

บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อผิวของวัสดุที่ปิดตันหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคาร อยู่ในที่ที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในจะเกิดการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น สำหรับในประเทศไทยที่มีอุณหภูมิอากาศสูงเกือบตลอดปี การถ่ายเทความร้อนจึงเป็นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารสามารถผ่านกรอบอาคารได้ 3 วิธีคือ การนำความร้อน (Conduction), การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation)

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน แม้ว่าโมเลกุลจะอยู่ในสสารเดียวกันหรือสสารสองชนิดที่อยู่สัมผัสกัน

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนที่จะเกิดจากการเคลื่อนไหวของก๊าซหรือของเหลวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนให้เคลื่อนที่

การแผ่รังสี คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่โดยตรงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากผิวที่ร้อนกว่าผ่านตัวกลางโปร่งใสหรือสุญญากาศไปสู่ผิวที่เย็นกว่าโดยไม่ต้องอาศัยสสารตัวกลาง

สมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร

โดยทั่วไปสามารถคำนวณได้จากสูตร 2 สูตรดังนี้

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \text{ ----- (1)}$$

และ

$$Q = U \cdot A \cdot CLTD \text{ ----- (2)}$$

โดยที่

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (BTU / HR. SF. °F)

A = พื้นที่ของส่วนที่ถ่ายเทความร้อน (SF.)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอก (°F)

CLTD = ภาวะความแตกต่างความร้อนเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Difference (°F)

สมการที่ 1 จะใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลของแสงแดดมาเกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในมีค่าคงที่ (Steady State Condition) หรือในอีกกรณี

หนึ่งคือ เพื่อความสะดวกในกรณีที่ให้มีอัตราเสี่ยงต่ำในการคำนวณค่า Heat Load ของอาคาร
เมืองหนาว ซึ่งถือว่าอิทธิพลจาก มวลสาร, การหน่วงเวลาหรืออื่นๆ เป็นเสมือนค่า Safty
Factor ในการคำนวณ

สมการที่ 2 จะใช้ในกรณีที่มียุทธิพลของแสงแดด ค่า ΔT ถูกเปลี่ยนเป็นค่า CLTD
เพื่อปรับให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เพราะในสภาพความเป็นจริงความแตกต่างอากาศ
ระหว่างภายนอกกับภายในไม่เคยคงที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป
ตลอดเวลา การคำนวณ Peak Load ของอาคารจึงใช้สมการที่ 2 ใช้ค่า CLTD แทน ΔT ค่า
CLTD เป็นค่าที่ดัดแปลงมาจาก ΔT หากแต่ปรับให้เข้ากับอิทธิพลจากภายนอกหลายองค์
ประกอบ เช่น เวลา, วัน, เดือน และ เขตละติจูดที่เกิด Peak Load, มวลสารและสี, การ
หน่วงของเวลา ตลอดจนผลกระทบของแสงแดด, อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม

แสงแดดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลมากต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบ
อาคาร ผังหรือหลังคาเมื่อถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น การที่ผิวของผนังหรือหลังคาที่ร้อนขึ้นนี้เอง
ทำให้การคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารต้องเปลี่ยนไปและจะใช้ค่าความแตกต่าง
อุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายใน (ΔT) ไม่ได้อีกต่อไป ค่าของ ΔT จะต่ำกว่าความเป็น
จริงมากโดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ และเพื่อจะศึกษาอิทธิพลของแสงแดดและ
องค์ประกอบอื่นๆที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจึงมีผู้ประยุกต์อิทธิพลของตัวแปร
เหล่านั้นขึ้นโดยสร้างเป็นสมการ ASHRAE (1989) Sol - Air Temperature

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

โดยที่

T_e = Sol - Air Temperature

T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก

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

α = สัมประสิทธิ์การดูดความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

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

ΔR = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า
(BTU / HR. SF.)

ϵ = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนจากผิว (Hemispherical Emittance of the Surface)

Sol - Air Temperature คือ อุณหภูมิประมาณของอากาศที่ติดอยู่กับผิววัสดุตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสี ที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราที่เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม และจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก ASHRAE (1989) Sol - Air Temperature is the outdoor air that, in the absence of all radiation change, gives the same rate of heat entry into the surface as would the combination of incident solar radiation, radiant energy exchange with the sky and other outdoor surroundings, and convective heat exchange with the outdoor air.

การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ

เมื่อพื้นผิวของวัสดุอยู่ระหว่างช่องอากาศ การถ่ายเทความร้อนผ่านเข้าหรือออกส่วนประกอบนั้นจะได้รับผลกระทบจาก Orientation ของช่องอากาศ, ทิศทางการถ่ายเทความร้อน (Direction of Heat Flow), ระยะห่างของช่องอากาศ, ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวและคุณสมบัติของพื้นผิว อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านวัสดุ (Conductance - C) ของช่องอากาศ เป็นการแสดงถึงผลรวมของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี (Radiation), การพาความร้อน (Convection) และ การนำความร้อน (Conduction) โดยพิจารณาในสภาพที่ไม่มีอากาศรั่วไหล

Variation in Surface Heat Flux for Vertical Surfaces
at 26.7°C with Different Temperatures of Surrounding Surface
(21.1°C Ambient Still Air; 0.83 Emittance)

Surrounding Surface Temperature, °C	Surface Heat Flux, W/m ²				
	23.9	21.2	18.3	15.6	10
Convection	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8
Radiation	13.9	27.1	40.4	53.6	78.5
Total	34.7	47.9	61.2	74.4	99.3

ตารางที่ 1 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านช่องอากาศ

ที่มา Factors Affecting Heat Transfer Across Air Spaces ; ASHRAE , 1993

ส่วนของการแผ่รังสีในอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านวัสดุ (Conductance - C) ของช่องอากาศ ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่พื้นผิว 2 พื้นผิว และคุณสมบัติของพื้นผิว สำหรับพื้นผิวที่สามารถพิจารณาเป็นวัตถุเทา (Gray Bodies) คุณสมบัติของพื้นผิวบ่งบอกโดยค่าการคายรังสี (Emissivity) ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีไม่ได้มีผลกระทบจากความหนาของช่องอากาศ, Orientation ของช่องอากาศและทิศทางของการถ่ายเทความร้อน

