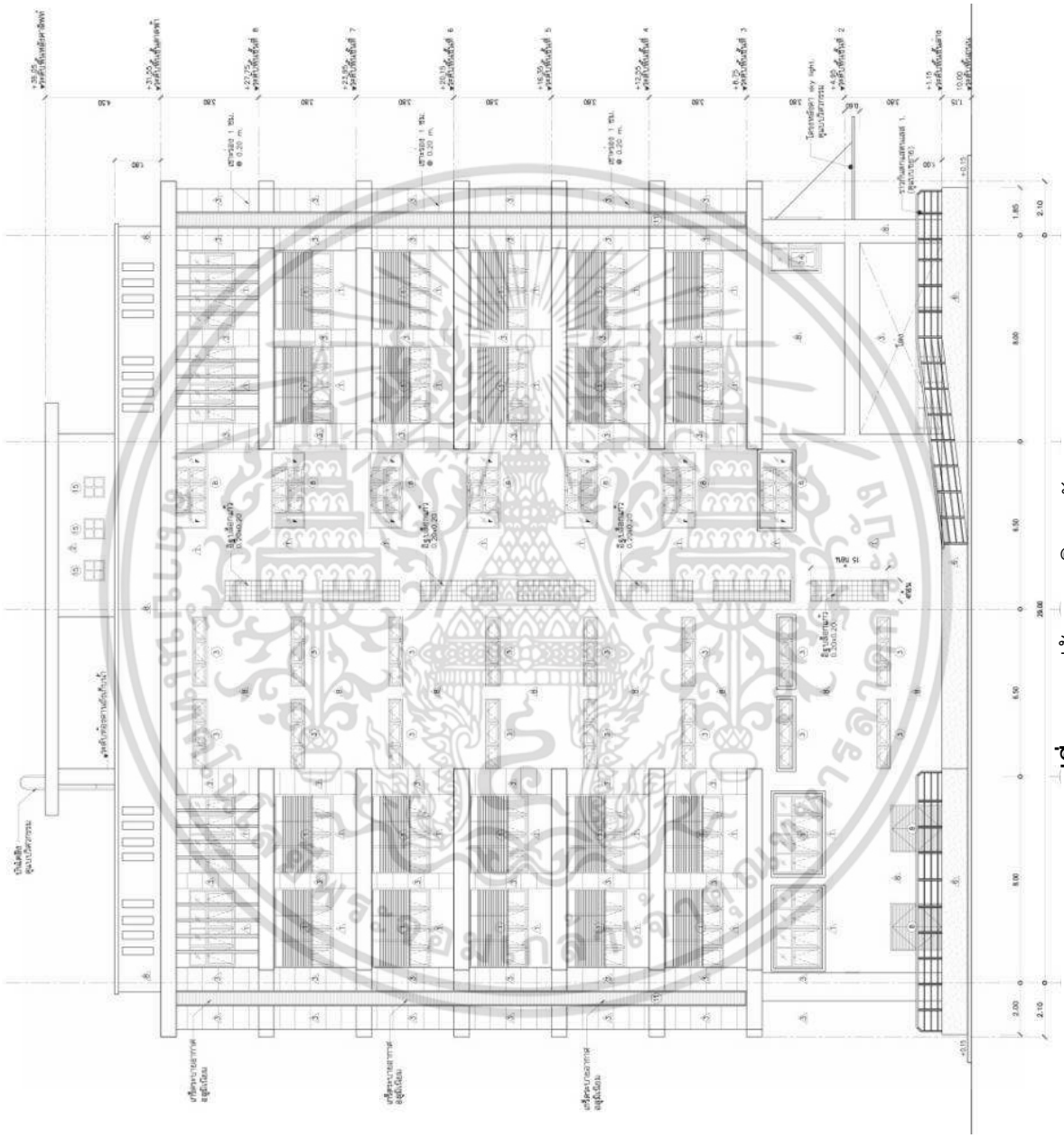
รูปที่ 3.12 รูปด้านทางทิศตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



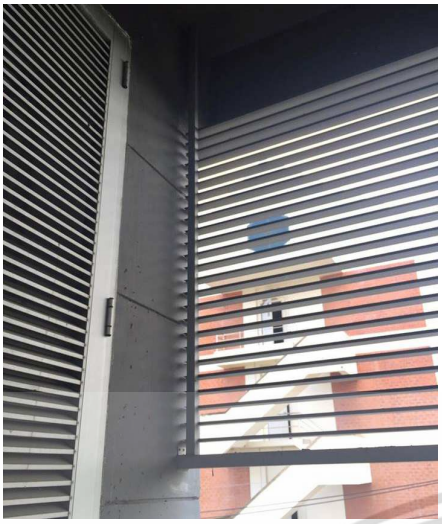
รูปที่ 3.13 รูปด้านทางทิศเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



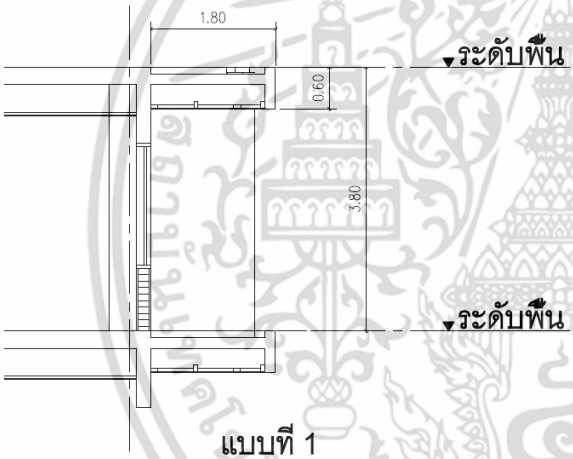
รูปที่ 3.14 รูปด้านทางทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

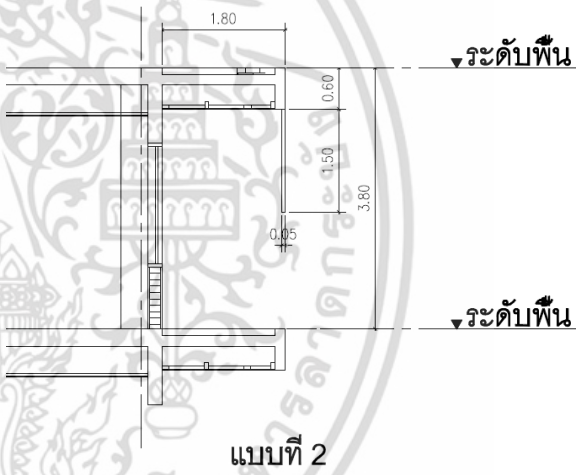


รูปที่ 3.15 ลักษณะแผงกันแดด1

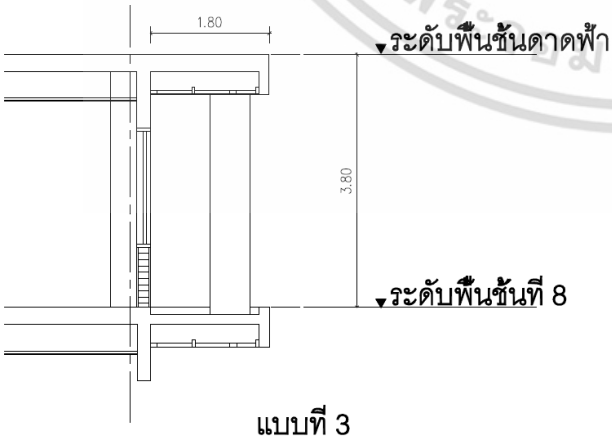
รูปที่ 3.16 ลักษณะแผงกันแดด2



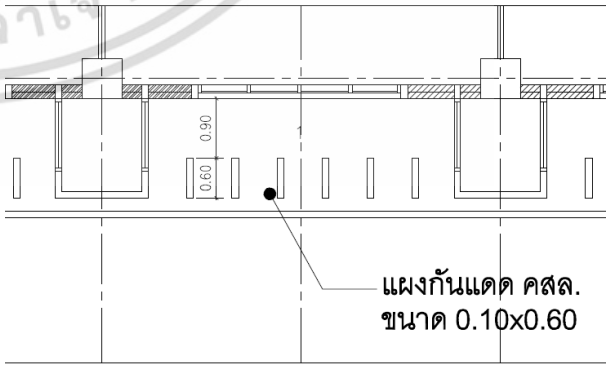
รูปที่ 3.17 รูปตัดแผงกันแดดแบบที่ 1



รูปที่ 3.18รูปตัดแผงกันแดดแบบที่ 2



รูปที่ 3.19 รูปตัดแผงกันแดดแบบที่ 3



รูปที่ 3.20 แปลนแผงกันแดดแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 ลักษณะช่องเปิดด้านทิศใต้

รูปที่ 3.22 ลักษณะช่องเปิดด้านทิศเหนือ

รูปที่ 3.23 ลักษณะช่องเปิดด้านทิศตะวันออก

รูปที่ 3.24 ลักษณะช่องเปิดด้านทิศตะวันตก

3.1.2.5 รายละเอียดของชุดโคมไฟ

ข้อมูลของระบบไฟฟ้าส่องสว่างที่ใช้ในงานอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯส่วนใหญ่เป็นหลอด Fluorescent ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 โคมติดลอยตะแกรงถี่แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม 95% พร้อมหลอด Fluorescent 3X36

รูปที่ 3.26 โคมดาวน์ไลท์ หลอด Compact Fluorescent 1X20 W (Cool White)

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร

ชนิดของดวงโคม		กำลังไฟ (วัตต์)
LT-01	โคมติดลอยตะแกรงถี่แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม 95% พร้อมหลอด Fluorescent 1X36	42
LT-02	โคมติดลอยตะแกรงถี่แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม 95% พร้อมหลอด Fluorescent 2X36	84
LT-03	โคมติดลอยตะแกรงถี่แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม 95% พร้อมหลอด Fluorescent 3x36	126
LT-04	โคมดาวน์ไลท์ หลอด Compact Fluorescent 1X20 W (Cool White)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ภายในอาคารแยกโซน

โซน	ชนิดของดวงโคม	จำนวน
ชั้นที่ 1		
1A-01	LT-02	3
1B-01	LT-01	3
	LT-02	6
	LT-03	107
	LT-04	46
ชั้นที่ 2		
2A-01	LT-03	12
2A-02	LT-03	24
2A-03	LT-03	12
2A-04	LT-03	9
2A-05	LT-03	11
2B-01	LT01	3
	LT-03	62
	LT-04	46
ชั้นที่ 3		
3A-01	LT-03	12
3A-02	LT-03	24
3A-03	LT-03	12
3A-04	LT-03	4
3A-05	LT-03	8
3A-06	LT-03	36
3B-01	LT-01	3
	LT-03	37
	LT-04	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

ชั้นที่ 4		
4A-01	LT-03	36
4A-02	LT-03	20
4A-03	LT-03	4
4A-04	LT-03	6
4A-05	LT-03	6
4A-06	LT-03	8
4A-07	LT-03	18
4B-01	LT-01	3
	LT-03	30
	LT-04	46
4B-02	LT-03	1
ชั้นที่ 5		
5A-01	LT-03	6
5A-02	LT-03	24
5A-03	LT-03	24
5A-04	LT-03	36
5B-01	LT01	3
	LT-03	36
	LT-04	46
ชั้นที่ 6		
6A-01	LT-03	36
6A-02	LT-03	36
6B-01	LT-01	3
	LT-03	72
	LT-03	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ต่อ)

ชั้นที่ 7		
7A-01	LT-03	36
7A-02	LT-03	54
7A-03	LT-03	9
7B-01	LT-01	3
	LT-03	18
	LT-04	46
ชั้นที่ 8		
8A-01	LT-03	36
8A-02	LT-02	24
8A-03	LT-03	36
8B-01	LT-01	3
	LT-03	36
	LT-04	46
ชั้นที่ 9		
ROOF	LT-01	3
	LT-01	2

3.1.2.6 **สำรวจข้อมูลระบบปรับอากาศ**

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในงานอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ เป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีจำนวนทั้งหมด 101 เครื่องขอบเขตของการเก็บข้อมูล ด้วยข้อจำกัดในการใช้พื้นที่ จึงไม่สามารถเข้าเก็บข้อมูลได้ทุกเครื่อง เลือกสุ่มในการ วัดประสิทธิภาพมาจำนวน6 เครื่อง จาก 101 เครื่อง ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลที่ใช้ในระบบปรับอากาศภายในอาคารแยกโซน

ชนิด/ขนาดเครื่องปรับอากาศ	โซน	จำนวน
ชั้นที่ 1		
48000BTU	1A-01	1
ชั้นที่ 2		
48000BTU	2A-01	2
	2A-02	4
	2A-03	2
36000BTU	2A-04	2
24000BTU	2A-05	2
ชั้นที่ 3		
48000BTU	3A-01	2
48000BTU	3A-02	4
40000BTU	3A-03	2
16000BTU	3A-04	2
40000BTU	3A-05	1
48000BTU	3A-06	6
ชั้นที่ 4		
48000BTU	4A-01	6
40000BTU	4A-02	2
40000BTU	4A-03	1
40000BTU	4A-04	1
48000BTU	4A-05	1
36000BTU	4A-06	2
48000BTU	4A-07	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

ชั้นที่ 5		
48000BTU	5A-01	1
48000BTU	5A-02	4
48000BTU	5A-03	3
48000BTU	4A-04	1
48000BTU	5A-05	6
ชั้นที่ 6		
48000BTU	6A-01	6
48000BTU	6A-02	6
ชั้นที่ 7		
48000BTU	7A-01	6
48000BTU	7A-02	6
48000BTU	7A-03	1
ชั้นที่ 8		
48000BTU	8A-01	6
48000BTU	8A-02	3
48000BTU	8A-03	6
รวม		101

3.1.2.7 เครื่องมือการหาค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

รูปที่ 3.27 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.28 เครื่องมือวัดความชื้นและอุณหภูมิภายในอาคาร

รูปที่ 3.29 เครื่องมือวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.30 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 2/3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.8 **สำรวจข้อมูลระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆในอาคาร**

เก็บข้อมมูลเครื่องใช้ไฟฟ้า อื่นๆ ภายในอาคาร ทั้งหมดโดยแยกเป็น โซน ทุกชั้น ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.8 ตารางเก็บข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้า อื่นๆ

ชั้นที่	ZONE	ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	กำลัง (kW)
1	1B-03	ปั๊มน้ำ WP1-2	1	3728
	1B-03	ปั๊มเพิ่มแรงดัน PBS	1	2236.8
	1B-03	ปั๊มเพิ่มแรงดัน JP	1	1118.4
	1B-03	ปั๊มสูบกลับ (Return) SP-1-2	1	745.6
	1B-03	ปั๊มเติมอากาศ A1-2	1	1491.2
2	2A-04	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	2	0.6
	2A-04	เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1.1
	2A-01	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
	2A-02	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
3	3A-01	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
	3A-02	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	3	0.9
	3A-05	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
	3A-06	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	6	1.8
4	4A-01	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
	4A-02	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
	4A-07	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	3	0.9
5	5A-01	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
	5A-02	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	4	1.2
	5A-04	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	6	1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ชั้นที่	ZONE	ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	กำลัง (kW)
6	6A-01	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	4	1.2
	6A-02	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	6	1.8
7	7A-01	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	4	1.2
	7A-02	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	4	1.2
	7A-03	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
8	8A-01	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	3	0.9
	8A-02	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	0.3
	8A-03	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	6	1.8
ดาษฟ้า	9B-01	ลิฟต์	1	9000

3.1.2.9 กำหนดพื้นที่เพื่อจำลองโปรแกรม (BEC)

การใช้พื้นที่ของอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯแบ่งออกเป็น 2 โซนคือ โซนปรับอากาศ และโซนที่ไม่ปรับอากาศโดยข้อมูลส่วนนี้นำไปกรอกข้อมูลในโปรแกรม BEC ของหมวด Building Model ซึ่งมีรายละเอียดการใช้พื้นที่ดังตารางและรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 โซนและการใช้พื้นที่ของอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ

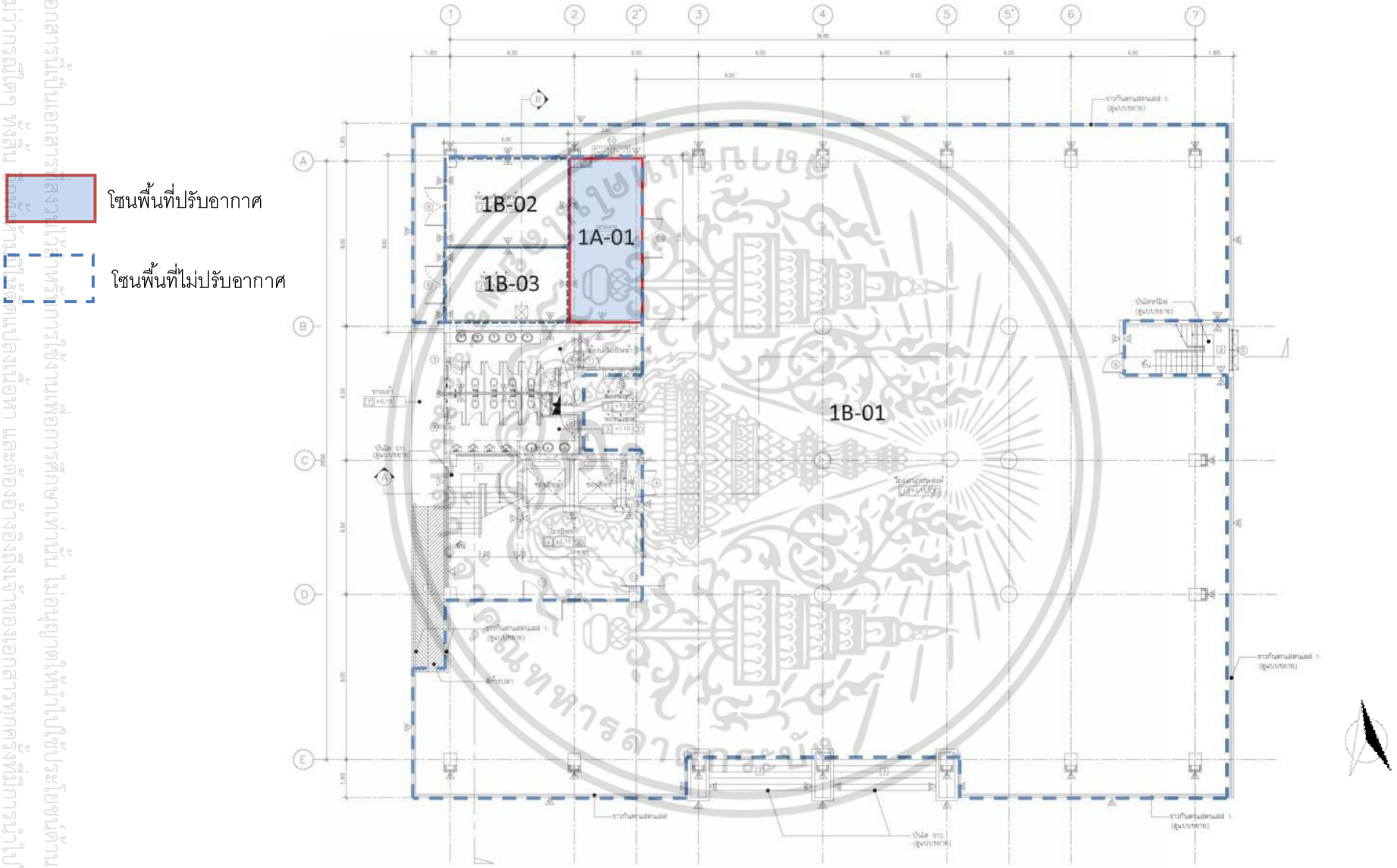
ชั้นที่	ZONE A (ปรับอากาศ)		ZONE B (ไม่ปรับอากาศ)	
	การใช้งาน	พื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้งาน	พื้นที่ (ตร.ม.)
1	1A-01 SERVER	30	1B-01 โถงเอนกประสงค์	1,212
			1B-02 ห้องเครื่องไฟฟ้า	24
			1B-03 ห้องปั๊มน้ำ	24
2	2A-01 CLEAN ROOM	96	2B-01 โถง	417
	2A-02 ห้องปฏิบัติการเคมี ,2, 3, 4	192		
	2A-03 ห้องสัมมนา ป เอก.ป/โท.1,2	75.44		
	2A-04 ห้องธุรการ	72		
	2A-05 ห้องผู้บริหาร 1,2	72		
3	3A-01 CLEAN ROOM	96	3B-01โถง	342
	3A-02 ห้องปฏิบัติการเคมี ,2, 3, 4	192		
	3A-03 ห้องสัมมนา ป เอก.ป/โท.1,2	75.44		
	3A-04 ห้องพักผู้บริหาร 1,2	32		
	3A-05 ห้องธุรการ	41.76		
	3A-06 ห้องปฏิบัติการ 5 ,6,7, 8,9,10	287		
4	4A-01 ห้องปฏิบัติการ	293	4B-01โถง	293
	4A-02 พื้นที่สำนักงาน	148.9	4B-02 PANTRY	7
	4A-03 SERVER	29.3		
	4A-04 ห้องพักผู้อำนวยการ	39		
	4A-05 ห้องประชุมย่อย	48		
	4A-06 ห้องพักรองผู้อำนวยการ	60		
	4A-07 ห้องปฏิบัติการ MOBILE,CIRCUIT,MIXED	144		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

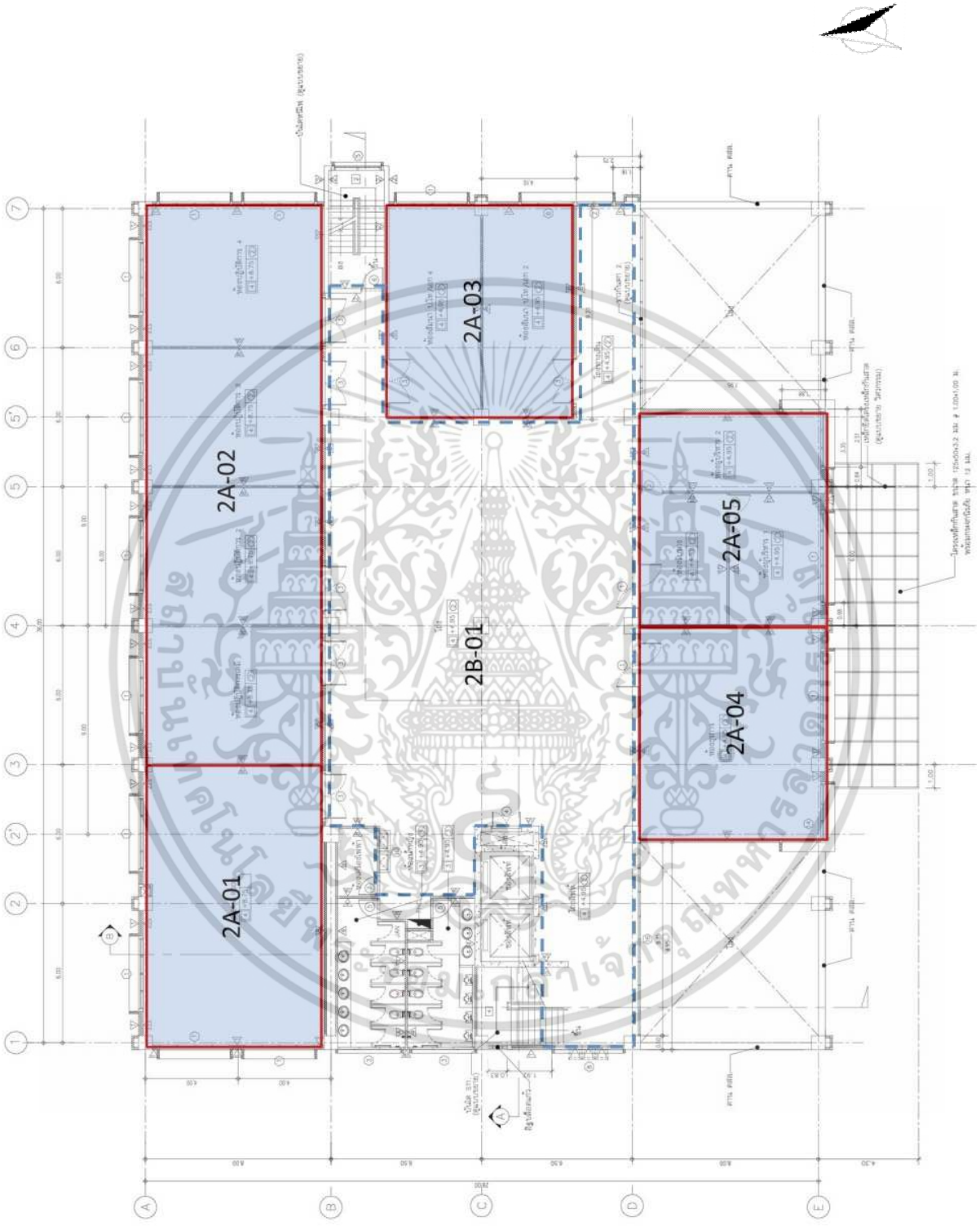
ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

ชั้นที่	ZONE A (ปรับอากาศ)		ZONE B (ไม่ปรับอากาศ)	
	การใช้งาน	พื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้งาน	พื้นที่ (ตร.ม.)
5	5A-01 ห้องปฏิบัติการ	49	5B-01 โถง	387
	5A-02 ห้องปฏิบัติการ BIO,WIRELESS,SATELLITE, SIGNAL	188	5B-02 PANTRY	9
	5A-03 ห้องสัมมนาและ กิจกรรม,ห้องปฏิบัติการ15	150	5B-03 ห้องเก็บเอกสาร	9
	5A-04 ห้องปฏิบัติการ NETWORK,MV,IS,WD,R&D, CONTROL,EME	287		
6	6A-01 ห้องปฏิบัติการ	282	6B-01 โถง	495
	6A-02ห้องปฏิบัติการ	287		
7	7A-01ห้องปฏิบัติการ	282	7B-01 โถง	263
	7A-02ห้องปฏิบัติการ	73		
	7A-03ห้องปฏิบัติการ	414.3		
8	8A-01ห้องปฏิบัติการ	282	8B-01 โถง	256.7
	8A-02ห้องปฏิบัติการ	146.8		
	8A-03ห้องปฏิบัติการ	282		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

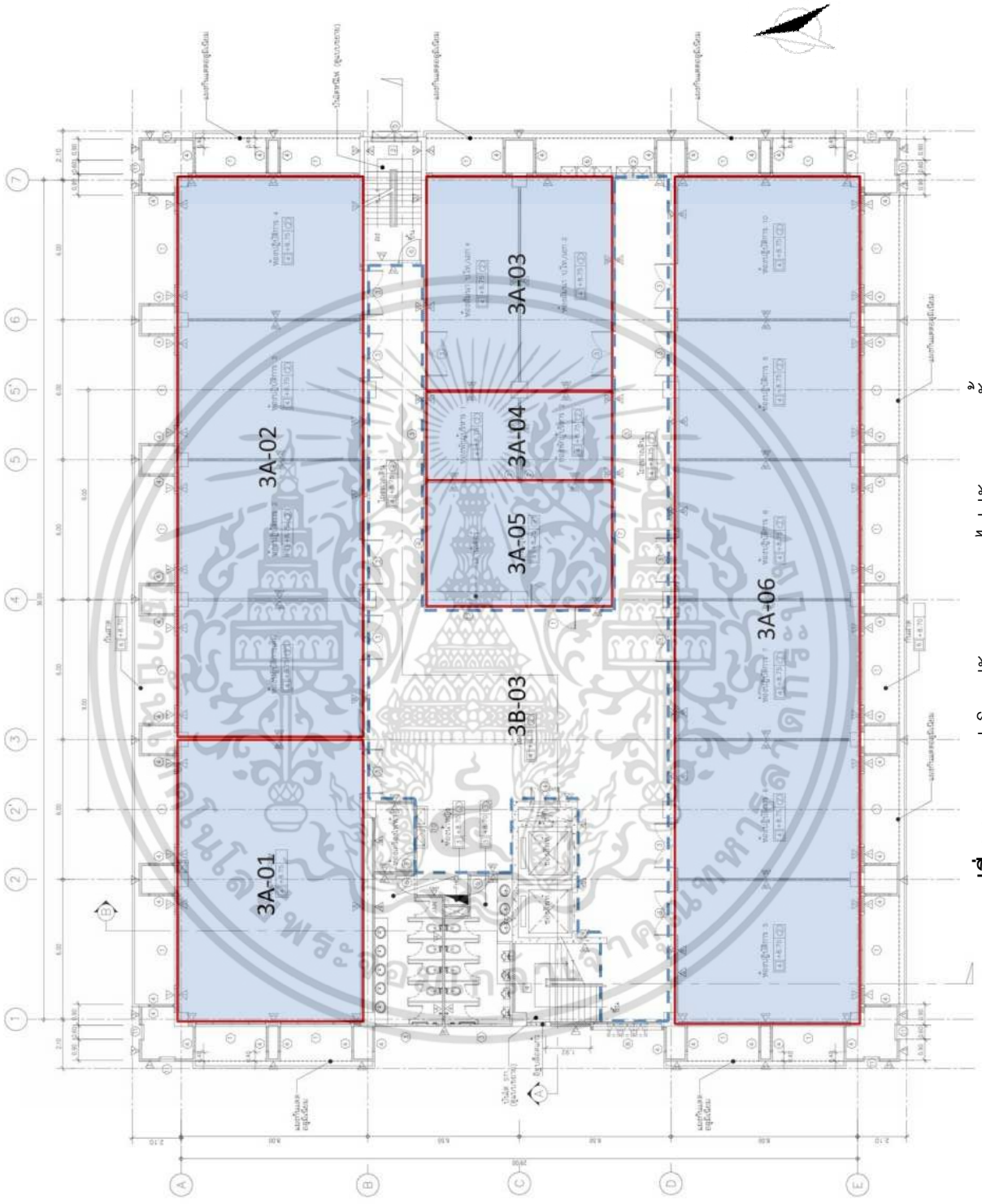


รูปที่ 3.31 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 1



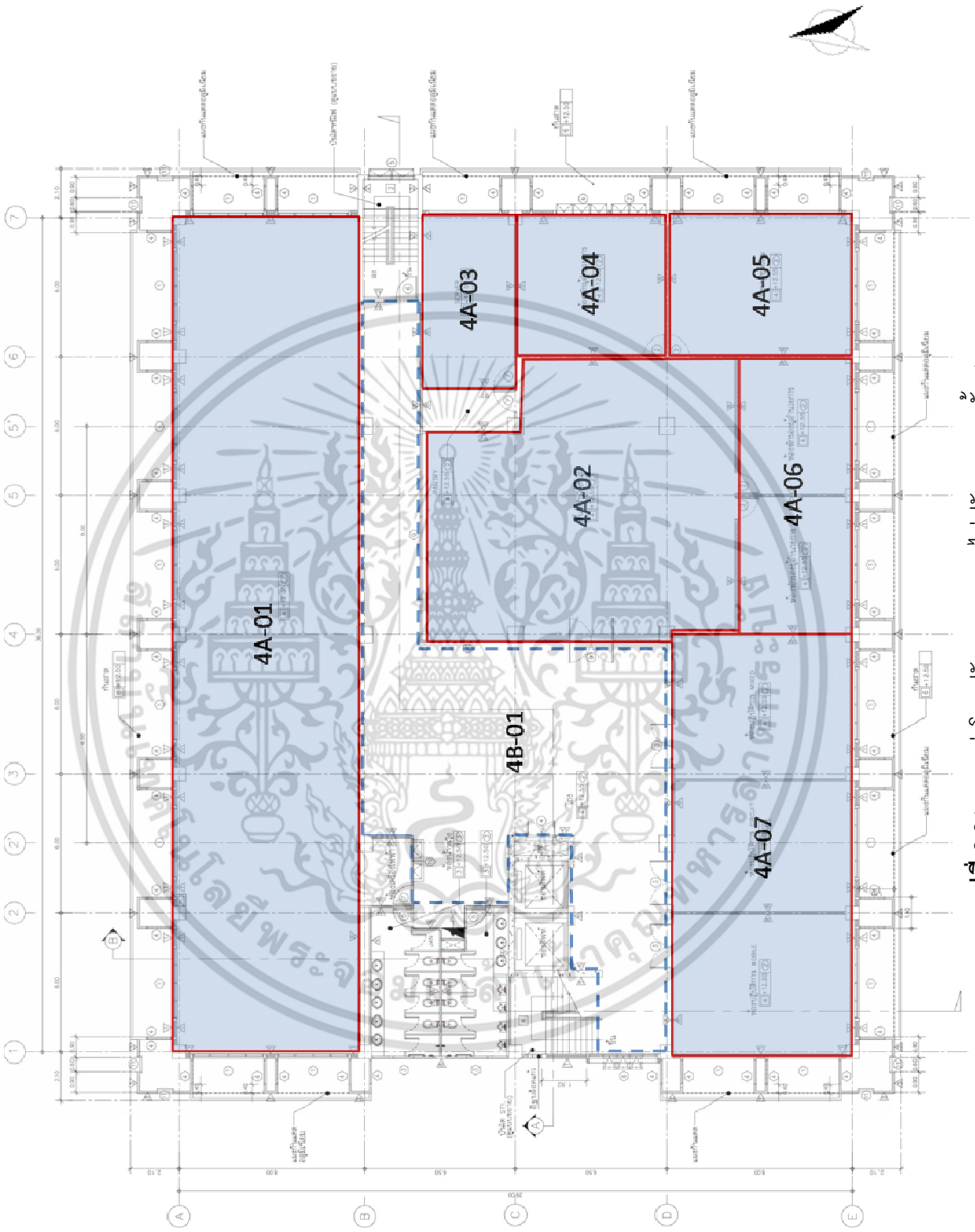
รูปที่ 3.32 การแบ่งใช้พื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



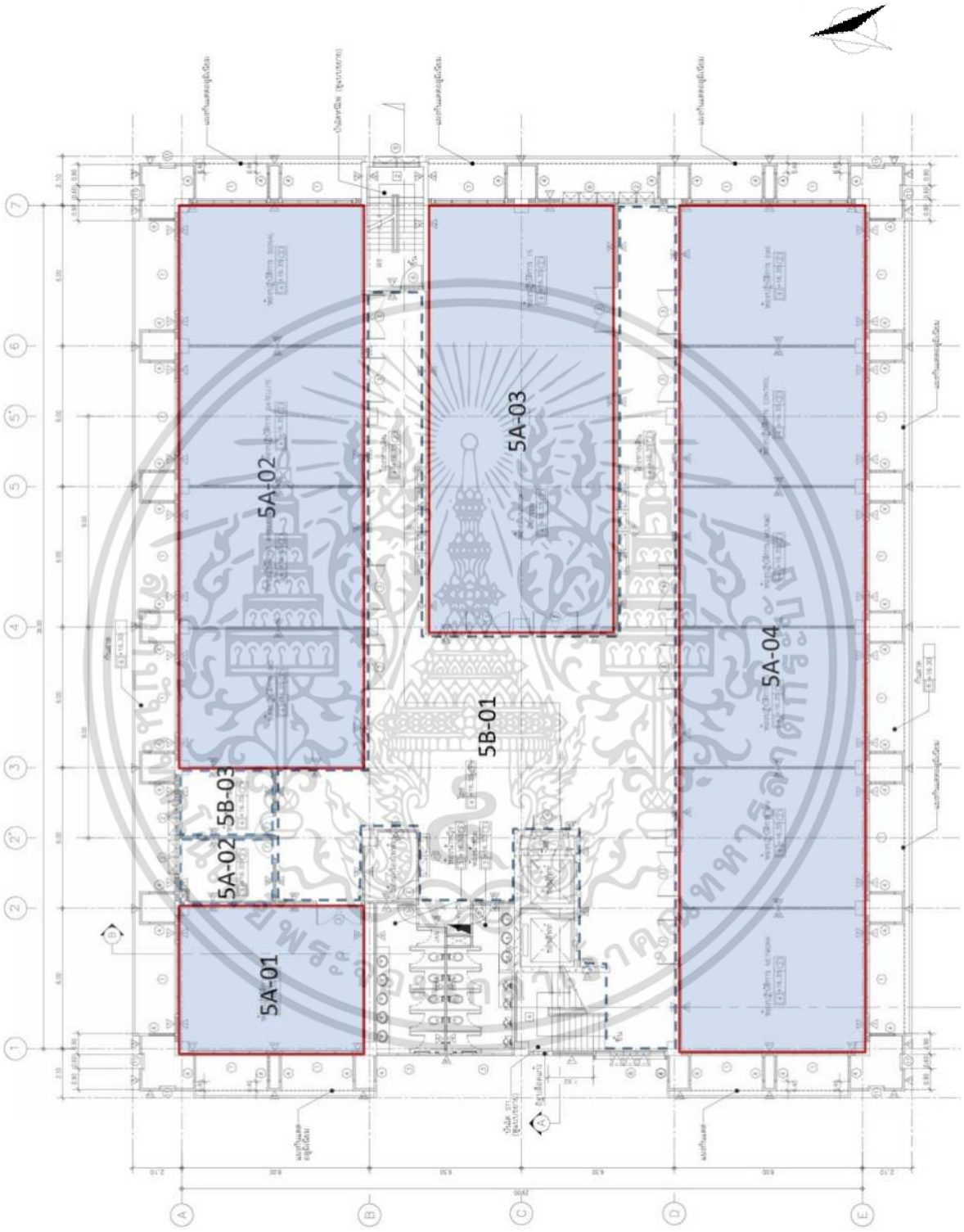
รูปที่ 3.33 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



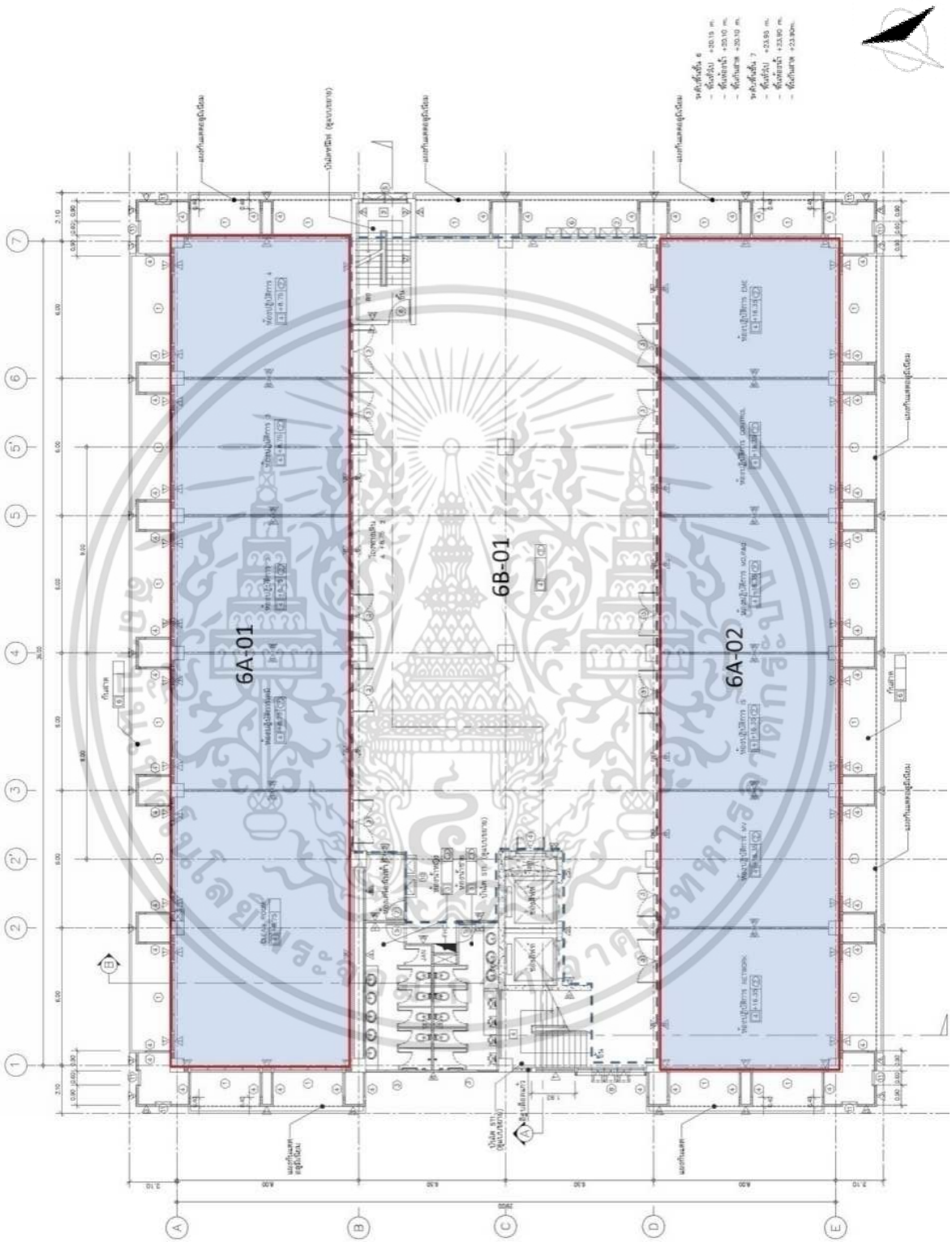
รูปที่ 3.34 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



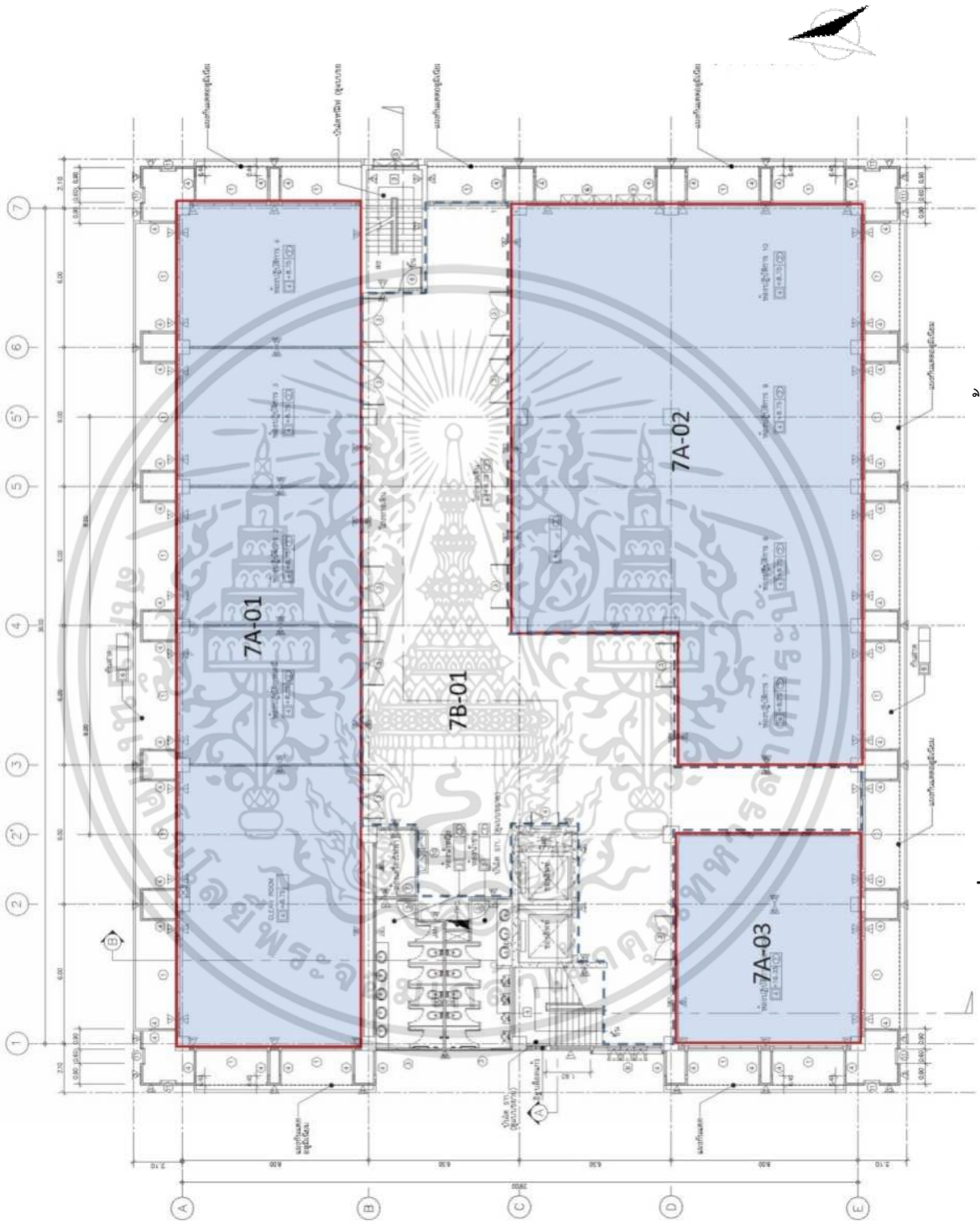
รูปที่ 3.35 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



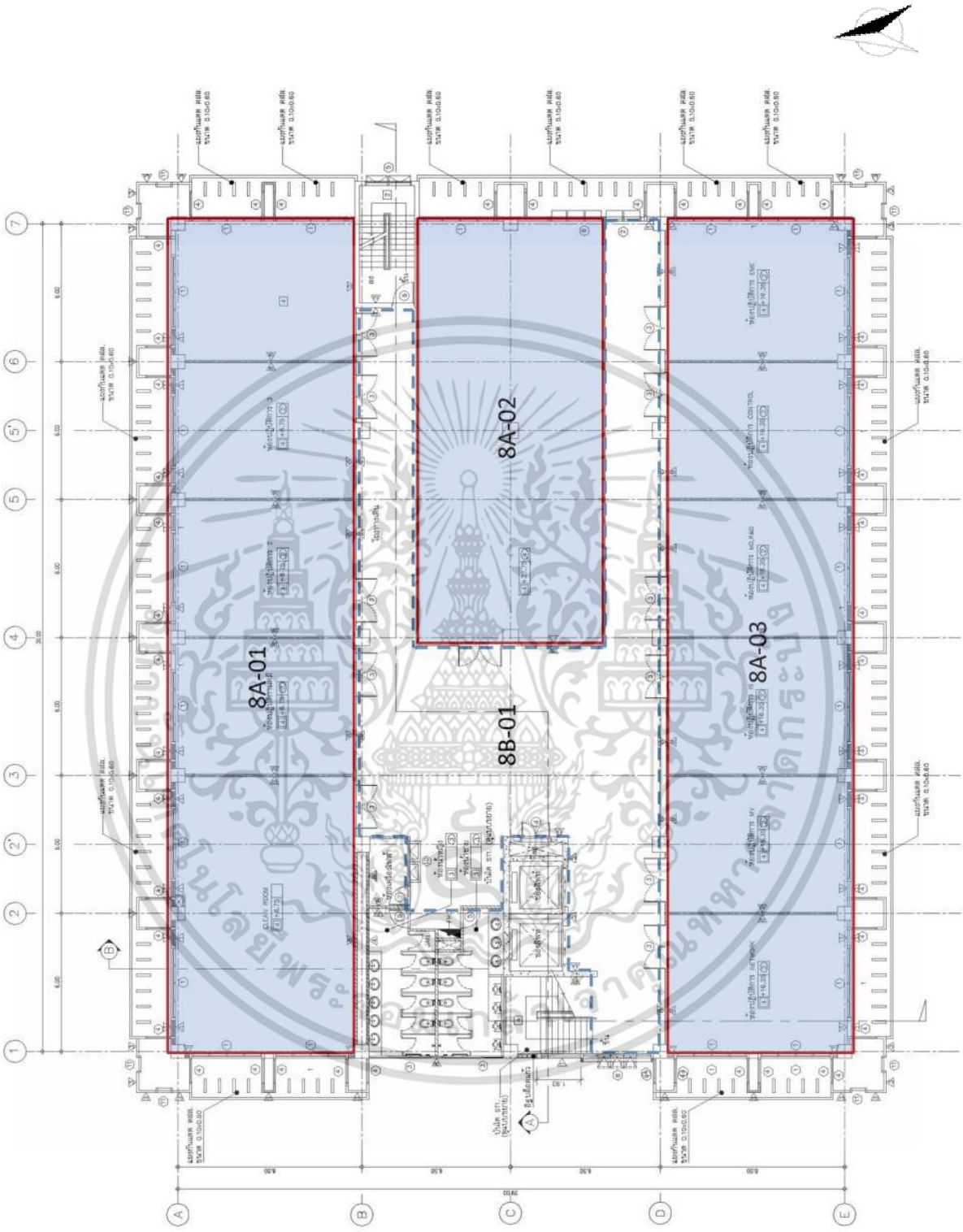
รูปที่ 3.36 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ชั้น 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 การแบ่งใช้พื้นที่ใช้งานอาคารศูนย์การแพทย์ ชั้น 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.39 การแบ่งโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศชั้นดาดฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

3.2.1 ข้อพิจารณาในการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ตัวอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มีการใช้งานสัปดาห์ละ 5 วัน การที่จะปรับปรุงในส่วนของกรอบอาคารนั้น จึงเป็นเรื่องยุงยากในการเข้าไปใช้พื้นที่พอสมควร ดังนั้นจึงควรพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ที่ทำให้เกิดปัญหาที่รูปแบบ การใช้พื้นที่ของอาคาร รูปแบบทางสถาปัตยกรรมของอาคาร งบประมาณ ก่อนที่จะทำการปรับปรุง คือ

1. รูปแบบ และ ลักษณะของอาคาร โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคารในแต่ละด้านนั้น ควรที่จะส่งผลกระทบ ต่อรูปแบบ และ ลักษณะภายนอกของอาคาร ให้น้อยที่สุด เพื่อรักษาแนวความคิดในการออกแบบอาคารไว้

2. ผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างเดิมของอาคาร ทั้งนี้ การปรับปรุงอาจส่งผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ จึงต้องหาวัสดุที่เหมาะสม เพื่อที่จะนำมาปรับปรุงกรอบอาคาร

3. ผลกระทบต่อกรอบอาคารเดิม ควรคำนึงถึงโครงสร้าง ระบบ รูปแบบของกรอบอาคารเดิม เพื่อที่จะดำเนินการปรับปรุงกรอบอาคารให้สอดคลองกับกรอบอาคารเดิม

4. ผลกระทบต่อผู้ใช้อาคาร และการใช้พื้นที่อาคาร โดยการปรับปรุงกรอบอาคารต้องส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคาร และการใช้พื้นที่ให้น้อยที่สุด

5. ค่าใช้จ่ายในการปรัลปรุงอาคาร ต้องประหยัดและคุ้มค่าในการลงทุน

6. การบำรุงรักษาและการทำความสะอาดที่ง่าย ภายหลังการติดตั้งและการใช้งาน

7. การเข้าสำรวจตรวจวัดระบบปรับอากาศ ด้วยข้อจำกัดการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์และผลการศึกษา

4.1 ดำเนินการทดลองตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 ปี พ.ศ.2550

ข้อมูลที่ได้จากการจากการเก็บข้อมูลและการคำนวณหาค่าการใช้พลังงานในระบบต่างๆของอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ การส่งผ่านความร้อนของตัวอาคาร การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยใช้โปรแกรม Building EnergyCodev.1.0.6 โดยการป้อนค่าในโหมดของ ระบบกรอบอาคาร ,ระบบแสงสว่าง, ระบบปรับอากาศ, ระบบอื่นๆรายงานผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนกรอบอาคารและหลังคารวมถึงการใช้พลังงานในอาคาร แสดงในตารางดังต่อไปนี้

4.1.1 การทดลองระบบกรอบอาคาร (Envelope System)

ตารางผลการวิเคราะห์รายละเอียด ผลคำนวณ OTTV/ RTTV แยกรายผนัง , OTTV/ RTTV by Section , Opaque Components in Wall , Transparent Components in Wall , Compon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลคำนวณค่า OTTV/ RTTV แยกรายการกรอบอาคาร จากโปรแกรม BEC

Wall Name	Wall / Roof	OTTV / RTTV
ดาดฟ้า	Roof	4.40
ผนังทางทิศตะวันตก1	Wall	50.83
ผนังทางทิศตะวันตก2	Wall	65.65
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	Wall	59.34
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	Wall	56.86
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	Wall	50.83
ผนังทางทิศตะวันออก1	Wall	207.39
ผนังทางทิศตะวันออก2	Wall	75.44
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	Wall	60.61
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	Wall	69.49
ผนังทางทิศใต้2	Wall	70.70
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	Wall	55.47
ผนังทางทิศเหนือ1	Wall	35.61
ผนังทางทิศเหนือ2	Wall	45.30
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	Wall	45.30
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	Wall	39.34

