บทที่ ๒

ทฤษฎีงานวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา

การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยผ่านกรอบอาคาร

เป็นไปโดย ๓ วิธีการ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน **การนำความร้อน** (Conduction) คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ภายในตัวกลางเดียวกัน หรือตัวกลางที่ติดกัน **การพาความร้อน** (Convection) คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้หรือพาความร้อนออกจากผิวของของแข็ง **การแผ่รังสีความร้อน** (Radiation) คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่โดยอาศัยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากผิวที่ร้อนกว่า ผ่านตัวกลางโปร่งใสหรือสูญญากาศ ไปสู่พื้นผิวที่เย็นกว่า

คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัตถุ ซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัตถุดังกล่าว ประกอบด้วย;

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity - k) ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ หรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร จะใช้ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัตถุ (U) ซึ่งจะเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance - R) และอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$U = \frac{1}{\sum R_i}$$

เมื่อ $\sum R_i$ = ผลบวก Thermal Resistance ของวัสดุแต่ละชนิดในระบบผนังนั้นๆ

ในกรณีที่ทราบค่า Conductance ของวัสดุ คือ r อาจคำนวณได้ดังนี้

$$r = \frac{X}{k}$$

r = Thermal Resistance (HR.SF.F/BTU)

- **ค่าการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุ** (Surface Air Film Conductance) การถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีนี้ ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิว และลักษณะของพื้นผิว

- **ค่าความจุความร้อน** (Heat Capacity) วัตถุที่มีค่าความจุความร้อนมาก จะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนไหลผ่านในอัตราที่ช้า

- **คุณสมบัติของผิวซึ่งตอบสนองต่อการแผ่รังสีความร้อน** (Surface Characteristics with Respect to Radiation) ซึ่งประกอบด้วย ;

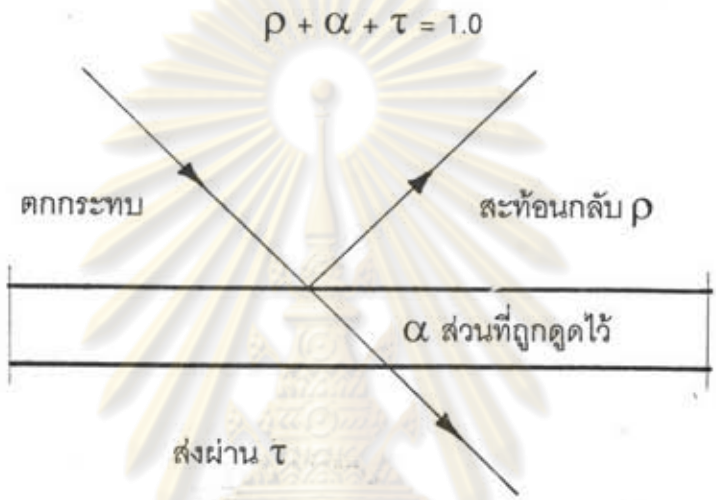
๑). **ความสามารถในการดูดกลืนความร้อน** (Absorbtivity - α) โดยปกติจะแปรตามความเข้มของสีผิว คือ สีเข้มจะดูดกลืนความร้อนสูง

๒). **ความสามารถในการสะท้อนกลับ** (Reflectivity - ρ) วัตถุผิวมันจะมีความสามารถในการสะท้อนความร้อนและแสงกลับได้ดี

๓). **ความสามารถในการกระจายพลังงานความร้อน** (Emmissivity -

ε) บ่งบอกความสามารถของวัตถุในการกระจายความร้อนออกไป โดยการแผ่รังสีความร้อน Surface Emmission ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติผิวของวัตถุ โดยที่โลหะเรียบและมัน จะมีค่า Emmission ต่ำ และมีค่าความสามารถในการกระจายความร้อนออกจากผิวได้น้อย

