บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทพลังงานรังสีความร้อน
(Radient Energy Transfer)

ความร้อนถ่ายเท หรือเดินทางในลักษณะต่างกัน เช่น โดยการนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ซึ่งวิธีการถ่ายเทนั้นต่างกันตรงตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ตามทฤษฎี Thermal Dynamics การแผ่รังสีความร้อนจะส่งผ่านจากที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในขณะที่การนำและการพาความร้อนต้องอาศัยการส่งผ่านโดยอาศัยตัวกลางเท่านั้น การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี แตกต่างจากการนำและการพา คือ การแผ่รังสีไม่ได้ขึ้นอยู่กับสสารตัวกลาง การแผ่รังสีสามารถส่งผ่านสูญญากาศได้ เพียงแต่ต้องการด้านสองด้านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและหันเข้าหากัน พลังงานรังสีจะเดินทางในลักษณะเส้นตรงผ่านที่ว่างซึ่งเป็นอากาศหรือสูญญากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) หรือโพรตอน(Photons) จนกระทั่งถูกดูดซึมโดยด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ารังสี (Radiation) คือกลุ่มของความถี่ (Band) หนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แหล่งของรังสีที่เกี่ยวข้องคือ

1. รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar spectrum)
2. รังสีความร้อนระหว่างมนุษย์และพื้นผิวอาคาร (Far - Infrared spectrum)

2.2 อิทธิพลจากการแผ่รังสีของพื้นผิว (Surface Radiation)

รังสีความร้อนเป็นรังสีในรูปคลื่นยาวและมีพลังงานต่ำ รังสีเมื่อกระทบวัสดุใด ๆ จะสะท้อนส่งผ่านและดูดซึมไว้ในวัสดุนั้น ๆ วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสี ส่งผ่านรังสี และดูดซึมรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี การคายรังสีจะมีค่าสูงที่ทิศทางตั้งฉาก
2. ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีเชิงสเปกตรัมทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลง เมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
3. อุณหภูมิของพื้นผิว การคายรังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการคายรังสีของอโลหะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
4. ความขรุขระของพื้นผิว เนื่องจากผลของความขรุขระที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเสมือนโพรง จึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งเป็นผลทำให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้น นั่นคือการคายรังสี มีค่าสูงขึ้น
5. การเจือปนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยทำให้การแผ่รังสี มีค่าสูงขึ้น

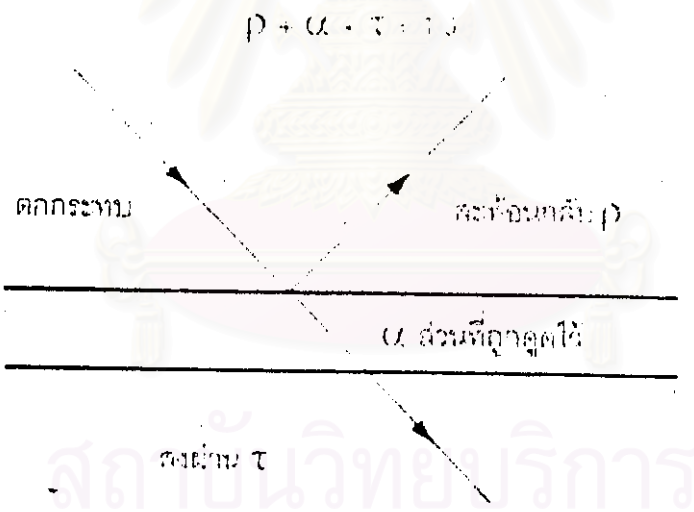
ลักษณะของพื้นผิวจะมีอิทธิพลสูงต่อการแผ่รังสีและการดูดซึมรังสี วัสดุต่าง ๆ จะมีค่าการดูดซึมรังสี (Absorptivity) และค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันออกไปตามลักษณะผิวของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการดูดซึมรังสีสูงก็จะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแผ่รังสี (Emittance) ค่าการแผ่รังสีจะบ่งบอกถึงความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุที่คายรังสีและของวัสดุที่ดูดซึมรังสี แนวความคิดที่จะอธิบายความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของวัสดุ คือ ค่าการคายรังสี (Emissivity) ค่าการดูดซึมรังสี (Absorptivity) ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) และค่าการส่งผ่านรังสีแสดงออกมาได้ดังนี้

