



บทที่ 3

ระบบกรอบอาคาร (Building Envelope System)

ความสำคัญ

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เราจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับกรอบอาคาร โดยกรอบอาคารที่ดีควรสามารถป้องกันไม่ให้ความร้อนเข้ามาภายในตัวอาคารมากเกินไป เพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และนำไปสู่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เพื่อให้สถานประกอบการก้าวสู่ ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero emissions)

โดยปกติ ภาระการปรับอากาศที่เกิดจากความร้อนถ่ายเทจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร จะมีสัดส่วนสูงกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเอง การที่เราสามารถเข้าใจกลไกของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารว่าเป็นอย่างไร มีลักษณะใดบ้าง และทราบถึงวิธีการประเมินสมรรถนะของกรอบอาคาร จะช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางป้องกันความร้อนเหล่านั้นไม่ให้เข้ามาภายในอาคาร

วัตถุประสงค์

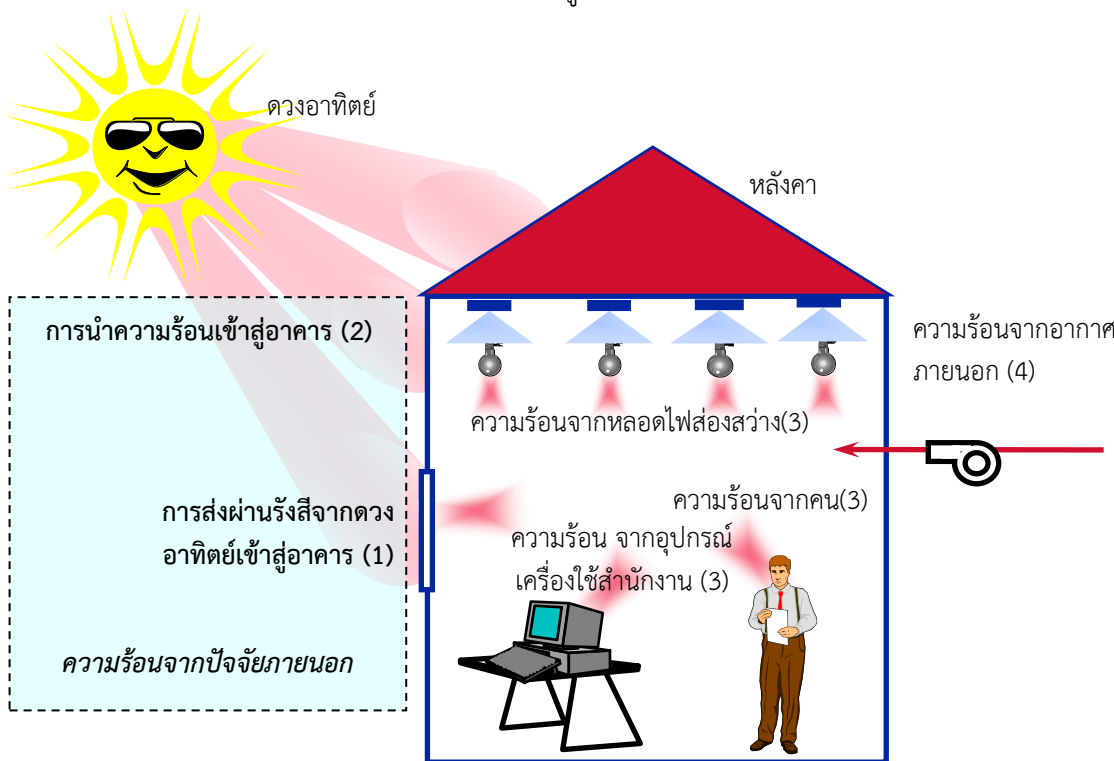
วัตถุประสงค์หลักของบทที่ 4 ระบบกรอบอาคาร ต้องการให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้เบื้องต้นและทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบกรอบอาคาร โดยวัตถุประสงค์ย่อยของบทนี้มีดังต่อไปนี้

1. รู้จักสมบัติเชิงอุณหภาพที่สำคัญของวัสดุกรอบอาคาร
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร
3. เข้าใจหลักการคำนวณสมรรถนะของกรอบอาคาร OTTV และ RTTV
4. ทราบมาตรการปรับปรุงสมรรถนะของกรอบอาคาร

3.1 บทนำ

สำหรับอาคารหนึ่งๆ ภาระการปรับอากาศเป็นผลจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร และจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในตัวอาคารเอง โดยปกติแล้วความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกจะมีสัดส่วนสูงกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายใน คิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการปรับอากาศ **รูปที่ 3-1** แสดงแหล่งความร้อนต่างๆ ของภาระการปรับอากาศ ซึ่งประกอบด้วย

1. การส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารโดยตรงผ่านพื้นผิวที่โปร่งแสง เช่น หน้าต่าง หลังคา โปร่งแสง (Skylight)
2. การนำความร้อนเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางผนังภายนอก (ผนังทึบ และผนังกระจก) พื้น และหลังคา
3. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวคน หลอดไฟส่องสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่อยู่ภายในอาคาร
4. ความร้อนที่เกิดจากอากาศภายนอกที่นำเข้ามาเพื่อการระบายอากาศภายในหรือที่แทรกซึมเข้าสู่อาคาร เช่น อากาศที่ผ่านเข้าทางประตูหรือหน้าต่างในส่วนที่เปิดไว้



รูปที่ 3-1 แหล่งความร้อนต่างๆ ของอาคารปรับอากาศ

การที่เราสามารถเพิ่มสมรรถนะในการป้องกันความร้อนของกรอบอาคารจะช่วยลดภาระการปรับอากาศลงและสามารถประหยัดพลังงานได้มาก

3.2 วัสดุผนังทึบ

ผนังอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ ผนังทึบ และผนังโปร่งแสง ผนังทั้งสองนี้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนทั้งในด้านกายภาพ และกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น

จากการศึกษารายงานการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารกว่า 273 แห่ง ซึ่งมากพอที่จะใช้เป็นตัวแทนของอาคารควบคุม พบว่าวัสดุที่ใช้สำหรับประกอบเปลือกอาคารมีหลากหลายชนิด อย่างไรก็ตามอาจสามารถจัดกลุ่มของวัสดุเปลือกอาคารตามวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้าง ในตารางที่ 3-1 แสดงชนิดของวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้ในอาคารควบคุมที่สำรวจ เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางจะพบว่าวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน

ตารางที่ 3-1 ชนิดของวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้ในอาคารควบคุมที่สำรวจ

ลักษณะของผนังทึบ	จำนวนอาคาร [จากทั้งหมด 273 อาคาร] ¹	สัดส่วนการใช้ผนัง ² [%]	ช่วงของค่า U-value [W/m ²]
ผนังชั้นเดียว ก่อสร้างด้วยอิฐ	143	20.5 – 98.7	1.5 – 4.7
ผนังชั้นเดียว ก่อสร้างด้วยคอนกรีต	66	18.9 – 86.5	1.0 – 4.1
ผนังชั้นเดียว ก่อสร้างด้วยคอนกรีต บล็อก	28	21.5 – 86.9	1.3 – 3.1
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยอิฐ	9	20.1 – 79.2	1.2 – 1.9
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยคอนกรีต	22	21.6 – 90.2	1.0 – 1.9
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยคอนกรีตบล็อก	17	21.6 – 79.0	0.9 – 1.8
ผนังกระจก	6	29.8 – 87.1	1.4 – 1.6

¹ ค่าซึ่งแสดงจำนวนของอาคารตามข้อมูลอาคารที่มีอยู่² ค่านี้แสดงช่วงของอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบที่พิจารณาเทียบกับพื้นที่ผนังทึบทั้งหมดของอาคาร

แม้ว่าวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นผนังทึบจะมีความหลากหลาย แต่หากพิจารณาโดยอาศัยเกณฑ์ในการถ่ายเทความร้อนแล้ว วัสดุก่อสร้างในส่วนของผนังทึบอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ วัสดุที่ไม่มีความเป็นฉนวน และวัสดุที่มีความเป็นฉนวน

ตารางที่ 3-2 และ 3-3 แสดงค่าสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุก่อสร้างบางชนิดที่ไม่มีความเป็นฉนวน และมีความเป็นฉนวน ตามลำดับ เราจะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าค่าสภาพนำความร้อนระหว่างวัสดุทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างกันอย่างมาก

ตารางที่ 3-2 ค่าสมบัติของวัสดุประกอบเปลือกอาคารบางชนิดที่ไม่มีความเป็นฉนวน

รายการวัสดุ	อิฐมอญ ครึ่งแผ่น	อิฐมอญ เต็มแผ่น	คอนกรีตบล็อก	คอนกรีตมวลเบา	ยิปซัมบอร์ด	ไฟเบอร์บอร์ด
รูปแบบกายภาพ	(ก้อน)	(ก้อน)	(ก้อน)	(ก้อน)	(แผ่น)	(แผ่น)
ขนาด (cm ³)	7x16x3.5	(2) 7x16x3.5	7x19x39	7.5x20x60	0.12x120x240	0.2x120x240
ความหนาแน่น (kg/m ³)	1615 - 1650	1650	765	550 - 640	800	1250 - 1350
สภาพนำความร้อน (W/m·K)	0.473	0.473	0.519	0.089-0.132	0.14-0.19	0.210
การบำรุงรักษา	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย
อายุการใช้งาน	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	ยังไม่คงที่	-	-
ข้อดี	- เป็นที่ยอมรับ - ช่างชำนาญ - แข็งแรง ทน	- เป็นที่ยอมรับ - ช่างชำนาญ - แข็งแรง ทน - กันความร้อน เข้าอาคารได้ มากกว่า	- แข็งแรง - ราคาถูก - มีช่องอากาศที่ ช่วยกันความร้อน ได้	- คุณภาพคงที่ - น้ำหนักน้อย - กันความร้อนดี	- กันความร้อน - ดูแลรักษาง่าย - ไม่ลามไฟ - กันเสียง - ติดตั้งง่าย	- ทำงานเร็ว - น้ำหนักเบา - ไม่ลามไฟ - ป้องกันเสียง - ติดตั้งง่าย
ข้อเสีย	- คุณภาพและ ขนาดไม่ แน่นอน - ใช้เวลานาน - น้ำหนักมาก	- ดูดซึมน้ำและ เก็บความชื้น	- อายุใช้งานยัง ไม่มีการยืนยัน - ต้องใช้ปูนฉาบ เฉพาะ	- ไม่ค่อยแข็งแรง - ไม่ทนน้ำ - ราคาสูง	- หากชื้นมาก จะบิดงอ เปลี่ยนรูป - อาจมีรา หาก ไม่ดูแล	- เก็บความชื้น

ตอนที่ 3 บทที่ 3 ระบบกรอบอาคาร



(ก) อิฐมอญ



(ข) อิฐบล็อก



(ค) อิฐมวลเบา



(ง) ยิปซัมบอร์ด

(จ) ฉนวนใยแก้ว

รูปที่ 3-2 ตัวอย่างวัสดุฉนวนที่ไม่มีความเป็นฉนวน

ตารางที่ 3-3 ค่าสมบัติของวัสดุฉนวนบางชนิดที่มีความเป็นฉนวน

รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2"	ฉนวนเยื่อกระดาษ	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium	ยิปซัมบอร์ด+แผ่นสะท้อนความร้อน	ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	เซรามิกโคตติ้ง
รูปแบบกายภาพ	หุ้มปิด บุได้หลังคา ปูบนฝ้า (แผ่น)	หุ้มปิด บุได้หลังคา ปูบนฝ้า (แผ่น)	ม้วน ติดตั้ง	แผ่น ติดตั้ง	หุ้ม ปิด บุ	พ่นเหนือหลังคา
ขนาด (cm ³)	5x60x400 >50 มม. (หุ้ม) >50 มม. (บุ) >75 มม. (บุ) >50 มม. (แผ่น)	7.5x60x400	หนา 150 ไมครอน x125x6,000	1.2x60x120	10x60x120	หนา x122x1,650 50 มม. 75 มม.
ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	16 >64 มม. (หุ้ม) >24 มม. (บุ) >16 มม. (บุ) >32 มม. (แผ่น)	45-80	0.17	800+Fail	1 ปอนด์/ลบ.ฟ. 16	-
สภาพนำความร้อน (W/m.K)	0.0350 (บุ) 0.0365 (บุ) 0.0330 (แผ่น)	0.029-0.045	-	0.19+Fail	0.035	-
การบำรุงรักษา		เปลี่ยนใหม่ เมื่อหมดอายุการใช้งาน	ทำไม่ได้	ทำความสะอาดได้	-	-
อายุใช้งาน (ปี)	5-10	5-10	-	-	5-15	-
ข้อดี	- หาง่าย - ติดตั้งง่าย	- หาง่าย - ติดตั้งง่าย	- ไม่มีสารพิษ - ลดเสียงสะท้อน - น้ำหนักเบา - ไม่มีกลิ่น - ไม่มีช่องว่างระหว่างฉนวนกับส่วนที่ฉัดพัน	- ทน UV ไม่ติดไฟ - ป้องกันการกัดกร่อนของสนิม - น้ำหนักเบา	- ใช้เป็นตัวฉนวนหรือกันซึม - การแทรกซึมไอน้ำ หรือการดูดซึมความร้อนต่ำ - น้ำหนักเบา - ผสมสีต่าง ๆ ได้	- ไม่เป็นอันตราย - ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ - ทน UV - ไม่ขึ้นรา
ข้อเสีย	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่อ	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่อ	- ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะ	- ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะ	- ติดไฟได้ - ขณะลุกไหม้เกิด	- เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงต่างๆ

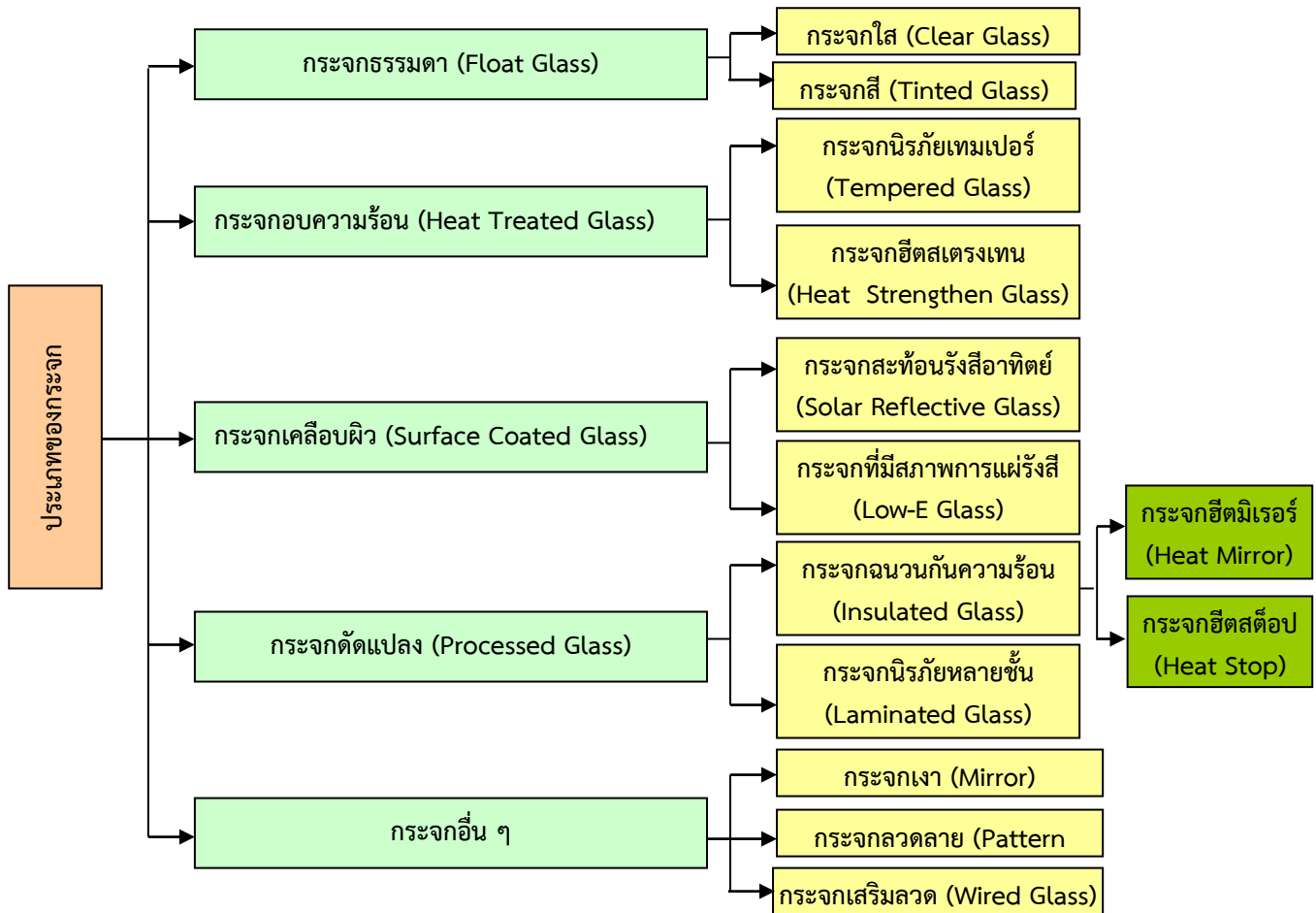
รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2"	ฉนวนเยื่อกระดาษ	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium	ยิปซัมบอร์ด+แผ่นสะท้อนความร้อน	ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	เซรามิคโคตติ้ง
	อันตราย - ย่อยสลายไม่ได้ - มีกลิ่น เมื่อขึ้นคุณสมบัติจะลดลง - สัตว์เล็กทำรังภายใน - ตัวประสานลูกใหม่ได้	อันตราย - ย่อยสลาย ไม่ได้ - มีกลิ่น - สัตว์เล็กทำรังภายใน - เมื่อขึ้นคุณสมบัติจะลดลง	ลดลง	ลดลง	คำนึงที่เป็นพิษ แก่ด้วยการเติมสารกันไฟ - ไม่ทนน้ำมันเบนซิน ทินเนอร์ น้ำมันสน - ไม่ทนแสงแดด	หากไม่มีการป้องกันที่ดีพอ