- **ค่าการส่งผ่านความร้อนของวัตถุ** (Transmissivity - τ) มีความสัมพันธ์กับค่า Absorbtivity และ Reflectivity ดังนี้



ภาพที่ ๒.๑ : การสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี การส่งผ่านรังสี และการคายรังสี ในวัตถุทึบตัน
ภาพประกอบโดย นส. จญาดา บุณยเกียรติ

- **การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัตถุกับสภาพแวดล้อม** (Long Wave Radiation Heat Exchange) เกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผนังอาคารกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

- **การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัตถุ** (Time Lag) โดยปกติ วัตถุที่มีมวลสารมาก จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัตถุที่มีมวลสารน้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Building Material	(1) DENSITY ρ	(2) SPECIFIC HEAT C_p	(3) VOLUMETRIC HEAT CAPACITY $\rho * C_p$	(4) THERMAL CONDUCTIVITY κ	(5) THERMAL PENETRATION PROPERTY $\rho * C_p * \kappa$	(6) $\frac{\rho * C_p * \kappa}{\rho_r * C_{pr} * \kappa_r}$	(7) $\sqrt{\frac{\rho * C_p * \kappa}{\rho_r * C_{pr} * \kappa_r}}$
<Building Board>							
(1) Asbestos-Cement Board	120.	.24	28.8	4.00	115.2	.112	.558
(2) Gypsum or Plaster Board	50.	.26	13.	1.11	14.43	.039	.198
(3) Plywood (Douglas Fir)	34.	.29	9.86	.8	7.888	.021	.146
(4) Vegetable Fiber Board	18	.31	5.58	.4	2.232	.006	.078
Hard Board							
(5) (Medium Density)	50	.31	15.5	.73	11.315	.031	.175
(6) (High Density)	55.	.32	17.6	.82	14.432	.039	.198
Particle Board							
(7) (Low Density)	37	.31	11.47	.54	6.194	.17	.129
(8) (Medium Density)	50	.31	15.5	.94	14.570	.089	.199
(9) (High Density)	62.5	.31	19.38	1.18	22.863	.062	.249
<Insulation Material>							
(10) Cellular Glass	8.5	.18	1.53	.35	.536	.001	.038
(11) Glass Fiber, Organic Bonded	4.9	.25	1.67	.25	.406	.001	.033
(12) Expanded Perlite, Organic Bonded	1.0	.3	.3	.36	.108	.0003	.017
(13) Expanded Polystyrene Extruded	1.8	.29	.52	.25	.131	.0004	.019
(14) Cellular Polyurethane	1.5	.38	.57	.16	.091	.0002	.016
(15) Mineral Fiberboard, Wet Felted Acoustic Tile	18.	.19	3.42	.35	1.197	.003	.057
(16) Mineral Fiberboard, Wet Molded Acoustic Tile	23.	.14	3.22	.42	1.352	.003	.060
<Masonry Material>							
(17) Gypsum-Fiber Concrete 87.5% Gypsum 12.5% Wood Chips	51.	.21	10.71	1.66	17.779	.038	.219
(18) Sand and Gravel or Stone Aggregate (Oven Dried)	140.	.22	30.8	9.0	277.2	.75	.866
(19) Sand and Gravel or Stone Aggregate (Not Dried)	140.	.22	30.8	12.0	369.6	1	1
<Masonry Units>							
(20) Brick, Common	120	.19	22.8	5.0	114.	.308	.555
<Plastering Materials>							
(21) Cement Plaster, Sand Aggregate	116	.2	23.2	5.0	116	.311	.560
Gypsum Plaster							
(22) (Sand Aggregate)	105.	.2	21.	5.6	117.6	.318	.564
(23) (Perlite Aggregate)	45.	.32	14.4	1.5	21.6	.058	.242
<Wood>							
(24) Maple, Oak and similar hardwood	45.	.30	13.5	1.10	14.850	.040	.200
<General>							
(25) Aluminum (Alloy 1100)	171.	.21	36.59	1536.	56208.	152.078	12.33
(26) Copper (Electrolytic)	556.	.09	51.15	2724.	139338.	377	19.416
Glass							
(27) Crown (Soda-lime)	154.	.18	27.72	7.08	196.258	.531	.229
(28) Flint (Lead)	267.	.12	31.24	9.48	296.146	.801	.895
(29) Gypsum	78.	.26	20.20	3.0	60.606	.164	.405
(30) Iron Cast	450.	.12	54.	331.2	17884.8	48.390	6.956
(31) Wrought	485.	.12	58.2	418.8	24374.16	65.947	8.121