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

ρ = การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว

α = การดูดซึมรังสีโดยพื้นผิว

τ = การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ



ภาพที่ 1 แสดงการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี การส่งผ่านรังสี การคายรังสี ในวัตถุทึบตัน

ค่าสะท้อนรังสี ค่าการดูดซึมรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี เป็นคุณสมบัติของวัสดุในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง ๆ สำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่ง ๆ ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี และการส่งผ่านรังสี จะเท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ ของพลังงานที่ตกกระทบลงมาสำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของค่าการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี และการส่งผ่านรังสี จะเท่ากับพลังงานรังสีเมื่อถูกดูดซึมโดยวัสดุจะเปลี่ยนเป็นรูปความร้อน ความร้อนนี้จะถูกนำไป หรือแผ่รังสีออกมาในรูปคลื่นยาวจากวัสดุนั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. **ค่าการสะท้อนรังสี** (Reflectivity) วัสดุผิวมันและมีสีอ่อนจะสะท้อนรังสีความร้อน และแสงได้ดี สำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง จะมีค่าการดูดซึมรังสีต่ำ
2. **ค่าการส่งผ่านรังสี** (Transmissivity) จะเป็นคุณสมบัติของวัสดุโปร่งใส (Transparent) และโปร่งแสง (Translucent) ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุประเภทนี้ จึงต้องควรระวังถึงความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร
3. **ค่าการดูดซึมรังสี** (Absorptivity) เป็นตัวแสดงความสามารถในการดูดกลืน พลังงานของผิววัสดุ วัสดุที่มีสีเข้ม จะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่า วัสดุที่มีสีอ่อนกว่า

ค่าการคายรังสี (Emissivity) เป็นตัวแสดงความสามารถของวัสดุในการปล่อยรังสีคลื่นยาวของผิววัสดุโลหะผิวมันเงามัน จะมีค่าการคายรังสีต่ำกว่าวัสดุผิวหยาบ วัสดุส่วนใหญ่มีค่าการคายรังสีสูงจะแผ่ความร้อนออกมาได้น้อยกว่าผิววัสดุสีขาว และมีความสามารถในการสะท้อนสูง แต่ในกรณีที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นหลังคาที่ต้องรับความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นเวลานาน ๆ ก็ทำให้มีผลใกล้เคียงกับหลังคาสีขาวชนิดอื่น เนื่องจากภายในเนื้ออลูมิเนียมสามารถเก็บความร้อนไว้ได้มากกว่าวัสดุสีขาวหลายเท่า ดังนั้น การใช้แผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ เป็นตัวสกัดกั้นความร้อนนั้นจะได้ผลดี เพราะมีมวลน้อยจึงทำหน้าที่ในการสะท้อนความร้อนออกไปได้ดี

การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัตถุกับสภาพแวดล้อม (Long Wave Radiation Heat Exchange) เกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผนังอาคารกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัตถุ (Time Leg) โดยปกติ วัตถุที่มีมวลสารมาก จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัตถุที่มีมวลสารน้อย

การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ

เมื่อพื้นผิวของวัสดุอยู่ระหว่างช่องอากาศ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดย Convection และ Radiation โดยมีผลกระทบจาก Orientation ของช่องอากาศ ทิศทางการถ่ายเทความร้อน (Direction of Heat Flow) ระยะห่างของอากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวและคุณสมบัติของพื้นผิว เมื่อพื้นผิวของวัสดุทึบตันสัมผัสอากาศ และ มีการเคลื่อนไหวของอากาศตามผิววัสดุ (Air Flim) มีน้อย ความเป็นฉนวนของชั้นอากาศที่นิ่งตามพื้นผิวทางแนวดิ่งมีค่า R เท่ากับค่า R ของไม้อัด หนาครึ่งนิ้ว แต่เมื่อชั้นอากาศนี้ถูกทำลาย ค่า R จะลดลงอย่างรวดเร็วที่ความเร็วลม 15 ไมล์ ต่อชั่วโมง (6.7 เมตรต่อวินาที) เหลือเพียง 1/4 ของค่า R ของชั้นอากาศที่นิ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านวัสดุ (Conductance - c หรือ hi) และค่าความต้านทาน R ของอากาศเป็นการแสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทรังสีความร้อนของอากาศ

2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร (Heat Flow Thought The Building Envelope)