3.3 กระจก

กระจกเป็นวัสดุกรอบอาคารที่ปัจจุบันได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย กระจกมีด้วยกันหลายประเภท นอกจากนี้ในแต่ละประเภทยังมีความหนา และค่าสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกัน กระจกที่ใช้ประกอบอาคารโดยทั่วไปได้แก่ กระจกชั้นเดียวที่มีความหนาระหว่าง 3-6 มิลลิเมตร

กระจกมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อภาระความร้อนของอาคาร ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังกระจกอาจมีค่าสูง 5-10 เท่า เมื่อเทียบกับผนังทึบ การเลือกใช้กระจกที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนจะสามารถลดภาระความร้อนของอาคารลงได้อย่างมาก สำหรับกระจกแล้ว เรายังต้องพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติของแสงธรรมชาติ ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน เราสามารถผลิตกระจกที่มีความเหมาะสมมากขึ้น กล่าวคือ มีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดี และในขณะเดียวกันก็สามารถนำเอาแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารได้อย่างเหมาะสมด้วย

สำหรับแผนภาพในรูปที่ 3-3 แสดงการจัดแบ่งประเภทของกระจกที่มีใช้ในอาคาร



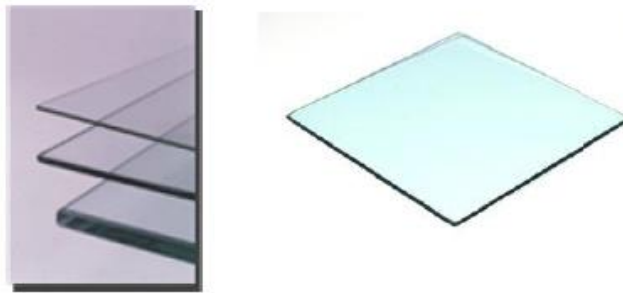
รูปที่ 3-3 ประเภทของกระจกที่มีใช้ในอาคาร

3.3.1 กระจกธรรมดา (Float glass)

กระจกธรรมดาเป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ กระจกใส และกระจกสี

ก) กระจกใส (Clear Glass)

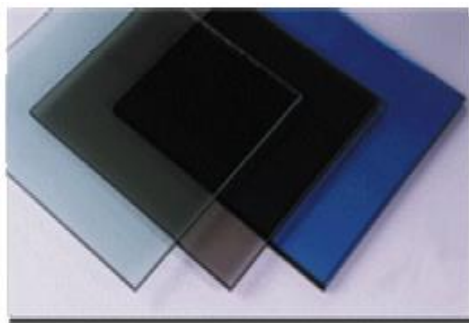
กระจกใสเป็นกระจกโปร่งใสที่มีผิวทั้งสองด้านเรียบสนิท ให้ภาพในการมองเห็นชัดเจน และมีราคาถูกที่สุด กระจกชนิดนี้ยอมให้แสงผ่านเข้ามาสูง (ร้อยละ 88) จึงมีแสงสว่างกระจายเข้ามาภายในห้องเป็นจำนวนมากแต่ในขณะเดียวกันก็จะมีปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามามากด้วยเช่นกัน (ร้อยละ 83) ดังนั้น ในการใช้งานจึงมักมีการติดฟิล์มกรองแสง หรือการใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด เป็นต้น กระจกใสยังเป็นกระจกพื้นฐานเพื่อไปผลิตกระจกประเภทอื่น ๆ **รูปที่ 3-4** แสดงตัวอย่างของกระจกใส



รูปที่ 3-4 ตัวอย่างของกระจกใส

ข) กระจกสี (Tinted Glass)

กระจกสีหรือกระจกดูดกลืนความร้อน (Heat absorbing glass) ผลิตขึ้นโดยการผสมโลหะออกไซด์เข้าไปในส่วนผสมในขั้นตอนการผลิตกระจกทำให้กระจกมีสีสน ความเข้มของสีจะเพิ่มมากขึ้นตามความหนาของกระจก ซึ่งจะส่งผลทำให้การดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่สะสมอยู่ในเนื้อกระจกมีมากขึ้นด้วย ดังนั้น การนำไปใช้งานจึงควรให้ความสนใจ และระมัดระวังคุณสมบัติเหล่านี้ด้วย อีกทั้งกระจกชนิดนี้เมื่อมองภายนอกจะมีความคล้ายกับกระจกตัดแสงที่มีสี แต่คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจะต่างกัน จึงควรสอบถามให้แน่ชัดก่อนว่าเป็นชนิดใดก่อนการเลือกซื้อ **รูปที่ 3-5** แสดงตัวอย่างของกระจกสี



รูปที่ 3-5 ตัวอย่างของกระจกสี

3.3.2 กระจอบความร้อน (Heat treated glass)

กระจอบความร้อนเป็นกระจกใสหรือกระจกสีที่นำไปผ่านกระบวนการปรับแต่งคุณภาพของเนื้อกระจกเพื่อให้ความแข็งแรงมากขึ้น หรือรับแรงกระทำภายนอกได้มากขึ้น ซึ่งแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

ก) กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered glass)

กระจกนิรภัยเทมเปอร์เป็นการนำกระจกไปผ่านกระบวนการเทมเปอร์ (Tempering) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยการสร้างให้เกิดชั้นของแรงอัดขึ้นที่ผิวแก้วเพื่อต้านแรงจากภายนอก ซึ่งทำได้โดยการให้ความร้อนกับกระจกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวของแก้วเล็กน้อยที่ประมาณ 650-700°C และทำให้ผิวกระจกเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

ข) กระจกฮีตสเตรงเทน (Heat strengthen glass)

กระจกฮีตสเตรงเทนเป็นกระจกที่ได้จากกระบวนการผลิตที่คล้ายกับกระจกนิรภัยเทมเปอร์ คือ ให้ความร้อนกับกระจกแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง แต่ต่างจากกระจกนิรภัยเทมเปอร์ตรงที่การผลิตกระจกฮีตสเตรงเทนจะปล่อยให้กระจกเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ จึงทำให้ความแข็งแรงน้อยกว่ากระจกนิรภัย

3.3.3 กระจกเคลือบผิว (Surface coated glass)

กระจกเคลือบผิวเป็นกระจกธรรมดาที่นำไปผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจก เพื่อให้เกิดการสะท้อนแสง และความร้อนจากแสงอาทิตย์สำหรับนำไปใช้งานในด้านการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีความสวยงามมากขึ้น

ก) กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar reflective glass)

กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์เป็นกระจกธรรมดาที่เคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสงทำให้สามารถสะท้อนพลังงานจากรังสีอาทิตย์ได้บางส่วน กระจกมีการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย มีสีสนสวยงามหลายสีที่แตกต่างกัน ขึ้นกับรูปแบบการเคลือบและสีของกระจกที่เป็นวัตถุดิบที่นำมาเคลือบ

ข) กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสี (Low-e glass)

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำเป็นกระจกที่เคลือบสารโลหะโดยมีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นองค์ประกอบสำคัญเพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมาก ทั้งนี้เพื่อให้เกิดลักษณะเด่นในการเพิ่มประสิทธิภาพ และคุณสมบัติในการประหยัดพลังงาน โดยที่กระจกยังคงมีลักษณะใส ไม่ทึบแสง ให้ค่าแสงส่งผ่านมากและมีค่าการสะท้อนแสงน้อย ค่าการแผ่รังสีเป็นคุณสมบัติจำเพาะของผิววัตถุที่บ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนความร้อนที่ตกกระทบบนผิววัตถุนั้น ๆ หรือความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิววัตถุนั้น ๆ ดังนั้นกระจกแผ่นใดที่เคลือบด้วยสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมาก ๆ จึงหมายความว่า กระจกนั้นมีความสามารถในการแผ่รังสีต่ำ ด้วยเหตุนี้เองทำให้กระจกชนิดนี้ถูกนำไปใช้ทำเป็นกระจกฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำจะสะท้อนคลื่นความร้อน และยอมให้แสงผ่านกระจกได้ในปริมาณใกล้เคียงกับกระจกธรรมดา ในขณะเดียวกันก็สามารถสะท้อนคลื่นความร้อน และป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี และมีการสะท้อนแสงน้อย กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำช่วยในการประหยัดพลังงานได้สูง โดยยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาในตัวอาคาร ขณะที่สะท้อนรังสีคลื่นยาวหรือรังสีความร้อนออกพอสมควร ในประเทศที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย กระจกประเภทนี้ถือว่ามีความเหมาะสม

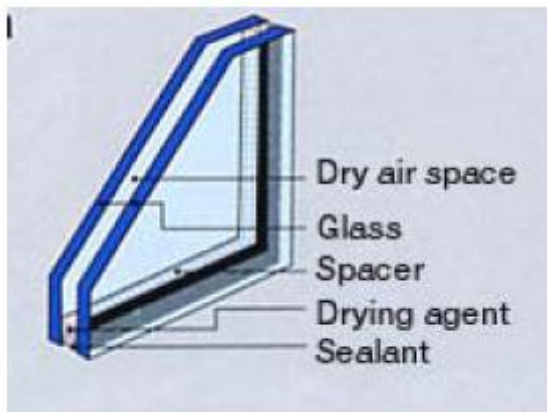
3.3.4 กระจกดัดแปลง (Processed glass)

กระจกดัดแปลงเป็นกระจกที่นำมาดัดแปลงด้วยกระบวนการต่างๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป กระจกในกลุ่มนี้ ได้แก่ กระจกฉนวนกันความร้อน และกระจกนิรภัยหลายชั้น

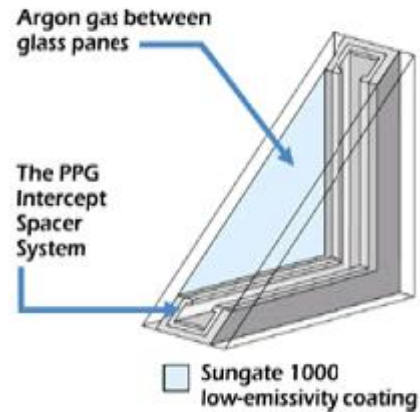
ก) กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated glass)

มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กระจก 2 ชั้น (Doubled Glazing) มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนต่ำ สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี สามารถแบ่งตามชนิดของฉนวนกันความร้อนได้ ดังนี้

- กระจกกันความร้อนชนิดใช้อากาศแห้งเป็นฉนวน ได้จากการนำกระจกแผ่นเรียบธรรมดา 2 แผ่น มาประกบกันโดยมีเฟรมอลูมิเนียมที่บรรจุสารดูดความชื้นคั่นกลาง จากนั้นปิดขอบกระจกให้สนิทดังรูปที่ 3-6 (ก) ผลที่ได้ก็คือ อากาศภายในช่องว่างระหว่างกระจกทั้ง 2 แผ่นจะเป็นอากาศแห้ง ซึ่งอากาศแห้งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้มากกว่ากระจกธรรมดาอีกด้วย



(ก) ใช้อากาศแห้งเป็นฉนวนตรงกลาง



(ข) ใช้ก๊าซเป็นฉนวนตรงกลาง

รูปที่ 3-6 กระจกฉนวนกันความร้อน

- กระจกกันความร้อนชนิดใช้ก๊าซเป็นฉนวน คล้ายกับแบบใช้อากาศแห้งคือ การใช้กระจกแผ่นเรียบ 2 แผ่นประกบกับเฟรมอลูมิเนียมแต่ชนิดนี้จะบรรจุก๊าซเฉื่อยลงไปแทนดังรูปที่ 3-6 (ข) ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบใช้อากาศแห้ง และในกรณีที่นำกระจกนิรภัยมาประกอบเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน (Airless Laminated Insulating Glass) ก็จะทำให้ความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แต่จะมีราคาสูงขึ้นไปจากเดิมที่มีราคาสูงอยู่แล้ว การใช้กระจก 2 ชั้นโดยที่มีช่องว่างอากาศ และก๊าซป้องกันความร้อนคั่นอยู่ตรงกลางนี้ สามารถช่วยลดความร้อนได้ประมาณ 70-80% ในขณะที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านได้ในปริมาณสูง จึงให้ความสว่างที่ปลอดภัย และในกรณีที่ติดฟิล์มด้านในของกระจกทั้ง 2 แผ่น ก็จะช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) เข้ามาทำลายวัสดุต่างๆ ภายในอาคารได้อีกด้วย

- กระจกนิรภัยหลายชั้น (Laminated Glass) เป็นกระจกที่ผลิตขึ้นด้วยวัตถุดิบประสงค์เพื่อให้ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ โดยการนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาผนึกเข้าด้วยกัน โดยมีแผ่นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทเรต (Polyvinyl Butyrate: PVB) ที่เหนียว และแข็งแรงซ่อนอยู่ระหว่างกลางทำหน้าที่ยึดกระจกให้ติดกัน เมื่อกระจกชนิดนี้ถูกกระแทกจนแตก แผ่นฟิล์มโพลีไวนิลบิวทเรตจะช่วยยึดไม่ให้เศษกระจกหลุดกระจายจะมีเพียงรอยแตกหรือร้าวคล้ายใยแมงมุมเท่านั้น กระจกนิรภัยหลายชั้นเป็นกระจกที่ให้ความปลอดภัยสูง นิยมใช้เป็นกระจกบังลมของรถยนต์ หน้าต่างอาคารสูงหรือกระจกกันกระสุน เป็นต้น

3.3.5 คำศัพท์และคำนิยามสมบัติของกระจก

ในการเลือกใช้กระจกได้อย่างถูกต้องเหมาะสม เราจำเป็นต้องรู้จักคำศัพท์และคำนิยามที่ใช้ในการอ่านค่าคุณสมบัติของกระจก ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงาน โดยพิจารณาจากตารางตัวอย่าง ซึ่งเป็นรูปแบบที่บริษัทผู้ผลิตกระจกส่วนใหญ่ใช้ในปัจจุบัน ตารางดังกล่าวเป็นตัวอย่างที่แสดงค่าคุณสมบัติของกระจกซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของวิธีการอ่านค่าคุณสมบัติได้ดังนี้

Visible Light			UV Trans. (%)	Solar Energy					U-Value		RHG (W/m ²)
Trans. (%)	Refl.			Trans. (%)	Refl. (%)	Abs. (%)	Solar factor (%)	SC.	U- Summer (W/m ² •K)	U-Winter (W/m ² •K)	
	Out (%)	In (%)									
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]

1. Visible Light Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สามารถส่งผ่านกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

2. Visible Light Reflection (Out) หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด เมื่อแสงที่ตกกระทบมาจากด้านนอกอาคาร (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)

3. Visible Light Reflection (In) หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด เมื่อแสงที่ตกกระทบมาจากด้านในอาคาร (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)

4. Ultra-Violet Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สามารถส่งผ่านกระจก ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

5. Solar-Energy Transmission or Direct Energy Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกโดยตรง โดยที่ความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

6. Solar Energy Reflection หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)

7. Solar Energy Absorption หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

8. Solar Factor or Total Energy Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคารต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดเป็นผลรวมของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกเข้ามาโดยตรงกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการแผ่รังสีของพลังงานที่สะสมอยู่ในกระจกทั้งหมดเข้ามาด้านในอาคาร (Reradiation (In)) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1/3 เท่าของพลังงานที่สะสมอยู่ในกระจกทั้งหมด

9. Shading Coefficient ; SC

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคารเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกใส หนา 3 มิลลิเมตร กล่าวคือ Shading Coefficient เป็นอัตราส่วนของ Solar

Factor ของกระจกที่ต้องการวัดกับค่า Solar Factor ของกระจกใส หน้า 3 มิลลิเมตร โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Shading Coefficient} = \frac{\text{Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัด}}{\text{Solar Factor ของกระจกใสหน้า 3 มิลลิเมตร}}$$

หมายเหตุ : Solar Factor ของกระจกใส หน้า 3 มิลลิเมตร มีค่าประมาณ 0.87

10. U-Summer หน่วยเป็น W/m²K

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายใน และภายนอกอาคาร (U-Value) โดยคำนวณตามสภาพอากาศในฤดูร้อนของประเทศอเมริกา และใช้เงื่อนไขการคำนวณของ ASHRAE ดังต่อไปนี้

$$\text{อุณหภูมิภายนอกอาคาร} = 89 \text{ }^{\circ}\text{F} (\approx 32^{\circ}\text{C})$$

$$\text{อุณหภูมิภายในอาคาร} = 75 \text{ }^{\circ}\text{F} (\approx 24^{\circ}\text{C})$$

$$\text{ความเร็วลม} = 7.5 \text{ ไมล์ต่อชั่วโมง} (\approx 12 \text{ km/h})$$

$$\text{ความเข้มรังสีอาทิตย์} = 248.2 \text{ Btu/ft}^2\text{-h} (\approx 782 \text{ W/m}^2)$$

11. U-Winter หน่วยเป็น W/m²K

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายใน และภายนอกอาคาร (U-Value) โดยคำนวณตามสภาพอากาศในฤดูหนาวของประเทศอเมริกาและใช้เงื่อนไขการคำนวณของ ASHRAE ดังต่อไปนี้

$$\text{อุณหภูมิภายนอกอาคาร} = 0 \text{ }^{\circ}\text{F} (\approx -18^{\circ}\text{C})$$

$$\text{อุณหภูมิภายในอาคาร} = 75 \text{ }^{\circ}\text{F} (\approx 20^{\circ}\text{C})$$

$$\text{ความเร็วลม} = 15 \text{ ไมล์ต่อชั่วโมง} (\approx 24 \text{ km/h})$$

12. RHG (Relative Heat Gain) หน่วยเป็น W/m²·K (W/m²) จะใช้หน่วยไหน

เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคารทั้งหมด ซึ่งรวมพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์โดยตรง และพลังงานความร้อนจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก และภายในอาคารเข้าด้วยกัน ซึ่งการพิจารณาค่าของพลังงานดังกล่าวทำได้ดังนี้

