



การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แผงบังแดดแนวตั้งเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารโดยใช้โปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV): กรณีศึกษา อาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

โดย  
อัศวิน ไทรสาคร  
ฉันทมน โพรธิพิทักษ์

สนับสนุนงบประมาณโดย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
ประจำปีงบประมาณ 2559

The comparative study of the using vertical shading  
device to save energy by OTTV simulatig program :

Case study of Faculty of Science and Technology  
Building, Rajamangala University of Technology

Rattanakosin

By

Asawin Saisakorn

Chantamon Potipituk

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2016

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการดำเนินการจัดทำโครงการวิจัยทุกท่าน ที่ได้กรุณาตรวจสอบ  
โครงการวิจัยจนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

ขอขอบคุณดร.ณรงค์วิทย์ อาริมิตร จากบริษัท A49 สำหรับการเขียน Plugin ที่ใช้ในการ  
คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC: Shading Coefficient)

ขอขอบคุณ นางสาว ณัฐธรมล พุ่มจันทร์ ในการดำเนินการคำนวณโปรแกรมประมาณค่าการ  
ถ่ายเทความร้อนรวม

สุดท้าย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา ผู้ให้การสนับสนุน  
การทำวิจัย

อัศวิน ไทรสาคร และคณะ

สิงหาคม 2562



## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : New ๐๐๓/๒๕๕๙

ชื่อโครงการ : การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แผงบังแดดแนวตั้งเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร โดยใช้โปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV): กรณีศึกษา อาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ชื่อนักวิจัย : อัสวิน ไทรสาคร และ ดร.ฉันทมน โพรธิพิทักษ์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้แผงบังแดดแนวตั้งกับผนังภายนอกอาคารเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานในอาคารโดยการประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) กรณีศึกษาอาคารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา

การศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) โดยใช้โปรแกรมคำนวณ Microsoft Office Excel ผ่านสมการในการคำนวณหาค่า OTTV และใช้โปรแกรม SketchUp plug-in Calculate SC ในการคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์การบังแดด (SC: Shading Coefficient) โดยการเปรียบเทียบผนังด้านทิศตะวันตกที่ติดตั้งแผงบังแดดและไม่ติดตั้งแผงบังแดด

ผลการวิจัยพบว่าการติดตั้งแผงบังแดดในแนวตั้งในผนังด้านทิศตะวันตกส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร (OTTV) ที่ครอบคลุมทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสง เมื่อเปรียบเทียบกับผนังไม่ติดตั้งแผงบังแดด ผนังที่ติดตั้งแผงบังแดดมีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารลดลง ซึ่งช่วยลดภาระการปรับอากาศในอาคารซึ่งจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เกิดความคุ้มค่าในระยะยาว

**คำสำคัญ :** แผงบังแดดแนวตั้ง ประหยัดพลังงาน การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

E-mail Address : aswin.sai@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม ๒๕๕๘ – สิงหาคม ๒๕๖๒

## Abstract

**Code of project** : New 003/2559

**Project name** : The comparative study of the using vertical shading device to save energy by OTTV simulating program : Case study of Faculty of Science and Technology Building, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

**Researcher name** : Asawin Saisakorn and Chantamon Potipituk, Ph.D.

The purpose of this research is to compare for the using vertical shading device with exterior walls for energy saving in buildings by estimation of Overall Thermal Transfer Value (OTTV) : Case study of Faculty of Science and Technology building, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Salaya.

The study of Overall Thermal Transfer Value (OTTV) using Microsoft Office Excel calculation program by use the equation to calculate OTTV. And using the SketchUp plug-in Calculate SC program to calculate Shading Coefficient (SC) to comparing the west external wall that is fitted with a shading device and not installing the shading device.

The results showed that the installation of vertical shading device in the west wall effect to Overall Thermal Transfer Value (OTTV) that covers both solid walls and translucent walls when compared to the wall, it does not install the shading device. Wall install the shading device reduce Overall Thermal Transfer Value which helps reduce the air conditioning load in the building which effect to energy saving in the building effectively, so causes long-term cost-effectiveness.

**Keywords:** Vertical shading device, Energy saving, OTTV

---

**E-mail Address** : asawin.sai@rmutr.ac.th

**Period of project** : October 2015 – August 2019

## สารบัญ

	หน้า	
กิตติกรรมประกาศ	ก	
บทคัดย่อภาษาไทย	ข	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค	
สารบัญ	ง	
สารบัญตาราง	ฉ	
สารบัญภาพ	ณ	
<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ</b>	<b>1</b>
	1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	2. วัตถุประสงค์การวิจัย	1
	3. ขอบเขตการวิจัย	2
	4. นิยามศัพท์	2
<b>บทที่ 2</b>	<b>ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
	1. ทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	3
	2. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน	4
	3. การออกแบบอุปกรณ์บังแดด	4
	4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)	12
	5. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร	14
	6. โปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)	54
<b>บทที่ 3</b>	<b>ระเบียบวิธีการวิจัย</b>	<b>55</b>
	1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	55
	2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	55
	3. การเก็บรวบรวมข้อมูล	55

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิจัยและผลการวิเคราะห์</b>
	1. ผลการทดสอบการทนความร้อนของผนังนอกอาคารด้านทิศตะวันตก
	2. ผนังที่ติดตั้งแผงบังแดด
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ</b>
	1. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล
	2. ข้อเสนอแนะ
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>94</b>
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>96</b>



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1	เกณฑ์มาตรฐานของของการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร	12
2	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร	18
3	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร	19
4	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า	23
5	ความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง	41
6	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )	42
7	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ผนัง1	59
8	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ผนัง1	60
9	ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง1	61
10	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกของผนัง1	62
11	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ผนัง2	65
12	ความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบผนัง2	66
13	ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนัง2	67
14	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกผนัง 2	68
15	ความต้านทานความร้อนของวัสดุผนัง1-1	72
16	ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบผนังที่ 1-1	73
17	ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนัง1-1	75
18	ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกผนังที่ 1-1	75
19	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุผนัง 2-2	80
20	ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบผนังที่ 2-2	81
21	ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนัง 2-2	83
22	ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกผนัง 2-2	83
23	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ	87
24	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง	87



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง	88
26	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ	88
27	ค่าสัมประสิทธิ์ของกระจก	88
28	ค่า OTTV ของผนังไม่ติดแผงบังแดด	89
29	ค่า OTTV ของผนังที่ติดตั้งแผงบังแดด	90



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	แสดงลักษณะของแสงจากดวงอาทิตย์	3
2	ชายคาในการบังแดดให้กับตัวอาคาร	5
3	กันสาดที่ใช้บังเงาภายนอกอาคาร	5
4	การใช้ผนังครีปในการบังแดดให้ผนังอาคาร	6
5	ระเบียงช่วยบังแดดแสงแดดให้อาคาร	6
6	Shading device ช่วยบังแดดให้กับผนังอาคาร	7
7	การใช้ร่มเงาจากต้นไม้	7
8	แสดงเงาของแผงบังแดดแบบต่าง	8
9	รูปแบบแผงบังแดดต่าง แนวตั้ง แนวนอน และ แบบผสม ตามลำดับ	8
10	ตัวอย่างของ sun path diagram	10
11	ผังการโคจรของดวงอาทิตย์	10
12	ตัวอย่างมุม Altitude มุม Azimuth	11
13	สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด	17
14	สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกันหลายชนิดและมีช่องว่างอากาศ	18
15	ค่าการนำความร้อน (k) ความหนาแน่น ( $\rho$ ) และความจุความร้อนจำเพาะ( $c_p$ ) ของวัสดุชนิดต่างๆ	20
16	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา	27
17	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible transmittance, $T_{vis}$ ) ของกระจกชนิดต่าง ๆ	43
18	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของจุดใด ๆ บนพื้นโลก	46
19	ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่างๆบนระนาบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์	48
20	การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง	50
21	รังสีตรง(Beam, $E_{es}$ ) รังสีกระจาย(Diffuse , $E_{ed}$ ) ของดวงอาทิตย์สำหรับวันอ้างอิง 4 วัน	52

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
22	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทสำนักงานหรือสถานศึกษา	54
23	แสดงผังและทิศทางของอาคาร	56
24	แสดงผนังที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นผนังที่ติดตั้งแผงบังแดดและอยู่ด้านทิศตะวันตก	57
25	แสดงผนังที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นผนังที่ติดตั้งแผงบังแดดและอยู่ด้านทิศตะวันตก	57
26	ลักษณะผนัง 1	58
27	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ ผนัง1	59
28	พื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงของผนัง1	63
29	ลักษณะผนัง 2	64
30	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ	65
31	หน้าต่างโปร่งแสงของผนังที่ 2	69
32	ลักษณะผนังเบอร์ 1-1 และติดตั้งแผงกันแดดภายนอกอาคาร	71
33	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบของผนังที่ 1-1	73
34	หน้าต่างโปร่งแสงผนัง 1-1	76
35	แสดงการคำนวณสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดของผนัง 1-1	77
36	แสดงลักษณะรูปตัดขยายของอุปกรณ์บังแดดของผนัง 1-1	77
37	ลักษณะผนังเบอร์ 2-2 และติดตั้งแผงกันแดดภายนอกอาคาร	79
38	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ	81
39	หน้าต่างโปร่งแสงของผนัง 2-2	84
40	แสดงการคำนวณสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดของผนัง 2-2	85
41	แสดงลักษณะรูปตัดขยายของอุปกรณ์บังแดดของผนัง2-2	85
42	ผลจากการคำนวณผ่านโปรแกรมวิเคราะห์การคำนวณ	92

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีอากาศที่ร้อนจัด แดดจัด อุณหภูมิและความชื้นสูง ทำให้อากาศไม่อยู่ในสภาวะสบายเกือบตลอดทั้งปี ปัญหาสำคัญคือความร้อนจากแสงแดด ซึ่งเป็นผลให้เกิดการใช้ไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นในอาคาร ดังนั้นการใช้พลังงานโดยส่วนใหญ่ จึงเกิดจากการใช้อุปกรณ์เครื่องกลเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศที่เกิดจากความร้อนผ่านเปลือกอาคารเข้ามา

แนวทางหนึ่งในการลดการใช้พลังงานในอาคารคือ การออกแบบอาคารที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น การใช้อุปกรณ์บังแดดก็เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาเรื่องความร้อนจากแสงแดดที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร

แต่เนื่องจากเส้นทางการเดินทางของดวงอาทิตย์มีมุมของแสงแดดที่เปลี่ยนไปตลอดทั้งวัน ในเวลาเช้าละอองหมอกของดวงอาทิตย์จะอยู่ต่ำ อีกทั้งความร้อนสะสมในช่วงบ่ายที่มีปริมาณสูง

ดังนั้น หากมีการเลือกอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมกับทิศทางและมุมของดวงอาทิตย์ โดยนำผลการศึกษาเปรียบเทียบตามหลักการทฤษฎีต่าง ๆ แล้ว จะทำให้อาคารที่ปลูกสร้างโดยใช้แผงบังแดดนี้สามารถประหยัดพลังงานในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ และผู้ออกแบบสามารถออกแบบอาคารโดยใช้อุปกรณ์บังแดดอย่างเหมาะสม เพื่อผลในการแก้ปัญหาการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง อันเนื่องมาจากการออกแบบสถาปัตยกรรม

#### 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงบังแดดแนวตั้งในการลดความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงวิธีการนำแผงบังแดดไปใช้ประกอบอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงความคุ้มค่า ในการนำแผงบังแดดไปใช้ประกอบอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงาน

1.2.4 เพื่อเสนอแนะรูปแบบและวิธีการใช้แผงบังแดดเพื่อลดความร้อนจากแสงแดดทางทิศตะวันตก

### 3. ขอบเขตการวิจัย

เนื้อหาในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางด้านทิศตะวันตกโดยใช้แผงบังแดดแนวตั้ง เพื่อให้เห็นถึงแนวทางการแก้ปัญหาความร้อนที่เข้าสู่อาคารในส่วนของผนังอาคาร โดยการใช้โปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์จากแบบอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา

### 4. นิยามศัพท์

แผงบังแดดแนวตั้ง หมายถึง อุปกรณ์บังแดดที่ติดตั้งในแนวตั้ง (Vertical) เพื่อควบคุมแสงแดดผ่านเข้าสู่อาคาร

ประหยัดพลังงาน หมายถึง การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

OTTV หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Overall Thermal Transfer Value)

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

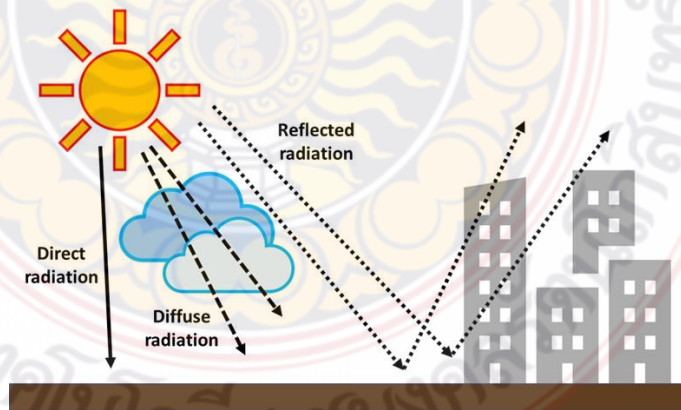
การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาเปรียบเทียบการใช้แผงบังแดดแนวตั้งเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร โดยใช้โปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV): กรณีศึกษา อาคารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศาลายา ประกอบไปด้วยทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์บังแดดและภาพตัวอย่างของแผงบังแดด รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)

#### 1. ทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

รังสีของดวงอาทิตย์เดินทางโดยการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาตกกระทบชั้นบรรยากาศโลก รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนสามารถสะท้อนกลับออกไปนอกชั้นบรรยากาศ ซึ่งส่วนที่เหลือจะผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศโดยบางส่วนถูกกระจายหรือเปลี่ยนทิศทางและบางส่วนถูกดูดกลืน

1.1 รังสีอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศมายังผิวโลกจำแนกได้ดังต่อไปนี้

- 1) รังสีตรง (Direct Radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาโดยตรง
- 2) รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศมาแล้วเกิดการกระจายโดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำและฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ
- 3) รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศ เกิดการกระทบพื้นผิวของอาคารหรือพื้นดินและสะท้อนกลับ



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของแสงจากดวงอาทิตย์

1.2 รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศ ประกอบด้วยรังสีความร้อนและแสงสว่าง โดยเราสามารถแบ่งรังสีความร้อนที่ผลต่ออาคารได้ ดังนี้

1) รังสีคลื่นสั้น (Short Wave) เป็นรังสีที่เราสามารถมองเห็น ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Ray) แสง (Visible Light) และรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray) โดยรังสีคลื่นสั้นมีพลังงานสูง และสามารถทะลุผ่านกระจกได้

2) รังสีคลื่นยาว (Long Wave) เป็นรังสีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ รังสีนี้เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านหลังคา หรือ ผนังของอาคารทำให้หลังคาหรือผนังร้อนขึ้น และถ่ายเทความร้อนออกไปสู่ผิวที่เย็นกว่า

## 2. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

2.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน สามารถเกิดขึ้นได้ 3 วิธี ดังนี้

1) การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุล โดยการนำความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อน พื้นที่หน้าตัด ความหนาแน่นของวัสดุ

2) การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยผ่านตัวกลาง เช่น อากาศหรือน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน และเกิดขึ้นในของเหลวหรือก๊าซที่มีความหนาแน่นที่ต่างกัน

3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีผ่านอากาศ

## 3. การออกแบบอุปกรณ์บังแดด

อุปกรณ์บังแดดประกอบไปด้วย อุปกรณ์บังแดดภายในอาคารและภายนอกอาคาร โดยอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารดีกว่าแบบภายในอาคาร ดังนั้นการออกแบบช่องเปิดของอาคารต้องมีอุปกรณ์บังแดดภายนอกด้วยเสมอ สำหรับการออกแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารที่ดีควรคำนึงถึงปัจจัยหลายปัจจัยประกอบกัน เช่น การวางทิศทางตัวอาคาร ขนาดช่องเปิด และช่องว่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคาร

### 3.1 ประเภทของอุปกรณ์บังแดดภายนอก

#### 1) หลังคาชนิดต่าง ๆ และชายคา (Roofs and Eaves)



ภาพที่ 2 ชายคาในการบังแดดให้กับตัวอาคาร

ที่มา : <https://www.archdaily.com/905396/binary-house-christopher-polly-architect>

#### 2) กันสาด (Awnings)



ภาพที่ 3 กันสาดที่ใช้บังเงาภายนอกอาคาร

ที่มา : <https://www.archdaily.com/893408/lawes-st-extension-nil-hawthorn-habitech-systems>



### 3) ผนังครีป (Wall Fins)



ภาพที่ 4 การใช้ผนังครีปในการบังแดดให้ผนังอาคาร

ที่มา : <https://www.archdaily.com/800834/ihouse-dormitory-studio-sumo>

### 4) เฉลียง/ระเบียง (Balconies / Terraces)



ภาพที่ 5 ระเบียงช่วยบังแดดแสงแดดให้อาคาร

ที่มา : <https://www.archdaily.com/905457/hotel-schgaguler-peter-pichler-architecture>

5) แผงกันแดด (Shading devices)



ภาพที่ 6 Shading device ช่วยบังแดดให้กับผนังอาคาร

ที่มา : <https://www.archdaily.com/900774/kolon-one-and-only-tower-morphosis-architects>

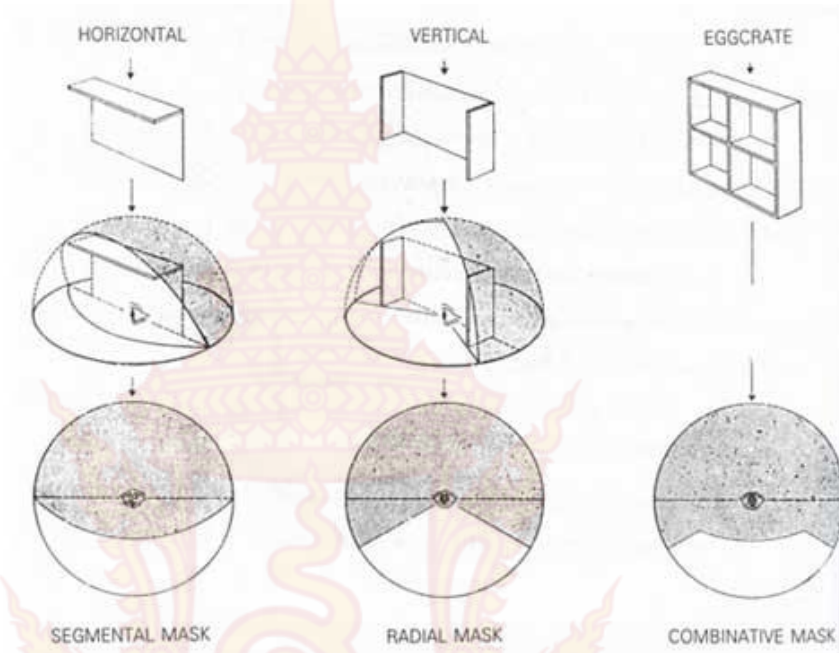
6) ร่มเงาจากต้นไม้ (Shade from trees)



ภาพที่ 7 การใช้ร่มเงาจากต้นไม้

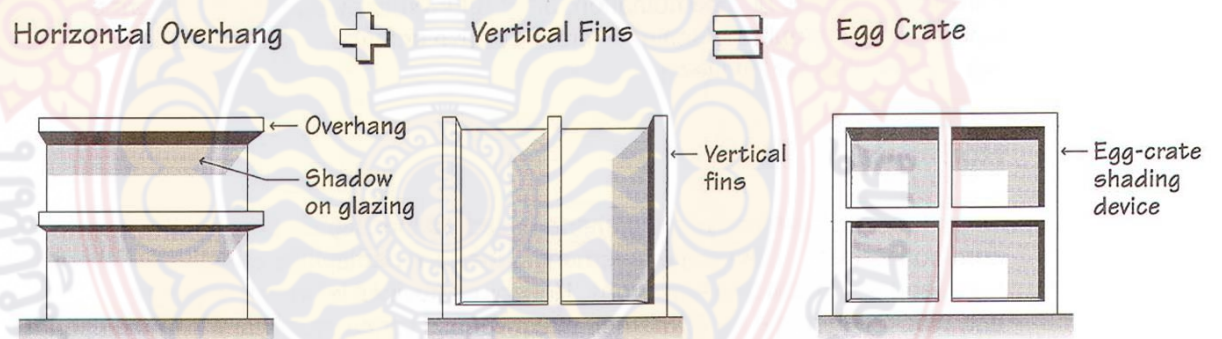
ที่มา : <https://www.archdaily.com/905058/herne-bay-hideaway-lloyd-hartley-architects>

3.2 รูปแบบของแผงบังแดด (Shading devices)



ภาพที่ 8 แสดงเงาของแผงบังแดดแบบต่าง

ที่มา : สมสิทธิ์ นิตยะ (2541)



ภาพที่ 9 รูปแบบแผงบังแดดต่าง แนวตั้ง แนวนอน และ แบบผสม ตามลำดับ

ที่มา : สมสิทธิ์ นิตยะ (2541)

1) แผงบังแดดแนวนอน (Horizontal) เหมาะกับการใช้ในผนังอาคารที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือและทิศใต้

2) แผงบังแดดแบบตั้ง (Vertical) เหมาะกับการใช้ในผนังอาคารที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

3) แผงบังแดดแบบตาราง (Eggcrate) เหมาะกับการใช้ในผนังอาคารที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้

### 3.3 ประโยชน์ของอุปกรณ์บังแดด

1) ลดปริมาณความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในตัวอาคาร โดยบังแสงที่เข้าทางหน้าต่าง ทำให้ความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ลดลง

2) ป้องกันน้ำฝนที่เข้าสู่อาคารทางช่องเปิดหรือช่องหน้าต่างต่าง

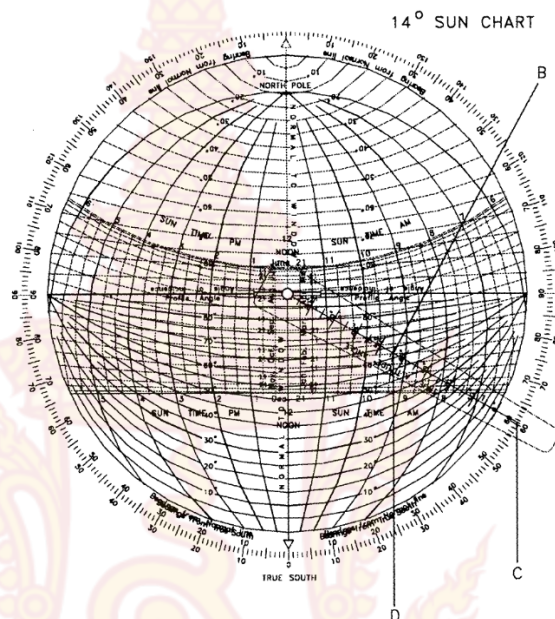
3) เพื่อความสวยงามและความโดดเด่นของตัวอาคาร

4) เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร พลังงานในการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างและพลังงานจากระบบปรับอากาศในอาคาร เนื่องจากแผงบังแดดบังเงาให้หน้าต่างจึงสามารถนำแสงสว่างเข้ามาใช้ในอาคารโดยไม่นำความร้อนเข้ามาในอาคารจึงลดภาระของระบบปรับอากาศในอาคารส่วนทั้งลดการสะสมความร้อนของผนังอาคารด้วย

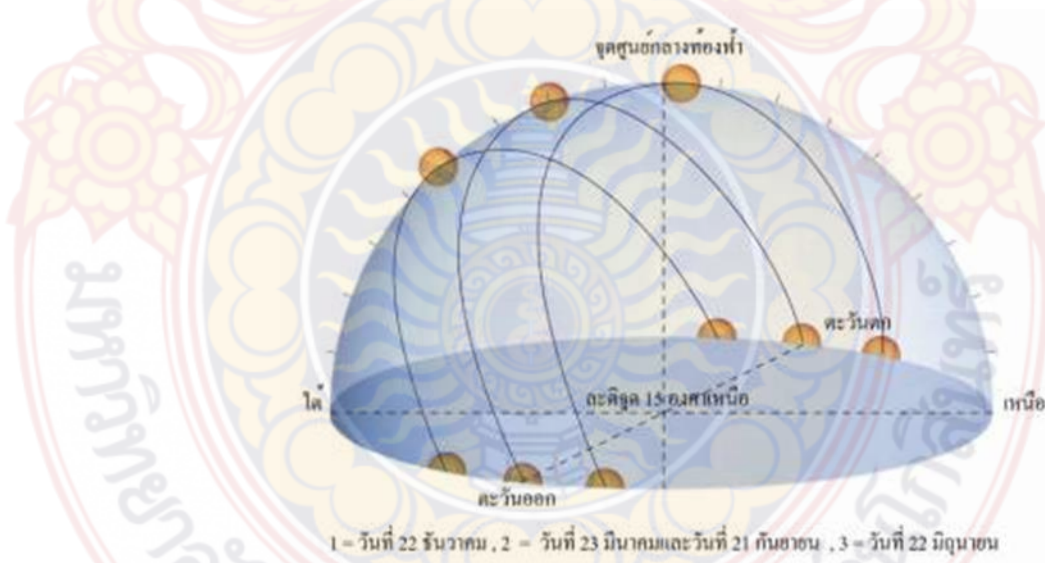
### 3.4 ผังการโคจรของดวงอาทิตย์

การออกแบบแผงบังแดดต้องคำนึงถึงผังโคจรของดวงอาทิตย์เป็นผังหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งและทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ โดยข้อมูลในแผนผังประกอบด้วยรายละเอียดต่าง ๆ เช่น ทิศทาง มุม Altitude มุม Azimuth เวลา วันและเดือน จุดศูนย์กลางของตำแหน่งอาคารอ้างอิง เส้นทาง

การโคจรของดวงอาทิตย์ ซึ่งแผนผังนี้จะช่วยให้มองเห็นภาพรวมว่าจะทำการพิจารณาปริมาณแสงในช่วงใดหรือทิศทางใดทาง



ภาพที่ 10 ตัวอย่างของ sun path diagram

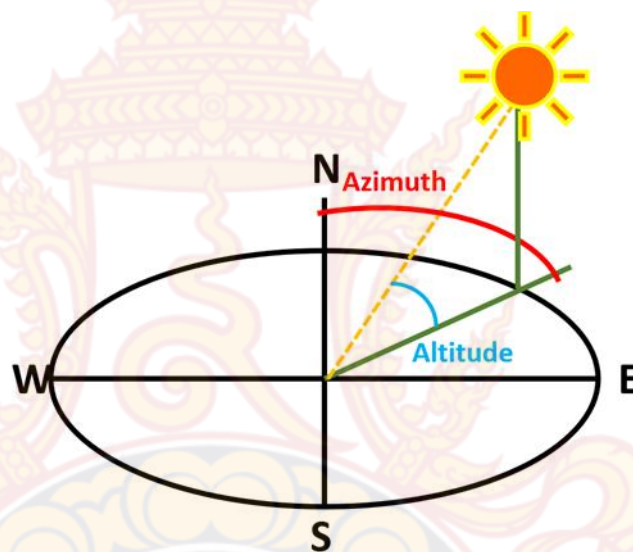


ภาพที่ 11 แผนผังการโคจรของดวงอาทิตย์

ที่มา : [www.vcharkarn.com/uploads/37/37891.jpg](http://www.vcharkarn.com/uploads/37/37891.jpg)

3.5 มุมที่เกิดจากการโคจรของดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการออกแบบแผงกันแดดประกอบด้วยมุมต่อไปนี้

- 1) มุมกระทำ (Altitude Angle) มุมทางตั้งของดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า
- 2) มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) มุมชี้ทิศทางดวงอาทิตย์ในแนวราบกระทำกับทิศเหนือหรือใต้
- 3) มุมตัด (Profile Angle) มุมทางตั้งในแนวระดับเดียวกับตำแหน่งดวงอาทิตย์



ภาพที่ 12 ตัวอย่างมุม Altitude มุม Azimuth

การออกแบบแผงบังแดดนั้นขึ้นอยู่กับทิศทางของช่องเปิดว่าอยู่ทางทิศใด วัน-เดือน และเวลาด้วย โดยการออกแบบต้องดูถึงวันที่ดวงอาทิตย์ทำมุมต่ำที่สุดเพื่อให้เกิดการบังแดดที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด และสามารถหักมุมแผงบังแดดลงมา เพื่อให้ระยะยื่นไม่ยาวเกินไป

#### 4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)

##### 4.1 เกณฑ์มาตรฐานของของการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)

##### ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานของของการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

กลุ่มประเภทอาคาร (แบ่งตามชั่วโมงการใช้งาน)	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก และหลังคา ( $W/m^2$ )	
	OTTV	RTTV
สถานศึกษา สำนักงาน (8 hr)	50	10
โรงแรมรีสอร์ท ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อคาชุมชนคน (12 hr)	40	8
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด (24 hr)	30	6

##### 4.2 กรอบอาคารและปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

1) ผนังทึบ รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังทึบส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไปและส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนไว้และสะสมจึงทำให้ความร้อนที่ผนังดูดกลืนไว้ส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร ทำให้อุณหภูมิในอาคารสูงขึ้น การทำสีภายนอกอาคารมีผลต่อการดูดกลืนรังสีอาทิตย์และการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยผนังสีอ่อนจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์น้อยความผนังสีเข้ม ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังที่ใช้ควมมีค่า 0.3-0.9 การติดตั้งฉนวนสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ รวมทั้งการใช้ฉนวนกับหลังคาของอาคารปรับอากาศทำให้เกิดความคุ้มทุนสูง

2) ผนังโปร่งแสง หรือผนังกระจกทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้สูงซึ่งมากกว่าผนังทึบทั่วไปถึง 5 เท่า โดยคุณสมบัติของกระจกที่เหมาะสม ประกอบด้วย

- Visible Transmittance (VT) ค่าการส่องผ่านของแสงไม่ควรน้อยกว่า 20% เพื่อสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในอาคารได้

- U-value ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมควรน้อยเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร

- Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) คือผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกกับส่วนของรังสีที่ถูกดูดซับอยู่ภายในกระจก ซึ่งควรมีค่าน้อย เพื่อป้องกันรังสีอาทิตย์และเพื่อความสบายตา

ของผู้ใช้อาคาร ประเภทของกระจก ได้แก่ กระจกใส, กระจกสี, กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำและกระจกฉนวนกันความร้อน

- กระจกใส สามารถให้แสงผ่านเข้าได้สูงถึงร้อยละ 88 ความร้อนผ่านเข้าได้มากเช่นกัน ซึ่งมักจะติดฟิล์มกรองแสงหรือใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด

- กระจกสี เป็นกระจกที่ดูดกลืนความร้อนการนำไปใช้ควรใช้งานอย่าง ระมัดระวัง

- กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-E glass) เป็นกระจกที่เคลือบด้วยโลหะเงิน เพื่อให้ได้ผิวที่มีความการแผ่รังสีต่ำ ค่าแสงส่งผ่านมาก ค่าการสะท้อนแสงน้อย และค่าการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างต่ำ

- กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated glass) เป็นกระจก 2 ชั้นมีค่าการแผ่รังสีความร้อนต่ำและสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี

3) อุปกรณ์บังแดดภายนอกป้องกันรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่าอุปกรณ์บังแดดภายใน ประกอบด้วย อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน แนวตั้ง และแบบผสม

#### 4.3 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า OTTV

1) การเลือกใช้วัสดุผนังทึบ ควรเลือกวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังช่องอากาศฉนวนใยแก้ว 2” และกรุด้วยแผ่นยิปซัม

2) การเลือกใช้วัสดุกระจก ควรเลือกกระจกที่ความร้อนผ่านได้น้อย เช่น กระจกLow-E เยียว 6 มม.ช่องอากาศ 6 มม. กระจกใส 6 มม. รวมทั้งพิจารณาด้านราคาประกอบกันด้วย

3) การเลือกใช้วัสดุหลังคา ควรเลือกวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง เช่น หลังคาค.ส.ล. ช่องอากาศ ฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 4” ฝ้าเพดานยิปซัม รวมทั้งหลังคาทาสีอ่อน และไม่มีช่องแสงที่หลังคา

4) ทิศทางอาคาร ควรวางด้านยาวแนวเหนือใต้ ออกแบบรูปร่างอาคารให้มีพื้นที่ของกรอบอาคารที่น้อย เช่นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

5) สีของผนังอาคาร ควรเลือกใช้ผนังและหลังคาสีอ่อน

6) พื้นี่หน้าต่าง ไม่ควรออกแบบให้มีพื้นที่หน้าต่างกระจกมากเกินไป

7) ขนาดพื้นที่กระจกที่มาก การลดค่า OTTV ให้ผ่านเกณฑ์ต้องใช้ผนังหรือกระจกที่มีราคาสูงขึ้น



## 5. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

### 5.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน (OTTV<sub>i</sub>) หาได้จากสมการ

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

เมื่อ OTTV<sub>i</sub> คือ การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา

มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m<sup>2</sup>)

U<sub>w</sub> คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ

มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส (W/m<sup>2</sup>.°C)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD<sub>eq</sub> คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

U<sub>f</sub> คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงหรือกระจก มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส (W/m<sup>2</sup>.°C)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงและหรือผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )

5.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกโดยเฉลี่ยทั้งอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV<sub>i</sub>) รวมกัน ให้คำนวณจากสมการที่ (2)

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

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

OTTV<sub>i</sub> คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ให้คำนวณจากสมการที่ (1)

5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ ( $U_w$ ) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $U_w$ ) คือ ส่วนกลับของความต้านทานความร้อน ให้คำนวณจากสมการที่ (3)

$$U_w = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

เมื่อ  $R$  คือ ความต้านทานความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )

2) ค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุใด ๆ ให้คำนวณจากสมการที่ (4)

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (4)$$

เมื่อ  $\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

k คือ สัมประสิทธิ์ การนำความร้อนของวัสดุ

มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

5.4 ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร ( $R_T$ ) เป็นผลรวมของชั้นวัสดุ สำหรับผนังอาคารที่ประกอบด้วยวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารจะเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารจะถูกส่งผ่านมายังผนังอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกของผนังอาคาร เช่นเดียวกับที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังอาคารจะถูกส่งผ่านจากพื้นผิวด้านในของผนังอาคารไปยังสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ดังนั้น ฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของผนังอาคารจึงถือว่ามีค่าความต้านทานความร้อน

กรณีที่มีผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า  $R_T$  ของส่วนใด ๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 1 ให้คำนวณจากสมการที่ (5)

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (5)$$

เมื่อ  $R_T$  คือ ความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร

มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )

$R_o$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร

มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )

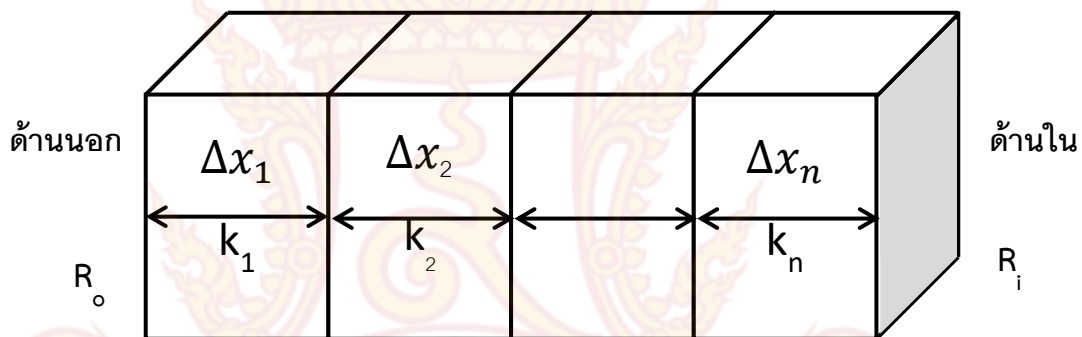
$R_i$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร

มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )

$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$  คือ ความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร

มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร

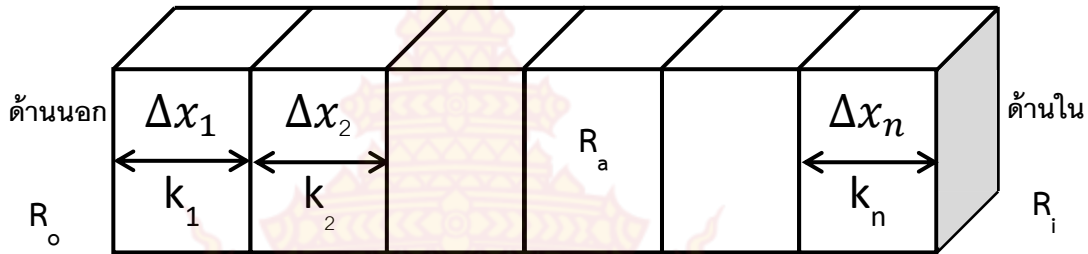


ภาพที่ 13 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด

กรณีที่ผนังหรือหลังคามีช่องว่างอากาศอยู่ภายในช่องว่างอากาศ (Air gap or Air space) ระหว่างชั้นของผนังอาคารจะมีความต้านทานความร้อนค่าหนึ่ง กลไกของการถ่ายเทความร้อน ทั้งการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างอากาศจะมีค่าแตกต่างกันออกไป ความต้านทานความร้อนรวมหรือค่า  $R_T$  ของส่วนใด ๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ  $n$  ชนิดแตกต่างกันและมีช่องว่างอากาศในดังภาพที่ 2 ให้คำนวณจากสมการที่ (6)

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + R_a + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (6)$$

เมื่อ  $R_a$  คือ ความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังอาคาร  
มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )



**ภาพที่ 14** สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกันหลายชนิดและมีช่องว่างอากาศ

5.5 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคาร ตารางที่ 1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผิวผนังอาคาร

**ตารางที่ 2** ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )	
	ที่ผิวผนังด้านใน ( $R_i$ )	ที่ผิวผนังด้านนอก ( $R_o$ )
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120	0.044
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299	-

ค่าความต้านทานภายในช่องว่างอากาศในผนัง ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวผนังด้านที่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างปรากฏในตารางที่ 2

**ตารางที่ 3** ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านในช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศตามความหนาของช่องว่างอากาศ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606

ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำใช้กับกรณีที่ผิวด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านในช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนแสง เช่น กรณีที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียมบนฉนวนที่ติดกับช่องว่างอากาศ เป็นต้น สำหรับกรณีทั่วไปให้ถือว่าพื้นผิวผนังด้านในช่องว่างอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตรหรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วง (Linear interpolation) เพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 100 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนฟิล์มของอากาศที่ความกว้าง 100 มิลลิเมตรเท่านั้น

**5.6 ค่าสมบัติทางความร้อนของวัสดุ**

สมบัติทางความร้อนต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณประกอบด้วยค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป ดังภาพที่ 15 ในกรณีที่ไม่มีค่าในตารางให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ซึ่งคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารของวัสดุก่อสร้างทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity,  $k$ ) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) ความหนาแน่นของวัสดุ (Density,  $\rho$ ) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $kg/m^3$ ) และค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat,  $c_p$ ) มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส ( $kJ/kg \cdot ^\circ C$ ) ซึ่งทั้ง 3 สมบัตินี้จะส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่ผนังดูดกลืนและระยะเวลาที่ผนังอาคารหน่วงการส่งผ่านความร้อน (Thermal time lag) จาก

ภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับวัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิวผนังภายนอกอาคาร ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับรังสีอาทิตย์โดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Solar absorptance) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของผิววัสดุฉาบก็จะมีผลต่อการได้รับและการสูญเสียความร้อนของผนังอาคารด้วย

ลำดับ	วัสดุ	$k$ (W/(m <sup>2</sup> ·°C))	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (kJ/(kg·°C))
๑	วัสดุผนังหลังคา/คานค้ำ			
	(ก) กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	๐.๕๕๓	๒๔๐๐	๐.๗๕
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนเล็ก	๐.๓๘๔	๑๗๐๐	๑.๐๐
	(ค) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	๐.๔๔๑	๒๐๐๐	๑.๐๐
	(ง) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	๐.๓๕๕	๒๐๐๐	๑.๐๐
	(จ) วัสดุหลังคาแอสฟัลต์	๐.๔๒๑	๑๕๐๐	๑.๕๑
	(ฉ) กระเบื้องปูลาดพื้นมวลเบา	๐.๓๔๑	๕๓๐	๐.๘๘
	(ช) กระเบื้องใยแก้วโปร่งแสงเรียบ	๐.๒๑๓	๑๓๔๐	๑.๘๘
	(ซ) กระเบื้องใยแก้วโปร่งแสงลอนใหญ่	๐.๑๘๑	๑๗๐๐	๑.๘๘
	(ฌ) กระเบื้องลูกฟูกโปร่งแสง	๐.๑๖๐	๑๓๔๐	๑.๘๘
	(ญ) กระเบื้องใยแก้วลอนคู่สีขาวขุ่น	๐.๒๐๘	๑๕๐๐	๑.๘๘
๒	วัสดุบุพื้น/ผนัง			
	(ก) โฉนเหล็ก (พรมน้ำมัน)	๐.๒๒๓	๑๒๐๐	๑.๒๖
	(ข) กระเบื้องยาง	๐.๕๗๓	๑๕๐๐	๑.๒๖
	(ค) กระเบื้องเซรามิค	๐.๓๓๘	๒๑๐๐	๐.๘๐
	(ง) หินอ่อน	๑.๒๕๐	๒๗๐๐	๐.๘๐
	(จ) หินแกรนิต	๑.๒๗๖	๒๖๐๐	๐.๗๕
	(ฉ) หินกาบ	๑.๒๕๐	๒๖๔๐	๐.๕๖
	(ช) หินทราย	๐.๗๒๑	๒๔๔๐	๐.๕๖
	(ซ) ไม้ปาร์เก้	๐.๑๖๓	๖๐๐	๐.๕๖
๓	ผนังอิฐ/คอนกรีต			
	(ก) อิฐมอญไม่ฉาบ	๐.๔๗๓	๑๖๐๐	๐.๗๕
	(ข) อิฐมอญฉาบปูนสองหน้า	๑.๑๐๒	๑๗๐๐	๐.๗๕
	(ค) อิฐฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโอสกหรือกระเบื้อง หน้าเดียว	๐.๘๐๓	๑๗๖๐	๐.๘๔
	(ง) คอนกรีตบล็อกกลวง ๘๐ มม. ไม่ฉาบ	๐.๕๔๖	๒๒๐๐	๐.๕๒

ภาพที่ 15 ค่าการนำความร้อน ( $k$ ) ความหนาแน่น ( $\rho$ ) และความจุความร้อนจำเพาะ ( $C_p$ ) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