ก. การคำนวนปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารทางหลังคา

อัตราความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคาร สามารถแสดงถึงอัตรารวมของความร้อนที่เคลื่อนผ่านส่วนประกอบทั้งหมดของผิวอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ฯลฯ ค่านี้จะถูกกำหนดด้วยค่า U - Value คือค่า Thremal Transmittance มีหน่วยเป็น BTU / Hr. ft^2 $^\circ F$ ค่า U - Value ของผิวอาคารแต่ละชนิด สามารถคำนวนหาค่า (U) จากการหาค่า Resistances (R) จากส่วนกลับของค่า (R)

โดยที่ $U = 1 / \Sigma R$

ค่า U - Value ที่ได้สามารถนำมาคำนวนค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารได้ โดยทั่วไปมี 2 สมการ คือ

1. $Q = U * A * \Delta T$ ---------- (1)
2. $Q = U * A * CLTD$ ---------- (2)

โดยที่

$U = 1 / \Sigma R$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (BTU / Hr. ft^2 $^\circ F$)

A = พื้นที่ของผนังที่ถ่ายเทความร้อน (SF.)

ΔT = ความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกและภายใน ($^\circ F$)

CLTD = ภาระความแตกต่างความร้อนเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Differance ($^\circ F$)

สมการที่ 1 ใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลของแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในมีค่าคงที่ (Steady State Condition)

สมการที่ 2 ใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลของแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้ CLTD เกิดขึ้นเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกกับภายในไม่คงที่ ในความเป็นจริงค่า CLTD ต่างจาก ΔT เพราะมีการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ เพื่อรวมเอาอิทธิพลจากหลายองค์ประกอบเข้าไว้ด้วยกัน เช่น วัน เวลา เดือน และเขตละติจูดที่เกิด Peak Load มวลสารและสีของหลังคา การหน่วงของเวลา ผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม ในการคำนวนค่าภาระในการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องปรับอากาศ (Peak Load) จึงใช้ค่า CLTD แทนค่า ΔT

แสงแดดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติ ที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เมื่อวัสดุเปลือกอาคาร ถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นเป็นรังสีคลื่นยาว ก็จะมีพลังงานความร้อนขึ้นที่ผิวหลังคา พร้อมกับการดูดรังสีความร้อนของวัสดุ ทำให้ผิววัสดุเปลือกอาคารร้อนขึ้น และการที่ผิวร้อนขึ้นนี้เอง ทำให้การคำนวนค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารต้องเปลี่ยนไป และไม่สามารถใช้ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน หรือ ΔT ได้อีกต่อไป เพราะค่าของ ΔT จะต่ำกว่าความเป็นจริงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ จาก ASHRAE (1989) Sol - Air Temperature มีองค์ประกอบอยู่ 3 ประการคือ

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
2. รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิววัสดุที่ถูกดูดกลืนไว้
3. การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับสภาพแวดล้อม (The Long - Wave Radiant Heat Exchange with the Environment)

Sol - Air Temperature ในคำจำกัดความหมายถึง อุณหภูมิสมมุติของอากาศที่ติดกับผิววัสดุช่วงที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการเปลี่ยนแปลงรังสี ที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าจากสภาพแวดล้อมรอบตัว และจากการถ่ายเทความร้อนกับอากาศ ASHRAE (1989) Sol-air temperature is the outdoor air that, in the absence of all radiatio change, gives the same rate of hest entry into the surface as would the combination of incident solar radiation, radient energy exchange with the sky and other outdoor surrings, and convective exchange with the outdoor air.

Sol - Air Temperature สามารถแสดงได้ในสมการต่อไปนี้

$$\text{Sol - Air Temperature } (T_e) = T_{out} + I * (\alpha / h_o) - \varepsilon * (\Delta R / h_o)$$

T_e = Sol - Air Temperature

T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}F$)

I = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solor Radiation Incident on the Surface) (BTU/HR.SF)

α = สัมประสิทธิ์การดูดความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

h_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิว ซึ่งรวมถึง Long Wave Radiation และ Convection (BTU/HR.SF)

ε = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of the Surface)

ΔT = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า(BTU/HR.SF)

2.4 การพิจารณา Solar Incedance Angle

Solar Incident Angle หรือมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับเส้นอ้างอิงที่ตั้งฉากของพื้นผิวที่ทำการพิจารณา ซึ่งต้องนำมาพิจารณาประกอบกับการคำนวนหาปริมาณพลังงานที่ตกกระทบ ณ.มุมเอียงของหลังคาที่ต่างกันจากการวิจัยครั้งนี้ โดยมีการพิจารณาดังนี้คือ