ρ_r : Density of the Concrete

C_{pr} : Specific Heat of the Concrete

κ_r : Thermal Conductivity of the Concrete

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๒.๑ คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุก่อสร้าง

ที่มา : Kwang - Woo Kim, Doctoral Dissertation

University of Michigan, 1984

ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา

จากการศึกษาของแลมเบิร์ท (Lamberts, 1988) กล่าวถึงการศึกษาหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อที่จะปรับปรุงหลังคา เพื่อให้มีการส่งผ่านความร้อนมายังพื้นที่ใช้สอยน้อยที่สุด คือ

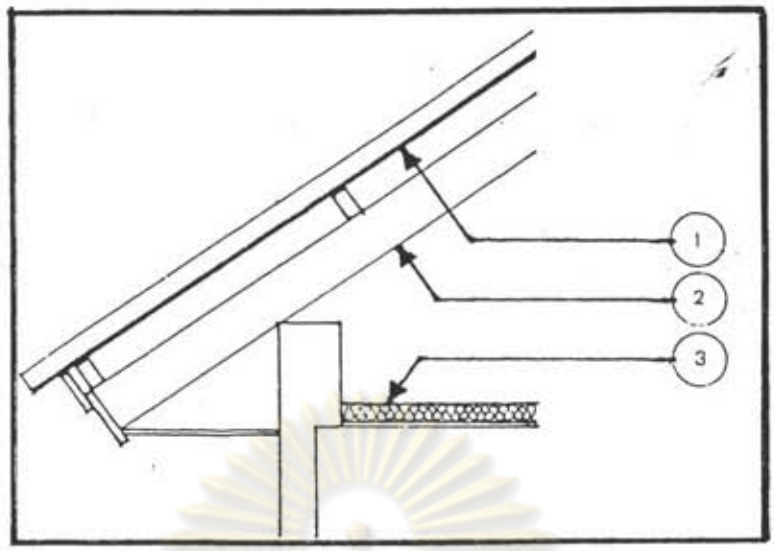
- การระบายอากาศให้กับช่องใต้หลังคา (Attic Space)
- ลักษณะพื้นผิว และสีของหลังคาด้านนอก
- การใช้วัสดุที่มีค่า Emmissivity ต่ำ ในช่องใต้หลังคา หรือที่เรียกว่า ระบบป้องกันการถ่ายเทรังสีความร้อน (Radiant Barrier System) ซึ่งแลมเบิร์ทสรุปว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก

- การเลือกใช้ชนิดของฉนวนกันความร้อนในโครงหลังคา
- ตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในโครงหลังคา
- รูปทรง ความลาดชัน พื้นที่ผิวของหลังคา
- วัสดุที่ใช้ทำฝ้าเพดาน

ในเรื่องของการใช้วัสดุสกัดกั้นรังสีความร้อน (Radiant Barrrier System - RBS) จากผลการศึกษาของธนิต จินดาวณิค กล่าวว่า ในระบบหลังคาที่มีช่องว่างอากาศ จะมีการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีมากที่สุด ช่วงเวลาที่อากาศเย็นและอุณหภูมิภายนอกอยู่ในสภาวะน่าสบาย แต่ยังมีรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์อยู่ รังสีนี้ก็ยังคงทำให้ช่องใต้หลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้น ในเรื่องการติดตั้ง สามารถติดตั้งวัสดุสกัดกั้นรังสีความร้อนในช่องใต้หลังคาได้ ๓ แห่ง คือ บนโครงหลังคาหรือใต้วัสดุมุง ใต้โครงหลังคา (ใต้จันทัน) ด้านบนของฝ้าเพดาน หรือบนฉนวนของฝ้าเพดาน (ธนิต จินดาวณิค,2535)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



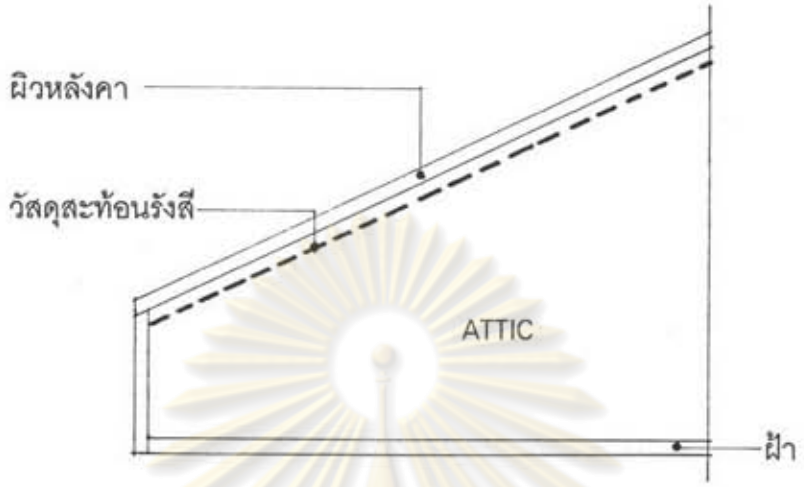
ภาพที่ ๒.๒ : แสดงตำแหน่งที่สามารถติดตั้งวัสดุกั้นรังสีความร้อน

ที่มา : ธนิต จินดาวณิค; ระบบป้องกันรังสีความร้อนในเปลือกอาคาร, วารสารอาษา ฉบับที่ ๒๓, ๒๕๓๕

การติดตั้งวัสดุสกัดกั้นรังสีความร้อน (ซึ่งที่ใช้กันโดยทั่วไป ก็คือ อลูมินั่มฟอล์ย) ควรติดตั้งโดยให้ด้านที่เป็นผิวมันหันเข้าสู่ช่องอากาศใต้หลังคา ถ้าไม่มีช่องอากาศ ฟอล์ยจะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี จากด้านที่ร้อนไปสู่ด้านที่เย็น ควรติดวัสดุสกัดกั้นรังสีความร้อนในแนว Slope ของหลังคา และควรคว่ำด้านที่เป็นผิวมันลง แม้ว่าวิธีการนี้อาจขัดกับความรู้สึกของเราต่อการทำงานของมัน แต่แท้จริงแล้ว การติดตั้งวิธีนี้ได้ผลและทำงานได้ดี โดยฟอล์ยซึ่งมีค่า Emmissivity ต่ำ จะแผ่รังสีความร้อนที่ได้รับจากหลังคาไปสู่ฝ้าเพดานน้อยมาก และฝุ่นก็จะไม่สะสมที่ผิวฟอล์ยมากนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาเกี่ยวกับการติดตั้งวัสดุสะท้อนรังสีความร้อนระหว่างหลังคาและฝ้า โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี พบว่า



ภาพที่ ๒.๓ : แสดงลักษณะการติดตั้งวัสดุสกัดกั้นรังสีความร้อนในช่องใต้หลังคา
ภาพประกอบโดย; น.ส. จญาดา บุณยเกียรติ

"...การติดตั้งในลักษณะนี้ (ดูภาพที่ ๒.๓) วัสดุสะท้อนรังสีควรมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีในช่วงคลื่นอินฟาเรด รังสีความร้อนที่ถูกสะท้อนจะกลับไปกระทบกับหลังคา ทำให้หลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้น และหลังคาจะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับมา การสะท้อนกลับไปกลับมาเช่นนี้ มีผลให้อุณหภูมิระหว่างหลังคาและแผ่นวัสดุสะท้อนรังสีมีอุณหภูมิสูง ถ้าไม่มีการระบายอากาศส่วนนี้ออก ก็จะมีผลในด้านการนำผ่านวัสดุสะท้อนและไหลเข้าสู่ตัวอาคาร ดังนั้น การติดตั้งวัสดุสกัดกั้นรังสีความร้อนในลักษณะนี้ควรมีระบบระบายอากาศร้อนออก เพื่อให้อุณหภูมิระหว่างหลังคาและวัสดุสะท้อนลดต่ำลง" (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, ๒๕๓๐)

จากการศึกษาเรื่องการใช้ฉนวนกันความร้อนต่าง ๆ ในผนังและหลังคา โดยสำนักงานพลังงานแห่งชาติ พบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อน (ฉนวนใยแก้ว) บนฝ้าเพดานในแนวราบให้ผลในการกันความร้อนดีกว่าฝ้าเพดานที่ไม่ใช้ฉนวนอยู่ ๐.๕-๒.๐ องศาเซลเซียส จากการทดลองในห้องทดสอบ ๒ ห้อง ขนาด ๕x๔.๑๒๕x๒.๔๐ เมตร ที่มีรูปร่างของห้องทดสอบทางสถาปัตยกรรมและตำแหน่งที่ตั้งเหมือนกันทุกประการ (ศูนย์ประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน; กองเศรษฐกิจการพลังงาน,การพลังงานแห่งชาติ, ๒๕๓๐)

สมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ อาคาร

โดยทั่วไปสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = U * A * \Delta T \quad \text{... (๑)}$$

เมื่อ

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (BTU/HR)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (BTU/HRSF.F)

A = พื้นที่ที่ความร้อยถ่ายเท (SF.)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอก (F)

ซึ่งสมการนี้จะใช้ได้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลของแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในมีค่าคงที่ (Steady State Condition)

หลังคาเมื่อได้รับแสงแดดก็จะร้อนขึ้น จากการที่ผิวหลังคาร้อนขึ้นนี้ ทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสมการที่ (๑) ในกรณีที่มีอิทธิพลของแสงแดด หากใช้ค่า ΔT ในการคำนวณ ค่าที่ได้จะต่ำกว่าความเป็นจริงและควรใช้สมการที่ (๓) แทน

"Sol - Air Temperature คือ อุณหภูมิประมาณการของอากาศที่ติดอยู่กับวัสดุ เมื่อไม่มีอิทธิพลจากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราที่เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าและสิ่งแวดล้อม และจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก" (ASHRAE, 1989) สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$T_e = T_o + (I * \alpha / h_o) - (\varepsilon \Delta R / h_o) \quad \text{....(2)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ

T_e = Sol - Air Temperature

T_o = อุณหภูมิอากาศภายนอก

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

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

ΔR = อัตราแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (BTU/HR.SF)

ε = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hermispherical Emmitance of the Surface)

จากความเข้าใจในเรื่องของ Sol - Air Temperature นี้เอง ทำให้สมการ $Q = U*A*\Delta T$ เปลี่ยนไป โดยแทนที่จะใช้ค่า ΔT เราจะใช้ค่า CLTD (Cooling Load Temperature Difference) ในการคำนวณดังนี้

$$Q = U*A*CLTD \qquad .....(๓)$$

CLTD เกิดขึ้นเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในไม่คงที่ในความเป็นจริง ค่า CLTD ต่างจาก ΔT เพราะมีการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ เพื่อให้รวมเอาอิทธิพลจากหลายองค์ประกอบเข้าไว้ด้วย เช่น เวลา วัน เดือน และเขตละติจูดที่เกิด Peak Load มวลสารและสีของหลังคา การหน่วงเวลาของหลังคา ผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องปรับอากาศ (Peak Load) จึงใช้ค่า CLTD แทน ΔT