ลำดับ	วัสดุ	$k$ (W/(m . °C))	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/(kg . °C))
	(จ) คอนกรีตสแลบ	๑.๘๘๒	๒๔๐๐	๐.๘๒
	(ฉ) ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	๐.๗๒	๑๘๖๐	๐.๘๘
๔	คอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่นต่างๆ			
	(ก) ๖๒๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๑๘๐	๖๒๐	๐.๘๘
	(ข) ๗๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๒๑๐	๗๐๐	๐.๘๘
	(ค) ๘๖๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๓๐๓	๘๖๐	๐.๘๘
	(ง) ๑๑๒๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๓๘๖	๑๑๒๐	๐.๘๘
	(จ) ๑๒๘๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๔๗๖	๑๒๘๐	๐.๘๘
	(ฉ) ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบา	๐.๓๒๖	๑๒๐๐	๐.๘๘
๕	วัสดุทำฝ้าเพดาน/ผนัง			
	(ก) แผ่นอิปซั่ม	๐.๒๘๒	๘๐๐	๑.๐๕
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ยอหินแผ่นเรียบ	๐.๓๕๗	๑๗๐๐	๑.๐๐
	(ค) ไม้ฉัด	๐.๒๑๓	๕๐๐	๑.๒๑
	(ง) แผ่นไฟเบอร์ (fiber board)	๐.๐๕๒	๒๖๘	๑.๓๐
	(จ) เซลโลกรีตชนิดธรรมดา	๐.๑๐๖	๕๐๐	๑.๓๐
	(ฉ) เซลโลกรีตชนิดโฟม	๐.๐๖๘	๓๐๐	๑.๓๐
	(ช) แผ่นไฟเบอร์ซานอ้อ	๐.๐๕๒	๒๕๐	๑.๒๖
	(ซ) แผ่นไม้ก๊อก	๐.๐๘๒	๑๘๘	๒.๐๑
	(ฌ) พลาสเตอร์ฉาบอิปซั่ม	๐.๒๓๐	๗๒๐	๑.๐๕
๖	ฉนวนใยแก้ว (ไฟเบอร์กลาส) แบบห้วน (blanket) แบบแผ่น (rigid board) และแบบท่อสำเร็จ (rigid pipe section)			
	(ก) ความหนาแน่น ๑๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๔๖	๑๐	๐.๕๖
	(ข) ความหนาแน่น ๑๒ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๔๒	๑๒	๐.๕๖
	(ค) ความหนาแน่น ๑๖ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๘	๑๖	๐.๕๖
	(ง) ความหนาแน่น ๒๔ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๕	๒๔	๐.๕๖
	(จ) ความหนาแน่น ๓๒-๔๘ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๓	๓๒ - ๔๘	๐.๕๖
	(ฉ) ความหนาแน่น ๕๖-๖๕ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๑	๕๖ - ๖๕	๐.๕๖

ภาพที่ 15 (ต่อ) ค่าการนำความร้อน ( $k$ ) ความหนาแน่น ( $\rho$ ) และความจุความร้อนจำเพาะ ( $c_p$ ) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ



ลำดับ	วัสดุ	$k$ (W/(m . °C))	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/(kg . °C))
๗	ฉนวนใยหินแบบม้วน (blanket) และแบบแผ่น (rigid board)			
	ความหนาแน่น ๖.๔ - ๓๒	๐.๐๓๕	๖.๔ - ๓๒	๐.๘
๘	ฉนวนชนิดโฟมโพลีสไตรีน แบบขยายตัว			
	(ก) ความหนาแน่น ๕ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๔๗	๕	๐.๒๑
	(ข) ความหนาแน่น ๑๖ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๗	๑๖	๐.๒๑
	(ค) ความหนาแน่น ๒๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๖	๒๐	๐.๒๑
	(ง) ความหนาแน่น ๒๔ - ๓๒ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๕	๒๔ - ๓๒	๐.๒๑
๙	โฟมโพลีเอทิลีน	๐.๐๒๕	๔๕	๐.๒๑
๑๐	โฟมโพลียูรีเทน	๐.๐๒๓ - ๐.๐๒๖	๒๔ - ๔๐	๐.๕๕
๑๑	ไม้			
	(ก) ไม้เนื้อแข็ง	๐.๒๑๗	๘๐๐	๑.๓๐
	(ข) ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	๐.๑๗๖	๖๐๐	๑.๓๐
	(ค) ไม้เนื้ออ่อน	๐.๑๓๑	๕๐๐	๑.๓๐
	(ง) ไม้อัดซีพอร์ด	๐.๑๔๔	๘๐๐	๑.๓๐
๑๒	กระดาษอัด	๐.๐๘๖	๘๐๐	๑.๓๘
๑๓	แผ่นกระจก			
	(ก) กระจกใส	๐.๕๖๐	๒๕๐๐	๐.๘๘
	(ข) กระจกสีชา	๐.๕๑๓	๒๕๐๐	๐.๘๘
	(ค) กระจกสะท้อนแสง	๐.๕๓๑	๒๕๐๐	๐.๘๘
	(ง) กระจกเงา	๐.๘๕๓	๒๕๐๐	๐.๘๘
๑๔	โลหะ			
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	๒๑๑	๒๖๗๒	๐.๘๕๖
	(ข) ทองแดง	๓๘๘	๘๙๘๔	๐.๓๕๐
	(ค) เหล็กกล้า	๔๗.๖	๗๘๕๐	๐.๕๐๐

ภาพที่ 15 (ต่อ) ค่าการนำความร้อน ( $k$ ) ความหนาแน่น ( $\rho$ ) และความจุความร้อนจำเพาะ ( $c_p$ ) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

5.7 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ (Equivalent temperature difference,  $TD_{eq}$ )

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างภายนอกและภายในอาคารรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ซึ่งขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มวลของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนังโดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

1) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนังทึบซึ่งใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
<b>วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว</b> แผ่นสะท้อนรังสีทำด้วย อลูมิเนียม หินอ่อนสีขาว กรวดล้างสีขาว <b>สีทาภายนอก</b> สีขาว สีเงิน สีเงินหรือสีบรอนซ์สะท้อนแสง	0.3	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวสีขาว

ตารางที่ 4 (ต่อ) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้  
ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

<p><b>วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว</b></p> <p>หินอ่อนสีครีมหรือสีอ่อน หินแกรนิตสีครีมหรือสีอ่อน กรวดล้างสีครีมหรือสีอ่อน วัสดุปิดผิวสีอ่อน</p> <p><b>สีทาภายนอก</b></p> <p>สีครีม สีฟ้าอ่อน สีเขียวอ่อน สีเหลืองอ่อน สีส้มอ่อน</p>	<p>0.5</p>	<p>วัสดุที่มีผิวสีอ่อน</p>
<p><b>วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว</b></p> <p>คอนกรีตไม่ทาสี อิฐไม่ทาสี แผ่นไฟเบอร์ไม่ทาสี กรวดล้างสีเทา แผ่นซีเมนต์ใยหินไม่ทาสี</p> <p><b>สีทาภายนอก</b></p> <p>สีแดง สีฟ้า สีเขียว สีส้ม สีสนิม (rustic)</p>	<p>0.7</p>	<p>วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม</p>

ตารางที่ 4 (ต่อ) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว		
อิฐสีแดง		
แอสฟัลต์		
คอนกรีตสีเทาเข้มหรือสีดำ		
วัสดุผนังหลังคาสีเขียวเข้มและ		
สีแดงเข้ม	0.9	วัสดุที่มีผิวสีเข้ม
สีทาภายนอก		
สีน้ำเงินหรือสีเขียวเข้ม		
สีเทาเข้ม		
สีน้ำตาลเข้ม		
สีดำ		

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-specific heat product, DSH) กรณีที่ผนังที่ประกอบด้วยวัสดุ  $i$  เพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่น ( $\rho_i$ ) ความร้อนจำเพาะเท่ากับ ( $c_{pi}$ ) และมีความหนา ( $\Delta x_i$ ) ผลคูณของความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนังให้คำนวณจากสมการที่ (7)

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

สำหรับผนังที่ประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน  $n$  ชนิด ผลคูณของความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนัง ให้คำนวณจากสมการที่ (8)

$$DSH = DSH_1 + DSH_1 + \dots + DSH_n \quad (8)$$

เมื่อ  $DSH_i$  คือ ผลคูณของความหนาแน่น - ความร้อนจำเพาะ - ความหนาของผนัง มีหน่วยเป็นจูลต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ( $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$\rho_i$  คือ ความหนาแน่นของวัสดุ  $i$  มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_{pi}$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ  $i$

มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta x_i$  คือ ความหนาของวัสดุ  $i$  มีหน่วยเป็นเมตร (m)

กรณีที่ผนังมีช่องว่างอากาศอยู่ภายในให้ถือว่าช่องว่างอากาศดังกล่าวนี้ไม่ทำให้ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนังเปลี่ยนแปลงไป

มุมเอียงของผนัง คือ มุมที่ผนังกระทำกับพื้นผิวโลกหรือพื้นดิน โดยกำหนดให้ผนังแนวตั้งมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ส่วนหลังคาในแนวระนาบ จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ของผนังทึบ สำหรับอาคารแต่ละประเภท ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนังของผนัง ค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนังให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดในภาพที่ 16 ซึ่งแสดงชุดของค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบของอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา ค่าในตารางประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวของผนัง ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนัง เมื่อทราบชนิดวัสดุ ความหนาแน่นของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นผนังอาคาร ให้ใช้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะในภาพที่ 15 และ สมการที่ (7) และ (8) คำนวณผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง และในกรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุในภาพที่ 3 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (kJ/(m <sup>2</sup> .°C))	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๐	ทุกทิศทาง	๑๕	๑๖.๕	๒๕.๐	๓๓.๖	๔๒.๑
		๓๐	๑๖.๒	๒๕.๖	๓๓.๐	๔๑.๕
		๕๐	๑๕.๗	๒๕.๐	๓๒.๓	๔๐.๖
		๑๐๐	๑๕.๔	๒๒.๓	๓๐.๓	๓๘.๒
		๒๐๐	๑๒.๑	๑๙.๑	๒๖.๑	๓๓.๑
		๓๐๐	๑๐.๕	๑๖.๘	๒๓.๐	๒๙.๒
		๔๐๐	๑๐.๒	๑๖.๒	๒๒.๒	๒๘.๓
๑๕	ทิศเหนือ	๑๕	๑๕.๘	๒๓.๖	๓๑.๕	๓๙.๓
		๓๐	๑๕.๔	๒๓.๒	๓๑.๐	๓๘.๗
		๕๐	๑๕.๔	๒๒.๖	๓๐.๒	๓๗.๕
		๑๐๐	๑๓.๗	๒๑.๐	๒๘.๓	๓๕.๖
		๒๐๐	๑๑.๖	๑๘.๐	๒๕.๕	๓๐.๙
		๓๐๐	๑๐.๑	๑๕.๙	๒๑.๖	๒๗.๔
		๔๐๐	๙.๘	๑๕.๔	๒๐.๙	๒๖.๕
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๖.๒	๒๕.๔	๓๒.๖	๔๐.๘
		๓๐	๑๕.๘	๒๕.๐	๓๒.๑	๔๐.๒
		๕๐	๑๕.๔	๒๓.๔	๓๑.๕	๓๙.๔
		๑๐๐	๑๔.๑	๒๑.๘	๒๙.๘	๓๗.๐
		๒๐๐	๑๑.๙	๑๘.๗	๒๕.๘	๓๒.๒
		๓๐๐	๑๐.๔	๑๖.๘	๒๒.๘	๒๘.๘
		๔๐๐	๑๐.๑	๑๕.๙	๒๑.๗	๒๗.๕

ภาพที่ 16 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (k.l/(m <sup>2</sup> .°C))	สัมประสิทธิ์การคูณคลื่นรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๑๕	ทิศตะวันออก	๑๕	๑๖.๔	๒๔.๙	๓๓.๓	๔๑.๘
		๓๐	๑๖.๑	๒๔.๔	๓๒.๘	๔๑.๒
		๕๐	๑๕.๖	๒๓.๘	๓๒.๑	๔๐.๓
		๑๐๐	๑๕.๔	๒๒.๒	๓๐.๑	๓๗.๙
		๒๐๐	๑๒.๑	๑๙.๐	๒๕.๙	๓๒.๙
		๓๐๐	๑๐.๕	๑๖.๗	๒๒.๘	๒๙.๐
		๔๐๐	๑๐.๒	๑๖.๒	๒๒.๑	๒๘.๑
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	๑๕	๑๖.๖	๒๕.๑	๓๓.๗	๔๒.๓
		๓๐	๑๖.๒	๒๔.๗	๓๓.๒	๔๑.๗
		๕๐	๑๕.๗	๒๔.๑	๓๒.๔	๔๐.๘
		๑๐๐	๑๕.๕	๒๒.๔	๓๐.๔	๓๘.๔
		๒๐๐	๑๒.๒	๑๙.๒	๒๖.๒	๓๓.๒
		๓๐๐	๑๐.๖	๑๖.๘	๒๓.๑	๒๙.๓
		๔๐๐	๑๐.๒	๑๖.๓	๒๒.๓	๒๘.๔
	ทิศใต้	๑๕	๑๖.๖	๒๕.๒	๓๓.๘	๔๒.๕
		๓๐	๑๖.๒	๒๔.๘	๓๓.๓	๔๑.๘
		๕๐	๑๕.๘	๒๔.๒	๓๒.๖	๔๑.๐
		๑๐๐	๑๕.๕	๒๒.๕	๓๐.๕	๓๘.๕
		๒๐๐	๑๒.๒	๑๙.๓	๒๖.๓	๓๓.๔
		๓๐๐	๑๐.๖	๑๖.๙	๒๓.๑	๒๙.๔
		๔๐๐	๑๐.๓	๑๖.๓	๒๒.๔	๒๘.๕
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	๑๕	๑๖.๕	๒๕.๑	๓๓.๗	๔๒.๒
		๓๐	๑๖.๒	๒๔.๗	๓๓.๑	๔๑.๖
		๕๐	๑๕.๗	๒๔.๐	๓๒.๔	๔๐.๗
		๑๐๐	๑๕.๕	๒๒.๔	๓๐.๔	๓๘.๓
		๒๐๐	๑๒.๒	๑๙.๒	๒๖.๒	๓๓.๒
		๓๐๐	๑๐.๖	๑๖.๘	๒๓.๐	๒๙.๓
		๔๐๐	๑๐.๒	๑๖.๓	๒๒.๓	๒๘.๓

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (k.J/(m <sup>2</sup> .°C))	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๑๕	ทิศตะวันตก	๑๕	๑๖.๔	๒๔.๘	๓๓.๒	๔๑.๖
		๓๐	๑๖.๐	๒๔.๔	๓๒.๗	๔๑.๐
		๕๐	๑๕.๕	๒๓.๗	๓๑.๙	๔๐.๑
		๑๐๐	๑๔.๓	๒๒.๑	๒๙.๙	๓๗.๗
		๒๐๐	๑๒.๐	๑๘.๙	๒๕.๘	๓๒.๗
		๓๐๐	๑๐.๕	๑๖.๖	๒๒.๗	๒๘.๘
		๔๐๐	๑๐.๒	๑๖.๑	๒๒.๐	๒๗.๙
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๖.๑	๒๔.๓	๓๒.๕	๔๐.๖
		๓๐	๑๕.๘	๒๓.๙	๓๑.๙	๔๐.๐
		๕๐	๑๕.๓	๒๓.๒	๓๑.๒	๓๙.๑
		๑๐๐	๑๔.๑	๒๑.๖	๒๙.๒	๓๖.๗
		๒๐๐	๑๑.๘	๑๘.๕	๒๕.๒	๓๑.๙
		๓๐๐	๑๐.๓	๑๖.๓	๒๒.๒	๒๘.๒
		๔๐๐	๑๐.๐	๑๕.๘	๒๑.๕	๒๗.๓
๓๐	ทิศเหนือ	๑๕	๑๔.๗	๒๑.๖	๒๘.๕	๓๕.๕
		๓๐	๑๔.๔	๒๑.๒	๒๘.๐	๓๕.๙
		๕๐	๑๓.๙	๒๐.๖	๒๗.๓	๓๕.๐
		๑๐๐	๑๒.๘	๑๙.๒	๒๕.๕	๓๑.๙
		๒๐๐	๑๐.๘	๑๖.๕	๒๒.๑	๒๗.๘
		๓๐๐	๙.๕	๑๔.๖	๑๙.๗	๒๕.๘
		๔๐๐	๙.๓	๑๔.๒	๑๙.๑	๒๕.๐
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๕.๕	๒๓.๑	๓๐.๗	๓๘.๓
		๓๐	๑๕.๒	๒๒.๗	๓๐.๒	๓๗.๗
		๕๐	๑๔.๗	๒๒.๑	๒๙.๕	๓๖.๙
		๑๐๐	๑๓.๖	๒๐.๖	๒๗.๗	๓๔.๘
		๒๐๐	๑๑.๕	๑๗.๘	๒๔.๑	๓๐.๓
		๓๐๐	๑๐.๑	๑๕.๗	๒๑.๓	๒๖.๙
		๔๐๐	๙.๘	๑๕.๒	๒๐.๖	๒๖.๐

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา



มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (k.l/(m <sup>2</sup> .°C))	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๓๐	ทิศตะวันออก	๑๕	๑๖.๐	๒๔.๑	๓๒.๑	๔๐.๑
		๓๐	๑๕.๗	๒๓.๖	๓๑.๖	๓๙.๕
		๕๐	๑๕.๒	๒๓.๐	๓๐.๙	๓๘.๗
		๑๐๐	๑๔.๐	๒๑.๕	๒๙.๐	๓๖.๔
		๒๐๐	๑๑.๘	๑๘.๕	๒๕.๑	๓๑.๗
		๓๐๐	๑๐.๓	๑๖.๓	๒๒.๒	๒๘.๑
		๔๐๐	๑๐.๐	๑๕.๗	๒๑.๔	๒๗.๑
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	๑๕	๑๖.๓	๒๔.๖	๓๒.๘	๔๑.๑
		๓๐	๑๕.๙	๒๔.๑	๓๒.๓	๔๐.๕
		๕๐	๑๕.๔	๒๓.๕	๓๑.๖	๓๙.๖
		๑๐๐	๑๔.๒	๒๑.๙	๒๙.๖	๓๗.๓
		๒๐๐	๑๒.๐	๑๘.๘	๒๕.๖	๓๒.๔
		๓๐๐	๑๐.๔	๑๖.๕	๒๒.๖	๒๘.๖
		๔๐๐	๑๐.๑	๑๖.๐	๒๑.๘	๒๗.๗
	ทิศใต้	๑๕	๑๖.๓	๒๔.๗	๓๓.๐	๔๑.๔
		๓๐	๑๖.๐	๒๔.๒	๓๒.๕	๔๐.๗
		๕๐	๑๕.๕	๒๓.๖	๓๑.๗	๓๙.๙
		๑๐๐	๑๔.๓	๒๒.๐	๒๙.๗	๓๗.๕
		๒๐๐	๑๒.๐	๑๘.๘	๒๕.๗	๓๒.๕
		๓๐๐	๑๐.๕	๑๖.๕	๒๒.๖	๒๘.๗
		๔๐๐	๑๐.๑	๑๖.๐	๒๑.๙	๒๗.๘
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	๑๕	๑๖.๒	๒๔.๔	๓๒.๗	๔๐.๙
		๓๐	๑๕.๙	๒๔.๐	๓๒.๑	๔๐.๓
		๕๐	๑๕.๔	๒๓.๔	๓๑.๔	๓๙.๔
		๑๐๐	๑๔.๑	๒๑.๘	๒๙.๔	๓๗.๐
		๒๐๐	๑๑.๙	๑๘.๖	๒๕.๔	๓๒.๑
		๓๐๐	๑๐.๔	๑๖.๔	๒๒.๔	๒๘.๔
		๔๐๐	๑๐.๑	๑๕.๙	๒๑.๗	๒๗.๕

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (kJ/(m <sup>2</sup> ·°C))	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๓๐	ทิศตะวันตก	๑๕	๑๕.๙	๒๓.๙	๓๑.๘	๓๙.๗
		๓๐	๑๕.๕	๒๓.๔	๓๑.๒	๓๙.๑
		๕๐	๑๕.๐	๒๒.๘	๓๐.๕	๓๘.๒
		๑๐๐	๑๓.๘	๒๑.๑	๒๘.๕	๓๕.๘
		๒๐๐	๑๑.๖	๑๘.๑	๒๕.๖	๓๑.๐
		๓๐๐	๑๐.๒	๑๖.๐	๒๑.๗	๒๗.๕
		๔๐๐	๙.๙	๑๕.๕	๒๑.๑	๒๖.๗
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๕.๔	๒๒.๙	๓๐.๔	๓๗.๙
		๓๐	๑๕.๐	๒๒.๔	๒๙.๘	๓๗.๒
		๕๐	๑๔.๖	๒๑.๘	๒๙.๑	๓๖.๔
		๑๐๐	๑๓.๓	๒๐.๒	๒๗.๑	๓๔.๐
		๒๐๐	๑๑.๓	๑๗.๔	๒๓.๔	๒๙.๕
		๓๐๐	๙.๙	๑๕.๔	๒๐.๘	๒๖.๓
		๔๐๐	๙.๖	๑๔.๙	๒๐.๒	๒๕.๕
๔๕	ทิศเหนือ	๑๕	๑๓.๕	๑๙.๔	๒๕.๒	๓๑.๐
		๓๐	๑๓.๒	๑๘.๙	๒๔.๗	๓๐.๔
		๕๐	๑๒.๗	๑๘.๔	๒๔.๐	๒๙.๗
		๑๐๐	๑๑.๗	๑๗.๐	๒๒.๔	๒๗.๘
		๒๐๐	๙.๙	๑๔.๗	๑๙.๕	๒๔.๓
		๓๐๐	๘.๙	๓.๒	๑๗.๕	๒๑.๙
		๔๐๐	๘.๖	๒.๘	๑๗.๐	๒๑.๒
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๔.๗	๒๑.๔	๒๘.๒	๓๔.๙
		๓๐	๑๔.๓	๒๑.๐	๒๗.๗	๓๔.๔
		๕๐	๑๓.๙	๒๐.๕	๒๗.๑	๓๓.๗
		๑๐๐	๑๒.๘	๑๙.๑	๒๕.๔	๓๑.๘
		๒๐๐	๑๐.๙	๑๖.๖	๒๒.๒	๒๗.๙
		๓๐๐	๙.๗	๑๔.๘	๑๙.๘	๒๔.๙
		๔๐๐	๙.๔	๑๔.๓	๑๙.๑	๒๔.๐