12.1 พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พิจารณาได้จากค่า Shading Coefficient

12.2 พลังงานความร้อนจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก และภายในอาคาร พิจารณาได้จากค่า U-Value Summer โดยค่า RHG สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{RHG} = (630 \text{ W/m}^2 \times \text{Shading Coefficient}) + (8 \text{ }^{\circ}\text{C} \times \text{U-Value (Summer)})$$

ตารางที่ 3-4 ค่าสมบัติของกระจกบางชนิด

รายการวัสดุ	กระจกใส	กระจกสี			กระจกตัดแสง			กระจกสะท้อนแสง			กระจกกันความร้อน			ฟิล์มลดความร้อน
		Cool Gray	Skyblue	Ocean Green	Cool gray	Skyblue	Ocean Green	Yellow	Blue	Green	Clear G.-Dry Air-Clear G.	CG.+LowE-Dry Air-Clear G.	CG.+LowE-Dry Air-Clear G.	
ความหนา (mm)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6-12-6	6-12	6-12-6	
ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (SC)	0.96	0.64	0.68	0.65	0.32	0.51	0.67	0.24	0.32	0.28	0.82	0.65	0.27	0.20-0.60
ค่าการนำความร้อน (W/m.K) (W/m ² ·K)	0.779	0.904								0.909	0.751			
ค่าสะท้อนแสง (%)	7	5	6	7			7	19	21	29	14	147	38	<25
ค่าส่องผ่านแสง (%)	88	38	58	72			74	10	21	14	78	72	7	>30
ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์ (%)	7	6	6	7			5	21	19	24	11	12	33	
ค่าส่องผ่านรังสีอาทิตย์ (%)	80	43	45	42			43	6	13	10	61	46	5	<40
ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (%)	13	51	49	51	45	48	52	73	68	66	28	42	62	

3.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) โดยอาจเกิดจากวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลาย ๆ วิธีพร้อม ๆ กัน อย่างไรก็ตามกระบวนการถ่ายเทความร้อนจะดำเนินไปจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลทางความร้อน

3.4.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกันโดยที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

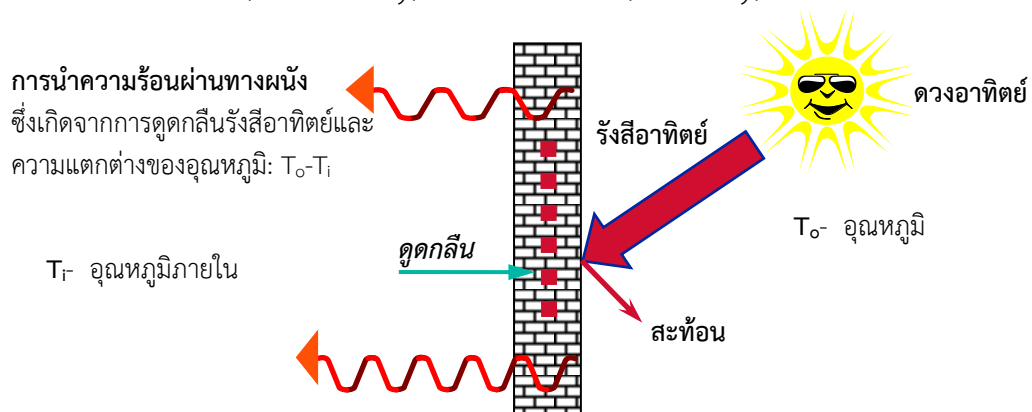
3.4.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนเป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ เมื่อของไหลสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุใดๆ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น ในสภาพธรรมชาติเมื่อของไหลถูกทำให้ร้อนจะสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ทำให้เกิดการไหลเวียนพาความร้อน โมเลกุลที่เย็นกว่าและหนักจะตกลงข้างล่าง ส่วนที่ร้อนกว่าจะเบา และลอยขึ้นด้านบน การพาความร้อนเกิดได้ 2 ลักษณะคือ การพาความร้อนโดยธรรมชาติ และการพาความร้อนโดยการบังคับ

3.4.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

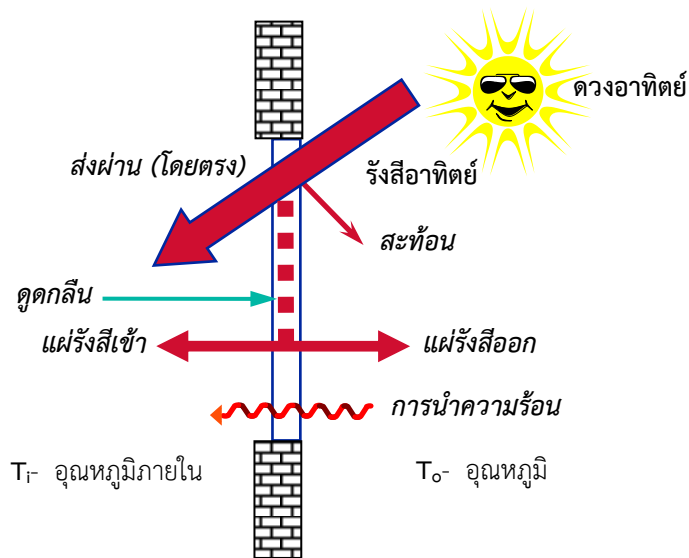
การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างใด ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทุกทาง **รูปที่ 3-7** แสดงภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ จากรูปร่างสี่เหลี่ยมที่ติดกระดุมบนผนังทึบ ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและสะสมไว้ และทำให้ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในกรณีของผนังก่ออิฐฉาบปูน อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกอาจสูงได้ถึง 45°C ในวันที่แดดจัด และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมอยู่ในช่วง $38-40^{\circ}\text{C}$ สำหรับกรณีของหลังคากระเบื้องอุณหภูมิผิวสามารถสูงได้ถึง 60°C การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของผนังเป็นผลจากพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้ และ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

ในช่วงเวลากลางคืน เมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงผนังทึบจะมีการถ่ายเทความร้อนจากตัวผนังสู่สิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนเหล่านี้ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิผนัง อุณหภูมิอากาศภายนอก ค่าสมบัติสภาพนำความร้อน (Conductivity) สภาพการแผ่รังสี (Emissivity) ฯลฯ



รูปที่ 3-7 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ

รูปที่ 3-8 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวกระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้



รูปที่ 3-8 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก

รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยส่วนหนึ่งเข้าสู่อาคาร และอีกส่วนที่เหลือสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

นอกจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก และความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้ และถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจก ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอก และภายในอาคาร ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านกระจกไปยังสิ่งแวดล้อมได้เช่นเดียวกับกรณีของผนังทึบ

3.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

กรอบอาคารมีลักษณะที่หลากหลายขึ้นกับการออกแบบ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารยังขึ้นกับปัจจัยอื่นอีกจำนวนมาก ดังนั้น การที่จะตรวจวัดเพื่อให้ทราบปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเหมือนระบบอื่น ๆ เช่น ระบบไอน้ำ เตาอุตสาหกรรม ฯลฯ จึงเป็นสิ่งที่แทบจะเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น ปกติเราจึงเลือกใช้วิธีการคำนวณเพื่อประเมินปริมาณความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคาร รวมถึงวิเคราะห์สมรรถนะของกรอบอาคารทดแทน วิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่ใช้กันมานานอย่างต่อเนื่องและเป็นที่รู้จักกันดี คือ การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของกรอบอาคาร

สำหรับประเทศไทยได้มีการบังคับให้อาคารควบคุมต้องมีค่า OTTV และ RTTV เป็นไปตามข้อกำหนดทางกฎหมาย เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอาคารควบคุมนั้นๆ เป็นอาคารที่กรอบอาคารมีสมรรถนะดีเพียงพอในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เกณฑ์ดังกล่าวบังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 และในปี พ.ศ. 2544 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้ปรับปรุงวิธีการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ให้มีความแม่นยำ และมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทยมากยิ่งขึ้น ในที่นี้ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยเบื้องต้น **ตารางที่ 3-5** แสดงค่า OTTV และ RTTV ของอาคารประเภทต่าง ๆ ตามเกณฑ์ที่ได้ปรับปรุงใหม่

ตารางที่ 3-5 ค่า OTTV และค่า RTTV ของอาคารประเภทต่าง ๆ

ประเภทอาคาร/ลักษณะการใช้งาน อาคาร	OTTV (Wm^{-2} ของผนังด้านนอกอาคาร)	RTTV (Wm^{-2} ของหลังคาอาคาร)
สำนักงาน สถานศึกษา	$O-OTTV \leq 50$	$O-RTTV \leq 15$
ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือซูเปอร์สโตร์	$S-OTTV \leq 40$	$S-RTTV \leq 12$
โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	$H-OTTV \leq 30$	$H-RTTV \leq 10$

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

- O หมายถึง สำนักงาน และสถานศึกษา
- S หมายถึง ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือ ซูเปอร์สโตร์
- H หมายถึง โรงแรม โรงพยาบาล หรือสถานพักฟื้น

3.5.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน (OTTV_i) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (3.1)$$

เมื่อ

- OTTV_i คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา, W/m^2
- U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
- WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา
- TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, $^\circ C$
- U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสง หรือกระจก, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
- ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร
- SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสงหรือกระจก
- SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด
- ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง, W/m^2

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV_i) รวมกัน ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \dots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (3.2)$$

- เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง, m^2
- OTTV_i คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3.1)

ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) ของผนังด้านนอกอาคารแต่ละด้าน ให้คำนวณจากวิธีการในส่วนต่อไปนี้

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) ของกรอบอาคาร คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3.3)$$

เมื่อ R_T คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุ

- ค่าความต้านทานความร้อน ของวัสดุใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (3.4)$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน, $m^2 \cdot K/W$

Δx คือ ความหนาของวัสดุ, m

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ, $W/m^2 \cdot K$

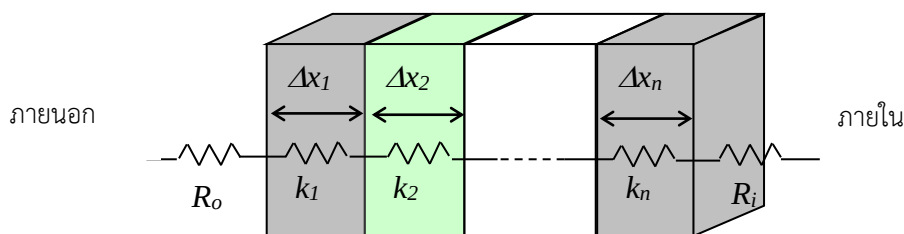
- ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารแต่ละด้านที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุหลายชนิด

สำหรับผนังอาคารที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารจะเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด

ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารจะถูกส่งผ่านมายังผนังอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกของผนังอาคาร เช่นเดียวกับที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังอาคารจะถูกส่งผ่านจากพื้นผิวด้านในของผนังอาคารไปยังสิ่งแวดล้อมภายในอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ดังนั้น ฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอก และด้านในของผนังอาคาร จึงถือว่ามีค่าความต้านทานความร้อน

■ กรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า R_T ของส่วนใดๆ ของกรอบอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกันแสดงได้ดังรูปที่ 3-9 และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.5)



รูปที่ 3-9 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (3.5)$$

เมื่อ

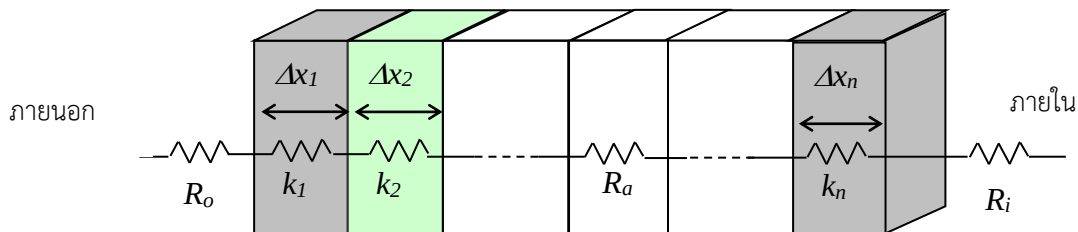
$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$ คือ ความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร
 $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร
 R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร
 R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร

■ กรณีที่ผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศ [Air gap (s) or air space (s)] ระหว่างชั้นของกรอบอาคารจะมีค่าความต้านทานความร้อนค่าหนึ่ง กลไกของการถ่ายเทความร้อน ทั้งการนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างอากาศจะมีค่าแตกต่างกันออกไป แสดงได้ดังรูปที่ 3-10 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคารส่วนนี้สามารถคำนวณได้จาก

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + R_a + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (3.6)$$

โดยมีนิยามของค่าต่าง ๆ เช่นเดียวกับสมการที่ (3.5)



รูปที่ 3-10 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน

● ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคาร ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของผนังอาคาร ตารางที่ 3-6 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ตารางที่ 3-6 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

	ผนังภายใน (R_i)	ผนังภายนอก (R_o)
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($m^2 \cdot K/W$)	0.12	0.044

พื้นผิวของวัสดุที่ถูกใช้เป็นผนังอาคารโดยส่วนใหญ่ จะถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังทึบของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ปรากฏในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($m^2 \cdot K/W$)		
	ความหนาของช่องว่างอากาศ		
	5 mm	20 mm	100 mm
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.11	0.148	0.160
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.25	0.578	0.606

สำหรับกรณีพื้นผิวผนังทั่วไปให้ถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ ให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของผนังด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น ผนังที่มีการติดแผ่นฟอยล์สะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5 mm ถึง 20 mm หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20 mm ถึง 100 mm ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 100 mm ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 100 mm

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และคุณสมบัติอื่น ๆ ของวัสดุ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 3-8

นอกเหนือจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity; k) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ของวัสดุแล้ว ความหนาแน่นของวัสดุ (density; ρ) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat; c_p) ของวัสดุ ยังมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผนังดูดกลืนไว้ (heat absorption) และระยะเวลาที่ผนังอาคารสามารถหน่วงการส่งผ่านความร้อน (thermal time lag) จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับวัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิวของผนังภายนอกอาคาร ซึ่งจะต้องสัมผัสกับรังสีอาทิตย์และท้องฟ้าโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Solar absorptance) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของวัสดุ ก็จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (heat gain) และการสูญเสียความร้อน (heat loss) ของผนังอาคารด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 3-8 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของวัสดุต่างๆ

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m·K)	ความหนาแน่น (Kg/m ³)	ความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg·K))
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	0.398	1860	1.00
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	0.108	720	1.00
3	วัสดุผนังหลังคาแอสฟัลท์	1.226	1100	1.51
4	บิตูเมน (bitumen)	1.298	1100	1.26
5	อิฐ			
	(ก) แท่งและฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสคหรือกระเบื้อง	0.807	1760	0.837
	(ข) ผนังไม่ฉาบปูน	1.154	1600	0.79
6	คอนกรีต	1.442	2400	0.92
7	คอนกรีตชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่าง ๆ			
	(ก) 620 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.160	620	0.84
	(ข) 960 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.303	960	0.84
	(ค) 1120 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.346	1120	0.84
	(ง) 1280 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.476	1280	0.84
8	บล็อกคอนกรีต	1.02	1370	0.92
9	แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01
10	แผ่นไฟเบอร์ (fibre board)	0.052	264	0.59
11	ไฟเบอร์กลาส			
	(ก) แบบม้วน (blanket)	0.038	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	(ข) แบบแผ่น (rigid board)	0.033	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	(ค) แบบท่อสำเร็จ (rigid pipe section)	0.038	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
12	แผ่นกระฉาก	1.053	2512	0.88
13	แผ่นยิปซัม	0.191	880	1.09
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด			
	(ก) มาตรฐาน	0.216	1024	1.34
	(ข) ปานกลาง	0.123	640	1.30
15	โลหะ			
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	211	2672	0.896
	(ข) ทองแดง	388	8784	0.390
	(ค) เหล็กกล้า	47.6	7840	0.500
16	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	0.05	290	0.80
17	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว			
	(ก) ยิปซัม	0.235	720	1.09
	(ข) เพอร์ไลต์	0.115	616	1.34
	(ค) ปูนผสมทราย	0.553	1568	0.84
18	โพลีสไตรีน แบบขยายตัว	0.035	16	1.21
19	โพรพิลีน	0.024	24	1.59
20	โพรพิลีนเอทิลีน	0.029	45	1.21
21	พื้นผิวซี	0.713	1360	1.26
22	หิน			
	(ก) หินทราย	1.298	2000	0.79

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m·K)	ความหนาแน่น (Kg/m ³)	ความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg·K))
	(ข) หินแกรนิต	2.927	2640	0.79
	(ค) หินอ่อน	1.298	2640	0.80
23	กระเบื้องหลังคา	0.836	1890	1.00
24	ไม้			
	(ก) ไม้เนื้ออ่อน	0.125	608	1.30
	(ข) ไม้เนื้อแข็ง	0.138	702	1.30
	(ค) ไม้อัด	0.138	528	1.21
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดหยาบอัดหลวม (ความหนาแน่นต่ำ)	0.065	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	1.34
26	ไม้อัดซีพอร์ด	0.144	800	1.30
27	แผ่นกระดาดอัด	0.086	400	1.38

หมายเหตุ: ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะ จาก 2001 ASHREA Fundamentals Handbook (SI)

ข) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอก และภายในอาคารเป็นค่าที่รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ค่านี้จะขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุผนัง รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของผนัง

ค) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนังที่มีผลต่อปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนผนังอาคาร และใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร		หมายเหตุ
	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	สีภายนอก	
0.3	แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม หินอ่อนสีขาว กรวดล้างสีขาว	สีขาว สีเงิน สีเงิน/สีบรอนซ์สะท้อนแสง	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวสีขาว
0.5	หินอ่อนสีครีมหรือสีอ่อน หินแกรนิตสีครีมหรือสีอ่อน กรวดล้างสีครีมหรือสีอ่อน วัสดุปิดผิวสีอ่อน	สีครีม สีฟ้าอ่อน สีเขียวอ่อน สีเหลืองอ่อน สีส้มอ่อน	วัสดุที่มีผิวสีอ่อน
0.7	คอนกรีตไม่ทาสี อิฐไม่ทาสี แผ่นไฟเบอร์ไม่ทาสี กรวดล้างสีเทา ซีเมนต์เอสเบสต่อสีไม่ทาสี	สีแดง สีฟ้า สีเขียว สีส้ม สีสนิม (rustic)	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม

สัมประสิทธิ์การ ดูดกลืนรังสีอาทิตย์	พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร		หมายเหตุ
	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	สีทาภายนอก	
0.9	อิฐสีแดง แอสฟัลต์ คอนกรีตสีเทาเข้มและสีดำ วัสดุผนังหลังคาสีเขียวเข้มและ สีแดงเข้ม	สีน้ำเงินหรือสีเขียวเข้ม สีเทาเข้ม สีน้ำตาลเข้ม สีดำ	วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ง) ผลคูณของค่าความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะ (Density-Specific Heat product; DSH)

ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของผนังทึบ มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของวัสดุผนังอาคาร

สำหรับผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุเพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่นเท่ากับ ρ_i ความร้อนจำเพาะเท่ากับ c_{pi} และมีความหนาเท่ากับ Δx_i ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i), \quad \text{kJ/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (3.7)$$

สำหรับผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน n ชนิด ผลคูณของค่าความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH = DSH_1 + DSH_2 + \dots + DSH_n, \quad \text{kJ/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (3.8)$$

เมื่อ DSH_i คือ ค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของผนัง

ρ_i คือ ความหนาแน่นของวัสดุ i

c_{pi} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ i

Δx_i คือ ความหนาของวัสดุ i

กรณีที่มีผนังมีช่องว่างอากาศตรงกลาง ช่องว่างอากาศดังกล่าวไม่ทำให้ค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของผนังเปลี่ยนแปลงไป

จ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังทึบ

ตารางที่ 3.10 แสดงชุดของค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบสำหรับอาคารประเภท สำนักงาน และสถานศึกษา ค่าในตารางประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวของผนัง ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของผนัง ทิศทาง และมุมเอียงของผนัง

มุมเอียงของผนัง คือ มุมที่ผนังกระทำกับพื้นผิวโลก ผนังแนวตั้งจะมีค่ามุมเอียงของผนังเท่ากับ 90 องศา ส่วนหลังคาในแนวระนาบ จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา

สำหรับตารางที่ 3-11 และ 3-12 แสดงตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบสำหรับ อาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ต และสำหรับอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลที่มีปริมาณมาก ตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ ที่แสดงนี้ (ตารางที่ 3-10 ถึง 3-12) เป็นตารางที่คัดลอกมาเพียงบางส่วนเท่านั้น สำหรับผู้สนใจสามารถสืบค้น ข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเอกสารฉบับเต็มไม่ยากนัก

ตอนที่ 3 บทที่ 3 ระบบกรอบอาคาร

เมื่อทราบชนิดวัสดุ ความหนาของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นผนังอาคาร ให้ใช้ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะในตารางที่ 3-8 และสมการที่ (3.7) และ (3.8) คำนวณหาค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง กรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุในตารางที่ 3-8 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ตารางที่ 3-10 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังที่บสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา

มุมเอียงของผนัง(องศา)	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	16.5	25.0	33.6	42.1
		30	16.2	24.6	33.0	41.5
		50	15.7	24.0	32.3	40.6
		100	14.4	22.3	30.3	38.2
		200	12.1	19.1	26.1	33.1
		300	10.5	16.8	23.0	29.2
		400	10.2	16.2	22.2	28.3
90	ทิศเหนือ	15	10.8	14.1	17.4	20.7
		30	10.4	13.7	16.9	20.1
		50	10.0	13.2	16.3	19.5
		100	9.1	12.1	15.1	18.1
		200	7.9	10.6	13.4	16.1
		300	7.3	9.9	12.5	15.1
		400	7.1	9.6	12.2	14.7
	ทิศตะวันออก	15	12.6	17.2	21.9	26.5
		30	12.3	16.9	21.5	26.1
		50	11.9	16.5	21.1	25.6
		100	11.1	15.5	20.0	24.4
		200	9.8	13.9	18.0	22.2
		300	9.0	12.8	16.6	20.4
		400	8.6	12.2	15.8	19.4
	ทิศใต้	15	13.0	18.0	22.9	27.8
		30	12.7	17.5	22.3	27.1
		50	12.2	16.9	21.6	26.3
		100	11.1	15.6	20.1	24.6
		200	9.7	13.7	17.8	21.9
		300	8.9	12.7	16.5	20.3
		400	8.6	12.2	15.9	19.5
	ทิศตะวันตก	15	12.3	16.7	21.1	25.5
		30	11.9	16.2	20.4	24.7
		50	11.3	15.5	19.6	23.7
		100	10.2	14.0	17.8	21.6
		200	8.7	12.1	15.5	18.9
		300	8.1	11.2	14.4	17.6
		400	7.9	11.0	14.1	17.2

ตารางที่ 3-11 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ต

มุมเอียงของผนัง(องศา)	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดักกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	12.1	17.8	23.4	29.0
		30	12.4	18.3	24.2	30.0
		50	12.7	18.8	24.9	31.0
		100	13.1	19.6	26.0	32.5
		200	12.6	19.0	25.5	31.9
		300	11.5	17.5	23.5	29.5
		400	11.0	16.9	22.7	28.5
90	ทิศเหนือ	15	8.3	10.6	12.9	15.2
		30	8.4	10.7	13.1	15.4
		50	8.4	10.8	13.2	15.5
		100	8.4	10.9	13.3	15.7
		200	8.1	10.5	12.9	15.2
		300	7.5	9.8	12.1	14.4
		400	7.0	9.2	11.4	13.6
	ทิศตะวันออก	15	9.2	12.1	15.0	17.9
		30	9.3	12.3	15.3	18.3
		50	9.5	12.6	15.7	18.7
		100	9.7	12.9	16.2	19.4
		200	9.5	12.8	16.1	19.5
		300	8.9	12.1	15.3	18.5
		400	8.3	11.4	14.5	17.6
	ทิศใต้	15	9.8	13.1	16.4	19.7
		30	9.9	13.3	16.6	20.0
		50	10.0	13.4	16.9	20.3
		100	10.1	13.7	17.2	20.8
		200	9.8	13.3	16.9	20.4
		300	9.1	12.5	15.9	19.3
		400	8.5	11.8	15.0	18.3
	ทิศตะวันตก	15	9.7	12.8	16.0	19.2
		30	9.7	12.9	16.2	19.4
		50	9.7	13.0	16.3	19.5
		100	9.7	13.0	16.3	19.6
		200	9.2	12.4	15.7	18.9
		300	8.5	11.6	14.6	17.6
		400	8.0	10.9	13.7	16.6

ตารางที่ 3-12 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังที่บสำหรับอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล

มุมเอียงของผนัง(องศา)	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	7.3	10.7	14.1	17.5
		30	7.3	10.7	14.2	17.6
		50	7.3	10.8	14.3	17.7
		100	7.4	10.9	14.5	18.0
		200	7.5	11.2	14.9	18.6
		300	7.6	11.4	15.2	19.1
		400	7.7	11.5	15.4	19.3
90	ทิศเหนือ	15	4.7	6.1	7.5	8.9
		30	4.7	6.1	7.5	8.9
		50	4.7	6.1	7.5	8.9
		100	4.8	6.2	7.6	9.0
		200	4.8	6.3	7.7	9.2
		300	4.9	6.3	7.8	9.3
		400	4.9	6.4	7.9	9.4
	ทิศตะวันออก	15	5.5	7.4	9.4	11.3
		30	5.5	7.4	9.4	11.4
		50	5.5	7.5	9.4	11.4
		100	5.5	7.5	9.5	11.5
		200	5.6	7.7	9.7	11.7
		300	5.7	7.8	9.8	11.9
		400	5.7	7.8	9.9	12.0
	ทิศใต้	15	5.6	7.7	9.7	11.8
		30	5.6	7.7	9.8	11.8
		50	5.7	7.7	9.8	11.9
		100	5.7	7.8	9.9	12.0
		200	5.8	8.0	10.1	12.3
		300	5.9	8.1	10.3	12.5
		400	5.9	8.2	10.4	12.6
	ทิศตะวันตก	15	5.3	7.1	9.0	10.8
		30	5.3	7.2	9.0	10.9
		50	5.4	7.2	9.1	10.9
		100	5.4	7.3	9.2	11.1
		200	5.5	7.5	9.4	11.3
		300	5.6	7.6	9.5	11.5
		400	5.6	7.6	9.6	11.6

ฉ) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_f)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ โดยเลือกใช้สมการที่ (3.5) หรือ (3.6) ขึ้นอยู่กับชนิดของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าวให้ใช้วิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

■ กระจกชั้นเดียว

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_f) ของกระจกกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียว ให้คำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$U_f = \frac{1}{R_f}, \quad (3.9a)$$

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o, \quad (3.9b)$$

เมื่อ R_f คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสง

R_i และ R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายใน และภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 3-6

Δx คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง

k_g คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง

■ กระจกลามิเนต

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกลามิเนต ให้คำนวณโดยใช้สมการที่ (3.5)

■ ระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น และมีช่องว่างอากาศภายใน ให้ใช้สมการที่ (3.6) ในการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศจากตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความกว้างของช่องว่างอากาศ (มิลลิเมตร)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($m^2 \cdot K/W$)	
	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

ให้ใช้ค่าพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงสำหรับช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสงทั่วไป นอกเหนือจากมีการกำหนดว่ากระจกหรือผนังโปร่งแสงด้านที่ติดช่องว่างอากาศนั้นถูกเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (Low emissivity coating) จึงใช้ค่าพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดไว้ในตาราง (5-13 mm) ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 13 mm ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 13 mm

ข) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (ΔT)

ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า OTTV ตามสมการที่ (3.1) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท แสดงในตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-14 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	สำนักงานและสถานศึกษา	โรงพยาบาลและโรงแรม	ห้างสรรพสินค้าและซูเปอร์มาเก็ต
ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ($^{\circ}\text{C}$)	5	3	5

ข) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC)

ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนัง และหลังคา ส่วนโปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงที่มีผลการทดสอบ และวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางที่ 3-15

ฅ) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient; SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจก ของหน้าต่าง

ตารางที่ 3-15 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible transmittance) ของกระจกชนิดต่าง ๆ

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว (Uncoated single glazing)			
6	กระจกใส	0.88	0.73
6	กระจกสีบรอนซ์	0.54	0.54
6	กระจกสีเขียว	0.76	0.54
6	กระจกสีเทา	0.46	0.52
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว	0.75	0.55
กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว (Reflective single glazing)			
6	กระจกใสเคลือบโลหะสแตนเลส 20%	0.20	0.28
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 20%	0.20	0.27
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30%	0.30	0.35
กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว (Uncoated double glazing)			
6	กระจกใส-กระจกใส	0.78	0.60
6	กระจกสีบรอนซ์-กระจกใส	0.47	0.41
6	กระจกสีเขียว-กระจกใส	0.68	0.41

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
6	กระจกสีเทา-กระจกใส	0.41	0.39
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว-กระจกใส	0.67	0.43
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจกใส	0.59	0.33
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น (Reflective double glazing)			
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30% และกระจกใส	0.27	0.25
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (Low-e double glazing, e = 0.2 on surface 2)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและกระจกใส	0.73	0.53
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (Low-e double glazing), e = 0.1 on surface 2)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและกระจกใส	0.72	0.44
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.57	0.27

ญ) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation; ESR)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผนังที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังของอาคาร วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับพื้นผิวโลก (หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้ง จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบบน (หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา สำหรับตารางค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียง และทิศทางผนังต่าง ๆ ของอาคารประเภทสำนักงาน/สถานศึกษา ห้างสรรพสินค้า และประเภทโรงแรม โรงพยาบาล ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-16 ถึง 3-18 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-16 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา (W/m²)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38
15	405.00	421.74	433.61	440.00	441.62	438.90	431.51	419.53
30	358.99	390.20	412.96	425.48	428.59	422.98	408.39	385.65
45	306.68	348.31	379.58	397.17	401.47	393.20	372.57	341.61
60	255.37	301.60	337.61	358.44	363.45	353.18	328.62	293.33
75	212.39	255.60	291.21	312.65	317.70	306.52	281.11	246.70
90	185.06	215.84	244.53	263.14	267.41	256.82	234.58	207.62

ตารางที่ 3-17 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้า (W/m²)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55
15	303.15	307.90	315.66	323.63	330.14	333.80	331.91	321.31
30	268.08	278.60	293.82	308.44	319.42	324.35	319.10	299.32
45	227.46	243.07	264.27	283.71	297.18	301.59	292.50	266.04
60	187.41	205.70	230.29	252.20	266.21	268.90	256.53	226.97
75	154.06	170.92	195.12	216.63	229.31	229.66	215.55	187.56
90	133.52	143.11	162.04	179.75	189.27	187.26	173.98	153.31

ตารางที่ 3-18 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม โรงพยาบาล (W/m^2)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44
15	177.49	185.24	190.45	193.01	193.33	191.76	188.38	183.39
30	157.51	171.84	181.79	186.87	187.63	184.64	178.12	168.59
45	134.67	153.68	167.29	174.48	175.71	171.59	162.54	149.52
60	112.13	133.17	148.76	157.33	158.93	154.12	143.54	128.65
75	93.08	112.74	128.05	136.87	138.66	133.74	123.01	108.45
90	80.68	94.81	106.98	114.57	116.26	111.96	102.86	91.40

3.5.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

ก) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_{ni}$) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_{ni} = (U_r)(1-SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (3.10)$$

เมื่อ

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

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, $^\circ C$

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายใน และภายนอกอาคาร

$SHGC$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ รังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน หรือปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ ผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง, W/m^2

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_{ni}$) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_n = \frac{(A_{w1})(RTTV_{n1}) + (A_{w2})(RTTV_{n2}) + \dots + (A_{wi})(RTTV_{ni})}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (3.11)$$

เมื่อ

A_{wi} คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบ และพื้นที่หลังคาโปร่งแสง, m^2

$RTTV_{ni}$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3.10)

ข) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) ของหลังคาอาคาร ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.5.1 และใช้คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ ในตารางที่ 3-8 อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศสำหรับกรณีที่เป็นหลังคาอาคารให้ใช้ค่าจากตารางที่ 3-19, 3-20 และ 3-21

ตารางที่ 3-19 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคาอาคาร

	พื้นผิวหลังคาภายใน (R_i) ที่มุมเอียง ต่างๆ กันจากแนวระนาบ			พื้นผิวหลังคา ภายนอก (R_o) ที่มุม เอียงใดๆ
	0	22.5	45	
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์ม อากาศ (ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์)	0.162	0.148	0.133	0.055

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในหลังคาของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของหลังคาด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ แสดงในตารางที่ 3-20

ตารางที่ 3-20 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวหลังคาด้านนอก		ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)		
		ความหนาของช่องว่างอากาศ		
		5 mm	20 mm	100 mm
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0°	0.11	0.148	0.174
	22.5°	0.11	0.148	0.165
	45°	0.11	0.148	0.158
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0°	0.25	0.572	1.423
	22.5°	0.25	0.571	1.095
	45°	0.25	0.570	0.768

สำหรับกรณีทั่วไปให้ถือเป็นพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของหลังคาด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น หลังคาที่มีการติดแผ่นฟอยล์สะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5-20 mm หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20-100 mm ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างเกินกว่า 100 mm ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 100 mm ตารางที่ 3-21 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคา

ตารางที่ 3-21 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคา

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเพดาน	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.458
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	1.356

ค) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา ค่านี้จะขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุหลังคา รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของหลังคา

ง) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของหลังคามีผลต่อปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคาร และใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 3-9

จ) ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง (Density-Specific Heat product; DSH)

ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของหลังคา มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุหลังคาอาคาร ค่าความร้อนจากผลของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ ของหลังคา ให้คำนวณโดยใช้วิธีการในหัวข้อที่ 3.5.1

ฉ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของหลังคา

ตารางที่ 3-10 แสดงชุดของค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ที่ประยุกต์ใช้สำหรับหลังคาอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา เมื่อทราบชนิดวัสดุ ความหนาของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นหลังคาอาคาร ให้ใช้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะในตารางที่ 3-8 และสมการที่ (3.7) และ (3.8) คำนวณหาค่าความร้อนที่เกิดจากผลของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ กรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุในตารางที่ 3-8 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ช) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง (U_g)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกและผนังโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนี้ให้ใช้จากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_g) สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในหลังคา ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 3-20

ซ) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (ΔT)

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า RTTV ตามสมการที่ 3.10 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท แสดงในตารางที่ 3-14

ณ) ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC)

ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุหลังคาส่วนโปร่งแสงและก่อให้เกิดความร้อนขึ้นภายในอาคาร ค่าดังกล่าวเป็นผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสงโดยตรง กับการแผ่รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในวัสดุหลังคาโปร่งแสงทั้งหมดเข้ามายังภายในอาคาร

ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตที่มีผลการทดสอบ และวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางที่ 3-15

ญ) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient; SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารสำหรับหลังคา ให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับวิธีการในหัวข้อ 3.5.1 (ฉ)

ฎ) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation; ESR)

ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่าน ผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับหลังคาอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา ให้ใช้ค่าในตารางที่ 3-16

3.6 การปรับปรุงสมรรถนะกรอบอาคาร

เราสามารถปรับปรุงสมรรถนะของกรอบอาคารได้ทั้งในส่วนของผนังทึบ ผนังกระจก หลังคา และพื้น โดยมาตรการต่างๆ ไปที่สามารถดำเนินการได้รวบรวมได้ดังนี้