ตารางที่ 4.2 OTTV/ RTTV by Section จากโปรแกรม BEC

Wall Name	Section Name	OTTV / RTTV
ดาดฟ้า	r1	4.399
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	30.842
ผนังทางทิศตะวันตก2	w10	65.112
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	65.855
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	59.343
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	56.862
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	50.829
ผนังทางทิศตะวันออก1	w4	207.385
ผนังทางทิศตะวันออก2	w10	93.824
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	74.436
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	64.533
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	56.927
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	62.082
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	49.091
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w8	49.096
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w5	72.214
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w7	53.983
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w8	51.656

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	OTTV / RTTV
ผนังทางทิศใต้2	w11	78.632
ผนังทางทิศใต้2	w12	61.093
ผนังทางทิศใต้2	w6	66.274
ผนังทางทิศใต้2	w9	71.408
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	55.472
ผนังทางทิศเหนือ1	w2	25.728
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	35.609
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	45.295
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	45.295
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	w6	39.336

ตารางที่ 4.3 Opaque Components in Wallจากโปรแกรม BEC

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Uw	DSH (kJ/m^3)	Component Color	Solar Absorbtance	TDeq	Q
ดาดฟ้า	r1	roof1	1	0.271	559.688	Surface of	0.5	16.231	4.399
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	Beam_1	5.16	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	128.942
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	Column_1	3.84	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.018	72.941
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	D7	7.56	2.506	54.45	Surface of	0.5	15.307	289.997
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	wall_1	16.12	1.972	159.037	Surface of	0.7	16.233	516.025
ผนังทางทิศตะวันตก2	w10	Beam_1	1.9875	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	49.665
ผนังทางทิศตะวันตก2	w10	wall_2	6.4725	4.219	146.232	Surface of	0.7	16.522	451.174
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	24.989
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.018	20.23
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	16.233	254.491
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	24.989
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.018	20.23
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	16.233	254.491
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	24.989
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.018	20.23
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	16.233	254.491
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.708	39.831

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Uw	DSH (kJ/m^3)	Component Color	Solar Absorbtance	TDeq	Q
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.708	42.993
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	17.544	473.284
ผนังทางทิศตะวันออก1	w4	Beam_1	1.8375	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	50.855
ผนังทางทิศตะวันออก2	w10	Beam_1	1.9875	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	55.007
ผนังทางทิศตะวันออก2	w10	wall_2	6.4725	4.219	146.232	Surface of	0.7	19.023	519.47
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	27.676
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	22.405
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	294.359
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	Beam_1	1.025	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	28.368
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	Column_1	1.012	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	21.29
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	wall_1	9.303	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	344.455
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	Beam_1	0.6875	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	19.028
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	44.811
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	wall_1	4.7885	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	177.3
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	27.676
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	22.405
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	294.359
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	Beam_1	1.025	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	28.368
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	Column_1	1.012	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	21.29
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	wall_1	9.303	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	344.455

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Uw	DSH (kJ/m^3)	Component Color	Solar Absorbtance	TDeq	Q
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w8	Beam_1	0.6875	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	19.028
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w8	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	44.811
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w8	wall_1	4.7885	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	177.3
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	27.676
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	22.405
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	294.359
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w7	Beam_1	1.025	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	28.368
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w7	Column_1	1.012	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	21.29
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w7	wall_1	9.303	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	344.455
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w8	Beam_1	0.6875	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	19.028
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w8	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	44.811
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w8	wall_1	4.7885	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	177.3
ผนังทางทิศใต้2	w11	Beam_1	0.8375	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.241	23.251
ผนังทางทิศใต้2	w11	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.241	22.475
ผนังทางทิศใต้2	w11	wall_2	6.4525	4.219	146.232	Surface of	0.7	18.917	514.979
ผนังทางทิศใต้2	w12	Beam_1	2.2375	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.241	62.119
ผนังทางทิศใต้2	w12	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.241	44.95
ผนังทางทิศใต้2	w12	wall_2	11.69	4.219	146.232	Surface of	0.7	18.917	932.989
ผนังทางทิศใต้2	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.241	41.644
ผนังทางทิศใต้2	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.241	44.95

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Uw	DSH (kJ/m^3)	Component Color	Solar Absorbtance	TDeq	Q
ผนังทางทิศใต้2	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.63	502.581
ผนังทางทิศใต้2	w9	Column_1	2.3	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.241	48.538
ผนังทางทิศใต้2	w9	D7	4.2	2.506	54.45	Surface of	0.5	16.768	176.487
ผนังทางทิศใต้2	w9	wall_2	28.46	4.219	146.232	Surface of	0.7	18.917	2271.41
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.241	41.644
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.241	44.95
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.63	502.581
ผนังทางทิศเหนือ1	w2	Beam_1	3.6	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	78.717
ผนังทางทิศเหนือ1	w2	Column_1	1.92	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	31.912
ผนังทางทิศเหนือ1	w2	wall_1	17.28	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	475.976
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	Beam_1	2.19	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	47.886
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	Column_1	1.92	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	31.912
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	wall_1	8.81	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	242.671
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	32.799
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	35.403
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	376.814
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	32.799
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	35.403
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	376.814
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	32.799

ตารางที่ 4.4 Transparent Components in Wall จากโปรแกรม BEC

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Ut	Dt	SHGC	Shading Coefficient	ESR	Q
ผนังทางทิศตะวันตก2	w10	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	3.29	2.67	5	0.61	0.467963	234.581	264.229
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.851896	234.581	701.279
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.718496	234.581	602.304
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.667661	234.581	564.587
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.615653	256.824	602.801
ผนังทางทิศตะวันออก1	w4	Clear Float Glass 6 mm	15.353	5.74	5	0.82	0.998391	244.531	3514.191
ผนังทางทิศตะวันออก2	w10	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	3.29	2.67	5	0.61	0.986321	244.531	527.958
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.928043	244.531	786.982
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	4.05	2.67	5	0.61	0.902113	244.531	599.046
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	2.844	2.67	5	0.61	0.744371	244.531	353.746
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.68526	244.531	599.21
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	4.05	2.67	5	0.61	0.508731	244.531	361.399
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w8	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	2.844	2.67	5	0.61	0.55147	244.531	271.913
ผนังทางทิศตะวันออกใ3-7 .578-1	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.884373	244.531	753.207
ผนังทางทิศตะวันออกใ3-7 .578-1	w7	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	4.05	2.67	5	0.61	0.633342	244.531	436.678
ผนังทางทิศตะวันออกใ3-7 .578-1	w8	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	2.844	2.67	5	0.61	0.614528	244.531	298.664

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Ut	Dt	SHGC	Shading Coofficient	ESR	Q
ผนังทางทิศใต้2	w11	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	4.375	2.67	5	0.61	0.535095	267.413	440.281
ผนังทางทิศใต้2	w12	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	17.9525	2.67	5	0.61	0.272515	267.413	1037.711
ผนังทางทิศใต้2	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.947565	267.413	921.873
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.672561	267.413	675.596
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	Clear Float Glass 6 mm	0.95	5.74	5	0.82	1	185.063	171.429
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.830032	185.063	587.71
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.830032	185.063	587.71
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.610799	185.063	451.839

ตารางที่ 4.5 Component Area per Wall จากโปรแกรม BEC

Wall Name	Component Name	Component Area (m^2)	Percentage
ดาดฟ้า	roof1	1,600.70	100.00 %
ผนังทางทิศตะวันตก1	Beam_1	5.16	15.80 %
ผนังทางทิศตะวันตก1	Column_1	3.86	11.80 %
ผนังทางทิศตะวันตก1	D7	7.55	23.10 %
ผนังทางทิศตะวันตก1	wall_1	16.11	49.30 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	Beam_1	3.99	9.47 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	13.66	32.40 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	Column_1	2.13	5.05 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	wall_1	15.90	37.72 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	wall_2	6.47	15.36 %
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	Beam_1	20.06	6.60 %
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	103.66	34.10 %
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	Column_1	21.28	7.00 %
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	wall_1	158.99	52.30 %
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	Beam_1	4.01	6.60 %
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	20.73	34.10 %
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	Column_1	4.26	7.00 %
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	wall_1	31.80	52.30 %

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Wall Name	Component Name	Component Area (m^2)	Percentage
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	Beam_1	9.03	6.60 %
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	32.97	24.10 %
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	Column_1	12.72	9.30 %
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	wall_1	82.08	60.00 %
ผนังทางทิศตะวันออก1	Beam_1	3.23	10.70 %
ผนังทางทิศตะวันออก1	Clear Float Glass 6 mm	26.98	89.30 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	Beam_1	6.73	8.07 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	25.78	30.92 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	Column_1	6.35	7.62 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	wall_1	38.05	45.63 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	wall_2	6.47	7.76 %
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	Beam_1	9.76	6.61 %
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	48.41	32.79 %
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	Column_1	11.67	7.91 %
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	wall_1	77.79	52.69 %
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	Beam_1	31.01	6.61 %
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	152.16	32.45 %
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	Column_1	38.18	8.14 %
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	wall_1	247.58	52.80 %
ผนังทางทิศใต้2	Beam_1	4.69	6.60 %

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Wall Name	Component Name	Component Area (m^2)	Percentage
ผนังทางทิศใต้2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	19.75	27.79 %
ผนังทางทิศใต้2	Column_1	6.38	8.98 %
ผนังทางทิศใต้2	wall_1	27.36	38.50 %
ผนังทางทิศใต้2	wall_2	12.91	18.16 %
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	Beam_1	45.14	6.60 %
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	164.84	24.10 %
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	Column_1	63.61	9.30 %
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	wall_1	410.40	60.00 %
ผนังทางทิศเหนือ1	Beam_1	4.26	15.80 %
ผนังทางทิศเหนือ1	Clear Float Glass 6 mm	0.94	3.50 %
ผนังทางทิศเหนือ1	Column_1	3.01	11.18 %
ผนังทางทิศเหนือ1	wall_1	18.74	69.47 %
ผนังทางทิศเหนือ2	Beam_1	9.03	6.60 %
ผนังทางทิศเหนือ2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	32.97	24.10 %
ผนังทางทิศเหนือ2	Column_1	12.72	9.30 %
ผนังทางทิศเหนือ2	wall_1	82.08	60.00 %
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	Beam_1	51.16	6.60 %
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	186.82	24.10 %
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	Column_1	72.09	9.30 %
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	wall_1	465.12	60.00 %

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Wall Name	Component Name	Component Area (m^2)	Percentage
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	Beam_1	9.03	6.60 %
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	32.97	24.10 %
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	Column_1	12.72	9.30 %
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	wall_1	82.08	60.00 %

ตารางที่ 4.6 Wall Component Detailจากโปรแกรม BEC

Component Name	Area (m^2)	Percentage (%)	Q (W)	OTTV/RTTV	Total	Description
Beam_1	4.26	15.80 %	93.17	21.87		
Clear Float Glass 6 mm	0.94	3.50 %	170.17	180.45		
Column_1	3.01	11.18 %	50.10	16.62		
wall_1	18.74	69.47 %	516.11	27.55		

ตารางที่ 4.7 การทดลองระบบกรอบอาคาร (Envelope System)

รายการ	**ผลการวิเคราะห์อาคาร55 พรรษา** (W/m²)	**ค่ามาตรฐานตาม กฎกระทรวง** (W/m²)	**ผลสรุประบบกรอบอาคาร**
ค่า OTTV	56.433	50	ไม่ผ่าน(Failed)
ค่า RTTV	4.399	15	ผ่าน(Passed)

กรอบอาคารมีค่าถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารที่ไม่ผ่านตามมารฐานที่กำหนดในพระราชบัญญัติฯ มีค่าเกินกว่า6.433 W/m² ส่วนหลังคาผ่านตามมารฐานที่กำหนด

4.1.2 **ดำเนินการทดลองระบบไฟฟ้าแสงสว่าง**

การใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จำแนกตามชั้นอาคารและ จำแนกตามโซนไม่มีส่วนจอดรถ โดยสรุป

ตารางที่ 4.8 รายงานผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามชั้นอาคารจากโปรแกรม BEC

Floor	Total Power	Total Area	Power Density
1	504.00 Watts	1,346.00 m^2	0.374 W/m^2
2	10,846.00 Watts	924.44 m^2	11.733 W/m^2
3	10,258.00 Watts	1,066.20 m^2	9.621 W/m^2
4	9,602.00 Watts	1,062.20 m^2	9.040 W/m^2
5	9,866.00 Watts	1,079.00 m^2	9.144 W/m^2
6	10,388.00 Watts	1,059.00 m^2	9.809 W/m^2
7	7,728.00 Watts	1,032.30 m^2	7.486 W/m^2
8	10,528.00 Watts	967.50 m^2	10.882 W/m^2

ตารางที่ 4.9 รายงานผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามโซนจากโปรแกรม BEC

Zone	Floor	Area (m^2)	Power (Watt)/Unit	Quantity	Quantity in Daylighted Zone	Total Power (Watt)	Power Density (W/m^2)
1A-01	1	30	84.00	3	1	168.00	5.6
1B-01	1	1268	74.30	162	162	0.00	0
1B-02	1	24	84.00	3	1	168.00	7
1B-03	1	24	84.00	3	1	168.00	7
2A-01	2	96	98.00	12	6	588.00	6.125
2A-02	2	192	98.00	24	10	1,372.00	7.146
2A-03	2	75.44	98.00	12	4	784.00	10.392
2A-04	2	72	98.00	9	5	392.00	5.444
2A-05	2	72	98.00	11	3	784.00	10.889
2B-01	2	417	64.16	111	2	6,926.00	16.609
3A-01	3	96	98.00	12	7	490.00	5.104
3A-02	3	192	98.00	24	10	1,372.00	7.146
3A-03	3	75.44	98.00	12	4	784.00	10.392
3A-04	3	32	98.00	4	0	392.00	12.25
3A-05	3	41.76	98.00	8	0	784.00	18.774
3A-06	3	287	98.00	36	16	1,960.00	6.829
3B-01	3	342	54.33	86	2	4,476.00	13.088
4A-01	4	293	98.00	36	16	1,960.00	6.689

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Zone	Floor	Area (m^2)	Power (Watt)/Unit	Quantity	Quantity in Daylighted Zone	Total Power (Watt)	Power Density (W/m^2)
4A-02	4	148.9	98.00	20	0	1,960.00	13.163
4A-03	4	29.3	98.00	4	2	196.00	6.689
4A-04	4	39	98.00	6	3	294.00	7.538
4A-05	4	48	98.00	6	4	196.00	4.083
4A-06	4	60	98.00	8	4	392.00	6.533
4A-07	4	144	98.00	18	8	980.00	6.806
4B-01	4	293	45.14	79	2	3,526.00	12.034
4B-02	4	7	98.00	1	0	98.00	14
5A-01	5	49	98.00	6	4	196.00	4
5A-02	5	188	98.00	24	10	1,372.00	7.298
5A-03	5	150	98.00	24	4	1,960.00	13.067
5A-04	5	287	98.00	36	16	1,960.00	6.829
5B-01	5	387	53.81	85	2	4,378.00	11.313
5B-02	5	9	98.00	1	1	0.00	0
5B-03	5	9	98.00	1	1	0.00	0
6A-01	6	282	98.00	36	16	1,960.00	6.95
6A-02	6	282	98.00	36	16	1,960.00	6.95
6B-01	6	495	67.38	119	53	6,468.00	13.067

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Zone	Floor	Area (m^2)	Power (Watt)/Unit	Quantity	Quantity in Daylighted Zone	Total Power (Watt)	Power Density (W/m^2)
7A-01	7	282	98.00	36	16	1,960.00	6.95
7A-02	7	73	98.00	54	16	3,724.00	51.014
7A-03	7	414.3	98.00	9	5	392.00	0.946
7B-01	7	263	41.94	67	49	1,652.00	6.281
8A-01	8	282	98.00	36	16	1,960.00	6.95
8A-02	8	146.8	84.00	24	0	2,016.00	13.733
8A-03	8	282	98.00	36	6	2,940.00	10.426
8B-01	8	256.7	53.81	85	47	3,612.00	14.071

ตารางที่ 4.10 ผลการใช้พลังงานการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั้น (Lighting System) จากโปรแกรม BEC

รายการ	**ผลการประเมิน อาคาร55 พรรษา (W/m²)**	**ค่ามาตรฐานตาม กฎกระทรวง (W/m²)**	**สรุปผลระบบไฟฟ้าแสงสว่าง**
การใช้พลังงานไฟฟ้า	8.167	14	ผ่าน (Passed)

โดยสรุปในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีการใช้ หลอดและบัลลาสต์ ที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างเฉลี่ย 8.167 W/m² มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานที่ 14 W/m²ทำให้ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด

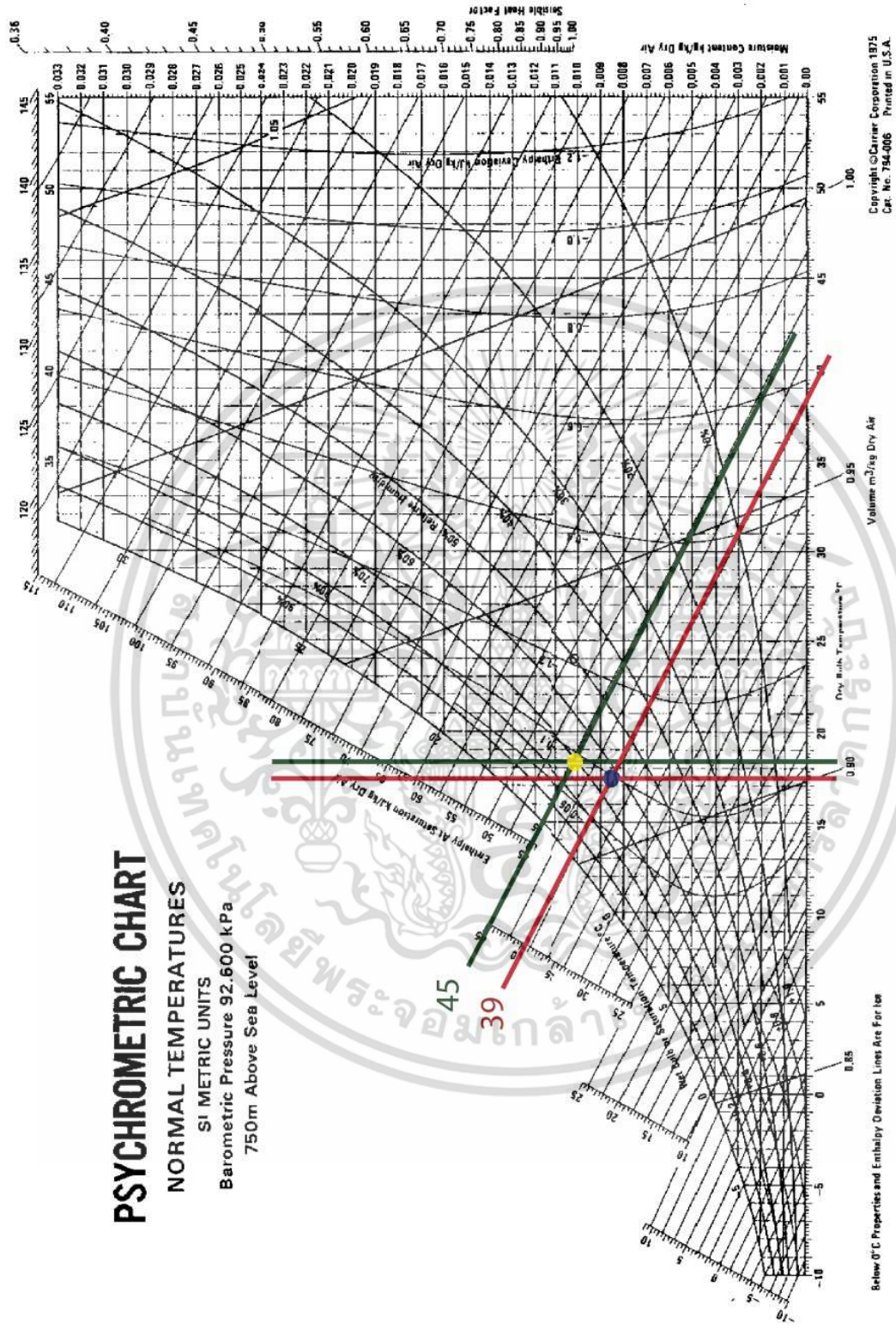
4.1.3 ดำเนินการทดลองระบบปรับอากาศ

เตรียมเครื่องมือเพื่อลงพื้นที่เก็บข้อมูล จำนวน ขนาดเครื่อง BTU ปรับอากาศทั้งหมดสุ่มตรวจกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ จำนวน 6 เครื่อง โดยการเก็บข้อมูล ขนาดพื้นที่หัวจ่าย,ปริมาณการไหลของอากาศ m3/min, สภาวะอุณหภูมิด้านลมจ่าย °C ,สภาวะอุณหภูมิด้านลมกลับ °C, Enthalpy ความชื้นด้านลมจ่าย h 1 ,enthalpy ความชื้นด้านลมกลับ h 2

ตัวอย่าง การคำนวณหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศขนาด 48000 Btu/hr

รูปที่ 4.1 การวัดค่าข้อมูลหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

รูปที่ 4.2 วัดพื้นที่หัวจ่ายลม



รูปที่ 4.3 แผนภูมิ Psychometric Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หัวจ่ายลม = 1.80 x 0.21 = 0.378 m² - ขนาดกริวแอร์17x0.005 = 0.085 m² = 0.293 m²

แปลงเป็นตารางฟุต โดย0.293x 10.764= 3.153 ft ²

1. เครื่องปรับอากาศ YORK 48000 BTU กำลังไฟ 4.75 W

ปริมาณการไหลของอากาศ = 2.21 x 196.87 = 435m³/min

สภาวะอุณหภูมิด้านลมจ่าย = 17.5 °C

สภาวะอุณหภูมิด้านลมกลับ= 18.3 °C

ความชื้นด้านลมจ่าย = 65%

ความชื้นด้านลมกลับ = 70%

Grill Area = 3.153 ft2

Enthalpy H1 =65, 17.5 = 39

Enthalpy H2=70, 18.3 =45

CFM = 435 x 3.153

= 1371.6

Q = 4.5*1371.6*(6)

=37033

EER = 37033/4750

= 7.79

ตารางที่ 4.11 การใช้พลังงานระบบปรับอากาศ (Air Condition System)

เครื่องปรับอากาศ		การใช้พลังงานไฟฟ้า	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน		ประสิทธิภาพเกณฑ์ขั้นต่ำ
ชนิด	ขนาดBtu/h		EER	COP	
Split Type (4ตัน)	48000	4.75 kW	7.79	2.805	2.82
Split Type (3ตัน)	36000	4.86 kW	7.40	2.170	2.82
Split Type (2ตัน)	24000	4.37 kW	5.48	1.609	2.82
Split Type(3.3ตัน)	40000	5.15 kW	7.76	2.276	2.82
Split Type (1.3ตัน)	16000	3.22 kW	4.96	1.456	2.82
Split Type(2.5ตัน)	30000	5.49 kW	5.46	1.601	2.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 รายงานผลวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จากโปรแกรม BEC

A/C Code	A/C Type	Cooling Capacity	Power Consumption	Performance	Status
48000	Split Type	48.00 kBtu/h (14.06 kWth)	4.75 kW	2.805 COP	Failed
36000	Split Type	36.00 kBtu/h (10.55 kWth)	4.86 kW	2.170 COP	Failed
24000	Split Type	24.00 kBtu/h (7.03 kWth)	4.37 kW	1.609 COP	Failed
40000	Split Type	40.00 kBtu/h (11.72 kWth)	5.15 kW	2.276 COP	Failed
16000	Split Type	16.00 kBtu/h (4.69 kWth)	3.22 kW	1.456 COP	Failed
30000	Split Type	30.00 kBtu/h (8.79 kWth)	5.49 kW	1.601 COP	Failed

ในส่วนของระบบปรับอากาศมีการใช้เครื่องปรับอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพ ค่า COP มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน 2.82 ทุกเครื่อง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.456 - 2.811

4.1.4 การใช้พลังงานรวมของอาคาร

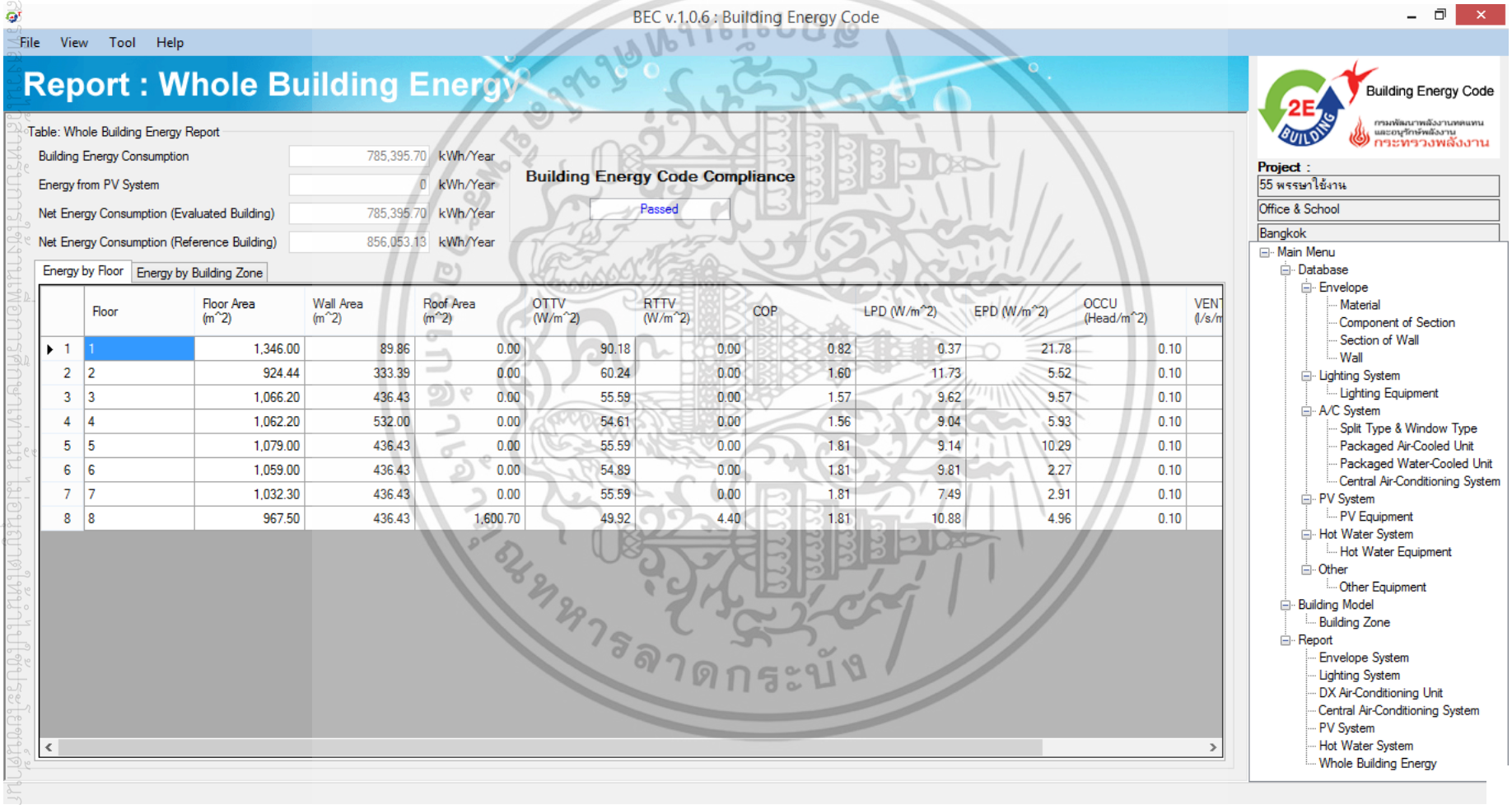
ตารางที่ 4.13 รายงานแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามชั้น จากโปรแกรม BEC

Floor	Floor 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)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1	1,346.00	89.86	0.00	90.18	0.00	0.82	0.37	21.78	0.10	0.25	90,891.24
2	924.44	333.39	0.00	60.24	0.00	1.60	11.73	5.52	0.10	0.25	96,085.27
3	1,066.20	436.43	0.00	55.59	0.00	1.57	9.62	9.57	0.10	0.25	118,622.30
4	1,062.20	532.00	0.00	54.61	0.00	1.56	9.04	5.93	0.10	0.25	113,873.00
5	1,079.00	436.43	0.00	55.59	0.00	1.81	9.14	10.29	0.10	0.25	111,624.70
6	1,059.00	436.43	0.00	54.89	0.00	1.81	9.81	2.27	0.10	0.25	77,180.32
7	1,032.30	436.43	0.00	55.59	0.00	1.81	7.49	2.91	0.10	0.25	81,289.94
8	967.50	436.43	1,600.70	49.92	4.40	1.81	10.88	4.96	0.10	0.25	95,828.93

ตารางที่ 4.14 รายงานแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามโซน จากโปรแกรม BEC

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)	Heat Gain Through Exterior Wall (W)	Heat Gain Through Roof (W)	Interior Heat Gain (W)	Heat Gain From Internal Wall (W)	Energy Consumption of A/C System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Lighting System (kWhr/Year)	Energy Consumption of Equipment (kWhr/Year)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1A-01	1	30.00	44.08	0.00	153.34	0.00	0.82	5.60	0.00	0.10	0.25	8,222.64	0.00	795.77	0.00	21,103.06	393.12	0.00	21,496.18
1B-01	1	1,268.00	13.10	0.00	25.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1B-02	1	24.00	16.34	0.00	30.84	0.00	0.00	7.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	393.12	0.00	393.12
1B-03	1	24.00	16.34	0.00	30.84	0.00	0.00	7.00	1,221.67	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	393.12	68,608.82	69,001.94
2A-01	2	96.00	76.00	0.00	53.52	0.00	1.81	6.13	12.50	0.10	0.25	2,253.43	0.00	1,749.21	0.00	9,363.85	1,375.92	2,808.00	13,547.77
2A-02	2	192.00	121.60	0.00	52.58	0.00	1.81	7.15	10.94	0.10	0.25	3,542.23	0.00	3,446.42	0.00	16,353.45	3,210.56	4,914.23	24,478.23
2A-03	2	75.44	30.78	0.00	69.42	0.00	1.81	10.39	3.98	0.10	0.25	1,183.85	0.00	1,220.82	0.00	5,626.92	1,834.50	702.06	8,163.47
2A-04	2	72.00	47.28	0.00	69.31	0.00	1.27	5.44	12.50	0.10	0.25	2,576.35	0.00	1,829.19	0.00	10,306.62	917.21	2,106.00	13,329.82
2A-05	2	72.00	47.28	0.00	76.45	0.00	0.82	10.89	9.33	0.10	0.25	4,397.16	0.00	2,919.40	0.00	17,120.74	1,834.58	1,403.94	20,359.26
2B-01	2	417.00	10.45	0.00	56.93	0.00	0.00	16.61	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16,206.73	0.00	16,206.73
3A-01	3	96.00	76.00	0.00	50.91	0.00	1.81	5.10	12.50	0.10	0.25	2,143.75	0.00	1,702.60	0.00	9,000.44	1,146.56	2,808.00	12,955.01
3A-02	3	192.00	121.60	0.00	52.03	0.00	1.81	7.15	10.94	0.10	0.25	3,504.84	0.00	3,446.42	0.00	16,255.95	3,210.56	4,914.23	24,380.73
3A-03	3	75.44	30.78	0.00	62.99	0.00	1.34	10.39	3.98	0.10	0.25	1,451.13	0.00	1,649.39	0.00	7,255.21	1,834.50	702.06	9,791.77
3A-04	3	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	12.25	18.75	0.10	0.25	0.00	0.00	2,334.14	0.00	5,461.89	917.28	1,404.00	7,783.17
3A-05	3	41.76	0.00	0.00	0.00	0.00	1.34	18.77	14.37	0.10	0.25	0.00	0.00	1,409.18	0.00	3,297.49	1,834.57	1,404.02	6,536.06
3A-06	3	287.00	197.60	0.00	58.64	0.00	1.81	6.83	18.82	0.10	0.25	6,419.87	0.00	6,173.94	0.00	29,469.49	4,586.22	12,635.78	46,691.49
3B-01	3	342.00	10.45	0.00	51.66	0.00	0.00	13.09	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10,474.07	0.00	10,474.07
4A-01	4	293.00	197.60	0.00	51.60	0.00	1.81	6.69	4.10	0.10	0.25	5,648.62	0.00	4,253.02	0.00	23,169.85	4,586.11	2,808.30	30,564.26
4A-02	4	148.90	121.60	0.00	52.03	0.00	1.34	13.16	4.03	0.10	0.25	4,735.21	0.00	3,519.93	0.00	19,317.02	4,586.33	1,404.16	25,307.51
4A-03	4	29.30	15.20	0.00	62.09	0.00	1.34	6.69	10.24	0.10	0.25	706.32	0.00	689.12	0.00	3,265.33	458.61	702.01	4,425.95
4A-04	4	39.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.34	7.54	7.63	0.10	0.25	0.00	0.00	974.89	0.00	2,047.21	687.92	701.97	3,437.10
4A-05	4	48.00	53.20	0.00	65.04	0.00	1.81	4.09	0.00	0.10	0.25	1,916.94	0.00	545.94	0.00	5,763.14	458.60	0.00	6,221.75
4A-06	4	60.00	45.60	0.00	55.47	0.00	1.27	6.53	5.00	0.10	0.25	1,988.62	0.00	1,265.93	0.00	7,615.65	917.23	702.00	9,234.89
4A-07	4	144.00	98.80	0.00	56.66	0.00	1.81	6.81	25.00	0.10	0.25	3,101.55	0.00	3,515.60	0.00	15,484.14	2,293.35	8,424.00	26,201.49
4B-01	4	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.03	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8,250.75	0.00	8,250.75
4B-02	4	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	229.32	0.00	229.32
5A-01	5	49.00	53.20	0.00	53.32	0.00	1.81	4.00	24.49	0.10	0.25	1,571.60	0.00	1,120.53	0.00	6,299.56	458.64	2,808.02	9,566.23
5A-02	5	188.00	121.60	0.00	52.03	0.00	1.81	7.30	25.53	0.10	0.25	3,504.84	0.00	4,679.95	0.00	19,152.42	3,210.54	11,232.04	33,594.99
5A-03	5	150.00	30.78	0.00	62.99	0.00	1.81	13.07	6.00	0.10	0.25	1,074.09	0.00	2,757.03	0.00	8,964.80	4,586.52	2,106.00	15,657.31
5A-04	5	287.00	197.60	0.00	58.64	0.00	1.81	6.83	14.63	0.10	0.25	6,419.87	0.00	5,608.96	0.00	28,147.23	4,586.22	9,827.90	42,561.35
5B-01	5	387.00	10.45	0.00	51.66	0.00	0.00	11.31	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10,244.83	0.00	10,244.83
5B-02	5	9.00	11.40	0.00	45.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5B-03	5	9.00	11.40	0.00	45.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6A-01	6	282.00	197.60	0.00	51.60	0.00	1.81	6.95	4.26	0.10	0.25	5,648.62	0.00	4,148.72	0.00	22,925.78	4,586.17	2,807.79	30,319.74
6A-02	6	282.00	197.60	0.00	57.09	0.00	1.81	6.95	4.26	0.10	0.25	6,249.20	0.00	4,148.72	0.00	24,331.12	4,586.17	2,807.79	31,725.09
6B-01	6	495.00	41.23	0.00	60.11	0.00	0.00	13.07	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15,135.51	0.00	15,135.51
7A-01	7	282.00	197.60	0.00	51.60	0.00	1.81	6.95	6.38	0.10	0.25	5,648.62	0.00	4,431.31	0.00	23,587.05	4,586.17	4,212.01	32,385.23
7A-02	7	73.00	64.60	0.00	57.29	0.00	1.81	51.01	16.44	0.10	0.25	2,050.52	0.00	2,989.73	0.00	11,794.18	8,714.21	2,807.94	23,316.33
7A-03	7	414.30	147.63	0.00	58.49	0.00	1.81	0.95	0.00	0.10	0.25	4,784.03	0.00	4,107.34	0.00	20,805.81	917.11	0.00	21,722.92
7B-01	7	263.00	26.60	0.00	65.04	0.00	0.00	6.29	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,865.45	0.00	3,865.45
8A-01	8	282.00	197.60	228.00	45.53	4.40	1.81	6.95	6.38	0.10	0.25	4,984.56	555.66	4,431.31	0.00	23,333.39	4,586.17	4,212.01	32,131.57
8A-02	8	146.80	30.78	282.00	55.51	4.40	1.81	13.73	12.26	0.10	0.25	946.52	687.27	3,176.61	0.00	11,256.33	4,717.45	4,212.14	20,185.93
8A-03	8	282.00	197.60	156.80	53.49	4.40	1.81	10.43	4.26	0.10	0.25	5,855.53	382.14	4,604.89	0.00	25,371.60	6,879.91	2,807.79	35,059.29
8B-01	8	256.70	10.45	933.90	49.10	4.40	0.00	14.07	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8,452.14	0.00	8,452.14

ตารางที่ 4.15 การใช้พลังงานรวมของอาคาร (Whole Building Energy) จากโปรแกรม BEC



อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯมีการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 785,395.70 kWh/Year ดังนั้นการใช้พลังงานรวมในอาคาร เฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ จึงมีค่าน้อยกว่าอาคารอ้างอิง 856,053.13 kWh/Year ซึ่งผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552
ด้วยเหตุนี้อาคารดังกล่าวเป็นอาคารที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ระดับตามเกณฑ์มาตรฐานอยู่แล้ว

4.2 การดำเนินการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

จากการการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานของอาคารนี้ด้วยโปรแกรม BEC พบว่ามีส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงที่ออกตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 ส่วนคือ กรอบอาคาร (OTTV) และระบบปรับอากาศ

1. ระบบกรอบอาคารดำเนินการปรับปรุงในส่วนของแผงบังแดด จากเดิมทีทำมุม 0 องศา ขนานกับพื้น ปรับให้ได้ 45 องศาเพื่อป้องกันแดด ส่องเข้าตัวอาคาร แต่สามารถมองเห็นทัศนียภาพด้านนอกได้ เพิ่มความยาวจาก 1.50 ม.เป็น 2.00 ม.
2. ระบบแสงสว่างเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าใช้หลอด T5 ทั้งหมด
3. ระบบปรับอากาศดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ใหม่ทั้งอาคารจำนวน 101 ตัวเนื่องจากการใช้งานมากกว่า 10 ปี

4.2.1 ระบบกรอบอาคาร (Envelope System)

ตารางสรุปผลการวิเคราะห์รายละเอียด ผลคำนวณ OTTV/ RTTV แยกรายผนัง , OTTV/ RTTV by Section , Opaque Components in Wall , Transparent Components in Wall , Component Area Per Wall , Wall Component Detail จากโปรแกรม BEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 รายละเอียดผลคำนวณ OTTV/ RTTV แยกรายผนัง จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Wall Name	Wall / Roof	OTTV / RTTV
ดาดฟ้า	Roof	4.40
ผนังทางทิศตะวันตก1	Wall	49.67
ผนังทางทิศตะวันตก2	Wall	65.65
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	Wall	41.35
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	Wall	53.74
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	Wall	49.67
ผนังทางทิศตะวันออก1	Wall	207.39
ผนังทางทิศตะวันออก2	Wall	75.44
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	Wall	57.64
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	Wall	63.50
ผนังทางทิศใต้2	Wall	70.70
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	Wall	39.70
ผนังทางทิศเหนือ1	Wall	35.61
ผนังทางทิศเหนือ2	Wall	45.30
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	Wall	45.30
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	Wall	38.05

ตารางที่ 4.17 OTTV/ RTTV by Section จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Wall Name	Section Name	OTTV / RTTV
ดาดฟ้า	r1	4.399
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	30.842
ผนังทางทิศตะวันตก2	w10	65.112
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	65.855
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	41.35
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	53.743
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	49.668
ผนังทางทิศตะวันออก1	w4	207.385
ผนังทางทิศตะวันออก2	w10	93.824
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	74.436
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	64.533
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	56.927
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	58.739
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	49.091

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	OTTV / RTTV
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w8	51.279
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w5	66.998
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w7	43.847
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	w8	39.621
ผนังทางทิศใต้2	w11	78.632
ผนังทางทิศใต้2	w12	61.093
ผนังทางทิศใต้2	w6	66.274
ผนังทางทิศใต้2	w9	71.408
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	39.699
ผนังทางทิศเหนือ1	w2	25.728
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	35.609
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	45.295
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	45.295
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	w6	38.054

ตารางที่ 4.18 Opaque Components in Wall จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Uw	DSH (kJ/m^3)	Component Color	Solar Absorbtan	TDeq	Q
ดาดฟ้า	r1	roof1	1	0.271	559.688	Surface of	0.5	16.231	4.399
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	Beam_1	5.16	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	128.942
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	Column_1	3.84	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.018	72.941
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	D7	7.56	2.506	54.45	Surface of	0.5	15.307	289.997
ผนังทางทิศตะวันตก1	w1	wall_1	16.12	1.972	159.037	Surface of	0.7	16.233	516.025
ผนังทางทิศตะวันตก2	w10	Beam_1	1.9875	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	49.665
ผนังทางทิศตะวันตก2	w10	wall_2	6.4725	4.219	146.232	Surface of	0.7	16.522	451.174
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	24.989
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.018	20.23
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	16.233	254.491
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	24.989
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.018	20.23
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	16.233	254.491
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.018	24.989
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.018	20.23
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	16.233	254.49

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Uw	DSH (kJ/m^3)	Component Color	Solar Absorbtan	TDeq	Q
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	11.708	39.831
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	11.708	42.993
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	17.544	473.284
ผนังทางทิศตะวันออก1	w4	Beam_1	1.8375	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	50.855
ผนังทางทิศตะวันออก2	w10	Beam_1	1.9875	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	55.007
ผนังทางทิศตะวันออก2	w10	wall_2	6.4725	4.219	146.232	Surface of	0.7	19.023	519.47
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	27.676
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	22.405
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	294.359
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	Beam_1	1.025	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	28.368
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	Column_1	1.012	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	21.29
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	wall_1	9.303	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	344.455
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	Beam_1	0.6875	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	19.028
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	44.8[illegible]
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	wall_1	4.7885	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	177.[illegible]

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Uw	DSH (kJ/m^3)	Component Color	Solar Absorbtan	TDeq	Q
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	Beam_1	1	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	27.676
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	Column_1	1.065	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	22.405
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	wall_1	7.95	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	294.359
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	Beam_1	1.025	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	28.368
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	Column_1	1.012	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.203	21.29
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	wall_1	9.303	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.776	344.455
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w8	Beam_1	0.6875	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.203	19.028
ผนังทางทิศใต้2	w9	Column_1	2.3	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.241	48.538
ผนังทางทิศใต้2	w9	D7	4.2	2.506	54.45	Surface of	0.5	16.768	176.487
ผนังทางทิศใต้2	w9	wall_2	28.46	4.219	146.232	Surface of	0.7	18.917	2271.41
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	12.241	41.644
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	12.241	44.95
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	18.63	502.581

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Uw	DSH (kJ/m^3)	Component Color	Solar Absorbtan	TDeq	Q
ผนังทางทิศเหนือ1	w2	Beam_1	3.6	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	78.717
ผนังทางทิศเหนือ1	w2	Column_1	1.92	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	31.912
ผนังทางทิศเหนือ1	w2	wall_1	17.28	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	475.976
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	Beam_1	2.19	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	47.886
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	Column_1	1.92	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	31.912
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	wall_1	8.81	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	242.671
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	32.799
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	35.403
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	376.814
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	32.799
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	35.403
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	376.814
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	w6	Beam_1	1.5	2.268	883.2	Surface of	0.5	9.641	32.799
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	w6	Column_1	2.13	1.724	1324.8	Surface of	0.5	9.641	35.403
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	w6	wall_1	13.68	1.972	159.037	Surface of	0.7	13.968	376.8

ตารางที่ 4.19 Transparent Components in Wall จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Wall Name	Section Name	Component Name	Area (m^2)	Ut	Dt	SHGC	Shading Coefficient	ESR	Q
ผนังทางทิศตะวันตก2	w10	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	3.29	2.67	5	0.61	0.467963	234.581	264.229
ผนังทางทิศตะวันตก2	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.851896	234.581	701.279
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.349877	234.581	328.809
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.603772	234.581	517.185
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.584855	256.824	576.312
ผนังทางทิศตะวันออก1	w4	Clear Float Glass 6 mm	15.353	5.74	5	0.82	0.998391	244.531	3514.191
ผนังทางทิศตะวันออก2	w10	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	3.29	2.67	5	0.61	0.986321	244.531	527.958
ผนังทางทิศตะวันออก2	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.928043	244.531	786.982
ผนังทางทิศตะวันออก2	w7	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	4.05	2.67	5	0.61	0.902113	244.531	599.046
ผนังทางทิศตะวันออก2	w8	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	2.844	2.67	5	0.61	0.744371	244.531	353.746
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.619555	244.531	548.393
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w7	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	4.05	2.67	5	0.61	0.508731	244.531	361.399
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	w8	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	2.844	2.67	5	0.61	0.60525	244.531	294.728
ผนังทางทิศตะวันออกเ3-7 .578-1	w5	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.185	2.67	5	0.61	0.781874	244.531	673.933
ผนังทางทิศตะวันออกเ3-7 .578-1	w7	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	4.05	2.67	5	0.61	0.375126	244.531	280.686
ผนังทางทิศตะวันออกเ3-7 .578-1	w8	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	2.844	2.67	5	0.61	0.318068	244.531	172.899
ผนังทางทิศใต้2	w11	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	4.375	2.67	5	0.61	0.535095	267.413	440.281
ผนังทางทิศใต้2	w12	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	17.9525	2.67	5	0.61	0.272515	267.413	1037.711
ผนังทางทิศใต้2	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.947565	267.413	921.873
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.270971	267.413	315.957
ผนังทางทิศเหนือ1	w3	Clear Float Glass 6 mm	0.95	5.74	5	0.82	1	185.063	171.429
ผนังทางทิศเหนือ2	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.830032	185.063	587.71
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.830032	185.063	587.71
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	w6	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	5.49	2.67	5	0.61	0.56366	185.063	422.624

ตารางที่ 4.20 Component Area Per Wall จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Wall Name	Component Name	Component Area (m^2)	Percentage
ดาดฟ้า	roof1	1,600.70	100.00 %
ผนังทางทิศตะวันตก1	Beam_1	5.16	15.80 %
ผนังทางทิศตะวันตก1	Column_1	3.86	11.80 %
ผนังทางทิศตะวันตก1	D7	7.55	23.10 %
ผนังทางทิศตะวันตก1	wall_1	16.11	49.30 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	Beam_1	3.99	9.47 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	13.66	32.40 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	Column_1	2.13	5.05 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	wall_1	15.90	37.72 %
ผนังทางทิศตะวันตก2	wall_2	6.47	15.36 %
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	Beam_1	20.06	6.60 %
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	103.66	34.10 %
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	Column_1	21.28	7.00 %
ผนังทางทิศตะวันตก3-7 .5-1	wall_1	158.99	52.30 %
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	Beam_1	4.01	6.60 %
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	20.73	34.10 %
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	Column_1	4.26	7.00 %
ผนังทางทิศตะวันตก8 .5-2	wall_1	31.80	52.30 %
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	Beam_1	9.03	6.60 %

ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

Wall Name	Component Name	Component Area (m^2)	Percentage
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	32.97	24.10 %
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	Column_1	12.72	9.30 %
ผนังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้8 .6-2	wall_1	82.08	60.00 %
ผนังทางทิศตะวันออก1	Beam_1	3.23	10.70 %
ผนังทางทิศตะวันออก1	Clear Float Glass 6 mm	26.98	89.30 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	Beam_1	6.73	8.07 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	25.78	30.92 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	Column_1	6.35	7.62 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	wall_1	38.05	45.63 %
ผนังทางทิศตะวันออก2	wall_2	6.47	7.76 %
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	Beam_1	9.76	6.61 %
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	48.41	32.79 %
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	Column_1	11.67	7.91 %
ผนังทางทิศตะวันออก8 .578-2	wall_1	77.79	52.69 %
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	Beam_1	31.01	6.61 %
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	152.16	32.45 %
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	Column_1	38.18	8.14 %

ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

Wall Name	Component Name	Component Area (m^2)	Percentage
ผนังทางทิศตะวันออก3-7 .578-1	wall_1	247.58	52.80 %
ผนังทางทิศใต้2	Beam_1	4.69	6.60 %
ผนังทางทิศใต้2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	19.75	27.79 %
ผนังทางทิศใต้2	Column_1	6.38	8.98 %
ผนังทางทิศใต้2	wall_1	27.36	38.50 %
ผนังทางทิศใต้2	wall_2	12.91	18.16 %
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	Beam_1	45.14	6.60 %
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	164.84	24.10 %
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	Column_1	63.61	9.30 %
ผนังทางทิศใต้3-7 .6-1	wall_1	410.40	60.00 %
ผนังทางทิศเหนือ1	Beam_1	4.26	15.80 %
ผนังทางทิศเหนือ1	Clear Float Glass 6 mm	0.94	3.50 %
ผนังทางทิศเหนือ1	Column_1	3.01	11.18 %
ผนังทางทิศเหนือ1	wall_1	18.74	69.47 %
ผนังทางทิศเหนือ2	Beam_1	9.03	6.60 %
ผนังทางทิศเหนือ2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	32.97	24.10 %
ผนังทางทิศเหนือ2	Column_1	12.72	9.30 %

ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

Wall Name	Component Name	Component Area (m^2)	Percentage
ผนังทางทิศเหนือ2	wall_1	82.08	60.00 %
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	Beam_1	51.16	6.60 %
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	186.82	24.10 %
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	Column_1	72.09	9.30 %
ผนังทางทิศเหนือ3-7 .6-1	wall_1	465.12	60.00 %
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	Beam_1	9.03	6.60 %
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	Clear Color Single Silver Low-E coat on Clear 10 mm (10-6-10)	32.97	24.10 %
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	Column_1	12.72	9.30 %
ผนังทางทิศเหนือ8 .6-2	wall_1	82.08	60.00 %

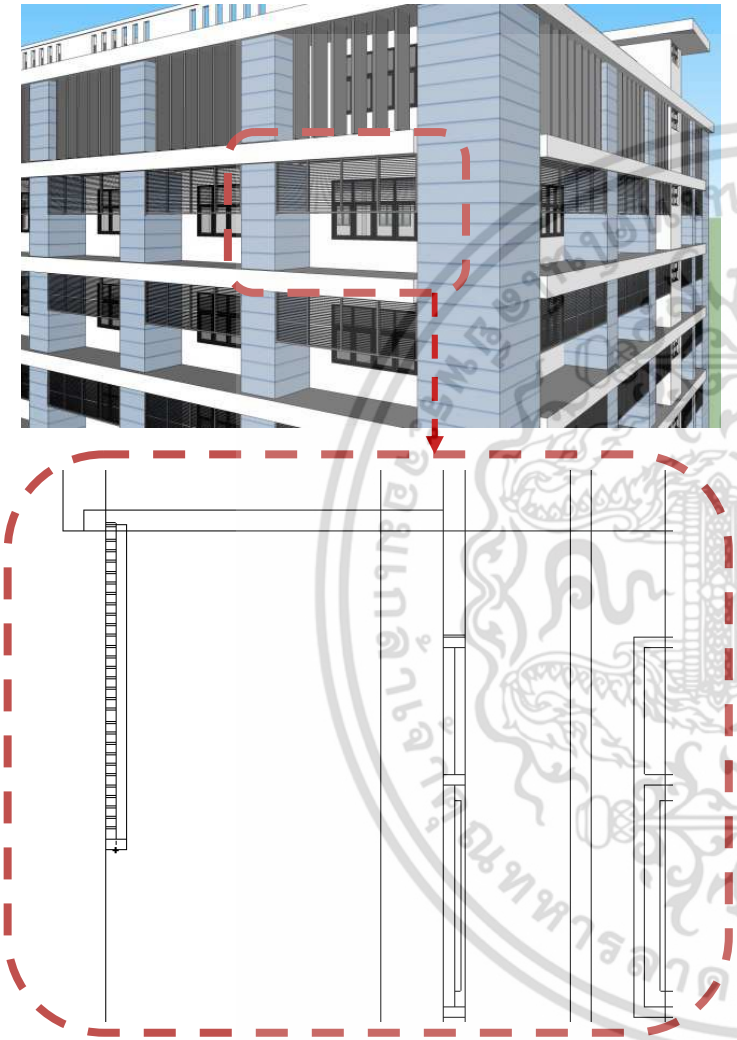
ตารางที่ 4.21 Wall Component Detail จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Component Name	Area (m^2)	Percentage (%)	Q (W)	OTTV/RTTV (w/m^2)	Total	Description
Beam_1	4.26	15.80 %	93.17	21.87		
Clear Float Glass 6 mm	0.94	3.50 %	170.17	180.45		
Column_1	3.01	11.18 %	50.10	16.62		
wall_1	18.74	69.47 %	516.11	27.55		

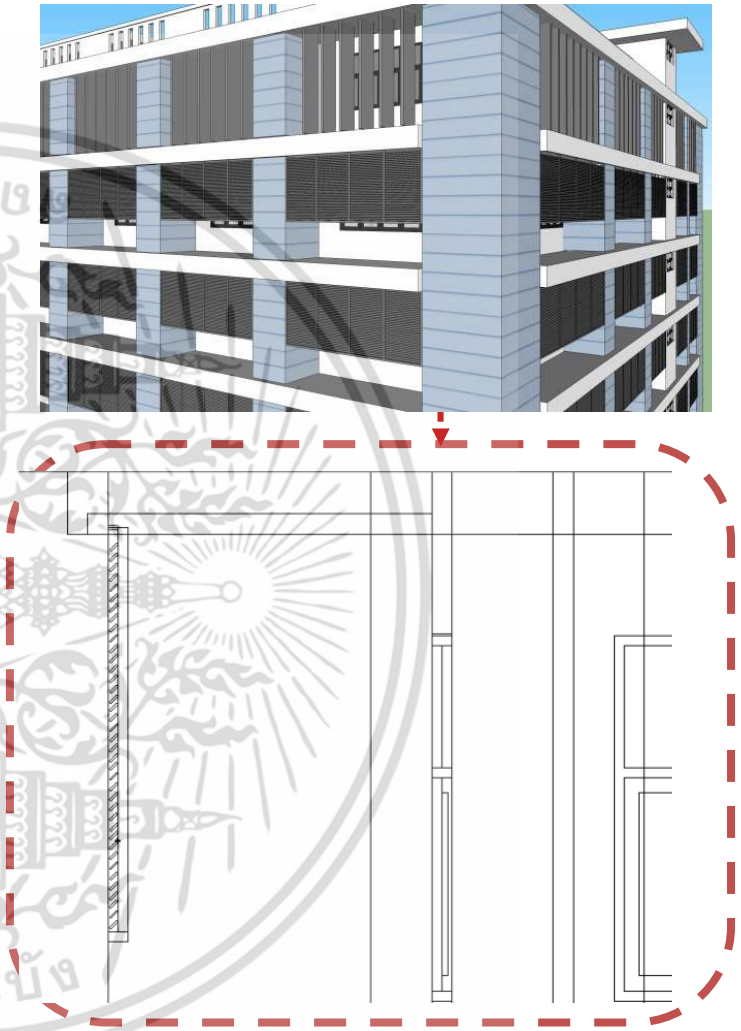
ตารางที่ 4.22 การทดลองระบบกรอบอาคาร (Envelope System) หลังจากดำเนินการปรับปรุง

รายการ	**ผลการปรับปรุง (W/m²)**		**ค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง (W/m²)**	**สรุป**
	เก่า	**ใหม่**		
ค่า OTTV	56.421	49.262	50	ผ่านเกณฑ์
ค่า RTTV	4.399	4.399	15	ผ่านเกณฑ์

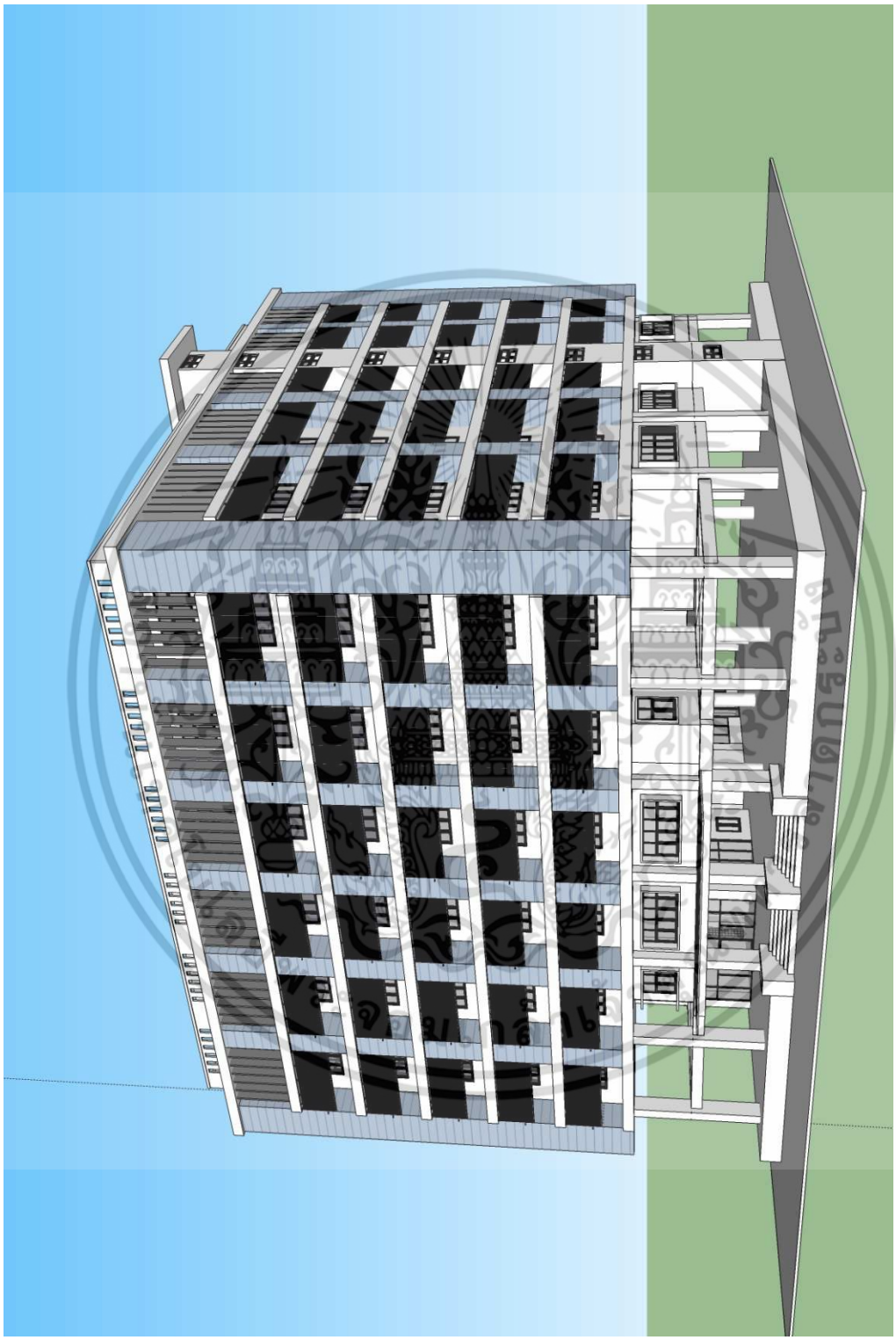
จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Building Energy Code v.1.0.6 พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงอาคารดังกล่าวตัวอาคารมีค่าถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารที่ 49.262 ผ่านตามมารฐานที่กำหนดในพระราชบัญญัติฯ ส่วนหลังคาผ่านตามมารฐานที่กำหนด



รูปที่ 4.4 แผงกันแดดก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 4.5 แผงกันแดดหลังการปรับปรุงทุกด้าน



รูปที่ 4.9 แบบอาคารที่ใช้นโยบายผู้หญิงเป็นหัวหน้าครอบครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ดำเนินการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ตารางสรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามชั้นอาคาร และ ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามโซน

ตารางที่ 4.23 รายงานผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามชั้นอาคารจากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Floor	Total Power	Total Area	Power Density
1	168.00 Watts	1,346.00 m^2	0.125 W/m^2
2	9,404.00 Watts	924.44 m^2	10.173 W/m^2
3	8,900.00 Watts	1,066.20 m^2	8.347 W/m^2
4	7,012.00 Watts	1,062.20 m^2	6.601 W/m^2
5	8,564.00 Watts	1,079.00 m^2	7.937 W/m^2
6	8,904.00 Watts	1,059.00 m^2	8.408 W/m^2
7	6,608.00 Watts	1,032.30 m^2	6.401 W/m^2
8	7,952.00 Watts	967.50 m^2	8.219 W/m^2

ตารางที่ 4.24 รายงานผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผลวิเคราะห์ จำแนกตามโซนจากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Zone	Floor	Area (m^2)	Power (Watt)/Unit	Quantity	Quantity in Daylighted Zone	Total Power (Watt)	Power Density (W/m^2)
1A-01	1	30	28.00	3	1	56.00	1.867
1B-01	1	1268	62.72	162	162	0.00	0
1B-02	1	24	28.00	3	1	56.00	2.333
1B-03	1	24	28.00	3	1	56.00	2.333
2A-01	2	96	84.00	12	6	504.00	5.25
2A-02	2	192	84.00	24	10	1,176.00	6.125
2A-03	2	75.44	84.00	12	4	672.00	8.908
2A-04	2	72	84.00	9	5	336.00	4.667
2A-05	2	72	84.00	11	3	672.00	9.333
2B-01	2	417	55.96	111	2	6,044.00	14.494
3A-01	3	96	84.00	12	7	420.00	4.375
3A-02	3	192	84.00	24	10	1,176.00	6.125
3A-03	3	75.44	84.00	12	4	672.00	8.908
3A-04	3	32	84.00	4	0	336.00	10.5
3A-05	3	41.76	84.00	8	0	672.00	16.092
3A-06	3	287	84.00	36	16	1,680.00	5.854
3B-01	3	342	47.81	86	2	3,944.00	11.532
4A-01	4	293	84.00	36	16	1,680.00	5.734

ตารางที่ 4.24 (ต่อ)

Zone	Floor	Area (m^2)	Power (Watt)/Unit	Quantity	Quantity in Daylighted Zone	Total Power (Watt)	Power Density (W/m^2)
4A-02	4	148.9	84.00	20	0	1,680.00	11.283
4A-03	4	29.3	84.00	4	2	168.00	5.734
4A-04	4	39	84.00	6	3	252.00	6.462
4A-05	4	48	84.00	6	4	168.00	3.5
4A-06	4	60	84.00	8	4	336.00	5.6
4A-07	4	144	84.00	18	8	840.00	5.833
4B-01	4	293	23.34	79	2	1,804.00	6.157
4B-02	4	7	84.00	1	0	84.00	12
5A-01	5	49	84.00	6	4	168.00	3.429
5A-02	5	188	84.00	24	10	1,176.00	6.255
5A-03	5	150	84.00	24	4	1,680.00	11.2
5A-04	5	287	84.00	36	16	1,680.00	5.854
5B-01	5	387	47.39	85	2	3,860.00	9.974
5B-02	5	9	84.00	1	1	0.00	0
5B-03	5	9	84.00	1	1	0.00	0
6A-01	6	282	84.00	36	16	1,680.00	5.957

ตารางที่ 4.24 (ต่อ)

Zone	Floor	Area (m^2)	Power (Watt)/Unit	Quantity	Quantity in Daylighted Zone	Total Power (Watt)	Power Density (W/m^2)
6A-02	6	282	84.00	36	16	1,680.00	5.957
6B-01	6	495	58.79	119	53	5,544.00	11.2
7A-01	7	282	84.00	36	16	1,680.00	5.957
7A-02	7	73	84.00	54	16	3,192.00	43.726
7A-03	7	414.3	84.00	9	5	336.00	0.811
7B-01	7	263	37.55	67	49	1,400.00	5.323
8A-01	8	282	84.00	36	16	1,680.00	5.957
8A-02	8	146.8	28.00	24	0	672.00	4.578
8A-03	8	282	84.00	36	6	2,520.00	8.936
8B-01	8	256.7	47.39	85	47	3,080.00	11.998

ตารางที่ 4.25 ผลการใช้พลังงานการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั้น (Lighting System) จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

รายการ	**ผลการปรับปรุง** (W/m²)		**ค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง** (W/m²)	**สรุป**
	เก่า	**ใหม่**		
การใช้พลังงานไฟฟ้า	8.167	4.331	14	ผ่านเกณฑ์

โดยสรุปในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีการใช้ หลอดT5 และบัลลาสต์ ที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างเฉลี่ย 4.331 W/m² มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานที่ 14W/m² ทำให้ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด

4.2.3 ดำเนินการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศเมื่อปรับปรุง เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่ที่ได้มาตรฐาน เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพ ค่า COP มีค่าตามมาตรฐาน 2.82 ทุกเครื่อง

ตารางที่ 4.26 รายงานผลวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

A/C Code	A/C Type	Cooling Capacity	Power Consumption	Performance	Status
48000	Split Type	48.00 kBtu/h (14.06 kWth)	4.36 kW	3.226 COP	Passed
36000	Split Type	36.00 kBtu/h (10.55 kWth)	3.27 kW	3.226 COP	Passed
24000	Split Type	24.00 kBtu/h (7.03 kWth)	2.18 kW	3.226 COP	Passed
40000	Split Type	40.00 kBtu/h (11.72 kWth)	3.64 kW	3.220 COP	Passed
16000	Split Type	16.00 kBtu/h (4.69 kWth)	1.45 kW	3.233 COP	Passed
30000	Split Type	30.00 kBtu/h (8.79 kWth)	2.73 kW	3.220 COP	Passed

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศ (Air Condition System) หลังจากดำเนินการปรับปรุง

เครื่องปรับอากาศ		การใช้พลังงานไฟฟ้า	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน		ประสิทธิภาพเกณฑ์ขั้นต่ำ	สรุป
ชนิด	ขนาดBtu/h		EER	COP		
Split Type (4ตัน)	48000	4.36 kW	11.0	3.226	2.82	ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ
Split Type (3ตัน)	36000	3.27 kW	11.0	3.226	2.82	ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ
Split Type (2ตัน)	24000	2.18 kW	11.0	3.226	2.82	ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ
Split Type(3.3ตัน)	40000	3.64 kW	10.98	3.220	2.82	ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ
Split Type(1.3ตัน)	16000	1.45 kW	11.03	3.233	2.82	ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ
Split Type(2.5ตัน)	30000	2.73 kW	10.98	3.220	2.82	ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ

4.2.4 **ดำเนินการทดลองการใช้พลังงานรวมของอาคาร**

แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามชั้นและผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามโซนจากโปรแกรม BEC

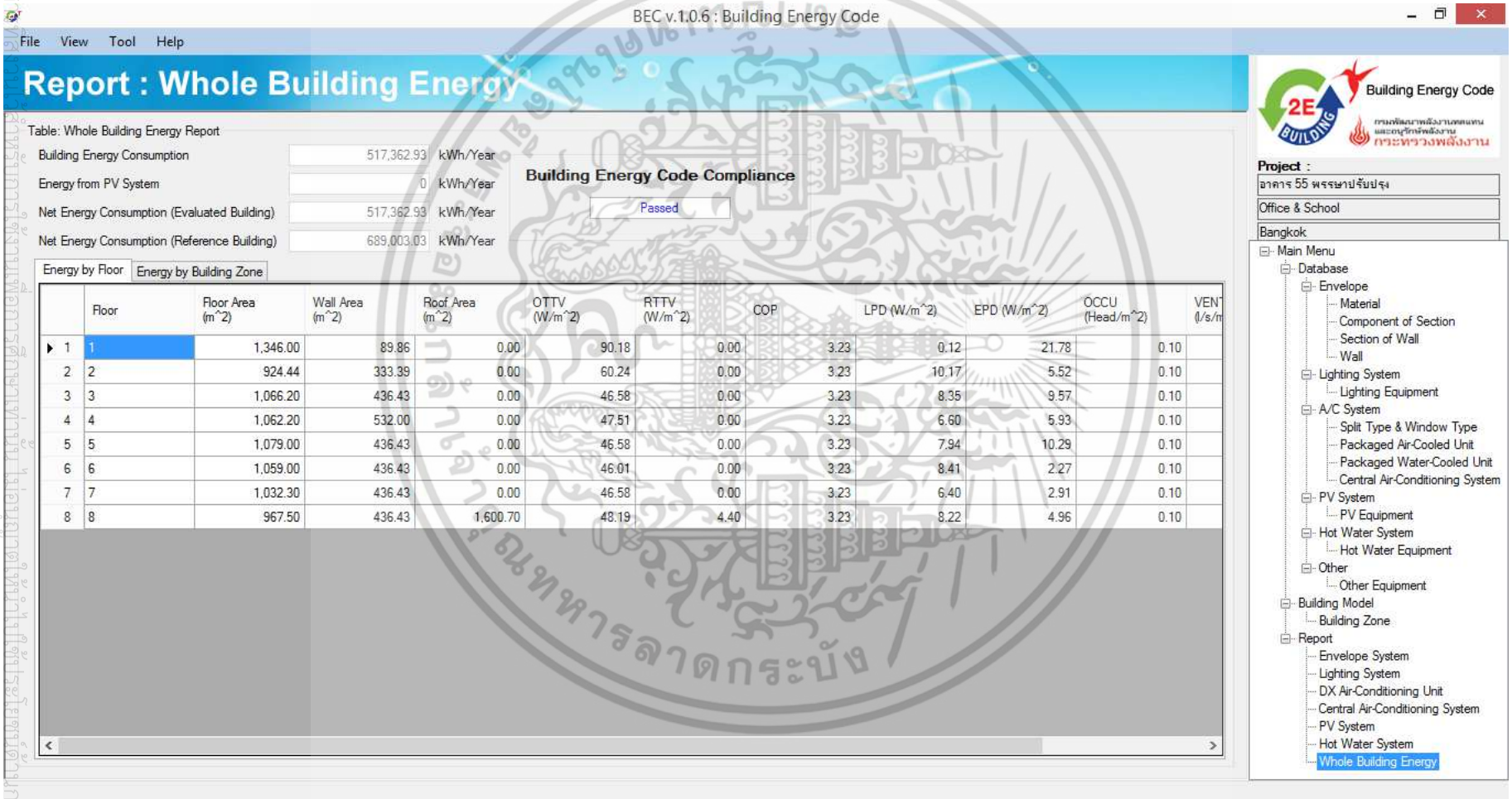
ตารางที่ 4.28 รายงานแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามชั้น จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

Floor	Floor 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)	Total Energy Consumption (kWhr/Year)
1	1,346.00	89.86	0.00	90.18	0.00	3.23	0.12	21.78	0.10	0.25	74,310.85
2	924.44	333.39	0.00	60.24	0.00	3.23	10.17	5.52	0.10	0.25	59,562.35
3	1,066.20	436.43	0.00	46.58	0.00	3.23	8.35	9.67	0.10	0.25	77,437.43
4	1,062.20	532.00	0.00	47.51	0.00	3.23	6.60	5.93	0.10	0.25	65,963.08
5	1,079.00	436.43	0.00	46.58	0.00	3.23	7.94	10.29	0.10	0.25	77,781.00
6	1,059.00	436.43	0.00	46.01	0.00	3.23	8.41	2.27	0.10	0.25	50,002.71
7	1,032.30	436.43	0.00	46.58	0.00	3.23	6.40	2.91	0.10	0.25	50,726.92
8	967.50	436.43	1,600.70	48.19	4.40	3.23	8.22	4.96	0.10	0.25	61,578.59

ตารางที่ 4.29 รายงานแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากสมการพลังงาน จำแนกตามโซน จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง

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]	Heat Gain Through Exterior Wall [W]	Heat Gain Through Roof [W]	Interior Heat Gain [W]	Heat Gain From Internal Wall [W]	Energy Consumption of A/C System [kWhr/Year]	Energy Consumption of Lighting System [kWhr/Year]	Energy Consumption of Equipment [kWhr/Year]	Total Energy Consumption [kWhr/Year]
1A-01	1	30.00	44.08	0.00	153.34	0.00	3.23	1.87	0.00	0.10	0.25	2,095.17	0.00	173.81	0.00	5,308.92	131.06	0.00	5,439.99
1B-01	1	1,288.00	13.10	0.00	25.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1B-02	1	24.00	16.34	0.00	30.84	0.00	0.00	2.33	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	131.02	0.00	131.02
1B-03	1	24.00	16.34	0.00	30.84	0.00	0.00	2.33	1,221.67	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	131.02	68,608.82	68,739.84
2A-01	2	96.00	78.00	0.00	53.52	0.00	3.23	5.25	12.50	0.10	0.25	1,260.83	0.00	956.28	0.00	5,188.04	1,179.36	2,808.00	9,175.40
2A-02	2	192.00	121.80	0.00	52.58	0.00	3.23	6.13	10.94	0.10	0.25	1,981.94	0.00	1,877.29	0.00	9,030.58	2,751.84	4,914.23	16,696.64
2A-03	2	75.44	30.78	0.00	69.42	0.00	3.23	8.91	3.98	0.10	0.25	662.38	0.00	653.92	0.00	3,060.14	1,572.53	702.06	5,354.73
2A-04	2	72.00	47.28	0.00	69.31	0.00	3.23	4.67	12.50	0.10	0.25	1,015.85	0.00	706.28	0.00	4,029.78	786.30	2,106.00	6,922.07
2A-05	2	72.00	47.28	0.00	76.45	0.00	3.23	9.33	8.33	0.10	0.25	1,120.42	0.00	714.71	0.00	4,294.18	1,572.42	1,403.94	7,270.55
2B-01	2	417.00	10.45	0.00	56.93	0.00	0.00	14.49	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14,142.98	0.00	14,142.98
3A-01	3	96.00	78.00	0.00	43.72	0.00	3.23	4.38	12.50	0.10	0.25	1,029.91	0.00	934.41	0.00	4,596.51	982.80	2,808.00	8,387.31
3A-02	3	192.00	121.80	0.00	50.72	0.00	3.23	6.13	10.94	0.10	0.25	1,911.86	0.00	1,877.29	0.00	8,866.61	2,751.84	4,914.23	16,532.67
3A-03	3	75.44	30.78	0.00	55.28	0.00	3.22	8.91	3.98	0.10	0.25	528.42	0.00	655.14	0.00	2,769.53	1,572.53	702.06	5,044.11
3A-04	3	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.23	10.50	18.75	0.10	0.25	0.00	0.00	414.30	0.00	969.47	786.24	1,404.00	3,159.71
3A-05	3	41.76	0.00	0.00	0.00	0.00	3.22	18.09	14.37	0.10	0.25	0.00	0.00	555.48	0.00	1,299.78	1,572.48	1,404.02	4,276.28
3A-06	3	287.00	197.60	0.00	44.15	0.00	3.23	5.85	18.82	0.10	0.25	2,704.47	0.00	3,381.56	0.00	14,241.31	3,931.43	12,635.78	30,808.52
3B-01	3	342.00	10.45	0.00	39.62	0.00	0.00	11.53	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9,228.83	0.00	9,228.83
4A-01	4	293.00	197.60	0.00	48.03	0.00	3.23	5.73	4.10	0.10	0.25	2,941.77	0.00	2,306.78	0.00	12,281.59	3,931.35	2,808.30	19,021.23
4A-02	4	148.90	121.80	0.00	50.72	0.00	3.22	11.28	4.03	0.10	0.25	1,915.43	0.00	1,387.42	0.00	7,728.65	3,931.29	1,404.16	13,064.10
4A-03	4	29.30	15.20	0.00	58.74	0.00	3.22	5.73	10.24	0.10	0.25	277.28	0.00	278.62	0.00	1,300.80	393.14	702.01	2,395.94
4A-04	4	39.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.22	6.46	7.69	0.10	0.25	0.00	0.00	352.05	0.00	823.79	589.72	701.97	2,115.48
4A-05	4	48.00	53.20	0.00	55.30	0.00	3.23	3.50	0.00	0.10	0.25	911.92	0.00	298.18	0.00	2,831.63	393.12	0.00	3,224.75
4A-06	4	60.00	45.60	0.00	39.70	0.00	3.23	5.80	5.00	0.10	0.25	861.15	0.00	484.58	0.00	2,447.00	786.24	702.00	3,935.24
4A-07	4	144.00	98.80	0.00	40.21	0.00	3.23	5.83	25.00	0.10	0.25	1,231.39	0.00	1,930.55	0.00	7,398.94	1,965.49	8,424.00	17,788.42
4B-01	4	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.16	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,221.36	0.00	4,221.36
4B-02	4	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	196.56	0.00	196.56
5A-01	5	49.00	53.20	0.00	43.04	0.00	3.23	3.43	24.49	0.10	0.25	709.79	0.00	819.87	0.00	3,110.93	393.17	2,808.02	6,312.12
5A-02	5	188.00	121.80	0.00	50.72	0.00	3.23	6.28	25.53	0.10	0.25	1,911.86	0.00	2,567.45	0.00	10,481.60	2,751.70	11,232.04	24,465.34
5A-03	5	150.00	30.78	0.00	55.28	0.00	3.23	11.20	8.00	0.10	0.25	527.44	0.00	1,469.68	0.00	4,873.27	3,931.20	2,106.00	10,710.47
5A-04	5	287.00	197.60	0.00	44.15	0.00	3.23	5.85	14.63	0.10	0.25	2,704.47	0.00	3,068.39	0.00	13,501.48	3,931.43	9,827.90	27,260.81
5B-01	5	387.00	10.45	0.00	39.62	0.00	0.00	9.97	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9,032.28	0.00	9,032.28
5B-02	5	9.00	11.40	0.00	45.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5B-03	5	9.00	11.40	0.00	45.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6A-01	6	282.00	197.60	0.00	48.03	0.00	3.23	5.96	4.26	0.10	0.25	2,941.77	0.00	2,248.38	0.00	12,144.90	3,930.91	2,807.79	18,883.59
6A-02	6	282.00	197.60	0.00	42.88	0.00	3.23	5.96	4.26	0.10	0.25	2,628.62	0.00	2,248.38	0.00	11,407.47	3,930.91	2,807.79	18,146.16
6B-01	6	495.00	41.23	0.00	51.31	0.00	0.00	11.20	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12,972.98	0.00	12,972.98
7A-01	7	282.00	197.60	0.00	48.03	0.00	3.23	5.96	6.38	0.10	0.25	2,941.77	0.00	2,406.48	0.00	12,514.89	3,930.91	4,212.01	20,657.81
7A-02	7	73.00	64.60	0.00	40.48	0.00	3.23	43.73	16.44	0.10	0.25	810.52	0.00	1,534.27	0.00	5,486.82	7,469.28	2,807.94	15,764.03
7A-03	7	414.30	147.63	0.00	45.75	0.00	3.23	0.81	0.00	0.10	0.25	2,093.77	0.00	2,283.56	0.00	10,242.98	786.23	0.00	11,029.20
7B-01	7	283.00	28.60	0.00	55.30	0.00	0.00	5.32	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,275.88	0.00	3,275.88
8A-01	8	282.00	197.60	228.00	43.65	4.40	3.23	5.96	6.38	0.10	0.25	2,873.66	310.90	2,406.48	0.00	12,815.05	3,930.91	4,212.01	20,757.98
8A-02	8	148.80	30.78	282.00	53.86	4.40	3.23	4.58	12.26	0.10	0.25	513.84	384.54	1,427.42	0.00	5,442.37	1,572.60	4,212.14	11,227.11
8A-03	8	282.00	197.60	156.80	51.69	4.40	3.23	8.94	4.26	0.10	0.25	3,166.13	213.81	2,467.11	0.00	13,882.10	5,896.69	2,807.79	22,586.58
8B-01	8	256.70	10.45	933.90	51.28	4.40	0.00	12.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7,206.94	0.00	7,206.94

ตารางที่ 4.30 การใช้พลังงานรวมของอาคาร (Whole Building Energy) จากโปรแกรม BEC หลังจากดำเนินการปรับปรุง



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 ปี พ.ศ. 2550

จากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ มีการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 785,395.70 kWh/Year เมื่อพิจารณาในแต่ละระบบพบว่ามีส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ สองส่วนคือ ระบบกรอบอาคาร 56.433 W/m^2 ค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง 50W/m^2 และ ระบบปรับอากาศค่า COP มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง 2.82 โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.60 -2.80 และในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีการใช้ หลอดและบัลลาสต์ที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างเฉลี่ย 8.167 W/m^2 มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานที่ 14 W/m^2ทำให้ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด

5.1.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

การปรับปรุงโดยการดำเนินการ 3 วิธี

1. ระบบกรอบอาคาร

ดำเนินการปรับปรุงในส่วนของแผงบังแดด จากเดิมที่ทำมุม 0 องศา ขนานกับพื้น ปรับให้ได้ 45 องศาเพื่อป้องกันแดด ส่องเข้าตัวอาคาร แต่สามารถมองเห็นทัศนียภาพด้านนอกได้ เพิ่มความยาวจาก 1.50 ม.เป็น 2.00 ม.เพื่อป้องกันแดดได้ดียิ่งขึ้น

2. ระบบแสงสว่าง

เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าใช้หลอด T5 ทั้งหมด

3. ระบบปรับอากาศ

ดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ใหม่ทั้งอาคารจำนวน 101 ตัว

ระบบกรอบอาคาร เมื่อดำเนินการปรับปรุงแผงกันแดดใหม่ให้ได้ 45 องศาเพื่อป้องกันแดด ส่องเข้าตัวอาคาร แต่สามารถมองเห็นทัศนียภาพด้านนอกได้ เพิ่มความยาวจาก 1.50 ม.เป็น 2.00 ม. พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงอาคารดังกล่าวตัวอาคารมีค่าถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารที่ 49.262 ผ่านตามมารฐานที่กำหนดในพระราชบัญญัติฯ ในส่วนของระบบปรับอากาศเมื่อปรับปรุง เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่ตามข้อแนะนำ เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพ ค่า COP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าตามมาตรฐาน 2.82 ทั้ง 101 เครื่องและในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีการใช้ หลอดT5 และบัลลาสต์ ที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างเฉลี่ย 4.331 W/m² มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานที่ 14 W/m² ทำให้ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด

ดำเนินการปรับปรุงระบบทุกระบบให้ผ่านเกณฑ์ โดยสรุปแล้วอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ มีการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 517,362.93 kWh/Year ดังนั้น การใช้พลังงานรวมในอาคารมีการใช้พลังงานน้อยกว่าเดิมที่ผ่านเกณฑ์ในครั้งแรก(785,395.70 kWh/Year)แต่ยังไม่ปรับปรุงค่อนข้างมาก จึงมีค่าน้อยกว่าอาคารอ้างอิง 689,003.03 kWh/Year ซึ่งผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐานหลังเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารก่อนปรับปรุง กับหลังจากปรับปรุงแล้ว พบว่า ค่าการใช้พลังงานลดลงถึง 785,395.70 - 517,362.93= 268,032.77 kWh/Year เป็นจำนวนเงิน 1,192,477 บาท/ปี

การลงทุนในส่วนของระบบกรอบอาคารคิดเป็นเงิน 1,214,400 บาท การลงทุนในส่วนของระบบไฟฟ้า 197,820 บาท ในส่วนของเครื่องปรับอากาศ 5,467,000 บาท รวมทั้งสิ้น 6,879,220 บาท ระยะเวลาคืนทุน 5.7 ปี (อ้างอิงจากมาตรฐานราคากลาง)

ถึงแม้ว่าเป็นการออกแบบที่เป็นอาคารสถาปัตยกรรมเขตร้อน ใช้วัสดุที่ป้องกันความร้อนที่ดี มีค่าการส่งผ่านความร้อนใกล้เคียงกับค่า เกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ (OTTV) แต่การแก้ไขปรับปรุงสามารถทำได้ การออกแบบแสงสว่างเป็นการออกแบบที่ดี แต่ก็สามารถออกแบบปรับปรุงได้อีก

การเสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีศักยภาพในการปรับปรุงอาคารได้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC เพื่อตรวจสอบผลการปรับปรุงตามมาตรการต่างๆสามารถดำเนินการได้ผลอย่างหน้าพอใจจึงเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์กับสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสถานศึกษาอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การติดตั้งระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ นอกจากใช้เครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงแล้วควรทำการบำรุงรักษาให้สม่ำเสมอและการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่เมื่อครบอายุการใช้งานก็จะเป็นการลดการใช้พลังงานอาคารลงได้อย่างมาก

จากที่กล่าวมาข้างต้นหากมีการนำไปพิจารณาปรับปรุงและนำมาใช้อย่างถูกต้อง เหมาะสม จะสามารถทำให้มีการลดการใช้พลังงานในอาคารโดยเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งจะเป็นแนวทางการส่งเสริมการประหยัดพลังงาน และยกระดับมาตรฐานการออกแบบอาคาร ให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

ถวิกา ผาติดำรงกุล และ จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์. (2012).**ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ**.วารสาร JARS 9 (1) 101-112.

ธนาวุฒิ ขุนทอง.**แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารเพื่อลดการ ถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) และการใช้พลังงานในอาคาร ประเภทสำนักงาน กรณีศึกษา : อาคารไทยประกันชีวิต**. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2538.

ปรัชญา ปัตถาวงศ์ และ วิทยา ยงเจริญ. (2557). **การศึกษากรอบอาคารชุดและแนวทางการประหยัดพลังงาน**.วารสารวิจัยพลังงาน. 11(1):25-37.

ปรัชศณี เมฆศรีสวัสดิ์ . **การออกแบบบ้านประหยัดพลังงานที่ใช้ธรรมชาติร่วมกับระบบปรับอากาศ(บ้านต้นแบบในเขตชานเมืองกรุงเทพมหานคร)**.วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548.

พีระพงษ์ โมลิกา.**การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทอาคารหอสมุดในสถาบันการศึกษา เพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา : อาคาร 7 สำนักหอสมุดและศูนย์สาระสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต** .วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.

ศุทธา ศรีเผด็จ. (2551). **กฎหมายอนุรักษ์พลังงานในอาคารฉบับใหม่**.วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 12(1):1-8

ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. **เทคโนโลยีการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน**. กรุงเทพมหานคร : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, 2556.

เอกสารการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, โครงการดำเนินการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานโดยการติดฉลาก , กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ การตรวจสอบประเมินอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย,กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน,2555

Andris Auliciems and Steven V. Szokolay .1997.**Thermal Comfort** .Brisbane : The University of Queensland Printery.

ASHRAE. 1985 .**Handbook of Fundamentals**, Atlanta, GA.American of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE.1992.**Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**.Standard 55.

Benjamin H.Evans, **Daylight in Architecture**, (New York : AIA ,1981), 72.

Busch, J. 1990. **Thermal responses to the thai office environment**. ASHRAET ransactions 96(1):859-874

Fanger PO. 1972. **Thermal comfort analysis and application in environmental engineering**. McGraw-Hill, New York, p. 244.

Federico M. Butera. 1998. **Principles of thermal comfort**.Renewable & Sustainable Energy Reviews.2:39-66.

Olgyay,V. 1963 . **Design with Climate** : A Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว พิมประภา จินดากร
วัน เดือน ปีเกิด	10 ตุลาคม 2529 จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ที่อยู่	224 หมู่ที่ 8 ต.บางงอน อ.พุนพิน จ.สุราษฎร์ธานี 84130
	โทร.08-4006-4054
ประวัติการศึกษา	
2548	สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต (สถาปัตยกรรมศาสตร์)
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา
2554	สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (สถาปัตยกรรมเขตร้อน)
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทะเบียนวิชาชีพ	ภาคีสถาปนิกใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบการวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุม
	สาขาสถาปัตยกรรมหลัก เลขที่ ภ-สถ 17919
ประสบการณ์การทำงาน	
2558 - ปัจจุบัน	สถาปนิกประจำ บริษัท ปริญสิริ จำกัด มหาชน
2555 - 2557	สถาปนิกประจำ บริษัท FBA DESIGN .co.ltd
2553 - 2554	พนักงานออกแบบ บริษัท โฮมโปรดักส์ เซ็นเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้