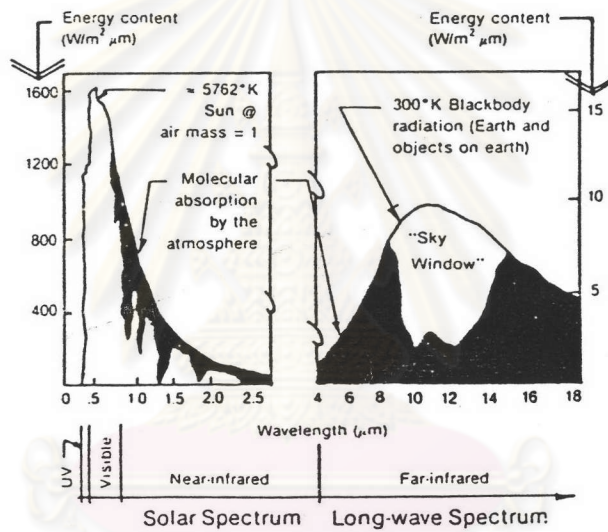
ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในส่วนของการพาความร้อนได้รับผลกระทบจาก Orientation ของช่องอากาศ, ทิศทางการถ่ายเทความร้อน (Direction of Heat Flow), ความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่พื้นผิว, ความหนาของช่องอากาศ และผลกระทบอีกอย่างหนึ่งคือ Mean Temperature ของช่องอากาศ ในส่วนประกอบของอาคารการแผ่รังสี, การพาความร้อน และการนำความร้อน มีพฤติกรรมที่เป็นอิสระต่อกัน

แนวความคิดของการถ่ายเทพลังงานรังสี

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีแตกต่างจากการนำและการพา ที่การแผ่รังสีไม่ต้องการตัวกลาง สามารถส่งผ่าน สูญญากาศได้เพียงต้องการด้านสองด้านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและหันหน้าเข้าหากัน พลังงานรังสีจะเดินทางในลักษณะเส้นตรงผ่านที่ว่างที่เป็นอากาศหรือสูญญากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) หรือ โฟตอน (Photons) จนกระทั่งถูกดูดซับโดยด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

เมื่อพิจารณากลไกการแผ่รังสีเป็นพฤติกรรมของของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นการแผ่รังสีของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน วัตถุนั้นจะแผ่รังสีที่ทุกๆความยาวคลื่น (จาก $\lambda = 0$ ถึง $\lambda = \infty$) พลังงานรังสีจะถูกปล่อยจากวัตถุในทุกๆความยาวคลื่น (หรือความถี่) แต่พลังงานความร้อนจะถูกปล่อยออกเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $\lambda \cong 0.1$ กับ $\lambda \cong 100 \mu\text{m}$ ในทางวิศวกรรมเรียกการแผ่รังสีในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $\lambda \cong 0.1$ ถึง $\lambda \cong 100 \mu\text{m}$ นี้ว่า "การแผ่รังสีความร้อน" (Thermal Radiation) สำหรับการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $\lambda \cong 0.1$ กับ $\lambda \cong 3 \mu\text{m}$ (J.P. Holman, Heat Transfer Fifth Edition, 1981) แหล่งของรังสีที่ผู้ออกแบบอาคารเข้ามาเกี่ยวข้องกับตัว คือรังสีจากดวงอาทิตย์และรังสีความร้อนระหว่างมนุษย์และพื้นผิวอาคาร (Far-Infrared Spectrum) ในรูปที่ 1 แสดงปริมาณพลังงาน (Energy Content) ในแต่ละความยาวคลื่นใน Spectrum ทั้งสองบนพื้นผิวโลกที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและหันหน้าเข้าหากันจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานโดยทาง Infrared Radiation ในช่วงของความยาวคลื่นประมาณ 4 ถึง 40 ไมครอน (หนึ่งไมครอนเท่า

กับเศษหนึ่งส่วนล้านของเมตร) แสงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าคือ ประมาณ 0.2 ถึง 2.6 ไมครอน ต่างกับ Solar Spectrum ที่สามารถมองเห็นได้ (มีความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 0.4 ถึง 0.7 ไมครอน) แต่รังสีอินฟราเรดนั้นไม่สามารถมองเห็นได้ รังสีอินฟราเรดแบ่งได้เป็น รังสี Near-Infrared และ รังสี Far-Infrared ผลกระทบของรังสีอินฟราเรดทั้งสอง คือ ความร้อน การป้องกันการถ่ายเทความร้อนความร้อนโดยระบบป้องกันรังสี คือ การลดรังสี Far-Infrared เข้ามาในอาคาร (ธนิศ จินดาวนิศ,ระบบป้องกันรังสีความร้อนในเปลือกอาคาร, วารสารอวกาศ,2535)



แผนภูมิที่ 1 Energy Content และความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของดวงอาทิตย์และรังสีคลื่นยาว (Far - Infrared Spectrum)

ที่มา Phillip Fairey "Radiant Energy Transfer Andradiant Barrier Systems" Design Note 6,(Florida Solar Energy Center,Cape Canaveral, June 1984)

คุณสมบัติการแผ่รังสีของพื้นผิว

รังสีความร้อนเป็นรังสีในรูปรังสีคลื่นยาวและมีพลังงานต่ำ รังสีเมื่อตกกระทบสสารใด จะสะท้อน ส่งผ่านและถูกดูดซับไว้ในสสารนั้น สสารแต่ละอย่างจะสะท้อนรังสี ส่งผ่านรังสีและดูดซับรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ทิศทาง(มุม) ของการแผ่รังสี การคายรังสีจะมีค่าสูงสุดที่ทิศทางตั้งฉาก
2. ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีเชิงสเปกตรัมทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
3. อุณหภูมิของพื้นผิว การคายรังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการคายรังสีของ อโลหะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
4. ความขรุขระของพื้นผิว เนื่องจากผลของความขรุขระ ที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว เหมือนโพรงจึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งจะเป็นผลทำให้การดูดซับรังสีมีค่าสูงขึ้น นั่นคือการคายรังสีมีค่าสูงขึ้น
5. สภาวะเจือปนบนพื้นผิว สภาวะเจือปนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยทำให้ค่าการคายรังสีมีค่ามากขึ้น

