บทที่ 2
การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การถ่ายเทพลังงานความร้อน

ตามทฤษฎี Thermodynamics จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูง ไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีด้วยกัน คือ

1. การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนที่อาศัยโมเลกุลของสสารที่อยู่ติดกันเป็นตัวกลาง ไม่ว่าจะเป็นโมเลกุลของสสารเดียวกันหรือสสารสองชนิดที่สัมผัสกันอยู่

2. การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายเทความร้อนที่อาศัยของไหลต่าง ๆ เช่น น้ำ หรืออากาศเป็นตัวกลาง โดยการเคลื่อนที่ของของเหลวจากจุดที่มีอุณหภูมิต่างกัน โมเลกุลของของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะเบากว่า จึงลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งหนักกว่าจะเคลื่อนที่ลงต่ำ

3. การถ่ายเทรังสีความร้อน (Radiation) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) จากผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวัตถุ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทรังสีความร้อน

ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวัตถุ จะมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทรังสีความร้อน ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย

<u>ค่าการดูดซับรังสี</u> (Absorptivity ,α) คือความสามารถของวัตถุในการดูดซับรังสีความร้อน วัตถุที่สามารถดูดซับรังสีความร้อนได้ทั้งหมดจะมีค่าการดูดซับรังสีเท่ากับ 1.0 วัตถุที่มีผิวสีเข้มจะมีค่าการดูดซับรังสีสูงใกล้เคียงกับ 1.0 ในขณะที่วัตถุผิวสีอ่อนจะมีค่าการดูดซับรังสีน้อยลงตามลำดับ

<u>ค่าการสะท้อนรังสี</u> (Reflectivity ,ρ) คือความสามารถของวัตถุในการสะท้อนรังสีความร้อน วัตถุที่สามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้ทั้งหมดจะมีค่าการสะท้อนรังสีเท่ากับ 1.0 วัตถุที่มีผิวหนาแน่น เรียบเป็นมันวาวจะมีค่าการสะท้อนรังสีสูงใกล้เคียงกับ 1.0 ในขณะที่วัตถุผิวหยาบจะมีค่าการสะท้อนรังสีน้อยลงตามลำดับ

<u>ค่าการส่งผ่านรังสี</u> (Transmissivity ,τ) คือความสามารถของวัตถุในการส่งผ่านรังสีความร้อน วัตถุที่สามารถส่งผ่านรังสีความร้อนได้ทั้งหมด จะมีค่าการส่งผ่านรังสีเท่ากับ 1.0 วัตถุโปร่งใสจะมีค่าการส่งผ่านรังสีสูง

ใกล้เคียงกับ 1.0 ในขณะที่วัตถุทึบตันจะมีค่าการส่งผ่านรังสีน้อยลงตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับรังสี (α) ค่าการสะท้อนรังสี (ρ) และค่าการส่งผ่านรังสี (τ) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

ค่าการกระจายรังสี (Emissivity ,ε) คือความสามารถของวัตถุในการแผ่หรือปล่อยรังสีความร้อน หรือรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) ออกมา เป็นสัดส่วนของกำลังในการแผ่รังสีของสสาร ต่อกำลังในการแผ่รังสีของวัตถุดำในทฤษฎี (Black Body) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 วัตถุที่มีผิวหยาบสามารถดูดซับรังสีได้มาก จะมีค่าการกระจายรังสีสูงใกล้เคียงกับ 1.0 ในขณะที่วัตถุผิวเรียบเป็นมันวาว มีค่าการคายรังสีน้อยลงตามลำดับ

รูปที่ 2.1 การสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี การส่งผ่านรังสี และการคายรังสีในวัตถุทึบตัน และวัตถุโปร่งใส

วัสดุที่ใช้ประกอบอาคารส่วนใหญ่ รวมทั้งกระจกทั่วไป จะมีค่าการคายรังสีประมาณ 0.90 วัสดุเหล่านี้สามารถส่งพลังงานรังสีความร้อนออกมาได้ถึง 90% จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการสกัดกั้นการส่งผ่านรังสีความร้อนได้[1] นั่นคือ วัตถุใดที่มีค่าการคายรังสีน้อยเท่าไร ความสามารถในการสกัดกั้นรังสีก็จะดีขึ้นเท่านั้น

สำหรับกระจก ผลรวมของค่าการคายรังสี (ε) ค่าการสะท้อนรังสี (ρ) และค่าการส่งผ่านรังสี (τ) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

สำหรับวัตถุทึบตัน จะมีค่าค่าการส่งผ่านรังสี (τ) เท่ากับ 0 ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการคายรังสี (ε) และค่าการสะท้อนรังสี (ρ) จึงมีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon + \rho = 1$$

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)