3.6.1 ผนังทึบ

ก) การเลือกใช้วัสดุที่มีมวลอุณหภาพที่เหมาะสมกับอาคาร

มวลอุณหภาพ (Thermal Mass) เป็นค่าสมบัติของวัสดุในการดูดกลืน และสะสมความร้อน วัสดุที่หนัก และมีความหนาแน่นสูงจะเก็บความร้อนไว้ได้มากและใช้เวลานานกว่าความร้อนเหล่านั้นจะถูกถ่ายเทเข้าไปยังภายในอาคาร ในกรณีที่ภาวะอากาศมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวัน และกลางคืนสูง และอาคารมีการใช้งานเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน วัสดุที่มีมวลมากจะช่วยหน่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ทำให้ภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศต่ำ และในช่วงเย็นเมื่อเลิกใช้อาคารและเครื่องปรับอากาศ ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังจะไม่มีผลต่อการใช้พลังงาน เนื่องจากไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแล้ว และความร้อนส่วนหนึ่งที่สะสมอยู่ในตัวผนังจะถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมในช่วงค่ำ



(ก) อิฐ

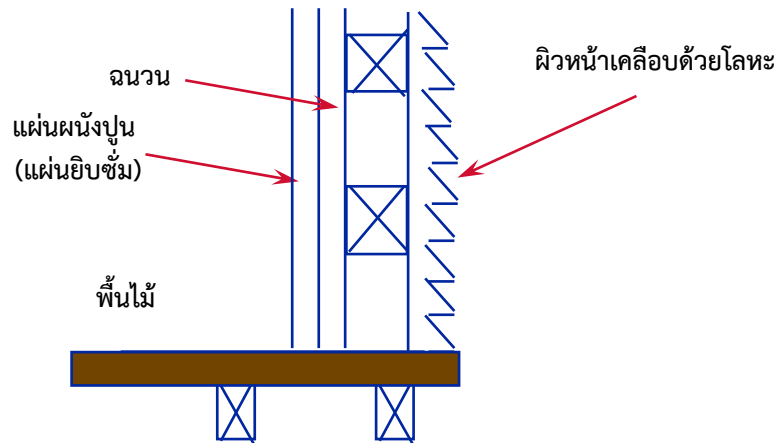


(ข) คอนกรีตบล็อก

รูปที่ 3-11 วัสดุที่มีมวลอุณหภาพ (Thermal Mass) สูง

วัสดุที่มีค่ามวลความร้อนต่ำจะสะสมความร้อนน้อย ในกรณีที่อุณหภูมิภายนอกไม่ต่ำมากในเวลากลางคืน วัสดุที่มีมวลมากจะสะสมความร้อนไว้ตลอดเวลา ขณะที่วัสดุที่มีมวลน้อย จะไม่สะสมความร้อนไว้ วัสดุที่มีมวลน้อยสามารถถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน แม้ว่าการแผ่รังสีไม่ใช่วิธีถ่ายเทความร้อนที่ดีนัก แต่ก็ดีกว่าการเก็บความร้อนในวัสดุที่มีมวลมากซึ่งไม่สามารถเย็นลงอย่างรวดเร็วโดยการแผ่รังสีได้ สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อน และความชื้นสูง การใช้วัสดุที่มีค่ามวลความร้อนต่ำและใช้

ควบคุมกับฉนวนด้วยจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม ในขณะที่ภายนอกมีอุณหภูมิสูง



รูปที่ 3-12 วัสดุที่มีค่ามวลความร้อน (Thermal Mass) ต่ำ

จากที่กล่าวข้างต้น มวลอุณหภูมิกสามารถช่วยลดภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศได้ อย่างไรก็ตามการใช้งานต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น ช่วงเวลาการใช้อาคารหรือเครื่องปรับอากาศ การใช้มวลอุณหภูมิกอย่างผิดวิธีจะส่งผลในทางตรงกันข้ามกล่าวคือ ภาระการปรับอากาศสูงขึ้น และเครื่องปรับอากาศใช้พลังงานสูง ตัวอย่างหนึ่ง ได้แก่ การใช้ผนังที่มีมวลอุณหภูมิกสูงกับบ้านซึ่งส่วนใหญ่ใช้งานในเวลาเย็นและกลางคืน ผนังที่มีมวลมากจะกักเก็บความร้อนในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งไม่มีผู้อยู่อาศัยในบ้าน และถ่ายเทให้กับบ้านในเวลาเย็น และค่ำ เมื่อผู้อยู่อาศัยกลับบ้านภายหลังจากการทำงาน และเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

ข) ผนังคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตสังเคราะห์จากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ทราย ปูนขาว ปูนซีเมนต์ ยิปซัม และสารกระจายฟองอากาศ ไม่มีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม มีน้ำหนักเบากว่าอิฐธรรมดา 2 - 3 เท่า เนื่องจากเนื้อวัสดุประกอบด้วยฟองอากาศเล็กๆ กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอประมาณ 75 % ของเนื้อวัสดุ น้ำหนักประมาณ 50 kg/m² (ความหนา 10 cm) แต่มีความแข็งแรงสามารถรับแรงกดได้ประมาณ 30 - 80 kg/m² ดังนั้น จึงสามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร สามารถใช้ก่อได้ทั้งผนังรับแรง (Load Bearing Wall) และผนังปกติที่ไม่ได้รับแรง (Non-Load Bearing Wall) สามารถผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น แบบบล็อก แบบแผ่น แบบคานเสริมเล็ก ฯลฯ มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน มีค่าความต้านทานความร้อนประมาณ 0.6 - 0.8 m²/W·K ทั้งนี้ในการก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบาจะมีการฉาบปูนเช่นเดียวกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

ค) การใช้วัสดุแผ่รังสีความร้อนต่ำ

สภาพเปล่งรังสี (Emissivity) คือ ความสามารถของพื้นผิวในการดูดกลืนความร้อน และสะท้อนความร้อนกลับ วัสดุโดยทั่วไป เป็นวัสดุที่มีค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ต่ำ เพื่อที่จะลดปริมาณความร้อนรับที่เข้าสู่อาคารให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น พื้นผิวที่มีสีเข้มจะดูดกลืนความร้อนได้มากกว่า และสะท้อนรังสีได้น้อยกว่าพื้นผิวที่มีสีอ่อน และมีความแวววาว

ค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ของวัสดุทั่วไป เช่น

พอลิเอทิลีน	0.05
กระจกที่มีค่า “E” ต่ำ	0.15 - 0.3

ตอนที่ 3 บทที่ 3 ระบบปรับอากาศ

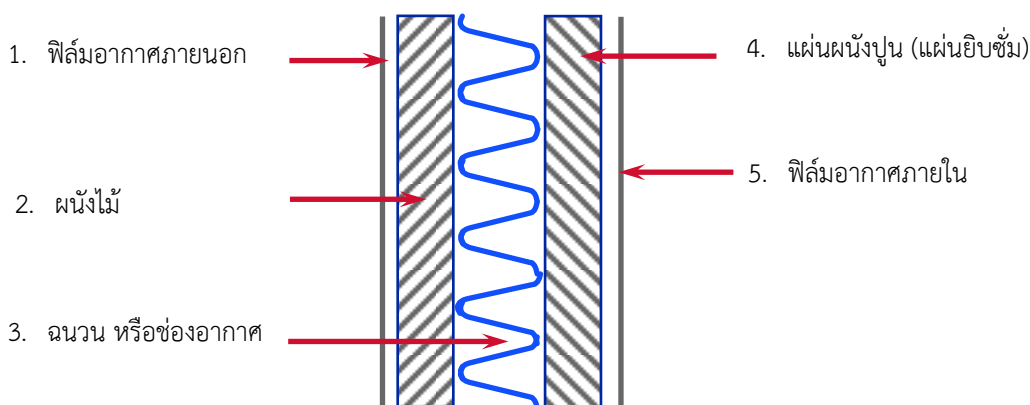
กระจกใส	0.85
อิฐ	0.90
ไม้	0.91
พื้นลงน้ำมันชักเงาสีดำ	0.96

ค่าสภาพเปล่งรังสียิ่งต่ำก็จะดูดกลืนความร้อนได้น้อยกว่า และสะท้อนกลับได้มากกว่า

ง) ทาผนังด้วยสีอ่อน ซึ่งสามารถสะท้อนความร้อน และรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดีกว่า

จ) การบุฉนวนผนังเพื่อลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคาร

การบุฉนวนกับผนังอาคารสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารได้ และหากการบุฉนวนสามารถทำควบคู่ไปกับการติดแผ่นสะท้อนรังสี (Reflective Foil) โดยผนังมีช่องอากาศก็จะลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างมากทีเดียว



รูปที่ 3-13 ผนังที่บุฉนวน

ส่วนประกอบ	R_1 (มีฉนวน)*	R_2 (มีเฉพาะช่องอากาศ)*
1.	0.03	0.03
2.	0.14	0.14
3.	1.94 (มีฉนวน)	0.15 (มีช่องอากาศ)
4.	0.08	0.08
5.	0.12	0.12

$$R_1 = 2.3 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} \quad R_2 = 0.52 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$$

หมายเหตุ ค่า R ยิ่งสูง หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย ค่า U ต่ำ หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย

3.6.2 กระจกหน้าต่าง

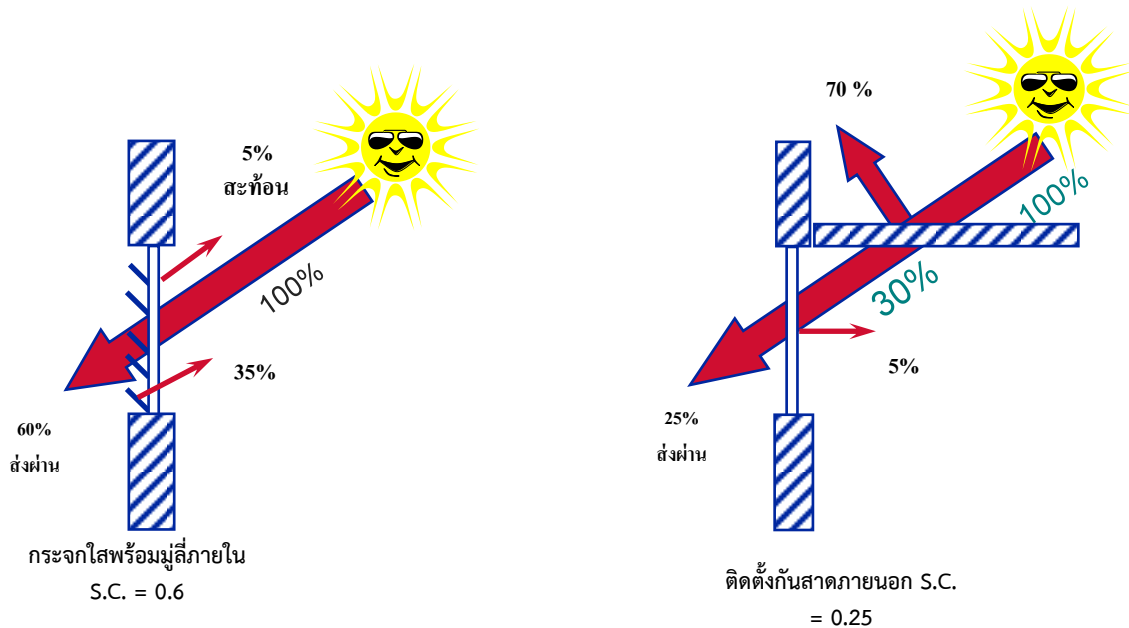
ก) การใช้อุปกรณ์บังแดด

■ อุปกรณ์บังแดดภายนอก

- ชายคา (Overhangs) เหนืออาคาร
- บานเกล็ด (Louvers) ภายนอกของหน้าต่าง
- กันสาดหรือผ้าใบบังแดด (Awnings) เหนือหน้าต่าง
- ม่านบังตาหรือมู่ลี่ (Shutters or Blinds) แบบใช้ภายนอกม้วนได้ หรือมู่ลี่
- ร่มเงาจากต้นไม้

■ อุปกรณ์บังแดดภายใน

- ม่านบังตา หรือมู่ลี่ที่ม้วนหรือรูดขึ้นลงได้ (Venetain or Roller Blinds)
- ม่าน (Curtains)

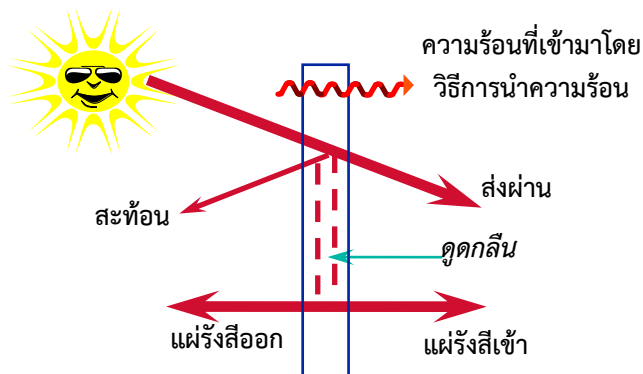


การบังแดดจากภายนอกจะให้ผลดีกว่า เนื่องจากสามารถป้องกันความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ไม่ให้เข้ามาภายในอาคารได้วิธีแบบนี้ เรียกว่า การบังแดดแบบ Passive Solar Shading การบังแดดภายในซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ส่วนมากจะเป็นมู่ลี่หรือม่าน จะสะท้อนการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างกลับออกไปภายนอกได้บางส่วน และจะดูดกลืนความร้อนบางส่วนไว้ถ่ายเทเข้าสู่ภายในห้อง ดังนั้น จึงเป็นการดีอย่างยิ่ง หากสามารถป้องกันไม่ให้รังสีจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบกระจกของหน้าต่างได้ แต่เนื่องจากว่าการติดตั้งการบังแดดด้านนอกจะเป็นแบบติดตายตัว ซึ่งจะไม่สามารถให้การบังแดดได้เต็มที่ตลอดเวลา เพราะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ดังนั้น การใช้วิธีการบังแดดทั้งด้านนอก และด้านในของอาคารจึงมักจะใช้ควบคู่กัน

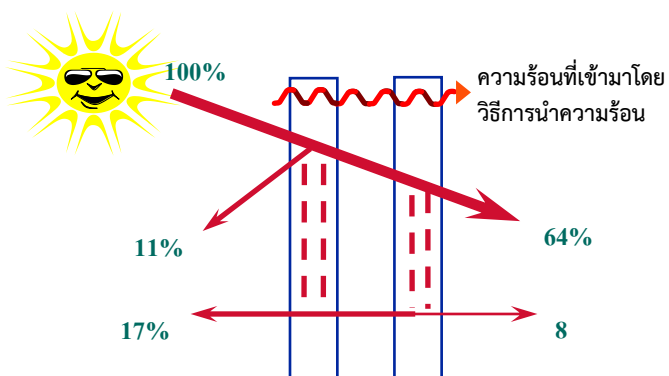
ข) การใช้กระจกหน้าต่างชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ได้และช่วยลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร

- กระจกที่มีค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ต่ำ จะมีการฉาบบนผิวกระจก เพื่อที่จะลดความร้อนที่จะดูดกลืนไว้ไม่ให้แผ่รังสีเข้าสู่ภายในห้องซึ่งจะมีประโยชน์มากในฤดูร้อน ขณะที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอก ซึ่งจะมีประโยชน์ในฤดูหนาว กระจกชนิดนี้ส่วนมากจะเป็นกระจกแบบ 2 ชั้น
- กระจก 2 ชั้น ระบบกระจก 2 ชั้นจะมีค่า U ประมาณ 50% ของกระจกชั้นเดียว ดังนั้นสามารถลดปริมาณความร้อนรับได้มากที่สุดทีเดียว
- กระจก 2 ชั้น พร้อมทั้งมู่ลี่ระหว่างแผ่นกระจก
- กระจกชนิด “สมาร์ทกลาส” (Smart Glass) คือ กระจกชนิดใหม่ซึ่งเพิ่งได้พัฒนาขึ้นมาใช้ โดยคุณสมบัติของกระจก สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป

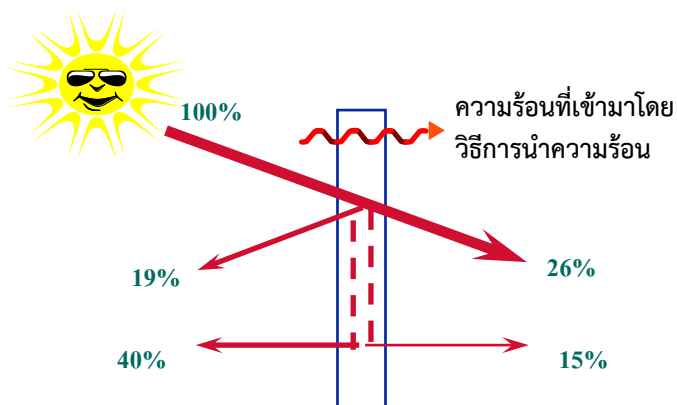
ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์
ที่ตกกระทบหน้าต่าง 100%



ก) หน้าต่างทั่วไป (กระจกชั้นเดียว)



ข) กระจก 2 ชั้น 6 มม. + 6 มม.