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (kJ/(m <sup>2</sup> ·°C))	สัมประสิทธิ์การคูณคลื่นรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๔๕	ทิศตะวันออก	๑๕	๑๕.๓	๒๒.๗	๓๐.๑	๓๗.๔
		๓๐	๑๕.๐	๒๒.๓	๒๙.๖	๓๖.๙
		๕๐	๑๕.๕	๒๑.๗	๒๘.๙	๓๖.๑
		๑๐๐	๑๓.๔	๒๐.๓	๒๗.๒	๓๔.๐
		๒๐๐	๑๑.๔	๑๗.๖	๒๓.๗	๒๙.๔
		๓๐๐	๑๐.๑	๑๕.๖	๒๑.๑	๒๖.๕
		๔๐๐	๙.๗	๑๕.๐	๒๐.๓	๒๕.๖
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	๑๕	๑๕.๗	๒๓.๔	๓๑.๑	๓๘.๘
		๓๐	๑๕.๓	๒๓.๐	๓๐.๖	๓๘.๒
		๕๐	๑๕.๙	๒๒.๔	๒๙.๙	๓๗.๔
		๑๐๐	๑๓.๗	๒๐.๙	๒๘.๐	๓๕.๑
		๒๐๐	๑๑.๖	๑๘.๐	๒๔.๓	๓๐.๗
		๓๐๐	๑๐.๒	๑๕.๙	๒๑.๖	๒๗.๓
		๔๐๐	๙.๙	๑๕.๔	๒๐.๘	๒๖.๓
	ทิศใต้	๑๕	๑๕.๘	๒๓.๕	๓๑.๓	๓๙.๑
		๓๐	๑๕.๔	๒๓.๑	๓๐.๘	๓๘.๕
		๕๐	๑๕.๙	๒๒.๕	๓๐.๐	๓๗.๖
		๑๐๐	๑๓.๗	๒๐.๙	๒๘.๑	๓๕.๓
		๒๐๐	๑๑.๖	๑๘.๐	๒๔.๓	๓๐.๗
		๓๐๐	๑๐.๒	๑๕.๙	๒๑.๖	๒๗.๓
		๔๐๐	๙.๙	๑๕.๔	๒๐.๙	๒๖.๕
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	๑๕	๑๕.๖	๒๓.๒	๓๐.๘	๓๘.๕
		๓๐	๑๕.๒	๒๒.๗	๓๐.๒	๓๗.๘
		๕๐	๑๕.๗	๒๒.๑	๒๙.๕	๓๖.๙
		๑๐๐	๑๓.๕	๒๐.๔	๒๗.๕	๓๔.๕
		๒๐๐	๑๑.๔	๑๗.๖	๒๓.๘	๓๐.๐
		๓๐๐	๑๐.๐	๑๕.๖	๒๑.๑	๒๖.๗
		๔๐๐	๙.๘	๑๕.๑	๒๐.๕	๒๕.๙

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH ( $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ )	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๔๕	ทิศตะวันตก	๑๕	๑๕.๒	๒๒.๔	๒๙.๖	๓๖.๘
		๓๐	๑๕.๘	๒๑.๙	๒๙.๐	๓๖.๑
		๕๐	๑๕.๓	๒๑.๓	๒๘.๒	๓๕.๒
		๑๐๐	๑๓.๑	๑๙.๗	๒๖.๓	๓๒.๙
		๒๐๐	๑๑.๐	๑๖.๙	๒๒.๗	๒๘.๕
		๓๐๐	๙.๗	๑๕.๐	๒๐.๒	๒๕.๕
		๔๐๐	๙.๕	๑๔.๖	๑๙.๗	๒๕.๗
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๔.๕	๒๑.๑	๒๗.๗	๓๔.๓
		๓๐	๑๔.๑	๒๐.๖	๒๗.๑	๓๓.๖
		๕๐	๑๓.๖	๒๐.๐	๒๖.๔	๓๒.๗
		๑๐๐	๑๒.๔	๑๘.๕	๒๕.๕	๓๐.๕
		๒๐๐	๑๐.๕	๑๕.๙	๒๑.๒	๒๖.๕
		๓๐๐	๙.๓	๑๔.๒	๑๙.๐	๒๓.๘
		๔๐๐	๙.๑	๑๓.๘	๑๘.๕	๒๓.๑
๖๐	ทิศเหนือ	๑๕	๑๒.๔	๑๗.๑	๒๑.๙	๒๖.๖
		๓๐	๑๒.๐	๑๖.๗	๒๑.๔	๒๖.๑
		๕๐	๑๑.๖	๑๖.๒	๒๐.๘	๒๕.๔
		๑๐๐	๑๐.๖	๑๕.๙	๑๙.๓	๒๓.๗
		๒๐๐	๙.๑	๑๓.๐	๑๖.๙	๒๐.๙
		๓๐๐	๘.๒	๑๑.๘	๑๕.๔	๑๙.๐
		๔๐๐	๘.๐	๑๑.๕	๑๕.๐	๑๘.๕
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๓.๗	๑๙.๕	๒๕.๓	๓๑.๑
		๓๐	๑๓.๔	๑๙.๑	๒๔.๙	๓๐.๗
		๕๐	๑๒.๙	๑๘.๖	๒๔.๓	๓๐.๐
		๑๐๐	๑๑.๙	๑๗.๔	๒๒.๙	๒๘.๔
		๒๐๐	๑๐.๓	๑๕.๓	๒๐.๒	๒๕.๒
		๓๐๐	๙.๒	๑๓.๗	๑๘.๒	๒๒.๗
		๔๐๐	๘.๙	๑๓.๒	๑๗.๕	๒๑.๘

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (k.l/(m <sup>2</sup> .°C))	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๖๐	ทิศตะวันออก	๑๕	๑๔.๕	๒๑.๐	๒๗.๕	๓๔.๐
		๓๐	๑๔.๒	๒๐.๖	๒๗.๑	๓๓.๕
		๔๐	๑๓.๗	๒๐.๑	๒๖.๕	๓๒.๙
		๑๐๐	๑๒.๗	๑๘.๘	๒๕.๙	๓๑.๑
		๒๐๐	๑๐.๙	๑๖.๕	๒๑.๙	๒๗.๕
		๓๐๐	๙.๗	๑๕.๗	๑๙.๗	๒๕.๖
		๔๐๐	๙.๕	๑๕.๑	๑๘.๙	๒๓.๗
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	๑๕	๑๔.๙	๒๑.๘	๒๘.๗	๓๕.๕
		๓๐	๑๔.๖	๒๑.๕	๒๘.๒	๓๕.๐
		๔๐	๑๔.๑	๒๐.๘	๒๗.๕	๓๔.๒
		๑๐๐	๑๓.๐	๑๙.๕	๒๕.๘	๓๒.๒
		๒๐๐	๑๑.๑	๑๖.๙	๒๒.๖	๒๘.๓
		๓๐๐	๙.๙	๑๕.๑	๒๐.๒	๒๕.๕
		๔๐๐	๙.๖	๑๔.๕	๑๙.๕	๒๕.๕
	ทิศใต้	๑๕	๑๕.๐	๒๒.๐	๒๘.๙	๓๕.๙
		๓๐	๑๔.๖	๒๑.๕	๒๘.๘	๓๕.๒
		๔๐	๑๔.๑	๒๐.๙	๒๗.๖	๓๔.๘
		๑๐๐	๑๓.๐	๑๙.๕	๒๕.๘	๓๒.๓
		๒๐๐	๑๑.๑	๑๖.๘	๒๒.๕	๒๘.๒
		๓๐๐	๙.๘	๑๕.๐	๒๐.๑	๒๕.๓
		๔๐๐	๙.๕	๑๔.๕	๑๙.๕	๒๕.๕
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	๑๕	๑๔.๘	๒๑.๕	๒๘.๓	๓๕.๑
		๓๐	๑๔.๕	๒๑.๑	๒๗.๗	๓๔.๕
		๔๐	๑๓.๙	๒๐.๕	๒๖.๙	๓๓.๕
		๑๐๐	๑๒.๗	๑๘.๙	๒๕.๑	๓๑.๒
		๒๐๐	๑๐.๘	๑๖.๓	๒๑.๗	๒๗.๒
		๓๐๐	๙.๖	๑๕.๕	๑๙.๕	๒๕.๕
		๔๐๐	๙.๓	๑๕.๑	๑๘.๙	๒๓.๗

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH ( $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ )	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๖๐	ทิศตะวันตก	๑๕	๑๔.๓	๒๐.๖	๒๖.๙	๓๓.๒
		๓๐	๑๓.๙	๒๐.๑	๒๖.๓	๓๒.๕
		๕๐	๑๓.๓	๑๙.๔	๒๕.๕	๓๑.๕
		๑๐๐	๑๒.๑	๑๙.๙	๒๓.๖	๒๙.๓
		๒๐๐	๑๐.๓	๑๕.๓	๒๐.๔	๒๕.๔
		๓๐๐	๙.๒	๑๓.๘	๑๘.๔	๒๓.๐
		๔๐๐	๙.๐	๑๓.๔	๑๙.๙	๒๒.๓
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๓.๕	๑๙.๑	๒๔.๗	๓๐.๔
		๓๐	๑๓.๑	๑๘.๖	๒๔.๑	๒๙.๗
		๕๐	๑๒.๖	๑๘.๐	๒๓.๔	๒๘.๘
		๑๐๐	๑๑.๕	๑๖.๕	๒๑.๖	๒๖.๗
		๒๐๐	๙.๗	๑๔.๒	๑๘.๗	๒๓.๒
		๓๐๐	๘.๗	๑๒.๘	๑๙.๐	๒๑.๑
		๔๐๐	๘.๕	๑๒.๕	๑๖.๕	๒๐.๕
	ทิศเหนือ	๑๕	๑๑.๔	๑๕.๒	๑๙.๑	๒๓.๐
		๓๐	๑๑.๐	๑๔.๘	๑๘.๖	๒๒.๔
		๕๐	๑๐.๖	๑๔.๓	๑๘.๑	๒๑.๘
		๑๐๐	๙.๗	๑๓.๒	๑๖.๗	๒๐.๓
		๒๐๐	๘.๓	๑๑.๕	๑๔.๘	๑๘.๐
		๓๐๐	๗.๖	๑๐.๖	๑๓.๖	๑๖.๖
		๔๐๐	๗.๕	๑๐.๔	๑๓.๒	๑๖.๑
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๒.๗	๑๙.๖	๒๒.๕	๒๗.๔
		๓๐	๑๒.๔	๑๙.๓	๒๒.๑	๒๗.๐
		๕๐	๑๒.๐	๑๖.๘	๒๑.๖	๒๖.๕
		๑๐๐	๑๑.๑	๑๕.๘	๒๐.๔	๒๕.๑
		๒๐๐	๙.๗	๑๓.๙	๑๘.๒	๒๒.๕
		๓๐๐	๘.๘	๑๒.๗	๑๖.๖	๒๐.๕
		๔๐๐	๘.๕	๑๒.๒	๑๕.๙	๑๙.๖

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH ( $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ )	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๗๕	ทิศตะวันออก	๑๕	๑๓.๖	๑๙.๑	๒๔.๗	๓๐.๓
		๓๐	๑๓.๒	๑๘.๘	๒๔.๓	๒๙.๘
		๕๐	๑๒.๘	๑๘.๓	๒๓.๘	๒๙.๓
		๑๐๐	๑๑.๙	๑๗.๒	๒๒.๕	๒๗.๗
		๒๐๐	๑๐.๓	๑๕.๒	๒๐.๐	๒๔.๘
		๓๐๐	๙.๓	๑๓.๗	๑๘.๑	๒๒.๕
		๔๐๐	๙.๐	๑๓.๒	๑๗.๕	๒๑.๕
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	๑๕	๑๔.๐	๑๙.๙	๒๕.๘	๓๑.๗
		๓๐	๑๓.๖	๑๙.๕	๒๕.๔	๓๑.๒
		๕๐	๑๓.๒	๑๙.๐	๒๕.๘	๓๐.๕
		๑๐๐	๑๒.๒	๑๗.๗	๒๓.๓	๒๘.๘
		๒๐๐	๑๐.๕	๑๕.๕	๒๐.๖	๒๕.๖
		๓๐๐	๙.๕	๑๔.๑	๑๘.๖	๒๓.๒
		๔๐๐	๙.๒	๑๓.๕	๑๗.๙	๒๒.๓
	ทิศใต้	๑๕	๑๔.๑	๒๐.๐	๒๖.๐	๓๒.๐
		๓๐	๑๓.๗	๑๙.๖	๒๕.๕	๓๑.๔
		๕๐	๑๓.๒	๑๙.๐	๒๕.๘	๓๐.๖
		๑๐๐	๑๒.๑	๑๗.๖	๒๓.๑	๒๘.๖
		๒๐๐	๑๐.๔	๑๕.๓	๒๐.๓	๒๕.๒
		๓๐๐	๙.๔	๑๓.๙	๑๘.๔	๒๒.๙
		๔๐๐	๙.๑	๑๓.๔	๑๗.๘	๒๒.๑
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	๑๕	๑๓.๘	๑๙.๖	๒๕.๕	๓๑.๒
		๓๐	๑๓.๔	๑๙.๑	๒๕.๘	๓๐.๕
		๕๐	๑๒.๙	๑๘.๔	๒๕.๐	๒๙.๕
		๑๐๐	๑๑.๗	๑๗.๐	๒๒.๒	๒๗.๔
		๒๐๐	๑๐.๐	๑๕.๗	๑๙.๓	๒๔.๐
		๓๐๐	๙.๑	๑๓.๓	๑๗.๖	๒๑.๘
		๔๐๐	๘.๘	๑๓.๐	๑๗.๑	๒๑.๒

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $\text{TD}_{\text{eq}}$ ) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (k.l/(m <sup>2</sup> .°C))	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๗๕	ทิศตะวันตก	๑๕	๑๓.๓	๑๘.๖	๒๔.๐	๒๙.๓
		๓๐	๑๒.๙	๑๘.๑	๒๓.๓	๒๘.๕
		๕๐	๑๒.๓	๑๗.๔	๒๒.๕	๒๗.๖
		๑๐๐	๑๑.๑	๑๕.๙	๒๐.๖	๒๕.๔
		๒๐๐	๙.๕	๑๓.๗	๑๗.๙	๒๒.๑
		๓๐๐	๘.๖	๑๒.๔	๑๖.๔	๒๐.๓
		๔๐๐	๘.๔	๑๒.๒	๑๖.๐	๑๙.๘
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๒.๕	๑๗.๒	๒๑.๙	๒๖.๖
		๓๐	๑๒.๑	๑๖.๗	๒๑.๓	๒๕.๙
		๕๐	๑๑.๖	๑๖.๐	๒๐.๕	๒๕.๐
		๑๐๐	๑๐.๔	๑๔.๖	๑๘.๘	๒๓.๐
		๒๐๐	๘.๙	๑๒.๖	๑๖.๓	๒๐.๑
		๓๐๐	๘.๑	๑๑.๖	๑๕.๐	๑๘.๕
		๔๐๐	๘.๐	๑๑.๓	๑๔.๗	๑๘.๑
๙๐	ทิศเหนือ	๑๕	๑๐.๘	๑๔.๑	๑๗.๔	๒๐.๗
		๓๐	๑๐.๔	๑๓.๗	๑๖.๙	๒๐.๑
		๕๐	๑๐.๐	๑๓.๒	๑๖.๓	๑๙.๕
		๑๐๐	๙.๑	๑๒.๑	๑๕.๑	๑๘.๑
		๒๐๐	๗.๙	๑๐.๖	๑๓.๔	๑๖.๑
		๓๐๐	๗.๓	๙.๙	๑๒.๕	๑๕.๑
		๔๐๐	๗.๑	๙.๖	๑๒.๒	๑๔.๗
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๑.๙	๑๖.๐	๒๐.๑	๒๔.๒
		๓๐	๑๑.๖	๑๕.๗	๑๙.๘	๒๓.๘
		๕๐	๑๑.๒	๑๕.๓	๑๙.๓	๒๓.๔
		๑๐๐	๑๐.๔	๑๔.๓	๑๘.๓	๒๒.๒
		๒๐๐	๙.๑	๑๒.๘	๑๖.๕	๒๐.๒
		๓๐๐	๘.๔	๑๑.๘	๑๕.๒	๑๘.๖
		๔๐๐	๘.๑	๑๑.๓	๑๔.๕	๑๗.๘

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา



มุมเอียงของ ผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH ( $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ )	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๙๐	ทิศตะวันออก	๑๕	๑๒.๖	๑๗.๒	๒๑.๙	๒๖.๕
		๓๐	๑๒.๓	๑๖.๙	๒๑.๕	๒๖.๑
		๕๐	๑๑.๙	๑๖.๕	๒๑.๑	๒๕.๖
		๑๐๐	๑๑.๑	๑๕.๕	๒๐.๐	๒๔.๔
		๒๐๐	๙.๘	๑๓.๙	๑๘.๐	๒๒.๒
		๓๐๐	๙.๐	๑๒.๘	๑๖.๖	๒๐.๙
		๔๐๐	๘.๖	๑๒.๒	๑๕.๘	๑๙.๙
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	๑๕	๑๓.๐	๑๗.๙	๒๒.๗	๒๗.๖
		๓๐	๑๒.๖	๑๗.๕	๒๒.๓	๒๗.๒
		๕๐	๑๒.๒	๑๗.๐	๒๑.๘	๒๖.๕
		๑๐๐	๑๑.๓	๑๕.๙	๒๐.๕	๒๕.๑
		๒๐๐	๙.๙	๑๔.๑	๑๘.๔	๒๒.๖
		๓๐๐	๙.๑	๑๓.๐	๑๖.๙	๒๐.๘
		๔๐๐	๘.๗	๑๒.๕	๑๖.๒	๑๙.๙
	ทิศใต้	๑๕	๑๓.๐	๑๘.๐	๒๒.๙	๒๗.๘
		๓๐	๑๒.๗	๑๗.๕	๒๒.๓	๒๗.๑
		๕๐	๑๒.๒	๑๖.๙	๒๑.๖	๒๖.๓
		๑๐๐	๑๑.๑	๑๕.๖	๒๐.๑	๒๔.๖
		๒๐๐	๙.๗	๑๓.๗	๑๗.๘	๒๑.๙
		๓๐๐	๘.๙	๑๒.๗	๑๖.๕	๒๐.๓
		๔๐๐	๘.๖	๑๒.๒	๑๕.๙	๑๙.๕
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	๑๕	๑๒.๘	๑๗.๖	๒๒.๓	๒๗.๐
		๓๐	๑๒.๕	๑๗.๐	๒๑.๖	๒๖.๓
		๕๐	๑๑.๘	๑๖.๓	๒๐.๘	๒๕.๓
		๑๐๐	๑๐.๗	๑๕.๙	๑๙.๑	๒๓.๓
		๒๐๐	๙.๒	๑๓.๐	๑๖.๗	๒๐.๕
		๓๐๐	๘.๕	๑๒.๐	๑๕.๕	๑๙.๐
		๔๐๐	๘.๓	๑๑.๗	๑๕.๑	๑๘.๕

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	DSH (k.J/(m <sup>2</sup> .°C))	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			๐.๓	๐.๕	๐.๗	๐.๙
๙๐	ทิศตะวันตก	๑๕	๑๒.๓	๑๖.๗	๒๑.๑	๒๕.๕
		๓๐	๑๑.๙	๑๖.๒	๒๐.๕	๒๕.๗
		๕๐	๑๑.๓	๑๕.๕	๑๙.๖	๒๓.๗
		๑๐๐	๑๐.๒	๑๔.๐	๑๗.๘	๒๑.๖
		๒๐๐	๘.๗	๑๒.๑	๑๕.๕	๑๘.๙
		๓๐๐	๘.๑	๑๑.๒	๑๔.๕	๑๗.๖
	ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	๑๕	๑๑.๗	๑๕.๖	๑๙.๕	๒๓.๔
		๓๐	๑๑.๒	๑๕.๐	๑๘.๙	๒๒.๗
		๕๐	๑๐.๗	๑๔.๔	๑๘.๑	๒๑.๘
		๑๐๐	๙.๖	๑๓.๐	๑๖.๕	๑๙.๙
		๒๐๐	๘.๒	๑๑.๓	๑๔.๓	๑๗.๔
		๓๐๐	๗.๖	๑๐.๕	๑๓.๕	๑๖.๓
		๔๐๐	๗.๕	๑๐.๓	๑๓.๑	๑๖.๐

ภาพที่ 16 (ต่อ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) ผนังทึบของอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา

#### 5.8 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U<sub>f</sub>)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงให้คำนวณโดยวิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ โดยเลือกใช้สมการค่าความต้านทานความร้อนที่ (4) , (5) และ (6) แล้วแต่กรณีขึ้นอยู่กับชนิดของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าวให้ใช้วิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

กระจกชั้นเดียว ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U<sub>f</sub>) ของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียว ให้คำนวณจากสมการ (9) โดยค่าความต้านทานความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสง

$$U_f = \frac{1}{R_f} \quad (9)$$

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o \quad (10)$$

เมื่อ	$R_f$	คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )
	$R_i$ และ $R_o$	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายใน และภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 1
	$\Delta x$	คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นเมตร (m)
	$k_g$	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

กระจกลามิเนต ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกลามิเนต ให้คำนวณจากสมการที่ (4) และ (5) หรือให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือโปร่งแสงหลายชั้น และมีช่องว่างอากาศภายในให้คำนวณจากสมการที่ (4) และ (6) ในการคำนวณค่าความต้านทานของช่องว่างอากาศจากตารางที่ 5 หรือให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ตารางที่ 5 ความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความหนาของ ช่องว่างอากาศ , มิลลิเมตร (mm)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ , ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	
	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
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

สำหรับช่องว่างอากาศระหว่างผนังโปร่งแสงหรือกระจกทั่วไป ให้ใช้ค่าพื้นผิวผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ในกรณีผนังโปร่งแสงหรือวัสดุกระจกที่ติดช่องว่างอากาศนั้นถูกเคลือบด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (Low emissivity coating) ให้ใช้ค่าพื้นผิวผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ

สำหรับกรณีของความหนาของช่องว่างอากาศมีค่าที่กำหนดในตารางที่ 5 ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงที่ต้องการเพื่อหาความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ และในกรณีที่มีช่องว่างอากาศมีความหนาเกิน 13 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่มีความหนา 13 มิลลิเมตร

#### 5.9 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ซึ่งใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง ในสมการค่า  $OTTV_i$  สมการ (1) ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร สำหรับอาคารแต่ละประเภท ให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

ประเภทของอาคาร	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร $\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
สถานศึกษา สำนักงาน	5
โรงแรมรีสอร์ท ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	5
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	3

5.10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังหรือหลังคาโปร่งแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งเป็นผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ดูดกลืนไว้ในตัวผนังโปร่งแสง

ค่า SHGC ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตผนังโปร่งแสงหรือกระจก ที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าวให้ใช้ค่าตามภาพที่ 17

ความหนา ของกระจก (mm)	ชนิดของกระจก	ค่าการส่งผ่านรังสี ที่ตามองเห็น ( $\tau_{vis}$ )	สัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อน จากรังสีอาทิตย์ (SHGC)
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว			
๖	กระจกใส	๐.๘๘	๐.๗๓
๖	กระจกสีbronze	๐.๕๔	๐.๕๔
๖	กระจกสีเขียว	๐.๗๖	๐.๕๔
๖	กระจกสีเทา	๐.๔๖	๐.๕๒
๖	กระจกสีฟ้าอมเขียว	๐.๗๕	๐.๕๕
กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว			
๖	กระจกใสเคลือบโลหะสแตนเลส ๒๐%	๐.๒๐	๐.๒๘

ภาพที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible transmittance,  $\tau_{vis}$ ) ของกระจกชนิดต่าง ๆ

ความหนา ของกระจก (mm)	ชนิดของกระจก	ค่าการส่งผ่านรังสี ที่ตามองเห็น ( $\tau_{vis}$ )	สัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อน จากรังสีอาทิตย์ (SHGC)
๖	กระจกใสเคลือบโทเทเนียม ๒๐%	๐.๒๐	๐.๒๗
๖	กระจกใสเคลือบโทเทเนียม ๓๐%	๐.๓๐	๐.๓๕
กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว			
๖	กระจกใส - กระจกใส	๐.๗๘	๐.๖๐
๖	กระจกสีบรอนซ์ - กระจกใส	๐.๔๗	๐.๔๑
๖	กระจกสีเขียว - กระจกใส	๐.๖๘	๐.๔๑
๖	กระจกสีเทา - กระจกใส	๐.๔๑	๐.๓๕
๖	กระจกสีฟ้าอมเขียว - กระจกใส	๐.๖๗	๐.๔๓
๖	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง - กระจกใส	๐.๕๕	๐.๓๓
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น			
๖	กระจกใสเคลือบโทเทเนียม ๓๐% และกระจกใส	๐.๒๗	๐.๒๕
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีเท่ากับ ๐.๒)			
๖	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ และกระจกใส	๐.๗๓	๐.๕๓
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีเท่ากับ ๐.๑)			
๖	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ และกระจกใส	๐.๗๒	๐.๔๔
๖	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง - กระจกเคลือบสารที่มี สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	๐.๕๗	๐.๒๗

ภาพที่ 17 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตา  
มองเห็น (Visible transmittance,  $\tau_{vis}$ ) ของกระจกชนิดต่าง ๆ

### 5.11 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient ,SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์การบังแดดภายนอก คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง ประกอบด้วยรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และรังสีกระจายจากท้องฟ้า วัตถุประสงค์หลักในการใช้อุปกรณ์บังแดดเพื่อบังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ แต่อุปกรณ์จะบังบางส่วนของรังสีกระจายจากท้องฟ้าด้วย รังสีกระจายจากท้องฟ้าที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคารในระดับที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้เพื่อการช่องสว่างด้วยแสงธรรมชาติ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารประกอบด้วย สัมประสิทธิ์การบังรังสีตรง สัมประสิทธิ์การบังรังสีกระจาย และสัมประสิทธิ์การบังรังสีรวม

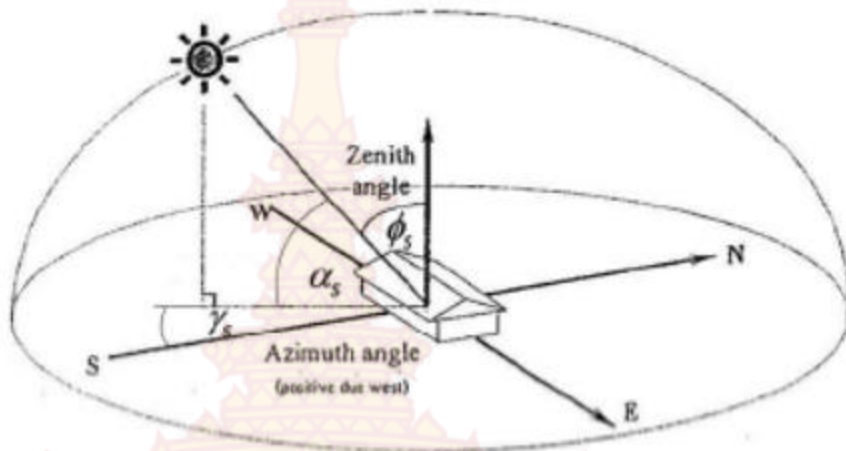
1) สัมประสิทธิ์การบังรังสีตรง คืออัตราส่วนของรังสีตรงที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่างต่อปริมาณรังสีรวมที่ตกที่หน้านั้นเมื่อไม่มีอุปกรณ์บังแดด

2) สัมประสิทธิ์การบังรังสีกระจาย คือ อัตราส่วนของรังสีกระจายที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่างต่อปริมาณรังสีรวมที่ตกที่หน้านั้นเมื่อไม่มีอุปกรณ์บังแดด

3) สัมประสิทธิ์การบังรังสีรวม คือ อัตราส่วนของรังสีที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่างต่อปริมาณรังสีรวมที่ตกที่หน้านั้นเมื่อไม่มีอุปกรณ์บังแดด ค่าสัมประสิทธิ์การบังรังสีรวมคือผลบวกของค่าสัมประสิทธิ์การบังรังสีตรงกับค่าสัมประสิทธิ์การบังรังสีตรงกับค่าสัมประสิทธิ์การบังรังสีกระจาย

ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใด ๆ บนพื้นโลก สามารถระบุได้โดยใช้ค่ามุมเงยหรือมุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Altitude angle ;  $\alpha_s$ ) ซึ่งเป็นมุมที่แนวรังสีตรงของดวงอาทิตย์กระทำกับแนวระดับของพื้นโลก และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (Azimuth ;  $\gamma_s$ ) ซึ่งเป็นมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกระทำกับทิศใต้ของโลก ภาพที่ 18 แสดงมุมเงยและมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์จุดกึ่งกลางของภาพคือ ตำแหน่งที่สังเกตบนพื้นโลกและทิศทางของดวงอาทิตย์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้





ภาพที่ 18 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของจุดใด ๆ บนพื้นโลก

เวลาสุริยะ (Solar time,  $t_s$ ) คือเวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยเวลาที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีค่าเงยหรือมุมยกขึ้น (Altitude) สูงสุดคือ เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) เวลาสุริยะให้คำนวณจากสมการที่ (11)

$$(11) \quad t_s = t_l - 4(L_{gs} - L_{gl}) + E_{qt}$$

เมื่อ  $t_s$  คือ เวลาสุริยะ

$t_l$  คือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น

$L_{gs}$  คือ เส้นแวงหลักมาตรฐานสำหรับประเทศไทย เท่ากับ 105 องศาตะวันออก

$L_{gl}$  คือ เส้นแวงของตำแหน่งที่พิจารณา สำหรับประเทศไทย

ให้ใช้ค่าเท่ากับ 100.5 องศาตะวันออก

$E_{qt}$  คือ สมการของเวลา (Equation of time) หรือ

ผลต่างของเวลาสุริยะกับเวลาปกติมีหน่วยเป็นนาที

สมการของเวลาให้คำนวณจากสมการที่ (12) และ (13)

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

$$B = (360^\circ)(j_d - 81) / 364 \quad (13)$$

เมื่อ  $j_d$  คือ วันจูเลียน (Julian date) เป็นลำดับที่ของวันในหนึ่งปี

$$(1 \leq j_d \leq 365)$$

เช่น 1 = วันที่ 1 มกราคม หรือ 152 = วันที่ 1 มิถุนายน เป็นต้น

ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมเงยและมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ ให้คำนวณจากสมการที่ (14) และ (15)

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

$$\sin \gamma_s = (\cos \delta)(\sin \omega) / (\cos \alpha_s) \quad (15)$$

เมื่อ  $L_t$  คือ เส้นรุ้ง (Latitude) ของตำแหน่งที่พิจารณา เช่น

กรุงเทพมหานคร เท่ากับ 13.7 องศาเหนือ

$\delta$  คือ มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ หรือมุมเดคลิชั่น (Declination angle)

มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad)

$\omega$  คือ มุมตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar hour angle)

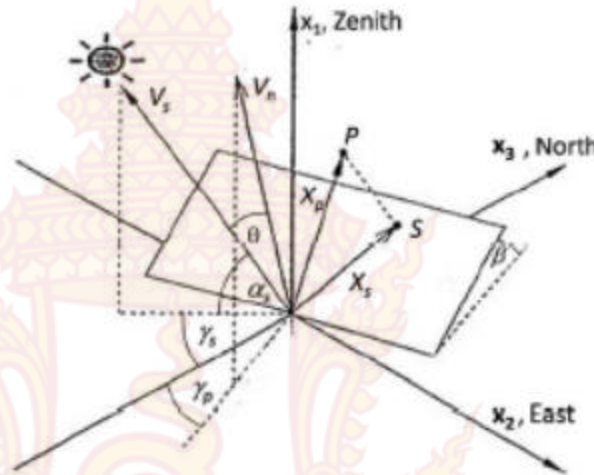
มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad)

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

มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ คือ มุมที่แนวลำแสงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกกระทำกับระนาบเส้นศูนย์สูตร มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์สำหรับวันจูเลียน ( $j_d$ ) ใดๆ ให้คำนวณจากสมการที่ (17)

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{(360^\circ)(284 + jd)}{365}\right) \quad (17)$$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ตำแหน่งทิศทางของดวงอาทิตย์ ให้คำนวณจากสมการดังนี้



ภาพที่ 19 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่าง ๆ บนระนาบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

พิจารณาพิกัด  $(x_1, x_2, x_3)$  ซึ่งถูกกำหนดตำแหน่งของจุดหนึ่งบนพื้นโลก แกน  $x_1$  ของพิกัดนี้ตรงกับแนวซีกนิต (Zenith) แกน  $x_2$  ตรงกับทิศตะวันออกและ แกน  $x_3$  ตรงกับทิศเหนือ เวกเตอร์แสดงทิศทางของดวงอาทิตย์ (โซลาร์เวคเตอร์,  $V_s^x$ ) ซึ่งตั้งฉากกับระนาบเอียง ให้คำนวณจากสมการ (18) และ (19)

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

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

$$\begin{aligned}\cos \theta &= (V_s^x, V_n^x) \\ &= (\sin \alpha_s)(\cos \beta) + \\ &(\cos \alpha_s)(\sin \gamma_s)(\sin \beta)(\sin \gamma_p) + (\cos \alpha_s)(\cos \gamma_s)(\sin \beta)(\sin \gamma_p)\end{aligned}\quad (20)$$

เมื่อ  $\theta$  คือ มุมระหว่างเวกเตอร์ทั้งสอง คำนวณค่า  $\cos \theta$

ให้คำนวณจากสมการที่ (20)

$\beta$  คือ มุมเอียง (Inclination angle) ของระนาบที่พิจารณา

$\gamma_p$  คือ มุมอะซิมุทของระนาบที่พิจารณา (Azimuth of surface)

$\cos \theta$  คือ โคไซน์ของมุมระหว่างระนาบที่พิจารณากับทิศทางของดวงอาทิตย์

(โซลาร์เวกเตอร์)

รังสีอาทิตย์บนระนาบที่ไม่มีการบังแดด ( $E_{et\theta}$ ) สำหรับกรณีที่ช่องแสงของผนังหรือระนาบใด ๆ ไม่มีการบังแดดปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบลงบนระนาบดังกล่าว ให้คำนวณจากสมการที่ (21)

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

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

$E_{ed}$  คือ รังสีตรงในแนวของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวแนวนอน

มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )

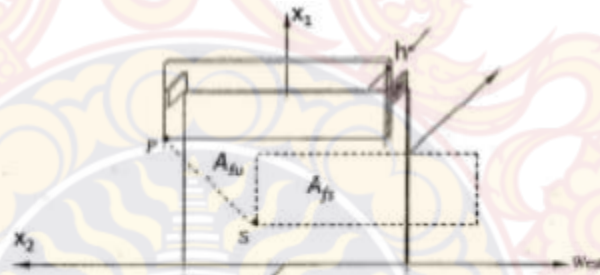
ตำแหน่งของเงาบนระนาบที่พิจารณา จากรูปที่ 4 หากกำหนดให้  $X_p$  เป็นเวกเตอร์แสดงพิกัดของจุด P ซึ่งอยู่เหนือระนาบที่พิจารณาและให้ระยะทางจากระนาบเอียงถึงจุด P เท่ากับ  $h$  และให้  $S$  เป็นเงาของจุด P ที่ตกลงบนระนาบที่พิจารณาเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ เวกเตอร์  $X_s$  แสดงพิกัดของจุด S เวกเตอร์  $X_p$  และ  $V_s^x$  มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ (22)

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

เงาจะเกิดขึ้นบนระนาบที่พิจารณา ก็ต่อเมื่อจุดที่ทำให้เกิดเงา อยู่เหนือหรือหน้าระนาบที่พิจารณาและเมื่อดวงอาทิตย์หันเข้าหาระนาบที่พิจารณา ในการคำนวณหาเงาที่เกิดขึ้นบนระนาบใด ๆ จากอุปกรณ์บังแดด ก็อาศัยหลักในการหาตำแหน่งของจุดเงาที่มุมของอุปกรณ์บังแดด เช่นเดียวกันกับการหาพิกัดของเงาของจุด P

เงาที่เกิดจากอุปกรณ์บังแดดให้พิจารณาอุปกรณ์บังแดดแนวนอนด้านหน้าของหน้าต่างในภาพที่

20



ภาพที่ 20 การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง

ในกรณีของตัวอย่างหน้าต่างหันไปทางทิศเหนือ จุด P จะอยู่ที่มุมของอุปกรณ์บังแดด ถ้าพิกัดของจุด P แทนด้วย  $X_p$  พิกัดของจุด S หรือจุดเงาที่เกิดขึ้นบนระนาบของหน้าต่างอันเนื่องมาจากจุด P แทนด้วย  $X_s$  เวกเตอร์  $X_s$  ให้คำนวณจากสมการที่ (22) สำหรับกรณีนี้  $h$  คือ ระยะทางระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับหน้าต่างพื้นที่ยกเงาที่เกิดขึ้น คือ พื้นที่ที่เกิดจากการต่อจุดของจุดเงาที่เกิดจากมุมแต่ละมุมของ

อุปกรณ์กันแดด พื้นที่  $A_{fs}$  คือ พื้นที่ที่เกิดเงาบนหน้าต่างซึ่งก็คือพื้นที่ที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ พื้นที่  $A_{fu}$  คือ พื้นที่ที่ไม่เกิดเงาบนหน้าต่าง ทั้งรังสีตรงและบางส่วนของรังสีกระจายของดวงอาทิตย์จึงตกลงบนพื้นที่ส่วน  $A_{fu}$  นี้ ขณะที่มิเฉพาะรังสีกระจายบางส่วนของดวงอาทิตย์เท่านั้นที่ตกลงพื้นที่ส่วน  $A_{fs}$

รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าต่างที่มีอุปกรณ์บังแดด ถ้าพื้นที่ของหน้าต่างไม่อยู่ภายใต้เงาคือ  $A_{fu}$  และพื้นที่หน้าต่างทั้งหมดคือ  $A_f$  รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบหน้าต่าง ( $E_{ew}$ ) สำหรับหน้าต่างมุมเอียง  $\beta$  ให้คำนวณจากสมการที่ (23)

$$E_{ew} = \left( \frac{A_{fu}}{A_f} \right) (E_{es}) (\cos\theta) + (E_{ed}) \frac{(1+\cos\theta)}{2} \quad (23)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (SC) ให้คำนวณจากสมการที่ (24)

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

เมื่อ  $E_{ew}$  คือ รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )

$E_{et\theta}$  คือ รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณา

เสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )

ค่าเฉลี่ยตลอดปีของสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด หาได้จากอัตราส่วนของผลรวมของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบหน้าต่างที่พิจารณาตลอดช่วงเวลาการใช้งานอาคารในแต่ละวันของวันอ้างอิง 4 วัน ต่อผลรวมของปริมาณรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดดในช่วงเวลาเดียวกัน โดยวันที่อ้างอิงทั้ง 4 วันคือวันที่ 21 มีนาคม วันที่ 22 มิถุนายน วันที่ 23 กันยายน และวันที่ 22 ธันวาคม โดยค่าเฉลี่ยตลอดปีของสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ให้คำนวณจากการสมการที่ (25)

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

เมื่อ  $(SC)_y$  คือ ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังรังสีรวมของอุปกรณ์บังแดด ภายนอกอาคาร

i และ n คือ ชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตก

รังสีตรง ( $E_{es}$ ) และรังสีกระจาย ( $E_{ed}$ ) ของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวแนวนอน สำหรับวันอ้างอิง 4 วัน ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในภาพที่ 21

เวลา	พลังงานของรังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )							
	๒๑ มีนาคม		๒๒ มิถุนายน		๒๓ กันยายน		๒๒ ธันวาคม	
	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse
๑.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๓.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๔.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๕.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๖.๐๐	๐.๐	๐.๐	๓.๕	๕.๖	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๗.๐๐	๖๘.๕	๔๔.๕	๑๐๕.๐	๓๓.๘	๕๔.๔	๓๓.๑	๖๔.๔	๑๕.๕

ภาพที่ 21 รังสีตรง (Beam,  $E_{es}$ ) รังสีกระจาย (Diffuse,  $E_{ed}$ ) ของดวงอาทิตย์สำหรับวันอ้างอิง 4 วัน

เวลา	พลังงานของรังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )							
	๒๑ มีนาคม		๒๒ มิถุนายน		๒๓ กันยายน		๒๒ ธันวาคม	
	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse
๘.๐๐	๑๘๕.๗	๑๒๑.๖	๑๕๖.๒	๑๔๕.๔	๒๐๒.๓	๑๖๕.๑	๒๗๐.๐	๘๓.๕
๙.๐๐	๒๕๐.๑	๑๕๐.๐	๒๓๕.๖	๒๐๘.๓	๒๕๖.๒	๒๔๑.๘	๔๕๔.๔	๑๘๐.๕
๑๐.๐๐	๓๓๔.๘	๒๔๕.๕	๓๓๘.๖	๒๕๐.๕	๓๖๕.๕	๓๐๒.๐	๖๐๓.๓	๑๘๖.๕
๑๑.๐๐	๔๓๓.๘	๒๘๔.๑	๓๘๑.๒	๒๘๒.๖	๔๑๘.๓	๓๔๑.๔	๗๐๔.๕	๒๑๗.๕
๑๒.๐๐	๔๖๓.๒	๓๐๓.๔	๔๐๑.๑	๒๕๗.๓	๔๓๗.๕	๓๕๗.๕	๗๕๑.๓	๒๓๒.๒
๑๓.๐๐	๔๖๑.๐	๓๐๑.๕	๓๕๗.๐	๒๕๔.๒	๔๒๗.๖	๓๔๕.๐	๗๓๘.๕	๒๒๘.๔
๑๔.๐๐	๔๒๗.๓	๒๗๕.๘	๓๖๕.๑	๒๗๓.๖	๓๘๘.๐	๓๑๖.๗	๖๖๘.๗	๒๐๖.๗
๑๕.๐๐	๓๖๔.๕	๒๓๘.๗	๓๑๕.๑	๒๓๖.๕	๓๒๑.๓	๒๖๒.๖	๕๔๖.๑	๑๖๘.๘
๑๖.๐๐	๒๗๖.๗	๑๘๑.๒	๒๕๐.๐	๑๘๕.๓	๒๓๓.๕	๑๕๐.๖	๓๘๐.๘	๑๑๗.๗
๑๗.๐๐	๑๗๐.๐	๑๑๑.๓	๑๖๕.๕	๑๒๓.๐	๑๒๕.๒	๑๐๕.๕	๑๘๕.๖	๕๗.๔
๑๘.๐๐	๕๑.๗	๓๓.๕	๗๒.๐	๕๓.๓	๑๖.๑	๑๓.๑	๐.๐	๐.๐
๑๙.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๐.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๑.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๒.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๓.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๔.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐

ภาพที่ 21 (ต่อ) รังสีตรง (Beam,  $E_{es}$ ) รังสีกระจาย (Diffuse,  $E_{ed}$ ) ของดวงอาทิตย์สำหรับวันอ้างอิง 4 วัน

### 5.12 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือรังสีอาทิตย์รวมทั้งที่ตกกระทบบนผนังที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังให้วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับผิวพื้นโลก (หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้ง จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบนอน (หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา



ค่ารังสีที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียงและทิศทางผนังต่าง ๆ ของอาคารแต่ละประเภท ให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 10 ดังต่อไปนี้ (กรณีที่มุมเอียงและทิศทางไม่ตรงกับค่าในตารางให้ใช้วิธีประมาณค่าในช่วง)

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m <sup>2</sup> )							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘
๑๕	๔๐๕.๐๐	๔๒๑.๗๙	๔๓๓.๖๐	๔๔๐.๐๐	๔๔๑.๖๒	๔๓๗.๕๐	๔๓๑.๕๑	๔๑๕.๕๓
๓๐	๓๖๘.๕๕	๓๕๐.๒๐	๔๑๒.๕๖	๔๒๕.๔๘	๔๒๘.๕๕	๔๒๒.๕๘	๔๐๘.๓๕	๓๖๘.๖๕
๔๕	๓๐๖.๖๘	๓๔๘.๓๑	๓๗๕.๕๘	๓๕๗.๑๗	๔๐๑.๔๗	๓๕๓.๒๐	๓๗๒.๕๗	๓๑๑.๖๐
๖๐	๒๕๕.๓๗	๓๐๑.๖๐	๓๓๗.๖๐	๓๖๘.๔๙	๓๖๓.๕๕	๓๖๓.๑๘	๓๒๘.๖๒	๒๕๓.๓๓
๗๕	๒๐๒.๓๕	๒๕๕.๖๐	๒๕๐.๒๐	๓๐๒.๖๕	๓๐๗.๗๐	๓๐๖.๕๒	๒๘๑.๐๑	๒๑๖.๗๐
๙๐	๑๘๕.๐๖	๒๑๕.๘๙	๒๑๙.๕๓	๒๖๓.๑๙	๒๖๗.๔๑	๒๖๖.๘๒	๒๓๑.๕๘	๒๑๗.๖๒

ภาพที่ 22 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทสำนักงานหรือสถานศึกษา

## 6.โปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)

โปรแกรม Microsoft Office Excel เป็นโปรแกรมประเภท “ตารางคำนวณ” หรือ “Spreadsheet” มักใช้ในการคำนวณทางธุรกิจ ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนความยุ่งยากและลดเวลาการคำนวณ และยังสามารถสรุปและวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อช่วยในการตัดสินใจ

โปรแกรม SketchUp เป็นโปรแกรมออกแบบที่มีความสามารถในการเปลี่ยนภาพวาดโครงร่างให้กลายเป็นภาพงานจำลอง 3 มิติ เป็นโปรแกรมขนาดเล็ก จึงทำให้มีการประมวลผลออกมาอย่างรวดเร็ว และสามารถหา Plug-In เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงผลภาพที่ได้มากขึ้น โดยงานวิจัยนี้ใช้ plug-in ในการคำนวณค่า สัมประสิทธิ์การบังแดด (SC: Shading Coefficient)

### บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

#### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

อาคารที่ใช้ในการวิจัย คือ อาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศาลายา

#### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรม Microsoft Office Excel และโปรแกรม SketchUp

#### 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ด้านทิศตะวันตก ซึ่งเปรียบเทียบผนังที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดและติดตั้งแผงบังแดด โดยหาจากสมการ (26)

$$OTTV_i = (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (26)$$

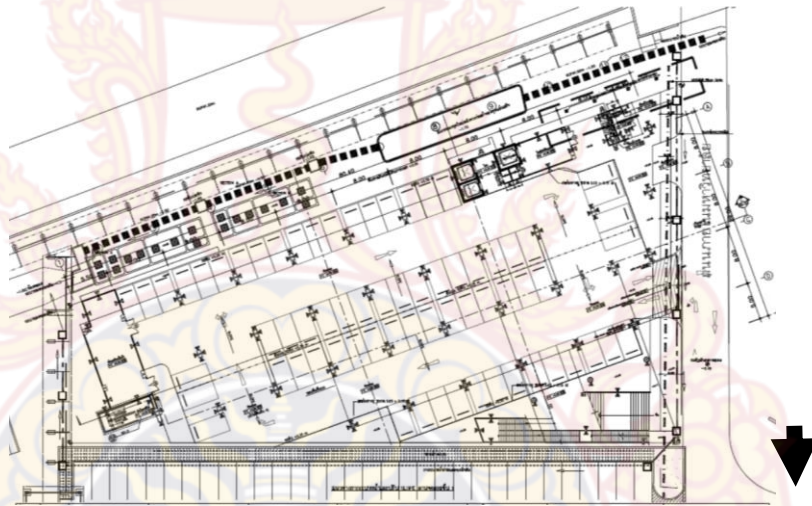
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย/ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

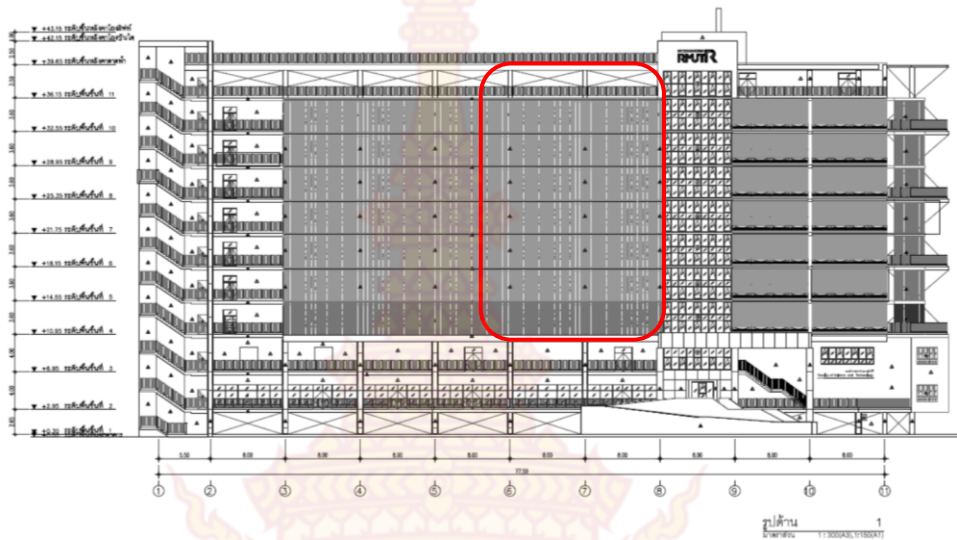
#### 1. ผลการทดสอบการทำความร้อนของผนังนอกอาคารด้านทิศตะวันตก

คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ด้านทิศตะวันตก ภาพที่ 24 และ 25 ซึ่งเปรียบเทียบผนังที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดและติดตั้งแผงบังแดด โดยหาจากสมการ (27) ดังต่อไปนี้

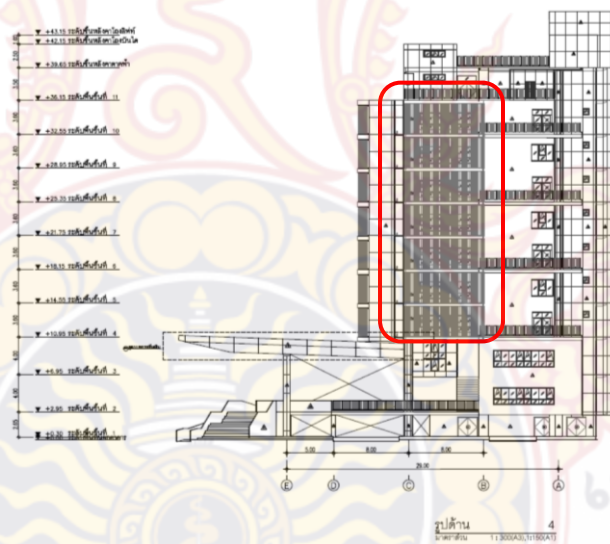
$$OTTV_i = (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (27)$$



ภาพที่ 23 แสดงผังและทิศทางของอาคาร



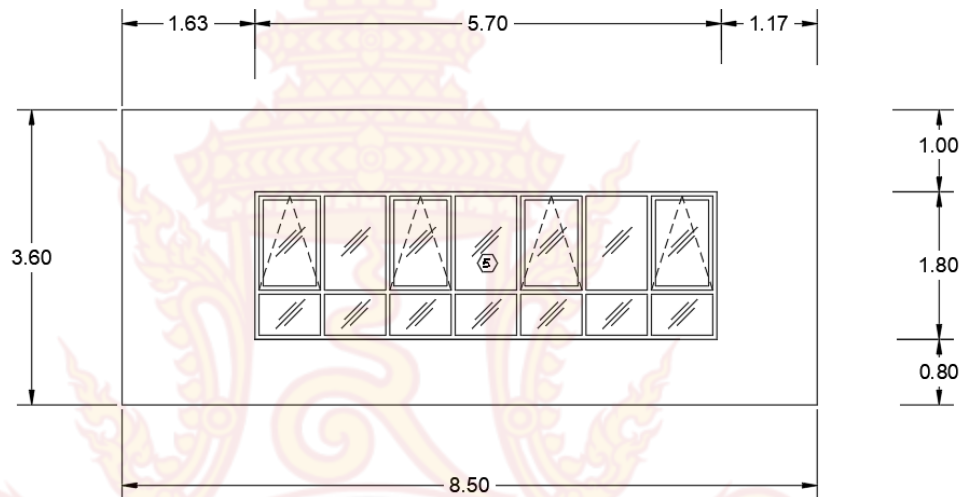
ภาพที่ 24 แสดงผนังที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นผนังที่ติดตั้งแผงบังแดดและอยู่ด้านทิศตะวันตก



ภาพที่ 25 แสดงผนังที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นผนังที่ติดตั้งแผงบังแดดและอยู่ด้านทิศตะวันตก

## 1.1 ผนังที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด

1) ผนัง 1 ภาพที่ 26 เป็นผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 0.07 m. ฉาบปูนภายนอกและภายใน 0.03 m. พร้อมติดตั้งหน้าต่างกระจกเขียวใสหนา 6 mm. ผนังสูง 3.60 m กว้าง 8.50 m โดยมีหน้าต่างสูง 1.80 m กว้าง 5.70 m สูงจากพื้น 0.80 m



ภาพที่ 26 ลักษณะผนัง 1

1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่บโดยหาจากสมการ ( $U_w$ )

โดยค่า  $U_w$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่บโดยหาจากสมการที่ (28)

$$U_w = \frac{1}{R_T} \quad (28)$$

โดยค่า  $R$  คือ ความต้านทานความร้อนของวัสดุโดยหาจากสมการที่ (29)

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (29)$$

เมื่อ  $\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k$  คือ สัมประสิทธิ์ การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ผนัง1

วัสดุ	ความหนา	K (W/m <sup>2</sup> .°C)	R (°C. m <sup>2</sup> /W)
คอนกรีตมวลเบา	0.07m	0.467	0.150
ปูนฉาบ (ภายใน)	0.015m	0.326	0.046
ปูนฉาบ (ภายนอก)	0.015m	0.326	0.046

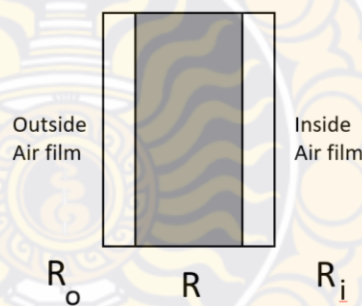
กรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า  $R_T$  ของส่วนใด ๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ  $n$  ชนิดที่แตกต่าง ดังภาพที่ 27 ให้คำนวณจากสมการที่ (30)

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (30)$$

โดย  $R_T$  คือ ความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)

$R_o$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)

$R_i$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)



ภาพที่ 27 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ ผนัง1

โดยค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ผนัง1

รายการ	$R_i$	$R_o$
ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ	0.12	0.044

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น ค่า } R_T &= 0.044+0.150+0.046+0.046+0.12 \\ &= 0.406 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่า } U_w &= 1/0.406 \\ &= 2.464 \end{aligned}$$

2) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $U_f$ )

โดยค่า  $U_f$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $U_f$ ) ของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียวโดยหาจากสมการ (31)

$$U_f = \frac{1}{R_f} \quad (31)$$

โดยค่า  $R_f$  ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงโดยหาจากสมการ (32)

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o \quad (32)$$

เมื่อ  $R_f$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$R_i$  และ  $R_o$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายในและภายนอกอาคาร ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$\Delta x$  คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k_g$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือ

ผนังโปร่งแสง(W/m.°C)

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น ค่า } R_f &= 0.12 + (0.06/0.96) + 0.044 \\ &= 0.227 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่า } U_f &= 1/0.227 \\ &= 4.415 \end{aligned}$$

3) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ (Equivalent temperature difference,  $TD_{eq}$ )

โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $\alpha$ ) ของพื้นผิวด้านนอกของผนังทึบ วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.7

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-specific heat product, DSH) กรณีที่ผนังทึบประกอบด้วยวัสดุ  $i$  เพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่น ( $\rho_i$ ) ความร้อนจำเพาะเท่ากับ ( $c_{pi}$ ) และมีความหนา ( $\Delta x_i$ ) ผลคูณของความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนังจากสมการ (33)

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i) \quad (33)$$

ตารางที่ 9 ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง1

วัสดุ	Density-specific heat product (DSH)	
คอนกรีตมวลเบา	$1280 \times 0.84 \times 0.07$	75.864
ปูนฉาบ	$1200 \times 0.84 \times 0.03$	30.24
ผนังทึบ		105.504



เพราะฉะนั้นค่า  $TD_{eq}$  ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังที่ด้านทิศตะวันตกตามตารางที่ 10

**ตารางที่ 10** ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังที่ด้านทิศตะวันตกของผนัง 1

DSH	$TD_{eq}$
	ทิศตะวันตก
105.504	17.777

4) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

โดยค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในของอาคารประเภทสถานศึกษาและสำนักงาน 5 °C

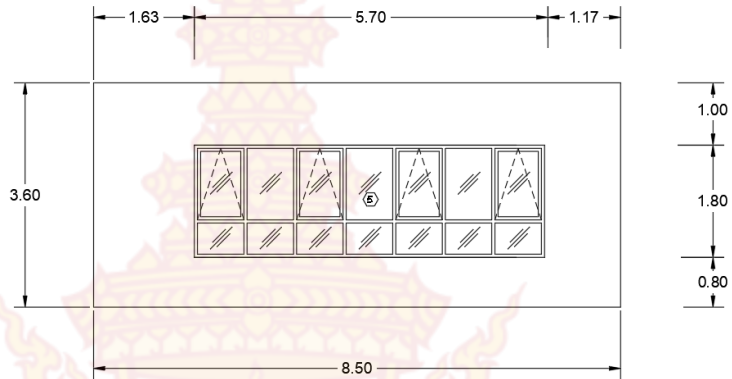
5) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจกเขียวใสหนา 6 mm. 0.60

6) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR)

โดยค่ารังสีที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของอาคารสถานศึกษาสำหรับมุมเอียงของผนัง 90° และทิศของผนังในด้านตะวันตกตรวจสอบจากตารางมีค่าเท่ากับ 234.58 W/m<sup>2</sup>

7) อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR) ภาพที่ 28



ภาพที่ 28 พื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงของผนัง 1

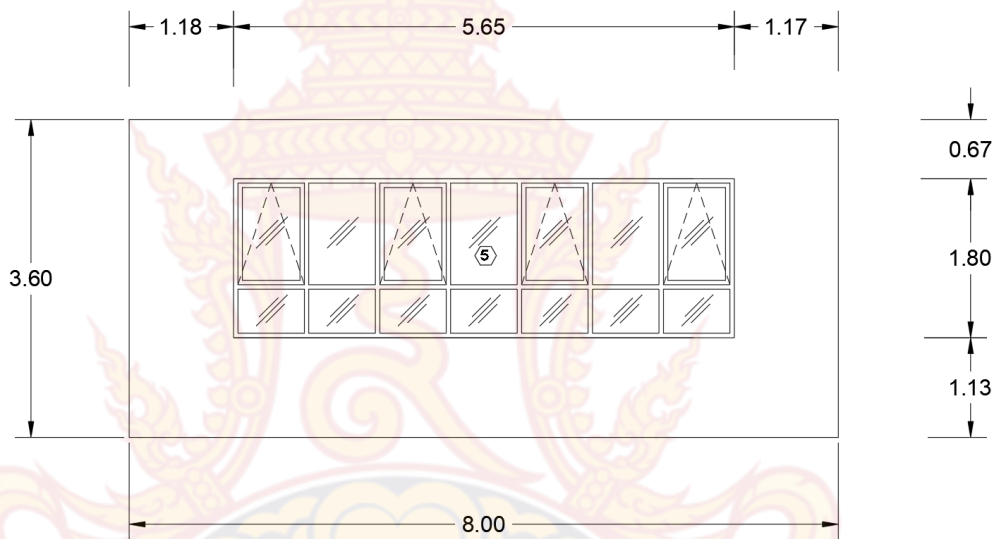
$$\begin{aligned}
 \text{WWR} &= (1.80 \times 5.70) / (3.60 \times 8.50) \\
 &= 10.26 / 30.60 \\
 &= 0.34
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นค่า OTTV ของผนัง 1

$$\begin{aligned}
 \text{OTTV}_1 &= (U_w)(1 - \text{WWR})(\text{TD}_{\text{eq}}) + (U_f)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{WWR})(\text{SHGC})(\text{SC})(\text{ESR}) \\
 &= (2.464)(1 - 0.34)(17.777) + (4.415)(0.34)(5) \\
 &\quad + (0.34)(0.6)(1)(234.58) \\
 &= 28.90 + 7.51 + 47.85 \\
 \text{OTTV}_1 &= 84.26
 \end{aligned}$$

## 1.2 ผนัง 2

เป็นผนังคอนกรีตมวลเบา ภาพที่ หนา 0.07 m. ฉาบปูนภายนอกและภายใน 0.03 m. พร้อมติดตั้งหน้าต่างกระจกเขียวใสหนา 6 mm. ผนังสูง 3.60 m กว้าง 8.00 m โดยมีหน้าต่างสูง 1.80 m กว้าง 5.65 m สูงจากพื้น 1.13 m



ภาพที่ 29 ลักษณะผนัง 2

1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่บโดยหาจากสมการ ( $U_w$ )

โดยค่า  $U_w$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่บโดยหาจากสมการ (34)

$$U_w = \frac{1}{R_T} \quad (34)$$

โดยค่า  $R$  คือ ความต้านทานความร้อนของวัสดุโดยหาจากสมการ (35)

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (35)$$

เมื่อ  $\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k$  คือ สัมประสิทธิ์ การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น (W/m<sup>2</sup>.°C)

ตารางที่ 11 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ผนัง2

วัสดุ	ความหนา	K (W/m <sup>2</sup> .°C)	R (°C. m <sup>2</sup> /W)
คอนกรีตมวลเบา	0.07m	0.467	0.150
ปูนฉาบ (ภายใน)	0.015m	0.326	0.046
ปูนฉาบ (ภายนอก)	0.015m	0.326	0.046

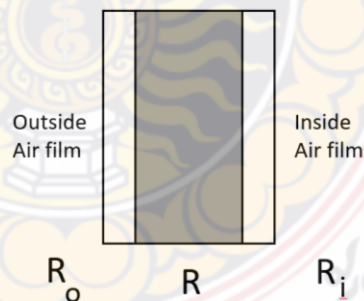
กรณีที่มีผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า  $R_T$  ของส่วนใด ๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ  $n$  ชนิดที่แตกต่าง ดังภาพที่ 30 ให้คำนวณจากสมการที่ (36)

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (36)$$

โดย  $R_T$  คือ ความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)

$R_o$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)

$R_i$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)



ภาพที่ 30 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ

โดยค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบตามตารางดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 12** ความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบผนัง 2

รายการ	$R_i$	$R_o$
ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ	0.12	0.044

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น ค่า } R_f &= 0.044 + 0.150 + 0.046 + 0.046 + 0.12 \\ &= 0.406 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่า } U_w &= 1/0.406 \\ &= 2.464 \end{aligned}$$

2) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $U_f$ )

โดยค่า  $U_f$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $U_f$ ) ของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียวโดยหาจากสมการ (37)

$$U_f = \frac{1}{R_f} \quad (37)$$

โดยค่า  $R_f$  ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงโดยหาจากสมการ (38)

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o \quad (38)$$

เมื่อ  $R_f$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$R_i$  และ  $R_o$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายในและภายนอกอาคาร ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$\Delta x$  คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

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

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น ค่า } R_f &= 0.12 + (0.06/0.96) + 0.044 \\ &= 0.227 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่า } U_f &= 1/0.227 \\ &= 4.415 \end{aligned}$$

3) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ (Equivalent temperature difference,  $TD_{eq}$ )

โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $\alpha$ ) ของพื้นผิวด้านนอกของผนังทึบ วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.7

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-specific heat product, DSH) กรณีที่ผนังทึบประกอบด้วยวัสดุ  $i$  เพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่น ( $\rho_i$ ) ความร้อนจำเพาะเท่ากับ ( $c_{pi}$ ) และมีความหนา ( $\Delta x_i$ ) ผลคูณของความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนังจากสมการ (39)

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i) \quad (39)$$

ตารางที่ 13 ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนัง 2

วัสดุ	Density-specific heat product (DSH)	
คอนกรีตมวลเบา	$1280 \times 0.84 \times 0.07$	75.864
ปูนฉาบ	$1200 \times 0.84 \times 0.03$	30.24
ผนังทึบ		105.504

เพราะฉะนั้นค่า  $TD_{eq}$  ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกตามตาราง

ตารางที่ 14 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกผนัง 2

DSH	TDeq
	ทิศตะวันตก
105.504	17.777

4) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

โดยค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในของอาคารประเภท  
สถานศึกษาและสำนักงาน 5 °C

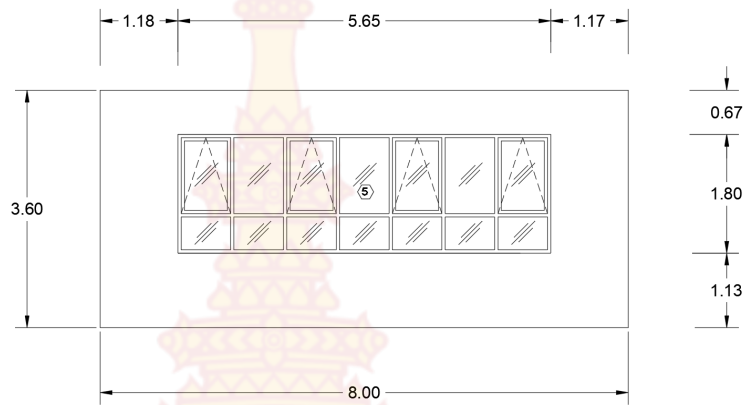
5) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient,  
SHGC)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจกเขียวใสหนา 6 mm.  
0.60

6) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR)

โดยค่ารังสีที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของอาคารสถานศึกษาสำหรับมุมเอียงของผนัง  
90° และทิศของผนังในด้านตะวันตกตรวจสอบจากตารางมีค่าเท่ากับ 234.58 W/m<sup>2</sup>

7) อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของ  
ผนังด้านที่พิจารณา (WWR) ภาพที่ 31



ภาพที่ 31 หน้าต่างโปร่งแสงของผนังที่ 2

$$\begin{aligned}
 WWR &= (1.80 \times 5.65) / (3.60 \times 8.00) \\
 &= 10.17 / 28.80 \\
 &= 0.35
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นค่า OTTV ของผนัง 2

$$\begin{aligned}
 OTTV_2 &= (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \\
 &= (2.464)(1 - 0.35)(17.777) + (4.415)(0.35)(5) + (0.35)(0.6)(1)(234.58) \\
 &= 28.47 + 7.72 + 49.26 \\
 OTTV_2 &= 85.45
 \end{aligned}$$



### 1.3 ค่า OTTV ของผนังรวมที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด

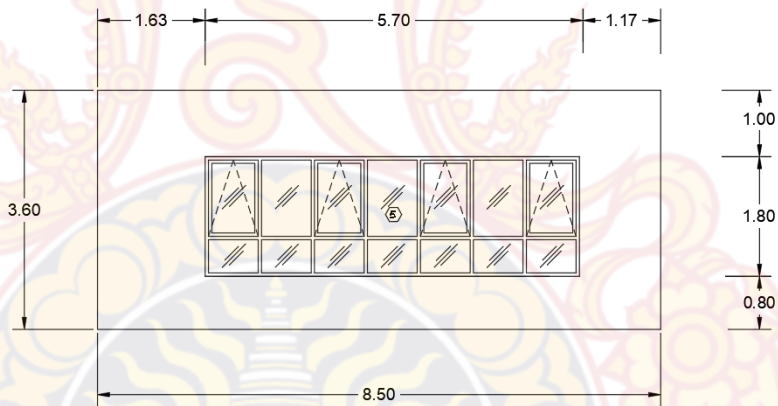
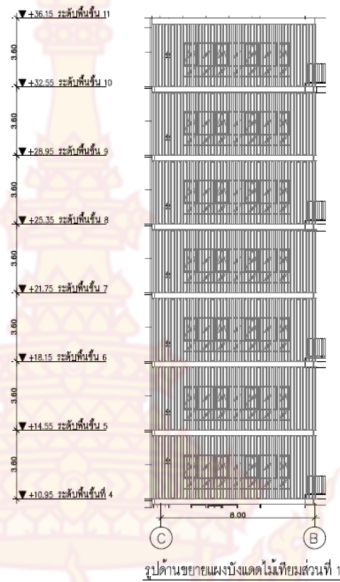
โดยค่า OTTV ของผนังเบอร์ 1 และผนังเบอร์ 2 ของด้านตะวันตกที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด โดยคำนวณจากสมการ (40) ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{OTTV} &= \frac{(A_{w1})(\text{OTTV}_1) + (A_{w2})(\text{OTTV}_2) + \dots + (A_{wi})(\text{OTTV}_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + (A_{wi})} \quad (40) \\ &= ((217.39)(84.26) + (414.31)(85.45)) / (217.39 + 414.31) \\ &= 85.045 \end{aligned}$$

## 2 . ผนังที่ติดตั้งแผงบังแดด

### 2.1 ผนัง 1-1

เป็นผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 0.07 m. ฉาบปูนภายนอกและภายใน 0.03 m. พร้อมติดตั้งหน้าต่างกระจกเขียวใสหนา 6 mm. ผนังสูง 3.60 m กว้าง 8.50 m โดยมีหน้าต่างสูง 1.80 m กว้าง 5.70 m สูงจากพื้น 0.80 m พร้อมติดตั้งแผงกันแดด



ภาพที่ 32 ลักษณะผนังเบอร์ 1-1 และติดตั้งแผงกันแดดภายนอกอาคาร

1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่บโดยหาจากสมการ ( $U_w$ )

โดยค่า  $U_w$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่บโดยหาจากสมการ (41)

$$U_w = \frac{1}{R_T} \quad (41)$$

โดยค่า R คือ ความต้านทานความร้อนของวัสดุโดยหาจากสมการ (42)

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (42)$$

เมื่อ  $\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

k คือ สัมประสิทธิ์ การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น (W/m<sup>2</sup>.°C)

ตารางที่ 15 ความต้านทานความร้อนของวัสดุผนัง1-1

วัสดุ	ความหนา	K (W/m <sup>2</sup> .°C)	R (°C. m <sup>2</sup> /W)
คอนกรีตมวลเบา	0.07m	0.467	0.150
ปูนฉาบ (ภายใน)	0.015m	0.326	0.046
ปูนฉาบ (ภายนอก)	0.015m	0.326	0.046

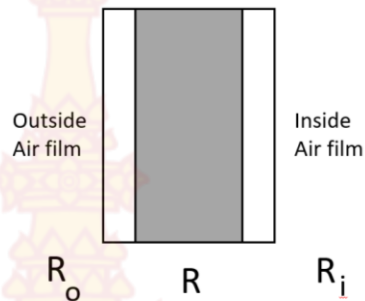
กรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า  $R_T$  ของส่วนใด ๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่าง ดังภาพที่ 1 ให้คำนวณจากสมการที่ (43)

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (43)$$

เมื่อ  $R_T$  คือ ความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)

$R_o$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)

$R_i$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร (m<sup>2</sup>.°C /W)



ภาพที่ 33 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบของผนังที่ 1-1

โดยค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 16 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบผนังที่ 1-1

รายการ	$R_i$	$R_o$
ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ	0.12	0.044

เพราะฉะนั้น ค่า  $R_T$  = 0.044+0.150+0.046+0.046+0.12

= 0.406

ดังนั้น ค่า  $U_w$  = 1/0.406

= 2.464

2) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $U_f$ )

โดยค่า  $U_f$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $U_f$ ) ของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียวโดยหาจากสมการ (44)

$$U_f = \frac{1}{R_f} \tag{44}$$

โดยค่า  $R_f$  ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงโดยหาจากสมการ (45)

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o \quad (45)$$

เมื่อ  $R_f$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$R_i$  และ  $R_o$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายในและภายนอกอาคาร ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$\Delta x$  คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k_g$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

เพราะฉะนั้น ค่า  $R_f$  =  $0.12 + (0.06/0.96) + 0.044$   
 =  $0.227$

ดังนั้นค่า  $U_f$  =  $1/0.227$   
 =  $4.415$

3) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ (Equivalent temperature difference,  $TD_{eq}$ )

โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $\alpha$ ) ของพื้นผิวด้านนอกของผนังทึบ วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.7

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-specific heat product, DSH) กรณีที่ผนังทึบประกอบด้วยวัสดุ  $i$  เพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่น ( $\rho_i$ ) ความร้อนจำเพาะเท่ากับ ( $c_{pi}$ ) และมีความหนา ( $\Delta x_i$ ) ผลคูณของความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนังจากสมการ (46)

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i) \quad (46)$$

ตารางที่ 17 ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนัง 1-1

วัสดุ	Density-specific heat product (DSH)	
คอนกรีตมวลเบา	$1280 \times 0.84 \times 0.07$	75.864
ปูนฉาบ	$1200 \times 0.84 \times 0.03$	30.24
ผนังทึบ		105.504

เพราะฉะนั้นค่า  $TD_{eq}$  ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกตามตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกผนังที่ 1-1

DSH	$TD_{eq}$
	ทิศตะวันตก
105.504	17.777

4) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

โดยค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในของอาคารประเภทสถานศึกษาและสำนักงาน  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$

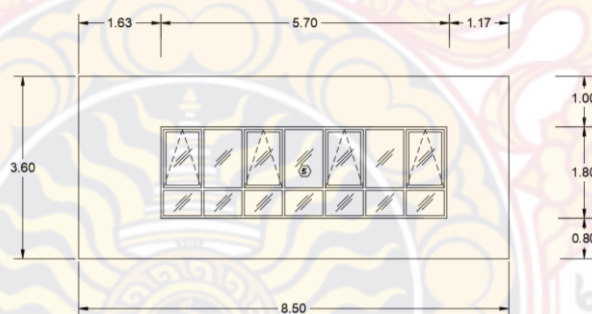
5) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจกเขียวใสหนา 6 mm.  
0.60

6) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR)

โดยค่ารังสีที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของอาคารสถานศึกษาสำหรับมุมเอียงของผนัง 90° และทิศของผนังในด้านตะวันตกตรวจสอบจากตารางมีค่าเท่ากับ 234.58 W/m<sup>2</sup>

7) อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR)

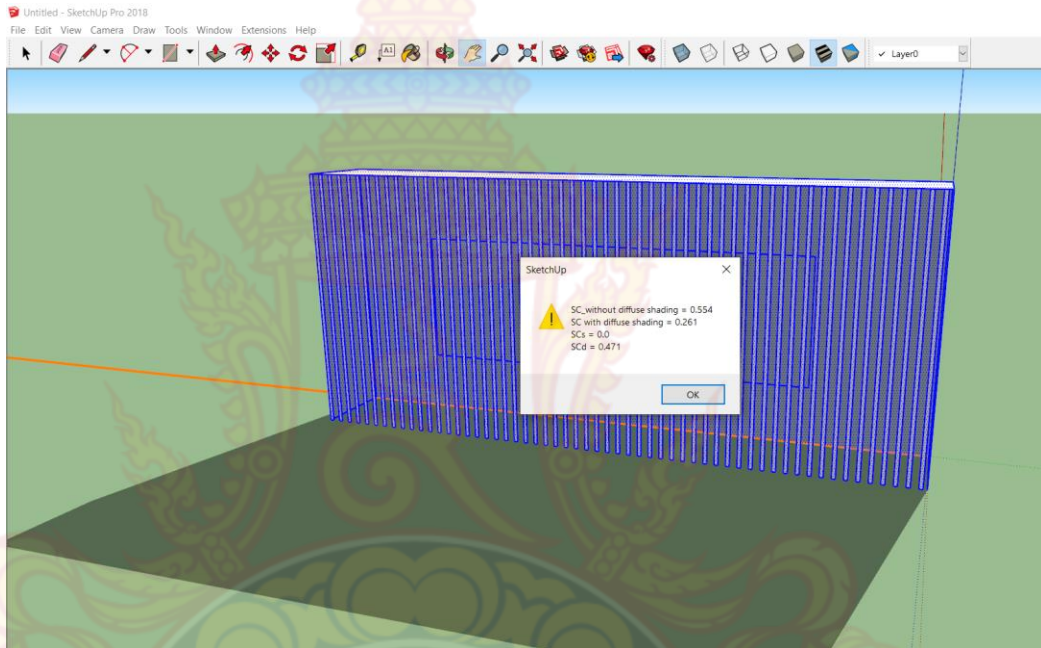


ภาพที่ 34 หน้าต่างโปร่งแสงผนัง 1-1

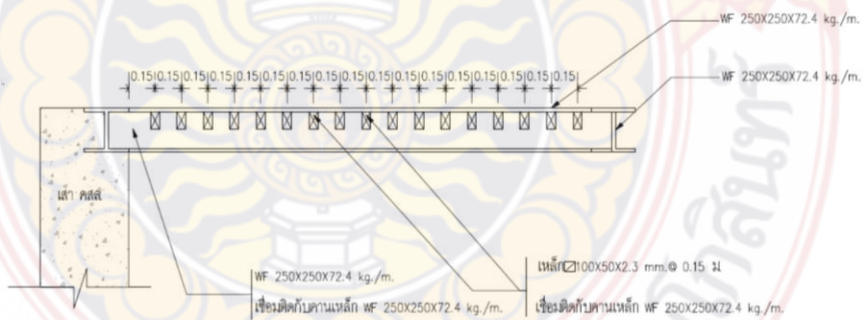
$$\begin{aligned} \text{WWR} &= (1.80 \times 5.70) / (3.60 \times 8.50) \\ &= 10.26 / 30.60 \\ &= 0.34 \end{aligned}$$

### 8) สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดโดยโปรแกรม SketchUp2018 ใช้ Plug In calculation SC ตามภาพที่ 35 หน้าต่างและอุปกรณ์บังแดดหันไปด้านทิศตะวันตก



ภาพที่ 35 แสดงการคำนวณสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดของผนัง 1-1



ภาพที่ 36 แสดงลักษณะรูปตัดขยายของอุปกรณ์บังแดดของผนัง 1-1



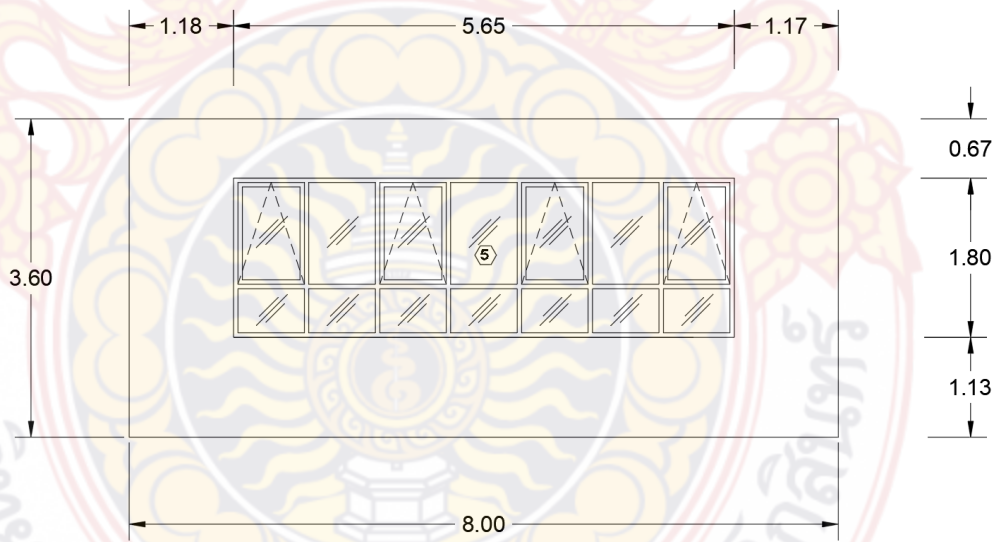
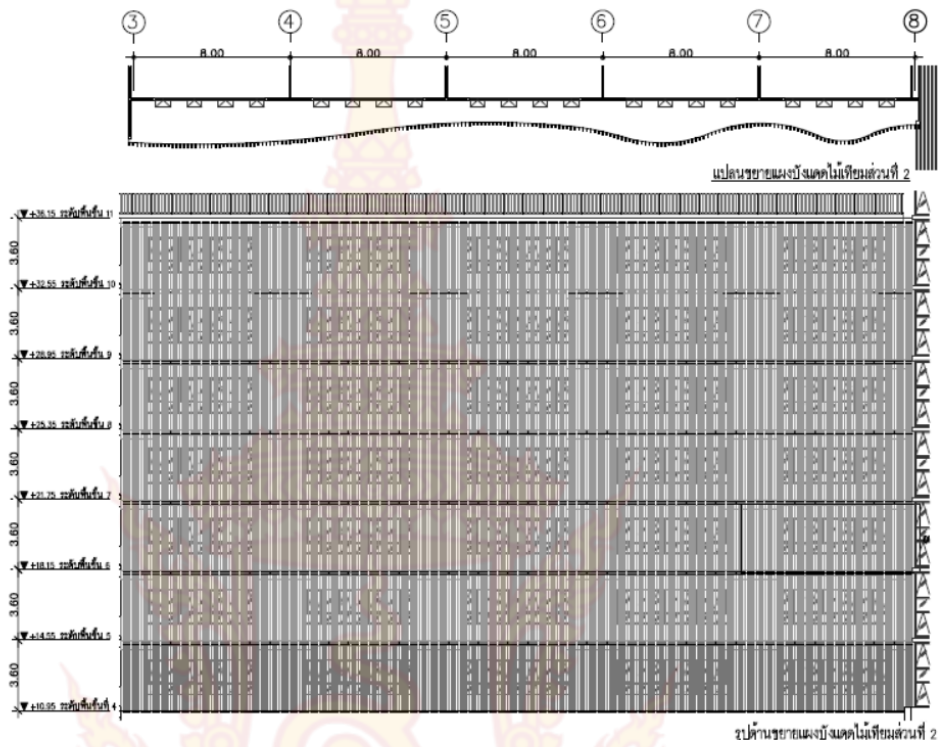
จากการคำนวณเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดผนัง 1-1 มีค่า SC เท่ากับ 0.554

เพราะฉะนั้นค่า OTTV ของผนัง 1-1

$$\begin{aligned} \text{OTTV}_{1-1} &= (U_w)(1 - \text{WWR})(\text{TD}_{\text{eq}}) + (U_f)(\text{WWR})(\Delta T) + (\text{WWR})(\text{SHGC})(\text{SC})(\text{ESR}) \\ &= (2.464)(1-0.34)(17.777) + (4.415)(0.34)(5) + (0.34)(0.6)(0.554) \\ &\quad (234.58) \\ &= 28.90 + 7.51 + 26.51 \\ &= 62.92 \end{aligned}$$

## 2.2 ผนัง 2-2

เป็นผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 0.07 m. ฉาบปูนภายนอกและภายใน 0.03 m. พร้อมติดตั้งหน้าต่างกระจกเขียวใสหนา 6 mm. ผนังสูง 3.60 m กว้าง 8.00 m โดยมีหน้าต่างสูง 1.80 m กว้าง 5.65 m สูงจากพื้น 1.13 m พร้อมติดตั้งแผงกันแดด ภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ลักษณะผนังเบอร์ 2-2 และติดตั้งแผงกันแดดภายนอกอาคาร

1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบโดยหาจากสมการ ( $U_w$ )

โดยค่า  $U_w$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบโดยหาจากสมการ (47)

$$U_w = \frac{1}{R_T} \quad (47)$$

โดยค่า  $R$  คือ ความต้านทานความร้อนของวัสดุโดยหาจากสมการ (48)

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (48)$$

เมื่อ  $\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

ตารางที่ 19 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุผนัง 2-2

วัสดุ	ความหนา	K ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	R ( $^\circ C \cdot m^2/W$ )
คอนกรีตมวลเบา	0.07m	0.467	0.150
ปูนฉาบ (ภายใน)	0.015m	0.326	0.046
ปูนฉาบ (ภายนอก)	0.015m	0.326	0.046

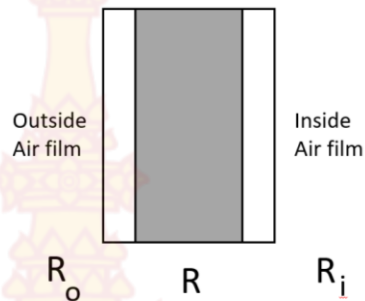
กรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า  $R_T$  ของส่วนใด ๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ  $n$  ชนิดที่แตกต่าง ดังภาพที่ 38 ให้คำนวณจากสมการที่ (49)

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (49)$$

โดย  $R_T$  คือ ความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )

$R_o$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )

$R_i$  คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )



ภาพที่ 38 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ

โดยค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 20 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังทึบผนังที่ 2-2

รายการ	$R_i$	$R_o$
ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ	0.12	0.044

เพราะฉะนั้น ค่า  $R_T$  =  $0.044+0.150+0.046+0.046+0.12$

= 0.406

ดังนั้น ค่า  $U_w$  =  $1/0.406$

= 2.464

2) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $U_f$ )

โดยค่า  $U_f$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $U_f$ ) ของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียวโดยหาจากสมการ (50)

$$U_f = \frac{1}{R_f} \tag{50}$$

โดยค่า  $R_f$  ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงโดยหาจากสมการ (51)

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o \quad (51)$$

เมื่อ  $R_f$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$R_i$  และ  $R_o$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายในและภายนอกอาคาร ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$\Delta x$  คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k_g$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น ค่า } R_f &= 0.12 + (0.06/0.96) + 0.044 \\ &= 0.227 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่า } U_f &= 1/0.227 \\ &= 4.415 \end{aligned}$$

3) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ (Equivalent temperature difference,  $TD_{eq}$ )

โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $\alpha$ ) ของพื้นผิวด้านนอกของผนังทึบ วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.7

ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-specific heat product, DSH) กรณีที่ผนังทึบประกอบด้วยวัสดุ  $i$  เพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่น ( $\rho_i$ ) ความร้อนจำเพาะเท่ากับ ( $c_{pi}$ ) และมีความหนา ( $\Delta x_i$ ) ผลคูณของความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนังจากสมการ (52)

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i) \quad (52)$$

ตารางที่ 21 ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนัง 2-2

วัสดุ	Density-specific heat product (DSH)	
คอนกรีตมวลเบา	$1280 \times 0.84 \times 0.07$	75.864
ปูนฉาบ	$1200 \times 0.84 \times 0.03$	30.24
ผนังทึบ		105.504

เพราะฉะนั้นค่า  $TD_{eq}$  ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกตามตาราง

ตารางที่ 22 ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบด้านทิศตะวันตกผนัง 2-2

DSH	$TD_{eq}$
	ทิศตะวันตก
105.504	17.777

4) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

โดยค่าความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างภายนอกและภายในของอาคารประเภทสถานศึกษาและสำนักงาน  $5^\circ\text{C}$

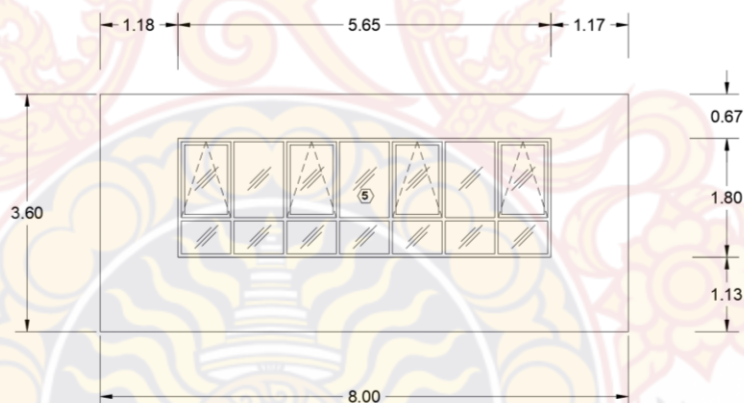
5) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจกเขียวใสหนา 6 mm. 0.60

6) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR)

โดยค่ารังสีที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของอาคารสถานศึกษาสำหรับมุมเอียงของผนัง  $90^\circ$  และทิศของผนังในด้านตะวันตกตรวจสอบจากตารางมีค่าเท่ากับ  $234.58 \text{ W/m}^2$

7) อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR)

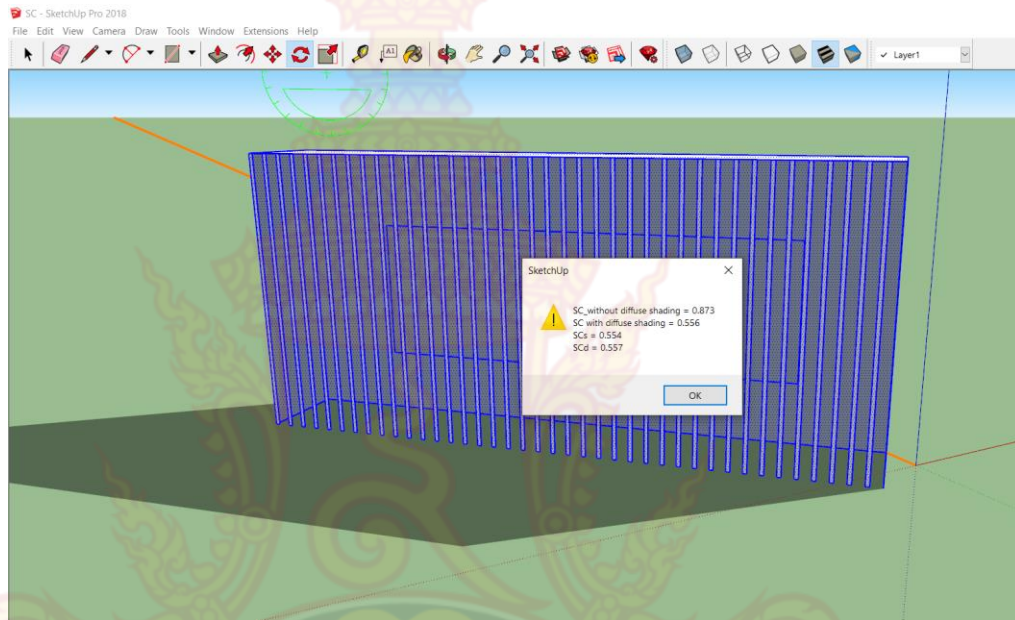


ภาพที่ 39 หน้าต่างโปร่งแสงของผนัง 2-2

$$\begin{aligned} \text{WWR} &= (1.80 \times 5.65) / (3.60 \times 8.00) \\ &= 10.17 / 28.80 \\ &= 0.35 \end{aligned}$$

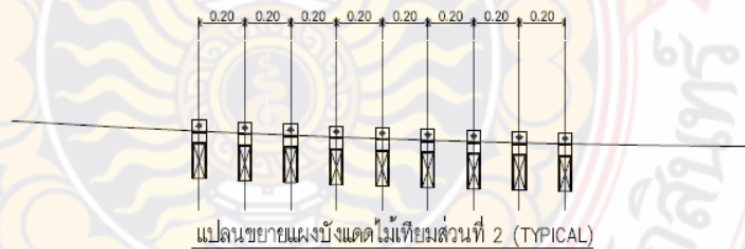
8) สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดโดยโปรแกรม SketchUp2018 ใช้ Plug In calculation SC ตามภาพที่ หน้าต่างและอุปกรณ์บังแดดหันไปด้านทิศตะวันตก



ภาพที่ 40 แสดงการคำนวณสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดของผนัง 2-2

แบบขยายการติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียมส่วนที่ 2



ภาพที่ 41 แสดงลักษณะรูปตัดขยายของอุปกรณ์บังแดดของผนัง 2-2



จากการคำนวณเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดผนัง 1-1 มีค่า SC เท่ากับ 0.554

เพราะฉะนั้นค่า OTTV ของผนัง 2-2

$$\begin{aligned}
 OTTV_{2-2} &= (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \\
 &= (2.464) (1-0.35) (17.777) + (4.415) (0.35) (5) + (0.35) (0.6) (0.873) \\
 &\quad (234.58) \\
 &= 28.47+ 7.72 + 43.005 \\
 &= 79.20
 \end{aligned}$$

1.3 ค่า OTTV ของผนังรวมที่ติดตั้งแผงบังแดด

โดยค่า OTTV ของผนังเบอร์ 1-1 และผนังเบอร์ 2-2 ของด้านตะวันตกที่ติดตั้งแผงบังแดด โดยคำนวณจากสมการ (53)

$$\begin{aligned}
 OTTV &= \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \dots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + (A_{wi})} \quad (53) \\
 &= ((217.39) (62.92) + (414.31) (79.20)) / (217.39+ 414.31) \\
 &= 73.60
 \end{aligned}$$

โดยสามารถสรุปผลได้ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 23 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ

วัสดุ	R	$\Delta x$	K	R <sub>i</sub>	R <sub>o</sub>	RT
คอนกรีตมวลเบา	0.150	0.07	0.467			
ปูนฉาบภายใน	0.046	0.015	0.326			
ปูนฉาบภายนอก	0.046	0.015	0.326			
ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอก					0.044	
ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน				0.12		
ความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร						0.406
U <sub>w</sub>						2.464

ตารางที่ 24 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง

วัสดุ	R	$\Delta x$	K	R <sub>i</sub>	R <sub>o</sub>	R <sub>f</sub>
กระจกเขียวใส	0.063	0.060	0.960	0.120	0.044	0.227
U <sub>f</sub>						4.415

ตารางที่ 25 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง

วัสดุ	R	$\Delta X$	K	R <sub>i</sub>	R <sub>o</sub>	R <sub>f</sub>
กระจกเขียวใส	0.063	0.060	0.960	0.120	0.044	0.227
U <sub>f</sub>						4.415

ตารางที่ 26 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ

วัสดุ	P	C <sub>pi</sub>	$\Delta X$	รวม
คอนกรีตมวลเบา	1280	0.84	0.07	75.264
ปูนฉาบ	1200	0.84	0.03	30.24
DSH				105.504

ตารางที่ 27 ค่าสัมประสิทธิ์ของกระจก

TD <sub>eq</sub>	$\Delta T$	SHGC	ESR	WWR
17.777	5.000	0.600	234.580	0.340

ผลการศึกษานผนังที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดด้านตะวันตกจากการวิจัยพบว่าผนัง 1 และผนัง 2 ในด้านทิศตะวันตกที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด ผนัง 1 มีพื้นที่ผนัง 217.39 ตร.ม. ทำมุมเอียงที่ 90° มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารเท่ากับ 84.26 โดยผนัง 2 มีพื้นที่ผนัง 414.31 ตร.ม. ทำมุมเอียงที่ 90° มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารเท่ากับ 85.45 ดังนั้นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) ในด้านทิศตะวันตกที่ทำการเปรียบเทียบมีค่าเท่ากับ 85.045 วัตต์ต่อตารางเมตร ดูจากตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ค่า OTTV ของผนังไม่ติดแผงบังแดด

ทิศ	ผนัง	มุมเอียง องศา	พื้นที่ผนัง	$U_w$	$TD_{eq}$	$U_f$	$\Delta T$	SHGC	SC	ESR	WWR
ทิศตะวันตก	ผนัง1	90	217.39	2.464	17.777	4.415	5.000	0.600	1	234.580	0.34
	OTTV1										84.26
	ผนัง2	90	414.31	2.464	17.777	4.415	5.000	0.600	1	234.580	0.35
	OTTV2										85.45
OTTV รวม											85.04
											495

ผลการศึกษาผนังที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดด้านตะวันตกจากการวิจัยพบว่าผนัง 1-1 และผนัง 2-2 ในด้านทิศตะวันตกที่ติดตั้งแผงบังแดด ผนัง 1-1 มีพื้นที่ผนัง 217.39 ตร.ม. ทำมุมเอียงที่ 90° มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารเท่ากับ 62.92 โดยผนัง 2-2 มีพื้นที่ผนัง 414.31 ตร.ม. ทำมุมเอียงที่ 90° มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารเท่ากับ 79.20 ดังนั้นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) ในด้านทิศตะวันตกที่ทำการเปรียบเทียบมีค่าเท่ากับ 73.60 วัตต์ต่อตารางเมตร ดูจากตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ค่า OTTV ของผนังที่ติดตั้งแผงบังแดด

ทิศ	ผนัง	มุมเอียง องศา	พื้นที่ ผนัง	$U_w$	$TD_{eq}$	$U_f$	$\Delta T$	SHGC	SC	ESR	WWR
ทิศ ตะวันตก	ผนัง 1-1	90	217.39	2.4 64	17.7 77	4.4 15	5.0 00	0.600	0.5 54	234. 580	0.34
	OTT V1										62.92
	ผนัง 2-2	90	414.31	2.4 64	17.7 77	4.4 15	5.0 00	0.600	0.8 73	234. 580	0.35
	OTT V2										79.20
OTTV รวม											73.60

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยการเปรียบเทียบการใช้แผงบังแดดแนวตั้งเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร โดยใช้โปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV): กรณีศึกษา อาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงบังแดดแนวตั้งในการลดความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารทางด้านทิศตะวันตก เพื่อให้เห็นถึงแนวทางการแก้ปัญหาความร้อนที่เข้าสู่อาคารในส่วนของผนังอาคาร โดยการใช้โปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์จากแบบอาคารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศาลายา

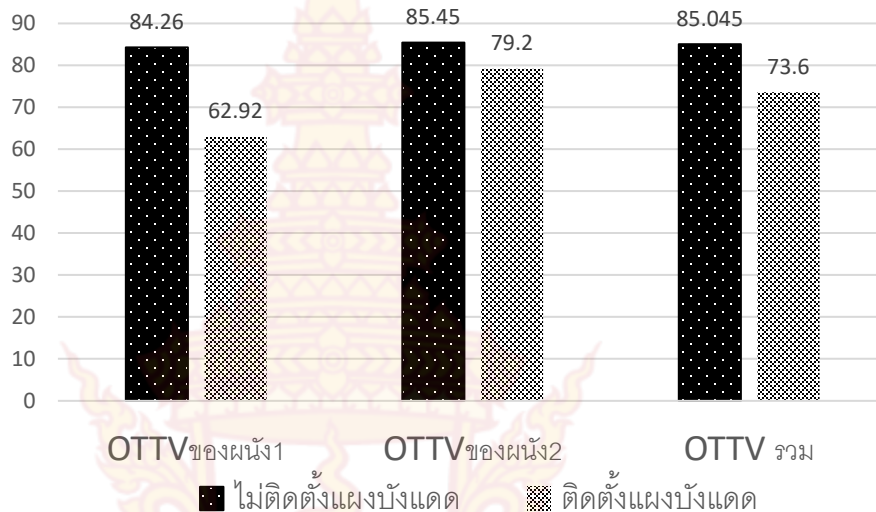
1.1. การศึกษาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร(Overall Thermal Transfer Value, OTTV) ของผนังที่ติดตั้งแผงบังแดดและไม่ติดตั้งแผงบังแดด

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกอาคารของผนัง1 ในด้านทิศตะวันตกในส่วนที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดและติดตั้งแผงบังแดด จะพบว่าผนัง1 ที่ติดตั้งแผงบังแดดมีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังน้อยกว่าผนัง1ที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกอาคารของผนัง2 ในด้านทิศตะวันตกในส่วนที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดและติดตั้งแผงบังแดด จะพบว่าผนัง2 ที่ติดตั้งแผงบังแดดมีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังน้อยกว่าผนัง2ที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารในด้านทิศตะวันตกในส่วนที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดและติดตั้งแผงบังแดด จะพบว่าผนังที่ติดตั้งแผงบังแดดมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังน้อยกว่า ผนังที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (ภาพที่ 42)

ผลการเปรียบเทียบผนังที่ไม่ติดตั้งและติดตั้งแผงบังแดด  
แนวตั้งในด้านทิศตะวันตก



ภาพที่ 42 ผลจากการคำนวณผ่านโปรแกรมวิเคราะห์การคำนวณ

จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแผงบังแดดมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารที่ครอบคลุมทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสงด้านนอกอาคารโดยช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร ซึ่งมีผลต่อภาระการปรับอากาศของอาคารและยังมีผลต่อเนื่องไปยังการใช้พลังงานในอาคาร โดยจะสรุปได้ว่าการติดตั้งแผงบังแดดในแนวตั้งในทิศตะวันตก ช่วยลดภาระการปรับอากาศในอาคารซึ่งจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เกิดความคุ้มค่าในระยะยาว

เมื่อเปรียบเทียบผนังที่ติดตั้งแผงบังแดดในแนวตั้งด้านทิศตะวันตก พบว่าแผงบังแดดของผนังที่ 1 มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารน้อยกว่าผนัง 2 เนื่องจากผนัง 1 มีความถี่และองศาของแผงบังแดดน้อยกว่าทำให้สามารถบังแดดได้ดีกว่าผนังที่ 2

## 2. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนค่า OTTV ได้แก่ วัสดุของผนังทึบ วัสดุของกระจก รูปร่างอาคาร สีของผนัง ขนาดกระจก และอุปกรณ์บังแดด ซึ่งอาจจะทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสีของผนังอาคาร จากเดิมสีเทาเปลี่ยนแปลงเป็นสีขาวหรือสีโทนสว่างเพื่อให้ค่า OTTV ลดลง หรือการเพิ่มวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง(ฉนวน)ของผนังทึบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ มีขั้นตอนในการก่อสร้างที่น้อยกว่า





## บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. **คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน**

จินดา แก้วเขียว และวัชระ มั่งวิฑิตกุล. มปป. “หน้าต่างและกันสาด”. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. เอกสารเผยแพร่สาธารณะนำรู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน

ตรึงใจ บุรณะสมภพ. 2521. **การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์

ตรึงใจ บุรณะสมภพ. 2539. **การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน**. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง

ตรึงใจ บุรณะสมภพ. 2541. “การป้องกันแดดและการประยุกต์ใช้อุปกรณ์กันแดด”. หน้า 26-29 ใน **การสัมมนาเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานสำหรับคณาจารย์ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์**. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนิต จินดาวนิค. 2540. **สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541 .**การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ

สุนทร บุญญาธิการ. 2541. “สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยและการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน”. ใน **การสัมมนาเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานสำหรับคณาจารย์ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์**. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

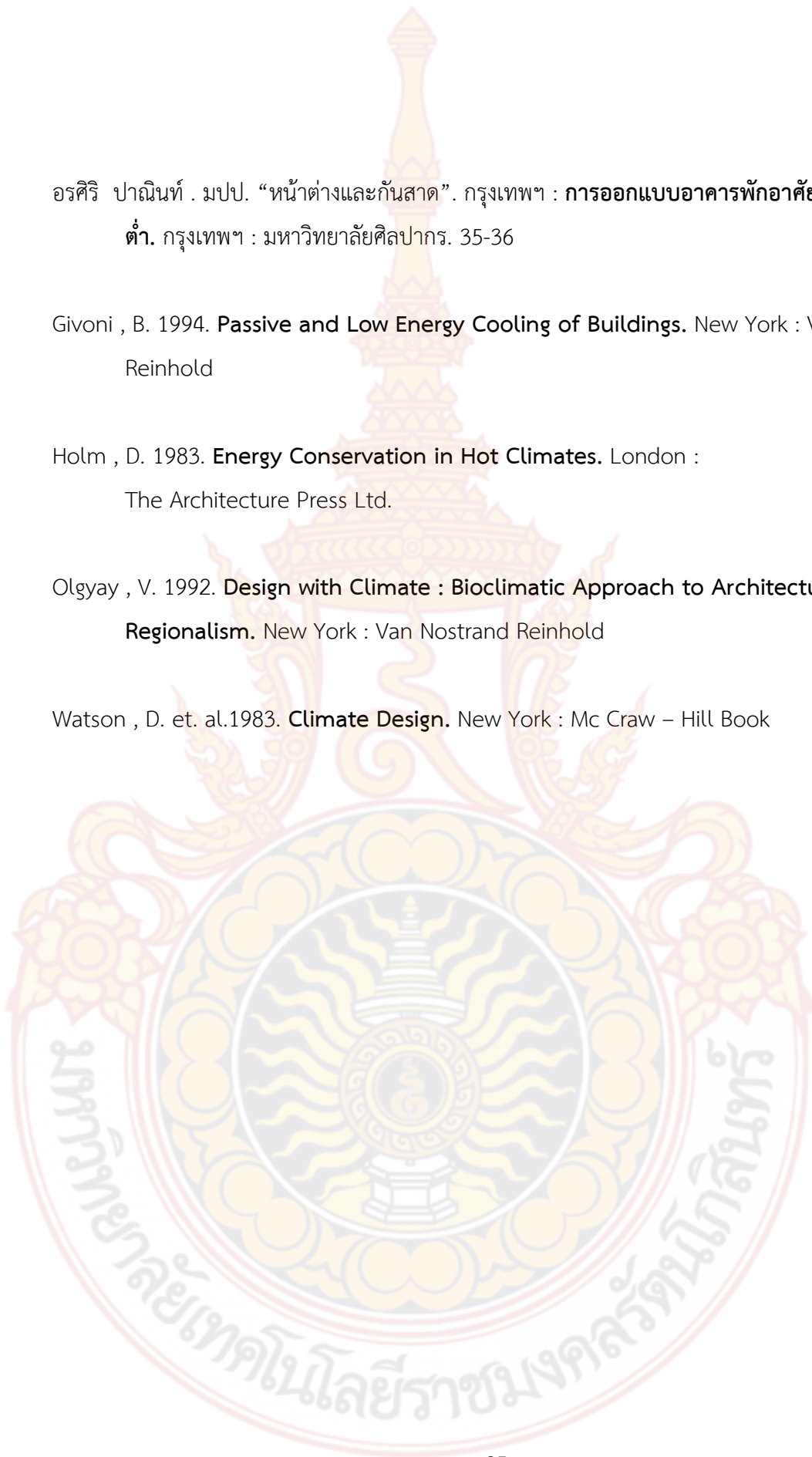
อรศิริ ปาณินท์ . มปป. “หน้าต่างและกันสาด”. กรุงเทพฯ : การออกแบบอาคารพักอาศัยที่ใช้พลังงาน  
ต่ำ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร. 35-36

Givoni , B. 1994. **Passive and Low Energy Cooling of Buildings**. New York : Van Nostrand  
Reinhold

Holm , D. 1983. **Energy Conservation in Hot Climates**. London :  
The Architecture Press Ltd.

Olgay , V. 1992. **Design with Climate : Bioclimatic Approach to Architecture  
Regionalism**. New York : Van Nostrand Reinhold

Watson , D. et. al.1983. **Climate Design**. New York : Mc Craw – Hill Book



## ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ สกุล นายอัศวิน ไทรสาคร
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ หัวหน้าสาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ  
<http://arch.rmutr.ac.th>, [asawin.sai@rmutr.ac.th](mailto:asawin.sai@rmutr.ac.th)
4. ประวัติการศึกษา  
ระดับปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน, “ปี พ.ศ. 2545 ”  
ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม, “ปี พ.ศ. 2533 ”
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ ออกแบบสถาปัตยกรรม
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย -

## ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ สกุล ดร.ฉันทมน โปธิพิทักษ์
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ  
tickchan@hotmail.com
4. ประวัติการศึกษา
  - ระดับปริญญาเอก Ph.D. Urban Environmental Management, Asian Institute of Technology, 2014
  - ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยศิลปากร หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม, “ปี พ.ศ. 2546 ”
  - ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม (เกียรตินิยม), “ปี พ.ศ. 2544 ”
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ การจัดการสิ่งแวดล้อมเมือง สิ่งแวดล้อม นโยบายสิ่งแวดล้อม
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
  - โครงการวิจัย การเรียนรู้สังคมคาร์บอนต่ำผ่านสื่ออินโฟกราฟิก : กรณีศึกษา คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา, พ.ศ.2558