บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร

การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณการถ่ายเทความร้อนระหว่างกรอบอาคารและสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร โดยสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อน คือ บรรยากาศภายนอกอาคาร และปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกรอบอาคาร การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร สามารถที่จะจำแนกออกตามลักษณะของของกรอบอาคารได้ 2 ลักษณะ คือ

1. กรอบอาคารที่มีลักษณะทึบ (Opaque Wall)
2. กรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง (Transparent Wall)

นอกจากนี้รูปแบบของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดกับอาคารสามารถที่จะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

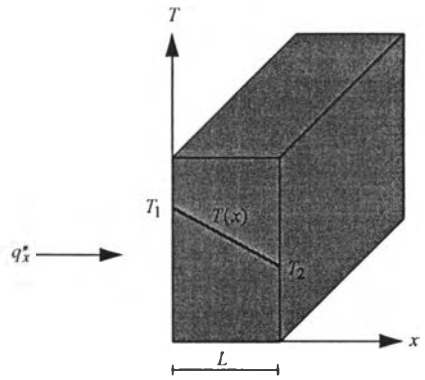
1. การนำความร้อนของกรอบอาคารที่มีลักษณะทึบ
2. การนำความร้อนของกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง
3. การแผ่รังสีความร้อนของกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง

2.1.1 การนำความร้อนของกรอบอาคารที่มีลักษณะทึบและโปร่งแสง

โดยหลักการพื้นฐานการประมาณค่าการนำความร้อน สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า Fourier 's law. โดยมีรูปแบบสมการสำหรับการนำความร้อนในแนวแกนเดียว ตามรูปที่ 2.1 ดังนี้

$$q''_x = -k\frac{dT}{dx} \qquad (2.1)$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบของการนำความร้อน

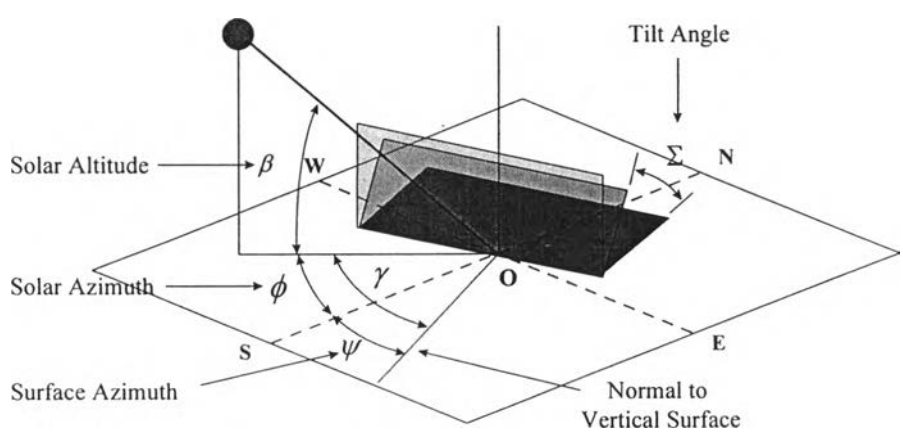
การนำความร้อนเข้าสู่อาคาร เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะไม่คงที่ ทั้งนี้เนื่องจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะโครงสร้างของอาคาร อุณหภูมิภายนอกอาคาร ทำให้การประมาณหาค่าการนำความร้อนที่เข้าสู่อาคารมีความยุ่งยากมาก จึงได้มีการปรับการประมาณใหม่ให้มีรูปแบบที่ง่ายมากขึ้นโดยใช้ สมมติฐาน การนำความร้อนในแนวแกนเดียว และมีสภาวะการนำความร้อนที่คงที่ ดังนั้นสมการที่ใช้ในการประมาณค่าการนำความร้อนจะมีรูปแบบสมการดังนี้

$$Q = U * Area * \Delta T \qquad (2.2)$$

โดยที่ U = Conductivity (สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน)

ΔT = Temperature Difference

2.1.2 การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง



รูปที่ 2.2 แสดงค่ามุมต่างๆของผนังที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์

รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

1. รังสีความร้อนตรง (Direct Irradiance)
2. รังสีความร้อนกระจาย (Diffuse Irradiance)

การคำนวณหาค่ารังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ มี 2 ขั้นตอนการคำนวณที่สำคัญ คือ

1. หาทิศทางและตำแหน่งของดวงอาทิตย์เทียบกับผนังโปร่งแสง ณ. เวลาและทิศทางใดๆ ของผนังโปร่งแสง โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

- เริ่มจากการคำนวณหาค่า Appearance Solar Time(AST) หรือเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏขึ้นจริง ณ. เวลาและตำแหน่งใดๆบนพื้นโลก ในรูปแบบสมการ

$$AST = LST + ET + 4(LSM - LON) \qquad (2.3)$$

โดยที่ LST = Local Standard Time
ET = Equation of Time
LSM = Local Standard time Meridian
LON = Local Longitude

- การคำนวณทิศทางและมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์

$$\begin{aligned} \sin\beta &= \cos L * \cos\delta * \cos Hr + \sin L * \sin\delta \\ \cos\phi &= \frac{\sin\beta * \sin L - \sin\beta}{\cos\beta * \cos L} \\ \gamma &= \phi - \psi \\ \cos\theta &= \cos\beta * \cos\gamma * \sin\Sigma + \sin\beta * \cos\Sigma \end{aligned} \qquad (2.4)$$

โดยที่ Hr = Hour Angle (number of minutes form solar noon)
L = Latitude
δ = Declination (มุมระหว่างดวงอาทิตย์กับระนาบศูนย์สูตร)
β = Solar altitude
ϕ = Solar Azimuth
ψ = Surface Azimuth
γ = Surface - Solar Azimuth
Σ = Surface Tilt (มุมเอียงของผนัง)
θ = Incident angle (มุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผนัง)

2. การประมาณค่ารังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลก สามารถจำแนกได้ตามแหล่งที่มา ได้ 2 รูปแบบคือ

- การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Math Models) เพื่อคำนวณค่ารังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลก

- การเก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกบนผิวโลก ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดจะอยู่ในรูปของรังสีความร้อนตรงที่ตกกระทบบนระนาบแนวนอน (Direct Normal Irradiance , E_{DN}) และรังสีความร้อนกระจายที่ตกกระทบบนระนาบแนวนอน (Diffuse Irradiance, E_{dn}) โดยมีรูปแบบของสมการที่ใช้ในการคำนวณรังสีความร้อนตรงและรังสีความร้อนกระจายที่ตกกระทบบนระนาบใดๆ ดังสมการต่อไปนี้

$$I_D = E_{DN} * \cos\theta$$
$$I_d = E_{dn} \qquad (2.5)$$

โดยที่ E_{DN} = Direct Normal Irradiance (ได้จากการวัด)
E_{dn} = Diffuse Normal Irradiance (ได้จากการวัด)
I_D = Direct Irradiance
I_d = Diffuse Irradiance

นอกจากตำแหน่งทิศทาง และปริมาณของรังสีความร้อนที่ตกกระทบกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสงแล้ว อีกสิ่งที่จะต้องพิจารณาคือ ลักษณะของอุปกรณ์บังแดด โดยอุปกรณ์บังแดดเป็นอุปกรณ์ที่จะลดทอนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสงเข้าสู่ภายในอาคาร

เพื่อให้เกิดความสะดวก และง่ายต่อการคำนวณปริมาณการแผ่รังสีผ่านกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง จึงมีการเปลี่ยนแปลงสมการให้อยู่ดังนี้

$$Q = Area * SC * SF \qquad (2.6)$$

โดยที่ SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)
SF = Solar Factor

ค่า SF เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่ตกกระทบบนกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสงก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร และ ค่า SC เป็นค่าที่บ่งบอกถึง สัดส่วนของปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารต่อปริมาณความร้อนที่ตกกระทบกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง

2.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร

2.2.1 การนำความร้อนของกรอบอาคารที่มีลักษณะทึบ

$$Q = U * A_w * TD_{eq} \quad (2.7)$$

โดย TD_{eq} คือ ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference)[1] ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวภายนอกอาคาร ของผนังทึบ และ น้ำหนักของผนังทึบ

2.2.2 การนำความร้อนของกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง

$$Q = U * A_f * \Delta T \quad (2.8)$$

โดย ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งค่าดังกล่าวนี้มีค่า เท่ากับ 5 องศาเซลเซียส สำหรับประเทศไทย