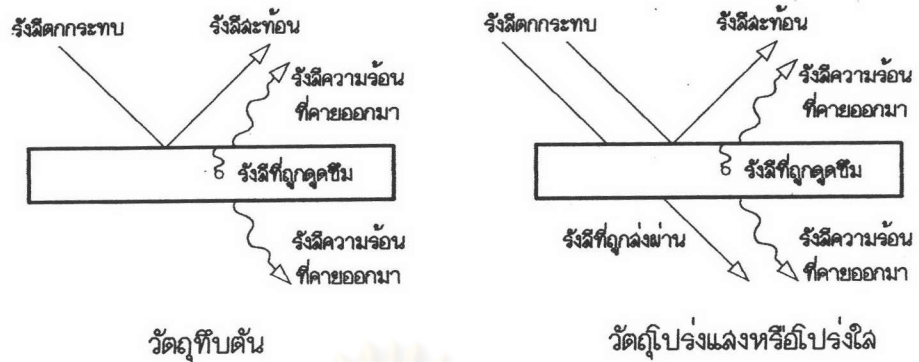
ลักษณะของพื้นผิวจะมีอิทธิพลสูงต่อการแผ่รังสีและการดูดซับรังสี วัสดุต่างๆจะมีค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) และ ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันออกไปตามลักษณะผิวของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีสูงก็จะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแผ่รังสี (Emittance) ค่าการแผ่รังสีจะบ่งบอกถึงความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุที่คายรังสีและสภาพพื้นผิวของวัสดุที่ดูดซับรังสี แนวความคิดที่จะอธิบายความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของวัสดุคือ ค่าการคายรังสี (Emissivity), ค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity), ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) และค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนรังสี ค่าการดูดซับรังสี และค่าการส่งผ่านรังสีแสดงออกมาได้ดังนี้

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

ρ = การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว

α = การดูดซับรังสีโดยพื้นผิว

τ = การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ



รูปที่ 1 การสะท้อนรังสี, การดูดซึมรังสี, การส่งผ่านรังสี, การคายรังสี ในวัสดุทึบตันและในวัสดุโปร่งแสงหรือโปร่งใส

ภาพประกอบโดย นาย อนันต์ วัชรพงษ์วินิจ

ค่าสะท้อนรังสี ค่าการดูดซึมรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี เป็นคุณสมบัติของวัสดุในช่วงอุณหภูมิและสำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่งๆ ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสีและการส่งผ่านรังสีจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ตกกระทบลงมา สำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ดังนั้นผลรวมของค่าการดูดซึมรังสีและค่าการสะท้อนรังสี จะเท่ากับ 1.0 รูปที่ 1 พลังงานรังสีเมื่อถูกดูดซึมโดยวัสดุจะเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ความร้อนนี้อาจจะถูกนำไปหรือแผ่รังสีออกมาในรูปรังสีคลื่นยาวจากวัสดุนั้น

ค่าการคายรังสี (Emissivity, ϵ) ของวัสดุเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงความสามารถของวัสดุในการปล่อยรังสีคลื่นยาว ค่าการคายรังสีคืออัตราส่วนระหว่างพลังงานการแผ่รังสีที่แท้จริงกับพลังงานการแผ่รังสีของวัตถุดำโดยพิจารณาพลังงานต่อ 1 หน่วยเวลาที่ความยาวคลื่น, ทิศทาง และอุณหภูมิผิวเดียวกัน ค่าการคายรังสีนั้นมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1

ค่าการดูดซึมรังสี (Absorptivity) คือ ตัวบ่งบอกความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของพื้นผิวแท้จริงขณะอาบรังสี (Incident Radiation) เนื่องจากการอาบรังสีของพื้นผิวแท้จริงขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดรังสี พฤติกรรมเชิงสเปกตรัมและระบุมิติศาสตร์ของการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดรังสีเป็นผลทำให้การพิจารณาการดูดซึมรังสีของพื้นผิวที่แท้จริงยุ่งยากขึ้น

ในทางปฏิบัติจะสามารถวัดค่าการคายรังสีได้ง่ายกว่าค่าการดูดซึมรังสีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการคายรังสีและการดูดซึมรังสีนับว่าเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ดังในตารางที่ 2 แสดงค่าการคายรังสีของวัสดุต่างๆ จะเห็นว่าลูมินัมฟอสฟอรัส