แสงอาทิตย์ที่ส่องลงมาตกกระทบยังผิวโลก ประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ประมาณ 0.2 ถึงประมาณ 2.6 ไมครอน (1 ไมครอน เท่ากับ 10^{-6} เมตรหรือ เศษหนึ่งส่วนล้านของเมตร) โดยรังสีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 290 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร เท่ากับ 10^{-9} เมตรหรือ เศษหนึ่งส่วนพันล้านของเมตร) จะถูกดูดซับ (Absorb) ในชั้นโอโซนที่บรรยากาศตอนบน ส่วนรังสีที่มีความยาวคลื่นยาวกว่า 1,700 นาโนเมตรจะถูกดูดซับโดยไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ชั้นบรรยากาศต่ำลงมา

ช่วงความยาวคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็น (Visible Solar Spectrum) จะอยู่ที่ความยาวคลื่นระหว่างประมาณ 0.4 ถึงประมาณ 0.7 ไมครอน ซึ่งในช่วงของ Visible Wave Length นี้ จะแบ่งเป็น Spectrum ที่มีพลังงานและความยาวคลื่นแตกต่างกัน 7 กลุ่มความถี่ (Band) ผสมผสานกันออกมาในรูปของแสงอาทิตย์ที่เรามองเห็นเป็นแสงสีขาว ประกอบด้วย Spectrum ในกลุ่มความถี่ที่เปล่งพลังงานออกมาในรูปของแสงสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง โดยในช่วงของแสงสีม่วงจะมีความยาวคลื่นสั้นที่สุดและมีพลังงานมากที่สุด

---

[1] ธนิต จินดาวณิค. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. หนังสือชุดสื่อสาระ, ชุดที่ 3. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ในขณะที่ช่วงของแสงสีแดงจะมีความยาวคลื่นยาวที่สุดแต่จะมีพลังงานน้อยที่สุด เนื่องจากพลังงานเป็นอัตราส่วนผกผันกับความยาวคลื่น ดังสมการ

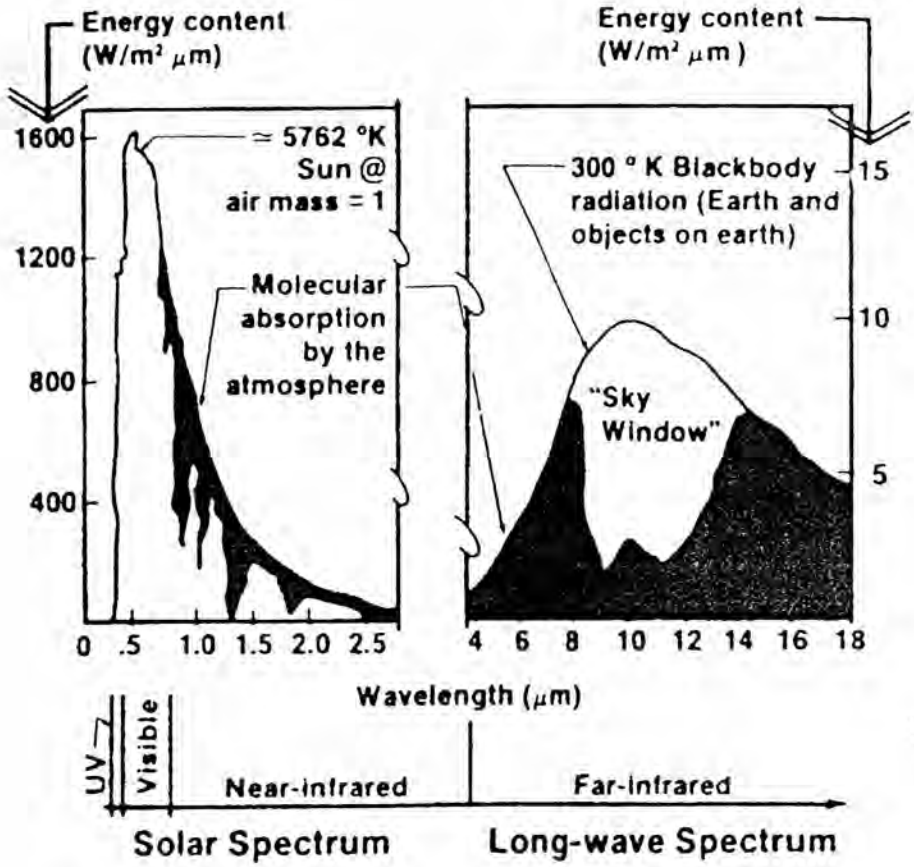
$$E = h.c/\lambda$$

โดยที่ E คือ พลังงานที่ได้จากการแผ่รังสี หน่วยเป็น จูล

h คือ ค่าคงที่ (Plank's Constant) มีค่าเท่ากับ 6.6×10^{-34} จูล - วินาที

c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีค่าประมาณ 3×10^{8} เมตร / วินาที

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสี หน่วยเป็น เมตร



รูปที่ 2.2 รูปแสดง Solar and Long - Wave Radiation Curves

รังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 0.7 ไมครอน จนถึงประมาณ 1 มิลลิเมตร (หรือมีความยาวคลื่นมากกว่าช่วงแสงสีแดง) เรียกว่า รังสีอินฟราเรด (Infrared) มนุษย์จะไม่สามารถมองเห็นได้ โดยจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. รังสี Near - Infrared หรือรังสีคลื่นสั้น (Short - Wave Radiation) จะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ประมาณ 0.7 ไมครอน จนถึงประมาณ 2.6 ไมครอน
2. รังสี Far - Infrared หรือรังสีคลื่นยาว (Long - Wave Radiation) จะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ประมาณ 2.6 ไมครอนขึ้นไป

ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green House Effect)

เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนเปลือกอาคารที่เป็นกระจก รังสีความร้อนส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับออกไป และบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ในกระจก ในขณะที่ส่วนที่เหลือจะส่งผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคารต่อไป ปรากฏการณ์เรือนกระจก คือปรากฏการณ์ที่รังสีช่วงคลื่นต่าง ๆ จากดวงอาทิตย์ ไม่ว่าจะเป็นช่วงคลื่นที่มนุษย์มองเห็น รังสี Infrared ที่มีพลังงานมากพอ ส่องทะลุผ่านผิวกระจกเข้าสู่ภายในอาคาร และเมื่อรังสีต่าง ๆ เหล่านั้น ตกกระทบกับวัตถุทึบแสงภายในอาคาร จะเปลี่ยนสภาพเป็นรังสีคลื่นยาว (Far - Infrared) หรือรังสีความร้อน (Thermal Radiation) ซึ่งไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านกระจกกลับออกไปได้ (คุณสมบัติของกระจกโดยทั่วไปจะยอมให้รังสีคลื่นสั้นเท่านั้นที่ผ่านได้) ภายในอาคารที่เป็นกระจกจึงเต็มไปด้วยรังสีความร้อนที่สะสมอยู่ภายในทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นตามไปด้วย

กระจกเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับและเก็บสะสมไว้ในกระจก ทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้น และเมื่อถึงจุดที่กระจกไม่สามารถดูดซับความร้อนได้อีก พลังงานความร้อนที่ได้รับเพิ่มเข้ามา ก็จะสูญเสียให้กับสภาพแวดล้อมโดยวิธีการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการนำความร้อน การพาความร้อน รวมทั้งการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ จะเกิดขึ้นที่ทั้งสองด้านของกระจกคือทั้งที่อยู่ด้านใน และด้านนอกอาคาร แต่ในสภาพทั่วไป อุณหภูมิภายในอาคารที่ปรับอากาศ ซึ่งมีค่าประมาณ 25 - 27 องศาเซลเซียส จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น จะเป็นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร มากกว่าการถ่ายเทความร้อนให้กับสภาพอากาศภายนอกอาคาร

ความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากกระจกจะอยู่ในรูปรังสีคลื่นยาว ซึ่งเมื่อถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร ก็จะไม่สามารถกลับคืนออกสู่ภายนอกได้ นอกจากการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพาความร้อนผ่านทางกระจก ทำให้ภายในอาคารกระจกมีการสะสมรังสีความร้อน

การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา

การใช้หลังคาอาคารที่เป็นกระจก สิ่งหนึ่งที่สถาปนิกผู้ออกแบบต้องคำนึงถึง คือค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV : Roof Thermal Transfer Value) ซึ่งได้ถูกกำหนดไว้ใน พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ให้มีค่าไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร (Watt / m^2) ค่านี้กำหนดใช้สำหรับทั้งกรณีไม่มีช่องรับแสงธรรมชาติ และกรณีมีช่องรับแสงธรรมชาติ แต่ไม่ใช้แสงธรรมชาติช่วยส่องสว่าง

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาของอาคารตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$RTTV = \frac{(A_{o1})(RTTV_1) + (A_{o2})(RTTV_2) + \ldots + (A_{on})(RTTV_n)}{A_{o1} + A_{o2} + \ldots + A_{on}}$$

โดยที่ A_{on} คือ พื้นที่หลังคาส่วนที่พิจารณา (m^2)

$RTTV_n$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา (Watt / m^2) โดยสามารถหาได้จากสมการ[1]

$$RTTV_r = (U_r)(1 - SSR)(TD_{eq}) + (SC)(SSR)(SF) + (U_s)(SSR)(\Delta T)$$

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนทึบ (Watt / m^2 $^\circ$C)

SRR คือ Skylight to Roof Ratio หรืออัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงธรรมชาติ ต่อพื้นที่หมดของหลังคาส่วนนั้น

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง (Watt / m^2 $^\circ$C)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทย ค่านี้คือ 5 $^\circ$C

SC คือ Shading Coefficient หรือค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

---

[1] วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2536.

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมผลการดูดกลืนรังสีของของหลังคาส่วนทึบ ($^{\circ}C$)

SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (Watt / m^2) สำหรับหลังคาเอียงในทิศต่าง ๆ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ คือ

$$SF = 370 (CF)$$

โดยที่ CF คือ ตัวประกอบแก้ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.1

มุม	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.98	0.99	0.99	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99
10	0.96	0.97	0.99	1.01	1.02	1.01	0.99	0.97
15	0.93	0.95	0.98	1.01	1.02	1.00	0.98	0.95
20	0.90	0.93	0.97	1.00	1.02	1.00	0.96	0.92
25	0.87	0.90	0.95	0.99	1.01	0.98	0.94	0.89
30	0.83	0.86	0.93	0.98	0.99	0.97	0.92	0.86
35	0.78	0.93	0.90	0.96	0.97	0.95	0.89	0.82
40	0.74	0.79	0.87	0.93	0.95	0.92	0.86	0.78
45	069	0.75	0.84	0.90	0.92	0.89	0.83	0.74
50	0.61	0.71	0.91	0.87	0.88	0.86	0.79	0.70
55	0.59	0.66	0.77	0.83	0.84	0.82	0.76	0.66
60	0.54	0.62	0.91	0.79	0.80	0.78	0.72	0.61
65	0.50	0.58	0.69	0.75	0.75	0.73	0.68	0.57

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าตัวประกอบแก้สำหรับหลังคา

การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

การถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจก จะประกอบด้วยการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อน (Conduction Heat Gain) และการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Heat Gain)

สมการในการคำนวณหาปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทผ่านกระจก คือ

$$Q_{Total} = Q_{Cond.} + Q_{Rad}$$

โดยที่ $Q_{Cond} = U \times A \times CLTD$

$Q_{Rad} = SC \times A \times SHGF \times CLF$

Q_{Cond} คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกโดยการนำความร้อน (BTU / hr.)

Q_{Rad} คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกจากรังสีของดวงอาทิตย์ (BTU / hr.)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (BTU / hr. ft^2 . ^oF)

A คือ พื้นที่ทั้งหมดของกระจก (ft^2)

CLTD คือ Cooling Load Temperature Differences หรือภาระความแตกต่างความร้อนเทียบเท่า (^oF)

SC คือ Shading Coefficient หรือสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

SHGF คือ Solar Heat Gain Factor

CLF คือ Cooling Load Factor หรือตัวประกอบภาระการทำความเย็น

สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Shading Coefficient)

สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก[1] คือ อัตราส่วนของ Flux รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านระบบหน้าต่างซึ่งอาจประกอบด้วยกระจกและอุปกรณ์บังแดด ต่อ Flux รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใด ๆ

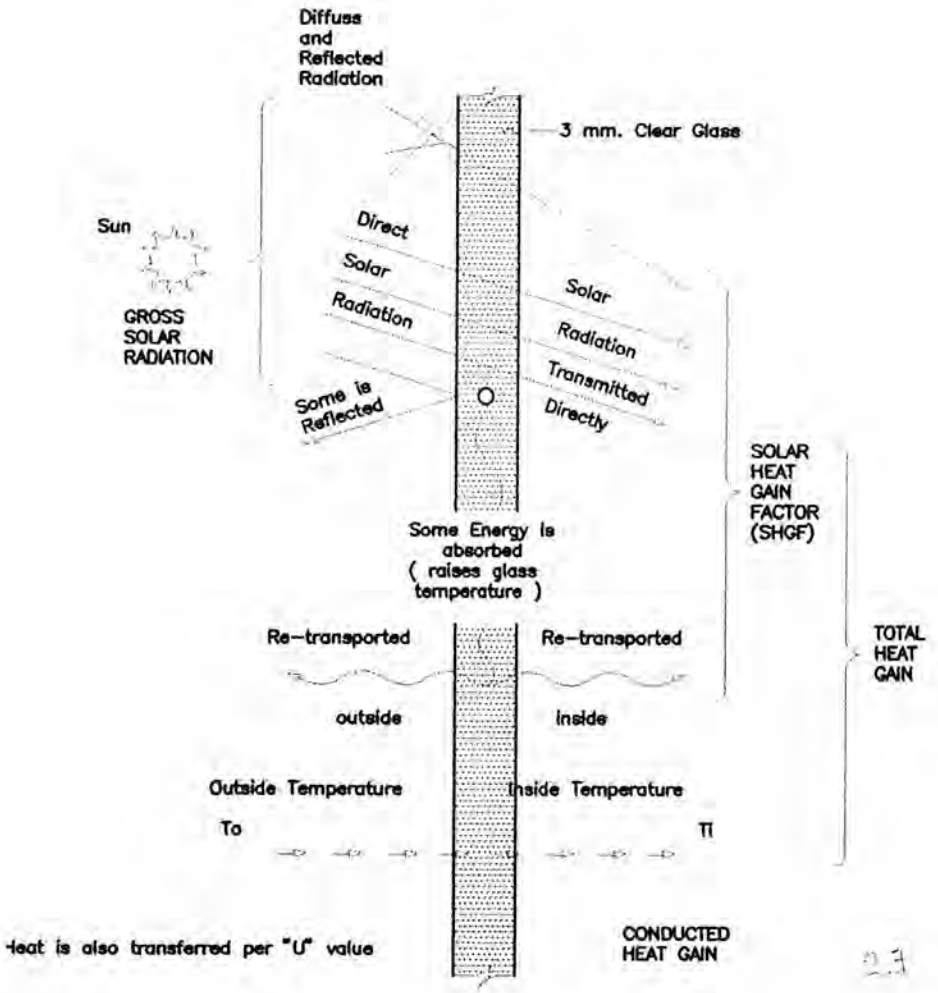
---

[1] วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2536.

Solar Heat Gain Factor

Solar Heat Gain Factor คือ ปริมาณความร้อนที่รังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตรเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งจะรวมรังสีความร้อนที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก (การสะท้อนความร้อนจากพื้นดินภายนอก คิดที่ 20 % ของความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อนของพื้น)

ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยส่งผ่านเปลือกอาคารที่เป็นกระจก ประกอบด้วยความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ การแผ่รังสีความร้อนที่ถูกดูดซึมไว้ภายในเนื้อกระจก การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการนำความร้อน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร โดยผ่านทางเปลือกอาคารที่เป็นกระจก



รูปที่ 2.3 รายละเอียดการส่งผ่านความร้อนจากภายนอก สู่ภายในอาคารผ่านทางกระจก

ตารางที่ 2.2 ค่า Cooling Load Factor (for glass without interior shading), North Latitude

Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time (h)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N (shaded)	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.75	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.49	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.75	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NNE	L	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.26	0.43	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.33	0.30	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.24	0.38	0.42	0.39	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.34	0.33	0.30	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.26	0.39	0.42	0.39	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
ENE	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.21	0.40	0.52	0.57	0.53	0.45	0.39	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.20	0.35	0.45	0.49	0.47	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.23	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.22	0.36	0.46	0.49	0.45	0.38	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.50	0.42	0.37	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.46	0.39	0.35	0.31	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.20	0.34	0.45	0.49	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
ESE	L	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.17	0.34	0.49	0.58	0.61	0.57	0.48	0.41	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06
	M	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.16	0.31	0.43	0.51	0.54	0.51	0.44	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09
	H	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.19	0.32	0.43	0.50	0.52	0.49	0.41	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.56	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
SSE	L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.15	0.29	0.43	0.55	0.63	0.64	0.60	0.52	0.45	0.40	0.35	0.29	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08
	M	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.08	0.16	0.26	0.38	0.48	0.55	0.57	0.54	0.48	0.43	0.39	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12
	H	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.12	0.19	0.29	0.40	0.49	0.54	0.55	0.51	0.44	0.39	0.35	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.37	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SSW	L	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.27	0.39	0.52	0.62	0.67	0.65	0.58	0.46	0.36	0.28	0.23	0.19	0.15	0.12
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.25	0.35	0.46	0.55	0.59	0.59	0.53	0.44	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.27	0.37	0.46	0.53	0.57	0.55	0.49	0.40	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวของวัสดุต่าง ๆ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวของวัสดุต่าง ๆ ประกอบด้วยปัจจัยที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ความเร็วลม (Wind Speed)
2. สภาพท้องฟ้า (Sky Radiation)
3. รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)
4. การกระจายรังสีของผิววัสดุ (Emissivity)
5. ค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของกระจก (Solar Absorption)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวของกระจกที่นำมาศึกษา สามารถคำนวณได้จากสมการ ค่า Heat Flux ต่อหน่วยพื้นที่ที่ตกกระทบบนพื้นผิวที่ถูกแสงอาทิตย์

$$q / A = \alpha I_t + h_o (t_o - t_s) - \varepsilon \Delta R$$

เมื่อ q / A คือ ค่า Heat Flux ที่ตกกระทบพื้นผิวที่ถูกแสงอาทิตย์

α คือ ค่าการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์

I_t คือ รังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนผิววัสดุ (W / m^2)

h_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิววัสดุภายนอก ซึ่งรวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection ($W / m^2 {}^\circ C$)

t_o คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^\circ C$)

t_s คือ อุณหภูมิผิววัสดุ ($^\circ C$)

ε คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายรังสีจากผิวของวัสดุ

ΔR คือ ผลต่างระหว่าง Long Wave Radiation จากท้องฟ้า และสภาวะแวดล้อมภายนอกที่ตกกระทบบนผิววัสดุ เทียบกับวัตถุดำที่อุณหภูมิอากาศภายนอก (W / m^2)

เมื่อพิจารณาเฉพาะค่าของอุณหภูมิผิวจากสมการคำนวณค่า Heat Flux ต่อหน่วยพื้นที่ที่ตกกระทบบนพื้นผิวที่ถูกแสงอาทิตย์จะได้

$$t_s = t_o + \alpha I_t / h_o - \varepsilon \Delta R / h_o - (q / A) / h_o$$

เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอก และ Heat Flux ที่ตกกระทบบนพื้นผิวที่ถูกแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากัน ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว กับตัวแปรอื่น ๆ จะได้

$$t_s \quad \propto \quad \alpha I_t / h_o$$

เมื่อวัตถุอยู่ ณ บริเวณเดียวกัน ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ผิวหลังคากระจกจึงมีค่าเท่ากัน ดังนั้น

$$t_s \quad \propto \quad \alpha / h_o$$

โดยที่ h_o จะแปรผันตามค่าการกระจายรังสีจากผิวของวัสดุ และความเร็วลมที่ผ่านผิววัสดุ เมื่อวัตถุอยู่ ณ บริเวณเดียวกัน เพราะฉะนั้น ความเร็วลมที่ผ่านผิวหลังคากระจกจึงมีค่าเท่ากัน ดังนั้น

$$h_o \quad \propto \quad \varepsilon$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว อุณหภูมิผิวของวัสดุ จึงแปรผันตามค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของกระจก และแปรผกผันกับค่าการกระจายรังสีจากผิวของวัสดุ

$$t_s \quad \propto \quad \alpha / \varepsilon$$

นั่นคือ อุณหภูมิผิวของวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์สูง เมื่อได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ จะมีอุณหภูมิผิวสูงกว่าวัตถุที่มีค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ต่ำ ในขณะที่อุณหภูมิผิวของวัตถุที่มีค่าการกระจายรังสีสูง เมื่อได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ จะมีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าวัตถุที่มีค่าการกระจายรังสีต่ำ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U - Value)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน จะมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ของ Outdoor Film และ Indoor Film โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$U = \frac{1}{(1/h_o) + (L/k) + (1/h_i)}$$

เมื่อ U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

h_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิววัสดุภายนอก ($W / m^2 {}^\circ C$)

h_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิววัสดุภายใน ($W / m^2 {}^\circ C$)

L คือ ความหนาของวัตถุ (m)

k คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ ($W / m {}^\circ C$)

เมื่อค่าการนำความร้อนของวัสดุ และความหนาของวัตถุแต่ละแผ่นเป็นค่าคงที่ ดังนั้น

$$U \propto \frac{1}{(1/h_o) + (1/h_i)}$$

หรือ

$$U \propto \frac{1}{1/(h_o + h_i)}$$

$$U \propto (h_o + h_i)$$

สามารถสรุปความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) กับค่าการกระจายรังสีจากผิวของวัสดุ (ε) ได้ดังนี้

$$U \propto \varepsilon$$

นั้นคือ ค่าการกระจายรังสีของวัสดุ สามารถพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ

ประเภทของกระจก

กระจกในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายชนิด ให้เลือกใช้ตามความประสงค์ของผู้ออกแบบ สามารถแบ่งได้เป็น 8 ชนิด ได้แก่

1. กระจกใส (Clear Glass)
2. กระจกสีตัดแสง (Tinted Glass หรือ Heat Absorbing Glass)
3. กระจกสะท้อนแสง (Reflective Glass)
4. กระจกเงา (Mirror)
5. กระจกลวดลาย (Patterned Glass)
6. กระจก Low - E
7. กระจกฉนวน (Insulated Glass)
8. กระจกสะท้อนความร้อน (Heat Mirror)

<u>กระจกใส</u> (Clear Glass)

กระจกใส คือ กระจกโปร่งแสงที่สามารถมองผ่านได้อย่างชัดเจน และให้ภาพที่สะท้อนสมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยว กระจกชนิดนี้ปล่อยให้แสงผ่านได้ประมาณ 75 - 92 % ขึ้นอยู่กับความหนาของกระจก ขณะเดียวกันความร้อนก็สามารถผ่านเข้ามาได้มากเช่นกัน เมื่อรังสีคลื่นสั้นผ่านกระจก จะตกกระทบกับวัตถุทึบแสงต่าง ๆ ภายในอาคาร ทำให้รังสีคลื่นสั้นเปลี่ยนรังสีเป็นคลื่นยาว ที่ไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นกระจกได้ จึงก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก หรือ Green House Effect

คุณสมบัติของกระจกใส (Clear Glass)

1. ราคาต่ำกว่ากระจกชนิดอื่น ๆ
2. การมองผ่านกระจก สามารถมองผ่านได้อย่างชัดเจน
3. ค่าการตัดแสงประมาณ 8 - 15 % ขึ้นอยู่กับความหนาของกระจก
4. ค่าการสะท้อนแสงต่ำ ทำให้สามารถมองผ่านกระจกได้ง่าย
5. เมื่อได้รับแสงแดด อุณหภูมิที่ผิวกระจกจะไม่สูงมาก

<u>กระจกสีตัดแสง</u> (Tinted Glass หรือ Heat Absorbing Glass)

กระจกสีตัดแสง คือ การเติมส่วนผสมออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ เข้าไปในขั้นตอนการผลิตกระจกใส กระจกจึงมีสีต่าง ๆ ตามออกไซด์ของโลหะที่ใช้ เมื่อความใสของกระจกลดลงทำให้เกิดการดูดซับความร้อนภายในตัวกระจก และปริมาณแสงที่ทะลุผ่านกระจกจะลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีและความหนาของกระจก โดยกระจกที่มีความหนามากขึ้น ความเข้มของสีก็จะมากขึ้น ปริมาณแสงที่ทะลุผ่านจะน้อยลง การดูดซับความร้อนมากขึ้น โอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการสะสมความร้อน (Thermal Breakage) ก็จะมีมากขึ้น

ข้อควรระวังในการใช้งานของกระจกสีตัดแสง คือไม่ควรติดตั้งอุปกรณ์ใดใกล้กับผิวกระจกมาก เพื่อให้ความร้อนที่สะสมภายในกระจกสามารถถ่ายเทออกได้สะดวก และไม่ควรเป่าลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศกระทบผิวของกระจกโดยตรง

คุณสมบัติของกระจกสีตัดแสง (Tinted Glass หรือ Heat Absorbing Glass)

1. เมื่อได้รับแสงแดด อุณหภูมิที่ผิวกระจกจะเพิ่มสูงขึ้นมาก
2. ค่า Shading Coefficient ต่ำ ทำให้ปริมาณแสง และความร้อนผ่านได้น้อย
3. ค่าการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ประมาณ 35 - 50 % ขึ้นอยู่กับสี และความหนาของกระจก

<u>กระจกสะท้อนแสง</u> (Reflective Glass)

กระจกสะท้อนแสง คือ การนำกระจกใส หรือกระจกสีตัดแสงมาเคลือบด้วยแผ่นออกไซด์ของโลหะที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสง มีกรรมวิธีในการเคลือบ 2 วิธี คือ

1. การเคลือบแบบ Soft Coating (Vacuum Deposition)
2. การเคลือบแบบ Hard Coating (Pyrolitic Deposition)

การเคลือบแบบ Soft Coating เป็นการเคลือบโดยพ่นออกไซด์ของโลหะบางชนิดลงบนผิวกระจก แล้วใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาของโลหะ สารที่เคลือบแทรกไปตามทุกอณูของเนื้อกระจก ข้อดี คือ ความสามารถในการเป็นกระจกสะท้อนแสงจะสูงกว่าการเคลือบแบบ Hard Coating ข้อเสีย คือ สารที่เคลือบจะถูกขูดขีดออกได้ง่าย

การเคลือบแบบ Hard Coating เป็นการเคลือบโดยพ่นออกไซด์ของโลหะบางชนิดลงบนผิวกระจกในขณะที่กระจกยังเป็นของเหลว สารที่เคลือบจะกระจายไปในเนื้อกระจกได้ไม่เท่ากัน ทำให้ความสามารถในการเป็นกระจกสะท้อนแสงจะต่ำกว่าการเคลือบแบบ Soft Coating ข้อดี คือ สารที่เคลือบจะมีความแข็งแกร่งทนทานกว่าการเคลือบแบบ Soft Coating

ข้อควรระวังในการใช้งานกระจกสะท้อนแสง คือการทำความเสียหายให้กับวัสดุที่เคลือบกระจก เช่นการขูดขีด การถูกสารพวก Cement หรือ Plaster ควรจะให้ด้านที่เคลือบอยู่ด้านในอาคารเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอก

คุณสมบัติของกระจกสะท้อนแสง (Reflective Glass)

1. ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ระดับหนึ่ง ทำให้ความร้อนที่จะส่งทะลุผ่านกระจกน้อยลง
2. คุณสมบัติในการสะท้อนแสง ทำให้การมองทะลุเป็นไปอย่างลำบาก
3. สามารถลดแสงที่ผ่านกระจกได้ ทำให้เกิดความนุ่มนวลของแสง

<u>กระจกเงา</u> (Mirror)

กระจกเงา คือ การนำกระจกใส หรือกระจกสีตัดแสงมาทำการเคลือบเงา 4 ชั้นด้วยกันคือ การเคลือบด้วยวัสดุประเภทเงิน การเคลือบทองแดงบริสุทธิ์ และการเคลือบสีอย่างดีอีก 2 ชั้น ภาพสะท้อนที่ได้จะไม่มีการบิดเบี้ยว เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการตกแต่งภายใน

<u>กระจกลวดลาย</u> (Patterned Glass)

กระจกลวดลาย คือ กระจกที่มีลวดลายบนผิวกระจก มีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ (โปร่งแสง) แต่ไม่สามารถมองทะลุผ่านได้ ผลิตโดยการผ่านกระจกในขณะที่ยังไม่แข็งตัวให้ลูกกลิ้งที่มีลวดลายตามต้องการ ลวดลายดังกล่าวบนลูกกลิ้ง ก็จะถูกพิมพ์ติดไว้บนแผ่นกระจกเมื่อกระจกแข็งตัว กระจกที่ได้จะมีความหนาไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น เนื่องจากลวดลายต่าง ๆ ที่ถูกพิมพ์ติดไว้บนแผ่นกระจก ทำให้ความแข็งแรงและคงทนน้อยกว่ากระจกที่มีความหนาเท่ากัน

<u>กระจก Low - E</u>

กระจก Low - E หรือ Low - Emissivity Glass คือกระจกที่สามารถสะท้อนรังสีความร้อน (Long Wave Radiation) ได้มากแต่การสะท้อนแสงต่ำ เนื่องจากยอมให้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ที่อยู่ในรูปของรังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) ผ่านได้ การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกน้อย ในขณะที่ปริมาณแสงผ่านได้มาก การเคลือบสาร Low - E ลงบนกระจกสามารถทำได้ทั้งการเคลือบแบบ Soft Coating และแบบ Hard Coating สาร Low - E ที่เคลือบจะเสียหายได้ง่าย ดังนั้นจึงควรใช้กับกระจกหลายชั้น ที่มีสามารถป้องกันไม่ให้สาร Low - E ที่เคลือบสัมผัสกับภาวะภายนอก

คุณสมบัติของกระจก Low - E

1. ป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี เนื่องจากความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อน (Long Wave Radiation)
2. สะท้อนรังสี Ultra Violet (UV) ได้ ทำให้ปริมาณรังสีที่ส่องผ่านกระจกน้อยลง
3. แสงสามารถส่องทะลุผ่านเข้ามาก เนื่องจากค่าการสะท้อนแสงต่ำ

<u>กระจกฉนวน</u> (Insulated Glass)

กระจกฉนวน คือ กระจกที่มีลักษณะเป็นกระจกหลายชั้น (Multiple Glazing) โดยจะบรรจุสารดูดความชื้น (Desiccant) ไว้ที่ตัวขอบอะลูมิเนียม (Profiles) ซึ่งทำหน้าที่คั่นกลางระหว่างกระจก เพื่อให้ช่องว่างระหว่างกระจกเป็นอากาศแห้ง สามารถเป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างกระจกทั้ง 2 ด้าน

การใช้งานของกระจกฉนวนนี้ ควรคำนึงถึงอุณหภูมิของบริเวณที่นำไปใช้งาน เนื่องจากสารดูดความชื้นจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า - 20 $^{\circ}$ F ทำให้เกิดเป็นฝ้าที่ผิวกระจกภายในช่องว่างอากาศได้ นอกจากนั้น การหักงอของอะลูมิเนียมที่เป็นโครง รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการต่อเชื่อม และปิดรอยรอบขอบกระจกจะทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนของกระจกฉนวนลดลง

คุณสมบัติของกระจกฉนวน (Insulated Glass)

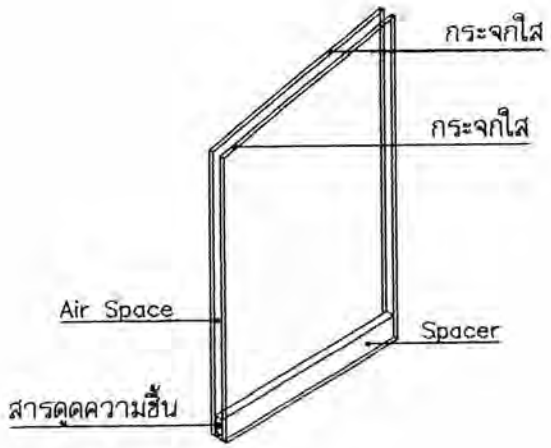
1. ป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ เนื่องจากการมีอากาศแห้งทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อน
2. ป้องกันเสียงได้ดีกว่ากระจกทั่วไป
3. สามารถรับแรงที่มากระทำได้มากขึ้น

<u>กระจกสะท้อนความร้อน</u> (Heat Mirror)

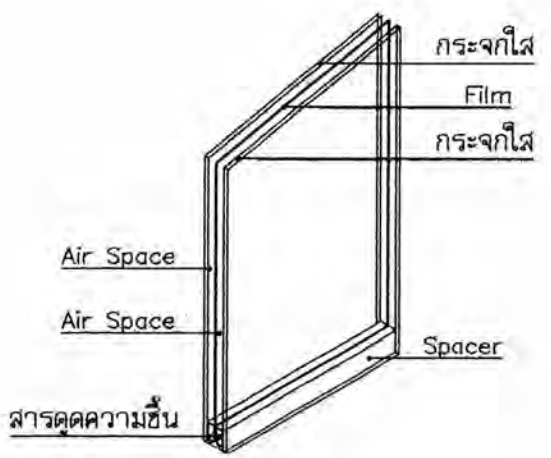
กระจกสะท้อนความร้อน คือ กระจกที่มีลักษณะเป็นกระจกหลายชั้น (Multiple Glazing) มีแผ่นฟิล์มที่เคลือบสาร Low - E ทั้งสองด้านอยู่ระหว่างกระจกเป็นอากาศแห้งหรือก๊าซเฉื่อย โดยช่องว่างอากาศทั้งสองด้านจะทำหน้าที่เป็น Reflective Space ทำให้สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดี

คุณสมบัติของกระจกสะท้อนความร้อน (Heat Mirror)

1. ป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี เนื่องจากการมีอากาศแห้ง และแผ่นฟิล์มที่เคลือบสาร Low - E ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อน
2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (U - Value) ประมาณ 0.25 BTU / ft^2 / hr.
3. ป้องกันเสียงได้ดีกว่ากระจกทั่วไป
4. สามารถรับแรงที่มากระทำได้มากขึ้น



รูปที่ 2.4 กระจกฉนวน (Insulated Glass)



รูปที่ 2.5 กระจกสะท้อนความร้อน (Heat Mirror)