2.2.3 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ของกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง

$$Q = A_f * SC * SF \quad (2.9)$$

เมื่อนำความร้อนทั้ง 3 ส่วน มาเฉลี่ยค่าตามพื้นที่ ผลลัพธ์ที่ได้คือสมการสำหรับการประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารส่วนที่เป็นผนัง และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา โดยความแตกต่างระหว่างผนังและหลังคาของกรอบอาคาร คือ มุมที่เกิดขึ้นระหว่างผนังหรือหลังคาของกรอบอาคารกระทำกับแนวระนาบ โดยที่ผนังของกรอบอาคารมีค่าของมุมดังกล่าวอยู่ในช่วง 70^0-90^0 และหลังคาของกรอบอาคารมีค่าของมุมอยู่ในช่วง 0^0-70^0

2.2.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารส่วนที่เป็นผนัง

$$OTTV = \frac{(A_w * U_w * TD_{eq}) + (A_f * U_f * \Delta T) + (A_f * SC * SF)}{A_w + A_f} \quad (2.10)$$

---

[1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน , กฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

โดยที่ OTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง $(\frac{W}{m^2})$

A_w = พื้นที่ของผนังทึบ (m^2)

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ $(\frac{W}{m^2 \cdot K})$

TD_{eq} = ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (K)

A_f = พื้นที่ของผนังโปร่งแสง (m^2)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสง $(\frac{W}{m^2 \cdot K})$

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร (K)

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดด

SF = Solar Factor $(\frac{W}{m^2})$

ในกรณีที่แต่ละส่วนของกรอบอาคารประกอบด้วยโครงสร้างของวัตถุมากกว่า 1 แบบขึ้นไป สมการ (2.9) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$OTTV = \frac{\sum_{i=1}^{mm}(A_{w_i} * U_{w_i} * TD_{eq_i}) + \sum_{i=1}^{nn}(A_{f_i} * U_{f_i} * \Delta T_i) + \sum_{i=1}^{nn}(A_{f_i} * SC_i * SF_i)}{\sum_{i=1}^{mm} A_{w_i} + \sum_{i=1}^{nn} A_{f_i}} \quad (2.11)$$

โดยที่ mm = จำนวนแบบของโครงสร้างของวัสดุที่ประกอบเป็นผนังทึบ

nn = จำนวนแบบของโครงสร้างของวัสดุที่ประกอบเป็นผนังโปร่งแสง

ในกรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยด้านทั้งหมด k ด้าน ซึ่งหันไปในทิศทางต่างๆกัน ค่า OTTV สำหรับอาคารทั้งหลัง สามารถคำนวณได้จาก

$$OTTV = \frac{\sum_{i=1}^{k}(A_{o_i} * OTTV_i)}{\sum_{i=1}^{k} A_{o_i}} \quad (2.12)$$

2.2.5 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา

$$RTTV = \frac{(A_r * U_r * TD_{eq}) + (A_s * U_s * \Delta T) + (A_s * SC * SF)}{A_r + A_s} \quad (2.13)$$

โดยที่ RTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา $(\frac{W}{m^2})$

A_r = พื้นที่ของหลังคาส่วนทึบ (m^2)

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนทึบ $(\frac{W}{m^2 \cdot K})$

TD_{eq} = ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (K)

A_s = พื้นที่ของหลังคาส่วนโปร่งแสง (m^2)

U_s = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสง $(\frac{W}{m^2 \cdot K})$

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร (K)

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดด

SF = Solar Factor $(\frac{W}{m^2})$

ในกรณีที่หลังคาประกอบด้วยหลายส่วน ค่า RTTV หาได้ดังนี้

$$RTTV = \frac{\sum_{i=1}^{k} A_{oi} * RTTV_i}{\sum_{i=1}^{k} A_{oi}} \qquad (2.14)$$

จากสมการ (2.6) - (2.13) จะเห็นว่าค่า OTTV , RTTV ประกอบด้วยตัวแปรหลายตัว ซึ่งบางตัวแปรจะต้องมีการคำนวณก่อนที่จะนำมาแทนในสมการเพื่อหาค่า OTTV , RTTV โดยมีรายละเอียดดังนี้

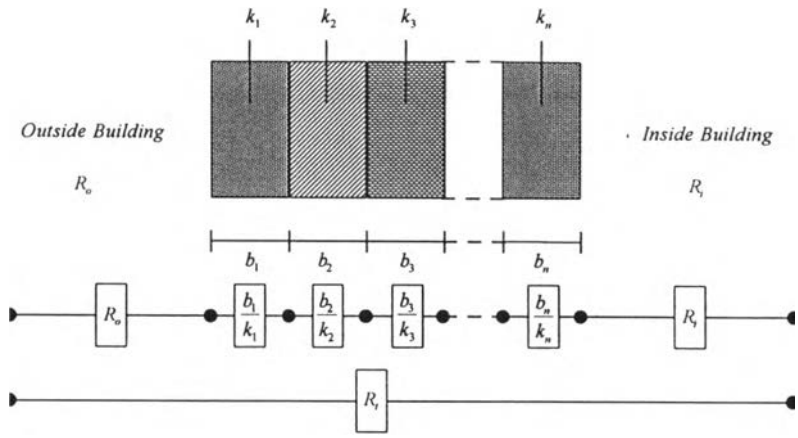
1. <u>การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม</u> (U)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม อาศัยหลักการพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งสามารถเขียนสมการเพื่อการคำนวณได้เป็น

$$U = \frac{1}{R_t} \qquad (2.15)$$

โดยที่ R_t = ค่าความต้านทานความร้อนของกรอบอาคาร $(\frac{m^2 \cdot K}{W})$

โดยทั่วไปผนังอาคารนั้นประกอบด้วยวัสดุมากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของผนังอาคาร

ค่า R_t สามารถคำนวณได้จาก

$$R_t = R_0 + \frac{b_1}{k_1} + \frac{b_2}{k_2} + \cdots + \frac{b_n}{k_n} + R_i \qquad (2.16)$$

โดยที่ R_o = ความต้านทานความร้อนของอากาศที่ผิวด้านนอก $(\frac{m^2 \cdot K}{W})$

R_i = ความต้านทานความร้อนของอากาศที่ผิวด้านใน $(\frac{m^2 \cdot K}{W})$

b = ความหนาของวัสดุ (m)

k = สัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุ $(\frac{W}{m \cdot K})$

n = จำนวนของวัสดุที่ประกอบเป็นผนังอาคาร

2. <u>ค่าตัวประกอบรังสีของดวงอาทิตย์</u>

คือ ค่าของรังสีความร้อนของงดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง ค่านี้ได้จากการวัดรังสีของดวงอาทิตย์ระยะยาวทั้งรังสีตรง และรังสีกระจายและได้จัดทำไว้สำหรับผนังในทิศต่างๆ ค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบรังสีของดวงอาทิตย์สำหรับผนังแนวตั้งในทิศต่างๆ คือ

$$SF = 160 \quad (\frac{W}{m^2}) \qquad (2.17)$$

ค่าตัวประกอบรังสีของดวงอาทิตย์สำหรับกรอบอาคารส่วนที่เป็นผนังในทิศต่างๆ คำนวณได้จากสมการ

$$SF = 160 * CF \quad (\frac{W}{m^2}) \qquad (2.18)$$

ค่าตัวประกอบรังสีของดวงอาทิตย์สำหรับกรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคาในทิศต่างๆ คำนวณได้จากสมการ

$$SF = 370 * CF \quad (\frac{W}{m^2}) \qquad (2.19)$$

โดยที่ CF คือ ค่าตัวประกอบแก้ (Correction Factor)[2] สำหรับผนังมุมเอียงหนึ่งๆ ในทิศหนึ่งๆ

3. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)

สัมประสิทธิ์การบังแดดเป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารทางกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง ต่อรังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใสหนา 3 มม. โดยไม่มีอุปกรณ์บังแดด เพื่อการลดทอนปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง

โดยปกติผนังโปร่งแสงของอาคารทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระจก และส่วนที่เป็นอุปกรณ์บังแดด ดังนั้นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การบังแดดจึงประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกและของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$SC = SC_1 * SC_2 \qquad (2.20)$$

โดยที่ SC_1 = สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

SC_2 = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

3.1 สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SC_1)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก เป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตกระจก ซึ่งทำการประเมินที่แสงอาทิตย์ตกกระทบทำมุมกับกระจก 45 องศาจากแนวตั้งฉาก

3.2 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์การบังแดด (SC_2)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดนั้น มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งสามารถที่จะคำนวณได้โดยอาศัยพื้นฐานของสัมประสิทธิ์การบังแดด โดยเขียนสมการในการคำนวณได้เป็น

---

[2] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน , กฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

$$SC_2 = \frac{(A_e * I_D)+(A * I_d)}{A * I_t} = \frac{(G * I_D)+I_d}{I_t} \quad (2.21)$$

โดยที่ G = อัตราส่วนของ พื้นที่ที่โดนรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ทั้งหมด $\frac{A_e}{A}$

A_e = พื้นที่ของกระจกส่วนที่โดน รังสีดวงอาทิตย์ (m^2)

A = พื้นที่รวมของกระจก (m^2)

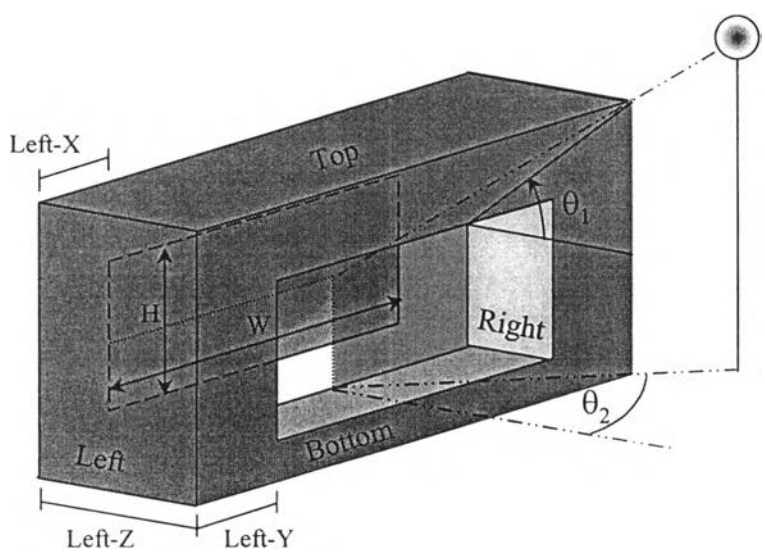
I_D = รังสีความร้อนตรง[3] $(\frac{W}{m^2})$

I_d = รังสีความร้อนกระจาย[3] $(\frac{W}{m^2})$

I_t = รังสีความร้อนรวม[3] $(\frac{W}{m^2})$

$$I_t = I_D + I_d \quad (2.22)$$

วิธีการคำนวณค่าอัตราส่วนของพื้นที่ที่โดนรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ทั้งหมด ของอุปกรณ์บังแดด เริ่มต้นจากการพิจารณาลักษณะและขนาดของอุปกรณ์บังแดดที่อยู่โดยรอบกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง โดยใช้หลักการทางตรีโกณมิติในการคำนวณหาระยะที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสงของอุปกรณ์บังแดด จากนั้นคำนวณพื้นที่ที่โดนรังสีดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.4 ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์บังแดด

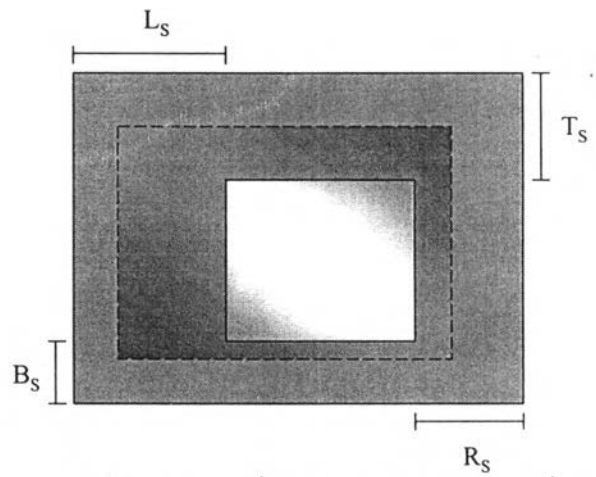
---

[3] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน , กฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

อุปกรณ์บังแดดทั้ง 4 ด้านของผนังโปร่งแสง ประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัวแปร คือ X , Y และ Z ดังนี้

อุปกรณ์บังแดดด้านบน (Top)	ประกอบด้วย T_X , T_Y และ T_Z
อุปกรณ์บังแดดด้านขวา (Right)	ประกอบด้วย R_X , R_Y และ R_Z
อุปกรณ์บังแดดด้านล่าง (Bottom)	ประกอบด้วย B_X , B_Y และ B_Z
อุปกรณ์บังแดดด้านซ้าย (Left)	ประกอบด้วย L_X , L_Y และ L_Z

สมการที่ใช้ในการคำนวณ และรูปภาพแสดงระยะที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสงของอุปกรณ์บังแดดแต่ละด้าน มีลักษณะของสมการและมีรูปภาพดังนี้



รูปที่ 2.5 ระยะของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังโปร่งแสงที่อาจจะเกิดขึ้นได้

รูปแบบสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$
\begin{aligned}
\theta_1 &= \tan^{-1}\left(\frac{\tan\beta}{\cos\gamma}\right) \\
\theta_2 &= \gamma \\
T_S &= T_Y + T_Z * \tan\theta_1 \\
R_S &= R_Y - R_Z * \tan\theta_2 \\
B_S &= B_Y - B_Z * \tan\theta_1 \\
L_S &= L_Y + L_Z * \tan\theta_2 \\
G &= \left[W + R_X + L_X - (R_S + L_S)\right] * \left[H + T_X + B_X - (T_S + B_S)\right] / (W * H)
\end{aligned}
\qquad (2.22)
$$

โดยที่ θ_1 = Profile Angle

θ_2 = Surface - Solar Azimuth

W = ความกว้างของผนังโปร่งแสง

H = ความสูงของผนังโปร่งแสง

T_S = ระยะที่ไม่โดนรังสีของดวงอาทิตย์ของอุปกรณ์บังแดดด้านบน

R_S = ระยะที่ไม่โดนรังสีของดวงอาทิตย์ของอุปกรณ์บังแดดด้านขวา

L_S = ระยะที่ไม่โดนรังสีของดวงอาทิตย์ของอุปกรณ์บังแดดด้านซ้าย

B_S = ระยะที่ไม่โดนรังสีของดวงอาทิตย์ของอุปกรณ์บังแดดด้านล่าง

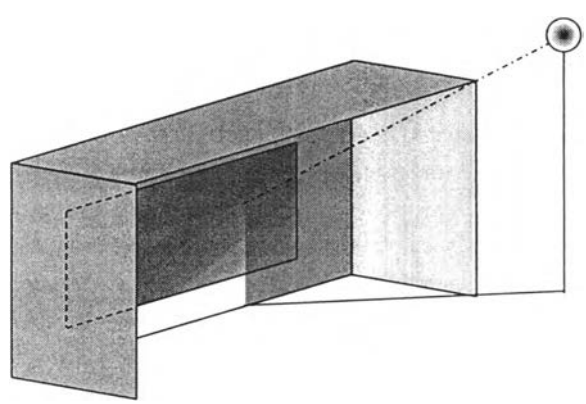
A = พื้นที่ทั้งหมดของผนังโปร่งแสง

A_{SL} = พื้นที่ที่โดนรังสีของดวงอาทิตย์

A_{SH} = พื้นที่ที่ไม่โดนรังสีของดวงอาทิตย์

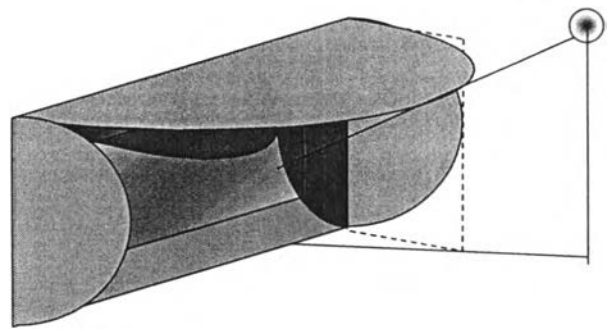
จากวิธีการคำนวณดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับรูปร่างของอุปกรณ์บังแดดได้หลายลักษณะ โดยสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ

1. รูปร่างของอุปกรณ์บังแดดที่มีลักษณะทรงเหลี่ยม



รูปที่ 2.6 ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่มีลักษณะทรงเหลี่ยม

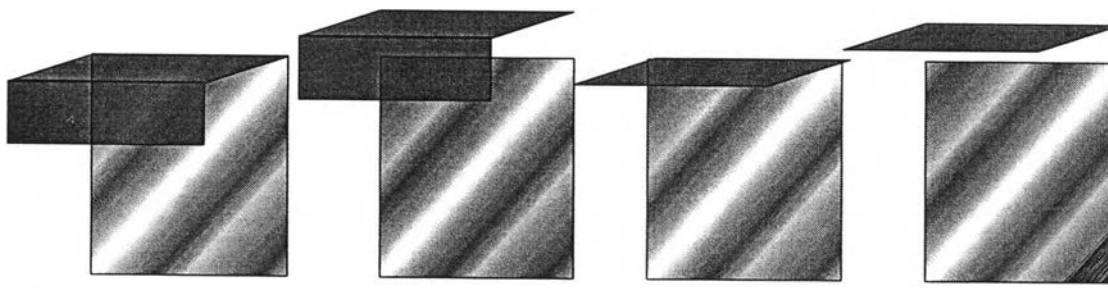
2. รูปร่างของอุปกรณ์บังแดดที่มีลักษณะทรงโค้ง (โดยจุดกึ่งกลางของผนังโปร่งแสงอยู่ในแนวเดียวกันกับแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์บังแดด)



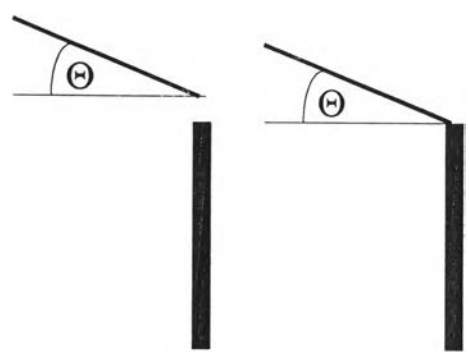
รูปที่ 2.7 ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่มีลักษณะทรงโค้ง

โดยการคำนวณค่าอัตราส่วนของพื้นที่ที่โดนรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ทั้งหมด ของอุปกรณ์บังแดดที่มีลักษณะทรงโค้ง สามารถคำนวณได้จากการแบ่งอุปกรณ์บังแดดออกเป็นส่วนเล็กๆ และใช้หลักการคำนวณเช่นเดียวกันกับอุปกรณ์บังแดดที่มีลักษณะทรงเหลี่ยม ในการคำนวณหาพื้นที่จากนั้นรวมพื้นที่เล็กๆทั้งหมดเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้พื้นที่ที่โดนรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดของอุปกรณ์บังแดดที่มีลักษณะทรงโค้ง

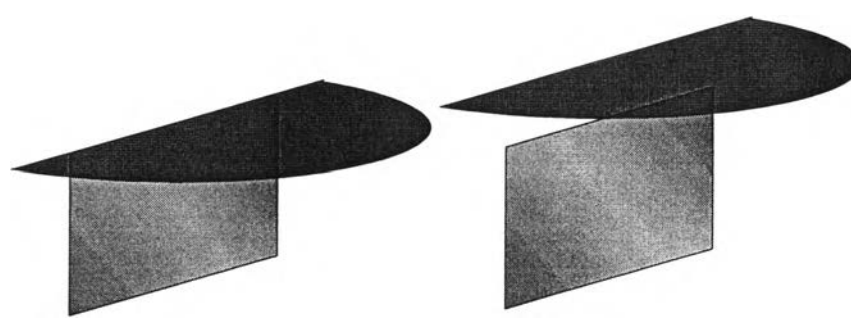
สำหรับรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่สามารถนำสมการ (2.22) มาใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดมีดังนี้



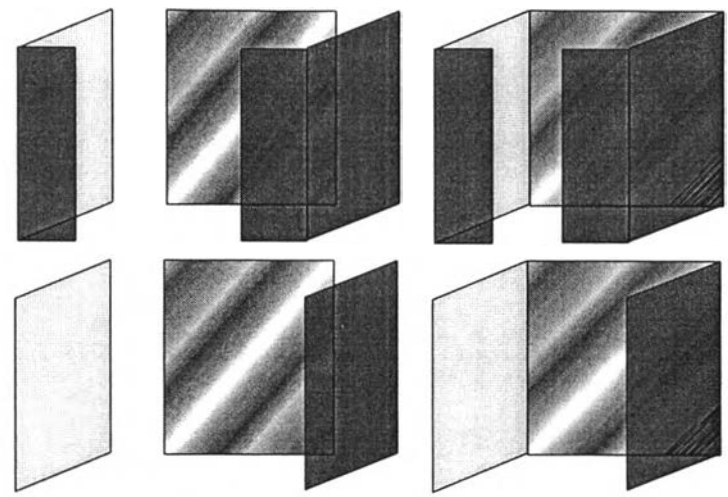
รูปที่ 2.8 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวนอนทรงเหลี่ยมที่ทำมุมฉากกับกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง



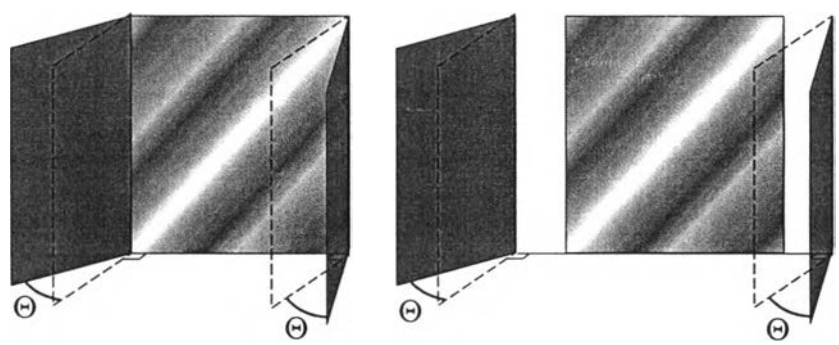
รูปที่ 2.9 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวนอนทรงเหลี่ยมที่ทำมุมใดๆกับกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง



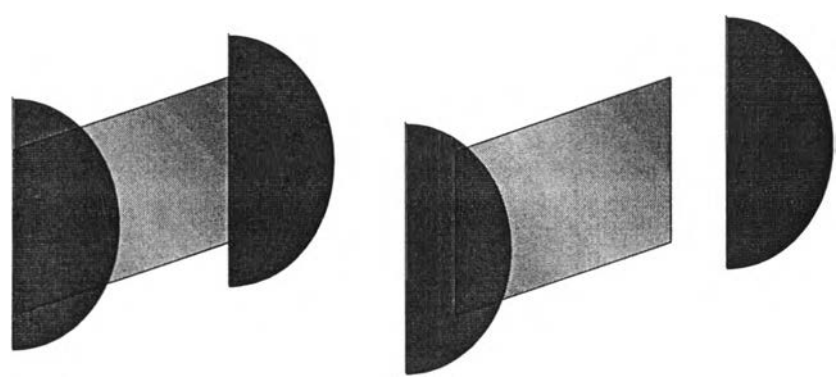
รูปที่ 2.10 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวนอนทรงโค้งที่ทำมุมฉากกับกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง



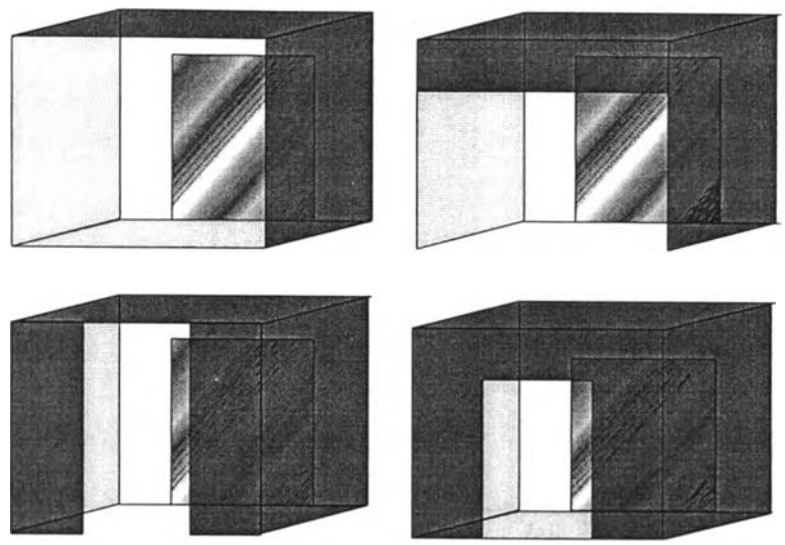
รูปที่ 2.11 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้งทรงเหลี่ยมที่ทำมุมฉากกับกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง



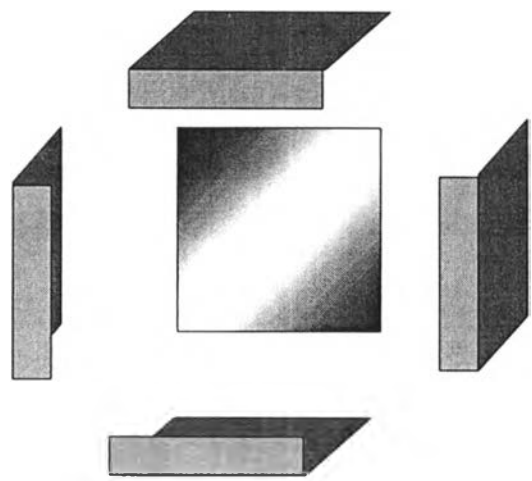
รูปที่ 2.12 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้งทรงเหลี่ยมที่ทำมุมใดๆกับกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง



รูปที่ 2.13 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้งทรงโค้งที่ทำมุมฉากกับกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้งและแบบแนวนอนทรงเหลี่ยมที่ทำมุมฉากกับกรอบอาคารที่มีลักษณะโปร่งแสง



รูปที่ 2.15 ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์บังแดด (General form of external shading device)