ก. หา Incident Angle จากมุมที่กระทำในแนวราบ (Horizontal) โดยพิจารณาจากตารางแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ มุมโพรไฟล์และมุมอะซิมุท สำหรับเส้นรุ้ง 14 องศาเหนือ (ดูตารางภาคผนวก ก) โดยกำหนด **Incident Angle** สำหรับพื้นผิวใด ๆ พิจารณาจากสูตรดังนี้ (ASHRAE,1997)

$$\cos\theta = (\cos\beta * \cos\gamma * \sin\Sigma) + (\sin\beta * \cos\Sigma) \quad \text{.....(3)}$$

โดยที่

$\cos\theta$ = ค่า **Incident Angle** ที่ตกกระทบณ.พื้นผิวใด ๆ

β = มุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude)

γ = มุมที่วัดจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกับแนวตั้ง ในที่นี้พิจารณาจาก $\gamma = \Phi$ (Solar Azimuth) - Ψ (Surface Azimuth) ดูค่าจากตารางที่ 1

Σ = มุมยกของพื้นผิว (Tilt Angle)

ตารางที่ 1 แสดง Solar Orientation and Azimuths Measured from South.

ที่มา : (ASHRAE,1997)

Orientation	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Surface Azimuth(Ψ)	180	-135°	-90°	-45°	0	45°	90°	135°

หมายเหตุ
- ค่าที่พิจารณาจากตารางภาคผนวก ก. เลือกใช้ค่า (Solar Altitude) และ (Solar Azimuth) ของเดือน มีค. โดยเลือกใช้วันที่ 21 มีค. แทนวันที่ 8 มีค. ที่ทำการทดลอง
- ค่า $\cos\theta$ ที่ได้จากสูตรไม่มีหน่วย แต่สามารถนำมาคำนวนค่า **Solar Incident Angle** ได้จากสูตรในข้อต่อไป
- ค่า $\cos\theta$ ที่ได้จากสูตรพิจารณา 1 ทิศ เท่านั้น

2.5 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

อิทธิพลของมวลสารมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร คือ มวลสาร (Thermal Mass) มีความสามารถในการกักเก็บความร้อน และการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้มากหรือน้อยต่างกัน กล่าวคือ วัสดุที่มีน้ำหนักเบา และมีมวลสารน้อย จะมีความสามารถในการเก็บกักปริมาณความร้อนได้น้อย แต่มีคุณสมบัติในการกีดกันการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในอัตราที่ช้า ในทางกลับกันวัสดุที่มีมวลสารมาก จะมีความสามารถในการเก็บกักปริมาณความร้อนได้มาก เมื่อปริมาณความร้อนที่เก็บกักมีมากขึ้นก็จะส่งผ่านตัวไปเรื่อย ๆ ด้วยเหตุนี้ความร้อนที่สะสมไว้จึงค่อย ๆ เคลื่อนตัวผ่านเข้าสู่อาคารในเวลาถัดไป อิทธิพลนี้เรียกว่า *การหน่วงเหนี่ยวเวลา* หรือ Time Lag Effect ถ้าหากในช่วงเวลาที่ผนังนั้นก็กักความร้อนอยู่ อุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงกว่าอุณหภูมิของผนังแล้ว ในช่วงเวลานั้นก็เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่อากาศภายนอกด้วย

ในกรณีนี้จะเห็นว่า ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังนั้น ส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคาร และอีกส่วนหนึ่งเคลื่อนตัวจากผนังสู่ภายนอก ซึ่งถ้าหากผนังมีมวลสารมาก และมี Time lag มาก โอกาสที่ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังจะสูญเสียให้กับอากาศภายนอกก็มีมาก ดังมีรายละเอียดของการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุมวลสารที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนดังนี้

2.4.1 **ค่าการนำความร้อน** (Thermal Conductivity - K) หมายถึง การคำนวนปริมาณความร้อนที่ผ่านวัสดุทึบตัน ในอัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ถ่ายเทผ่านวัสดุหนา 1 นิ้ว ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 °F (ภายใต้สภาพการถ่ายเทความร้อนที่คงที่) หน่วยเป็น Btu/h ft °F

2.4.2 **อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม** (Thermal Conductance - C) หมายถึง การคำนวนค่าการอัตราการถ่ายเทความร้อน ในอัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต ถ่ายเทผ่านวัสดุตามความหนาที่กำหนดมา เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 °F หน่วยเป็น Btu/h ft^2 °F

2.4.3 **ค่าการต้านทานความร้อน** (Thermal Resistance / R - Value) หมายถึง ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุทึบตัน เพื่อแสดงประสิทธิ์ภาพความเป็นฉนวนของวัสดุนั้น ๆ ถ้าค่า R มากแสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดี สามารถต้านความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุได้มาก หน่วยเป็น h. ft^2 °F / Btu.