MATERIAL	WAVELENGTH AND AVERAGE TEMPERATURE				
	9.3 μ 100 F	5.4 μ 500 F	3.6 μ 1000 F	1.8 μ 2500 F	0.6 μ Solar
Metals					
Aluminum					
Polished.....	0.04	0.05	0.08	0.19	~0.3
Oxidized.....	0.11	0.12	0.18		
24-ST weathered.....	0.4	0.32	0.27		
Surface roofing.....	0.22				
Anodized (at 1000 F).....	0.94	0.42	0.60	0.34	
Brass					
Polished.....	0.10	0.10			
Oxidized.....	0.61				
Chromium					
Polished.....	0.08	0.17	0.26	0.40	0.49
Copper					
Polished.....	0.04	0.05	0.18	0.17	
Oxidized.....	0.87	0.83	0.77		
Iron					
Polished.....	0.06	0.08	0.13	0.25	0.45
Cast, oxidized.....	0.63	0.66	0.76		
Galvanized, new.....	0.23			0.42	0.66
Galvanized, dirty.....	0.28			0.90	0.89
Steel plate, rough.....	0.94	0.97	0.98		
Oxide.....	0.96		0.85		0.74
Molten.....				0.3-0.4	
Magnesium.....	0.07	0.13	0.18	0.24	0.30
Molybdenum filament.....			~0.09	~0.15	~0.2*
Silver					
Polished.....	0.01	0.02	0.03		0.11
Stainless steel					
18-8, polished.....	0.15	0.18	0.22		
18-8, weathered.....	0.85	0.85	0.85		
Steel tube					
Oxidized.....		0.80			
Tungsten filament.....	0.03			~0.18	0.35†
Zinc					
Polished.....	0.02	0.03	0.04	0.06	0.46
Galvanized sheet.....	~0.25				
Building and Insulating Materials					
Asbestos paper.....	0.93	0.93			
Asphalt.....	0.93		0.9		0.93
Brick					
Red.....	0.93				0.7
Fire clay.....	0.9		~0.7	~0.75	
Silica.....	0.9		~0.75	0.84	
Magnesite refractory.....	0.9			~0.4	
Enamel, white.....	0.9				
Marble, white.....	0.95		0.93		0.47
Paper, white.....	0.95		0.82	0.25	0.28
Plaster.....	0.91				
Roofing board.....	0.93				
Enameled steel, white.....				0.65	0.47
Asbestos cement, red.....				0.67	0.66
Paints					
Aluminized lacquer.....	0.65	0.65			
Cream paints.....	0.95	0.88	0.70	0.42	0.35
Lacquer, black.....	0.96	0.98			
Lampblack paint.....	0.96	0.97		0.97	0.97
Red paint.....	0.96				0.74
Yellow paint.....	0.95		0.5		0.30
Oil paints (all colors).....	~0.94	~0.9			
White (ZnO).....	0.95		0.91		0.18
Miscellaneous					
Ice.....	~0.97†				
Water.....	~0.96				
Carbon					
T-carbon, 0.9 per cent ash.....	0.82	0.80	0.79		
Filament.....	~0.72			0.53	
Wood.....	~0.93				
Glass.....	0.90				(Low)

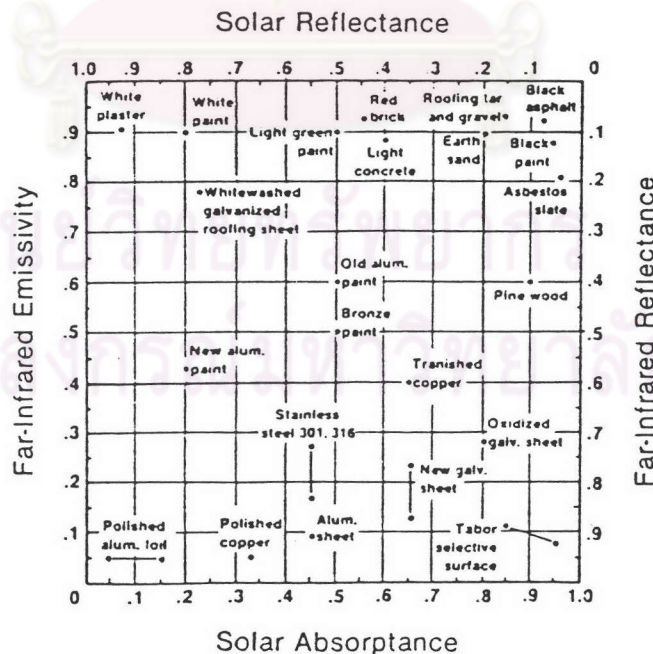
ตารางที่ 2 แสดงค่าการคายรังสีสำหรับวัสดุพื้นผิวต่างๆ

ที่มา

Heat Transfer by Radiation ; Principle of Heat Transfer Third Edition. 1976

(Aluminum Polished) เป็นวัสดุที่มีค่าการคายรังสีต่ำถึง 0.05 (ที่ Wavelength 9.3 μ , Average Temperature 500 F.) ในวัสดุทึบตัน (Opaque Materials) จะมีค่าการส่งผ่านรังสีเท่ากับศูนย์ ดังนั้นค่าการคายรังสีจะเท่ากับหนึ่งลบค่าสะท้อนรังสีของวัสดุนั้น อลูมิเนียมพอยล์มีค่าการคายรังสี 0.05 นั้นหมายความว่าค่าการสะท้อนรังสีประมาณ 0.95 ดังนั้นสามารถสกัดกั้นการแผ่รังสีได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ อลูมิเนียมพอยล์เป็นวัสดุที่นำความร้อนได้เป็นอย่างดี มีค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) ที่ต่ำมาก แต่ถ้าอลูมิเนียมพอยล์ถูกวางไว้ระหว่างวัสดุที่พยายามจะถ่ายเทพลังงานความร้อนด้วยการแผ่รังสี และถ้าอลูมิเนียมพอยล์ถูกแยกออกจากวัสดุเหล่านั้นโดยมีช่องอากาศอลูมิเนียมพอยล์ก็จะลดการส่งพลังงานรังสีข้ามช่องอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดจากคุณสมบัติความต้านทานความร้อนของช่องอากาศที่สัมผัสกับวัสดุที่มีค่าการคายรังสี (Emissivity) ต่ำ

คุณสมบัติการคายรังสี และการสะท้อนรังสี ของวัสดุใดๆต่อการสนองตอบต่อแสงอาทิตย์ (Sunlight) และ รังสี Far-infrared มีความแตกต่างกัน แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่มนุษย์มองเห็นได้ทำให้สามารถจำแนกลักษณะของวัสดุได้โดยสีและลักษณะพื้นผิวเช่น วัสดุสีขาวสามารถสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดีกว่าวัสดุที่ทาสีดำ แต่ในช่วงรังสี Far-infrared วัสดุสีขาวดูดซึมรังสี Far-infrared ได้มากกว่าวัสดุสีดำเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าเราไม่สามารถคาดเดาคุณสมบัติของวัสดุต่อ รังสี Far-infrared ด้วยตาเปล่าได้ ดังในแผนภูมิที่ 2 จะเปรียบเทียบของวัสดุทึบตันต่อแสงอาทิตย์ (Sunlight) และ รังสี Far-infrared ที่ใช้ในอาคาร



แผนภูมิที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุทึบตันต่างๆที่ใช้ในอาคารต่อแสงอาทิตย์และ Far - Infrared ที่มา J.P. Holman ; Radiation Heat Transfer, Heat Transfer Fifth Edition 1981

ระบบป้องกันรังสี

ระบบป้องกันรังสี (Radiant Barrier Systems) ประกอบไปด้วยช่องว่างของอากาศซึ่งด้านหนึ่งของช่องว่างอากาศมีฉนวนสะท้อนรังสีที่มีค่าการคายรังสี (Emissivity) ต่ำ ฉนวนสะท้อนรังสีทำหน้าที่เป็นตัวสกัดกั้นรังสีที่ส่งผ่านระหว่างพื้นผิวที่แผ่รังสีความร้อนออกมา เช่น หลังคา และผนังของอาคาร ตัวสกัดกั้นรังสี (Radiant Barrier) เป็นวัสดุที่ลดการส่งผ่านของรังสี Far-Infrared ที่ผ่านช่องอากาศ ตัวสกัดกั้นรังสีลดการส่งผ่านของรังสีโดยการสะท้อนรังสีที่ตกกระทบออกไปและในเวลาเดียวกันก็ไม่แผ่พลังงานรังสีออกมา วัสดุที่มีคุณสมบัตินี้จะต้องมีค่าการคายรังสีต่ำมาก ในวัสดุใดๆค่าการคายรังสี(Emissivity) รวมกับค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity) รวมกับค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) จะต้องเท่ากับหนึ่งหรือร้อยเปอร์เซ็นต์ ในวัสดุทึบตัน (Opaque Materials)จะมีค่าการส่งผ่านรังสีเท่ากับศูนย์ ดังนั้นค่าการคายรังสีจึงเท่ากับหนึ่งลบด้วยค่าการสะท้อนรังสีของวัสดุนั้น จากตารางที่ 1 และ 5 จะแสดงให้เห็นว่า อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum Foil) มีค่าการคายรังสีที่ต่ำถึง 0.05 แสดงว่าอลูมิเนียมฟอยล์เป็นวัสดุที่สกัดกั้นการแผ่รังสีได้ดีมาก โดยที่สามารถคายรังสีเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ และสามารถสะท้อนรังสีได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศในแต่ละความหนา โดยสามารถนำไปประมาณค่าหาค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) ของส่วนประกอบของวัสดุที่มีช่องอากาศ เพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ หรือเพื่อความสะดวกในการเข้าใจสามารถสังเกตจากแผนภูมิที่ 3 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานความร้อนกับระยะห่างของช่องอากาศในแต่ละทิศทาง การถ่ายเทความร้อน จะสังเกตเห็นว่าในแต่ละทิศทางการถ่ายเทความร้อนและระยะห่างของช่องอากาศที่ต่างกันจะมีค่าความต้านทานความร้อนที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) ของฉนวนที่เป็นองค์ประกอบของอาคารนั้นขึ้นอยู่กับมวลสารของวัตถุที่ร่วมกับผิวสะท้อนรังสีและช่องอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนอาจจะต่ำกว่าที่ประมาณไว้ได้ (Palfey 1980) ถ้าช่องอากาศมีการรั่วไหลหรือความหนาของช่องอากาศไม่สม่ำเสมอ

การที่จะได้คุณสมบัติการต้านทานความร้อนที่มีค่าสูง สามารถทำได้โดยใช้ฉนวนสะท้อนรังสี (Reflective Insulation) ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อความต้านทานความร้อนขององค์ประกอบของช่องอากาศและฉนวนสะท้อนรังสีดังที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนั้นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งคือ จำนวนชั้นของช่องอากาศและจำนวนชั้นของผิวสะท้อนรังสี ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มมากขึ้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจึงเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของแต่ละช่องอากาศ โดยที่แต่ละจำนวนของช่องอากาศ

และจำนวนชั้นของผิวสะท้อนรังสีจะต้องปิดกันไม่ให้อากาศรั่วไหล เพราะถ้ามีการเคลื่อนไหวของอากาศระหว่างชั้นจะเป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (ASHRAE, 1993) การเพิ่มจำนวนชั้นของช่องอากาศและจำนวนชั้นของผิวสะท้อนรังสีจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกันความร้อน ยกเว้นการถ่ายเทความร้อนในทิศทาง Horizontal Air Spaces with Heat Flow Down การเพิ่มผิวสะท้อนรังสีในผิวที่ 2 จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับพื้นผิวชั้นเดียว อย่างไรก็ตามควรมีการป้องกันการควบแน่น (Condensation) จำนวนสะท้อนรังสีควรติดตั้งในด้านที่อุ่นกว่าของช่องอากาศเพราะความชื้นจะไม่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำในด้านที่อุ่นกว่า ASHARE (1993) Factors Affecting Heat Transfer Across Air Spaces

การใช้จำนวนสะท้อนรังสี ค่าการคายรังสีสำหรับรังสีคลื่นยาว (Infrared) เป็นสิ่งสำคัญ และจะแตกต่างจากรังสีคลื่นสั้นที่สามารถมองเห็นได้ (Visible Spectrum) ดังนั้นการสังเกตวัสดุจากแสงที่มองเห็นได้ไม่ใช่วิธีในการคาดเดาค่าการสะท้อนรังสีสำหรับการแผ่รังสี ค่าการคายรังสีสำหรับผิวสะท้อนรังสีสังเกตได้จากตารางที่ 3

Reflectivity and Emittance Values of Various Surfaces and Effective Emittances of Air Spaces

Surface	Reflectivity in Percent	Average Emittance ϵ	Effective Emittance E of Air Space	
			One surface emittance ϵ ; the other 0.90	Both surfaces emittances ϵ
Aluminum foil, bright	92 to 97	0.05	0.05	0.03
Aluminum sheet	80 to 95	0.12	0.12	0.06
Aluminum coated paper, polished	75 to 84	0.20	0.20	0.11
Steel, galvanized, bright. . .	70 to 80	0.25	0.24	0.15
Aluminum paint	30 to 70	0.50	0.47	0.35
Building materials: wood, paper, masonry, nonmetallic paints	5 to 15	0.90	0.82	0.82
Regular glass	5 to 15	0.84	0.77	0.72

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติการสะท้อนรังสีและการคายรังสีของวัสดุที่ใช้ในอาคาร

ที่มา Heat Flow ; Mechanical and Electrical Equipment for Building 7th Edition, 1986

ปฏิกิริยาเคมี, ฝุ่นละอองที่สะสม และการควบแน่น (Condensation) ที่เกิดขึ้นที่ผิวสะท้อนรังสีสามารถลดค่าการสะท้อนรังสีและเพิ่มการคายรังสี (ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นรวมไปถึงการผุกร่อน การเป็นสนิม) ค่าการคายรังสีได้มาจากการทดสอบจาก ASTM Standard c445

Thermal Resistances of Plane^a Air Spaces

SECTION A

All resistance values expressed in $\text{ft}^2 \cdot \text{F} \cdot \text{h/Btu}$

Values apply only to air spaces of uniform thickness bounded by plane, smooth, parallel surfaces with no leakage of air to or from the space. These conditions are not normally present in standard building construction. When accurate values are required, use overall U -factors determined for your particular construction through calibrated hot box (BSS-77) or guarded hot box (ASTM-C-236) testing.

Thermal resistance values for multiple air spaces must be based on careful estimates of mean temperature differences for each air space.

Position of Air Space	Direction of Heat Flow	Air Space		0.5-in. Air Space ^d					0.75-in. Air Space ^d				
		Mean Temp, ^b (F)	Temp Diff, ^b (deg F)	Value of $E^{b,c}$				Value of $E^{b,c}$					
				0.03	0.05	0.2	0.5	0.82	0.03	0.05	0.2	0.5	0.82
Horiz.	Up ↑	90	10	2.13	2.03	1.51	0.99	0.73	2.34	2.22	1.61	1.04	0.75
		50	30	1.62	1.57	1.29	0.96	0.75	1.71	1.66	1.35	0.99	0.77
		50	10	2.13	2.05	1.60	1.11	0.84	2.30	2.21	1.70	1.16	0.87
		0	20	1.73	1.70	1.45	1.12	0.91	1.83	1.79	1.52	1.16	0.93
		0	10	2.10	2.04	1.70	1.27	1.00	2.23	2.16	1.78	1.31	1.02
		-50	20	1.69	1.66	1.49	1.23	1.04	1.77	1.74	1.55	1.27	1.07
		-50	10	2.04	2.00	1.75	1.40	1.16	2.16	2.11	1.84	1.46	1.20
45° Slope	Up ↗	90	10	2.44	2.31	1.65	1.06	0.76	2.96	2.78	1.88	1.15	0.81
		50	30	2.06	1.98	1.56	1.10	0.83	1.99	1.92	1.52	1.08	0.82
		50	10	2.55	2.44	1.83	1.22	0.90	2.90	2.75	2.00	1.29	0.94
		0	20	2.20	2.14	1.76	1.30	1.02	2.13	2.07	1.72	1.28	1.00
		0	10	2.63	2.54	2.03	1.44	1.10	2.72	2.62	2.08	1.47	1.12
		-50	20	2.08	2.04	1.78	1.42	1.17	2.05	2.01	1.76	1.41	1.16
		-50	10	2.62	2.56	2.17	1.66	1.33	2.53	2.47	2.10	1.62	1.30
Vertical	Horiz. →	90	10	2.47	2.34	1.67	1.06	0.77	3.50	3.24	2.08	1.22	0.84
		50	30	2.57	2.46	1.84	1.23	0.90	2.91	2.77	2.01	1.30	0.94
		50	10	2.66	2.54	1.88	1.24	0.91	3.70	3.46	2.35	1.43	1.01
		0	20	2.82	2.72	2.14	1.50	1.13	3.14	3.02	2.32	1.58	1.18
		0	10	2.93	2.82	2.20	1.53	1.15	3.77	3.59	2.64	1.73	1.26
		-50	20	2.90	2.82	2.35	1.76	1.39	2.90	2.83	2.36	1.77	1.39
		-50	10	3.20	3.10	2.54	1.87	1.46	3.72	3.60	2.87	2.04	1.56
45° Slope	Down ↘	90	10	2.48	2.34	1.67	1.06	0.77	3.53	3.27	2.10	1.22	0.84
		50	30	2.64	2.52	1.87	1.24	0.91	3.43	3.23	2.24	1.39	0.99
		50	10	2.67	2.55	1.89	1.25	0.92	3.81	3.57	2.40	1.45	1.02
		0	20	2.91	2.80	2.19	1.52	1.15	3.75	3.57	2.63	1.72	1.26
		0	10	2.94	2.83	2.21	1.53	1.15	4.12	3.91	2.81	1.80	1.30
		-50	20	3.16	3.07	2.52	1.86	1.45	3.78	3.65	2.90	2.05	1.57
		-50	10	3.26	3.16	2.58	1.89	1.47	4.35	4.18	3.22	2.21	1.66
Horiz.	Down ↓	90	10	2.48	2.34	1.67	1.06	0.77	3.55	3.29	2.10	1.22	0.85
		50	30	2.66	2.54	1.88	1.24	0.91	3.77	3.52	2.38	1.44	1.02
		50	10	2.67	2.55	1.89	1.25	0.92	3.84	3.59	2.41	1.45	1.02
		0	20	2.94	2.83	2.20	1.53	1.15	4.18	3.96	2.83	1.81	1.30
		0	10	2.96	2.85	2.22	1.53	1.16	4.25	4.02	2.87	1.82	1.31
		-50	20	3.25	3.15	2.58	1.89	1.47	4.60	4.41	3.36	2.28	1.69
		-50	10	3.28	3.18	2.60	1.90	1.47	4.71	4.51	3.42	2.30	1.71

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศ

ที่มา ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1981

Thermal Resistances of Plane^a Air Spaces (Continued)

Position of Air Space	Direction of Heat Flow	Air Space		1.5-in. Air Space ^d					3.5-in. Air Space ^d				
		Mean Temp., ^b (F)	Temp Diff., ^b (deg F)	Value of E ^{b,c}					Value of E ^{b,c}				
				0.03	0.05	0.2	0.5	0.82	0.03	0.05	0.2	0.5	0.82
Horiz	Up ↑	90	10	2.55	2.41	1.71	1.08	0.77	2.84	2.66	1.83	1.13	0.80
		50	30	1.87	1.81	1.45	1.04	0.80	2.09	2.01	1.58	1.10	0.84
		50	10	2.50	2.40	1.81	1.21	0.89	2.80	2.66	1.95	1.28	0.93
		0	20	2.01	1.95	1.63	1.23	0.97	2.25	2.18	1.79	1.32	1.03
		0	10	2.43	2.35	1.90	1.38	1.06	2.71	2.62	2.07	1.47	1.12
		-50	20	1.94	1.91	1.68	1.36	1.13	2.19	2.14	1.86	1.47	1.20
		-50	10	2.37	2.31	1.99	1.55	1.26	2.65	2.58	2.18	1.67	1.33
45° Slope	Up ↗	90	10	2.92	2.73	1.86	1.14	0.80	3.18	2.96	1.97	1.18	0.82
		50	30	2.14	2.06	1.61	1.12	0.84	2.26	2.17	1.67	1.15	0.86
		50	10	2.88	2.74	1.99	1.29	0.94	3.12	2.95	2.10	1.34	0.96
		0	20	2.30	2.23	1.82	1.34	1.04	2.42	2.35	1.90	1.38	1.06
		0	10	2.79	2.69	2.12	1.49	1.13	2.98	2.87	2.23	1.54	1.16
		-50	20	2.22	2.17	1.88	1.49	1.21	2.34	2.29	1.97	1.54	1.25
		-50	10	2.71	2.64	2.23	1.69	1.35	2.87	2.79	2.33	1.75	1.39
Vertical	Horiz. →	90	10	3.99	3.66	2.25	1.27	0.87	3.69	3.40	2.15	1.24	0.85
		50	30	2.58	2.46	1.84	1.23	0.90	2.67	2.55	1.89	1.25	0.91
		50	10	3.79	3.55	2.39	1.45	1.02	3.63	3.40	2.32	1.42	1.01
		0	20	2.76	2.66	2.10	1.48	1.12	2.88	2.78	2.17	1.51	1.14
		0	10	3.51	3.35	2.51	1.67	1.23	3.49	3.33	2.50	1.67	1.23
		-50	20	2.64	2.58	2.18	1.66	1.33	2.82	2.75	2.30	1.73	1.37
		-50	10	3.31	3.21	2.62	1.91	1.48	3.40	3.30	2.67	1.94	1.50
45° Slope	Down ↘	90	10	5.07	4.55	2.56	1.36	0.91	4.81	4.33	2.49	1.34	0.90
		50	30	3.58	3.36	2.31	1.42	1.00	3.51	3.30	2.28	1.40	1.00
		50	10	5.10	4.66	2.85	1.60	1.09	4.74	4.36	2.73	1.57	1.08
		0	20	3.85	3.66	2.68	1.74	1.27	3.81	3.63	2.66	1.74	1.27
		0	10	4.92	4.62	3.16	1.94	1.37	4.59	4.32	3.02	1.88	1.34
		-50	20	3.62	3.50	2.80	2.01	1.54	3.77	3.64	2.90	2.05	1.57
		-50	10	4.67	4.47	3.40	2.29	1.70	4.50	4.32	3.31	2.25	1.68
Horiz.	Down ↓	90	10	6.09	5.35	2.79	1.43	0.94	10.07	8.19	3.41	1.57	1.00
		50	30	6.27	5.63	3.18	1.70	1.14	9.60	8.17	3.86	1.88	1.22
		50	10	6.61	5.90	3.27	1.73	1.15	11.15	9.27	4.09	1.93	1.24
		0	20	7.03	6.43	3.91	2.19	1.49	10.90	9.52	4.87	2.47	1.62
		0	10	7.31	6.66	4.00	2.22	1.51	11.97	10.32	5.08	2.52	1.64
		-50	20	7.73	7.20	4.77	2.85	1.99	11.64	10.49	6.02	3.25	2.18
		-50	10	8.09	7.52	4.91	2.89	2.01	12.98	11.56	6.36	3.34	2.22

^aThermal resistance values were determined from the relation $R = 1/C$, where $C = h_c + Eh_r$, h_c is the conduction-convection coefficient, Eh_r is the radiation coefficient $\cong 0.00686E [(t_m + 460)/100]^3$, and t_m is the mean temperature of the air space. Values for h_c were determined from research data (National Bureau of Standards), such as those presented in 1954 in Housing Research Paper No. 32 (HRP No. 32) by the Housing and Home Finance Agency (Government Printing Office, Washington, D.C.). For interpolation from Table 4.4 to air space thicknesses less than 0.5 in. (as in insulating window glass), assume:

$$h_c = 0.159(1 + 0.0016t_m)/l,$$

where l is the thickness in inches, and h_c is assumed to represent heat transfer by conduction alone through air.

^bInterpolation is permissible for other values of mean temperature, temperature differences, and effective emittance E . Interpolation and moderate extrapolation for air spaces greater than 3.5 in. are also permissible.

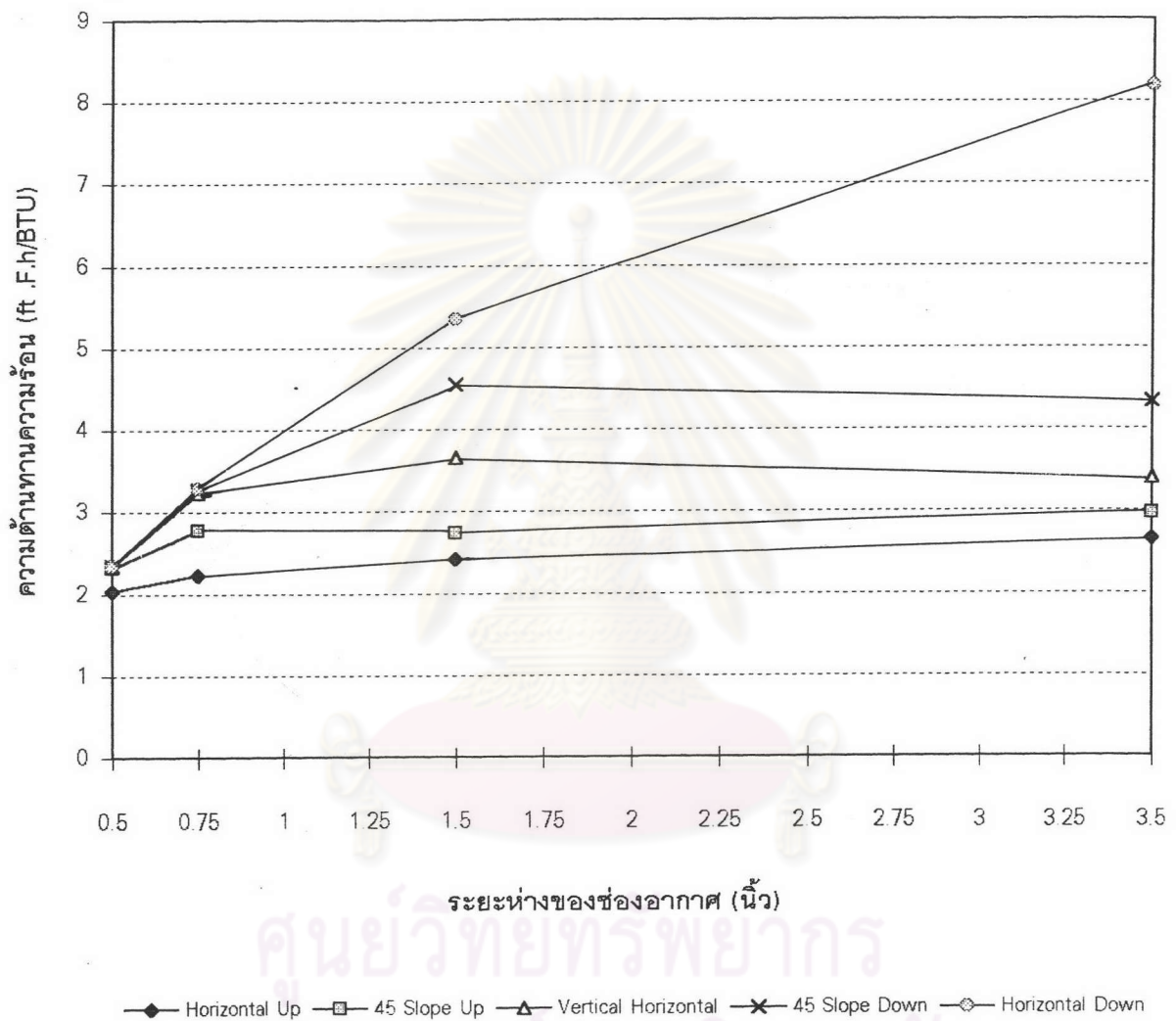
^cEffective emittance of the space E is given by $1/E = 1/e_1 + 1/e_2 - 1$, where e_1 and e_2 are the emittances of the surfaces of the air space.

^dCredit for an air space resistance value cannot be taken more than once and only for the boundary conditions established.

^eResistances of horizontal spaces with heat flow downward are substantially independent of temperature difference.

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศ

ที่มา ASHRAE. Handbook of Fundamentals, 1981



แผนภูมิที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานความร้อนกับระยะห่างของช่องอากาศในแต่ละทิศทางการถ่ายเทความร้อน โดยที่ Emissivity = 0.05, Mean Temperature = 90 °F, Temperature Difference = 10

ที่มา อาศัยข้อมูลจาก ASHRAE 1981

อลูมิเนียมพอยล์เป็นวัสดุที่นำความร้อนได้เป็นอย่างดีมีค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) ที่ต่ำมาก แต่ถ้าอลูมิเนียมพอยล์ถูกวางไว้ระหว่างวัสดุที่พยายามที่จะถ่ายเทความร้อนและมีช่องอากาศระหว่างผิวอลูมิเนียมพอยล์ จะทำให้ส่วนประกอบของวัสดุนั้นมีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่สูงมากอันเนื่องมาจากช่องอากาศภายในสัมผัสกับวัสดุสะท้อนรังสี เราสามารถนำหลักการการทำงานของระบบป้องกันรังสีไปใช้ในการป้องกันความร้อนของกรอบอาคาร (Building Envelope) ได้ จากการศึกษาของ FSEC (Florida Solar Energy Center) ได้ทำการศึกษา รายงานว่าระบบป้องกันรังสีความร้อนสามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในผ่านฝ้าเพดานได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาของ Norbert Lechner กล่าวไว้ว่าชั้นของช่องอากาศสะท้อนรังสี จะลดความร้อนได้ 95 เปอร์เซ็นต์ของรังสีความร้อนที่ผ่านเข้ามา ซึ่งเป็นตัวเลขที่อาจคลาดเคลื่อนได้เพราะไม่ได้กล่าวถึงปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องคือ ค่าการคายรังสี, ทิศทางการถ่ายเทความร้อน, ระยะห่างของช่องอากาศ, Mean Temperature, Temperature Difference จากผลการค้นคว้าที่กล่าวมาเป็นเหตุที่น่าสนใจว่าในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย โดยควบคุมตัวแปรในแต่ละปัจจัยจะเกิดผลต่อการลดความร้อนที่จะเข้ามาในอาคารอย่างไร



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย