แบบจำลองศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร
OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE OF BUILDING MODEL

ณิญฎา สุทนต์

โครงงานพิเศษส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE OF BUILDING MODEL

NINYADA SUTHON

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUTREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPILED PHYSICS)

DEPARTMENT OF PHYSICS,

FACULTY OF SCIENCE

KINGMONKUT'T INTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	แบบจำลองศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE OF BUILDING MODEL
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณิญฎา สุทนต์ รหัสนักศึกษา 54050500
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ ประธานกรรมการ	
ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก กรรมการ	
อ. ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์ กรรมการ	
ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ แบบจำลองศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร
ชื่อนักศึกษา นางสาวณิญฎา สุทนต์ รหัสนักศึกษา 54050500
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อทำการศึกษาการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจากกรอบอาคารและหลังคาอาคาร โดยทำการจำลองโมเดล 3 มิติเพื่อการศึกษา ในการคำนวณและการรู้จักและเลือกวัสดุที่จะใช้ เพื่อเป็นอาคารที่ประหยัดพลังงาน การออกแบบโมเดล 3 มิติทำการออกแบบด้วยโปรแกรม Sketch Up pro โดยทำการออกแบบอาคารขนาด 5 ชั้น ความสูง 15 เมตร จากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจากกรอบอาคารและหลังคาอาคารได้ 29.9987 วัตต์/ตารางเมตร และ 9.2914 วัตต์/ตารางเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ : ค่าการถ่ายเทความร้อน กรอบอาคาร หลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE OF BUILDING MODEL
Student	Miss Ninyada Suthon Student ID 54050500
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Advisor	Dr.Kajpanya Suwansukho

Abstract

This special project is designed to study the overall thermal transfer value (OTTV) and the roof thermal transfer value (RTTV) calculation. The building model was design by sketch up pro program. A 3D model building of 5 floor with 15 meters high and different type of materials was build for determine energy saving of building concept. OTTV and RTTV of the building are 29.9987 W / m^2 and 9.2914 W / m^2 respectively.

Keywords : The Overall Thermal Transfer Value (OTTV), The Roof Thermal Transfer Value (RTTV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่องแบบจำลองศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารครั้งนี้สำเร็จได้เพราะได้รับความกรุณาจาก ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่คอยกรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาทั้งเรื่องของข้อกฎหมายและแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมรวมทั้งความรู้พื้นฐาน ให้ความช่วยเหลือและแนะนำทางด้านเทคนิคที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบแบบจำลองในโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณประธานกรมการและคณะกรรมการการตรวจสอบโครงงานพิเศษนี้ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบการคำนวณและแบบจำลองอาคาร ส่งผลให้โครงงานพิเศษนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณในความกรุณาของทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอบคุณคำแนะนำและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวิธีการการเลือกวัสดุและการประกอบวัสดุที่ใช้ในการคำนวณและการออกแบบสำหรับโครงงานพิเศษนี้ จากคุณตา ช่างสมพงษ์ รัตนปัญญา

ขอบคุณคำแนะนำและวิธีการต่างๆ ที่เป็นข้อเสนอแนะในการทำความเข้าใจในการคำนวณค่า OTTV-RTTV ที่มากขึ้นจาก คุณพัฒนา รัตนนาวาทอง ผู้เขียนเว็บไซต์ ZERO CARBON BUILDING THAILAND

ขอบคุณ ครอบครัว ที่ให้โอกาส ให้เวลา ให้กำลังใจ รวมทั้งคำแนะนำ ในการศึกษา ออกแบบทั้งการคำนวณ และ ออกแบบการเลือกใช้วัสดุในการใช้กับอาคารตัวอย่างในโครงงานพิเศษนี้

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดโครงงานพิเศษหรือการออกแบบคำนวณค่า OTTV-RTTV ครั้งนี้ขอมอบให้กับครอบครัว ครูอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา

ณิญฎา สุทนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ศึกษากฎหมายและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กับการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร	3
2.1.1 หลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	3
2.1.2 วิธีการคำนวณค่า OTTV-RTTV	4
2.2 การศึกษาโปรแกรม Sketch Up Pro 2014	43
2.2.1 ความสามารถของโปรแกรม Sketch Up Pro 2014	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	45
3.1 การออกแบบและการเลือกโครงสร้างโมเดล	45
3.2 ออกแบบการคำนวณค่า OTTV และ RTTV	47
3.3 การออกแบบในโปรแกรม Sketch up	48
3.4 การกำหนดการใช้วัสดุที่จะมาสร้างโมเดล	48
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	50
4.1 ขั้นตอนการออกแบบและการเลือกโครงสร้างโมเดล	50
4.2 การกำหนดขนาดของกรอบอาคารและขนาดของหลังคา โครงสร้างการจัดเรียงวัสดุ	53
4.3 ขั้นตอนการออกแบบการคำนวณค่า OTTV และ RTTV	63
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ OTTV และ RTTV ของอาคารตัวอย่าง	90
4.5 การสร้างอาคารแบบจำลอง 3 มิติ	93
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.1 บทสรุป 97
5.1.1 สามารถทำการศึกษาและคำนวณตาหาค่า $OTTV_{รวม}$ของอาคาร ได้ 97
5.1.2 สามารถทำการศึกษาและคำนวณตาหาค่า $RTTV_{รวม}$ของอาคาร ได้ 97
5.1.3 แบบจำลอง 3 มิติ 98
5.2 ข้อเสนอแนะ 99

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	เกณฑ์ขั้นต่ำของค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารแต่ละประเภทอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)	1
2.1	เกณฑ์ขั้นต่ำของค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารแต่ละประเภทอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)	4
2.2	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร	8
2.3	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร	8
2.4	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) ของวัสดุชนิดต่างๆ	9
2.5	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่างๆ ที่ใช้ประกอบการหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า	12
2.6	ค่าความต้านทานความร้อนสูงของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง	15
2.7	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท	16
2.8	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์(*SHGC*) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (visible transmittance,τ_{vis}) ของกระจกชนิดต่างๆ	16
2.9	รังสีตรง (beam, E_{es}) และรังสีกระจาย (diffuse, E_{ed}) ของดวงอาทิตย์สำหรับวันอ้างอิง 4 วัน	24
2.10	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษาหรือสำนักงาน.	25
2.11	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า หรืออาคารชุมนุมคน	25
2.12	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม สถานพยาบาล หรืออาคารชุด	26
2.13	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคาอาคาร	28
2.14	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร	28
2.15	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและเพดาน	29
2.16	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (*TDeq*) ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทสถานศึกษาและสำนักงาน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
2.17	การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) และOverhang projection Faction (OPF)	42
3.1	ตัวอย่างการกำหนดการใช้วัสดุและความหนาของวัสดุ	47
3.2	เกณฑ์มาตรฐานของอาคารประเภทสำนักงาน	47
3.3	การกำหนดการใช้วัสดุโมเดล	48
4.1	แสดงการเลือกวัสดุของแต่ละชั้นของกรอบอาคาร	50
4.2	แสดงการเลือกวัสดุของหลังคาอาคาร	51
4.3	สีของอาคารและวัสดุ	51
4.4	การหาค่า U_w ชั้นที่ 1 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ และทิศใต้	63
4.5	การหาค่า U_w ชั้นที่ 1 ของอาคารตัวอย่าง ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	64
4.6	การหาค่า U_f ชั้นที่ 1 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือและทิศใต้	64
4.7	การหาค่า WWR ชั้นที่ 1	65
4.8	การหาค่า DSH ชั้นที่ 1 ของทิศเหนือและทิศใต้	65
4.9	การหาค่า DSH ชั้นที่ 1 ของทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	66
4.10	การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 1	66
4.11	ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 1	66
4.12	ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 1	67
4.13	ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 1	67
4.14	การหาค่า U_w ชั้นที่ 2 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	68
4.15	การหาค่า U_f ชั้นที่ 2 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	68
4.16	การหาค่า WWR ชั้น 2	69
4.17	การหาค่า DSH ชั้นที่ 2 ของทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	69
4.18	การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 2	70
4.19	ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 2	70
4.20	ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 2	71
4.21	ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 2	71
4.22	การหาค่า U_w ชั้นที่ 3 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.23	การหาค่า U_f ชั้นที่ 3 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	72
4.24	การหาค่า WWR ชั้น 3	73
4.25	การหาค่า DSH ชั้นที่ 3 ของทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	73
4.26	การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 3	74
4.27	ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 3	74
4.28	ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 3	75
4.29	ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 3	75
4.30	การหาค่า U_w ชั้นที่ 4 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	76
4.31	การหาค่า U_f ชั้นที่ 4 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	76
4.32	การหาค่า WWR ชั้น 4	77
4.33	การหาค่า DSH ชั้นที่ 4 ของทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	77
4.34	การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 4	78
4.35	ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 4	78
4.36	ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 4	79
4.37	ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่4	79
4.38	การหาค่า U_w ชั้นที่ 5 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	80
4.39	การหาค่า U_f ชั้นที่ 5 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	80
4.40	การหาค่า WWR ชั้น 5	81
4.41	การหาค่า DSH ชั้นที่ 5 ของทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	81
4.42	การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 5	82
4.43	ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 5	82
4.44	ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 5	83
4.45	ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่5	83
4.46	ตารางรวมค่า OTTV ของทั้งอาคาร	84
4.47	ตารางประเมินค่าที่คำนวณได้กับเกณฑ์ขั้นต่ำ	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.48	การหาค่า U_w ของหลังคา A	85
4.49	การหาค่า DSH ของหลังคา A	86
4.50	การหาค่า U_w ของหลังคา B C และ D	86
4.51	การหาค่า DSH ของหลังคา B C และ D	87
4.52	การหาค่า U_w ของหลังคา E และ F	87
4.53	การหาค่า DSH ของหลังคา E และ F	88
4.54	การหาค่า TD_{eq} ของหลังคาอาคาร	88
4.55	ตารางรวมค่าการคำนวณของหลังคาอาคาร	89
4.56	ตารางรวมค่า RTTV ของอาคาร	89
4.57	ประเมินค่าที่คำนวณได้กับเกณฑ์ขั้นต่ำ	90
4.58	ตารางรวมค่า OTTV	90
4.59	ตารางรวมค่า RTTV	91
4.60	ประเมินค่าที่คำนวณได้กับเกณฑ์ขั้นต่ำ	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุ n ชนิด	7
2.2	สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิดและมีช่องว่างอากาศภายใน	7
2.3	ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก	18
2.4	ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่าง ๆ บนระนาบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์	19
2.5	การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง	22
2.6	การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)	41
2.7	แสดงโปรแกรม Sketch Up Pro 2014	43
2.8	ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองสามมิติจากโปรแกรม Sketch Up Pro 2014	43
3.1	แสดงอาคารตัวอย่างที่มีขนาดตามที่กำหนด	45
3.2	ตัวอย่างการแสดงการกำหนดขนาดของกรอบอาคาร	46
3.3	ตัวอย่างการแสดงการกำหนดวัสดุของอาคาร	46
3.4	ภาพจากการใช้โปรแกรม Sketch up ที่ใส่เสมือนจริง	48
4.1	แสดงอาคารตัวอย่างของโครงงานพิเศษนี้	52
4.2	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 1 ทิศเหนือและทิศใต้	53
4.3	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 1 ทิศเหนือและทิศใต้	53
4.4	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 1 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	54
4.5	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 1 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	54
4.6	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 2 ทิศเหนือและทิศใต้	55
4.7	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 2 ทิศตะวันตกและทิศตะวันออก	55
4.8	แสดงที่บังแดดของกรอบอาคารชั้นที่ 2 ทิศเหนือ ทิศใต้	55
4.9	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 2 ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก.	56
4.10	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 3 ทิศเหนือและทิศใต้	56
4.11	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 3 ทิศตะวันตก	56
4.12	แสดงที่บังแดดของกรอบอาคารชั้นที่ 3 ทิศตะวันตก	57
4.13	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 3 ทิศตะวันออก	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 3 ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	57
4.15	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 4 ทิศเหนือและทิศใต้	58
4.16	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 4 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	58
4.17	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 4 ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	58
4.18	แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 5 ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	59
4.19	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 5 ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก	59
4.20	แสดงขนาดของหลังคา A	60
4.21	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของหลังคา A	60
4.22	แสดงขนาดของหลังคา B	60
4.23	แสดงขนาดของหลังคา C และ D ที่ทำมุมเอียง 45°	61
4.24	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของหลังคา B C และ D	61
4.25	แสดงขนาดของหลังคา E และ F	62
4.26	แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของหลังคา E และ F	62
4.27	กราฟแสดงค่า OTTV ของแต่ละชั้น	91
4.28	กราฟแสดงค่า RTTV ของแต่ละหลังคา	91
4.29	กราฟแสดงค่า OTTV และ RTTV รวมของอาคารตัวอย่าง	92
4.30	แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านทิศเหนือ	93
4.31	แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านทิศใต้	94
4.32	แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านทิศตะวันออก	94
4.33	แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านทิศตะวันตก	95
4.34	แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านบน	95
4.35	แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 โดยรวมของอาคารตัวอย่าง	96
4.36	แสดงโมเดล 3 มิติจริงตามที่ออกแบบ	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ทำให้มีการใช้ระบบทำความเย็นภายในอาคาร ดังนั้นการพิจารณาให้ความสำคัญกับกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน และลดภาระของระบบทำความเย็นของอาคาร นำไปสู่การลดใช้ไฟฟ้าและพลังงาน ส่วนความร้อนจากแหล่งภายนอกที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารเข้ามา สามารถจำกัดหรือปรับได้ จากการปรับค่า การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (The Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) และการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา (The Roof Thermal Transfer Value หรือ RTTV) ให้มีความเหมาะสม สำหรับประเทศไทยได้มีการออกกฎกระทรวงว่าด้วยกำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร(OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร(RTTV) เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันสำหรับอาคารที่ออกแบบและสร้างขึ้นในประเทศไทยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน(พพ.) กำหนดวิธีการตรวจประเมินอาคารให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์การออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน การบังคับใช้กฎกระทรวงโดยการกำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารได้ โดยใช้โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร หรือโปรแกรม Building Energy Code Software (BEC) ในการตรวจประเมินอาคาร เพื่อควบคุมค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร โดยกำหนดมาตรฐานไว้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์ขั้นต่ำของค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารแต่ละประเภทอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

ประเภทอาคาร	OTTV(W/m^2)	RTTV(W/m^2)
สำนักงาน สถานศึกษา	≤ 50	≤ 15
ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า หรือซุปเปอร์สโตร์	≤ 40	≤ 12
โรงแรม โรงพยาบาล อาคารชุด	≤ 30	≤ 10

จากตารางที่ 1.1 จะเป็นค่า OTTV และ RTTV ที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ ที่เราจะสามารถออกแบบและคำนวณได้จากการเลือกวัสดุที่จะนำมาสร้างอาคารซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ที่แตกต่างกัน รวมทั้งความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) แต่ละชนิด และค่าความร้อนจำเพาะ(c_p) ของวัสดุชนิดต่างๆ ซึ่งจะนำมาคำนวณในหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ ซึ่งจะทำให้เราสามารถเลือกวัสดุที่จะลดการใช้พลังงานที่เป็นไปตามค่า เกณฑ์ขั้นต่ำตามตารางที่ 1 ได้

ในแต่ละประเทศก็จะมีหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณที่แตกต่างกันไปตามแต่ แต่ละประเทศที่กำหนด ดังนั้นในส่วนของสมการอาจจะแตกต่างกันไปบ้าง เพราะที่ตั้งแต่ละประเทศแตกต่างกัน รวมทั้งวัสดุบางชนิด ดังนั้นการศึกษานี้จึงยึดหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษนี้จะทำการจำลองโมเดลอาคารสำนักงานในรูปแบบ 3 มิติที่เป็นอัตราส่วนขนาดย่อจากการที่ออกแบบไว้ และการออกแบบ 2 มิติของกราอบอาคารที่จะใช้ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ตามกฎกระทรวง โดยโปรแกรมออกแบบที่สถาปนิกนิยมใช้งานในการเริ่มต้นพัฒนาแบบจำลอง 3 มิติ คือ โปรแกรม Sketch Up Pro 2014 ก่อนสร้างแบบจำลองจริงที่ใช้ประกอบการคำนวณและการศึกษาของโครงงานพิเศษนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแบบจำลอง (OTTV)

1.2.2 เพื่อศึกษาและคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแบบจำลอง (RTTV)

1.2.3 เพื่อศึกษาโปรแกรม Sketch Up Pro 2014 ในการสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติและสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติจริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร(OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) เป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ.2552 (ออกตามความใน พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่2) พ.ศ. 2550)

1.3.2 ใช้โปรแกรม Sketch Up Pro 2014 ในการสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติ

1.3.3 แบบจำลองอาคาร 3 มิติจริง เป็นอาคารพาณิชย์ 5 ชั้น(ความสูงรวมประมาณ 30 เซนติเมตร) สำหรับงานโครงงานพิเศษนี้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความรู้และความเข้าใจการคำนวณค่าการถ่ายความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ตามกฎเกณฑ์มาตรฐานของกฎกระทรวงพลังงานได้

1.4.2 มีความรู้และความเข้าใจในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ของการนำไปใช้กับอาคารจริงได้

1.4.3 มีความรู้และความเข้าใจในโปรแกรม Sketch Up ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติได้

1.4.4 มีความรู้ความเข้าใจในการลดใช้พลังงานในอาคารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับกรอบอาคาร และการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร(OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา(RTTV) ได้แก่ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กฎกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กฎกระทรวงพลังงาน ประกาศกระทรวงพลังงาน และเอกสารของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน รวมทั้งงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร(OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา(RTTV) การเพิ่มประสิทธิภาพกรอบอาคาร รวมทั้งการใช้โปรแกรม Sketch Up ในการจำลองแบบอาคาร

2.1 ศึกษากฎหมายและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กับการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

2.1.1 หลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ในประเทศไทยมีการออกกฎหมายในการอนุรักษ์พลังงานตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน (พ.ศ.2558) เพื่อการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน โดยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานดังต่อไปนี้

1. พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535
2. กฎกรระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2538(ออกตามความใน พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535)
3. พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่2) พ.ศ.2550
4. กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552(ออกตามความใน พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่2) พ.ศ. 2550)
5. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ.2552 (ออกตามความใน พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่2) พ.ศ. 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีหลักเกณฑ์ตามข้อบังคับใช้ในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวง พลังงาน พ.ศ. 2552

เกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของพนังด้านนอกและหลังคาอาคาร ในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทอาคาร ตามตารางที่ 1

ประเภทอาคาร

(ก) สถานศึกษา สำนักงาน

(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน

(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด

เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ขั้นต่ำของค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารแต่ละประเภทอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

ประเภทอาคาร	OTTV(W/m^2)	RTTV(W/m^2)
สำนักงาน สถานศึกษา	≤ 50	≤ 15
ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า หรือซุปเปอร์สโตร์	≤ 40	≤ 12
โรงแรม โรงพยาบาล อาคารชุด	≤ 30	≤ 10

2.1.2 วิธีการคำนวณค่า OTTV-RTTV

วิธีการคำนวณค่า OTTV-RTTV ของประเทศไทยนั้น ใช้วิธีการคำนวณตาม ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 (สามารถดาวน์โหลดเอกสารได้จาก เว็บไซต์ของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (http://www.dede.go.th) หรือ เว็บไซต์ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (http://www.2e-building.com))

ส่วนที่ 1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (overall thermal transfer value,OTTV)

1.1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ $OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณามีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2 . °C)$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

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

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

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

$SHGC$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

1.2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร ($OTTV$) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) รวมกัน ให้คำนวณจากสมการที่ 2 ดังนี้

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1)+(A_{w2})(OTTV_2)+\cdots+(A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1}+A_{w2}+\cdots+A_{wi}} \quad (2)$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

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

2) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U_w)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบด้านนอกอาคาร (U_w) แต่ละด้าน ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม ให้คำนวณจากสมการที่ 3 ดังนี้

$$U = \frac{1}{R_T} \tag{3}$$

เมื่อ R_T คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม (total thermal resistance) มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2 . ◦C) / W$)

2.2) ค่าความต้านทาน (R)

ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ ให้คำนวณจากสมการที่ 4 ดังนี้

$$R = \frac{\Delta x}{k} \tag{4}$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2 . ◦C) / W$)

Δx คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

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

2.3) ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร

การคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคารขึ้นอยู่กับชนิดของผนังอาคารในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.3.1) กรณีผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_T) ของส่วนใดๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$R_T = R_0 + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \cdots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \tag{5}$$

เมื่อ R_T คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2 . ◦C) / W$)

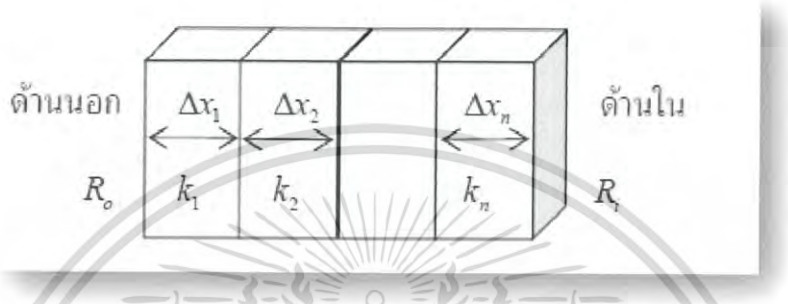
R_0 คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2 . ◦C) / W$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2 . ^\circ C) / W$)

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

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



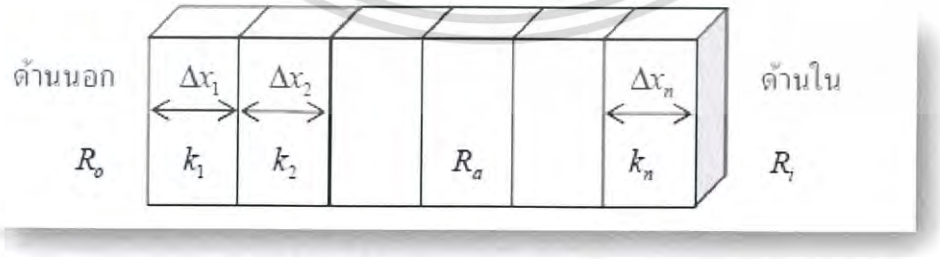
รูปที่ 2.1 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุ n ชนิด

2.3.2) กรณีผนังอาคารมีช่องว่างอากาศอยู่ภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_T) ของส่วนใดๆ ของผนังอาคารชนิดที่แตกต่างกัน และมีช่องว่างอากาศภายใน ให้คำนวณสมการดังนี้

$$R_T = R_0 + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \cdots + R_a + \cdots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \qquad (6)$$

เมื่อ R_a คือ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศภายในผนังอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2 . ^\circ C) / W$)



รูปที่ 2.2 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิดและมีช่องว่างอากาศภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4) ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องอากาศ

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคารขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของบผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (thermal emittance) ของผนังอาคารตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($(m^2 . ◦C) / W$)	
	ที่ผิวผนังด้านใน (R_i)	ที่ผิผนังด้านนอก(R_0)
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120	0.044
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299	-

กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ใช้สำหรับพื้นผิวผนังทั่วไปซึ่งถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ ให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของผนังอาคารเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น ผนังที่มีการติดแผ่นฟอยล์สะท้อนรังสี เป็นต้น

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังด้านในช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ตามความหนาของช่องอากาศ ($(m^2 . ◦C) / W$)		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606

ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำใช้กับกรณีที่ผิวด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านในช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนแสง เช่น กรณีที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียมในช่องว่างอากาศ เป็นต้น สำหรับในกรณีทั่วไปให้ถือว่าพื้นผิวผนังด้านในช่องว่างอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และคุณสมบัติอื่นๆของวัสดุ

สำหรับวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วๆ ไป ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity,k) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส (W/(m .°C)) ความหนาแน่นของวัสดุ (density,ρ) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) และค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat,c_p) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส (kJ/(kg.°C)) ตามที่กำหนดในตารางที่ 2.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) ของวัสดุชนิดต่างๆ

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m .°C))	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/(kg.°C))
1	วัสดุมุงหลังคา/ดาดฟ้า			
	(ก) กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.993	2500	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) กระเบื้องใยแก้วโปรงแสงเรียบ	0.213	1340	1.88
	(ช) กระเบื้องใยแก้โปร่งแสงลอนใหญ่	0.181	1700	1.88
	(ฌ) กระเบื้องลูกฟูกโปร่งแสง	0.160	1340	1.88
	(ญ) กระเบื้งใยแก้วลอนคู่สีขาวขุ่น	0.205	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
	(ช) ไม้ปาร์เก้	0.167	600	0.96
3	ผนังอิฐ/คอนกรีต			
	(ก) อิฐมอญไม่ฉาบ	0.473	1600	0.79
	(ข) อิฐมอญปูนสองหน้า	1.102	1700	0.79
	(ค) อิฐฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสดหรือกระเบื้อง	0.807	1760	0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) ของวัสดุชนิดต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	K (W/(m .°C))	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/(kg.°C))
	(ง) คอนกรีตบล็อกกลวง 80 มม. ไม่ฉาบ	0.546	2210	0.92
	(จ) คอนกรีตสแลบ	1.442	2400	0.92
	(ฉ) ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.72	1860	0.84
4	คอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่นต่างๆ			
	(ก) 620 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.180	620	0.84
	(ข) 700 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.210	700	0.84
	(ค) 960 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.303	960	0.84
	(ง) 1120 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.346	1120	0.84
	(จ) 1280 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	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	0.068	300	1.30
	(ช) แผ่นไฟเบอร์ชานอ้อย	0.052	250	1.26
	(ซ) แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01
	(ฌ) พลาสติคฉาบยิปซั่ม	0.230	720	1.09
6	ฉนวนใยแก้ว (ไฟเบอร์กลาส) แบบม้วน (blanket) แบบแผ่น (rigid board) และแบบท่อสำเร็จ (rigid pipe section)			
	(ก) ความหนาแน่น 10 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.046	10	0.96
	(ข) ความหนาแน่น 12 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.042	12	0.96
	(ค) ความหนาแน่น 16 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.038	16	0.96
	(ง) ความหนาแน่น 24 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.035	24	0.96
	(จ) ความหนาแน่น 32-48 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	0.033	32-48	0.96
	(ฉ) ความหนาแน่น 56-69 กิโลกรัม/ลูกบากศ์เมตร	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/ลูกบากศ์เมตร	0.047	9	1.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) ของวัสดุชนิดต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m .°C))	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/(kg.°C))
	(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	0.35	24-32	1.21
9	โฟมโพลีเอทิลีน	0.029	45	1.21
10	โฟมโพลียูรีเทน	0.023-0.26	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) ไม้อัดซิพบอร์ด	0.144	800	1.30
12	กระดาษอัด	0.086	400	1.38
13	แผ่นกระจก			
	(ก) กระจกใส	0.960	2500	0.88
	(ข) กระจกสีชา	0.913	2500	0.88
	(ค) กระจกสะท้อนแสง	0.931	2500	0.88
	(ง) กระจกเงา	0.853	2500	0.88
14	โลหะ			
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	211	2672	0.896
	(ข) ทองแดง	388	8784	0.380
	(ค) เหล็กกล้า	47.6	7840	0.500

กรณีใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุที่กำหนดในตารางที่ 2.4 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

3) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (equivalent temperature difference, TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าคือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ซึ่งขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มวลของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนัง โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

3.1) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนังทึบซึ่งใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่างๆ ที่ใช้ประกอบการหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียม หินอ่อนสีขาว กรวดล้างสีขาว **สีทาภายนอก** สีขาว สีเงิน สีเงินหรือสีบรอนซ์สะท้อนแสง	0.3	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุสีขาว
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว หินอ่อนสีครีมหรือสีอ่อน หินแกรนิตสีครีมหรือสีอ่อน กรวดล้างสีครีมหรือสีอ่อน **สีทาภายนอก** สีครีม สีฟ้าอ่อน สีเหลืองอ่อน สีเขียวอ่อน สีส้มอ่อน	0.5	วัสดุที่มีผิวสีอ่อน
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว คอนกรีตไม่ทาสี อิฐไม่ทาสี แผ่นไฟเบอร์ไม่ทาสี กรวดล้างสีเทา แผ่นซีเมนต์แอสเบสทอสไม่ทาสี **สีทาภายนอก** สีแดง สีฟ้า สีเขียว สีส้ม สีสนิม(Rustic)	0.7	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่างๆ ที่ใช้ประกอบการหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (ต่อ)

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	0.9	วัสดุที่มีผิวสีเข้ม
อิฐสีแดง		
แอลฟัลต์		
คอนกรีตสีเทาเข้มและสีดำ		
วัสดุมุงหลังคาสีเขียวเข้มและสีแดงเข้ม		
สีทาภายนอก		
สีน้ำเงินหรือสีเขียวเข้ม		
สีเทาเข้ม		
สีน้ำตาลเข้ม		
สีดำ		

3.2) ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (density-specific heat product, *DSH*) ของวัสดุผนัง

กรณีที่ผนังทึบประกอบด้วยวัสดุ *i* เพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่นเท่ากับ ρ_i ความร้อนจำเพาะเท่ากับ c_{pi} และมีความหนาเท่ากับ Δx_i ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i) \quad (7)$$

สำหรับกรณีที่ผนังทึบประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน *n* ชนิด ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$DSH = DSH_1 + DSH_2 + \cdots + DSH_n \quad (8)$$

เมื่อ DSH_i คือ ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ *i* มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส (kJ/(m^2.°C))

ρ_i คือ ความหนาแน่นของวัสดุ *i* มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.4

c_{pi} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ *i* มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส (kJ/(kg .°C)) ตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.4

Δx_i คือ ความหนาของวัสดุ *i* มีหน่วยเป็นเมตร (m)

กรณีที่ผนังมีช่องว่างอากาศอยู่ภายใน ให้ถือว่าช่องว่างอากาศดังกล่าวนั้นไม่ทำให้ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนังเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) มุมเอียงของผนัง คือ มุมที่ผนังกระทำกับพื้นผิวโลกหรือพื้นดิน โดยกำหนดให้ผนังแนวตั้งมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90องศา

3.4) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังทึบ

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบสำหรับอาคารแต่ละประเภท ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนัง ค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนังให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดในตารางภาคผนวกท้ายประกาศนี้

4) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_f)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบตามข้อ 2 โดยเลือกใช้สมการที่ (5) หรือ (6) แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิต โดยค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าวจากผู้ผลิต ให้ใช้วิธีการคำนวณตามสมการดังต่อไปนี้

4.1) กระจกชั้นเดียว

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียวให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$U_f = \frac{1}{R_f} \tag{9}$$

และ

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_0 \tag{10}$$

เมื่อ R_f คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2.°C) / W$)

R_i และ R_0 คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในและภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($(m^2.°C) / W$) ให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.2

Δx คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

k_g คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m .°C)$)

4.2) กระจกลามิเนต

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกลามิเนต ให้คำนวณโดยใช้สมการที่ (5)

4.3) ระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น และมีช่องว่างอากาศภายใน

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น ให้ใช้สมการที่ (6) และให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศตามที่กำหนด ในตารางที่ 2.6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 ค่าความต้านทานความร้อนสูงของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความหนาของช่องว่างอากาศ (mm)	ค่าความต้านทาความร้อนของช่องว่างอากาศ ($(m^2.°C) / W$)	
	พื้นผิวผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
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

สำหรับช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสงทั่วไป ให้ใช้ค่าพื้นผิวผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ในกรณีที่กระจกหรือผนังโปร่งแสงด้านที่ติดช่องว่างอากาศนั้นถูกเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ ให้ใช้ค่าพื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ

สำหรับกรณีความหนาของช่องว่างอากาศมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดให้ในตารางที่ 2.6 ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงที่ต้องการเพื่อหาความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศมีความหนาเกินกว่า 13 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 13 มิลลิเมตร

5) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ΔT)

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ซึ่งใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า *OTTV* ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภทให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.7 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ΔT(°C)
สถานศึกษา สำนักงาน	5
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	5
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	3

6) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์(solar heat gain coefficient,*SHGC*) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนที่โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าวให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์(*SHGC*) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (visible transmittance,τ_{vis}) ของกระจกชนิดต่างๆ

ความหนาของกระจก (mm)	ชนิดของกระจก	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (τ_{vis})	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (*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
	กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว		
6	กระจกใส-กระจกใส	0.78	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์(*SHGC*) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (visible transmittance,τ_{vis}) ของกระจกชนิดต่างๆ

ความหนาของกระจก (mm)	ชนิดของกระจก	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (τ_{vis})	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (*SHGC*)
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
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น			
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30%	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

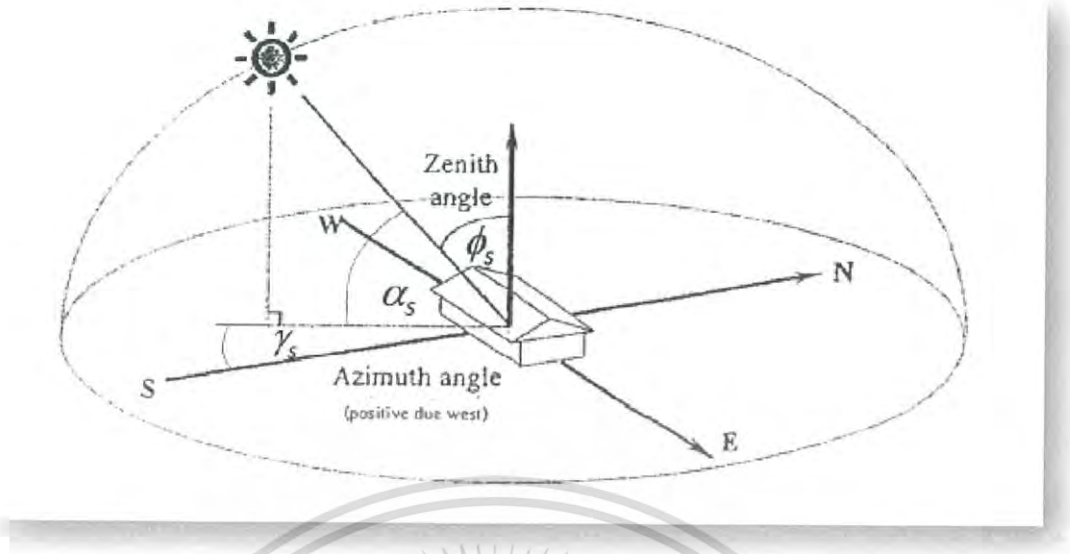
7) สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, *SC*)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

7.1) ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์

ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใดๆ บนพื้นโลก สามารถระบุได้โดยอาศัยมุมเงยหรือมุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (altitude,α_s) ซึ่งเป็นมุมที่แนวรังสีตรงของดวงอาทิตย์กระทำกับแนวระดับของพื้นโลก และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (azimuth,γ_s) ซึ่งเป็นมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกระทำกับทิศใต้ของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก

ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

7.1.1) เวลาสุริยะ (solar time)

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

$$t_s = t_i - 4\left(L_{gs} - L_{gi}\right) + E_{qt} \qquad (11)$$

เมื่อ t_s คือ เวลาสุริยะ

t_i คือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{gs} คือ เส้นแวงหลักมาตรฐานสำหรับประเทศไทยเท่ากับ 105 องศาตะวันออก

L_{gi} คือ เส้นแวงของตำแหน่งที่พิจารณาสำหรับประเทศไทย ให้ใช้ค่าเท่ากับ 100.5 องศาตะวันออก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของเวลาคำนวณได้จาก

$$E_{qt} = 9.87(sin\ 2B) - 7.53(\cos B) - 1.5(sin\ B) \quad (12)$$

$$B = \frac{(360°)(j_d - 81)}{364} \quad (13)$$

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

7.1.2) ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของตำแหน่งของดวงอาทิตย์

มุมเงยและมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$sin\ \alpha_s = (sin\ L_t)(\sin\delta) + (\cos L_t)(\cos\delta)(\cos\omega) \quad (14)$$

$$sin\gamma_s = \frac{(\cos\delta)(\sin\omega)}{(cos\ \alpha_s)} \quad (15)$$

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

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

ω คือ มุมแทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ก่อนหรือหลังเวลาเที่ยงสุริยะ (solar hour angle) มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad)

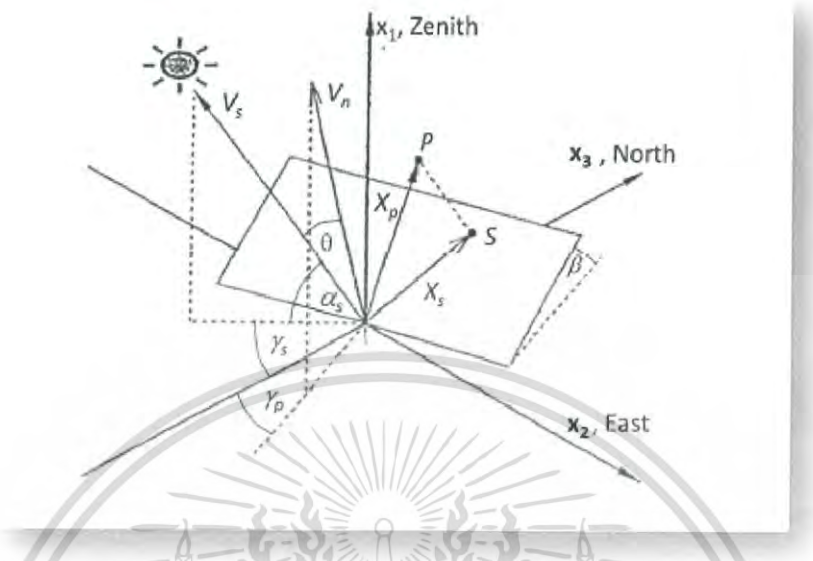
$$\omega = \pi(t_s - 12)/12 \quad (16)$$

มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ คือ มุมที่แนวลำแสงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกกระทำกับระนาบเส้นศูนย์สูตร มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์สำหรับวันจูเลียน (j_d) ใดๆ ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$\delta = 23.45\ \sin\left(\frac{(360°)(284+j_d)}{365}\right) \quad (17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ ให้คำนวณจากสมการดังนี้



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่าง ๆ บนระนาบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

พิจารณาพิกัด (x_1 ,x_2 ,x_3) ซึ่งถูกกำหนดด้วยเส้นซีนิธ (zenith) ทิศตะวันออก และทิศเหนือ เวคเตอร์แสดงทิศทางของดวงอาทิตย์ (โซลาร์เวคเตอร์, V_s^x) และเวคเตอร์ของระนาบเอียง (V_n^x) ซึ่งตั้งฉากกับระนาบเอียง ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$V_s^x = \begin{bmatrix} sin\,\alpha_s \\ -cos\,\alpha_s \cdot sin\gamma_s \\ -cos\,\alpha_s \cdot cos\gamma_s \end{bmatrix}, \text{โซลาเวคเตอร์} \quad (18)$$

$$V_s^x = \begin{bmatrix} cos\beta \\ -sin\beta \cdot sin\gamma_p \\ -sin\beta \cdot cos\gamma_p \end{bmatrix}, \text{เวคเตอร์ของระนาบเอียง} \quad (19)$$

เมื่อ θ คือมุมระหว่างเวคเตอร์ทั้งสอง ให้คำนวณค่า cosθ จากสมการดังนี้

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

$$= (sin\,\alpha_s)(cos\beta) + (cos\,\alpha_s)(sin\gamma_s)(sin\beta)(sin\gamma_p) + (cos\,\alpha_s)(cos\gamma_s)(sin\beta)(cos\gamma_p) \quad (20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ β คือ มุมเอียง (inclination angle) ของระนาบที่พิจารณา

γ_p คือ มุมอะซิมุทของระนาบที่พิจารณา (azimuth of surface)

$cos\theta$ คือ โคซายน์ของมุมระหว่างระนาบที่พิจารณากับทิศทางของดวงอาทิตย์ (โซลาร์เวคเตอร์)

7.2.1) รังสีอาทิตย์บนระนาบที่ไม่มีการบังแดด

กรณีที่ช่องแสงของผนังหรือระนาบใดๆ ไม่มีการบังแดดปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบลงบนระนาบดังกล่าว ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$E_{et\theta} = E_{es}\cos\theta + E_{ed}\frac{(1+\cos\beta)}{2} \quad (21)$$

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

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

7.2.2) ตำแหน่งเกิดเงาเหนือระนาบที่พิจารณาจากรูปที่ 5 หากกำหนดให้ X_p เป็นเวคเตอร์แสดงพิกัดของจุด P ซึ่งอยู่เหนือระนาบที่พิจารณาและให้ระยะทางจากระนาบเอียงถึงจุด P เท่ากับ h

ให้ S เป็นเงาของจุด P ที่ตกลงบนระนาบที่พิจารณาเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ เวคเตอร์ X_s แสดงพิกัดของจุด S เวคเตอร์ X_s เวคเตอร์ X_p และเวคเตอร์ V_s^x มีความสัมพันธ์กันดังนี้

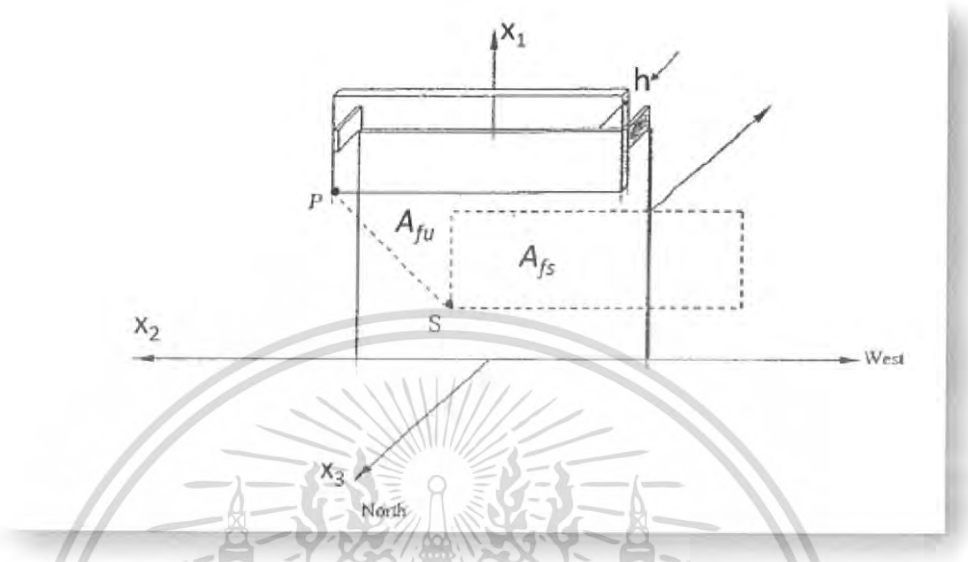
$$X_s = X_p - \frac{hV_s^x}{\cos\theta} \quad (22)$$

เงาจะเกิดขึ้นบนระนาบที่พิจารณา ก็ต่อเมื่อจุดที่ทำให้เกิดเงาอยู่เหนือหรือหน้าระนาบที่พิจารณา และเมื่อดวงอาทิตย์หันเข้าหาระนาบที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.3) เงาที่เกิดจากอุปกรณ์บังแดด

ให้พิจารณาอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่างในรูปดังนี้



รูปที่ 2.5 การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง

หน้าต่างหันไปทางทิศเหนือ จุด *P* จะอยู่ที่มุมของอุปกรณ์บังแดด ถ้าพิกัดของจุด *P* แทนด้วย X_p พิกัดของจุด *S* หรือจุดเงาที่เกิดขึ้นบนระนาบของหน้าต่างอันเนื่องมาจากจุด *P* แทนด้วย X_s เวคเตอร์ X_s คำนวณได้จากสมการที่ (22) สำหรับกรณีนี้ *h* คือ ระยะทางระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับหน้าต่าง พื้นที่ของเงาที่เกิดขึ้น คือ พื้นที่ที่เกิดจากการต่อจุดของจุดเงาที่เกิดจากมุมแต่ละมุมของอุปกรณ์บังแดด พื้นที่ A_{fs} คือ พื้นที่ที่เกิดเงาบนหน้าต่าง ซึ่งก็คือพื้นที่ที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ พื้นที่ A_{fu} คือ พื้นที่ที่ไม่เกิดเงาบนหน้าต่าง ทั้งรังสีตรงและบางส่วนของรังสีกระจายของดวงอาทิตย์จึงตกลงบนพื้นที่ส่วน A_{fu} นี้ ขณะที่มีเฉพาะรังสีกระจายบางส่วนของดวงอาทิตย์เท่านั้นที่ตกลงบนพื้นที่ส่วน A_{fs}

7.2.4) รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าต่างที่มีอุปกรณ์บังแดด

ถ้าพื้นที่ของหน้าต่างที่ไม่อยู่ภายใต้เงาคือ A_{fu} และพื้นที่หน้าต่างทั้งหมดคือ A_f รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่าง (E_{ew}) สำหรับหน้าต่างที่มีมุมเอียง β ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$E_{\mathrm{ew}} = (\mathrm{A_{fu}}/\mathrm{A_f})(E_{es})(cos\theta) + (E_{ed})\frac{(1+\cos\beta)}{2} \qquad (23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.5) สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (*SC*)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (*SC*) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$SC = \frac{E_{ew}}{E_{et\theta}} \quad (24)$$

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

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

ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด หาได้จากอัตราส่วนของผลรวมของปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาตลอดช่วงเวลาการใช้งานอาคารในแต่ละวันของวันอ้างอิง 4 วัน ต่อผลรวมของปริมาณรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดดในช่วงเวลาเดียวกัน โดยที่วันอ้างอิงทั้ง 4 วัน คือวันที่ 21 มีนาคม 22 มิถุนายน 23 กันยายน และ 22 ธันวาคม

ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$(SC)_y = \left[\frac{(\sum_{h=i}^{n} E_{ew})_{21March} + (\sum_{h=i}^{n} E_{ew})_{22June} + (\sum_{h=i}^{n} E_{ew})_{23September} + (\sum_{h=i}^{n} E_{ew})_{22December}}{(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta})_{21March} + (\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta})_{22June} + (\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta})_{23September} + (\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta})_{22December}}\right] \quad (25)$$

เมื่อ $(SC)_y$ คือ ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร

i และ n คือ ชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีตรง (E_{es}) และรังสีกระจาย (E_{ed}) ของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวแนวนอน สำหรับวันอ้างอิง 4 วันให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.9 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.9 รังสีตรง (beam, E_{es}) และรังสีกระจาย (diffuse, E_{ed}) ของดวงอาทิตย์ สำหรับวันอ้างอิง4 วัน

เวลา	พลังงานของรังสีอาทิตย์(W/m^2)							
	21 มีนาคม		22 มิถุนายน		23 กันยายน		22 ธันวาคม	
	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse
1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.00	0.0	0.0	7.5	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0
7.00	68.5	44.9	105.0	77.8	94.4	77.1	64.4	19.9
8.00	185.7	121.6	196.2	145.4	202.3	165.1	270.0	83.5
9.00	290.1	190.0	275.6	204.3	296.2	241.8	454.4	140.5
10.00	374.8	245.5	338.6	250.9	396.9	302.0	603.3	186.5
11.00	433.8	284.1	381.2	282.6	418.3	341.4	704.9	217.9
12.00	463.2	303.4	401.1	297.3	437.9	357.5	751.3	232.2
13.00	461.0	301.9	397.0	294.2	427.6	349.0	738.9	228.4
14.00	427.3	279.8	369.1	273.6	388.0	316.7	668.7	206.7
15.00	364.5	238.7	319.1	236.5	321.7	262.6	546.1	168.8
16.00	276.7	181.2	250.0	185.3	233.5	190.6	380.8	117.7
17.00	170.0	111.3	165.9	123.0	129.2	105.5	185.6	57.4
18.00	51.7	33.9	72.0	53.3	16.1	13.1	0.0	0.0
19.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (effective solar radiation, *ESR*)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผนังที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังของอาคาร ให้วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับพื้นผิวโลก (หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้งจะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบนอน(หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียงและทิศทางผนังต่างๆ ของอาคารแต่ละประเภท ให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.10 ตารางที่ 2.11 และตารางที่ 2.12 (กรณีที่มุมเอียงและทิศทางไม่ตรงกับค่าในตาราง ให้ใช้วิธีประมาณค่าในช่วง) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.10 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษา หรือสำนักงาน

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m^2)							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38
15	405.00	421.74	433.61	440.00	441.62	438.90	431.51	419.53
30	358.99	390.20	412.96	425.48	425.49	422.98	408.39	358.65
45	306.68	348.31	379.58	397.17	401.47	393.20	372.57	341.61
60	255.37	301.60	337.61	358.44	363.45	353.18	328.62	293.33
75	212.39	255.60	291.21	321.65	317.70	306.52	281.11	246.70
90	185.06	215.84	244.53	263.14	267.41	256.82	234.58	207.62

ตารางที่ 2.11 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า หรืออาคารชุมนุมคน

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m^2)							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55
15	303.15	307.90	315.66	323.63	330.14	333.80	331.91	312.31
30	268.08	278.60	293.82	308.44	319.52	324.35	319.10	299.32
45	227.46	243.07	264.27	283.71	297.18	301.59	292.50	266.04
60	187.41	205.70	230.29	252.20	266.21	268.90	256.53	226.97
75	154.06	170.92	198.12	216.63	226.31	229.66	215.55	187.56
90	133.52	143.11	162.04	279.75	189.27	187.26	173.98	153.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม สถานพยาบาล หรืออาคารชุด

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m^2)							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44
15	177.49	185.24	190.45	193.01	193.33	191.76	188.38	183.39
30	157.51	171.84	181.79	186.87	187.63	184.64	178.12	168.59
45	134.67	153.68	167.29	174.48	175.71	171.59	162.54	149.52
60	112.13	133.17	148.76	157.33	158.93	154.12	143.54	128.65
75	93.08	112.74	128.05	136.87	138.66	133.74	123.01	108.45
90	80.68	94.81	106.98	114.57	116.26	111.26	102.86	91.40

ส่วนที่ 2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนด ดังนี้

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (roof thermal transfer value, *RTTV*)

1.1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (*RTTV*) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_i = (U_r)(1 - SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (26)$$

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

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2.°C)$)

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

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

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2.°C)$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกหลังคา มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

$SHGC$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสงและ/หรือหลังคาทึบแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

1.2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (*RTTV*) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$RTTV = \frac{(A_{w1})(RTTV_1)+(A_{w2})(RTTV_2)+\cdots+(A_{wi})(RTTV_i)}{A_{w1}+A_{w2}+\cdots+A_{wi}} \quad (27)$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

$RTTV$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

2) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ (U_r)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ (U_r) แต่ละส่วน ให้คำนวณโดยใช้วิธีการดังต่อไปนี้

2.1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)
ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับสมการที่ (3)

2.2) ค่าความต้านทานความร้อนของหลังคาอาคาร (R)
ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับสมการที่ (4)

2.3) ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RT) ให้คำนวณโดยใช้วิธีการดังต่อไปนี้

2.3.1) กรณีหลังคาอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับสมการที่ (5)

2.3.2) กรณีหลังคาอาคารมีช่องว่างอากาศอยู่ภายใน ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับสมการที่ (6)

2.4) มุมเอียงของหลังคา
มุมเอียงของหลังคา คือ มุมที่หลังคากระทำกับพื้นผิวโลกหรือพื้นดิน โดยกำหนดให้หลังคาแบบเรียบมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา

2.5) ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ ให้คำนวณตามวิธีการดังต่อไปนี้

2.5.1) ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคาอาคารให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.13 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ทำหลังคา	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($(m^2.°C)/W$)				
	ที่ผิวหลังคาด้านใน(R_i) ที่มุมเอียงต่างๆกันจากแนวระนาบ				ที่ผิวหลังคาด้านนอก(R_0)ที่มุมเอียงใดๆ
	0 องศา	22.5 องศา	45 องศา	60 องศา	
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.162	0.148	0.133	0.126	0.055
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.801	0.595	0.391	0.249	

2.5.2) ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคารให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.14 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.14 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวหลังคาด้านนอก		ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ตามความหนาของช่องว่างอากาศ ($(m^2.°C)/W$)		
		5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0 องศา	0.11	0.148	0.174
	22.5 องศา	0.11	0.148	0.165
	45 องศา	0.11	0.148	0.158
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0 องศา	0.25	0.572	0.423
	22.5 องศา	0.25	0.571	1.095
	45 องศา	0.25	0.570	0.768

สำหรับกรณีทั่วไปให้ถือว่าพื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนกรณีพื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ ให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของหลังคาด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น หลังคาที่มีการติดแผ่นฟอยล์สะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีที่ช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคามีความหนาระหว่าง 5 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตร หรือระหว่าง 20 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในแต่ละช่วงที่ต้องการเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศหนาเกินกว่า 100 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความหนา 100 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3) ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและเพดานในกรณีที่หลังคาห่างจากเพดานเกินกว่า 200 มิลลิเมตร และไม่มีชั้นวัสดุระหว่างกลาง ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.15 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.15 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและเพดาน

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำเพดาน	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($(m^2.°C)/W$)
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.458
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	1.356

2.6) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุ ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.4

3) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกหลังคาอาคารรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา ซึ่งขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มวลของวัสดุหลังคา รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของหลังคา โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

3.1) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของหลังคาซึ่งใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 2.5

3.2) ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (density-specific heat product,DSH) ของวัสดุหลังคาทึบ

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของหลังคาทึบ ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับสมการที่ (7)

3.3) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของหลังคาทึบ

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของหลังคาทึบสำหรับอาคารแต่ละประเภท ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางภาคผนวกท้ายประกาศนี้

4) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง (U_s)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสงให้ใช้ค่าจากผู้ผลิต โดยค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าวจากผู้ผลิต ให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_f) ตามสมการที่ (5) และ (6) สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศภายในหลังคาโปร่งแสง ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 2.13 ตารางที่ 2.14 และตารางที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ΔT)

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศในบริเวณปรับอากาศภายในหลังคาและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ซึ่งใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า $RTTV_i$ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกหลังคาสำหรับอาคารแต่ละประเภทให้เป็นไปตามที่กำหนดในในตารางที่ 2.7 เช่นเดียวกับในกรณีของผนังอาคาร

6) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, *SHGC*)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือ ค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุหลังคาส่วนโปร่งแสงและก่อให้เกิดความร้อนขึ้นภายในอาคาร ค่าดังกล่าวเป็นผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสงโดยตรงกับการแผ่รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในวัสดุหลังคาโปร่งแสงและถ่ายเทเข้ามายังภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าที่กำหนดตามตารางที่ 2.8

7) สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, *SC*)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารสำหรับหลังคา ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับส่วนที่ 1 ข้อที่ 7)

8) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (effective solar radiation, *ESR*)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับหลังคาอาคารแต่ละประเภท ให้ใช้ค่าที่กำหนดตามตารางที่ 2.10 ตารางที่ 2.11 และตารางที่ 2.12 เช่นเดียวกับในกรณีของผนังอาคาร

ตารางที่ 2.16 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (*TDeq*) ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทสถานศึกษา และสำนักงาน

มุมเอียงของผนัง,องศา	ทิศทาง	DSH ($kJ/(m^2.°C)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	16.5	25.0	33.6	42.1
		30	16.2	24.6	33.0	41.5
		50	15.7	24.0	32.3	40.6
		100	14.4	22.3	30.3	38.2
		200	12.1	19.1	26.1	33.1
		300	10.5	16.8	23.0	29.2
		400	10.2	16.2	22.2	28.3
15	ทิศเหนือ	15	15.8	23.6	31.5	39.3
		30	15.4	23.2	31.0	38.7
		50	14.9	21.0	30.2	37.9
		100	13.7	18.0	28.3	35.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา	ทิศทาง	DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
15	ทิศเหนือ	200	11.6	18.0	24.5	30.9
		300	10.1	15.9	21.6	27.4
		400	9.8	15.4	20.9	26.5
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	15	16.2	24.4	32.6	40.8
		30	15.8	24.0	32.1	40.2
		50	15.4	23.4	31.4	39.4
		100	14.1	21.8	29.4	37.0
		200	11.9	18.7	25.4	32.2
		300	10.4	16.4	22.4	28.4
		400	10.1	15.9	21.7	27.5
	ทิศตะวันออก	15	16.4	24.9	33.3	41.8
		30	16.1	24.4	32.8	41.2
		50	15.6	23.8	32.1	40.3
		100	14.4	22.2	30.1	37.9
		200	12.1	19.0	25.9	32.9
		300	10.5	16.7	22.8	29.0
		400	10.2	16.2	22.1	28.1
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	15	16.6	25.1	33.7	42.3
		30	16.2	24.7	33.2	41.7
		50	15.7	24.1	32.4	40.8
		100	14.5	22.4	30.4	38.4
		200	12.2	19.2	26.2	33.2
		300	10.6	16.8	23.1	29.3
		400	10.2	16.3	22.3	28.4
	ทิศใต้	15	16.6	25.2	33.8	42.5
		30	16.2	24.8	33.3	41.8
		50	15.8	24.2	32.6	41.0
		100	14.5	22.5	30.5	38.5
		200	12.2	19.3	26.3	33.4
		300	10.6	16.9	23.1	29.4
		400	10.3	16.3	22.4	28.5
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	15	16.5	25.1	33.7	42.2
		30	16.2	24.7	33.1	41.6
		50	15.7	24.0	32.4	40.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา	ทิศทาง	DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
15	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	100	14.5	22.4	30.4	38.3
		200	12.2	19.2	26.2	33.2
		300	10.6	16.8	23.0	29.3
		400	10.2	16.3	22.3	28.3
	ทิศตะวันตก	15	16.4	24.8	33.2	41.6
		30	16.0	24.4	32.7	41.0
		50	15.5	23.7	31.9	40.1
		100	14.3	22.1	23.9	37.7
		200	12.0	18.9	25.8	32.7
		300	10.5	16.6	22.7	28.8
		400	10.2	16.1	22.0	27.9
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	15	16.1	24.3	32.5	40.6
		30	15.8	23.9	31.9	40.0
		50	15.3	23.2	31.2	39.1
		100	14.1	21.6	39.2	36.7
		200	11.8	28.5	35.5	31.9
		300	10.3	16.3	22.2	28.2
		400	10.0	15.8	21.5	27.3
30	ทิศเหนือ	15	14.7	21.6	28.5	35.4
		30	14.4	21.2	28.0	34.9
		50	13.9	20.6	27.3	34.0
		100	12.8	19.2	25.5	31.9
		200	10.8	16.5	22.1	27.8
		300	9.5	14.6	19.7	24.8
		400	9.3	14.2	19.1	24.0
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	15	15.5	23.1	30.7	38.3
		30	15.2	22.7	30.2	37.7
		50	14.7	22.1	29.5	36.9
		100	13.6	20.6	27.7	34.8
		200	11.5	17.8	24.1	30.3
		300	10.1	15.7	21.3	26.9
		400	9.8	15.2	20.6	26.0
	ทิศตะวันออก	15	16.0	24.1	32.1	40.1
		30	15.7	23.6	31.6	39.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา		DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
30	ทิศตะวันออก	50	15.2	23.0	30.9	38.7
		100	14.0	21.5	29.0	36.4
		200	11.8	18.5	25.1	31.7
		300	10.3	16.3	22.2	28.1
		400	10.0	15.7	21.4	27.1
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	15	16.3	24.6	32.8	41.1
		30	15.9	24.1	32.3	40.5
		50	15.4	23.5	31.6	39.6
		100	14.2	21.9	29.6	37.3
		200	12.0	18.8	25.6	32.4
		300	10.41	16.5	22.6	28.6
		400	10.1	16.0	21.8	27.7
	ทิศใต้	15	16.3	24.7	33.0	41.4
		30	16.0	24.2	32.5	40.7
		50	15.5	23.6	31.7	39.9
		100	14.3	22.0	29.7	37.5
		200	12.0	28.8	25.7	32.5
		300	10.5	16.5	22.6	28.7
		400	10.1	16.0	21.9	27.8
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	15	16.2	24.4	32.7	40.9
		30	15.9	24.0	32.1	40.3
		50	15.4	23.4	31.4	39.4
		100	14.1	21.8	29.4	37.0
		200	11.9	18.6	25.4	32.1
		300	10.4	16.4	22.4	28.4
		400	10.1	15.9	21.7	27.5
	ทิศตะวันตก	15	15.9	23.9	31.8	39.7
		30	15.5	23.4	31.2	39.1
		50	15.0	22.8	30.5	38.2
		100	13.8	21.1	28.5	35.8
		200	11.6	18.1	24.6	31.0
		300	10.2	16.0	21.7	27.5
		400	9.9	15.5	21.1	26.7
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	15	15.4	22.9	30.4	37.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา		DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
30	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	30	15.0	22.4	29.8	37.2
		50	14.6	21.8	29.1	36.4
		100	13.3	20.2	27.1	34.0
		200	11.3	17.4	23.4	29.5
		300	9.9	15.4	20.8	26.3
		400	9.6	14.9	20.2	25.5
45	ทิศเหนือ	15	13.5	19.4	24.2	31.0
		30	13.2	18.9	24.7	30.4
		50	12.7	18.4	24.0	29.7
		100	11.7	17.0	22.4	27.8
		200	9.9	14.7	19.5	24.3
		300	8.9	3.2	17.5	21.9
		400	8.6	2.8	17.0	21.2
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	15	14.7	21.4	28.2	34.9
		30	14.3	21.0	27.7	34.4
		50	13.9	20.5	27.1	33.7
		100	12.8	19.1	25.4	31.8
		200	140.9	16.6	22.2	27.9
		300	9.7	14.8	19.8	24.9
		400	9.4	14.3	19.1	24.0
	ทิศตะวันออก	15	15.3	22.7	30.1	37.4
		30	15.0	22.3	29.6	36.9
		50	14.5	21.7	28.9	36.1
		100	13.4	20.3	27.2	34.0
		200	11.4	17.6	23.7	29.8
		300	10.1	15.6	21.1	26.5
		400	9.7	15.0	20.3	25.6
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	15	15.7	23.4	31.1	38.8
		30	15.3	23.0	30.6	38.2
		50	14.9	22.4	29.9	37.4
		100	13.7	20.9	28.0	35.1
		200	11.6	18.0	24.3	30.7
		300	10.2	15.9	21.6	27.3
		400	9.9	15.4	20.8	26.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา	ทิศทาง	DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
45	ทิศใต้	15	15.8	23.5	31.3	39.1
		30	15.4	23.1	30.8	38.5
		50	14.9	22.5	30.0	37.6
		100	13.7	20.9	28.1	35.3
		200	11.6	18.0	24.3	30.7
		300	10.2	15.9	21.6	27.3
		400	9.9	15.4	20.9	26.4
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	15	15.6	23.2	30.8	38.4
		30	15.2	22.7	30.2	37.8
		50	14.7	22.1	29.5	36.9
		100	13.5	20.5	27.5	34.5
		200	11.4	17.6	23.8	30.0
		300	10.0	15.6	21.1	26.7
		400	9.8	15.1	20.5	25.9
	ทิศตะวันตก	15	15.2	22.4	29.6	36.8
		30	14.8	21.9	29.0	36.1
		50	14.3	21.3	28.2	35.2
		100	13.1	19.7	26.3	32.9
		200	11.0	16.9	22.7	28.5
		300	9.7	15.0	202	25.5
		400	9.5	14.6	20.2	24.7
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	15	14.5	21.1	19.7	34.3
		30	14.1	20.6	27.7	33.6
		50	13.6	20.0	27.1	32.7
		100	12.4	18.5	26.4	30.5
		200	10.5	15.9	24.5	26.5
		300	9.3	14.2	21.2	23.8
		400	9.1	113.8	19.0	23.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา	ทิศทาง	DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
60	ทิศเหนือ	15	12.4	17.1	21.9	26.6
		30	12.0	16.7	21.4	26.1
		50	11.6	16.2	20.8	25.4
		100	10.6	14.9	19.3	23.7
		200	9.1	13.0	16.9	20.9
		300	8.2	11.8	15.4	19.0
		400	8.0	11.5	15.0	18.5
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	15	13.7	19.5	25.3	31.1
		30	13.4	19.1	24.9	30.7
		50	12.7	18.6	24.3	30.0
		100	11.9	17.4	22.9	28.4
		200	10.3	15.3	20.2	25.2
		300	9.2	13.7	18.2	22.7
		400	8.9	13.2	17.5	21.8
	ทิศตะวันออก	15	14.5	21.0	27.5	34.0
		30	14.2	20.6	27.1	33.5
		50	13.7	20.1	26.5	32.9
		100	12.7	18.8	24.9	31.1
		200	10.9	16.4	21.9	27.4
		300	9.7	14.7	19.7	24.6
		400	9.4	14.1	18.9	23.7
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	15	14.9	21.8	28.7	35.5
		30	14.6	21.4	28.2	35.0
		50	14.1	20.8	27.5	34.2
		100	13.0	19.4	25.8	32.2
		200	11.1	16.9	22.6	28.3
		300	9.9	15.1	20.2	25.4
		400	9.6	14.5	19.5	24.5
	ทิศใต้	15	15.0	22.0	28.9	35.9
		30	14.6	21.5	28.4	35.2
		50	13.0	20.9	27.6	34.4
		100	11.1	19.4	25.8	32.3
		200	9.8	16.8	22.5	28.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา	ทิศทาง	DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
60	ทิศใต้	300	9.8	15.0	20.1	25.3
		400	9.5	14.5	19.5	24.4
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	15	14.8	21.5	28.3	35.1
		30	14.4	21.1	27.7	34.4
		50	13.9	20.4	26.9	33.5
		100	12.7	18.9	25.1	31.2
		200	10.8	16.3	21.7	27.25
		300	9.6	14.5	19.5	24.5
		400	9.3	14.1	18.9	23.7
	ทิศตะวันตก	15	14.3	20.6	26.9	33.2
		30	13.9	20.1	26.3	32.5
		50	13.3	19.4	25.5	31.5
		100	12.1	17.9	23.6	29.3
		200	10.3	15.3	20.4	25.4
		300	9.2	13.8	18.4	23.0
		400	9.0	13.4	17.9	22.3
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	15	13.5	19.1	24.7	30.4
		30	13.1	18.6	24.1	29.7
		50	12.6	18.0	23.4	28..8
		100	11.4	16.5	21.6	26.7
		200	9.7	14.2	18.9	23.2
		300	8.7	12.8	17.0	21.1
		400	8.5	12.5	16.5	20.5
75	ทิศเหนือ	15	11.4	15.2	19.1	23.0
		30	11.0	14.8	18.6	22.4
		50	10.6	14.3	18.1	21.8
		100	9.7	13.2	16.7	20.3
		200	8.3	11.5	14.8	18.0
		300	7.6	10.6	13.6	16.6
		400	7.5	10.4	13.2	16.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา	ทิศทาง	DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
75	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	15	12.7	17.6	22.5	27.4
		30	12.4	17.3	22.1	27.0
		50	12.0	16.8	21.6	26.5
		100	11.1	15.8	20.4	25.1
		200	9.7	13.9	18.2	22.5
		300	8.8	12.7	16.6	20.5
		400	8.5	12.2	15.9	19.6
	ทิศตะวันออก	15	13.6	19.1	24.7	30.3
		30	13.2	18.8	24.3	29.8
		50	12.8	18.3	23.8	29.3
		100	11.9	17.2	22.5	27.7
		200	10.3	15.2	20.0	24.8
		300	96.3	13.7	18.1	22.5
		400	9.0	13.2	17.4	21.5
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	15	14.0	19.9	25.8	31.7
		30	13.6	19.5	25.4	31.2
		50	13.2	19.0	24.8	30.5
		100	12.2	17.7	23.3	28.8
		200	10.5	15.5	20.6	25.6
		300	9.5	14.1	18.6	23.2
		400	9.2	13.5	17.9	22.3
	ทิศใต้	15	14.1	20.0	26.0	32.0
		30	13.7	19.6	25.5	31.4
		50	13.2	19.0	24.8	30.6
		100	12.1	17.6	23.1	28.6
		200	10.4	15.3	20.3	25.2
		300	9.4	13.9	18.4	22.9
		400	9.1	13.4	17.8	22.1
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	15	13.8	19.6	25.4	31.2
		30	134	19.1	24.8	30.4
		50	12.9	18.4	24.0	29.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา	ทิศทาง	DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
75	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	100	11.7	17.0	22.2	27.4
		200	10.0	14.7	19.3	24.0
		300	9.1	13.3	17.6	21.8
		400	8.8	13.0	17.1	21.2
	ทิศตะวันตก	15	13.3	18.6	24.0	29.3
		30	12.9	18.1	23.3	28.5
		50	12.3	17.4	22.5	27.6
		100	11.1	15.9	20.6	25.4
		200	9.5	13.7	17.9	22.1
		300	8.6	12.5	16.4	20.3
		400	8.4	12.2	16.0	19.8
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	15	12.5	17.2	21.9	26.6
		30	12.1	16.7	21.3	25.9
		50	11.6	16.0	20.5	25.0
		100	10.4	14.6	18.8	23.0
		200	8.9	12.6	16.3	20.1
		300	8.1	11.6	15.0	18.5
		400	8.0	11.3	14.7	18.1
90	ทิศเหนือ	15	10.8	14.1	17.4	20.7
		30	10.4	13.7	16.9	20.1
		50	10.0	13.2	16.3	19.5
		100	9.1	12.1	15.1	18.1
		200	7.9	10.6	13.4	16.1
		300	7.3	9.9	12.5	15.1
		400	7.1	9.6	12.2	14.7
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	15	11.9	16.0	20.1	24.25
		30	11.6	15.7	19.8	23.8
		50	11.2	15.3	19.3	23.4
		100	10.4	14.3	18.3	22.2
		200	9.1	12.8	16.5	20.2
		300	8.4	11.8	15.2	18.6
		400	8.1	11.3	14.5	17.8
	ทิศตะวันออก	15	12.6	17.2	21.9	26.5
		30	12.3	16.9	21.5	26.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเอียงของผนัง,องศา		DSH ($kJ/(m^2.^oC)$)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
90	ทิศตะวันออก	50	11.9	16.5	21.1	25.6
		100	11.1	145.5	20.0	24.4
		200	9.8	13.9	18.0	22.2
		300	9.0	12.8	16.6	20.4
		400	8.6	12.2	15.8	19.4
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	15	13.0	17.9	22.7	27.6
		30	12.6	17.5	22.3	27.2
		50	12.2	17.0	21.8	26.5
		100	11.3	15.9	20.5	25.1
		200	9.9	14.1	18.4	22.6
		300	9.1	13.0	16.9	20.8
		400	8.7	12.5	16.2	19.9
	ทิศใต้	15	13.0	18.0	22.9	27.8
		30	12.7	17.5	22.3	27.1
		50	12.2	16.9	21.6	26.3
		100	11.1	15.6	20.1	24.6
		200	9.7	13.7	17.8	21.9
		300	8.9	12.7	16.7	20.3
		400	8.6	12.2	15.9	19.5
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	15	12.8	17.6	22.3	27.0
		30	12.4	17.0	21.6	26.3
		50	11.8	16.3	20.8	25.3
		100	10.7	14.9	19.1	23.3
		200	9.2	13.0	16.7	20.5
		300	8.5	12.0	15.5	19.0
		400	8.3	11.7	15.1	18.5
	ทิศตะวันตก	15	12.3	16.7	21.1	25.5
		30	11.9	16.2	20.4	24.7
		50	11.3	15.5	19.6	23.7
		100	10.2	14.0	17.8	21.6
		200	8.7	12.1	15.5	18.9
		300	8.1	11.2	14.4	17.6
		400	7.9	11.0	14.1	17.2
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	15	11.7	15.6	19.5	23.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

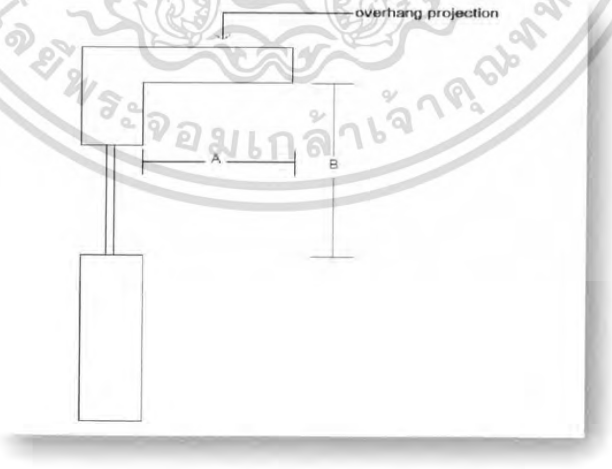
มุมเอียงของผนัง,องศา		DSH (kJ/(m^2.°C))	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
90	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	30	11.2	15.0	18.9	22.7
		50	10.7	14.4	18.1	21.8
		100	9.6	13.0	16.4	19.9
		200	8.2	11.3	14.3	17.4
		300	7.6	10.5	13.4	16.3
		400	7.5	10.3	13.1	16.0

พิจารราค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า(TD_{eq}) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของผนังทึบทาสีครีม โดยใช้ค่า DSH ที่คำนวณได้ในแต่ละด้านมาพิจารณาตามตารางที่ 2.16 ถ้าค่า DSH ที่คำนวณได้ไม่ตรงกับในตารางที่ 2.16 ให้ Linear interpolation ในการคำนวณหาค่า TD_{eq}

Linear interpolation equation

$$y = y_0 + \frac{(y_1 - y_0)(x - x_0)}{(x_1 - x_0)} \quad (28)$$

การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)



รูปที่ 2.6 การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)

$$\text{Overhang projection Faction (OPF)} = \frac{A}{B} \quad (29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

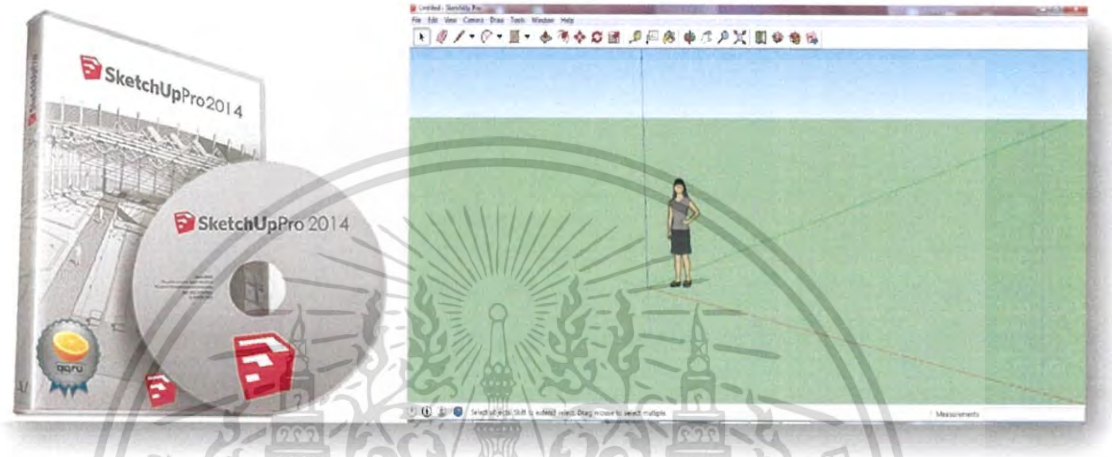
ตารางที่ 2.17 การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) และOverhang projection Faction (OPF)

OPF	SC			
	N	NE/NW	S/E/W	SE/SW
0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.05	0.975	0.969	0.962	0.962
0.10	0.951	0.939	0.926	0.926
0.15	0.928	0.909	0.890	0.890
0.20	0.905	0.880	0.856	0.856
0.25	0.883	0.853	0.823	0.823
0.30	0.861	0.826	0.790	0.790
0.35	0.840	0.800	0.759	0.759
0.40	0.820	0.774	0.729	0.729
0.45	0.800	0.750	0.700	0.700
0.50	0781	0.726	0.672	0.672
0.55	0762	0.704	0.645	0.645
0.60	0.744	0.682	0.620	0.620
0.65	0.726	0.661	0.595	0.595
0.70	0.710	0.641	0.572	0.572
0.75	0.693	0.621	0.549	0.549
0.80	0.678	0.603	0.528	0.528
0.85	0.663	0.585	0.507	0.507
0.90	0.648	0.568	0.488	0.488
0.95	0.634	0.552	0.470	0.470
1.00	0.621	0.537	0.453	0.453

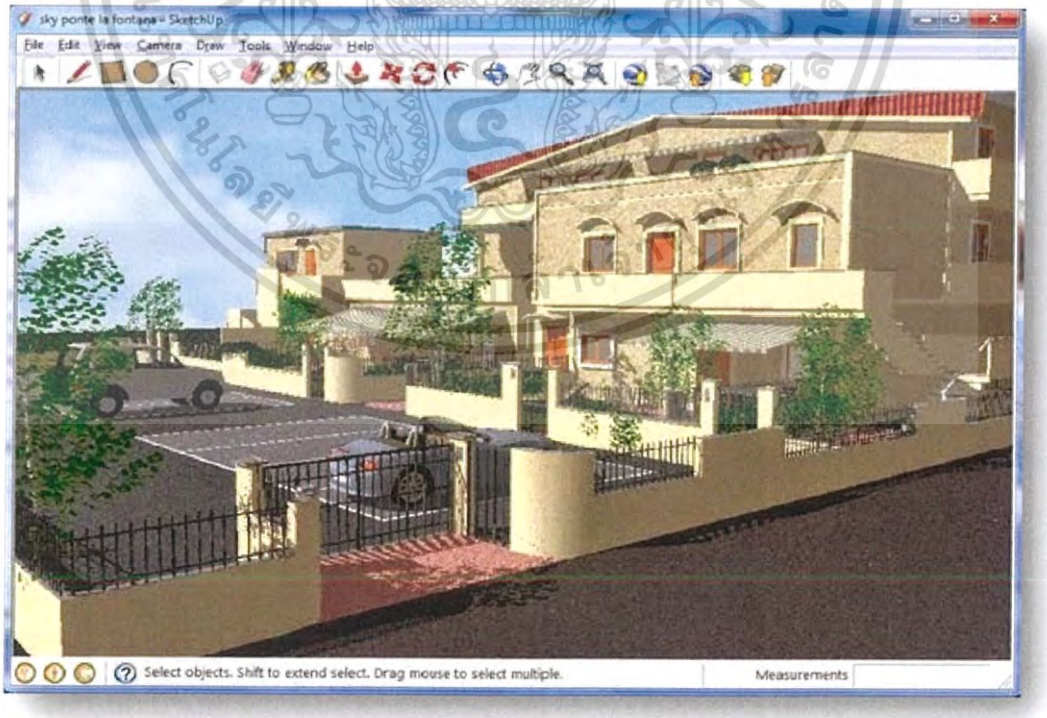
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การศึกษาโปรแกรม Sketch Up Pro 2014

สถาปานิกส่วนใหญ่มักจะเริ่มต้นขั้นตอนการออกแบบร่างด้วยการร่างในกระดาษ และมักจะนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยพบว่าโปรแกรมที่สถาปนิกนิยมใช้ในปัจจุบันในการออกแบบอาคารคือโปรแกรม Sketch Up ที่มีลักษณะดังภาพที่ 7 (ในโครงงานพิเศษนี้ผู้จัดทำใช้ Sketch Up Pro 2014)



รูปที่ 2.7 แสดงโปรแกรม Sketch Up Pro 2014



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองสามมิติจากโปรแกรม Sketch Up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ความสามารถของโปรแกรม Sketch Up Pro 2014

โปรแกรม Sketch Up เป็นโปรแกรมที่สถาปนิกนิยมใช้ในการออกแบบอาคาร โดยเฉพาะการทำแบบร่างขั้นต้นและการพัฒนาแบบอาคาร โดยมีความสามารถและจุดเด่นที่น่าสนใจ ดังนี้

1. เป็นโปรแกรมประเภท 3D Modeling ที่เปิดโอกาสให้ใช้งานหรือนักพัฒนาโปรแกรมสามารถเขียนสคิปต์ (Script) เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมได้โดยใช้พื้นฐานภาษาคอมพิวเตอร์ Ruby
2. มีวิธีการสร้างแบบจำลองที่ง่ายและรวดเร็วจากเทคนิคการขึ้นแบบจำลองสามมิติที่เรียกว่า "Push/Pull" ทำให้สะดวกต่อการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดและระยะของพื้นที่และรูปทรง
3. สามารถแสดงวัตถุที่ผู้ใช้งานกำหนดให้กับพื้นผิวได้ทันทีที่กำหนดวัสดุลงไปบนพื้นผิว จึงทำให้เหมาะต่อการทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุ เพื่อหาวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมกับอาคาร
4. มีความสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม Google Earth ทำให้สถาปนิกสามารถตรวจสอบทิศทางที่ตั้งและสภาพแวดล้อมเบื้องต้นของโครงการได้
5. มีรุ่น Free version ที่สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งใช้งานฟรี ซึ่งมี Feature เพียงพอต่อการทำงานออกแบบของสถาปนิก ดังนั้นจึงทำให้ลดต้นทุนในการทำงานออกแบบ
6. สามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย และมีชุมชนผู้ใช้งานออนไลน์ที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก สะดวกต่อการเรียนรู้

จากความสามารถดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโปรแกรม Sketch Up ทำให้การทำงานด้านการออกแบบอาคารเบื้องต้นในการทำแบบจำลองสามมิติได้อย่างดี สำหรับโครงงานพิเศษนี้การออกแบบอาคารสำนักงาน จำเป็นต้องออกแบบขั้นต้นก่อน ก่อนจะทำการสร้าง แบบจำลองจริงขึ้นมาและการเพื่อการพัฒนาแบบอาคารทำได้ง่ายขึ้น

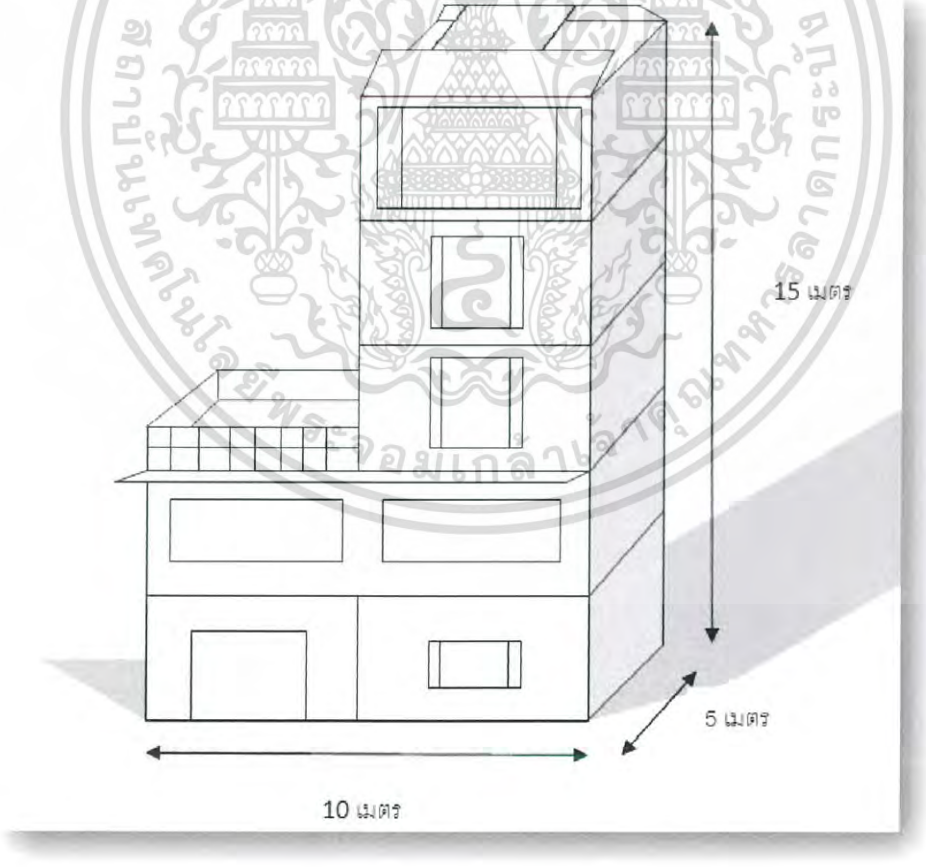
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบและการเลือกโครงสร้างโมเดล

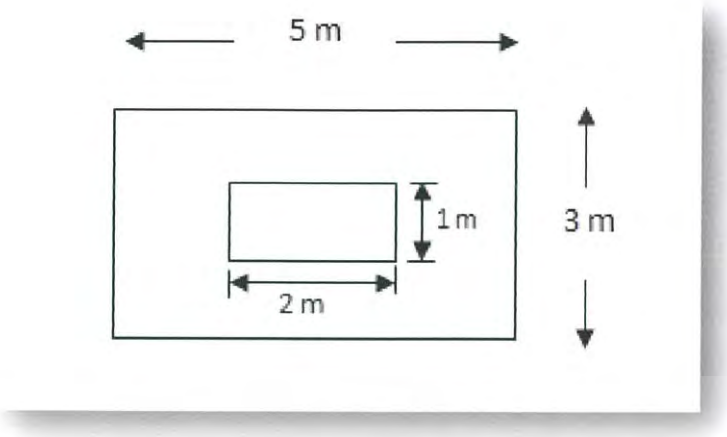
1.ออกแบบโครงสร้างโดยการหาแบบจำลองที่สนใจ และเลือกรูปแบบของโมเดลตัวอย่างที่จะใช้สำหรับการคำนวณ ในโครงงานพิเศษนี้ผู้จัดทำได้เลือกอาคารประเภท อาคารสำนักงาน เป็นอาคารต้นแบบโดยกำหนดโครงสร้างออกเป็น อาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ติดกัน รวมทั้งมีอุปกรณ์บังแดด และหลังคาลาดเอียง45° ตามรูปที่ 3.1

2.เลือกวัสดุจริงสำหรับการคำนวณ และวาดแบบโครงสร้างของกรอบอาคารเพื่อกำหนดขนาด และจำนวนพื้นที่ของการใช้วัสดุแต่ละชนิด โดยกำหนดพื้นที่รวมของอาคารที่ออกแบบเป็น สูง 15 เมตร ยาว 10 เมตร และกว้าง 5 เมตร ตามรูปที่ 3.1 และกำหนดขนาดของวัสดุที่ใช้ในส่วนของกรอบอาคารตามรูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3

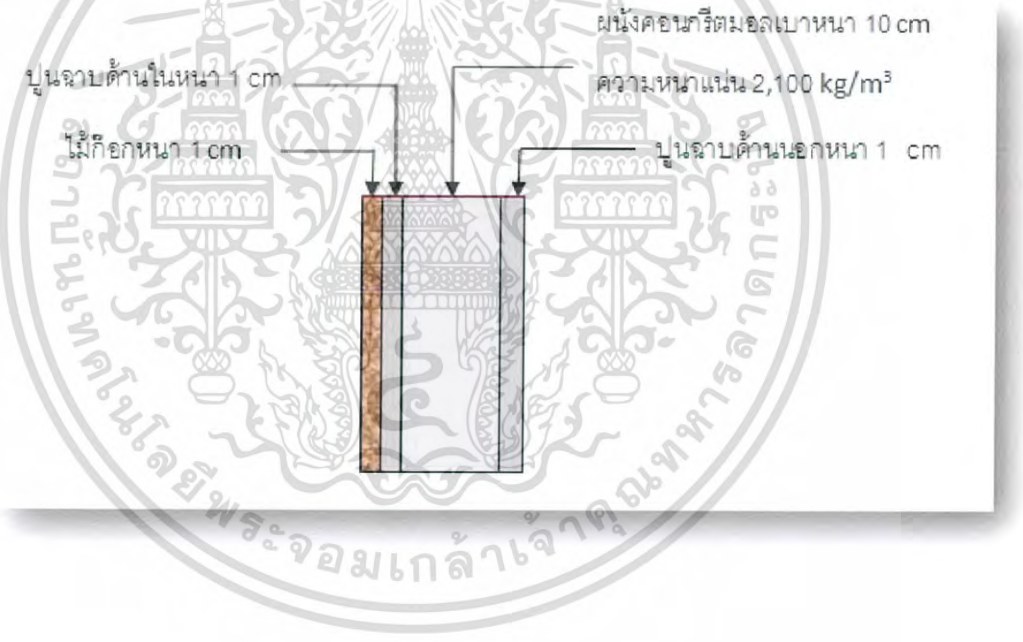


รูปที่ 3.1 แสดงอาคารตัวอย่างที่มีขนาดตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการแสดงการกำหนดขนาดของกรอบอาคาร



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการแสดงการกำหนดวัสดุของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ออกแบบการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

1.ดำเนินการคำนวณค่าที่เหมาะสม ตามวัสดุที่เลือกใช้และขนาดพื้นที่ที่กำหนด โดยทำการออกแบบการคำนวณตามทฤษฎี ตามค่าที่กำหนดของวัสดุที่เลือกใช้ โดยกำหนดการใช้วัสดุและความหนาตามตารางที่ 3.1 เพื่อให้ได้ค่าที่จะสามารถนำไปคำนวณต่อได้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการกำหนดการใช้วัสดุและความหนาของวัสดุ

วัสดุ	ความหนา (เมตร)	k (W/m• °C)
กระเบื้องเซรามิค	0.010	0.338
คอนกรีตมวลเบา	0.100	0.210
ปูนใน	0.010	0.720
ไม้ก๊อก	0.010	0.042

2.ทำการคำนวณค่า OTTV จากการเลือกใช้วัสดุของกรอบอาคารที่กำหนด และดำเนินการตามขั้นตอนในทฤษฎีการคำนวณตามบทที่ 2 พร้อมตรวจสอบความถูกต้อง ตามสมการที่ (1)

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

3.ทำการคำนวณค่า RTTV จากการเลือกใช้วัสดุของหลังคาที่กำหนดไว้ ทั้งหลังคาพื้นเรียบและหลังคาลาดเอียง ดำเนินการตามขั้นตอนในทฤษฎีการคำนวณตามสมการที่ (26) บทที่ 2 พร้อมตรวจสอบความถูกต้อง

$$RTTV_i = (U_r)(1 - SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (26)$$

4.ทำการตรวจสอบว่าค่า OTTVและ RTTV ที่คำนวณได้นั้นเป็นไปตามมาตรฐานเกณฑ์ตามที่กฎกระทรวงกำหนด ตามประเภทของอาคารที่ได้กำหนดไว้ในโครงงานพิเศษนี้คือ อาคารประเภทสำนักงานซึ่งกำหนดค่า OTTV และ RTTV เป็นไปตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์มาตรฐานของอาคารประเภทสำนักงาน

ประเภทอาคาร	OTTV(W/m^2)	RTTV(W/m^2)
สำนักงาน สถานศึกษา	≤ 50	≤ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบในโปรแกรม Sketch up Pro 2014

ดำเนินการวาดแบบจำลองโมเดล 3 มิติในโปรแกรม Sketch up Pro 2014 เพื่อให้เห็นภาพรวมของโครงสร้างที่แท้จริง รวมทั้งการใส่สีที่เสมือนจริง ตามแบบที่ต้องการตามที่กำหนดไว้

รูปที่ 3.4 ภาพจากการใช้โปรแกรม Sketch up ที่ใส่เสมือนจริง

3.4 การกำหนดการใช้วัสดุที่จะมาสร้างโมเดล

1.กำหนดวัสดุที่จะนำมาสร้างโมเดล กำหนดตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การกำหนดการใช้วัสดุโมเดล

วัสดุจริง	วัสดุโมเดล
กระเบื้องเซรามิค	กระดาษลายกระเบื้องเซรามิค
คอนกรีตมวลเบา	ไม้บัลซ่า
ปูน	กาว
ไม้ก๊อก	-
ฉนวนใยแก้ว	-
แผ่นยิปซั่ม	-
กระจกใส	แผ่นใส
กระเบื้องปูดาดฟ้า	ไม้บัลซ่า กระดาษปอนด์
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	ไม้บัลซ่า กระดาษรอนสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ดำเนินการซื้อวัสดุในการทำโมเดลเพื่อทำแบบจำลอง 3 มิติจริง และดำเนินการในการสร้างโมเดลในอัตราส่อนย่อขนาดที่เหมาะสม กับที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้อัตราส่วนเป็น 1: 2 (เมตร:เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ขั้นตอนการออกแบบและการเลือกโครงสร้างโมเดล

1.ประเภทของอาคารเลือก อาคารสำนักงานเป็นอาคารต้นแบบโดยกำหนดโครงสร้างออกเป็น อาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้น ติดกัน รวมทั้งมีอุปกรณ์บังแดด และหลังคาลาดเอียง 45° สูง 15 เมตร ยาว 10 เมตร และกว้าง 5 เมตร ตามรูปที่ 4.1

2.ประเภทของวัสดุที่ใช้ เลือกวัสดุตามตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงการเลือกวัสดุของแต่ละชั้นของกรอบอาคาร

ชั้นที่	ทิศ	วัสดุ	ความหนา (เมตร)
1	เหนือ,ใต้	กระเบื้องเซรามิค	0.010
		คอนกรีตมวลเบา	0.100
		ปูนใน	0.010
		ไม้ก๊อก	0.010
		กระจกใส	0.006
1	ตะวันออก,ตะวันตก	คอนกรีตมวลเบา	0.100
		ปูนใน	0.010
		ไม้ก๊อก	0.010
2-4	เหนือ,ใต้,ตะวันออก,ตะวันตก	ปูนนอก	0.010
		คอนกรีตมวลเบา	0.100
		ปูนใน	0.010
		ไม้ก๊อก	0.010
		กระจกใส	0.006
5	เหนือ,ใต้,ตะวันออก,ตะวันตก	ปูนนอก	0.010
		คอนกรีตมวลเบา	0.100
		ฉนวนใยแก้ว	0.050
		แผ่นยิปซั่ม	0.001
		ปูนใน	0.010
		กระจกใส	0.006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

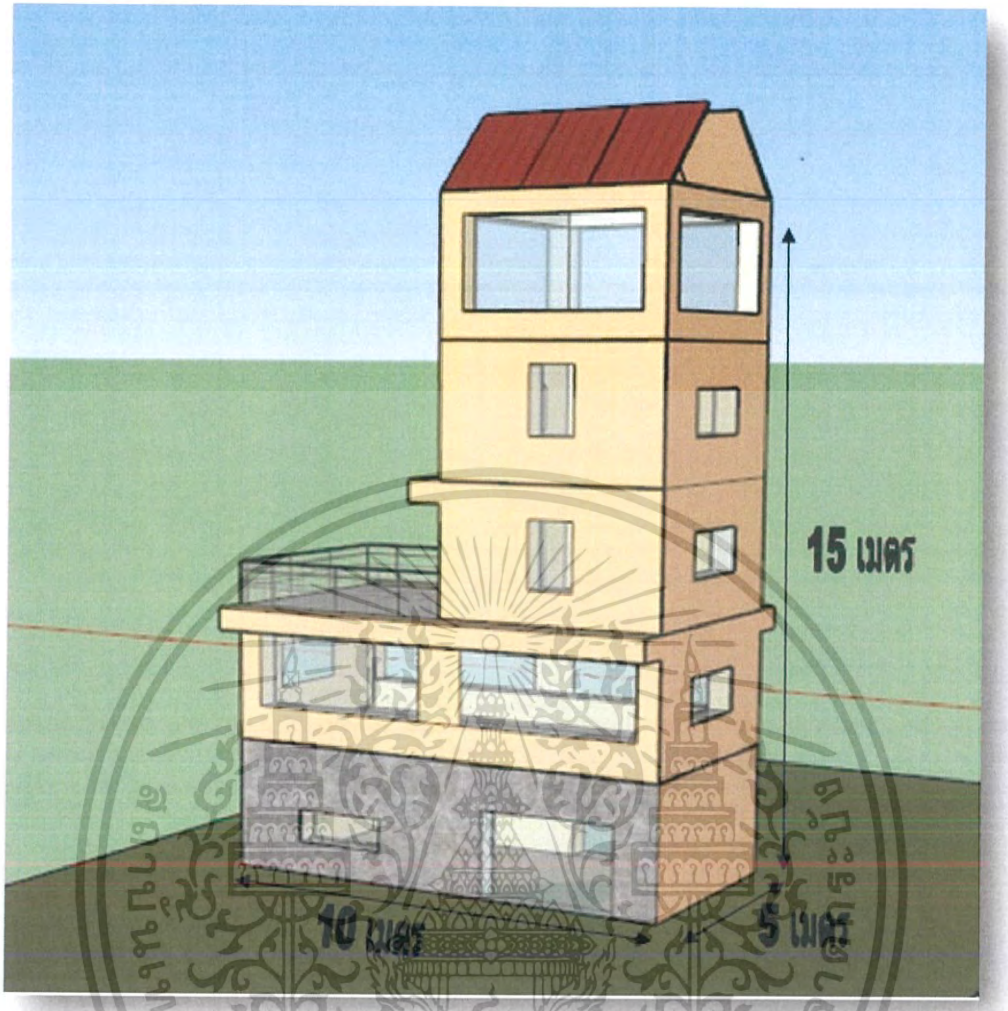
ตารางที่ 4.2 แสดงการเลือกวัสดุของหลังคาอาคาร

หลังคา	มุม	วัสดุ	ความหนา (เมตร)
A	0°	กระเบื้องปูดาดฟ้า	0.010
		ปูนฉาบ	0.010
		ฉนวนใยแก้ว	0.050
		แผ่นยิปซั่ม	0.001
B	0°	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.02
		ฉนวนใยแก้ว	0.050
		แผ่นยิปซั่ม	0.001
C	45°	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.02
		ฉนวนใยแก้ว	0.050
		แผ่นยิปซั่ม	0.001
D	45°	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.02
		ฉนวนใยแก้ว	0.050
		แผ่นยิปซั่ม	0.001
E	0°	ผนังคอนกรีตสแลบ	0.100
		ฉนวนใยแก้ว	0.050
		แผ่นยิปซั่ม	0.001
F	0°	ผนังคอนกรีตสแลบ	0.100
		ฉนวนใยแก้ว	0.050
		แผ่นยิปซั่ม	0.001

ตารางที่ 4.3 สีของอาคารและวัสดุ

วัสดุ	สี
กรอบอาคาร	ครีม
หลังคา A	เทา
หลังคา B	แดง
หลังคา C	แดง
หลังคา D	แดง
หลังคา E	ครีม
หลังคา F	ครีม
กระจก	ใสไม่มีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



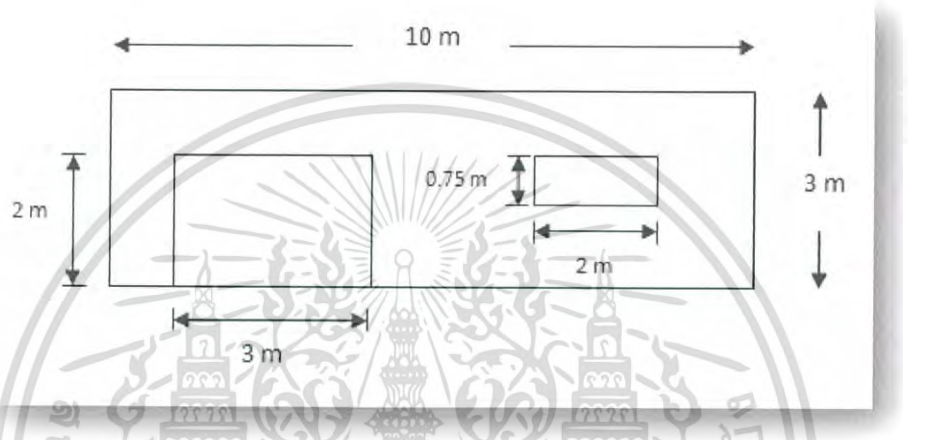
รูปที่ 4.1 แสดงอาคารตัวอย่างของโครงงานพิเศษนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

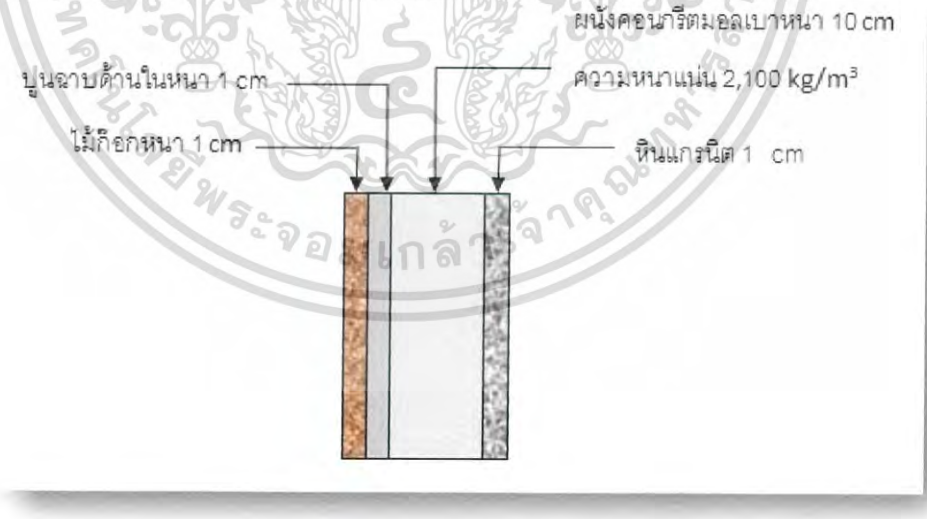
4.2 การกำหนดขนาดของกรอบอาคาร และ ขนาดของหลังคา โครงสร้างการจัดเรียงวัสดุ

โดยเลือกกำหนดการออกแบบ ขนาด และวัสดุโครงสร้างเป็นไปตามรูปแสดงกรอบอาคาร ขนาดหลังคา และโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุ ของอาคารแต่ชั้น และแต่ละทิศ ดังนี้

อาคารชั้นที่ 1

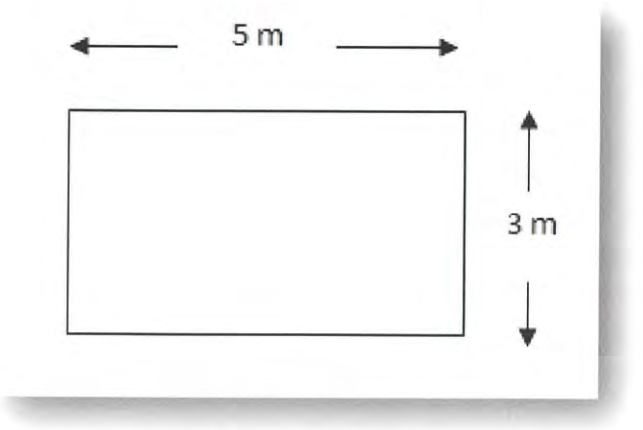


รูปที่ 4.2 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 1 ทิศเหนือและทิศใต้

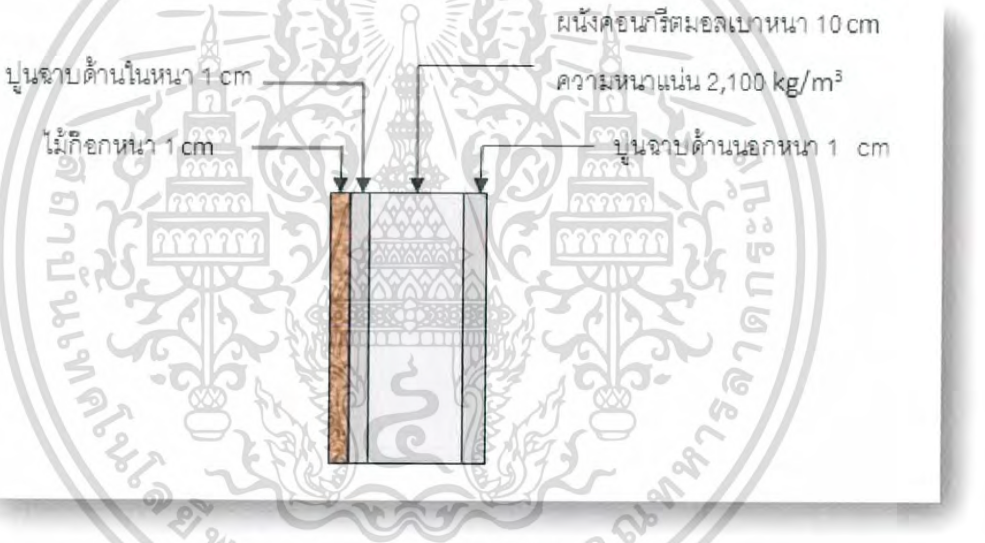


รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 1 ทิศเหนือและทิศใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



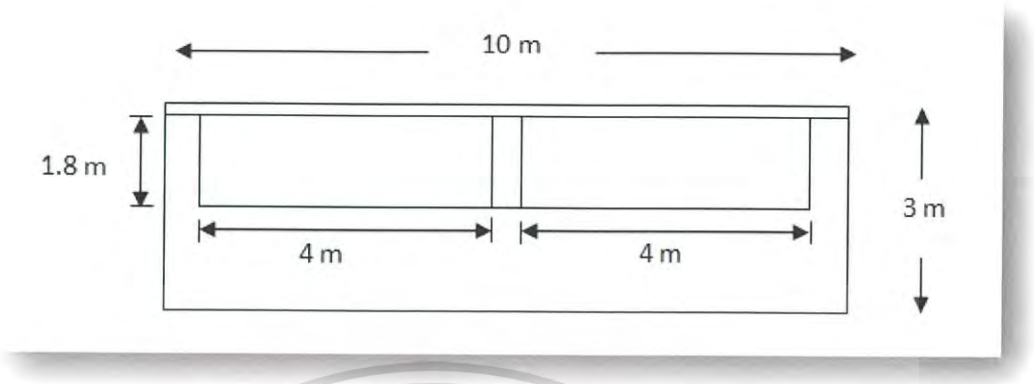
รูปที่ 4.4 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 1 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก



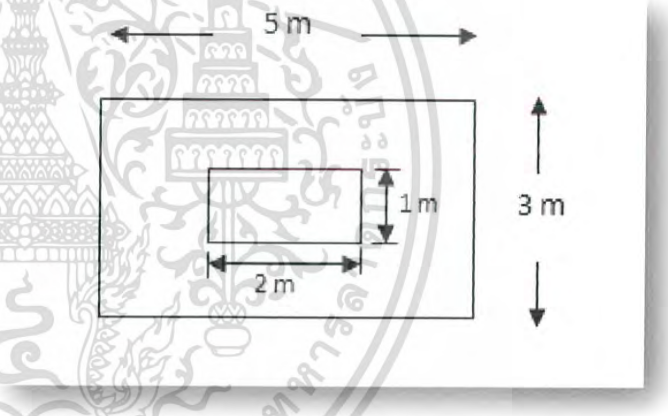
รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 1 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

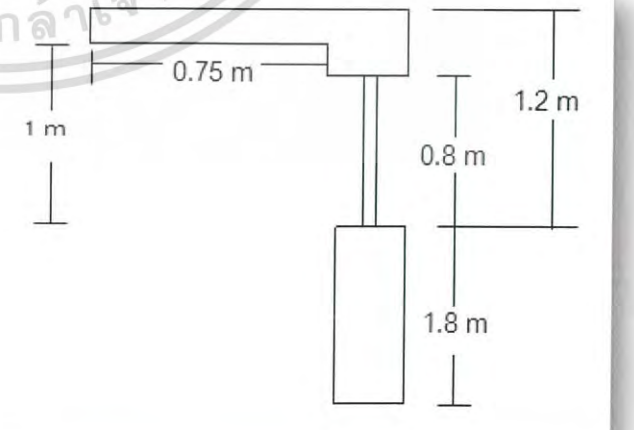
อาคารชั้นที่ 2



รูปที่ 4.6 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 2 ทิศเหนือและทิศใต้

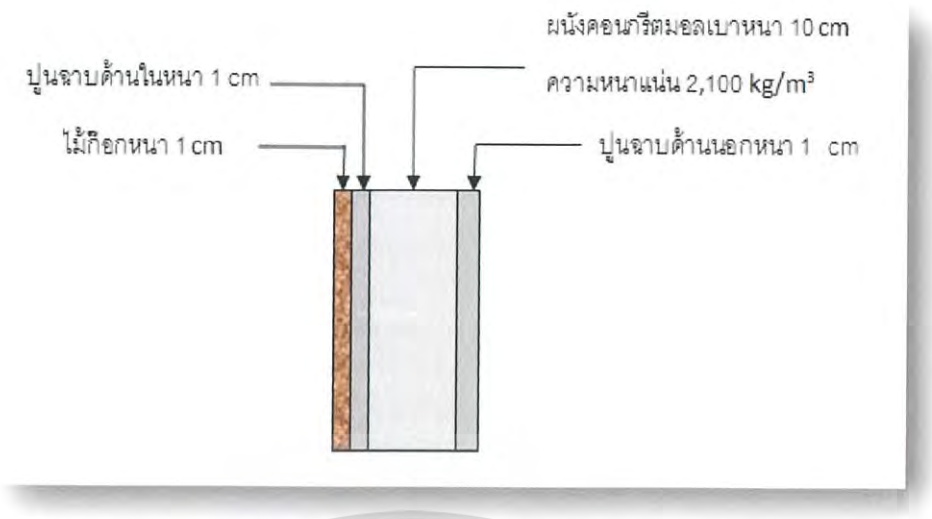


รูปที่ 4.7 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 2
ทิศตะวันตกและทิศตะวันออก



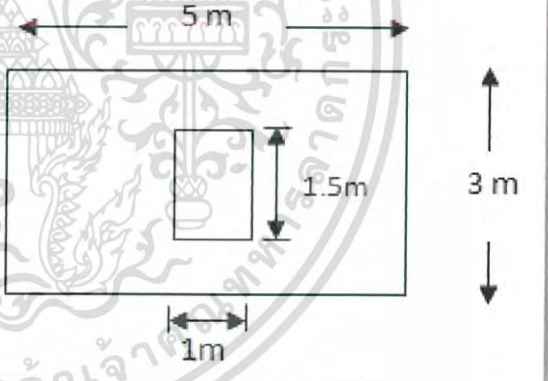
รูปที่ 4.8 แสดงที่บังแดดของกรอบอาคาร
ชั้นที่ 2 ทิศเหนือ ทิศใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

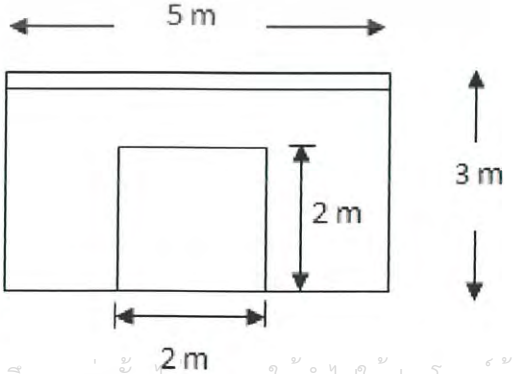


รูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 2 ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

อาคารชั้นที่ 3

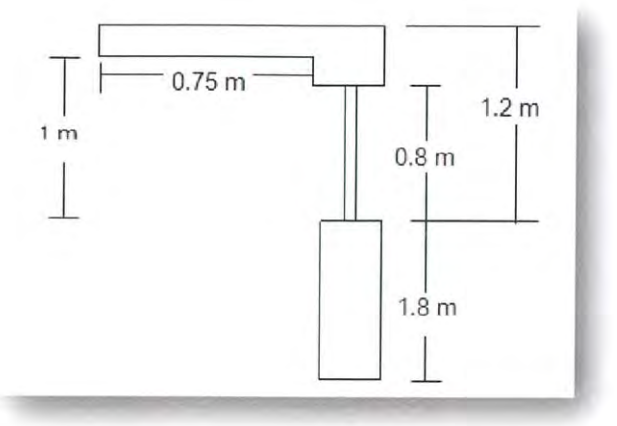


รูปที่ 4.10 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 3 ทิศเหนือและทิศใต้

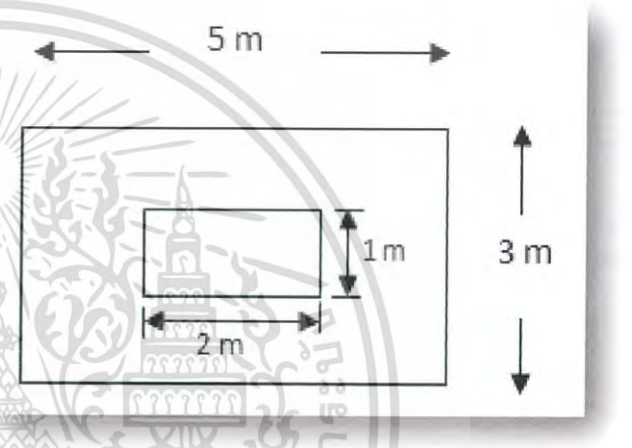


รูปที่ 4.11 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 3 ทิศตะวันตก

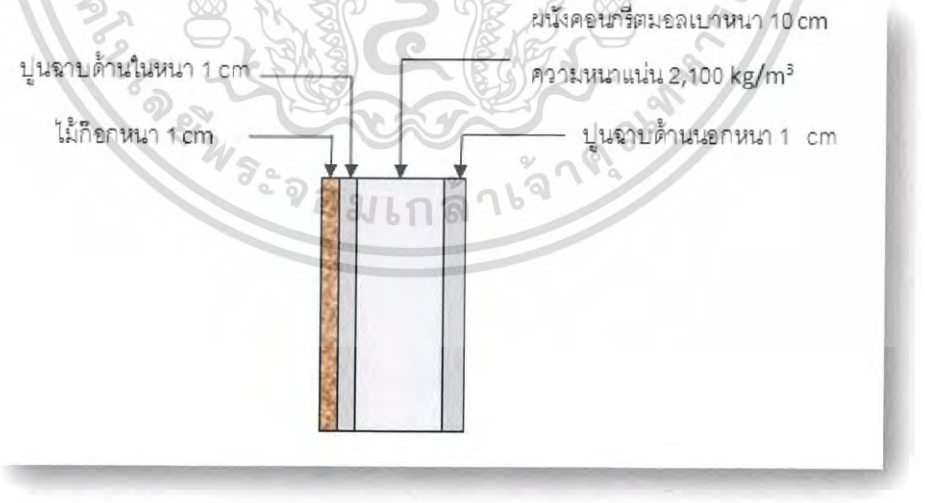
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงที่บังแดดของกรอบอาคาร
ชั้นที่ 3 ทิศตะวันตก



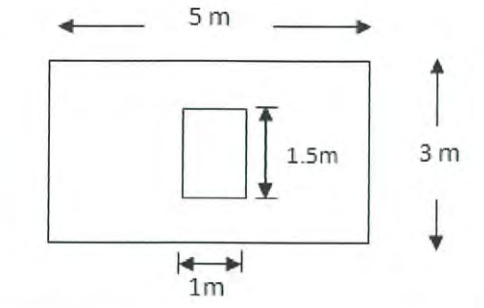
รูปที่ 4.13 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 3
ทิศตะวันออก



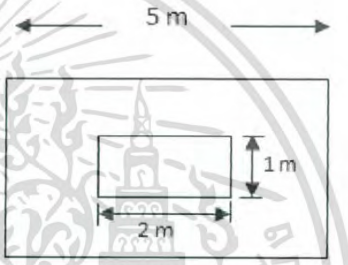
รูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 3 ทิศเหนือ ทิศใต้
ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

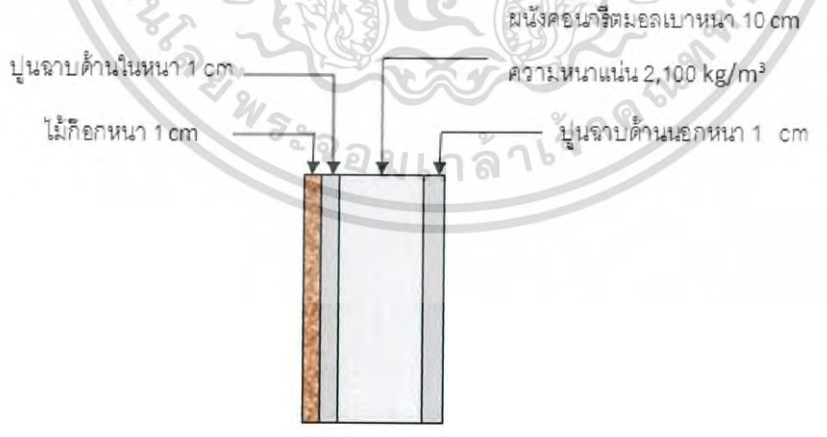
อาคารชั้นที่ 4



รูปที่ 4.15 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 4
ทิศเหนือและทิศใต้



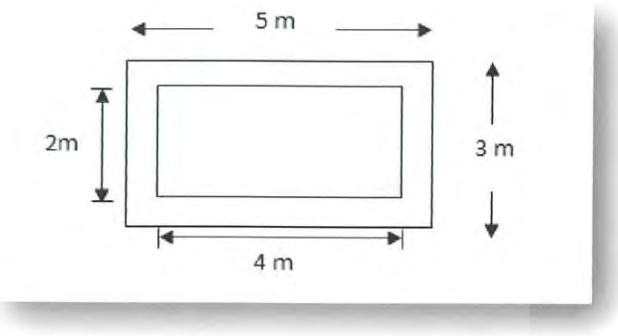
รูปที่ 4.16 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 4
ทิศตะวันออกและ
ทิศตะวันตก



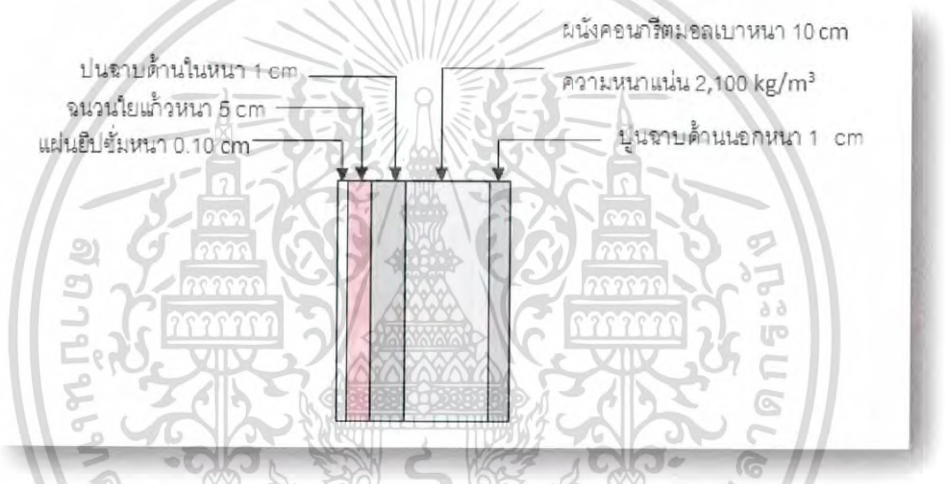
รูปที่ 4.17 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 4 ทิศเหนือ ทิศใต้
ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารชั้นที่ 5



รูปที่ 4.18 แสดงกรอบอาคารชั้นที่ 5
ทิศเหนือ ทิศใต้
ทิศตะวันออกและ
ทิศตะวันตก

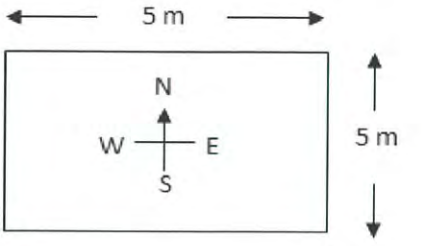


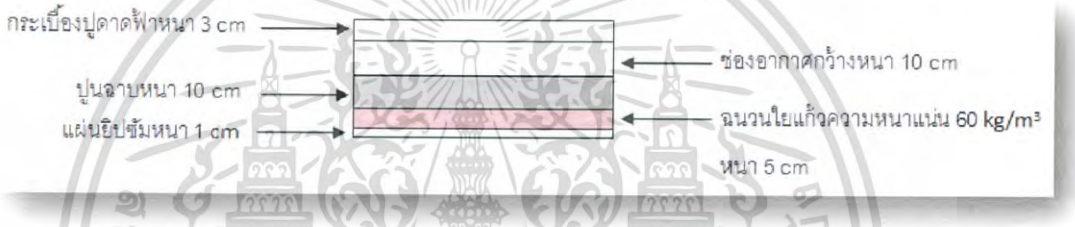
รูปที่ 4.19 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของกรอบอาคารชั้นที่ 5 ทิศเหนือ ทิศใต้
ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังคา A

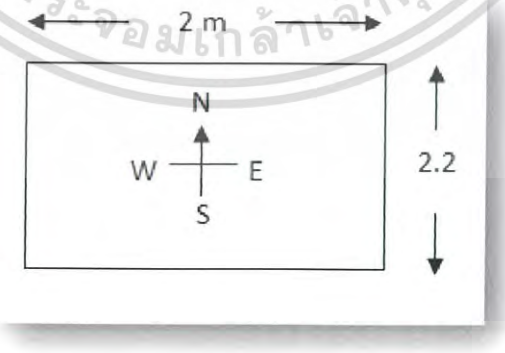
รูปที่ 4.20 แสดงขนาดของหลังคา A





รูปที่ 4.21 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของหลังคา A

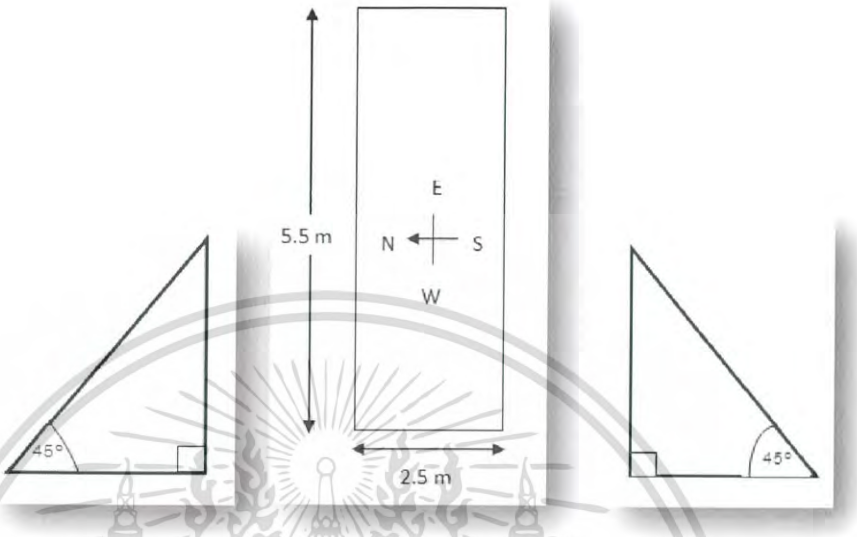
หลังคา B



รูปที่ 4.22 แสดงขนาดของหลังคา B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังคา C และ D

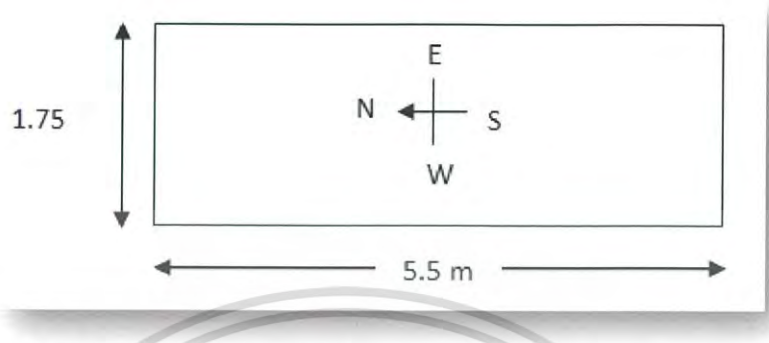


รูปที่ 4.23 แสดงขนาดของหลังคา C และ D ที่ทำมุมเอียง 45°

รูปที่ 4.24 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของหลังคา B C และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังคา E และ F



รูปที่ 4.25 แสดงขนาดของหลังคา E และ F

รูปที่ 4.26 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงวัสดุของหลังคา E และ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการออกแบบการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

1.การคำนวณค่า OTTV โดยทำตามวิธีคำนวณทางทฤษฎีในบทที่ 2 จากสมการที่ (1) โดยดำเนินการคำนวณหาค่า $OTTV_i$ ของแต่ละทิศ และรวมค่า OTTV รวมของแต่ชั้น จากนั้นจึงนำค่า OTTV รวมของแต่ชั้นมารวมเป็นค่า OTTV ของอาคารทั้งหลัง

ตารางที่ 4.4 การหาค่า U_w ชั้นที่ 1 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ และทิศใต้

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ((m^2. °C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.044
กระเบื้องเซรามิค	0.010	0.338	0.030
คอนกรีตมวลเบา	0.100	0.210	0.476
ปูนใน	0.010	0.720	0.014
ไม้ก๊อก	0.010	0.042	0.238
ฟิล์มอากาศ			0.120
$R_{รวม}$			0.922
U_w			1.085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การหาค่า U_w ชั้นที่ 1 ของอาคารตัวอย่าง ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ($(m^2 . °C) / W$)
ฟิล์มอากาศ			0.044
ปูนนอก	0.010	0.720	0.014
คอนกรีตมวลเบา	0.100	0.210	0.476
ปูนใน	0.010	0.720	0.014
ไม้ก๊อก	0.010	0.042	0.238
ฟิล์มอากาศ			0.120
$R_{รวม}$			0.906
U_w			1.104

ตารางที่ 4.6 การหาค่า U_f ชั้นที่ 1 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือและทิศใต้

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ($(m^2 . °C) / W$)
ฟิล์มอากาศ			0.004
กระจกใส	0.006	0.960	0.006
ฟิล์มอากาศ			0.120
$R_{รวม}$			0.130
U_f			7.678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การหาค่า WWR ชั้นที่ 1

ทิศ	ผนังโปร่งแสง				ผนังทั้งหมด			WWR
	กว้าง	ยาว	พ.ท โปร่งแสง	รวม พ.ท โปร่งแสง	กว้าง	ยาว	พ.ท ผนังทั้งหมด	
เหนือ	2	3	6.000	7.5	3	10	30	0.25
	0.75	2	1.5					
ใต้	2	3	6.000	7.5	3	10	30	0.25
	0.75	2	1.5					
ตะวันออก	0	0	0.000	[redacted]	3	5	15	0
ตะวันตก	0	0	0.000		3	5	15	0

ตารางที่ 4.8 การหาค่า DSH ชั้นที่ 1 ของทิศเหนือและทิศใต้

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
กระเบื้องเซรามิค	[redacted]	0.010	2100	0.800	16.800
คอนกรีตมวลเบา		0.100	700	0.840	58.800
ปูนใน		0.010	1860	0.840	15.624
ไม้ก๊อก		0.010	144	2.010	2.8944
กระจกใส	ผนังโปร่งแสง	0.006	2500	0.880	13.200
รวม	[redacted]				107.3184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การหาค่า DSH ชั้นที่ 1 ของทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
ปูนนอก		0.010	1860	0.840	15.624
คอนกรีตมวลเบา		0.100	700	0.840	58.800
ปูนใน		0.010	1860	0.840	15.624
ไม้ก๊อก		0.010	144	2.010	2.894
รวม					92.9424

ตารางที่ 4.10 การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 1

ทิศ	มุม	สีครีม	DSH	x0	y0	x1	y1	y
เหนือ	90	0.5	107.3184	100	12.1	200	10.6	11.9902
ใต้	90	0.5	106.1424	100	15.6	200	13.7	15.4833
ตะวันออก	90	0.5	92.9424	50	16.5	100	15.5	15.6412
ตะวันตก	90	0.5	92.9424	50	15.5	100	14	14.2117

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 1

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0	0
SC	0	0	0	0
ESR	185.06	267.41	244.53	234.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 1

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
U_w	1.085	1.085	1.104	1.104
U_f	7.678	7.678	0	0
WWR	0.25	0.25	0	0
Td_{eq}	11.9902	15.4610	15.4017	14.2120
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0	0
Sc	0	0	0	0
ESR	185.06	267.41	244.53	234.85
OTTV	19.3550	22.1800	17.0035	15.6900

ตารางที่ 4.13 ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 1

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	รวม
A_w	30	30	15	15	90
OTTV	19.3550	22.1800	17.0035	15.6900	
A_w x OTTV	580.6500	665.4000	255.0525	235.35000	1736.4500
$OTTV_{รวม}$					19.2939

ดังนั้น ค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 1 คือ 19.2939 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 การหาค่า U_w ชั้นที่ 2 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ((m^2. ◦C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.044
ปูนนอก	0.010	0.720	0.014
คอนกรีตมวลเบา	0.100	0.210	0.476
ปูนใน	0.010	0.720	0.014
ไม้ก๊อก	0.010	0.042	0.238
ฟิล์มอากาศ			0.120
$R_{รวม}$			0.906
U_w			1.104

ตารางที่ 4.15 การหาค่า U_f ชั้นที่ 2 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ((m^2. ◦C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.004
กระจกใส	0.006	0.960	0.006
ฟิล์มอากาศ			0.120
$R_{รวม}$			0.130
U_f			7.678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 การหาค่า WWR ชั้น 2

ทิศ	ผนังโปร่งแสง			ผนังทั้งหมด			WWR
	กว้าง	ยาว	พ.ท โปร่งแสง	กว้าง	ยาว	พ.ท ผนังทั้งหมด	
เหนือ	1.8	4	14.400	3	10	30	0.4800
	1.8	4					
ใต้	1.8	4	14.400	3	10	30	0.4800
	1.8	4					
ตะวันออก	1	2	2.000	3	5	15	0.1333
ตะวันตก	1	2	2.000	3	5	15	0.1333

ตารางที่ 4.17 การหาค่า DSH ชั้นที่ 2 ของทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
ปูนนอก		0.010	1860	0.840	15.624
คอนกรีตมวลเบา		0.100	700	0.840	58.800
ปูนใน		0.010	1860	0.840	15.624
ไม้ก๊อก		0.010	144	2.010	2.8944
กระจกใส	ผนังโปร่งแสง	0.006	2500	0.880	13.200
รวม					106.1424

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 2

ทิศ	มุม	สี ครีม	DSH	x0	y0	x1	y1	y
เหนือ	90	0.5	106.1424	100	12.1	200	10.6	12.0079
ใต้	90	0.5	106.1424	100	15.6	200	13.7	15.4833
ตะวันออก	90	0.5	106.1424	100	15.5	200	13.9	15.4017
ตะวันตก	90	0.5	106.1424	100	14	200	12.1	13.8833

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 2

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0.73	0.73
SC	0.693	0.549	0	0
ESR	185.06	267.41	244.53	234.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 2

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
U_w	1.104	1.104	1.104	1.104
U_f	7.678	7.678	7.678	7.678
WWR	0.4800	0.4800	0.1333	0.1333
Td_{eq}	12.0079	15.4833	15.4833	13.8833
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0.73	0.73
Sc	0.693	0.549	0	0
ESR	185.06	267.41	244.53	234.85
OTTV	70.258	78.76	19.9331	18.401

ตารางที่ 4.21 ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 2

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	รวม
Aw	30	30	15	15	90
OTTV	70.2580	78.7600	19.9331	18.4010	
Aw x OTTV	2115.8000	2363	298.9961	276.0150	5053.6500
OTTV รวม					56.1517

ดังนั้น ค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 2 คือ 56.1517 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 การหาค่า U_w ชั้นที่ 3 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ($(m^2 . ^\circ C) / W$)
ฟิล์มอากาศ			0.044
ปูนนอก	0.010	0.720	0.014
คอนกรีตมวลเบา	0.100	0.210	0.476
ปูนใน	0.010	0.720	0.014
ไม้ก๊อก	0.010	0.042	0.238
ฟิล์มอากาศ			0.120
Rรวม			0.906
Uw			1.104

ตารางที่ 4.23 การหาค่า U_f ชั้นที่ 3 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ΔX	K (W/(m .°C))	R ($(m^2 . ^\circ C) / W$)
ฟิล์มอากาศ			0.004
กระจกใส	0.006	0.960	0.006
ฟิล์มอากาศ			0.120
R รวม			0.130
Uf			7.678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 การหาค่า WWR ชั้น 3

ทิศ	ผนังโปร่งแสง			ผนังทั้งหมด			WWR
	กว้าง	ยาว	พ.ท โปร่งแสง	กว้าง	ยาว	พ.ทผนัง ทั้งหมด	
เหนือ	1.5	1	1.500	3	5	15	0.100
ใต้	1.5	1	1.500	3	5	15	0.100
ตะวันออก	1	2	2.000	3	5	15	0.133
ตะวันตก	2	2	4.000	3	5	15	0.267

ตารางที่ 4.25 การหาค่า DSH ชั้นที่ 3 ของทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
ปูนนอก		0.010	1860	0.84	15.624
คอนกรีตมวลเบา		0.100	700	0.84	58.800
ปูนใน		0.010	1860	0.84	15.624
ไม้ก๊อก		0.010	144	2.01	2.8944
กระจกใส	ผนังโปร่งแสง	0.006	2500	0.88	13.200
รวม					106.1424

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 3

ทิศ	มุม	สี ครีม	DSH	x0	y0	x1	y1	y
เหนือ	90	0.5	106.1424	100	12.1	200	10.6	12.0079
ใต้	90	0.5	106.1424	100	15.6	200	13.7	15.4833
ตะวันออก	90	0.5	106.1424	100	15.5	200	13.9	15.4017
ตะวันตก	90	0.5	106.1424	100	14	200	12.1	13.8833

ตารางที่ 4.27 ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 3

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0.73	0.73
SC	0	0	0	0.549
ESR	185.06	267.41	244.53	234.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 3

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
U_w	1.104	1.104	1.104	1.104
U_f	7.678	7.678	7.678	7.678
WWR	0.1	0.1	0.133	0.2667
Td_{eq}	12.008	15.48	15.48	13.883
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0.73	0.73
Sc	0	0	0	0.549
ESR	185.06	267.4	244.5	234.85
OTTV	15.770	19.220	19.930	46.58

ตารางที่ 4.29 ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 3

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	รวม
Aw	15	15	15	15	60
OTTV	15.7700	19.2232	19.9331	46.58	
Aw x OTTV	236.5502	288.3480	298.9961	698.7000	1522.5900
OTTV รวม					25.3766

ดังนั้น ค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 3 คือ 25.3766 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 การหาค่า U_w ชั้นที่ 4 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ((m^2. °C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.044
ปูนนอก	0.010	0.720	0.014
คอนกรีตมวลเบา	0.100	0.210	0.476
ปูนใน	0.010	0.720	0.014
ไม้ก๊อก	0.010	0.042	0.238
ฟิล์มอากาศ			0.120
Rรวม			0.906
Uw			1.104

ตารางที่ 4.31 การหาค่า U_f ชั้นที่ 4 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ((m^2. °C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.004
กระจกใส	0.006	0.960	0.006
ฟิล์มอากาศ			0.120
R รวม			0.130
Uf			7.678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.32 การหาค่า WWR ชั้น 4

ทิศ	ผนังโปร่งแสง			ผนังทั้งหมด			WWR
	กว้าง	ยาว	พ.ท โปร่งแสง	กว้าง	ยาว	พ.ท ผนังทั้งหมด	
เหนือ	1.5	1	1.500	3	5	15	0.100
ใต้	1.5	1	1.500	3	5	15	0.100
ตะวันออก	1	2	2.000	3	5	15	0.133
ตะวันตก	1	2	2.000	3	5	15	0.133

ตารางที่ 4.33 การหาค่า DSH ชั้นที่ 4 ของทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
ปูนนอก		0.010	1860	0.84	15.624
คอนกรีตมวลเบา		0.100	700	0.84	58.800
ปูนใน		0.010	1860	0.84	15.624
ไม้ก๊อก		0.010	144	2.01	2.8944
กระจกใส	ผนังโปร่งแสง	0.006	2500	0.88	13.200
รวม					106.1424

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.34 การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 4

ทิศ	มุม	สี ครีม	DSH	x0	y0	x1	y1	y
เหนือ	90	0.5	106.1424	100	12.1	200	10.6	12.0079
ใต้	90	0.5	106.1424	100	15.6	200	13.7	15.4833
ตะวันออก	90	0.5	106.1424	100	15.5	200	13.9	15.4017
ตะวันตก	90	0.5	106.1424	100	14	200	12.1	13.8833

ตารางที่ 4.35 ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 4

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0.73	0.73
SC	0	0	0	0
ESR	185.06	267.41	244.53	234.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.36 ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 4

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
U_w	1.104	1.104	1.104	1.104
U_f	7.678	7.678	7.678	7.678
WWR	0.1	0.1	0.133	0.1333
Td_{eq}	12.008	15.48	15.48	13.883
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0.73	0.73
Sc	0	0	0	0
ESR	185.06	267.4	244.5	234.85
OTTV	15.770	19.220	19.930	18.402

ตารางที่ 4.37 ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่4

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	รวม
Aw	15	15	15	15	60
OTTV	15.7700	19.2232	19.9331	18.4022	
Aw x OTTV	236.5502	288.3480	298.9961	276.0329	1099.9270
OTTV รวม					18.3321

ดังนั้น ค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 4 คือ 18.3321 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.38 การหาค่า U_w ชั้นที่ 5 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ((m^2. ◦C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.044
ปูนนอก	0.010	0.720	0.014
คอนกรีตมวลเบา	0.100	0.210	0.476
ฉนวนใยแก้ว	0.050	0.031	1.613
แผ่นยิปซั่ม	0.001	0.282	0.004
ปูนใน	0.010	0.042	0.238
ฟิล์มอากาศ			0.12
Rรวม			2.509
Uw			0.399

ตารางที่ 4.39 การหาค่า U_f ชั้นที่ 5 ของอาคารตัวอย่าง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ความหนา (m)	K (W/(m .°C))	R ((m^2. ◦C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.004
กระจกใส	0.006	0.960	0.006
ฟิล์มอากาศ			0.120
R รวม			0.130
Uf			7.678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.40 การหาค่า WWR ชั้น 5

ทิศ	ผนังโปร่งแสง			ผนังทั้งหมด			WWR
	กว้าง	ยาว	พ.ท โปร่งแสง	กว้าง	ยาว	พ.ท ผนังทั้งหมด	
เหนือ	2	4	8	3	5	15	0.533
ใต้	2	4	8	3	5	15	0.533
ตะวันออก	2	4	8	3	5	15	0.533
ตะวันตก	2	4	8	3	5	15	0.533

ตารางที่ 4.41 การหาค่า DSH ชั้นที่ 5 ของทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
ปูนนอก		0.010	1860	0.84	15.624
คอนกรีตมวลเบา		0.100	700	0.84	58.800
ฉนวนใยแก้ว		0.05	60	0.96	2.880
แผ่นยิป		0.001	800	1.09	0.872
ปูนใน		0.010	1860	0.84	15.624
กระจกใส	ผนังโปร่งแสง	0.006	2500	0.88	13.200
รวม					107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.42 การหาค่า TD_{eq} ชั้นที่ 5

ทิศ	มุม	สี ครีม	DSH	x0	y0	x1	y1	y
เหนือ	90	0.5	107	100	12.1	200	10.6	11.995
ใต้	90	0.5	107	100	15.6	200	13.7	15.467
ตะวันออก	90	0.5	107	100	15.5	200	13.9	15.388
ตะวันตก	90	0.5	107	100	14	200	12.1	13.867

ตารางที่ 4.43 ข้อมูลพารามิเตอร์ ของชั้นที่ 5

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0.73	0.73
SC	0	0	0	0
ESR	185.06	267.41	244.53	234.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.44 ตารางรวมค่าการคำนวณของชั้นที่ 5

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
U_w	0.399	0.399	0.399	0.399
U_f	7.678	7.678	7.678	7.678
WWR	0.5333	0.533	0.533	0.5333
Td_{eq}	11.995	15.47	15.39	13.867
ΔT	5	5	5	5
SHGC	0.73	0.73	0.73	0.73
Sc	0	0	0	0
ESR	185.06	267.4	244.5	234.85
OTTV	22.708	23.35	23.34	23.057

ตารางที่ 4.45 ตารางการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่5

ค่าพารามิเตอร์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	รวม
Aw	15	15	15	15	60
OTTV	22.7000	23.3500	23.3399	23.0600	
Aw x OTTV	341.0000	350.3000	350.0985	345.9000	1387.0000
OTTV รวม					23.1100

ดังนั้น ค่า $OTTV_{รวม}$ ของชั้นที่ 5 คือ 23.1100 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.46 ตารางรวมค่า OTTV ของทั้งอาคาร

	1	2	3	4	5	
Aw	90	90	60	60	60	360
OTTV	19.2939	56.1517	25.3766	18.3321	23.1148	
Aw x OTTV	1736.4510	5053.653	1522.596	1099.9270	1386.8900	10799.52
OTTV รวม						29.9987

ดังนั้น ค่า $OTTV_{รวม}$ ของทั้งอาคาร คือ 29.9987W/m^2

ตารางที่ 4.47 ตารางประเมินค่าที่คำนวณได้กับเกณฑ์ขั้นต่ำ

ประเภทอาคาร	ศักยภาพของระบบกรอบอาคาร		ผลการประเมิน
	เกณฑ์ขั้นต่ำ	อาคารตัวอย่าง	
สำนักงาน	$\leq$ 50	29.9987	ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การคำนวณค่า RTTV โดยทำตามวิธีคำนวณทางทฤษฎีในบทที่ 2 จากสมการที่ (26) โดยดำเนินการ หาค่า RTTV ของหลังคา A และหลังคา B จากนั้นจึงนำมารวมกันเพื่อหาค่า $RTTV_{รวม}$ ของหลังคา

อาคารหลังนี้

ตารางที่ 4.48 การหาค่า U_w ของหลังคา A

วัสดุ	ความหนา(m)	K (W/(m .°C))	R ((m^2. ◦C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.055
กระเบื้องปูดาดฟ้า	0.030	0.341	0.088
ปูนฉาบ	0.100	0.72	0.139
ช่องว่างอากาศ			0.174
ฉนวนใยแก้ว	0.050	0.031	1.613
แผ่นยิปซั่ม	0.010	0.282	0.035
ฟิล์มอากาศ			0.162
R รวม			2.266
Uw			0.441

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.49 การหาค่า DSH ของหลังคา A

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
กระเบื้องปูดาดฟ้า		0.030	1500	1.510	67.9500
ปูนฉาบ		0.010	1860	0.840	156.2400
ช่องว่างอากาศ		0.100	1.127	1.006	0.1130
ฉนวนใยแก้ว		0.050	60	0.960	2.8800
แผ่นยิปซั่ม		0.010	800	1.090	8.720
รวม					235.9034

ตารางที่ 4.50 การหาค่า U_w ของหลังคา B C และ D

วัสดุ	ความหนา(m)	K(W/(m .°C))	R(m^2. ◦C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.055
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.010	0.993	0.010
ช่องว่างอากาศ			0.768
ฉนวนใยแก้ว	0.050	0.031	1.613
แผ่นยิปซั่ม	0.010	0.282	0.035
ฟิล์มอากาศ			0.133
R รวม			2.615
Uw			0.382

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.51 การหาค่า DSH ของหลังคา B C และ D

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต		0.010	2400	0.790	18.9600
ช่องว่างอากาศ		0.100	1.127	1.006	0.1130
ฉนวนใยแก้ว		0.050	60	0.960	2.8800
แผ่นยิปซั่ม		0.010	800	1.090	8.7200
รวม					30.6730

ตารางที่ 4.52 การหาค่า U_w ของหลังคา E และ F

วัสดุ	ความหนา(m)	K(W/(m .°C))	R(m^2. ◦C) / W)
ฟิล์มอากาศ			0.055
ผนังคอนกรีตสแลบ	0.100	1.442	0.069
ช่องว่างอากาศ			0.174
ฉนวนใยแก้ว	0.050	0.031	1.613
แผ่นยิปซั่ม	0.001	0.282	0.004
ฟิล์มอากาศ			0.162
R รวม			2.077
Uw			0.482

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.53 การหาค่า DSH ของหลังคา E และ F

วัสดุ	ผนังทึบ	ΔX	ρ	Cp	DSH
ผนังคอนกรีตสแลบ		0.100	2400	0.920	220.8000
ช่องว่างอากาศ		0.100	1.127	1.006	0.1134
ฉนวนใยแก้ว		0.050	60	0.960	2.8800
แผ่นยิปซั่ม		0.001	800	1.090	0.8720
รวม					224.6654

ตารางที่ 4.54 การหาค่า TD_{eq} ของหลังคาอาคาร

หลังคา	ทิศ	มุม	สี	DSH	x0	y0	x1	y1	y
A	ทุกทิศทาง	0	ขาว 0.3	235.9034	200	12.1	300	10.5	11.6511
B	ทุกทิศทาง	0	แดง 0.7	22.8254	15	33.6	30	33	33.2870
C	เหนือ	45	แดง 0.7	22.8254	15	25.2	30	24.7	24.9392
D	ใต้	45	แดง 0.7	22.8254	15	31.3	30	30.8	31.0392
E	ทุกทิศทาง	0	ครีม 0.5	224.6654	200	19.1	300	16.8	18.5327
F	ทุกทิศทาง	0	ครีม 0.5	224.6654	200	19.1	300	16.8	18.5327

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.55 ตารางรวมค่าการคำนวณของหลังคาอาคาร

พารามิเตอร์	A	B	C	D	E	F
U_w	0.448	0.387	0.387	0.387	0.482	0.482
U_f						
SRR						
TD_{eq}	11.6511	33.2875	24.9392	31.0392	18.5327	18.5327
ΔT						
SHGC						
SC						
RTTV	5.2146	12.8889	9.6565	12.0185	8.92367	8.9237

ตารางที่ 4.56 ตารางรวมค่า RTTV ของอาคาร

	A	B	C	D	E	F	รวม
กว้าง	5	4.20	2.50	2.50	1.75	1.75	
ยาว	5	4.40	5.50	5.50	5.50	5.50	
Aw	25	18.4800	13.7500	13.7500	9.6250	9.6250	75.6875
RTTV	5.2146	12.8889	9.6565	12.0185	8.9237	8.9237	
Aw x RTTV	130.3658	238.1860	132.7774	165.2542	85.8906	85.8906	838.3645
OTTV รวม							9.2914

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.57 ประเมินค่าที่คำนวณได้กับเกณฑ์ขั้นต่ำ

ประเภทอาคาร	ศักยภาพของระบบหลังคาอาคาร		ผลการประเมิน
	เกณฑ์ขั้นต่ำ	อาคารตัวอย่าง	
สำนักงาน	≤ 15	9.2914	ผ่าน

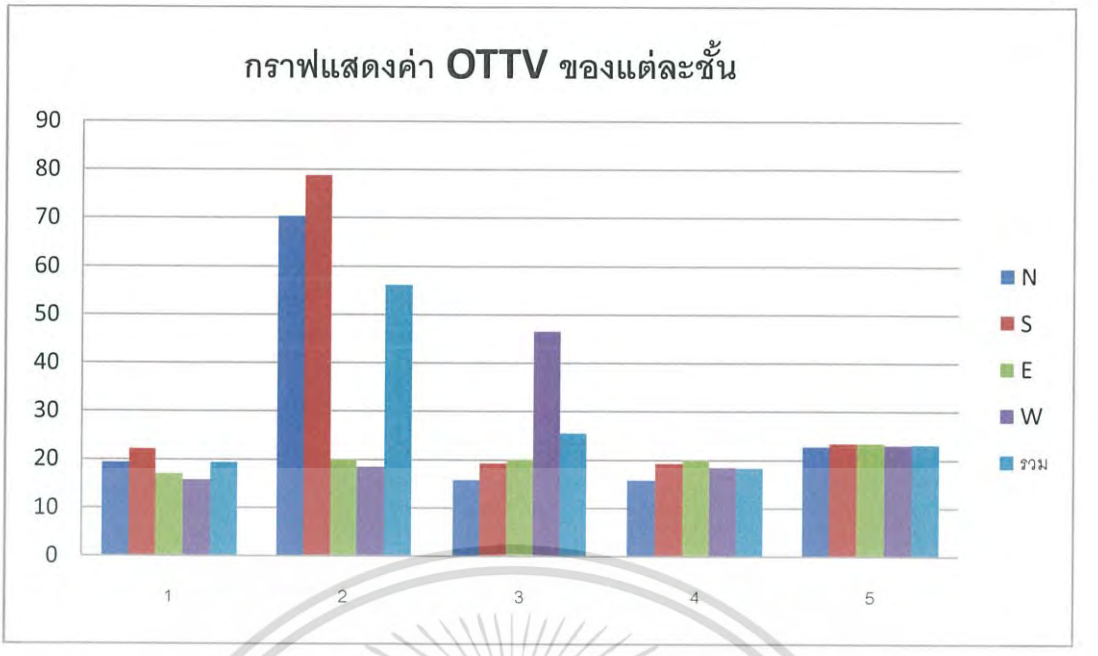
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ OTTV และ RTTV ของอาคารตัวอย่าง

จากการคำนวณทั้งหมดเราจะได้ค่า OTTV และ RTTV รวมของทั้งอาคารจำลองนี้ออกมา ซึ่งด้วย การออกแบบแล้วทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นไม่เกินเกณฑ์ขั้นต่ำตามกฎกระทรวง ดังนั้นอาคารตัวอย่างจึงผ่านเกินมาตรฐานดังกล่าว

ตารางที่ 4.58 ตารางรวมค่า OTTV

ทิศ/ชั้น	1	2	3	4	5
OTTV ทิศเหนือ	19.3550	70.2580	15.7700	15.7700	22.7000
OTTV ทิศใต้	22.1800	78.7600	19.2232	19.2232	23.3500
OTTV ทิศตะวันออก	17.0035	19.93310	19.9331	19.9331	23.3399
OTTV ทิศตะวันตก	15.6900	18.4010	46.5800	18.4022	23.0600
OTTV รวม	19.2939	56.1517	25.3766	18.3321	23.1100

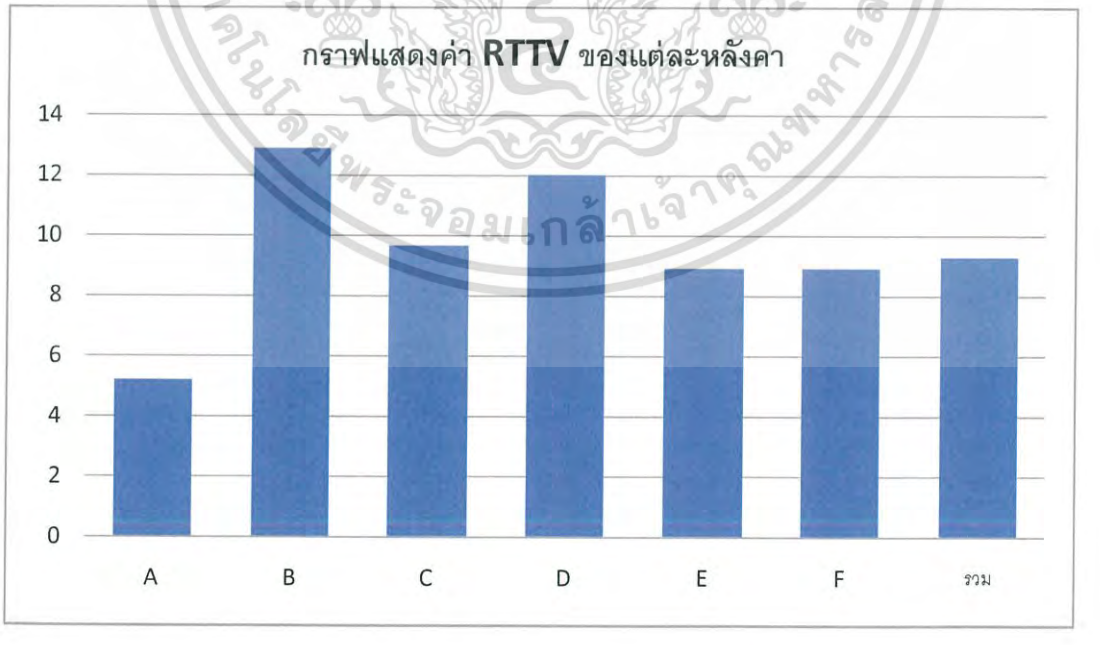
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่า OTTV ของแต่ละชั้น

ตารางที่ 4.59 ตารางรวมค่า RTTV

หลังคา	A	B	C	D	E	F	รวม
RTTV	5.2146	12.8889	9.6565	12.0185	8.9237	8.9237	9.2914

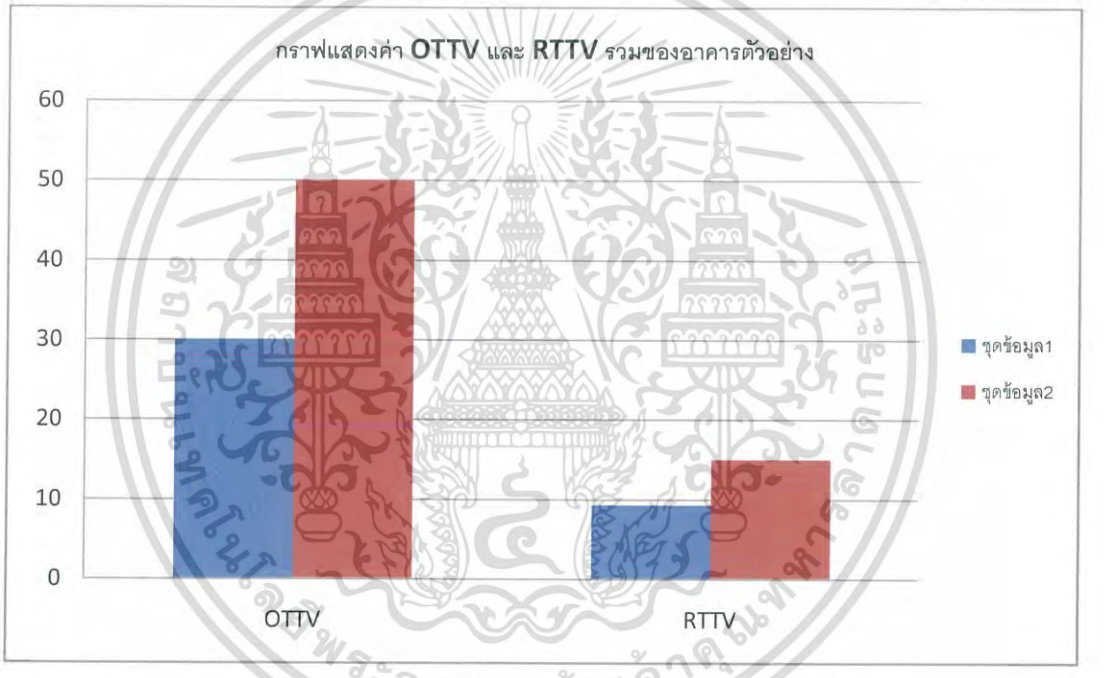


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่า RTTV ของแต่ละหลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.60 ประเมินค่าที่คำนวณได้กับเกณฑ์ขั้นต่ำ

ประเภทอาคาร	ศักยภาพของระบบกรอบอาคาร		ศักยภาพของระบบหลังคาอาคาร		ผลการประเมิน
	เกณฑ์ขั้นต่ำ	อาคารตัวอย่าง	เกณฑ์ขั้นต่ำ	อาคารตัวอย่าง	
สำนักงาน	≤ 50	29.9987	≤ 15	9.2914	ผ่าน

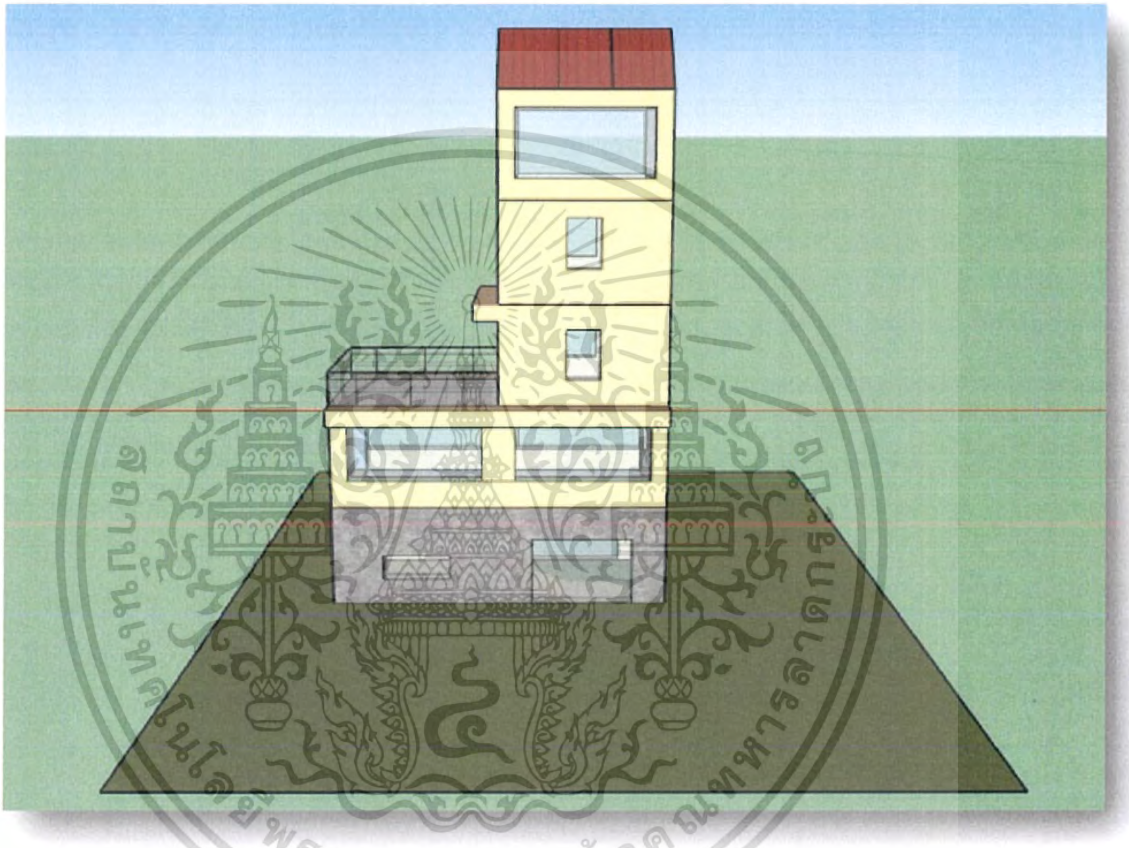


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่า OTTV และ RTTV รวมของอาคารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

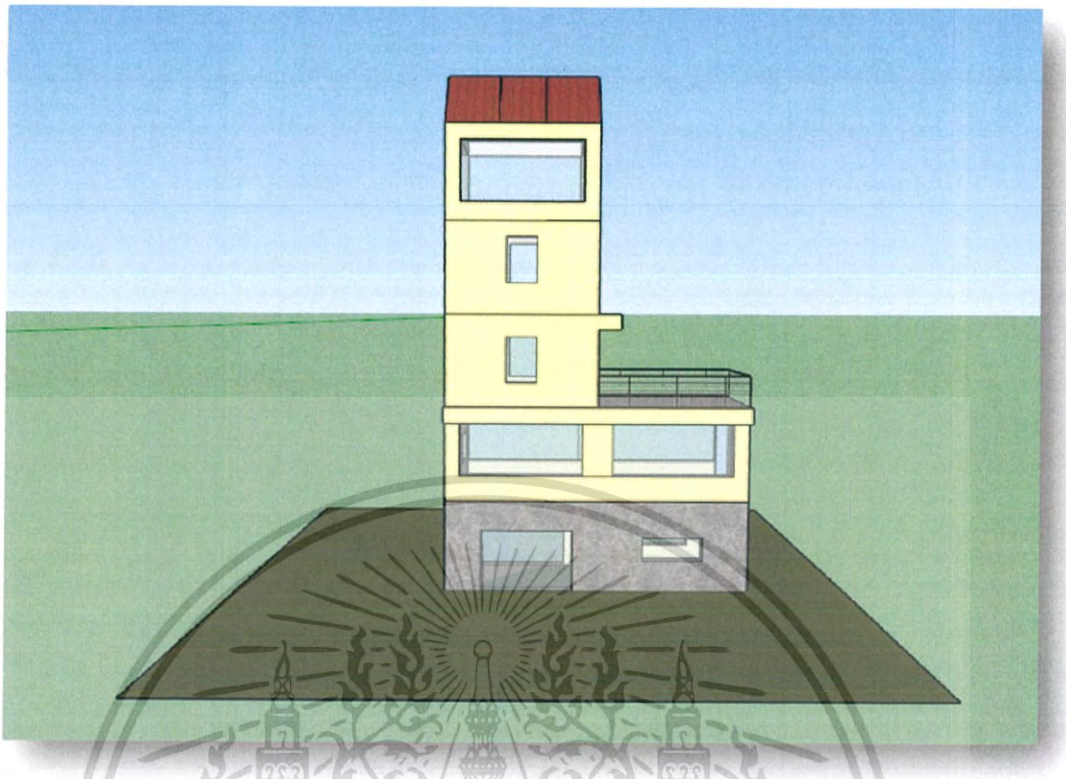
4.5 การสร้างอาคารแบบจำลอง 3 มิติ

1.โปรแกรม Sketch up pro 2014 ทำการวาดรูปอาคารตัวอย่างโดยใส่รายละเอียดของการออกแบบอาคาร อาคารตัวอย่างนี้มีขนาด 5 ชั้น มีความสูงรวม 15 เมตร ยาว 10 เมตร กว้าง 5 เมตร รวมทั้งการออกแบบวัสดุที่ใช้โดยทำการเลือกวัสดุ และใส่สี ตามการออกแบบที่กำหนดไว้ ที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อให้ได้ภาพรายละเอียดที่จะสามารถนำไปสร้างเป็นโมเดลจริงได้อย่างชัดเจน

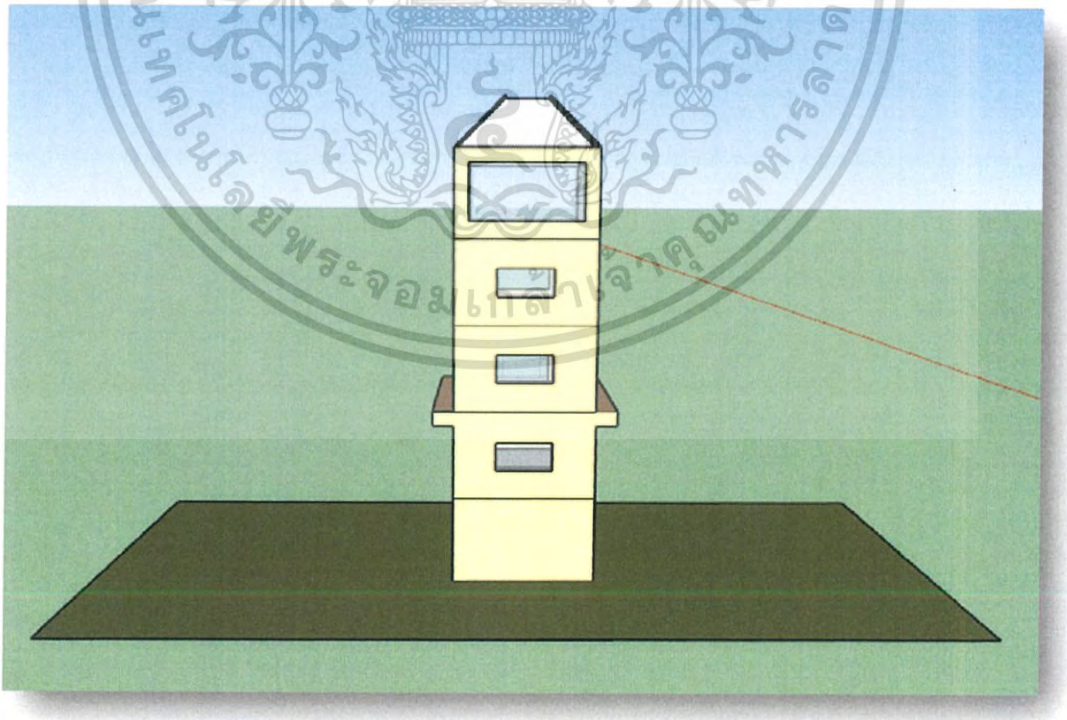


รูปที่ 4.30 แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านทิศเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

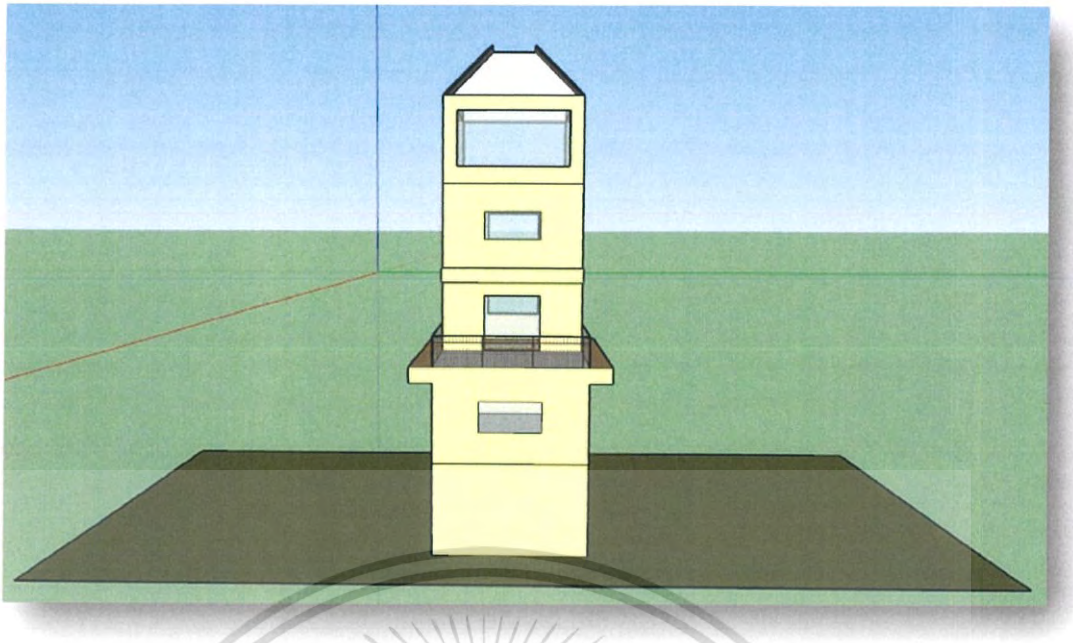


รูปที่ 4.31 แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านทิศใต้

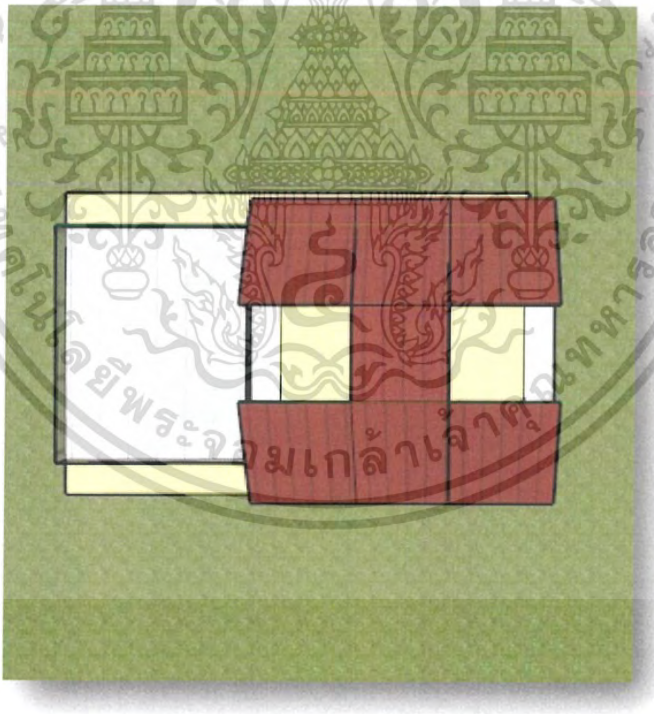


รูปที่ 4.32 แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านทิศตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

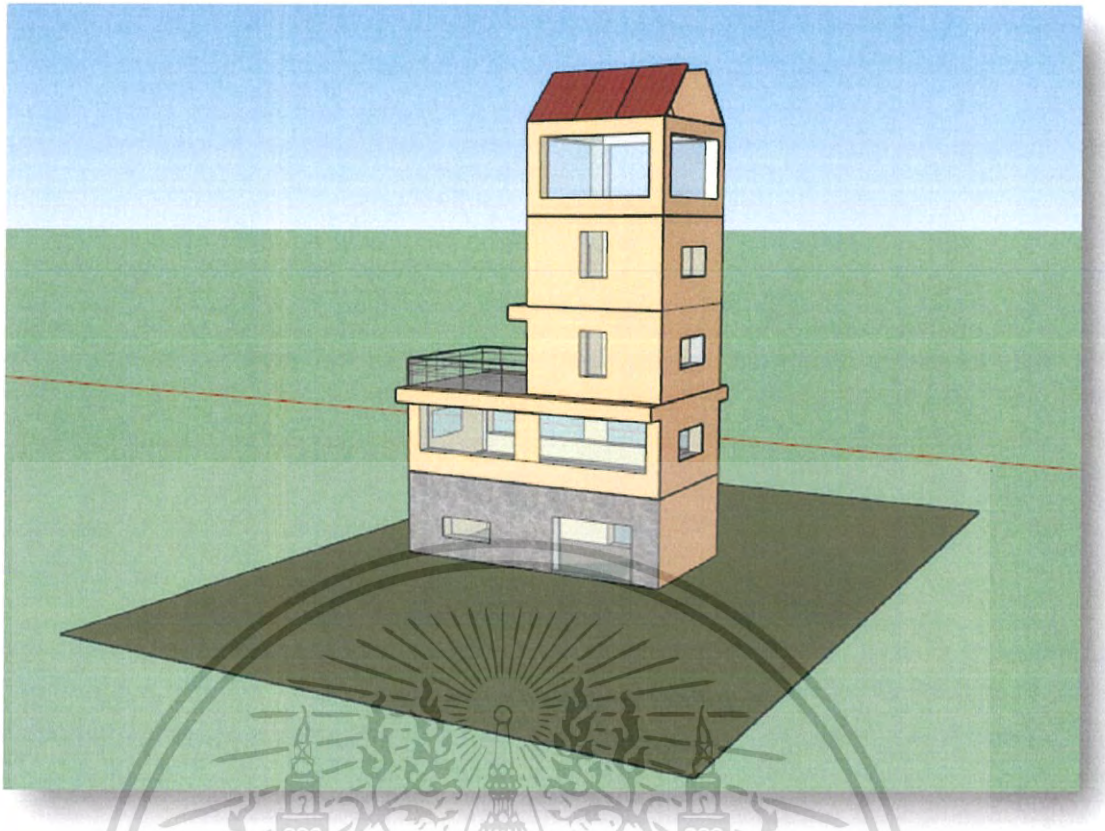


รูปที่ 4.33 แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านทิศตะวันตก



รูปที่ 4.34 แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม Sketch up pro 2014 โดยรวมของอาคารตัวอย่าง

2.แบบจำลองโมเดลที่สร้างจริง

รูปที่ 4.36 แสดงโมเดล 3 มิติจริงตามที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษากฎกระทรวง เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 ได้ทำการศึกษาในเรื่องของระบบกรอบอาคาร และ ระบบหลังคาอาคาร เพื่อทำการคำนวณหาค่า OTTV และ RTTV รวมของอาคารตัวอย่างที่ออกแบบ รวมทั้งสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากอาคารที่ทำการออกแบบไว้เบื้องต้นสำหรับโครงงานพิเศษนี้ในโปรแกรม Sketch Up 2014 และสร้างชิ้นงานโมเดลจริง

5.1.1 สามารถทำการศึกษาและคำนวณตาหาค่า $OTTV_{รวม}$ของอาคาร ได้

การดำเนินการศึกษาวิธีการคำนวณค่า OTTV ตามทฤษฎีของกฎกระทรวงของอาคารตัวอย่างนี้ ได้ค่าเป็นไปตามเกณฑ์ขั้นต่ำของกระทรวง คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 W/m^2 ซึ่งจากการคำนวณค่า $OTTV_{รวม}$ของอาคารตัวอย่างดังกล่าวในโครงงานพิเศษนี้ ได้ค่าอยู่ที่ 31.2123 W/m^2 ดังนั้นผลการประเมินอาคารตัวอย่าง ในด้านศักยภาพของระบบกรอบอาคาร จึงได้ผลประเมินเป็น “ผ่าน” ทั้งนี้การคำนวณค่า OTTV นี้ ขึ้นอยู่กับเลือกวัสดุโครงสร้างที่ใช้และความหนาของวัสดุนั้นที่เลือกนำมาประกอบกันเป็นระบบกรอบอาคาร โดยในเรื่องของวัสดุจะมีความแตกต่างกันไปตามความสะดวกและประเภทของอาคาร ทั้งนี้ยังมีเรื่องของเศรษฐศาสตร์ ที่เป็นผลกับค่าราคาของวัสดุชนิดต่างเพราะวัสดุบางชนิดใช้การผลิตที่มีขั้นตอนยุ่งยากและหลายขั้นตอน ดังนั้นการออกแบบอาคารและเลือกวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับงบประมาณด้วยเช่นกันจึง จะอาคารที่เหมาะสมทั้งทางระบบกรอบอาคารและทางเศรษฐกิจ

5.1.2 สามารถทำการศึกษาและคำนวณตาหาค่า $RTTV_{รวม}$ของอาคาร ได้

การดำเนินการศึกษาวิธีการคำนวณค่า RTTV ตามทฤษฎีของกฎกระทรวงของอาคารตัวอย่างนี้ ได้ค่าเป็นไปตามเกณฑ์ขั้นต่ำของกระทรวง คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 W/m^2 ซึ่งจากการคำนวณค่า $RTTV_{รวม}$ของอาคารตัวอย่างดังกล่าวในโครงงานพิเศษนี้ ได้ค่าอยู่ที่ 9.7178 W/m^2 ดังนั้นผลการประเมินอาคารตัวอย่าง ในด้านศักยภาพของระบบหลังคาอาคาร จึงได้ผลประเมินเป็น “ผ่าน” ในระบบหลังคาอาคารก็เช่นกัน ขึ้นอยู่กับมุมของหลังคา วัสดุ และความหนาที่นำมาใช้ในการสร้างด้วย ดังนั้นการออกแบบและเลือกวัสดุจึงต้องคำนึงในหลายๆเรื่องประกอบกันเพื่อให้ได้ระบบหลังคาอาคารที่ประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงานให้กับอาคารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 แบบจำลอง 3 มิติ

1.แบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม Sketch Up 2014

ในโครงงานพิเศษนี้ได้ออกแบบอาคาร และเลือกวัสดุในการสร้างอาคารแบบจำลองจากการดำเนินการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของอาคารที่เหมาะสมกับอาคารตัวอย่างของโครงงานนี้ โดยทำการออกแบบเป็นอาคารประเภทสำนักงาน ที่มีความสูง 5 ชั้น และเลือกการออกแบบที่แตกต่างในแต่ละชั้น รวมทั้งมีอุปกรณ์บังแดดด้วย และวัสดุที่หลากหลาย เพื่อจะได้ศึกษาการคำนวณและการรู้จักวัสดุและการใช้งานของวัสดุที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ในแบบจำลอง 3 มิติที่ทำการสร้างขึ้นในโปรแกรม Sketch Up เป็นจำลองที่ออกแบบเพื่อให้ลักษณะของอาคารจริงที่ทำการออกแบบไว้ และเพื่อเป็นตัวแบบอย่างในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติจริง ในส่วนของชิ้นงานโมเดลเพื่อจะได้ใกล้เคียงกับที่ออกแบบมากที่สุด

2.ชิ้นงานโมเดล 3 มิติ

การสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่เป็นชิ้นงานโมเดลขึ้นมาในโครงงานพิเศษนี้ ทำการเลือกใช้อัตราส่วน 1:2 (เมตร : เซนติเมตร) โดยวัสดุที่ทำเป็นโมเดลบางส่วนเลือกใช้จากวัสดุที่มีความใกล้เคียงกับวัสดุจริง เพื่อให้เป็นไปตามการออกแบบที่กำหนดไว้ ตามการคำนวณการเลือกใช้วัสดุ ทั้งนี้อาคารตัวอย่างในโครงงานพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาและการคำนวณหาค่า OTTV และ RTTV ของผู้ที่สนใจต้องการศึกษาและทำความเข้าใจ ในเรื่องของการประหยัดพลังงานในระบบกรอบอาคารและหลังคาอาคาร ซึ่งถือว่าการจัดทำในรูปแบบของชิ้นงานโมเดล 3 มิติ และแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม Sketch Up จะทำให้เห็นภาพตัวอย่างและทำความเข้าใจ OTTV และ RTTV ได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

การศึกษาและทำความเข้าใจในเรื่องของ OTTV และ RTTV นั้นเป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้ามหรือทิ้งไป ทั้งนี้กฎหมายการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยได้ออกมาให้ทำการคำนวณค่าการประหยัดพลังงาน และทางEIA (Environmental Impact Assessment) ได้มีการเรียกขอดูรายงานการคำนวณค่า OTTV-RTTV สำหรับอาคารประเภทที่พักอาศัย และสำนักงานก่อนการให้ดำเนินการสร้าง เราจึงจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาและทำความเข้าใจในระบบกรอบอาคารและหลังคาอาคาร

เมื่อการประหยัดและการลดใช้พลังงาน สามารถทำได้ในที่อยู่อาศัยของเรา ข้อดีของการรู้และเข้าใจ OTTV และ RTTV เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่จะทำการก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน สถานศึกษา หรือห้างสรรพสินค้า เพราะการเลือกใช้วัสดุในการออกแบบการก่อสร้างนั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้อาคารดังกล่าวเป็นอาคารประหยัดพลังงานและทำให้ลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก รวมทั้งการทำให้เกิดความใส่ใจในสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้น ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่กำหนดการใช้พลังงานของเราได้อย่างมั่นคงทางด้านสิ่งแวดล้อม และในทางเศรษฐกิจด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับโครงงานพิเศษนี้ ที่จะสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ มีดังนี้

1.การสร้างโปรแกรมคำนวณสำหรับการหาค่า OTTV และค่า RTTV เพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ และการตรวจสอบที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

2.การศึกษาและทำความเข้าใจการใช้งานของโปรแกรมคำนวณของกระทรวงพลังงาน โปรแกรม BEC ที่สามารถใช้ตรวจสอบค่า OTTV และค่า RTTV ได้

3.การศึกษาและคำนวณในส่วนของระบบอื่นๆ เช่น การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศของอาคาร การคำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร เป็นต้น เพื่อจะได้สามารถประเมินการประหยัดพลังงานของอาคารทั้งหลังได้อย่างครบถ้วน

4.การอนุรักษ์พลังงานในอาคารให้บรรลุเป้าหมายได้นั้น ต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจ และการร่วมมือกัน ของภาครัฐและเอกชน รวมทั้งประชาชน ที่ต้องทำการประสานงานเพื่อการประหลัดและลดใช้พลังงานได้อย่างยั่งยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ภานุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล และดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร. 2556. "แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้ พลังงานของอาคารสำานักงาน ราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร." หน้า 62-69. ใน **Buit Environment Research Associates Conference, BERAC 4.** กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธนภรณ์ โภควรรณวิทย์ และดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์. 2556. "การพัฒนาแผ่นประกอบจากกระดาษและเส้นใยแก้วเหลือใช้เพื่อ ประสิทธิภาพทางความร้อนสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร." หน้า 70-76. ใน **Buit Environment Research Associates Conference, BERAC 4.** กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ภาณิตภัทร ศิริสวัสดิ์วัฒนา และ ดร. จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์.2556. "ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน เมื่อมีการกำหนดพื้นที่กระจกของผนังอาคารตามทิศ." หน้า 107-112. ใน **Buit Environment Research Associates Conference, BERAC 4.** กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วิรัตน์ตั้งคุณาพันธุ์., สมนึก ธีระกุลพิศุทธิ์., ประพัทธ์สันติวรากร. 2549. "การใช้วิธีการคำนวณ OTTV และ RTTV สำหรับการประมาณการประหยัดพลังงาน." หน้า 1-7 ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20.** นครราชศรีมา : สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

รศ.ศุทธา ศรีเผด็จ. 2554. **"กฎหมายอนุรักษ์พลังงานในอาคารฉบับใหม่."** *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.*. 12(1): 1-12.

ธารา จำเนียรดำรงการ. 2557. **"การพัฒนาโปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)."** *Veridian E-Journal,SU.* 6(1): 847-866.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่มที่ 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552)

"กฎกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2538." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่มที่ 112, ตอนที่ 46 ก (15 พฤศจิกายน 2538)

"ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร พ.ศ. 2552." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่มที่ 126, ตอนพิเศษ 122 ง (28 สิงหาคม 2552)

"พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่มที่124, ตอนที่ 84 ก (4 ธันวาคม 2550)

"พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่มที่109,ตอนที่ 22 (2 เมษายน 2535)

กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนางานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. 2550. **"หลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์ พลังงานในอาคาร."** [Online]. Available : http://www2.dede.go.th/saveenergy/berc/act2535/energy21doc.htm

กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนางานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. 2559. **คู่มือ การใช้งานโปรแกรม BEC (Building Energy Code) เวอร์ชัน 1.0.6 2559.** [Online].Available:http://www.2ebuilding.com/article.php?cat=download&id=203

บริษัท เอเบิล คอนซัลแตนท์จำกัด. 2550. **คู่มือโปรแกรมตรวจสอบความสอดคลองของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (New Building Energy Code).** [Online]. Available : http://www.able.co.th/Upload/File/14.pdf

กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนางานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. 2558. **กฎกระทรวงและระเบียบรัฐ.** [Online]. Available :http://www.dede.go.th

พัฒนา รัตนนาวาทอง. 2558. **วิธีการคำนวณ OTTV ภาคทฤษฎี ตอนที่ 1: ปฐมบท.** [Online]. Available : https://zcbthailand.com/en/.../วิธีการคำนวณ-ottv-ภาคทฤษฎี-ตอนที่- 1-ปฐมบท.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนา รัตนนาวาทอง. 2558.**วิธีการคำนวณ OTTV ภาคทฤษฎี ตอนที่ 4: กระจก** [Online]. Available : https://zcbthailand.com/en/.../วิธีการคำนวณ-ottv-ภาคทฤษฎี-ตอน ที่-4-กระจก.html

พัฒนา รัตนนาวาทอง. 2558.**วิธีการคำนวณ OTTV ภาคทฤษฎี ตอนที่ 2: U-Value และ TDeq** [Online]. Available : https://zcbthailand.com/.../วิธีการคำนวณ-ottv-ภาคทฤษฎี-ตอนที่-2-u-value-และ -tdeq.html

maipatana.2558.**OTTV ภาคทฤษฎี ตอนที่ 5: จบทฤษฎี** [Online]. Available : maipatana.me/ottv-ภาคทฤษฎี-ตอนที่-5-จบทฤษฎี/

Pramuk P.2553.**Life Safety & Environmental: กฎหมายควบคุมอาคารประหยัดพลังงานเกี่ยว OTTV และ RTTV** . [Online]. Available : safetyenvi.blogspot.com/2010/01/ottv.html

รัฐศักดิ์ พรหมมาศ. 2558. **การลดภาระการทำความเย็นของผนังปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการคำนวณOTTV.** [Online]. Available : http://www.rtir.rmutt.ac.th/bitstream/123456789/319/1/06_Low%20Cooling.pd

_. 2558. **[PDF]4. Building Envelope 4.1 คำนิยาม กรอบของอาคาร.** [Online]. Available : http://fmectt.lecturer.eng.chula.ac.th/2103475/Chapter4.pdf

_. 2558. **[PDF]กรอบอาคาร - กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.** [Online]. Available:www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13.pd

บุญธรรม ภัทราจารุกุล. 2558. **เรียบเรียงจาก : หนังสือวัสดุช่าง หน้าที่269**. [Online]. Available :http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet7/pkpk.htm

_. 2558. **บริการติดตั้งฉนวนใยแก้ว.**[Online]. Available : www.xn—92c6aa3a6au5gpg.

_. 2558. **ปูนฉาบ.**[Online]. Available : http://www.siamcitycement.com/th/product_detail/mortar7#3

_. 2558. **อิฐมวลเบา.** [Online]. Available : http://www.promtconcrete.com/อิฐมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Greenforce. 2552 **ถ้าคิดจะสร้างบ้าน คุณจะใช้อิฐประเภทไหน และเพราะอะไร?.**

[Online]. Available :
https://th.answers.yahoo.com/question/index?qid=2010

หมอโจ. 2558. **มุมมองเจ้าของบ้าน ตอนที่ 49 คำถามสุดฮิต...อิฐมอญ อิฐบล็อก อิฐมวลเบา** .
[Online]. Available : http://www.selecton.com/extra_editoriral_49.asp

_. 2558. ทิศเหนืออยู่ไหน.[Online]. Available : lanpanya.com

Bppi. 2558. **สินค้าฉนวน ฉนวนใยแก้ว.** [Online]. Available : http://www.bkk-panelandpipe.com/product1.php?pt_code=45

ภาษาต่างประเทศ

Wah Sang Wong ,Edwin H.W. Chan. 2558. "**Building Hong Kong : Environmental Considerations.**"
[Online]. Available : https://books.google.co.th/books?isbn=962209502X

_. 2558. **"General Principles of Control of Overall Thermal Transfer Value."**
[Online]. Available : http://www.bd.gov.hk/english/documents/code/OTTV-02.pdf

The University of Hong Kong Faculty of architecture. 2556. "Energy and Use of Energy Calculation and Application of OTTV and U-value [Teacher notes]." *Science Teaching Kit for Senior Secondary Curriculum*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การออกแบบอาคารสำนักงานสำหรับประเทศไทย และวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโมเดล 3 มิติ อาคารสำนักงานตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การออกแบบอาคารสำนักงานสำหรับประเทศไทย

การออกแบบบ้านหรืออาคารต่างๆ จำเป็นต้องคำนึงสถานที่ในการสร้าง ลักษณะภูมิประเทศ โดยทั้งนี้สถาปนิกผู้เชี่ยวชาญจะออกแบบบ้านให้สามารถรับลมเพื่อระบายอากาศความร้อนภายในตัวบ้านได้ดี เพิ่มอากาศให้หมุนเวียนถ่ายเทได้มากขึ้นได้ อีกทั้งออกแบบให้หลบแดดในช่วงบ่ายที่ร้อนแรง ไม่ให้ส่องเข้าบริเวณห้องนั่งเล่นหรือบริเวณที่เราใช้สอยบ่อยๆได้เช่นกัน สิ่งเหล่านี้ทำได้โดยการออกแบบ โดยทราบทิศทางตำแหน่งของที่ดินที่จะปลูกบ้านสร้างอาคาร ลักษณะบริเวณของพื้นที่ดิน

แปลนบ้านที่ดีต่อการรับลมนั้น ควรเป็นแปลนบ้านที่มีรูปคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อสามารถระบายลมได้มากที่สุด บ้านหรืออาคารที่มีขนาดใหญ่ไม่ควรออกแบบแปลนเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ควรจะมีพื้นที่เพิ่ม-ลด เพื่อเพิ่มพื้นที่ให้สามารถระบายอากาศรับลมให้มากที่สุด อีกทั้งยังทำให้อาคารหรือบ้านดูสวยขึ้น

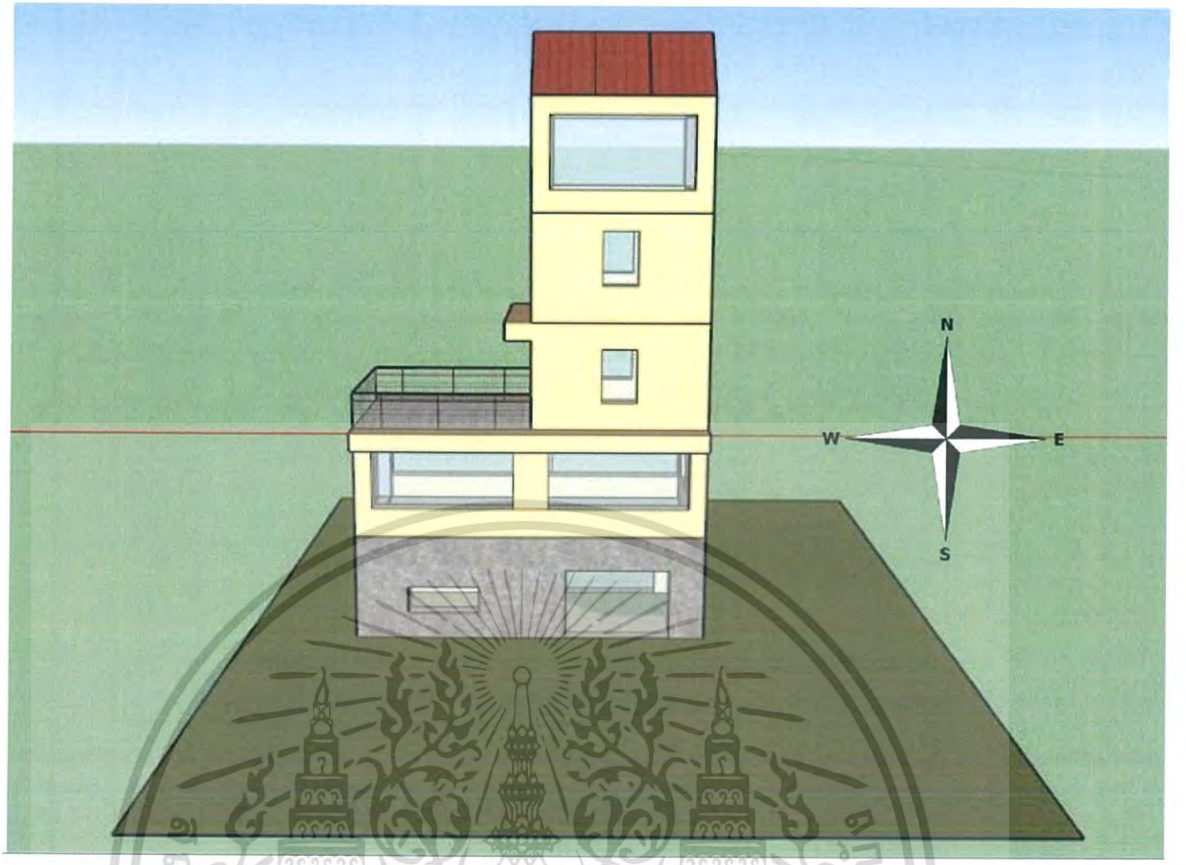
บ้านหรืออาคารในกรุงเทพมหานคร ควรออกแบบเป็นแนวยาวคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า หันด้านยาวไปแนวทิศเหนือ-ใต้ พร้อมออกแบบให้มีประตูหน้าต่างมากพอเพื่อรับลมที่จะมาจากทางทิศเหนือและใต้ ลมจะมาทางทิศใต้ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนกันยายนหรือตุลาคม จากนั้นลมจะมาทางทิศเหนือช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม

กรณีปลูกบ้าน บริเวณภาคเหนือตอนบนหรือภาคอีสานตอนบน ย่อมได้รับลมทางทิศเหนือมากกว่าปลูกบ้านบริเวณกรุงเทพมหานคร ในทางกลับกันปลูกบ้านบริเวณภาคใต้ ย่อมได้รับลมทางด้านทิศใต้มากกว่าปลูกบ้านบริเวณกรุงเทพมหานคร นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อทิศลมอีก เช่นบริเวณที่ดินที่มีบ้านเรือนหนาแน่นปลูกบ้านแบบหลังคาชิดกัน มีตึกสูงใกล้ๆ หรืออยู่ในหุบเขา ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อทิศลมได้เช่นกัน ซึ่งสถาปนิก จะช่วยออกแบบบ้านให้ลงตัวมากที่สุด

ห้องนอนหลักของบ้านหรือห้องนอนใหญ่ ควรอยู่ทางทิศตะวันออก ยามเช้าจะได้รับแสงแดดอ่อนๆยามบ่ายแสงแดดจัดจะไม่ส่องเข้าห้อง ห้องจึงมีความร้อนสะสมไม่มาก ยามค่ำคืนจะได้นอนสบายอากาศไม่ร้อนจนเกินไป

ห้องที่อยู่ด้านทิศตะวันตกซึ่งรับแสงแดดแรงๆ ในยามบ่ายนั้น ถ้าจำเป็นต้องเป็นห้องนอน ห้องนั่งเล่น หรือห้องที่ใช้ประจำ ควรทำชายคาที่ยื่นยาว ระแนง บังแดด เพื่อลดแสงแดดที่ส่องกระทบโดยตรงในยามบ่าย และผลต่อความร้อนที่จะสะสมไปถึงหัวค่ำด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 แสดงการวางตำแหน่งบ้าน และทิศทาง

วัสดุที่ใช้ในการออกแบบโมเดลอาคารสำนักงานตัวอย่าง

อิฐมวลเบา

เป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ปูนขาว ยิบซั่ม น้ำ และสารกระจายฟองอากาศส่วนผสมพิเศษในอัตราส่วนที่เป็นสูตรเฉพาะตัว การผลิตส่วนใหญ่เป็นการนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่นำเข้าจากต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ที่มุ่งเน้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการนำไปใช้งานทุกด้าน ด้วยคุณสมบัติพิเศษ คือ ตัววัสดุมีน้ำหนักเบา ขนาดก้อนได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน ทนไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ใช้งานได้เกือบ 100% ไม่มีเศษอิฐหัก และที่สำคัญคือรวดเร็ว สะอาด ลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ลดต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนโครงสร้างอิฐมวลเบาก็มีจุดดี ที่มีขนาดใหญ่ใหญ่ น้ำหนักเบา ขนาดเท่ากันทุกก้อน มีหลายขนาดให้เลือกใช้ ก่อง่าย ฉาบง่าย กันความร้อนได้ดีกว่า (ในระดับหนึ่ง) แต่ก็จะมีจุดด้อย ในเรื่องของราคา การกันความชื้น และการรับน้ำหนักแขวน ในบ้านเรา ผู้ผลิตอิฐมวลเบามีเป็นร้อยราย มองเผินๆ อาจจะดูเหมือนกัน แต่จริงๆแล้ว วัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่ต่างกันทำให้แต่ละยี่ห้อมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย มีทั้งที่ได้มาตร.บานและมาตร.ฐานปนๆกันไป โดยมี 2 เจ้าใหญ่คือ Qcon กับ Superblock

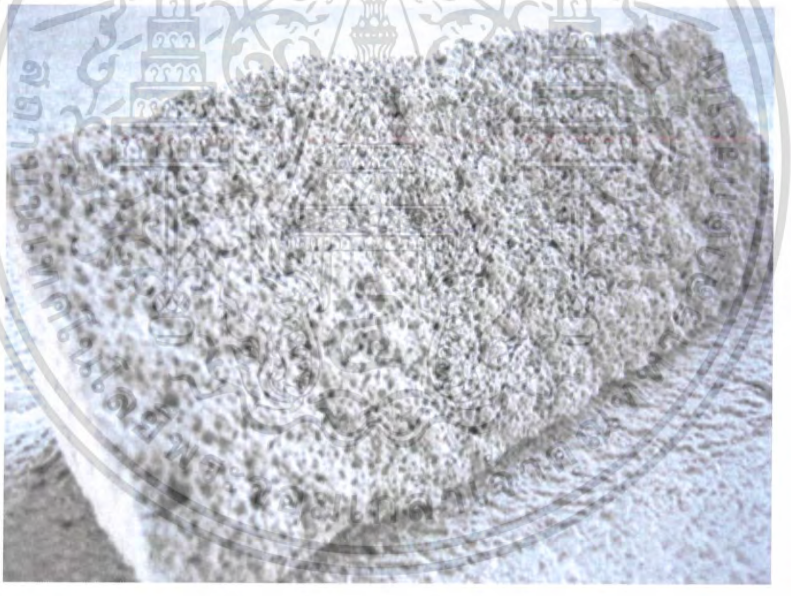
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้อิฐมวลเบามีประโยชน์อย่างมาก เพราะจะเป็นระบบก่อสร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาทั้งหลังได้ โดยที่มีทั้งชนิดเสริมเหล็กที่เรียกว่า Q-con (เป็นพวกแผ่นผนัง พื้น หลังคา) และแบบไม่เสริมเหล็กที่เรียกว่า Q-con หรือ Super Block (เป็นบล็อกสำหรับก่อผนัง หนา 7.5 ซม.8 ซม. 9 ซม. และ 20-30 ซม. สูง 20ซม. และ 30 ซม. ยาว 60 ซม.) กันเลย ยังสามารถเลื่อยตัดได้เหมือนไม้ ทนแรงกด 30-80 กก.ได้ สามารถก่อเป็นผนังรับแรงได้หนัก จะหนักประมาณ 80 กก. ต่อตรม.(1 ก้อนก็จะเท่ากับอิฐมอญจำนวน 18 ก้อน) โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นส่วนผสมของ ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ยิปซั่ม และผงอลูมิเนียมที่มีฟองอากาศมากประมาณ 75% จึงทำให้มีน้ำหนักเบาจนสามารถลอยน้ำได้ ซึ่งฟองอากาศนี้จะเป็น Closed Cell ที่ไม่ดูดซึมน้ำ (ดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐมอญถึง 4 เท่า) ความเบานี้เองที่จะช่วยทำให้ประหยัดโครงสร้าง และเป็นฉนวนความร้อนในตัวตัว ค่าการต้านทานความร้อนก็จะดีกว่าคอนกรีตบล็อกถึง 4 เท่า และจะดีกว่าอิฐมอญถึง 6-8 เท่ากันเลย นอกจากนี้จะไม่สะสมความร้อน ไม่ติดไฟ (ทนไฟ 1,100 องศาได้นาน 4 ชม.) กันเสียงได้ดี และเมื่อฉาบก็จะแตกร้าวน้อยกว่าการก่ออิฐฉาบปูนทั่วไป (เนื่องจากตัวบล็อกกับปูนที่ฉาบจะมีส่วนผสมที่ใกล้เคียงกัน) ที่สำคัญจะอยู่ที่การใช้งบประมาณกันมากกว่า กล่าวคือ อิฐมวลเบานี้มีหลายสิ่งที่แตกต่างจากอิฐชนิดอื่นๆ ก็คือ ตัวผลิตภัณฑ์จะมีราคาแพงกว่าอิฐมอญ และอิฐแบบคอนกรีตบล็อคก็จริง แต่จะสามารถประหยัดในด้านค่าแรง เพราะใน 1 ตรม.จะใช้เวลาก่อ และฉาบเพียง 45 นาทีแต่ในขณะที่ก่ออิฐ หรือคอนกรีตบล็อแล้วฉาบปูนจะต้องใช้เวลานานถึง 2-3 ชม. และยังจะประหยัดค่าเสาเอ็น (ภายในบ้าน) อีกด้วย เนื่องจากไม่ต้องใช้เลย และค่าโครงสร้างก็จะถูกกว่าเพราะความเบานี่เอง ดังนั้นถ้ารวมค่าก่อสร้างกันแล้วจะถูกกว่าอิฐมอญมาก แต่ก็ยังแพงกว่าคอนกรีตบล็อก อย่างไรก็ตามในอนาคตจะช่วยทำให้เราประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานไฟฟ้าได้ เนื่องจากบ้าน หรือสิ่งปลูกสร้างที่ใช้ผนังด้านนอกด้วยอิฐมวลเบาแล้ว ภายในตัวบ้าน หรือสิ่งก่อสร้างจะเย็นสบายกว่า ช่วยลดการเปิดใช้พัดลม หรือแอร์คอนดิชั่นไปได้มาก ซึ่งจะส่งผลให้เราประหยัดค่าใช้จ่ายในอนาคตได้เป็นอย่างดี (ส่วนประเทศเมืองหนาวอิฐมวลเบานี้ยังช่วยลดความหนาวเย็นได้ดีไปกว่าอิฐมอญหรือคอนกรีตบล็อคทั่วไปอีกด้วย) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งกันเลย

รูปที่ ก.2 แสดงลักษณะของอิฐมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.3 แสดงรูปอิฐมวลเบาที่มีขนาดเท่ากันทุกก้อน



รูปที่ ก.4 แสดงลักษณะด้านในอิฐมวลเบาที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นยิปซั่ม

แผ่นยิปซั่มนั้นจะเหมาะกับงานภายในอาคารมากกว่า ด้วยเหตุผลที่แผ่นยิปซั่มนั้นผลิตจากผงแร่ยิปซั่มอัดแน่นซึ่งมีความเปราะ จึงใช้กระดาษแข็งเป็นตัวประกบแผ่นทั้งสองด้านเพื่อเพิ่มความแข็งแรง หากนำไปใช้งานที่ตากแดดตากฝน เนื้อกระดาษทั้งสองด้านคงไม่สามารถทนได้นานนัก และจะส่งผลให้ผงยิปซั่มที่เป็นไส้กลางร่วนแตกได้ แผ่นยิปซั่มมีจุดเด่นที่แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สู้ไม่ได้นอกเหนือจากราคาและน้ำหนักที่เบากว่า นั่นก็คือความเรียบเนียนของผิวแผ่น แม้กระทั่งบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นก็สามารถฉาบเก็บรอยต่อได้เนียนจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ จึงเหมาะกับงานผนังและฝ้าเพดานตกแต่งภายในบ้านที่ต้องการความเรียบร้อย อีกทั้งในเรื่องของการตัดแผ่น การซ่อมแซม และการติดตั้งก็ทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่ามากด้วย นอกจากนี้ปัจจุบันผู้ผลิตแผ่นยิปซั่มก็มีการพัฒนาขึ้นมาก โดยเพิ่มคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น การสะท้อนความร้อนสำหรับงานฝ้าเพดานใต้หลังคา การทนความชื้นสำหรับงานฝ้าเพดานในห้องน้ำ การทนไฟสำหรับผนังของอาคารบางประเภท การดูดซับเสียงสำหรับงานผนังและฝ้าเพดานของห้องที่ต้องการเก็บเสียง

รูปที่ ก.5 แสดงชนิดของแผ่นยิปซั่ม

ประเภทของงานยิปซั่ม

-งานฝ้าเพดานฉาบเรียบ ใช้แผ่นยิปซั่มหนา 9 มม. หรือ 12 มม. ร่วมกับโครงคร่าวโลหะฝ้าเพดานฉาบเรียบเหมาะกับงานฝ้าเพดานที่เน้นการตกแต่ง สวยงาม ทันสมัย สามารถทำเป็นฝ้าแบบหลุม ฝังดวงไฟ หักมุมเป็นขั้นบันได หรือทรงโค้งได้

-งานผนังภายใน ใช้แผ่นยิปซั่มหนา 12 มม. หรือ 15 มม. ร่วมกับโครงคร่าวโลหะฝาผนัง ตราช้าง หรือใช้แผ่นยิปซั่มแทนการฉาบด้วยซีเมนต์บนผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยใช้ปูนกาว EasyBond หรือโครงคร่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กชุบสังกะสี เหมาะกับผนังภายในที่ต้องการความแข็งแรง น้ำหนักเบา ช่วยในการประหยัดโครงสร้างและฐานราก และลดเวลาในการติดตั้ง

แผ่นยิปซั่มผลิตมาจากการนำแร่ยิปซั่มที่มีคุณสมบัติสำคัญ คือ ไม่ติดไฟ มาอัดประกอบเป็นแกนกลางของแผ่น แล้วยึดด้วยกระดาษเหนียวชนิดพิเศษทั้งสองหน้า ทำให้มีคุณสมบัติเด่นคือ ผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอมากกว่าวัสดุอื่นๆ นอกจากนี้ยังให้คุณสมบัติดีอีกหลายประการ เช่น

1. จากคุณสมบัติผิวหน้าที่เรียบมาก ทำให้ได้ผนังที่มีความสวยงาม ลดปัญหาการแตกร้าวที่ผิว ซึ่งพบเห็นได้บ่อยกับผิวปูนฉาบ
2. แร่ยิปซั่มมีคุณสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี จึงทำให้ภายในห้อง เย็นสบาย
3. แร่ยิปซั่มมีคุณสมบัติที่คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จึงทำให้แผ่นยิปซั่มแข็งแรงทนทาน ไม่ยืดหดหรือบิดงอ
4. แร่ยิปซั่มเป็นวัสดุทนไฟ จึงใช้เป็นผนังป้องกันไฟได้นานถึง 1/2 - 3 ชั่วโมง
5. แผ่นแร่ยิปซั่มมีคุณสมบัติในการกรองเสียงได้ จึงใช้เป็นผนังป้องกันเสียงรบกวนได้
6.การติดตั้งแผ่นยิปซั่มทำได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ทำให้ประหยัดโครงสร้างไปด้วย เช่นไม่ต้องมีคานรองรับ ประหยัดค่าแรงงานเพราะติดตั้งได้รวดเร็ว ผิวเรียบทำให้การทาสีเสร็จเร็ว และประหยัดเนื้อสี
7. กรณีแผ่นแตก ทะลุเป็นรู สามารถซ่อมปะเฉพาะจุดได้ง่าย ไม่ต้องเปลี่ยนทั้งแผ่น

รูปที่ ก.6 แสดงลักษณะของแผ่นยิปซั่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉนวนใยแก้ว (Glass Wool)

ฉนวนใยแก้ว มีทั้งแบบม้วนและแบบแผ่น (Blanket and Board) และทั้งแบบไม่มีวัสดุปิดผิวและปิดผิวด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ประเภทต่าง ๆ อีกทั้งทำการปิดผิวด้วยเครื่องจักรจากโรงงานทั้งแบบ 1ด้าน, 2 ด้าน หรือหุ้มรอบด้าน สามารถกันได้ทั้งความร้อนและดูดซับเสียง โดยผลิตขึ้นตามมาตรฐานสากล ASTM และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 486, 487) เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ใช้ในอาคาร

คุณลักษณะและประโยชน์ในการใช้งาน

- กันความร้อน (Thermal insulation) ฉนวนใยแก้ว มีค่าการนำความร้อนต่ำ (K-Value)เพียง 0.032 W/m.K มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนสูง จึงช่วยลดปริมาณมวลความร้อนเข้าภายในอาคารได้เป็นอย่างดี
- ดูดซับเสียง (Acoustic insulation) ฉนวนใยแก้วสามารถลดเสียงรบกวนจากภายนอก เช่น เสียงฝนที่ตกกระทบหลังคาเหล็กรีดลอน หลังคากระเบื้อง
- ไม่ลุกติดไฟ (Non-Flammable) ฉนวนใยแก้ว ผลิตจากแก้วซึ่งเป็นวัสดุไม่ลามไฟ ที่ผ่านตามมาตรฐาน ASTM E84 และ BS476 จึงไม่เป็นฉนวนก่อให้เกิดอัคคีภัย
- ติดตั้งง่าย (Easy to Install) ฉนวนใยแก้วมีน้ำหนักเบาทนต่อแรงดึง ทำให้ไม่ฉีกขาดง่ายจึงติดตั้งได้สะดวก
- ทนต่อแรงกด (Compressive Strength) ฉนวนใยแก้วมีความยืดหยุ่น จึงสามารถคืนตัวได้ดีหลังการกดทับจึงไม่สูญเสียคุณสมบัติความเป็นฉนวน
- ป้องกันการควบแน่นเป็นหยดน้ำ (Condensation Control) ฉนวนใยแก้ว มีวัสดุปิดผิวกันความชื้น เมื่อเลือกความหนาที่เหมาะสม จะไม่เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ จากความแตกต่างของอุณหภูมิของอาคารที่ปรับอากาศ
- อายุการใช้งานยาวนาน (Long Life Performance) ฉนวนใยแก้วผลิตจากวัสดุที่ไม่เสื่อมสภาพ สามารถคงสภาพการเป็นฉนวนได้ยาวนาน
- ปลอดภัยต่อสุขภาพ ฉนวนใยแก้ว ได้การรับรองจากองค์การอนามัยโลก (WHO) ว่าไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์

วัสดุปิดผิว

ฉนวนใยแก้ว มีการปิดผิวด้วยวัสดุปิดผิวชนิดต่าง ๆ ที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ASTMโดยทำการปิดผิวด้วยเครื่องจักรจากโรงงาน จึงติดแน่นกับเนื้อฉนวน ไม่เลื่อนหลุดง่าย ไม่ยับ ทนทานต่อแรงดึงได้ดี ไม่ฉีกขาดง่ายในขณะทำการติดตั้ง สามารถป้องกันไอความชื้นและหยดน้ำ โดยเฉพาะสถานที่ที่ใช้เครื่องปรับอากาศ จึงช่วยให้การติดตั้งสะดวกสวยงามและเพิ่มความสว่างในตัวอาคารได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

ฉนวนใยแก้ว มีผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภทให้เลือกตามความเหมาะสม สำหรับงานโครงสร้างหลังคา ทั้งหลังคาเหล็กรีด หลังคากระเบื้องซิเมนต์ใยหิน ฝ้าเพดาน และผนัง จึงเหมาะแก่การใช้งานทั้งในหมวดโรงงาน อาคารพาณิชย์และงานที่พักอาศัยทุกประเภท

ฉนวนเขียว Green-3 เป็นมิตรต่อสุขภาพ ปลอดความร้อน

ด้วยนวัตกรรมของ บริษัทสยามไฟเบอร์กลาส จำกัด ได้ผลิตเนื้อฉนวนรุ่นใหม่ฉนวนเขียว Green-3 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสุขภาพและได้รับฉลากเขียวในการรักษาสิ่งแวดล้อม พร้อมประสิทธิภาพ ในการปกป้องความร้อนได้ดียิ่งขึ้นด้วยสาร HydroProtec TM ที่มีคุณสมบัติพิเศษช่วยลดการอุ้มน้ำ ไม่ดูดซับน้ำและความชื้น เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานให้นานยิ่งขึ้น

Green Label : Environmental Friendly

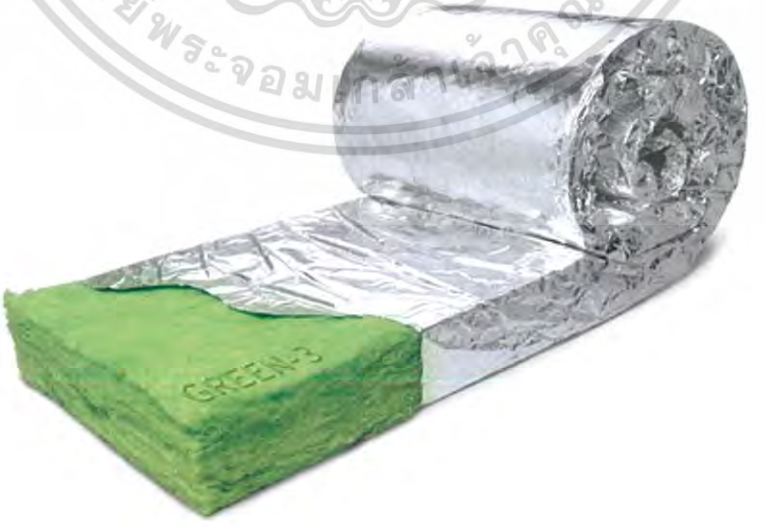
ฉนวนตราช้าง ผลิตจากวัสดุรีไซเคิลจึงได้รับฉลาดเขียวในการรักษาสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงได้รับฉลาก SCG ECO Value

Green Insulation : Health Safety

ฉนวนตราช้างปลอดภัยต่อสุขภาพ โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพและความปลอดภัยของวัสดุประเภทเส้นใยจากสถาบันวิจัยมะเร็งนานาชาติ (WHO) จัดให้ใยแก้วไม่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ดังนั้นฉนวนใยแก้ว จึงได้รับความนิยมใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในยุโรป, อเมริกา, และอีกหลายประเทศทั่วโลก

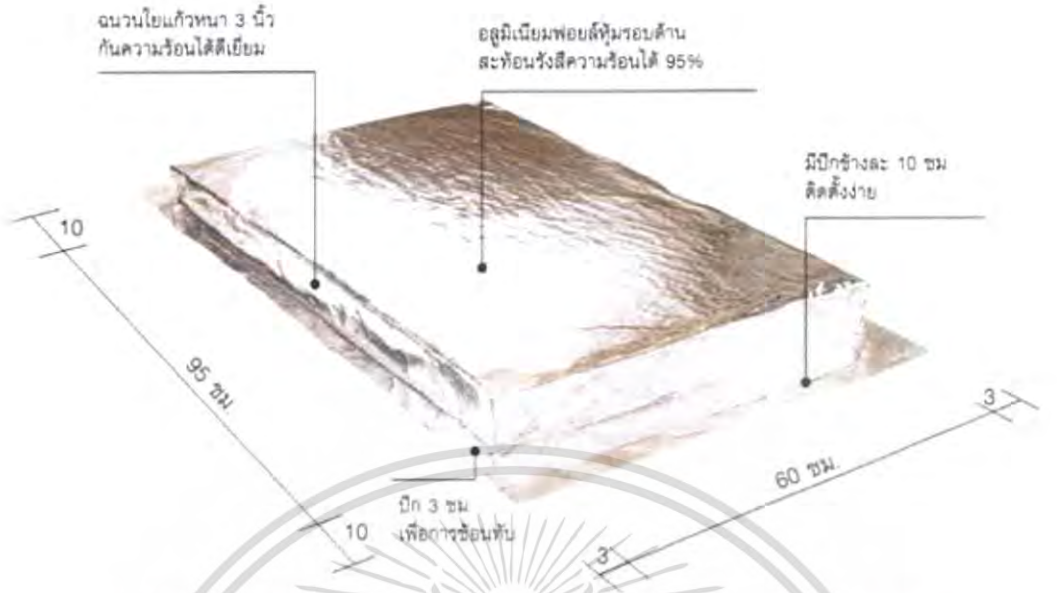
Green Guard : Water and Moisture Protection

เนื้อฉนวนเขียวที่มีสาร HydroProtec TM ที่ช่วยลดการอุ้มน้ำได้ถึง 10 เท่า ไม่ดูดซับน้ำ อีกทั้งสามารถกันความชื้น ทำให้เนื้อฉนวนเขียวตราช้างสามารถคงประสิทธิภาพได้อย่างยาวนาน



รูปที่ ก.7 แสดงลักษณะของของฉนวนใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 แสดงขนาดและส่วนประกอบต่างๆของฉนวนใยแก้วแบบมีอลูมิเนียมหุ้ม

ไม้ก๊อก

ไม้ก๊อก (cork) เป็นผลิตผลที่ได้จากเปลือกที่หนาและนุ่มของ ต้นก่อ (oak) ชนิดหนึ่ง คือ ต้นก่อไม้ก๊อก (cork oak) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Quercus suber จัดอยู่ในวงศ์ไม้ก่อ (Fagaceae) ไม้ในสกุลก่อนี้พบในประเทศไทยอย่างน้อยที่สุด 30 ชนิด เช่น ก่อขี้กวาง ก่อตาควาย ก่อตลับ ก่อแพะ ฯลฯ ต้นก่อไม้ก๊อกมีถิ่นกำเนิดอยู่ทางทิศใต้ของทวีปยุโรปกับ ทิศเหนือของทวีปแอฟริกา ตั้งแต่บริเวณทิศตะวันตกของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน เขตประเทศ โมร็อกโก สเปน และโปรตุเกส ไปทางทิศตะวันออกจนถึงหลายประเทศในคาบสมุทรบอลข่าน พบมีการปลูกเป็นสวนป่าหรือแปลงปลูกกึ่งธรรมชาติที่ฟันสางเอาไม้พุ่มล่างๆ ออกไปจนหมด แหล่งผลิตไม้ก๊อกที่สำคัญในทวีปยุโรปได้แก่ สเปน โปรตุเกส และบนเกาะคอร์ซิกาในอิตาลี ในระยะหลังมีการนำไปปลูกในรัฐแคลิฟอร์เนียและรัฐอื่นๆ ทางภาคใต้ของสหรัฐอเมริกา

ต้นก่อไม้ก๊อกเป็นไม้ไม่ผลัดใบ โดยธรรมชาติเป็นพืชที่ชอบแดดจัดและไม่ค่อยทนอากาศหนาวจัดเป็นเวลานานๆ ลำต้นสูงปานกลางประมาณ 20 เมตร กิ่งใหญ่แผ่ออกกว้าง พุ่มใบเป็นรูปทรงกลม เปลือกพองและหนามาก สีเทาอ่อน ด้านในของเปลือกสีน้ำตาลอมชมพู เมื่อลอกเอาเปลือกออกแล้วผิวนอกของลำต้นในระยะแรกจะเป็นสีชมพู ต่อมาอีก 2-3 อาทิตย์ สีจะคล้ำขึ้นเรื่อยๆ กลายเป็นสีน้ำตาลแดง และสุดท้ายก็เป็นสีดำ ชั้นเปลือกที่งอกขึ้นมาใหม่มีสีเทาอ่อนเหมือนสีเปลือกที่ถูกลอกออกไป แต่มีผิวเรียบกว่า ใบมีขนาดเล็กรูปไข่หรือค่อนข้างยาว ด้านบนสีเขียวเข้มเป็นมัน ใต้ใบมีขนคลุมดูสีออกเทาๆ ขอบใบจักเป็นซี่ๆ เส้นกลางใบโค้งเล็กน้อยเป็นรูปตัวเอส (S) ผลเป็นลูกก่อที่มีหมวกคลุมอยู่ด้านบน ขนาดยาว 2-3 เซนติเมตร ออกผลเดี่ยวๆ หรือเป็นคู่ ผิวของผลมีเกล็ดเล็กๆ ตั้งขึ้นจากพื้นผิว ไปแนบติดกับผิวของหมวกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถที่น่าทึ่งอย่างยิ่งของต้นก่อไม้ก๊อกคือความสามารถในการสร้างเปลือกขึ้นมาใหม่ได้อย่างรวดเร็ว และทนทานต่อสภาพการถูกลอกเอาเปลือกออกเป็นระยะๆ เชื่อว่าความสามารถนี้พัฒนามาจากการฟื้นตัวหลังจากถูกไฟป่าเผาทำลายเปลือกเป็นประจำ เมื่อต้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ 70 เซนติเมตรขึ้นไป จะถูกลอกเอาเปลือกเป็นครั้งแรก ซึ่งการลอกเปลือกจะทำได้ทุกๆ 10-15 ปี ภายใต้การปฏิบัติเช่นนี้ ต้นไม้จะมีอายุอยู่ได้นานนับศตวรรษทีเดียว

เนื่องจากไม้ก๊อกมีสมบัติโดดเด่นด้านความมีน้ำหนักเบา อากาศและน้ำซึมผ่านไม่ได้ และการลอยตัวในน้ำ จึงเป็นประโยชน์ที่สำคัญอย่างยิ่งในการใช้ทำเป็นจุกขวดเหล้าไวน์ ส่วนใหญ่ทำจากไม้ก๊อกแผ่นหนา เนื้อละเอียด ส่วนไม้ก๊อกคุณภาพไม่ดีจะนำเอามาย่อยเป็นชิ้นๆ ชาวโรมันและชาวกรีกค้นพบว่าไม้ก๊อกนำไปทำเป็นทุ่นสำหรับตาข่ายจับปลาได้ดีมาก และนำไปทำเป็นพื้นรองเท้าที่ใส่สบาย. ดูเหมือนว่า พวกเขายังใช้จุกไม้ก๊อกทำฝาสำหรับภาชนะใส่น้ำด้วย. เนื่องจากยืดหยุ่นได้แม้มีอุณหภูมิสูง ไม้ก๊อกจึงเหมาะมากที่จะทำเป็นปะเก็นเครื่องยนต์. นอกจากนั้น ไม้ก๊อกยังเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับแผงกันความร้อนที่ใช้ในยานอวกาศบางลำ.

เนื่องจากหลายคนคิดว่าไม้ก๊อกดูสวยและใช้เป็นฉนวนได้ พวกเขาจึงนิยมใช้แผ่นไม้ก๊อกแต่งผนังและพื้นบ้าน. ผู้ผลิตสินค้ากีฬายังพบว่าไม้ก๊อกเหมาะที่สุดที่จะนำมาใช้ทำเป็นแกนของลูกเบสบอลหรือคันเบ็ดตกปลา. แน่นอน ไม้ก๊อกอาจเป็นที่รู้จักมากที่สุดเนื่องจากถูกนำมาใช้เป็นจุกขวดไวน์และแชมเปญ.

ถึงแม้ว่าปัจจุบันมีสารสังเคราะห์พวกพลาสติกหลายอย่างที่ยืดหดได้ดีเข้ามาแทนที่บ้างแล้ว แต่ไม้ก๊อกจะยังคงเป็นวัตถุที่ใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบสำหรับมนุษยชาติต่อไปอีกนาน

รูปที่ ก.9 แสดงลักษณะไม้ก๊อก

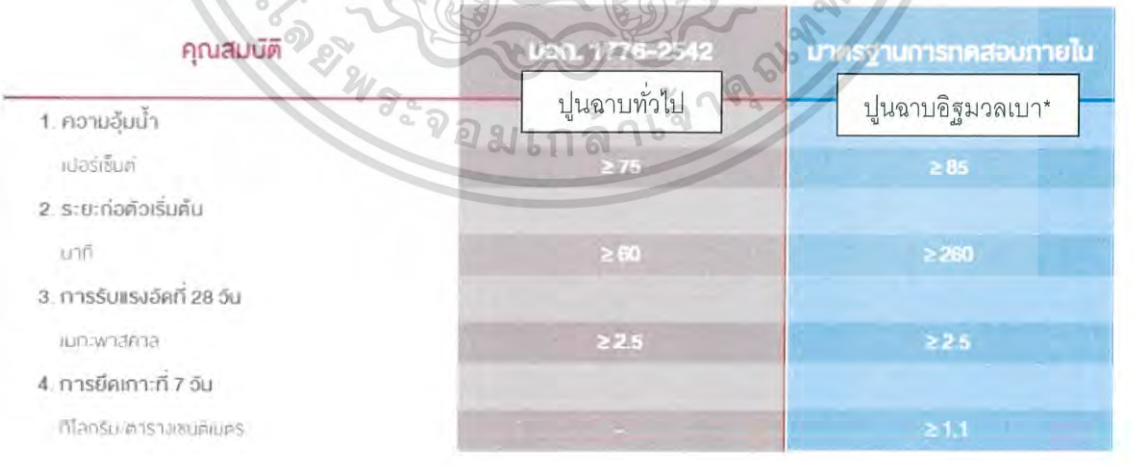
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปูนฉาบ

ปูนก่อปูนฉาบ คือส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ โดยมีปูนขาวใส่ในส่วนผสมตามต้องการ เพื่อช่วยให้เหลวลื่นง่ายต่อการก่อและ ฉาบ แต่ไม่ควรใช้มาก เพราะจะเกิดการแตกร้าวได้ เนื่องจากปูนขาวยืดหดตัวได้มาก ในกรณีของปูนก่อ เช่น ก่อคอนกรีตบล็อกไม่จำเป็น ต้องผสมปูนขาว

1. ปูนก่อ นิยมใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ 1 ส่วนกับทรายละเอียดหรือปานกลางที่สะอาด 3 ส่วนด้วยการตวงผสมให้ เข้ากันแล้ว ใส่น้ำให้ มีความข้นเหลวพอเหมาะที่จะทำงานได้
2. ปูนฉาบ ใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์:ปูนขาว:ทราย ในอัตราส่วน 1:1:3 กับน้ำที่พอเหมาะในการฉาบครั้งแรก และ 1:2:6, 1:1:6 กับน้ำที่พอเหมาะในการฉาบครั้งที่ 2 หรือครั้งที่ 3 ตามลำดับ โดยทั่วไปนิยมตวงปูนขาวและทรายที่ร่อนแล้วในอัตราส่วน 1:3 นำไปคลุกกันให้เข้ากันดี แล้วหมักไว้น้อยกว่า 24 ชั่วโมง การฉาบปูนควรฉาบอย่างน้อย 2 ชั้น ชั้นแรกควรฉาบทิ้งไว้ 1 วันแล้วจึง เริ่มฉาบชั้นที่ 2 โดยมีความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร และรวม 2 ชั้นประมาณ 2.5 เซนติเมตรก่อนที่จะเริ่มลงมือฉาบ ต้องมีการเตรียมพื้นที่ผิวที่จะฉาบโดยทำความสะอาดและทำให้ชุ่มน้ำพอสมควร เพื่อไม่ให้ดูดน้ำจากส่วนผสมเร็วเกินไปพื้นที่ผิวควร เป็นระนาบเดียวกัน ถ้าเป็นผิวคอนกรีตที่เรียบมากควรทำให้หยาบเสียก่อน เพื่อให้ปูนฉาบยึดติดได้ดีและก่อนฉาบครั้งที่ 2หรือชั้น สุดท้าย ในกรณีนี้ก็ควรทำผิวให้ชุ่มน้ำก่อนเช่นเดียวกัน และอาจต้องใช้น้ำพรมตลอดเวลาในการแต่งปูนเมื่อแต่งเสร็จแล้วก็ควร พรมน้ำต่อไป เพื่อเป็นการบ่มไม่ให้ปูนฉาบแห้งเร็ว ซึ่งจะทำให้ปูนฉาบแข็งแรงทนทานและไม่แตกร้าว

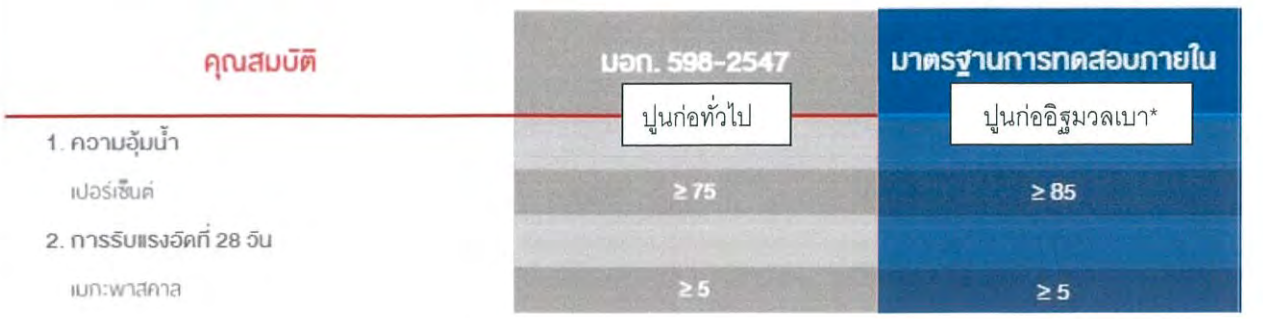
ทั้งนี้ปูนฉาบก็ยังมีประเภทการใช้งานต่างๆ ได้แก่ปูนฉาบทั่วไปที่จะใช้กับการฉาบอิฐบล็อก หรืออิฐมอญ ปูนฉาบอิฐมวลเบาใช้เฉพาะทำการฉาบอิฐมวลเบา รวมทั้งปูนฉาบละเอียด จะเพิ่มความเนียนเรียบร้อยให้กับงานอีกทั้งยังมีปูนฉาบคอนกรีต และปูนก่อที่ใช้ก่ออิฐในงานต่างๆ



รูปที่ ก.10 แสดงคุณสมบัติปูนฉาบ

*อิฐมวลเบามาตรฐานการทดสอบภายในโดยผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการปูนซีเมนต์นครหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 แสดงคุณสมบัติของปูนก่อ

*อิฐมวลเบามาตรฐานการทดสอบภายในโดยผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการปูนซีเมนต์นครหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้