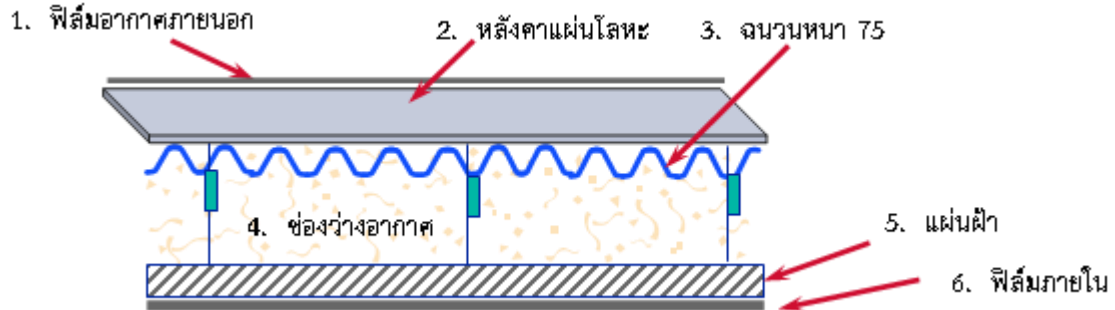
ค) กระจกใสติดฟิล์มสะท้อนแสงสีฟ้า

รูปที่ 3-14 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านทางกระจกชนิดต่างๆ

3.6.3 หลังคา

ก) บุฉนวนพร้อมทั้งแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา เพื่อลดปริมาณความร้อนรับที่เข้าสู่อาคารจากภายนอกผ่านทางหลังคา

ข) ใช้หลังคาที่มีสีอ่อน เพื่อสะท้อนความร้อนจากรังสีของอาทิตย์



รูปที่ 3-15 การบุฉนวนที่ใต้หลังคาแผ่นโลหะ

ส่วนประกอบ	R_1 (มีฉนวน)*	R_2 (ไม่มีฉนวน)*
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	0.04	0.040
2. หลังคาแผ่นโลหะ	0	0
3. ฉนวนหนา 75	1.8 (ฉนวน)	(ไม่มีฉนวน)
4. ช่องว่างอากาศ	0.6	0.6
5. แผ่นฝ้า	0.07	0.07
6. ฟิล์มภายใน	0.15	0.15

$$R_1 = 2.66 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W)}$$

$$R_2 = 0.86 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W)}$$

$$U_1 = 0.38 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

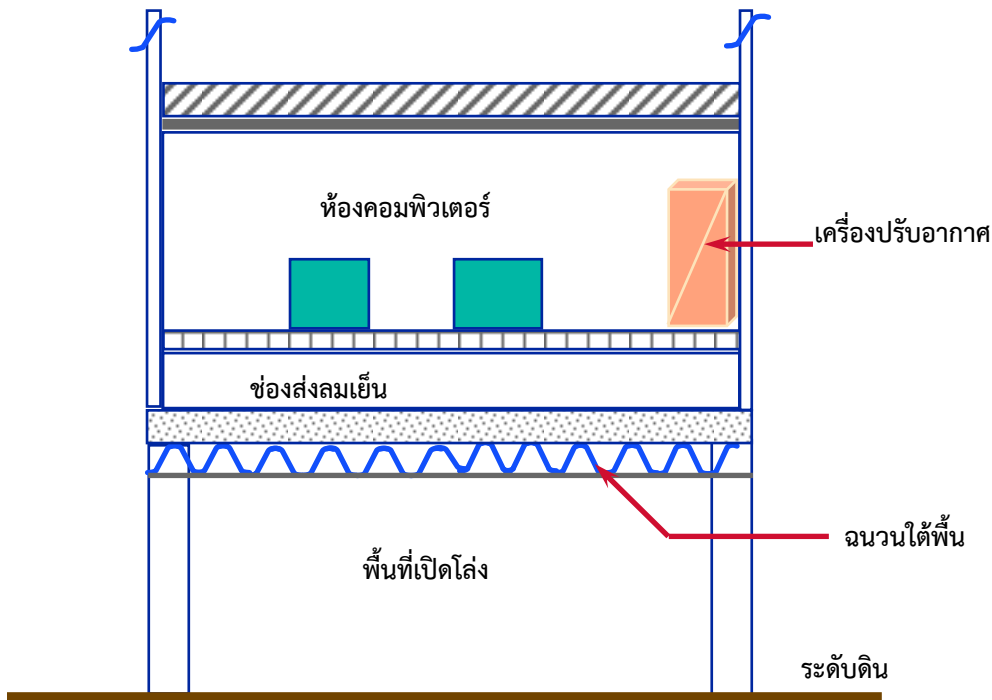
$$U_2 = 1.16 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

หมายเหตุ ค่า R สูง หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย ค่า U ต่ำ หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย

3.6.4 พื้น

ความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านขึ้นมาจากทางพื้นโดยทั่วไปจะน้อยมากไม่มีผล ถ้าพื้นตั้งอยู่บนดินโดยตรง เนื่องจากอุณหภูมิของดินในภูมิอากาศเขตร้อนอุ่นค่อนข้างจะคงที่

สำหรับพื้นที่ซึ่งยกระดับเหนือดินจะมีช่องว่างอากาศใต้พื้น ซึ่งจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature) การบุฉนวนพื้น โดยปกติก็ไม่จำเป็น ยกเว้นว่า ส่วนบนของพื้นตรงนั้นเป็นห้องปรับอากาศ เช่น ห้องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3-16 การบุฉนวนใต้พื้นช่องส่งลมเย็นของห้องคอมพิวเตอร์

3.6.5 การรั่วซึม (Infiltration)

การรั่วซึม เป็นลักษณะของการที่อากาศไหลจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารผ่านช่องเปิดหรือรอยแตกต่างๆ หรือการเปิด หรือแง้มประตูหรือหน้าต่างทิ้งไว้ อากาศที่รั่วซึมเข้ามานี้ไม่สามารถควบคุมได้ และจะนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารเพิ่มขึ้น และจะต้องใช้พลังงานในการขับความร้อนนี้ออกไปโดยการที่ใช้ระบบปรับอากาศ

แนวทางปฏิบัติต่อไปนี้จะสามารถลดการรั่วซึม (Infiltration) อากาศได้

- ระหว่างการก่อสร้าง ให้แน่ใจว่าช่องเปิดที่ไม่จำเป็นและรอยแตกต่างๆ ของเปลือกอาคารจะต้องมีน้อยที่สุด หรือได้ทำการอุดปิด (Seal) ไว้ทั้งหมด และหมั่นดูแลรักษาอุดตลอดอายุของอาคาร
- แน่ใจว่าประตูที่เปิดสู่ภายนอกอาคารอยู่ในสภาพปิดอยู่เสมอโดยการติดตั้งอุปกรณ์ดึงประตูปิด (Door Closer) และมีการอุดปิดขอบประตูไว้เป็นอย่างดี
- จัดให้มีระบบป้องกันอากาศไหลเข้าออก (Air Lock) หรือประตูแบบหมุนรอบ (Revolving Door) ที่ประตูทางเข้าที่มีการเปิด-ปิดเป็นประจำ
- แน่ใจว่าประตูที่เปิดเข้าสู่บันไดอยู่ในสภาพปิดเสมอ เนื่องจากบริเวณบันไดส่วนมากจะติดตั้งระบบระบายอากาศเอาไว้
- แน่ใจว่าหน้าต่างที่สามารถเปิดได้ปิดสนิทอยู่เสมอ

3.7 ข้อเสนอแนะสำหรับอาคารเก่าในการป้องกันความร้อนผ่านเข้าสู่กรอบอาคาร

หลักสูตรนี้มีจุดมุ่งหมายอยู่ที่การก่อสร้างอาคารใหม่ สำหรับอาคารที่มีอยู่เดิม โอกาสในการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้อาคารสามารถประหยัดพลังงานในโครงสร้างของตัวอาคารเองมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามวิธีการทางเทคนิคดังต่อไปนี้ สามารถนำไปใช้กับอาคารเก่า เพื่อที่จะลดการใช้พลังงาน และเพิ่มความสะดวกสบายในการอาศัยได้ดังนี้

- ติดตั้งฉนวนที่หลังคา หรือบริเวณช่องว่างเหนือฝ้าเพดาน
- ติดตั้งอุปกรณ์ในการบังแดดภายนอกอาคาร ที่หน้าต่างที่แดดสามารถส่องได้
- ติดตั้งอุปกรณ์ในการบังแดดภายใน เช่น ม่านหรือมู่ลี่ที่หน้าต่างที่มีแดดส่องถึง
- ติดตั้งฟอลล์สะท้อนแสงบริเวณหน้าต่างที่แดดส่องถึง
- เคลือบผิวของหลังคาให้มีการสะท้อนความร้อนได้
- ลดการแทรกซึมของอากาศจากภายนอกโดยการปิดอุดช่องว่างที่ประตู และหน้าต่างทั้งหมด และเพิ่มระบบป้องกันอากาศไหลเข้า-ออก (Air Lock) ที่ประตูทางเข้า
- ทาสีตัวอาคารใหม่โดยให้เป็นสีอ่อน
- ปลุกต้นไม้เพื่อให้ร่มเงาแก่ผนัง (และหลังคาในกรณีของอาคารที่ไม่สูง)

3.8 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1

จงคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (R) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของวัสดุต่างๆ ในตาราง

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad \text{และ} \quad U = \frac{1}{R}$$

จากสมการ

วัสดุ	ความหนา Δx	k ($W/m \cdot ^\circ C$)	R ($^\circ C \cdot m^2/W$)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
อิฐมวลยว้าง (ความหนาแน่น $1,600 \text{ kg/m}^3$)	5 cm	1.154	0.043	23.26
ฉนวนใยแก้ว (ความหนาแน่น 32 kg/m^3)	5 cm	0.033	1.515	0.66
แผ่นยิปซั่ม	12 mm	0.191	0.063	15.87
ปูนฉาบ	1 cm	0.553	0.018	55.56

กรณีศึกษาที่ 2

จงคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (U_w) และเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังทั้งสองแบบ

ผนังทึบบนที่ 1 อิฐมวลยว้าง (ความหนาแน่น $1,600 \text{ kg/m}^3$) หนา 5 cm ฉาบปูนหนา 1 cm ทั้งด้านนอกและด้านใน

วัสดุ	$\Delta x/k$ ($^\circ C \cdot m^2 \cdot W^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^\circ C \cdot m^2 \cdot W^{-1}$)	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศด้านนอก		0.044	ผนังแนวตั้ง
ปูนฉาบ	$\frac{0.01}{0.553}$	0.018	

วัสดุ	$\Delta x/k$ ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$)	หมายเหตุ
อิฐมวลเบา	$\frac{0.05}{1.154}$	0.043	ความหนาแน่น 1760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ปูนฉาบ	$\frac{0.01}{0.553}$	0.018	
ฟิล์มอากาศด้านใน		0.120	ผนังแนวตั้ง
ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)		0.262	
ความนำความร้อนรวม ($U_T=1/R_T$)		3.817	

ผนังทึบแบบที่ 2 คอนกรีตมวลเบา (ความหนาแน่น 1,280 kg/m³) หนา 10 cm ฉาบปูนหนา 1 cm ด้านนอก โดยด้านในติดฉนวนใยแก้วซึ่งมีแผ่นสะท้อนรังสีหนา 5 cm และแผ่นยิปซัมหนา 12 mm

วัสดุ	$\Delta x/k$ ($\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{W}^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$)	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศด้านนอก		0.044	
ปูนฉาบ	$\frac{0.01}{0.553}$	0.018	ความหนา 1 ซม.
คอนกรีตมวลเบา.	$\frac{0.1}{0.476}$	0.210	ความหนา 10 ซม.
ฉนวนใยแก้ว	$\frac{0.05}{0.033}$	1.515	ความหนา 5 ซม.
แผ่นยิปซัม	$\frac{0.012}{0.191}$	0.063	ความหนา 12 มม.
ฟิล์มอากาศด้านใน		0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)		1.970	
ความนำความร้อนรวม ($U_T=1/R_T$)		0.508	

กรณีศึกษาที่ 3

จากโจทย์คำถามที่ 2 จงคำนวณหาค่า DSH ของผนังทึบแบบที่ 2 กำหนดให้สีด้านนอกของผนังเป็นสีอ่อน (ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ = 0.5) และจงคำนวณหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) กรณีอาคารเป็น**ห้างสรรพสินค้า**

$$\begin{aligned}
 \text{ค่า } DSH \text{ ปูนฉาบ} &= (0.01)(1568)(0.84) = 13.17 \text{ } kJm^{-2}\cdot^{\circ}C^{-1} \\
 \text{ค่า } DSH \text{ คอนกรีตมวลเบา} &= (0.1)(1280)(0.84) = 107.52 \text{ } kJm^{-2}\cdot^{\circ}C^{-1} \\
 \text{ค่า } DSH \text{ ฉนวน} &= (0.05)(32)(0.96) = 1.54 \text{ } kJm^{-2}\cdot^{\circ}C^{-1} \\
 \text{ค่า } DSH \text{ แผ่นยิปซัม} &= (0.01)(880)(1.09) = 9.59 \text{ } kJm^{-2}\cdot^{\circ}C^{-1} \\
 \text{ค่า } DSH \text{ ผนังคอนกรีตมวลเบาดัดตั้งฉนวนและแผ่นยิปซัม} &= 13.17+107.52+1.54+9.59= \mathbf{131.82 \text{ } kJm^{-2}\cdot^{\circ}C^{-1}}
 \end{aligned}$$

ค่า TD_{eq} (ห่างสรรพสินค้า) ของผนังเมื่อติดตั้งฉนวน และแผ่นยิปซัม

รายการ	TD_{eq}			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
ห่างสรรพสินค้า	10.77	13.57	12.87	12.81

กรณีศึกษาที่ 4

จงคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (R) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ค่า $SHGC$ และค่าอัตราส่วน $T_s/SHGC$ ของกระจกต่อไปนี้

ชนิดกระจก	กระจกเขียว ความหนา 6 mm	กระจกสีเขียว-กระจกใสความหนา 6 mm ช่องว่างอากาศ 6 mm (ไม่เคลือบผิว)
ความต้านทานความร้อน (R)	0.17	0.259
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	5.882	3.86
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจาก รังสีอาทิตย์ ($SHGC$)	0.54	
อัตราส่วน $T_s/SHGC$	$0.76/0.54 = 1.407$	$0.68/0.41 = 1.659$

กระจกเขียว ความหนา 6 mm

โครงสร้าง	$\Delta x/k$ ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^\circ C \cdot m^2 \cdot W^{-1}$)	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศด้านนอก		0.044	กระจกแนวตั้ง
กระจก	$\frac{0.006}{1.053}$	0.0057	กระจกหนา 6 มม.
ฟิล์มอากาศด้านใน		0.120	กระจกแนวตั้ง
ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)		0.170	
ความนำความร้อนรวม ($U_T = 1/R_T$)		5.882	

กระจกสีเขียว-กระจกใสความหนา 6 mm ช่องว่างอากาศ 6 mm (ไม่เคลือบผิว)

โครงสร้าง	$\Delta x/k$ ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^\circ C \cdot m^2 \cdot W^{-1}$)	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศด้านนอก		0.044	กระจกแนวตั้ง
กระจกเขียว	$\frac{0.006}{1.053}$	0.0057	กระจกหนา 6 มม.
ช่องอากาศ		0.084	ช่องอากาศหนา 6 มม.
กระจกใส	$\frac{0.006}{1.053}$	0.0057	กระจกหนา 6 มม.
ฟิล์มอากาศด้านใน		0.120	กระจกแนวตั้ง
ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)		0.259	
ความนำความร้อนรวม ($U_T = 1/R_T$)		3.86	

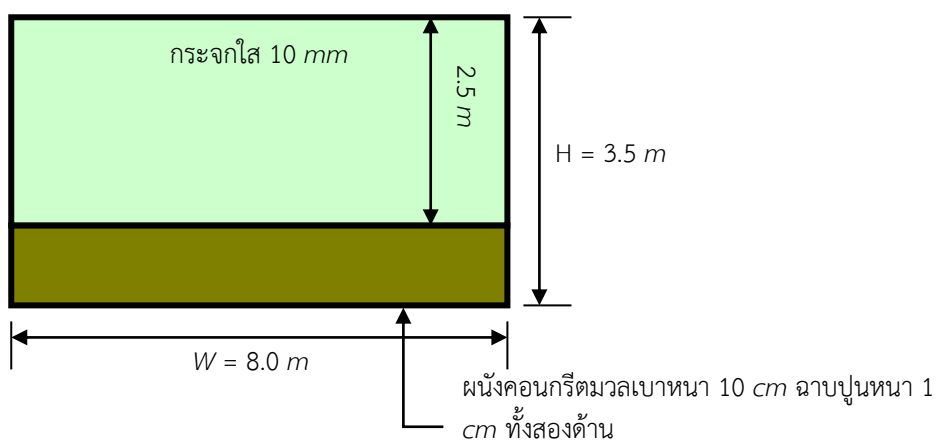
กรณีศึกษาที่ 5

จงคำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับกระจกเขียวความหนา 6 มม. กรณี
ห้างสรรพสินค้า

ชนิดกระจก	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR)			
	เหนือ (N)	ตะวันออก (E)	ใต้ (S)	ตะวันตก (W)
กระจกเขียว ความหนา 6 มม.	133.52	162.04	189.27	173.98

กรณีศึกษาที่ 6

จงคำนวณหาค่า OTTV ของผนังของห้างสรรพสินค้า ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูป

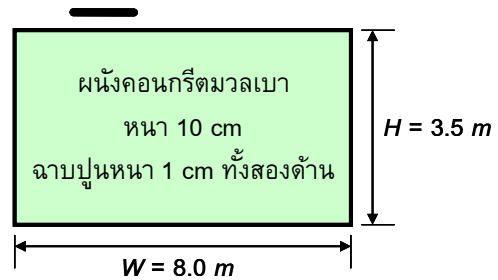
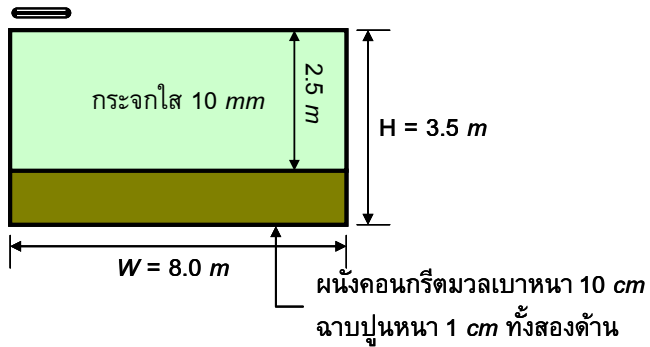
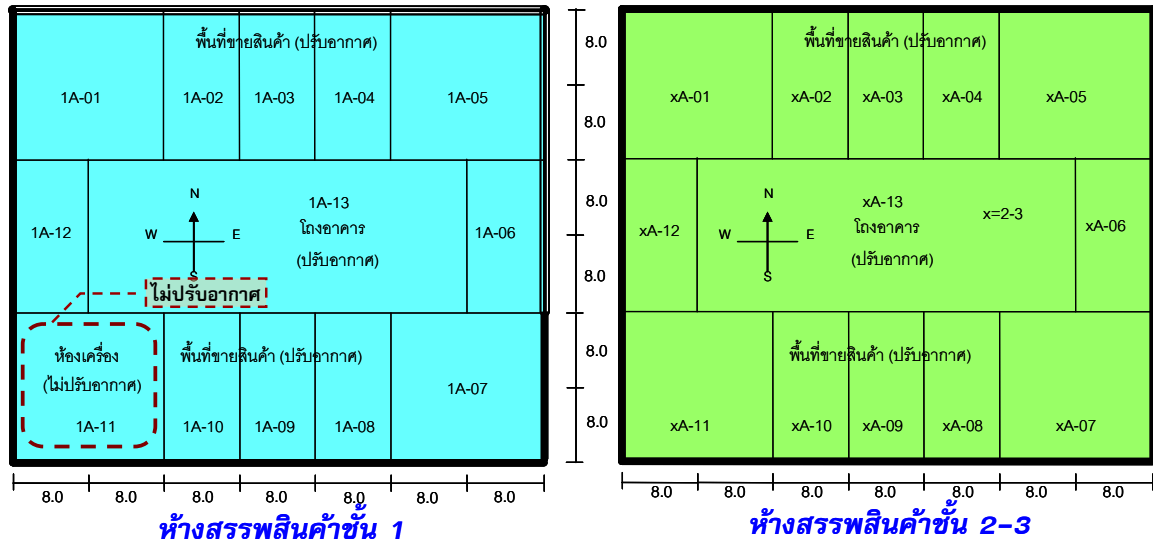


$$\begin{aligned}
 U_w &= 2.439 & W/(m^2 \cdot ^\circ C) \\
 U_f &= 5.764 & W/(m^2 \cdot ^\circ C) \\
 WWR &= (2.5 \times 8) / (3.5 \times 8) = 0.714 \\
 \Delta T &= 5.0 & ^\circ C \\
 SC &= 1.0 \\
 SHGC &= 0.73
 \end{aligned}$$

ทิศ	N	E	S	W
ESR	133.52	162.04	189.27	173.98
TD_{eq}	10.76	12.87	13.56	12.80
OTTV (W/m^2)	97.65	113.98	128.65	120.15

กรณีศึกษาที่ 7

จงคำนวณหาค่า $OTTV$ ของผนังของอาคาร ห้างสรรพสินค้า 3 ชั้น ดังแสดงในรูป



พื้นที่ผนัง		เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก
ห้างสรรพสินค้า (ชั้นที่ 1-3)	แบบที่ 1	196.0	112.0	0.0	0.0
	แบบที่ 2	392.0	392.0	532.0	448.0
	รวม	588.0	504.0	532.0	448.0

ประเภทของอาคาร	$OTTV \text{ (W/m}^2\text{)}$			
	N	E	S	W
ห้างสรรพสินค้า	50.04	49.74	33.07	31.22

$OTTV$ รวม = 41.54 วัตต์/ตร.ม.

ประเภทอาคาร	ศักยภาพของระบบปรับอากาศ		ผลประเมิน
	เกณฑ์ขั้นต่ำ	อาคารตัวอย่าง	
ห้างสรรพสินค้า	40 W/m ²	41.54 W/m ²	☐ ผ่าน ☒ ไม่ผ่าน

กรณีศึกษาที่ 8

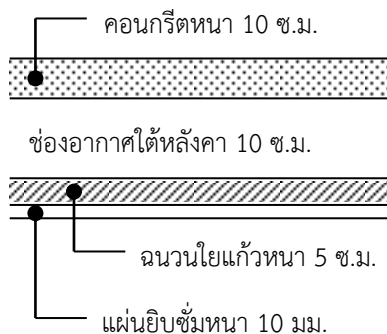
จงคำนวณหาค่า R_{TTV} ของหลังคาตาม ตัวอย่างที่ 7 สำหรับกรณีของอาคารสำนักงาน

$$U_r = 0.493 \quad \text{W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$DSH = 232.05 \quad \text{kJ/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$TD_{eq} = 18.36 \quad ^\circ\text{C}$$

$$R_{TTV} = 9.05 \quad \text{W/m}^2$$



ประเภทอาคาร	ศักยภาพของระบบปรับอากาศ		ผลประเมิน
	เกณฑ์ศักยภาพขั้นต่ำ	อาคารตัวอย่าง	
สำนักงาน	15 W/m ²	9.05 W/m ²	ผ่าน

บทสรุป

ปรับอากาศมีส่วนสำคัญยิ่งต่อการใช้พลังงาน และการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารคิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

กรอบอาคารประกอบด้วยส่วนที่เป็นผนังทึบ และผนังกระจก การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ และผนังกระจกมีลักษณะที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3-7 และ 3-8 สำหรับผนังทึบ รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังทึบ ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน และสะสมไว้ และทำให้ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทึบเป็นผลจาก

- ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้
- ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก และภายในอาคาร

สำหรับผนังกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวกระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้น และเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยส่วนหนึ่งเข้าสู่อาคาร และอีกส่วนที่เหลือสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

นอกจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก และความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้ และถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจก ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

เพื่อให้อาคารที่ก่อสร้างใหม่เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน ประเทศไทยได้กำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร ซึ่งเป็นการบังคับโดยกฎหมาย ประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารกำหนดด้วยค่า

ดัชนีการถ่ายเทความร้อนรวม OTTV และ RTTV อาคารที่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพของกรอบอาคารดังมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ประเภทอาคาร/ลักษณะการใช้งาน อาคาร	OTTV ($W \cdot m^{-2}$ ของผนังด้านนอก อาคาร)	RTTV ($W \cdot m^{-2}$ ของหลังคาอาคาร)
สำนักงาน สถานศึกษา	$O-OTTV \leq 50$	$O-RTTV \leq 15$
ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือซูเปอร์มาร์เก็ต	$S-OTTV \leq 40$	$S-RTTV \leq 12$
โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	$H-OTTV \leq 30$	$H-RTTV \leq 10$

ค่าประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร OTTV และ RTTV ขึ้นกับค่าสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นกรอบอาคาร และสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio: WWR) อาคารที่มีพื้นที่กระจกมากจะมีค่า OTTV สูง ปัจจัยที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV มีดังนี้

ประเภทกรอบอาคาร	ปัจจัยที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV
ผนังทึบ	- สัมประสิทธิ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุ - มวลของผนัง - ทิศทางการหันของผนัง - มุมเอียงของผนัง - สีภายนอกผนัง
ผนังโปร่งแสง ผนังกระจก	- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง - สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสง (SHGC) - อุปกรณ์บังแดดร่วม - ทิศทางการหันของกระจก - มุมเอียงของกระจก

การดำเนินการมาตรการเพื่อให้กรอบอาคารมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทผ่านกรอบอาคารมากเกินไปจนเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้สามารถทำได้ดังนี้

กรอบอาคาร	มาตรการ
ผนังทึบ	- เลือกใช้วัสดุที่มีมวลอุณหภูมิกว้างที่เข้ากับอาคาร - ใช้วัสดุแผ่รังสีความร้อนต่ำ - ทาผนังด้วยสีอ่อน - บุฉนวนผนังเพื่อลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคาร
กระจกหน้าต่าง	- ใช้อุปกรณ์บังแดดทั้งชนิดติดตั้งภายในและภายนอก - ใช้กระจกหน้าต่างชนิดพิเศษที่มีค่า SHGC ต่ำและมีค่าการส่งผ่านแสงสูง - ไม่ใช้พื้นที่หน้าต่างมากเกินไป
หลังคา	- บุฉนวนพร้อมทั้งแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา - ใช้หลังคาที่มีสีอ่อน

เมื่อศึกษาเนื้อหาในบทนี้จบแล้ว ผู้เข้ารับการอบรมต้องสามารถคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของกรอบอาคารได้ และสามารถเปิดค่าต่างๆ จากตารางได้

3.9 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero emissions)

จากการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงอาคารแต่ละประเภท เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นก่อนศึกษาเชิงลึกในการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดภาระความร้อนในระบบปรับอากาศ ตามคู่มือการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ธันวาคม 2560 ดังนี้

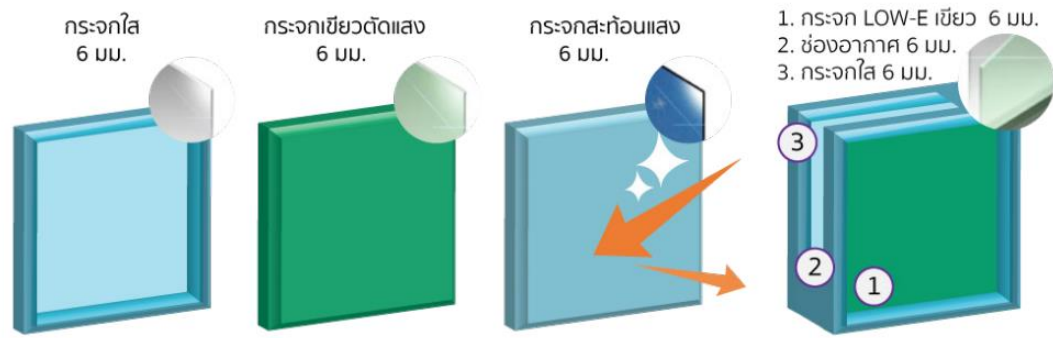
มาตรฐาน Building Energy Code, BEC กำหนดให้อาคารที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตร ขึ้นไป 9 ประเภทอาคาร ได้แก่สถานศึกษา สำนักงาน โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ อาคารชุมนุมคน สถานพยาบาล อาคารชุด และโรงแรม ต้องมีการออกแบบกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยแบ่งประเภทอาคารตามชั่วโมงการใช้งานเป็น 3 กลุ่มดังนี้

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (วัตต์/ตารางเมตร)	
	ผนัง (OTTV)	หลังคา (RTTV)
1. สถานศึกษา สำนักงาน หรือที่ทำการ	≤ 50	≤ 10
2. ห้างสรรพสินค้าหรือ ศูนย์การค้า โรงมหรสพ สถานบริการ อาคารชุมนุมคน	≤ 40	≤ 8
3. โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	≤ 30	≤ 6

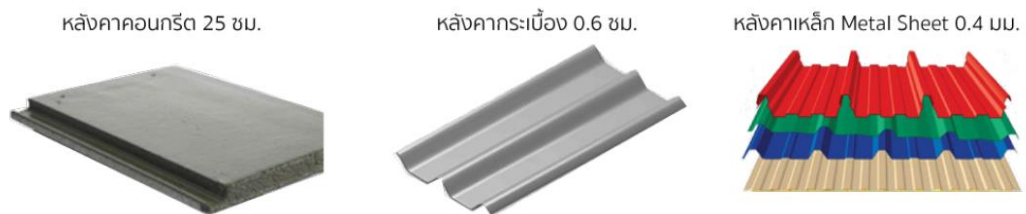
ตัวอย่างวัสดุผนังที่ศึกษาเปรียบเทียบ



ตัวอย่างวัสดุผนังโปร่งแสงที่ศึกษาเปรียบเทียบ

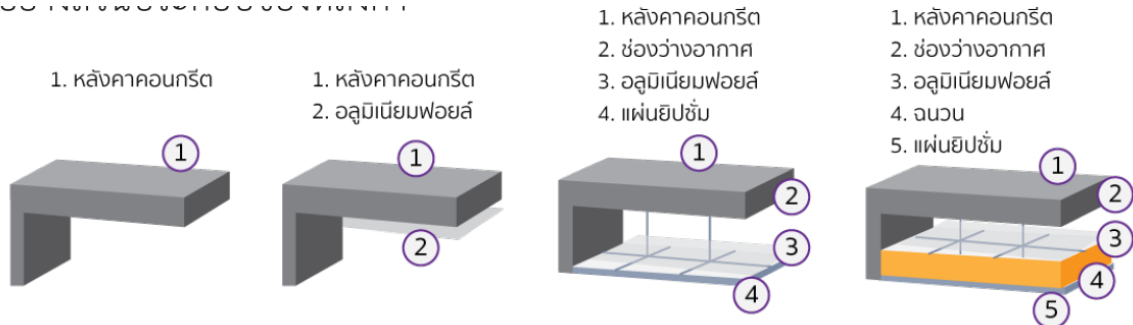


ตัวอย่างวัสดุหลังคาที่ศึกษาเปรียบเทียบ



ตัวอย่างส่วนประกอบหลังคาที่ศึกษาเปรียบเทียบ

เปรียบเทียบหลังคาแบบต่างๆ



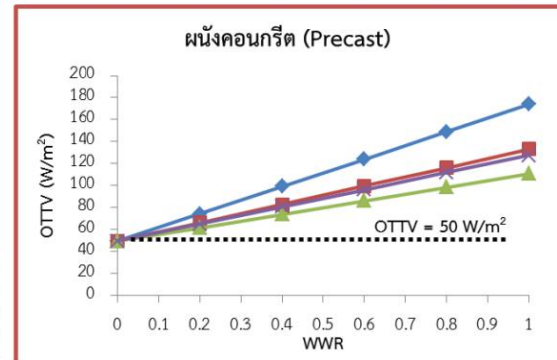
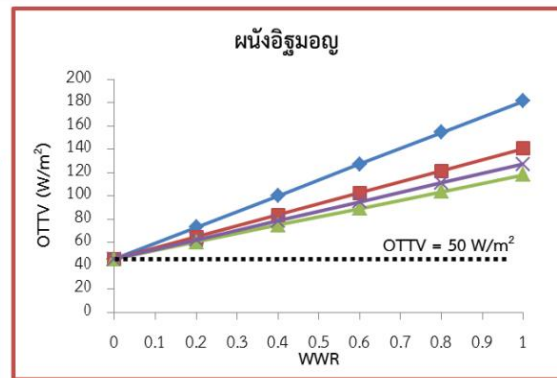
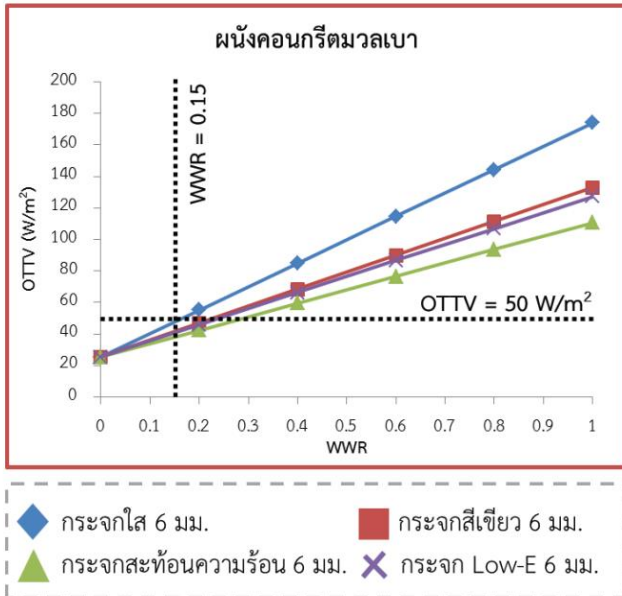
3.9.1 การศึกษากรณีปรับปรุงผนังอาคาร

1. การศึกษากรณีอาคารประเภทสำนักงาน

แบบจำลองอาคารสำนักงานรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผนังทึบหนา 10 เซนติเมตร ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบา ผนังคอนกรีต และผนังคอนกรีตมวลเบา ใช้ร่วมกับผนังโปร่งแสงหนา 6 มิลลิเมตร ได้แก่ กระจกใส กระจกเขียว กระจกสะท้อนแสง และกระจก Low-E โดยมีอุปกรณ์บังแดดภายนอก $SC = 0.8$ และผนังที่ทาสีอ่อน ประเมินค่า OTTV ด้วยโปรแกรม BEC V1.0.6

จากการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV และ WWR ของแบบจำลองอาคารสำนักงาน พบว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา กับผนังโปร่งแสงทุกประเภทสามารถผ่านเกณฑ์ค่า OTTV ได้ที่อัตราส่วน WWR น้อยกว่า 15% ซึ่งหากต้องการออกแบบอาคารให้มีค่าอัตราส่วน WWR สูงขึ้น สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนชนิดผนังโปร่งแสงให้มีสมบัติกันความร้อนที่ดีขึ้น

อาคารสำนักงาน

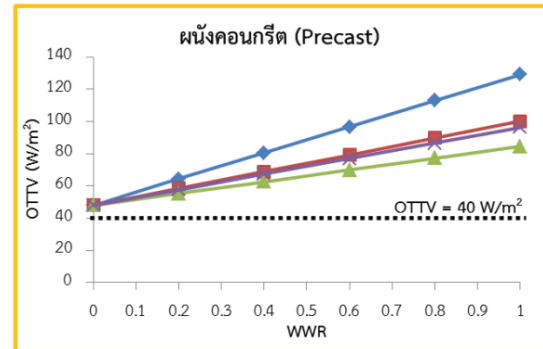
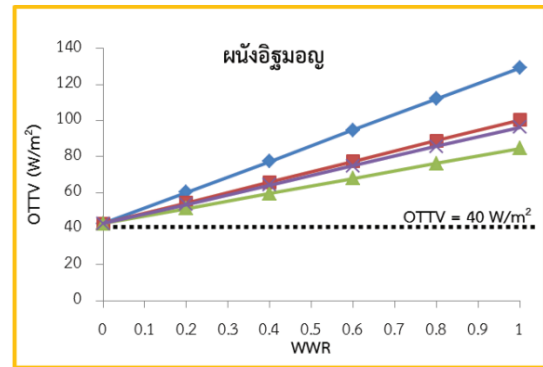
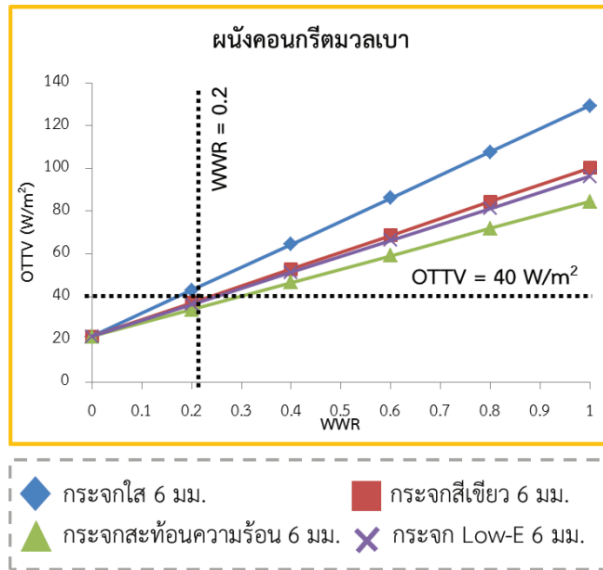


2. การศึกษากรณีอาคารประเภทศูนย์การค้า

แบบจำลองอาคารศูนย์การค้ารูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผนังทึบหนา 10 เซนติเมตร ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบา ผนังคอนกรีต และผนังคอนกรีตมวลเบา ใช้ร่วมกับผนังโปร่งแสงหนา 6 มิลลิเมตร ได้แก่ กระดาษใส กระดาษเขียว กระดาษสะท้อนแสง และกระดาษ Low-E โดยมีอุปกรณ์บังแดดภายนอก SC = 0.8 และผนังทึบทาสีอ่อน ประเมินค่า OTTV ด้วยโปรแกรม BEC V1.0.6

จากการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV และ WWR ของแบบจำลองอาคารศูนย์การค้า พบว่า การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบากับผนังโปร่งแสงทุกประเภทสามารถผ่านเกณฑ์ค่า OTTV ได้ที่อัตราส่วน WWR น้อยกว่า 20%

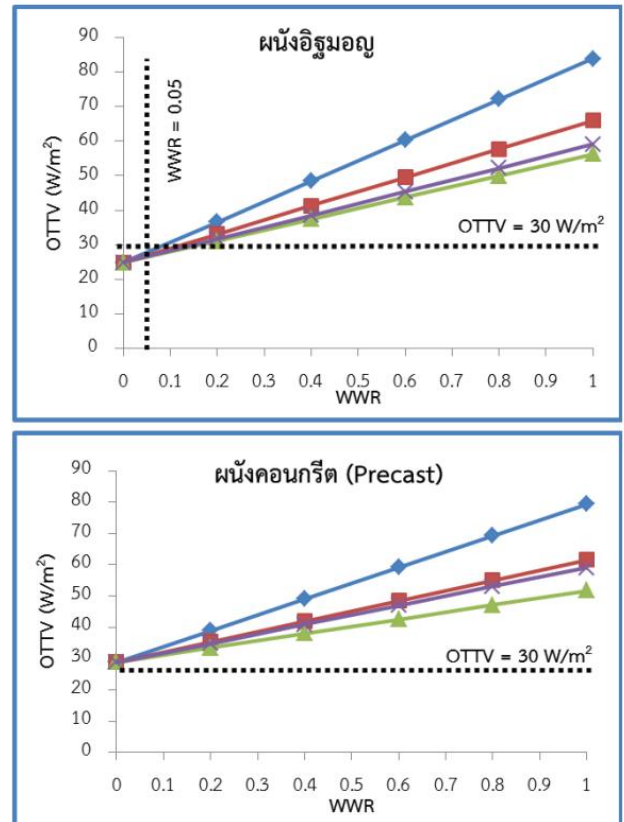
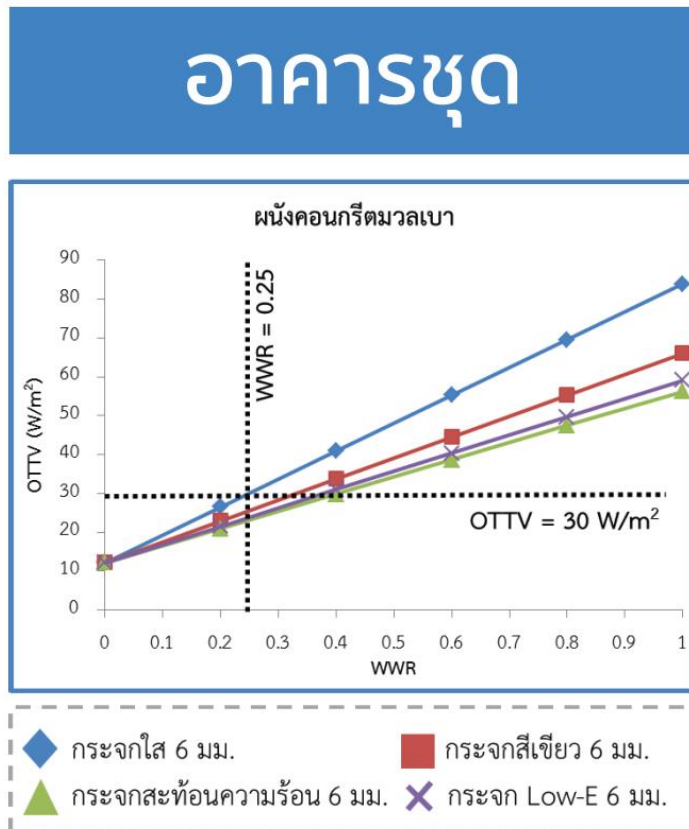
อาคารศูนย์การค้า



3. การศึกษากรณีอาคารประเภทอาคารชุด

แบบจำลองอาคารชุดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผนังที่หนา 10 เซนติเมตร ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบา ผนังคอนกรีต และผนังคอนกรีตมวลเบา ใช้ร่วมกับผนังโปร่งแสงหนา 6 มิลลิเมตร ได้แก่ กระจกใส กระจกเขียว กระจก สะท้อนแสง และกระจก Low-E โดยมีอุปกรณ์บังแดดภายนอก SC = 0.8 และผนังที่ปิดทึบอื่น ประเมินค่า OTTV ด้วยโปรแกรม BEC V1.0.6

จากการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV และ WWR ของแบบจำลองอาคารชุดพบว่า การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบากับผนังโปร่งแสงทุกประเภทสามารถผ่านเกณฑ์ค่า OTTV ได้ที่ อัตราส่วน WWR น้อยกว่า 25% และหากใช้ผนังอิฐมวลเบาจะสามารถผ่านเกณฑ์ค่า OTTV ได้ที่อัตราส่วน WWR น้อยกว่า 5%



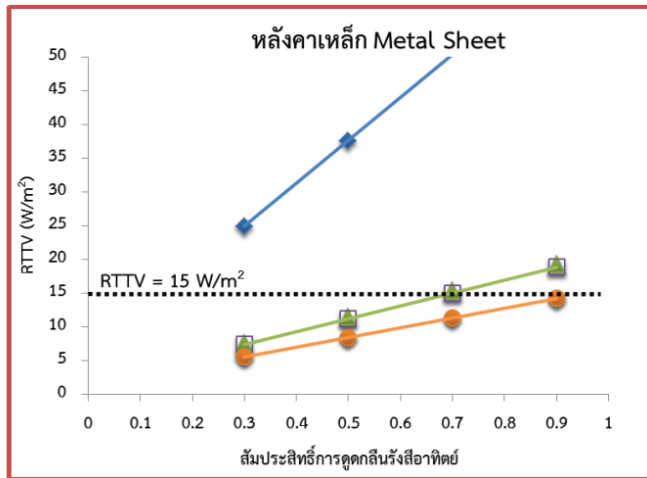
3.9.2 การศึกษากรณีปรับปรุงหลังคาอาคาร

1. การศึกษากรณีอาคารประเภทสำนักงาน

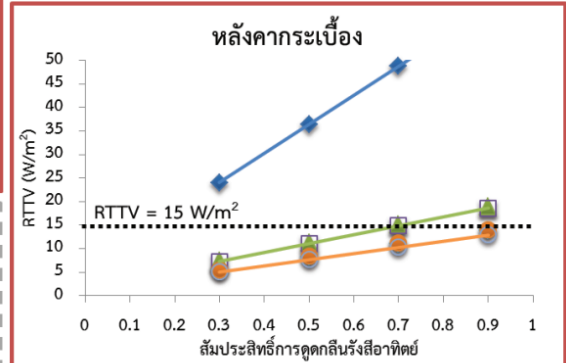
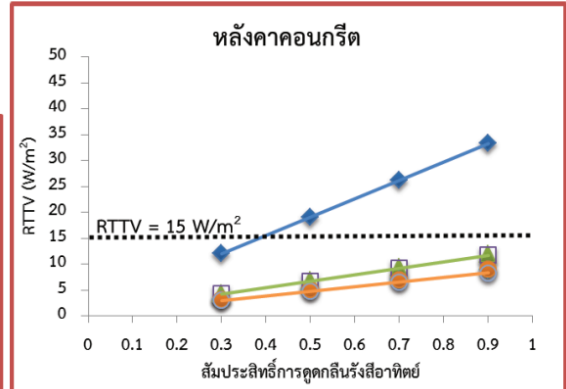
แบบจำลองอาคารสำนักงาน ได้แก่ หลังคาเหล็ก หลังคาคอนกรีต และหลังคากระเบื้อง ใช้ร่วมกับวัสดุประกอบหลังคา ได้แก่ อลูมิเนียมพอยล์ช่องว่างอากาศ ฉนวน และแผ่นยิปซัม ประเมินค่า RTTV ด้วยโปรแกรม BEC V1.0.6

จากการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTTV และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ ของแบบจำลองอาคารสำนักงาน พบว่าการใช้สีหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์น้อยกว่า 0.7 (สีค่อนข้างเข้ม) สามารถผ่านเกณฑ์ค่า RTTV ได้ทุกชนิดวัสดุหลังคา ยกเว้น เพียงกรณีที่ติดตั้งอลูมิเนียมพอยล์เท่านั้น ดังนั้นการออกแบบอย่างน้อยควรติดอลูมิเนียมพอยล์จึงจะ ผ่านเกณฑ์ค่า RTTV ได้

อาคารสำนักงาน



- ◆ Case 1 หลังคา ไม่มีการติดอลูมิเนียมฟอยล์
- ▲ Case 2 หลังคา และอลูมิเนียมฟอยล์
- Case 3 หลังคา ช่องว่างอากาศ อลูมิเนียมฟอยล์ และแผ่นยิปซัม
- Case 4 หลังคา ช่องว่างอากาศ อลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวน และแผ่นยิปซัม

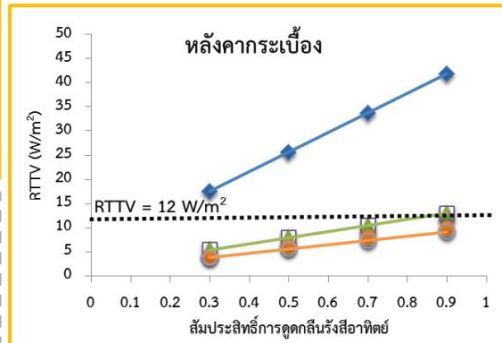
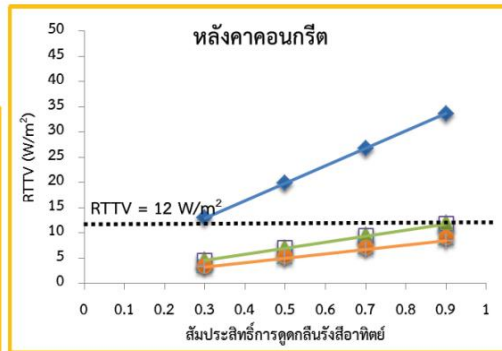
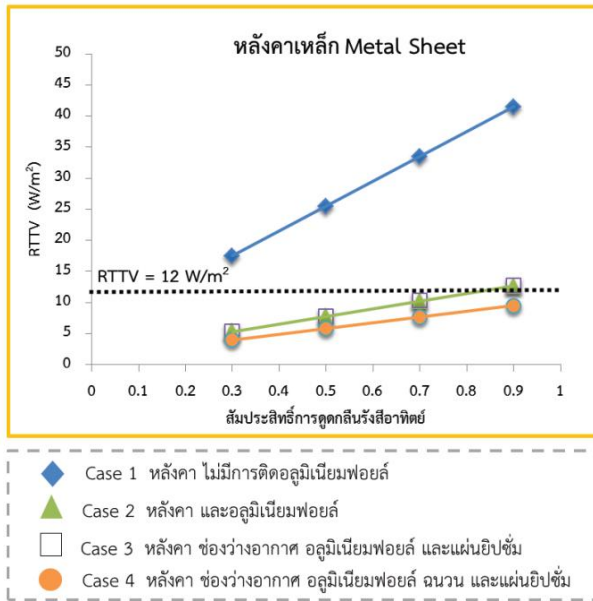


2. การศึกษากรณีอาคารประเภทศูนย์การค้า

แบบจำลองอาคารศูนย์การค้า ได้แก่ หลังคาเหล็ก หลังคาคอนกรีต และหลังคากระเบื้อง ใช้ร่วมกับวัสดุประกอบหลังคา ได้แก่ อลูมิเนียมฟอยล์ช่องว่างอากาศ ฉนวน และแผ่นยิปซัม ประเมินค่า RTTV ด้วยโปรแกรม BEC V1.0.6

จากการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTTV และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของแบบจำลองอาคารศูนย์การค้า พบว่าการใช้สีหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์น้อยกว่า 0.9 (สีเข้ม) สามารถผ่านเกณฑ์ค่า RTTV ได้ทุกชนิดวัสดุหลังคา ยกเว้น เพียงกรณีที่ไม่ติด อลูมิเนียมฟอยล์เท่านั้น ดังนั้นอาคารศูนย์การค้าเพิงแค้ติดอลูมิเนียมฟอยล์จะผ่านเกณฑ์ ค่า RTTV ได้

อาคารศูนย์การค้า

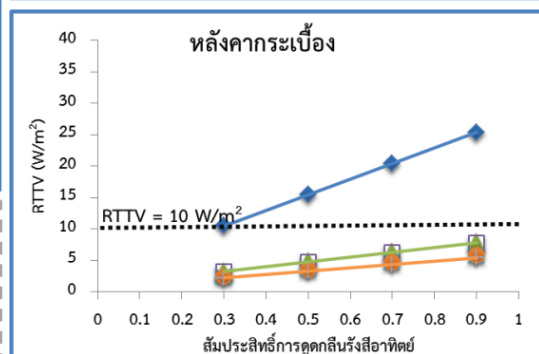
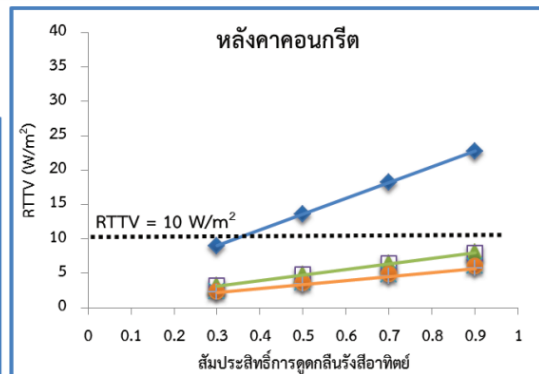
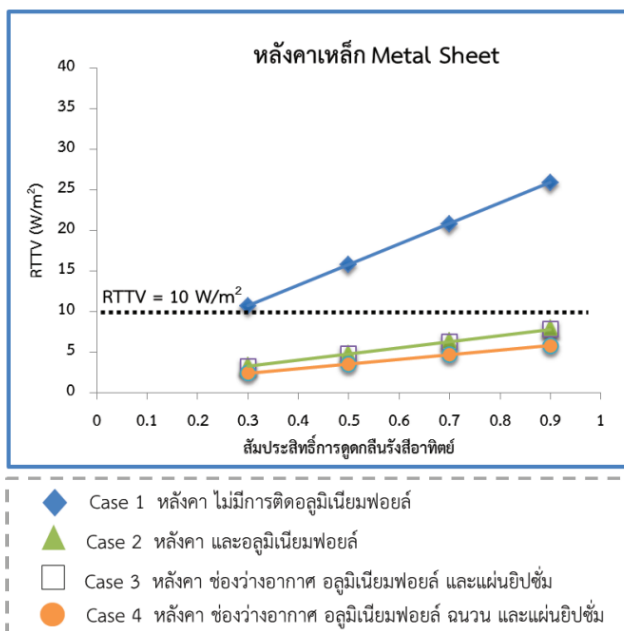


3. การศึกษากรณีอาคารชุด

แบบจำลองอาคารชุด ได้แก่ หลังคาเหล็ก หลังคาคอนกรีต และหลังคากระเบื้อง ใช้ร่วมกับวัสดุประกอบ หลังคา ได้แก่ อลูมิเนียมฟอยล์ช่องว่างอากาศ ฉนวน และแผ่นยิปซัม ประเมินค่า RTTV ด้วยโปรแกรม BEC V1.0.6

จากการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTTV และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ ของอาคารชุด พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับอาคารศูนย์การค้า ดังนั้น การออกแบบหลังคาให้ ผ่านเกณฑ์ค่า RTTV อย่างน้อยควรติดอลูมิเนียมฟอยล์และหากมีการใช้ฉนวนกันความร้อน ด้วยแล้วยิ่งจะทำให้ค่า RTTV ของอาคารต่ำกว่าเกณฑ์มาก

อาคารชุด



เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2560), คู่มือการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
- [4] http://www.cdnarchitect.com/asf/principles_of_enclosure/environmental_mediation/environmental_mediation.htm (พฤศจิกายน 2551)
- [5] http://www.solarhome.net.au/roof_insulation/ (พฤศจิกายน 2551)
- [6] <http://www.westlondonblinds.co.uk/venetianBlinds2.html> (พฤศจิกายน 2551)