2.4.4 **ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน** (Coefficient of Heat Transmission / U -Value) หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ เพื่อแสดงประสิทธิ์ภาพความเป็นฉนวนของวัสดุนั้น ๆ ถ้าค่า U น้อยแสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดี ค่า U จะเป็นส่วนกลับของค่า R โดยที่ U = 1/R หน่วยเป็น BTU / Hr.ft^2 °F

2.4.5 **ความจุความร้อน** (Thermal Heat Capacity) วัสดุที่มีความจุความร้อนมาก จะมีความสามารถในการเก็บกักความร้อน Heat Capacity โดยคุณสมบัติขึ้นอยู่กับ ปริมาตร ความหนาแน่น ปริมาณความร้อน และความแตกต่างของอุณหภูมิ

2.6 แนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลังคา เป็นส่วนที่รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ความร้อนจากดวงอาทิตย์จะถูกดูดซึม (absorbtion) และส่งผ่าน (transmittance) พลังงานความร้อนลงมาสู่ด้านล่าง โดยการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาสำหรับอาคารทั่วไปในเขตร้อน หลังคาเป็นองค์ประกอบของสถาปัตยกรรมที่จะได้รับผลกระทบโดยตรง จากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ เพราะหลังคามีพื้นที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมมากที่สุด เมื่อเทียบกับกรอบอาคาร ด้านต่าง ๆ ดังนั้นสภาวะน่าสบายของอาคารชั้นเดียวหรือห้องใต้หลังคา จะได้รับอิทธิพลจากกรอบอาคารส่วนนี้มากที่เดียว ระบบหลังคาจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ ส่วนหลังคาภายนอก เป็นส่วนที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอกโดยตรง ส่วนช่องอากาศภายใน และส่วนฝ้าเพดาน

ประเภทของวัสดุมุงหลังคา (B Givoni, 1969) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือหลังคาประเภท Heavywieght solid และหลังคาประเภท Lightweight

1. หลังคาประเภท Heavywieght solid ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นลักษณะแบนเรียบ เช่น หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Flat Slab) มีความสามารถในการสะสมความร้อนสูง การส่งผ่านความร้อนที่ถูกดูดซึมไว้จากพื้นผิวภายนอกหลังคา มีผลจากการนำความร้อนผ่านมวลของหลังคา ช่องอากาศ (ถ้ามี) สู่ส่วนฝ้าเพดาน ดังนั้นปัจจัยหลักของการถ่ายเทความร้อนของหลังคา คือ สีภายนอก ความต้านทานความร้อน และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนและการเพิ่มฉนวนกันความร้อนแก่หลังคา

2. หลังคาประเภท Lightweight ทั่วไป เป็นแผ่นหลังคาภายนอกบนโครงหลังคา วัสดุที่ใช้เป็นแผ่นหลังคาก็แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน แผ่นแอสเบสตอท แผ่นแอสฟัลท์ และแผ่นโลหะต่าง ๆ ฯลฯ

ขบวนการและวิธีการต่าง ๆ จากการศึกษาของแลมเบิร์ท (Lamberts, 1988) ในการปรับปรุงหลังคาเพื่อให้มีการส่งผ่านความร้อนมายังพื้นที่ใช้สอยน้อยที่สุด ดังนี้

- การระบายอากาศให้กับช่องว่างใต้หลังคา (Attic Spac)
- ลักษณะพื้นผิว และสีของหลังคาด้านนอก
- การใช้วัสดุที่มีค่า Emissivity ต่ำ ในช่องใต้หลังคา หรือที่เรียกว่า ระบบป้องกันการถ่ายเทรังสีความร้อน (Radiation Barrier System) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด

ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่

- การเลือกใช้ชนิดของฉนวนกันความร้อนในโครงหลังคา
- ตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในโครงหลังคา
- รูปทรง ความลาดชัน พื้นที่ผิวของหลังคา
- วัสดุที่ใช้ทำฝ้าเพดาน

จากวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต เรื่องการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา (จญาดา บุญเกียรติ, 2537) พบว่าธรรมชาติของวัสดุมุงหลังคาแต่ละชนิดแตกต่างกันไป จากการทดลองโดยใช้กล่องทดลอง ขนาด 1.20*1.20*1.20 ม. ด้านบนเป็นหลังคาทำการทดสอบวัสดุมุงหลังคาแต่ละชนิด และทำการวัดอุณหภูมิ ณ.จุดต่าง ๆ ภายในกล่องทดลอง โดยมีผลที่ได้ดังนี้ หลังคาจากจะมีค่าความเป็นฉนวนสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่นำมาทดสอบจากการทดลอง โดยในช่วงกลางวันผิวหลังคาจากจะดูดซึมความร้อนไว้ไม่มาก ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองจึงค่อนข้างต่ำ ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ด้วยความเป็นฉนวนของจาก ผิวหลังคาจึงไม่ค่อยจะสูญเสียความร้อนให้กับท้องฟ้า ส่งผลให้อุณหภูมิผิวหลังคา และอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง ไม่แตกต่างจากในเวลากลางวันมากนัก หลังคาแผ่นโลหะ มีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำอย่างดี แผ่นเหล็กที่นำมาทดสอบ มีผิวด้านบนมันและเป็นสีขาว จึงทำให้แสงอาทิตย์สะท้อนกลับได้ค่อนข้างมาก และดูดซึมไว้น้อย ประกอบกับผิวด้านล่างมีฟอยล์ มีค่า Emissivity ต่ำ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลอง ไม่สูงไปตามอุณหภูมิผิวหลังคา

จากแนวความคิดในการออกแบบ "อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ" (สุนทร บุญญาธิการ,2539) ซึ่งมีความต้องการใช้งานพื้นที่ส่วนหลังคาเพื่อการศึกษาวิจัย และติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆนั้น ได้มีการกำหนดแนวความคิดในการเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน มีการผสมผสานอิทธิพลของทั้งมวลสารและฉนวน โดยการใช้ประโยชน์จากหลังคา slab คสล. และการใช้ฉนวนกันความร้อน ช่องว่างอากาศ และวัสดุป้องกันความชื้นและไอน้ำ ออกแบบผสมผสานกันอย่างถูกต้อง เพื่อลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารในช่วงเวลาทำงาน และลด Peak Load ที่เกิดขึ้นในตอนกลางวัน โดยความร้อนจะถูกหน่วงเหนี่ยวเวลาไปถึงประมาณ 6 ชั่วโมง ทำให้ไปเกิด Peak ในช่วงเวลาหลังเลิกงานแล้ว และ Peak Load ดังกล่าวยังมีปริมาณลดลงอีกมาก เนื่องจากอิทธิพลของมวลสารและฉนวน แนวความคิดในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานดังกล่าวนี้เรียกอีกนัยหนึ่งว่า "Decrement Factor" สรุปจากแนวความคิดเพื่อการประหยัดพลังงาน และการเลือกใช้วัสดุต่างๆอย่างเหมาะสม ของระบบหลังคาทั้งหมดนี้ ทำให้ระบบหลังคา Flat Roof ของอาคารอนุรักษ์พลังงานฯ มีค่าการกันความร้อนและความชื้นได้ดีเยี่ยม โดยมีราคารวมของระบบอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีค่าการกันความร้อนใกล้เคียงกัน

ผลการวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมไทย (สุนทร บุญญาธิการ ชนิต จินดาวณิค , 2536) ในการศึกษากรณีตัวอย่างอาคารศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นกลุ่มอาคารเรือนไทยภาคกลาง วัสดุและการก่อสร้างเป็นไปตามลักษณะและรูปแบบดั้งเดิม ตัวอาคารใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา คือไม้ โครงหลังคาเป็นไม้มุงด้วยกระเบื้องดินเผาภายในไม่มีฝ้าเพดาน ผลการทดลองที่ได้พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจาก การที่มีช่องเปิดโดยรอบทำการระบายอากาศนั้นดี และทั่วถึงประกอบกับมวลของอาคารคือ พื้น ผนัง หลังคานั้นเบา (Lightweight Mass) ทำให้การเก็บสะสมความร้อนในมวลอาคารและ Thermal Time Lag นั้นแทบจะไม่มี ในช่วงเวลาร้อนจัดอุณหภูมิภายในต่ำกว่าภายนอกเล็กน้อย (0.5 องศาเซลเซียส) และในการศึกษาถึงเรื่อง Mean Radient Temperature & Solar Radiation จากการวิจัยเรื่องเดียวกัน พบว่ารังสีดวงอาทิตย์และคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้สำหรับผนัง หลังคา และพื้น มีผลกระทบต่อ Mean Radient Temperature (MRT) และอุณหภูมิผิวต่าง ๆภายในอาคารเป็นอย่างมาก เมื่ออากาศสัมผัสกับผิววัสดุต่าง ๆ ทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิอากาศและไม่คงที่ตลอด 24 ชม. MRTนั้น มีทั้งค่าสูงและต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ทั้งนี้เนื่องจาก

อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (Directed Radiation) และรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากแหล่งอื่น (Diffused Radiation)

จากปรากฏการณ์นี้ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (Sol - Air Heat Gain) กล่าวคือ เมื่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในมีมาก ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาสู่อาคารก็จะมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนของผนังและหลังคา ในการศึกษากรณีตัวอย่าง อาคารศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวภายในผนังและเพดาน ในช่วงกลางวันจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ทำให้ MRT ภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคารมีค่าความต้านทานความร้อนที่ต่ำ จึงส่งผลให้การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวที่มีอุณหภูมิ สูงสู่ผู้ใช้อาคารทำให้ Thermal Comfort ภายในอาคารลดลง แต่ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวผนัง จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเพดานจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนของหลังคาสู่ท้องฟ้า (Night Sky Radiation)

2.7 ฉนวนกันความร้อน

2.7.1 เทคนิคการใช้วัสดุ "ฉนวน" ในอาคาร (สุนทร บุญญาธิการ,2537)

อิทธิพลจากแสงแดด, ความชื้น และความร้อนจากภายนอกอาคาร มีผลต่อการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีฝนตกชุกและอุณหภูมิสูงเกือบตลอดปี ทำให้ต้องมีการพิจารณาเลือกใช้วัสดุ ที่มีคุณสมบัติในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางหนึ่ง คือ การเลือกใช้วัสดุที่สามารถป้องกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร หรือมีค่า R-Value สูง "ฉนวน" คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน โดยมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) น้อย ทำให้อิทธิพลภายนอกที่เข้ามาภายในเกิดขึ้นค่อนข้างรุนแรง ซึ่งมีทางแก้โดยการเพิ่มความหนาของฉนวนให้มากขึ้น แต่จะทำให้มีราคาแพง ดังนั้นการออกแบบโดยการผสมผสานการใช้ฉนวนและมวลสาร จะเป็นผลดีในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารไม่เปลี่ยนแปลงรุนแรงเหมือนภายนอก และถ้าสามารถหน่วงเหนี่ยวเวลาได้อย่างเหมาะสม คือทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงมากที่สุด ก็จะยิ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากยิ่งขึ้น

2.7.2 ข้อควรพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุฉนวน (สุนทร บุญญาธิการ,2537) มีดังนี้

- ความสามารถในการกันความร้อน (Thermal Conductivity)
- ลักษณะทางกายภาพ (Physical Forms) เช่น เป็นม้วน, แผ่น, ฝอย ฯลฯ
- ความหนาแน่นและน้ำหนัก (Bulk Density)
- ช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน (Suitability for Service Temperature)
- การยืดหดตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal Expansions)
- ความปลอดภัยต่อสุขภาพ (Health Hazards)

- การทนต่อแรงอัด (Resistance to Compact
- ความแข็งแรงทนทาน (Mechanical Strength)
- อันตรายจากเพลิงไหม้ (Fire & Explosion Hazards)
- การทนต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to Vermin & Fungus
- ความจุความร้อน (Optimum Heat Capacity)
- การปลอดจากสารเคมีและกลิ่น (Freedom from Objectionable Odour)
- การเสื่อมสภาพ (Corrosion)
- ความทนทานต่อสารเคมี (Chemical Resistance)
- การกันน้ำและความชื้น (Resistance to Water Penetration)

ตารางที่ 1 แสดงเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฉนวน

ที่มา : (สุนทร บุญญาธิการ,2537)

ชนิดของฉนวน (Insulation)	ราคา (Price)	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (Temperature Range)	ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)	คุณสมบัติด้านเสียง (Acousic Performance)	การป้องกันไฟ (Fire Protection)	การดูดซับความชื้น (Moisture Absorbsion)	ความเป็นพิษ (Toxic)	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environment Effected)
Rockwool	+ +	+ + +	+	+ + +	+ + +	+	+	+
Glasswool	+ +	+	+	+ +	0	+	+	+
Polyurethene	-	-	+	0	- -	+	-	-
Polystyrene	0	-	0	0	- -	+	-	-
Polyethylene	-	-	0	0	- - -	+	-	-
Cellulosic Fiber	-	0	0	0	0	- -	+	0
Calcium Silicate	-	-	+	0	+ +	0	0	-

+++ ดีที่สุด ++ ดีมาก + ดี 0 ปานกลาง - พอใช้ - - ไม่ดี - - - แย่

2.7.3 คุณสมบัติของฉนวนประเภทโฟม

โฟม ฉนวนประเภทโฟมทั้งหลาย มีความจำเป็นต้องห่อหุ้ม หรือปกป้องจากการทำลายของรังสี UV จากดวงอาทิตย์ โฟมส่วนใหญ่มีข้อดี คือสามารถคงสภาพเดิมได้แม้จะโดนความเปียกชื้น (ทนน้ำ) แต่เนื่องจาก โฟมมีจุดหลอมเหลวต่ำ (โดยทั่วไปจะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส) ทำให้เมื่อโดนความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ โฟมก็จะเปลี่ยนรูป เช่น บิด-งอ, บุบสลาย หรือไหม้ไปในที่สุด แต่ในบ้านทั่วๆไป มักจะไม่มีอุณหภูมิสูงถึงระดับนั้น ยกเว้นกรณีที่มีการนำ

โฟมไปใช้บุหลังกระจกโดยตรง จะทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งโฟมไม่สามารถคงสภาพเดิมเอาไว้ได้ (สุนทร บุญญาธิการ,2537)

ฉนวนโพลิเอทธีรีน (Polyetherene Foam) มีลักษณะคล้ายฉนวนโพลีสไตรีน จะมีความหนาแน่นมากกว่า มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนได้ดี การใช้งานอาจใช้ติดกับวัสดุมุงหลังคาด้านใน เช่นหลังคาแผ่นโลหะ ฯลฯ (ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537)

ฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane Foam) หรือฉนวนโพลิไดโซโซยานูเรทโฟม คือ วัสดุฟลูออโรคาร์บอนที่ฟ่นให้เป็นโฟม โดยที่จะให้โครงสร้างแข็งขึ้นอยู่กับการบ่ม โดยมีการหล่อเป็นรูปแบบแผ่นแข็งล่วงหน้าหรือเป็นรูปแบบที่ฉีดฟ่นเป็นสเปร์ยในชิ้นงาน มีสภาพการนำความร้อนต่ำ อาจจะเพิ่มขึ้นตามอายุของโฟม การดูดซึมน้ำต่ำ เป็นตัวต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย และไม่มีพิษยกเว้นเมื่อถูกเผาไหม้จะให้ควันมาก และให้กาซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งเป็นอันตราย การใช้งานจะต้องหุ้มด้วยวัสดุที่หน่วงไฟไหม้ ใช้เป็นฉนวนหลังคา พื้น ผนัง ปกติจะใช้ร่วมกับพื้นผิวสะท้อนรังสีด้านนอกของฉนวนที่หุ้มอาคาร (ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537)

ฉนวนโพลิสไตรีนโฟม (Polystyrene Foam) ฉนวนโพลิสไตรีนโฟมหรือโฟมขาว ผลิตขึ้นมา 2 รูปแบบ คือแบบโฟมอัดรีด (Extruded) และโฟมแบบหล่อ (Molded) โฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดรีดจะมีความหนาแน่นบรรจุมากกว่า มีรูปร่างที่คงที่มากกว่าและสามารถทนแรงกดและแรงดึงได้มากกว่าโฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อแบบ เนื่องจากโพลิสไตรีนโฟม เป็นสารที่ลุกไหม้ได้ ควรมีเปลือกหุ้มต้านทานเปลวไฟสำหรับในการใช้งาน เช่น แผ่นยิปซั่ม และช่วยป้องกันจากการกระทบแสงอุลตร้าไวโอเล็ตโดยตรงด้วย เพราะจะทำให้เป็นสีเหลืองและคุณภาพลดลง มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนได้ดี การใช้งานอาจจะใช้หุ้มภายนอกอาคารทั้งหมด เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคารได้ (ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย