บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการที่จะประเมินผลหลังคาให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้นั้น ก่อนที่จะทำการประเมินผลจึงควรที่จะศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาเสียก่อน เพื่อที่จะสามารถประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของหลังคาได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับปัญหาเหล่านั้น โดยแบ่งหัวข้อในการศึกษาได้ดังนี้

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนทางหลังคา

หลังคาเป็นส่วนที่ได้รับความร้อนจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ โดยการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโลกชั้นบรรยากาศ บางส่วนก็จะแพร่กระจายไปยังชั้นบรรยากาศและเหลือเพียงบางส่วนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก จะประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ (ASHRAE, 1989)

1. รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง สามารถทะลุผ่านกระจกใสได้
2. รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) เกิดจากรังสีคลื่นสั้นที่ตกลงมากระทบวัตถุและจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งจะไม่สามารถทะลุผ่านกระจกใสออกไปได้ จะสะท้อนได้ดีกับวัสดุผิวเรียบมันและเงา

เมื่อหลังคาหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารอยู่ในที่ที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น จากกฎข้อ 2 Thermodynamics กล่าวว่า "ความร้อนไม่สามารถผ่านจากที่เย็นไปสู่ที่ร้อนได้ โดยปราศจากแรงกระทำจากภายนอก" ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนสำหรับอาคารในประเทศไทย ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศสูงเกือบตลอดปี จึงเป็นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารสามารถผ่านเปลือกหุ้มอาคารได้ 3 วิธี คือ การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

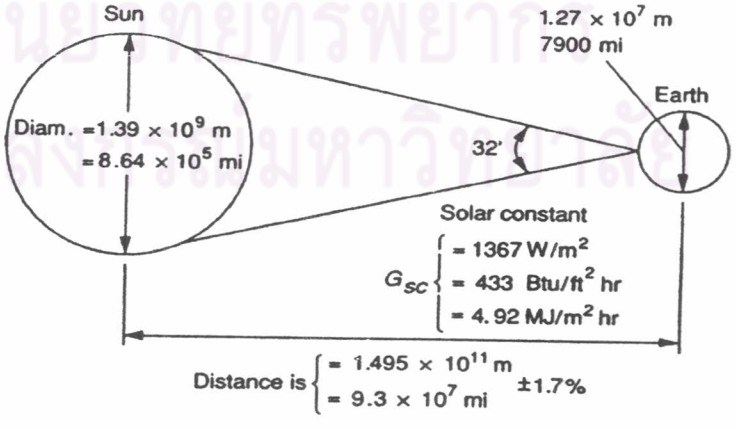
การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน แม้ว่าโมเลกุลจะอยู่ในสสารเดียวกันหรือสสารสองชนิดที่สัมผัสกันโดยตรง

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของก๊าซหรือของเหลวที่มีอุณหภูมิหรือความหนาแน่นแตกต่างกัน ของเหลวจะเป็นตัวพาความร้อนให้เคลื่อนที่

การแผ่รังสีความร้อน คือ การที่พลังงานความร้อนเคลื่อนที่โดยตรงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) จากผิวที่ร้อนกว่าผ่านตัวกลางโปร่งใส หรือสูญญากาศไปสู่ผิวที่เย็นกว่าโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง สสารทุกชนิดสามารถแผ่รังสีความร้อนออกมามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุและลักษณะของผิววัสดุ การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสีแตกต่างจากการนำและการพาคือ การแผ่รังสีไม่ได้ขึ้นอยู่กับสสารตัวกลาง การแผ่รังสีสามารถส่งผ่านสูญญากาศได้เพียงแต่ต้องการด้านสองด้านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและหันเข้าหากัน พลังงานรังสีจะเดินทางในลักษณะเส้นตรงผ่านที่ว่างซึ่งเป็นอากาศหรือสูญญากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) หรือโพรตอน (Protons) จนกระทั่งถูกดูดซึมโดยด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ารังสี (Radiation) คือ กลุ่มของความถี่ (Band) หนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ธนิต จินดาวณิต, 2540)

2.1.1 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์

เมื่อดูจากลักษณะทางกายภาพของอาคารต่างๆ โดยทั่วไปแล้วจะพบว่าหลังคาเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโลกชั้นบรรยากาศ บางส่วนก็จะแพร่กระจายไปยังชั้นบรรยากาศ และเหลือเพียงบางส่วนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์และโลกสามารถแสดงเป็นแผนผังคร่าวๆ ได้ดังรูปด้านล่างความคลาดเคลื่อนในการโคจรรอบโลกของดวงอาทิตย์จะส่งผลต่อระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่ผันแปรประมาณ 1.7%



ภาพที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ (Duffie, John A. and Beckman, William A., 1991: p. 5.)

โดยพลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับ บางส่วนจะถูกสะท้อน ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะเคลื่อนที่ออกไปโดยการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาภายในอาคารจะเกิดได้จาก (ธนิต จินดาวณิค, 2540)

รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Radiaion) การที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี จะทำให้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศ (Extraterrestrial solar radiation, I_o) มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยจะมีค่าสูงที่สุดประมาณ 448 Btu/h.ft^2 เมื่อโลกโคจรเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 419 Btu/h.ft^2 เมื่อโลกโคจรออกห่างดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 4 กรกฎาคม ดังนั้นจึงมีการศึกษาหาค่าเฉลี่ยที่มีค่าคงที่ของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ที่ตกลงบนพื้นผิวที่ตั้งฉากกับทิศทางการแผ่รังสี) ในระยะทางเฉลี่ยระหว่างดวงอาทิตย์ และโลก นอกชั้นบรรยากาศ เรียกว่า Solar constant, G_{sc} จะได้ค่าประมาณ 433 Btu/h.ft^2 (Duffie and Beckman, 1991: 6)

รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนของแสงกับเมฆ ฝุ่นละออง หรือไอน้ำในอากาศ การกระจายที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มสูงในบริเวณรอบดวงอาทิตย์ ปริมาณของรังสีจะมีค่า 10 – 90 % ของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร

รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนมาจากพื้นดิน หรืออาคารข้างเคียง จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่า Reflectivity ของผิว สี พื้นผิวของวัสดุที่อยู่รอบๆ อาคาร

แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เมื่อวัสดุเปลือกอาคารถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นกลายเป็นรังสีคลื่นยาวทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นที่ผิววัสดุพร้อมกับการดูดซับรังสีความร้อนของวัสดุ ทำให้ผิวเปลือกอาคารร้อนขึ้น และการที่ผิวร้อนขึ้นนี้เองทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายใน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการ (ASHRAE, 2001) คือ

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

2.1.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคา

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางหลังคาของอาคารนั้น จะมีการส่งผ่านความร้อนที่เหมาะสมไว้ในตัววัสดุหลังคา โดยการนำความร้อนผ่านมวลสารของวัสดุหลังคาและการพาความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับมวลสาร ความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ตลอดจนคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของวัสดุ เช่น ความสามารถในการดูดซึมรังสี, ความสามารถในการสะท้อนรังสี, ความสามารถในการคายรังสี เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การเลือกใช้วัสดุปกคลุมหลังคาของอาคารที่แตกต่างกัน ก็จะมีความสามารถในการสะสมความร้อนที่ตัววัสดุและการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของมวลสาร (Thermal Mass)และการกักเก็บความร้อน เพราะวัสดุที่มีมวลสารต่างกัน จะมีความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ที่แตกต่างกัน จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อภาระการปรับอากาศสูงสุด (Peak Cooling Load) ของอาคาร ทำให้สามารถช่วยในการเพิ่มหรือลดอัตราการใช้พลังงานของอาคารได้

- ในช่วงเวลากลางวัน

หลังคาจะเป็นส่วนที่ได้รับแสงแดดมากที่สุดเกือบตลอดทั้งวัน วัสดุมุงหลังคาจะดูดซึมรังสีความร้อนที่มากับแสงอาทิตย์ จึงทำให้อุณหภูมิของวัสดุมุงหลังคาสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก ความร้อนที่สะสมในวัสดุมุงหลังคาจะถูกถ่ายเทไปยังช่องว่างอากาศใต้หลังคา เมื่อช่องอากาศใต้หลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะถ่ายเทความร้อนไปสู่ฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และเมื่อฝ้าเพดานมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ก็จะเกิดการแผ่รังสีให้กับห้อง ส่งผลให้ภายในห้องมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย

- ในช่วงเวลากลางคืน

จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าขึ้น (Night sky radiation) ทำให้อุณหภูมิของวัสดุมุงหลังคาภายนอกอาคารเย็นลงกว่าอุณหภูมิของอากาศเนื่องจากอิทธิพลของ Sol- air temperature ในส่วนของช่องว่างใต้หลังคาที่มีอุณหภูมิสูงกว่าก็จะสูญเสียความร้อนให้กับผิววัสดุมุงหลังคาภายนอก ทำให้ช่องอากาศมีอุณหภูมิลดลง

เมื่อมีความร้อนสะสมในพื้นที่ใต้หลังคามากขึ้น จะส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในพื้นที่ใต้หลังคาสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่ออากาศร้อนขึ้นความหนาแน่นของอากาศจะน้อยลง อากาศที่ร้อนก็จะลอยตัวขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้หากมีพื้นที่สามารถทำให้อากาศร้อนที่ลอยตัวอยู่ทางด้านบนระบายออกไปก็จะช่วยลดการสะสมความร้อนในพื้นที่ใต้หลังคา (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2541)

2.2 คุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว

ลักษณะของพื้นผิวจะมีอิทธิพลสูงต่อการแผ่รังสีและการดูดซึมรังสี วัสดุต่างๆ จะมีค่าการดูดซึมรังสี (Absorptivity) และค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันออกไปตามลักษณะผิวของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการดูดซึมรังสีสูง ก็จะมีอัตราการสะท้อนรังสีต่ำ คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแผ่รังสี (Emissivity) ค่าการแผ่รังสีจะบอกถึงความร้อนที่มีการถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุ ค่าการคายรังสี ค่าการดูดซึมรังสี(Absorptivity) ค่าการสะท้อนรังสี(reflectivity) และค่าการส่งผ่านรังสี แสดงออกมาได้ดังนี้ (อ้างถึงจุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540)

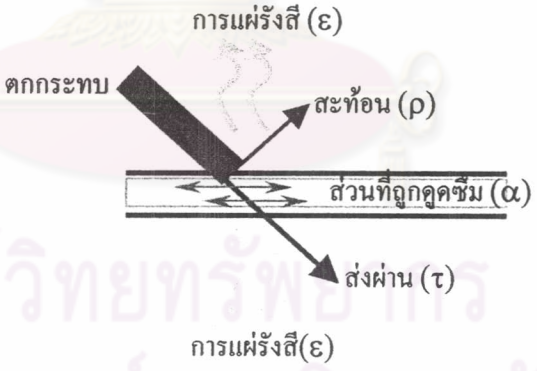
$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

กำหนดให้ ρ = การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว

α = การดูดซึมรังสีโดยพื้นผิว

τ = การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ

ที่มา : Watson, D. and Labs, K. Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices, 1983. p. 50.



ภาพที่ 2.2 แสดงการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี การส่งผ่านรังสี และการคายรังสีในวัตถุทึบตัน (รชฎ สุมานนท์, 2545)

ค่าการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี และการส่งผ่านรังสี เป็นคุณสมบัติของวัสดุในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ สำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่ง ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี และการส่งผ่านรังสีนั้น เท่ากับ 100% ของพลังงานที่ตกลงมากระทบ สำหรับกรณีวัสดุทึบตัน (Opaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของค่าการสะท้อนรังสี การดูดซึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รังสี และการส่งผ่านรังสีจะเท่ากับพลังงานรังสีเมื่อถูกดูดซึม โดยวัสดุจะเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ความร้อนนี้ จะถูกนำ หรือแผ่รังสีออกมาในรูปคลื่นยาวจากวัสดุนั้น (อ้างถึงจุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540)

- ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) วัสดุผิวมันและมีสีอ่อนจะสะท้อนรังสีความร้อนและแสงได้ดี สำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง จะมีค่าการดูดซึมรังสีต่ำ
- ค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity) จะเป็นคุณสมบัติของวัสดุโปร่งใส (transparent) และโปร่งแสง(translucent) ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุประเภทนี้ จึงควรระวังถึงความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร
- ค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) เป็นตัวแสดงความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของวัสดุ ซึ่งวัสดุที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าวัสดุสีอ่อน

รังสีความร้อนเป็นรังสีในรูปคลื่นยาว และมีพลังงานต่ำ เมื่อตกกระทบวัสดุใดๆ จะสะท้อน ส่งผ่าน และถูกดูดซึมไว้ในวัสดุนั้นๆ วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสี ส่งผ่านรังสี และดูดซึมรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้

- ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี การคายรังสีที่มีค่าสูงที่ทิศทางตั้งฉาก
- ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีเชิง Spectrum ทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลง เมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
- อุณหภูมิของพื้นผิว การแผ่รังสีของโลหะจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนการคายรังสีของอโลหะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
- ลักษณะพื้นผิว เนื่องจากผลของความขรุขระที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเสมือนโพรง จึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งเป็นผลให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้น นั่นคือการแผ่รังสีมีค่าสูงขึ้น
- การเจือปนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยทำให้การแผ่รังสีมีค่ามากขึ้น

ค่าการแผ่รังสี (Emissivity) เป็นตัวแสดงความสามารถในการปล่อยรังสีคลื่นยาวของผิววัสดุ สำหรับการตอบสนองต่อคลื่นยาวนั้น ค่าการดูดซับรังสี จะเท่ากับค่าการแผ่รังสีคือ $\alpha = \varepsilon$ แต่ค่าทั้งสองจะต่างกันสำหรับการตอบสนองต่อรังสีจากดวงอาทิตย์ ค่าการแผ่รังสีของวัตถุดำเท่ากับ 1 สำหรับพื้นผิวอื่นจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.05 สำหรับโลหะมันเงา ถึงประมาณ 0.95 สำหรับวัสดุอาคารทั่วไป (อ้างถึงจุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540)

Material	Reflectance (In percent)	Material	Reflectance (In percent)
Bluestone, sandstone	18	Asphalt (free from dirt)	7
Brick		Earth (moist cultivated)	7
light buff	48	Granolite pavement	17
dark buff	40	Grass (dark green)	6
dark red glazed	30	Gravel	13
Cement	27	Macadam	18
Concrete	55	Slate (dark clay)	8
Granite	40	Snow	
Marble (white)	45	new	74
Paint (white)		old	64
new	75	Vegetation (mean)	25
old	55		

Source: IES RP-23-1989; reprinted with permission.

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติในการดูดซึมและการคายรังสีจากดวงอาทิตย์ และ Far-Infrared ของวัสดุทึบตันต่างๆ ที่ใช้ในอาคาร (Mechanical and Electrical Equipment for Buildings,1992)

รังสีจะถูกดูดซับโดยมีการคัดเลือกตามความยาวคลื่นของรังสีบนพื้นผิว ดังนั้นวัสดุที่ทาสีขาวจะมีค่าการดูดซับรังสีประมาณ 0.12 สำหรับคลื่นสั้นของรังสีดวงอาทิตย์ แต่มีค่าการดูดซับรังสีคลื่นยาวจากพื้นผิวต่างๆ ที่อุณหภูมิปกติ ประมาณ 0.95 ดังนั้นพื้นผิวนี้จะมีค่าการแผ่รังสี 0.95 สำหรับรังสีคลื่นยาว ซึ่งเป็นตัวแผ่รังสีที่ดีโดยจะสูญเสียความร้อนให้กับพื้นผิวที่เย็นกว่า ขณะเดียวกันจะเป็นตัวสะท้อนรังสีที่ดีสำหรับรังสีดวงอาทิตย์ ในทางตรงกันข้าม โลหะมันเงาจะมีค่าการดูดซับ และค่าการแผ่รังสีต่ำทั้งคลื่นสั้น และคลื่นยาว ดังนั้นในขณะที่เป็นตัวสะท้อนรังสีที่ดี ก็จะเป็นตัวแผ่รังสีที่ไม่ดี และสูญเสียความร้อนของตัวมันเองได้น้อย

สีของพื้นผิวจะเป็นสิ่งที่แสดงถึงค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ โดยที่ค่าการดูดซับจะลดลงและค่าการสะท้อนจะเพิ่มขึ้นกับความอ่อนของสี แต่สีไม่ได้แสดงถึงพฤติกรรมของพื้นผิวที่เกี่ยวกับการแผ่รังสีคลื่นยาว ดังนั้นสีขาว และสีดำจะมีความแตกต่างกันอย่างมากในการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ โดยพื้นผิวสีดำจะร้อนมากกว่าหากได้รับรังสีดวงอาทิตย์ แต่การแผ่รังสีคลื่นยาวของสีทั้งสองจะเท่ากัน

พื้นผิว	สีดำ	สีขาว
Short-wave absorptance	0.94-0.98	0.20
Long-wave emittance	0.88	0.91

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติการดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์กับการแผ่รังสีคลื่นยาวจากผิววัสดุ (Anderson, 1977)

2.3 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

อิทธิพลของมวลสารมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร คือ มวลสาร (Thermal Mass) มีความสามารถในการกักเก็บความร้อน และการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้มากหรือน้อยต่างกัน กล่าวคือ วัสดุที่มีน้ำหนักเบา และมีมวลสารน้อย จะมีความสามารถในการกักเก็บปริมาณความร้อนได้น้อย แต่มีคุณสมบัติในการกีดกันการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในอัตราที่ช้า ในทางกลับกันวัสดุที่มีมวลสารมาก จะมีความสามารถในการกักเก็บปริมาณความร้อนได้มาก เมื่อปริมาณความร้อนที่กักเก็บมีมากขึ้นก็จะส่งผ่านตัวไปเรื่อยๆ ด้วยเหตุนี้ความร้อนที่สะสมไว้จึงค่อยๆ เคลื่อนตัวผ่านเข้าสู่อาคารในเวลาถัดไป อิทธิพลนี้เรียกว่า การหน่วงเหนี่ยวเวลา หรือ Time Lag Effect ถ้าหากในช่วงเวลาที่หลังคานั้นกักเก็บความร้อนอยู่ อุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงกว่าอุณหภูมิของหลังคาแล้ว ในช่วงเวลานั้นก็เกิดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่อากาศภายนอกด้วย

ในกรณีนี้จะเห็นว่าความร้อนที่สะสมอยู่ในหลังคานั้น ส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคารและอีกส่วนหนึ่งเคลื่อนตัวจากหลังคาสู่ภายนอก ซึ่งถ้าหากหลังคามีมวลสารและมี Time lag มาก โอกาสที่ความร้อนที่สะสมอยู่ในหลังคาจะสูญเสียให้กับอาคารภายนอกก็มีมาก ดังนั้นรายละเอียดของการศึกษาคุณสมบัติมวลสารของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสามารถสรุปได้ดังนี้

1. **ค่าการนำความร้อน** (Thermal Conductivity – K) หมายถึง การคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านวัสดุทึบตัน ในอัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ถ่ายเทผ่านวัสดุหนา 1 นิ้ว ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 ° F (ภายในสภาพการถ่ายเทความร้อนที่คงที่) มีหน่วยเป็น Btu/h ft° F

2. **อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม** (Thermal Conductance – C) หมายถึง การคำนวณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ในอัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต ถ่ายเทผ่านวัสดุตามความหนาที่กำหนดมา เมื่ออุณหภูมิลดลง 1° F หน่วยเป็น Btu/h ft^2 °F สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$C = K / dX$$

เมื่อ X คือ ความหนาของวัสดุ (ม.)

C คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม

3. **ค่าการต้านทานความร้อน** (Thermal Resistance / R – Value) หมายถึง ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุทึบตัน เพื่อแสดงประสิทธิภาพความเป็นฉนวนของวัสดุนั้นๆ ถ้าค่า R มากแสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดี สามารถต้านทานความร้อนที่ถ่ายเท

ผ่านวัสดุได้มาก เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ เป็นส่วนกลับของค่า Conductivity หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่งๆ ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีอุณหภูมิต่าง 1° F มีหน่วยเป็น $°F.ft^2.h/Btu$

แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$R \quad 1 / C \quad = \quad dX / K$$

เมื่อ R คือ ค่าการต้านทานความร้อน ยิ่งมีค่ามากเท่าไรก็ยิ่งดีเท่านั้น

4. **ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน** (Coefficient of Heat Transmission / U-Value) หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ เพื่อแสดงประสิทธิภาพความเป็นฉนวนของวัสดุนั้นๆ ถ้า ค่า U น้อยแสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดี ค่า U จะเป็นส่วนกลับของค่า R โดยที่ U = 1/R หน่วยเป็น $BTU/Hr.ft^2°F$

โดยปกติการคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากการแตกต่างของอุณหภูมิมักจะใช้ U-Value เป็นหลัก

$$U = \frac{1}{\sum R}$$ หน่วยเป็น $BTU/Hr.ft^2 F$

โดย $\sum R$ คือ ผลรวม R-Value ของเปลือกหุ้มอาคาร

5. **ความจุความร้อน** (Thermal Heat Capacity) วัสดุที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนไหลผ่านในอัตราที่ช้าลง จากผลการวิจัยพบว่าวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนต่างกันแต่มีความเข้มของสีและลักษณะพื้นผิวเหมือนกัน วัสดุที่มีมวลสารมากกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวนอกช้ากว่า และค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและอุณหภูมิผิวต่ำสุดจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย ความร้อนที่สะสมในวัสดุที่มีมวลสารน้อยจะมีไม่มากเท่ากับในวัสดุที่มีมวลสารมาก ดังนั้นเมื่อไม่มีอิทธิพลจากดวงอาทิตย์แล้วความร้อนที่สะสมอยู่ภายในวัสดุนั้นจะเริ่มคลายความร้อนออกสู่ภายนอก วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีอุณหภูมิผิวที่สูงที่สุด (วันเอก กิจสมใจ, 2539

6. **การหน่วงเวลาหรือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน** (Time Lag) โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ

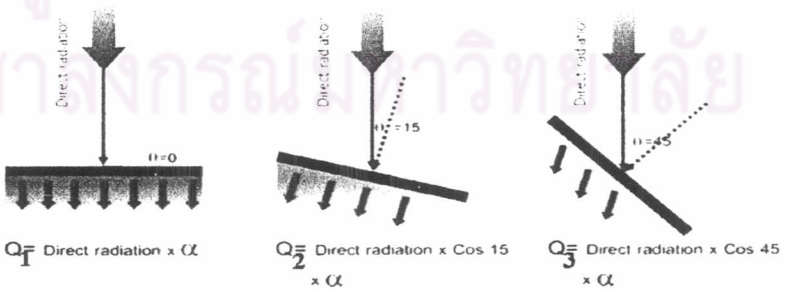
หลายประการที่สำคัญ คือ ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละขั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ก่อนที่จะถ่ายเทเข้าไปในอาคารต่อไป

7. **ค่าการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศโดยตรงโดยการพาความร้อน** (Surface Air –Conductnace) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านและลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของในส่วนนี้จะมีค่าน้อยมากในกรณีที่วัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่วัสดุนั้นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

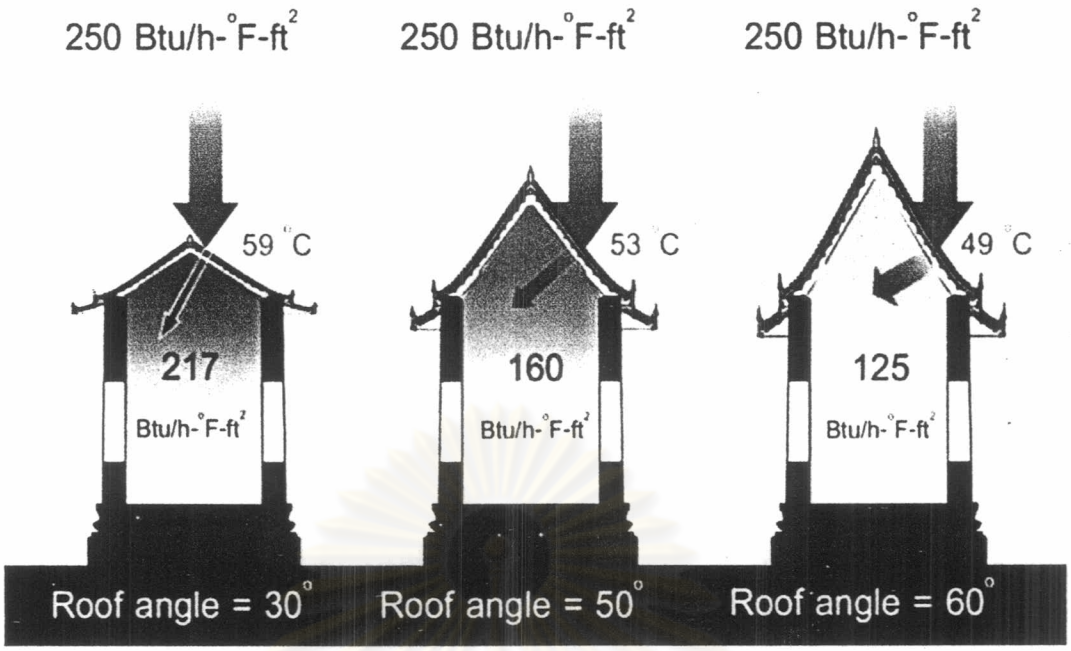
8. **ค่าการดูดกลืนและการกระจายพลังงานความร้อนของวัสดุ** (Surface Absorption and Surface Emission) โดยปกติแล้วหากวัสดุมีสีธรรมดาหรือสีของวัสดุตามธรรมชาติ ค่า Surface Emission จะค่อนข้างสูง ประมาณ 0.8 – 0.9 นอกจากวัสดุนั้นจะเป็นสีชนิดพิเศษ (Selective Coating) อาจมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำ แต่ก็มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิวของวัสดุเย็นกว่าปกติ สำหรับค่าการดูดกลืนความร้อนส่วนใหญ่มักจะแปรผันตามความเข้มของสีผิว คือ ถ้ามีสีเข้มมาก ก็จะดูดกลืนความร้อนสูง

2.4 อิทธิพลจากรูปทรงและความลาดเอียงของหลังคา

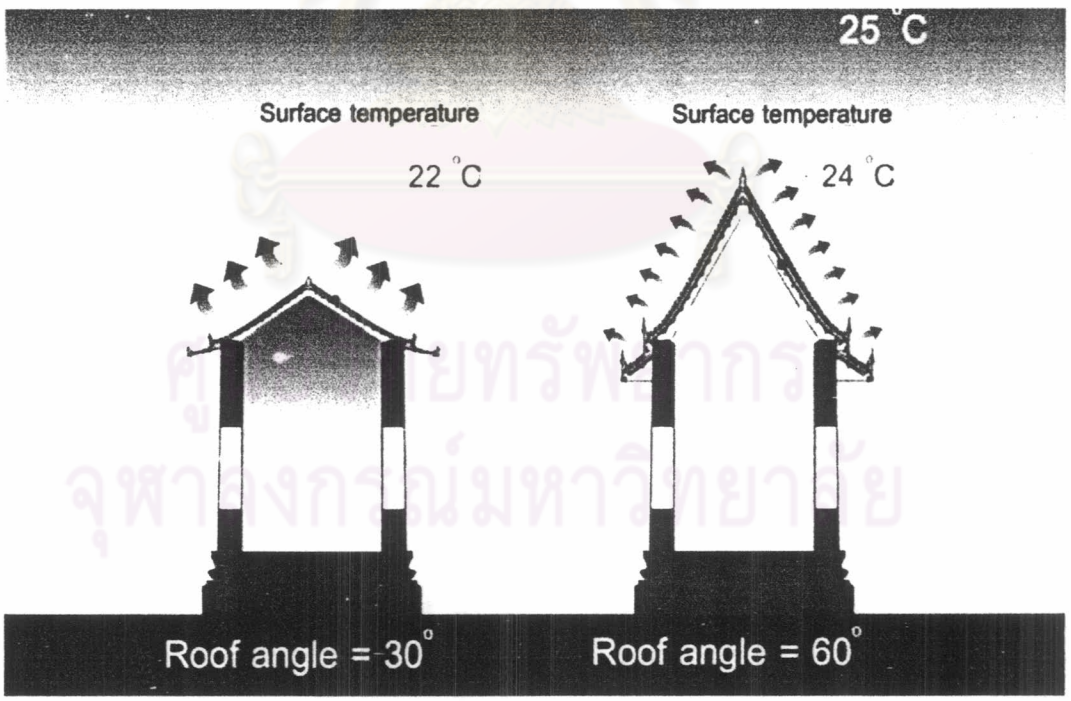
หลังคาของบ้านพักอาศัยในปัจจุบันนิยมใช้มุมลาดชันของหลังคาเพียง 30-40 องศา ซึ่งต่างจากหลังคาของบ้านพักอาศัยในสมัยก่อนที่มีความลาดชันของหลังคาเรือนไทยประมาณ 50-60 องศา ทำให้คุณสมบัติที่ดีของหลังคาในปัจจุบัน ลดลงกว่ารูปทรงของหลังคาเรือนไทยสมัยก่อน ดังนั้นหลังคาที่มีความลาดชันน้อยจะมีพื้นที่หลังคาน้อย เนื่องจากมีระยะระหว่างฝ้าเพดานและหลังคาในแนวดิ่งสั้น ทำให้ความร้อนถ่ายเทผ่านวัสดุมุงหลังคาลงสู่พื้นที่ใช้สอยได้รวดเร็วกว่าหลังคาที่มีความลาดชันซึ่งมีพื้นที่ใต้หลังมากแบบเรือนไทยสมัยก่อน



ภาพที่ 2.3 แสดงความลาดเอียงของหลังคากับอุณหภูมิผิวที่แตกต่างกัน (โครงการการศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงาน, 2547)

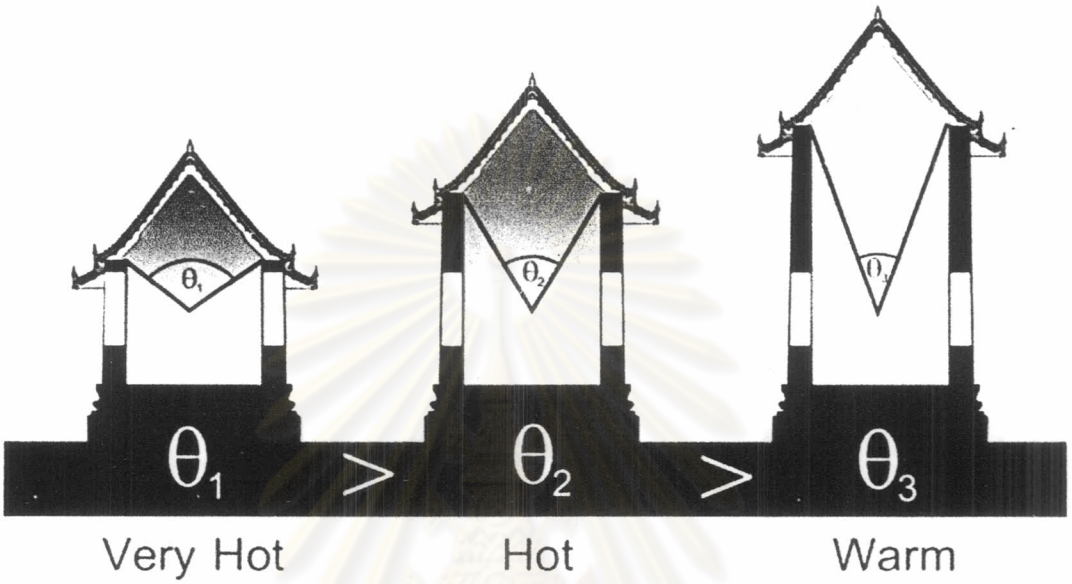


ภาพที่ 2.4 แสดงความลาดเอียงของหลังคากับอุณหภูมิผิวที่แตกต่างกัน (โครงการการศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงาน, 2547)

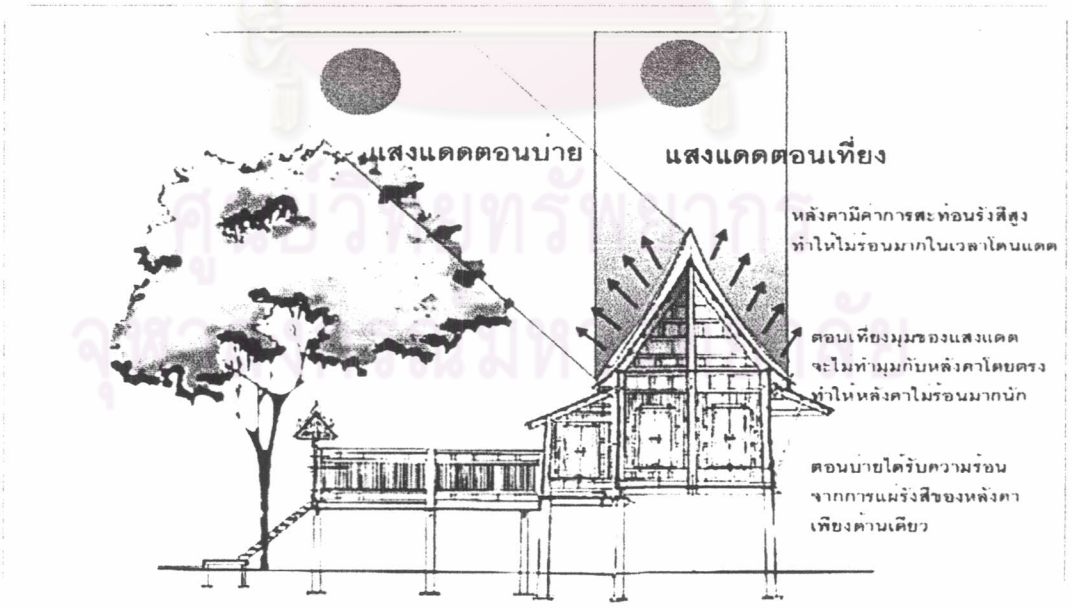


ภาพที่ 2.5 แสดงความลาดเอียงของหลังคาทรงสูงที่มีมุมการแผ่รังสีกับท้องฟ้าน้อยกว่าหลังคามุมราบ (โครงการการศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงาน, 2547)

ในประเทศไทยการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารทางหลังคานั้นเป็นเรื่องสำคัญมาก เนื่องจากหลังคาเป็นส่วนประกอบอาคารที่ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ในอดีตนั้นยังไม่มีเทคโนโลยีทางด้านวัสดุก่อสร้าง และฉนวน เหมือนในปัจจุบัน มุมเอียงหลังคาจึงมีอิทธิพลมากต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสูอาคาร ช่างไทยจึงได้พยายามแก้ปัญหาในการออกแบบหลังคาทรงไทยให้สูงชัน



ภาพที่ 2.6 แสดงความลาดเอียงของหลังคาทรงสูงที่ช่วยลดอิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากผิวหลังคา (โครงการการศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงาน, 2547)

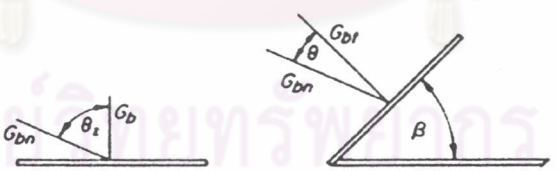


ภาพที่ 2.7 แสดงการใช้ความลาดเอียงของหลังคาทรงสูง เพื่อช่วยลดความร้อนในเวลากลางวันของเรือนไทย (โครงการการศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงาน, 2547)

จากการวิเคราะห์นั้นสรุปได้ว่าลักษณะดังกล่าวเป็นการลดรังสีตรงอันเนื่องมาจากค่า R_b ที่ลดลงเมื่อมุมเอียงหลังคา (β) มีค่ามากขึ้น และค่า View factor จากหลังคาที่เปิดสู่ท้องฟ้า F_{c-s} จะมีค่าลดลง เมื่อมุมเอียงหลังคา (β) มีค่ามากขึ้นเช่นกัน ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยของ จุไรพร ตุมพสุวรรณ (2540) ที่ศึกษาเรื่อง "พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุมุงหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น" โดยทำการทดสอบมุมเอียงของหลังคากับผลการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร พบว่าหลังคาที่มีความลาดเอียง 60 องศาจะทำให้อุณหภูมิในอาคาร อุณหภูมิผิวนอกและอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานต่ำที่สุดทั้งหมด ทั้งในด้านทิศเหนือและทิศใต้ รองลงมาคือหลังคาที่มีความลาดเอียง 45 องศา ลาดเอียง 30 องศาและหลังคาราบ ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนฝ้าเพดานเป็นแรงเอียงก็ยังให้ผลเช่นเดิม (จุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540) จากผลของการวิจัยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับบ้านไทยในสมัยก่อนแล้วจะเห็นว่าหลังคาของบ้านไทยในสมัยก่อนนั้นมีความลาดชันมาก ซึ่งนอกจากจะให้ผลในเรื่องของการป้องกันการรั่วของฝนแล้วยังช่วยในเรื่องของการระบายอากาศและการป้องกันความร้อนได้อย่างดีอีกด้วย แต่ในปัจจุบันหลังคาของบ้านส่วนใหญ่จะมีความลาดชันน้อยหรือเป็นหลังคาราบเสียเป็นส่วนใหญ่ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงมากขึ้นเลยสภาวะน่าสบาย

ในการใช้สมการคำนวณหาค่าปริมาณรังสีทั้งหมดบนพื้นผิวระนาบเอียงซึ่งในที่นี้ก็คือระนาบของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างๆ กันนั้น มีปัจจัยสำคัญประกอบไปด้วย รังสีตรง และรังสีกระจาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมุมเอียงหลังคา โดยสามารถแยกเป็น 2 ส่วนคือ

1) รังสีตรง กับ มุมเอียงหลังคา สัมพันธ์กันในเชิงอัตราส่วนระหว่าง รังสีที่ตกระทบในแนวระนาบนอนกับรังสีที่ตกระทบในแนวระนาบเอียง คือ R_b ซึ่งเท่ากับ $\frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$



ภาพที่ 2.8 แสดงรังสีตรงบนระนาบนอน และระนาบเอียง (Duffie, John A. and Beckman, William A., 1991: p. 25.)

2) รังสีกระจาย กับ มุมเอียงหลังคา ขึ้นกับค่า F_{c-s} หรือ View factor จากหลังคาไปยังท้องฟ้า ซึ่งเท่ากับ $(1 + \cos\beta) / 2$

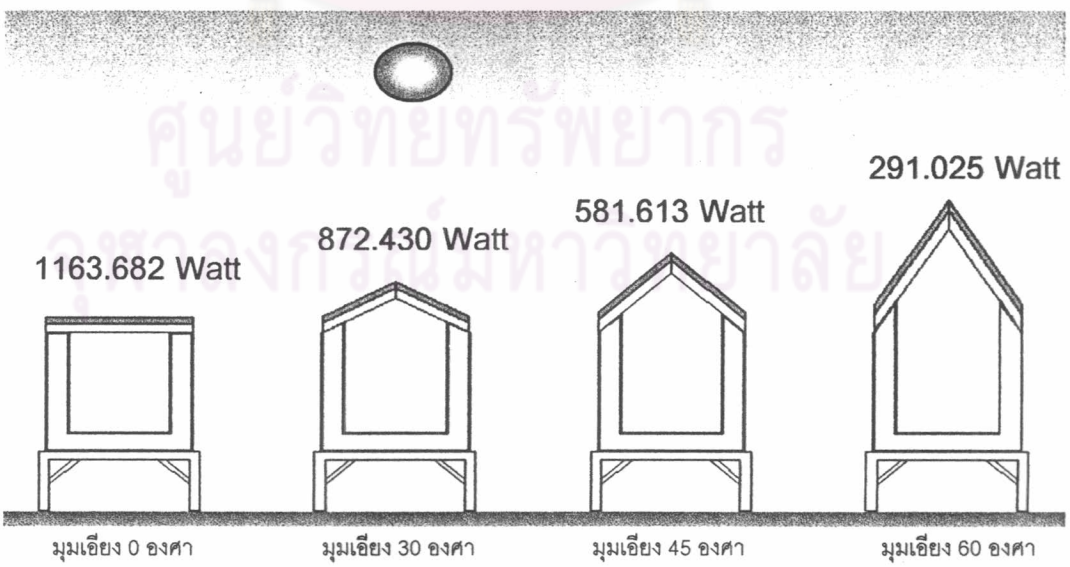
$$\text{โดยที่} \quad 0 \leq \beta < 90 \quad \text{ดังนั้น} \quad 0.5 < F_{c-s} \leq 1$$

จากผลการวิจัยเรื่อง "ลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย" (รชฎ สุมานนท์, 2545) โดยนำเอาทฤษฎีดังกล่าวมาคำนวณหาค่า Solar radiation

incidence on the surface ของเดือนเมษายนด้วยการนำข้อมูลค่ามุมองศาต่างๆ มาคำนวณ และใช้ค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 420.1 Watt/m^2 (ธนิต จินดาวณิค และคณะ, 2543) และทำการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 เมตร โดยทำการคำนวณในแต่ละมุมเอียงหลังคา ได้แก่ 0, 30, 45 และ60 องศา จากการคำนวณนำค่าที่ได้มานำเสนอในรูปแผนภูมิ เพื่อแสดงการเปรียบเทียบค่า Solar radiation incidence on the surface ของหลังคาแต่ละมุมเอียง สรุปผลได้ผลดังนี้ (รชฎ สุมานนท์, 2545)

- มุมเอียง 0 องศามีปริมาณ Solar radiation incidence on the surface มากที่สุด โดยจุดสูงสุดของวัน มีปริมาณเท่ากับ 1163.682 Watt
- มุมเอียง 30 องศามีปริมาณ Solar radiation incidence on the surface มากเป็นอันดับสอง โดยจุดสูงสุดของวัน มีปริมาณเท่ากับ 872.430 Watt
- มุมเอียง 45 องศามีปริมาณ Solar radiation incidence on the surface มากเป็นอันดับสาม โดยจุดสูงสุดของวัน มีปริมาณเท่ากับ 581.613 Watt
- มุมเอียง 60 องศามีปริมาณ Solar radiation incidence on the surface น้อยที่สุด โดยจุดสูงสุดของวัน มีปริมาณเท่ากับ 291.025 Watt

หลังคาที่ได้รับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวมาก เนื่องมาจากค่า Incidence angle มีค่ามาก (Angle of incidence มีค่าน้อย หรือมีค่าใกล้ศูนย์ทำให้ค่า cosθ มีค่ามาก) จากการคำนวณพบว่ายิ่งหลังคาชันมาก หรือมุมเอียงมาก ค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิว จะน้อยกว่าหลังคาที่มีมุมเอียงน้อย ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงเป็นคำตอบส่วนหนึ่งของที่มามุมเอียงหลังคาเรือนไทยที่มีลักษณะสูงชันมาก (ประมาณ 50-60องศา)



ภาพที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Solar radiation incidence on the surface ของแต่ละมุมเอียงหลังคาในเดือนเมษายน ที่ได้จากการคำนวณ (รชฎ สุมานนท์, 2545)

2.5 การศึกษาแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลังคาของอาคารจัดเป็นองค์ประกอบของสถาปัตยกรรมที่จะได้รับผลกระทบโดยตรงจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ เพราะหลังคามีพื้นที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรอบอาคารด้านต่างๆ ดังนั้นสภาวะน่าสบายของอาคารชั้นเดียวหรือห้องใต้หลังคาจะได้รับอิทธิพลจากกรอบอาคารส่วนนี้มากที่เดียวระบบหลังคาจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ ส่วนหลังคาภายนอก เป็นส่วนที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอกโดยตรง ส่วนช่องอากาศภายใน และส่วนฝ้าเพดาน

2.5.1 ประเภทของวัสดุมุงหลังคา

วัสดุมุงหลังคา สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ หลังคาประเภท Heavyweight solid และหลังคาประเภท Lightweight (B.Gioni, Man Climate and Architecture, 1969)

1. **หลังคาประเภท Heavyweight solid** ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นลักษณะแบนเรียบ เช่น หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Flat Slab) มีความสามารถในการสะสมความร้อนสูง การส่งผ่านความร้อนที่ถูกดูดซึมไว้จากพื้นผิวภายนอกหลังคา มีผลจากการนำความร้อนผ่านมวลของหลังคา ช่องอากาศ (ถ้ามี) สู่ส่วนฝ้าเพดาน ดังนั้นปัจจัยหลักของการถ่ายเทความร้อนของหลังคา คือ สีภายนอก ความต้านทานความร้อน และความสามารถในการถ่ายเทความร้อน และการเพิ่มฉนวนกันความร้อนแก่หลังคา

2. **หลังคาประเภท Lightweight** ทั่วไป เป็นแผ่นหลังคาภายนอกบนโครงหลังคา วัสดุที่ใช้เป็นแผ่นหลังคาก็แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ไยหิน แผ่นแอสเบสตอท แผ่นแอสฟัลท์ และแผ่นโลหะต่างๆ ฯลฯ

จากวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต เรื่อง การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา (จญาดา บุญยเกียรติ, 2537) พบว่าธรรมชาติของวัสดุมุงหลังคาแต่ละชนิดแตกต่างกันไป จากการทดลองโดยใช้กล่องทดลอง ขนาด 1.20 * 1.20 * 1.20 ม.ด้านบนเป็นหลังคาทำการทดสอบวัสดุมุงหลังคาแต่ละชนิด และทำการวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ภายในกล่องทดลอง โดยมีผลจากการทดสอบได้ดังนี้ หลังคาจากจะมีค่าความเป็นฉนวนสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นๆ ที่นำมาทดสอบจากการทดลอง โดยในช่วงกลางวันผิวหลังคาจะดูดซึมความร้อนไว้ไม่มาก ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองจึงค่อนข้างต่ำ ส่วนในช่วงกลางคืน ด้วยความเป็นฉนวนของจาก ผิวหลังคาจึงไม่ค่อยจะสูญเสียความร้อนให้กับท้องฟ้า ส่งผลให้อุณหภูมิผิวหลังคา และอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง ไม่แตกต่างจากในเวลากลางวันมากนัก หลังคาแผ่นโลหะ มีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำอย่างดี แผ่นเหล็กที่นำมาทดสอบ มีผิวด้านบนมันและเป็นสีขาว จึงทำให้

แสงอาทิตย์สะท้อนกลับได้ค่อนข้างมาก และดูดซึมไว้น้อย ประกอบกับผิวด้านล่างมีฟอยด์ มีค่า Emissivity ต่ำ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลอง ไม่สูงไปตามอุณหภูมิผิวหลังคา

จากแนวความคิดในการออกแบบ "อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ" (สุนทร บุญญาธิการ, 2539) ซึ่งมีความต้องการใช้งานพื้นที่ส่วนหลังคาเพื่อการศึกษาวิจัย และติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ นั้น 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 และการเลือกใช้วัสดุต่างๆ อย่างเหมาะสม ของระบบหลังคาทั้งหมดนี้ ทำให้ระบบหลังคา Flat roof ของอาคารอนุรักษ์พลังงานฯ มีค่าการกันความร้อนและความชื้นได้ดีเยี่ยม โดยมีราคาของระบบอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีค่าการกันความร้อนใกล้เคียงกัน

ผลการวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมไทย (สุนทร บุญญาธิการ ธนิต จินดาวณิค, 2536) ในการศึกษากรณีตัวอย่างอาคารศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นกลุ่มอาคารเรือนไทยภาคกลาง วัสดุและการก่อสร้างเป็นไปตามลักษณะและรูปแบบดั้งเดิม ตัวอาคารใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา คือ ไม้ โครงหลังคาเป็นไม้มุงด้วยกระเบื้องดินเผาภายในไม่มีฝ้าเพดาน ผลการทดลองที่ได้พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจาก การที่มีช่องเปิดโดยรอบทำการระบายอากาศนั้นดี และทั่วถึงประกอบกับมวลของอาคาร คือ พื้น ผนัง หลังคานั้นเบา (Lightweight Mass) ทำให้เกิดการเก็บสะสมความร้อนในมวลอาคารและ Thermal Time Lag นั้นแทบจะไม่มี ในช่วงเวลาร้อนจัดอุณหภูมิภายในต่ำกว่าภายนอกเล็กน้อย (0.5 องศาเซลเซียส) และในการศึกษาถึงเรื่อง Mean Radiant Temperature & Solar Radiation จากการวิจัยเรื่องเดียวกัน พบว่ารังสีดวงอาทิตย์และคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้สำหรับผนัง หลังคา และพื้น มีผลกระทบต่อ Mean Radiant Temperature (MRT) และอุณหภูมิผิวต่างๆ ภายในอาคารเป็นอย่างมาก เมื่ออากาศสัมผัสกับผิววัสดุต่างๆ ทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิอากาศและไม่คงที่ตลอด 24 ชม MRT นั้น มีทั้งค่าสูงและต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับ

อุณหภูมิอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (Directed Radiation) และรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากแหล่งอื่น (Diffused Radiation)

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

จากวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต เรื่อง พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุมุงหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น (จุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540) พบว่า

จากการทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุมุงหลังคา โดยมีข้อสังเกตดังนี้

1. ในช่วงเวลากลางวัน หลังคาหญ้าคาจะยอมให้ความร้อนผ่านเข้าไปในอาคารได้น้อยกว่าหลังคาชนิดอื่นๆ เนื่องจากคุณสมบัติของความเป็นฉนวน ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุมุงหลังคาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนในช่วงเวลากลางคืนความร้อนที่สะสมในเนื้อวัสดุจะคายออกเพื่อแผ่รังสีกลับคืนสู่ท้องฟ้า หรือ Nightsky Radiation ทำให้ในช่วงเวลา 18.00 –6.00 น. เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกลดลง แต่อุณหภูมิผิวล่างของหญ้าคายังคงใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศหรือสูงกว่าเล็กน้อยประมาณ 1 C° ในบางช่วง และคุณสมบัติที่พิเศษอีกอย่างหนึ่งของหลังคาหญ้าคาก็คือ จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิผิวล่างของหลังคาหญ้าคา จากการทดลองจะคงที่เกือบตลอดวันไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป คือไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศมากนั่นเอง

2. หลังคาแผ่นโลหะ เป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย ที่มีอุณหภูมิผิวบนและล่างของวัสดุแปรผันไปตามอุณหภูมิอากาศ เนื่องจากมวลสารของวัสดุมีการสะสมความร้อนน้อย จึงมีช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ไม่มากตามมวลสาร รวมทั้งการเกิด Nightsky Radiation ในตอนกลางคืน ทำให้ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ แต่ในทางกลับกันช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศมาก เนื่องจาก

มวลสารของวัสดุดังที่อธิบายไปแล้ว ดังนั้นหากเลือกใช้วัสดุมุงชนิดนี้ควรมีการใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อลดความร้อนแก่หลังคาในช่วงกลางวันด้วย

3. วัสดุที่มีมวลสารน้อย 2 ชนิดที่นำมาทดสอบ คือ หญ้าคาและแผ่นโลหะ มีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ซึ่งจะพิจารณาจากมวลสารไม่ได้ เนื่องจากเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดโดยที่หญ้าคามีความเป็น "ฉนวน" สูง ในการลดการถ่ายเทความร้อนช่วงเวลากลางวันได้ แต่ในทางกลับกันแผ่นโลหะ มีคุณสมบัติในการนำความร้อนจึงมีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลากลางวัน

4. ในช่วงเวลากลางวันวัสดุที่มีมวลมาก เช่น หลังคาคอนกรีต จะมีอุณหภูมิผิวล่างต่ำกว่าวัสดุมุงชนิดอื่นๆ เนื่องจากมวลของวัสดุมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ แต่ในทางกลับกันของช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุได้คายความร้อน ที่สะสมไว้ในช่วงเวลากลางวันออกมา ส่งผลให้อุณหภูมิผิวล่างยังคงสูงอยู่ในช่วง 18.00-22.00 น.

5. หลังคากระเบื้องดินเผาและกระเบื้องซีเมนต์ เป็นวัสดุที่มีมวลปานกลาง ซึ่งมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใช้สอยเช่นเดียวกับวัสดุที่มีมวลมาก เช่น หลังคาคอนกรีต แต่มีการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) น้อยกว่า จึงคายความร้อนออกไปได้เร็วกว่าหลังคาคอนกรีต ในช่วงเวลากลางคืนที่อุณหภูมิอากาศลดลง

6. หลังคากระเบื้องดินเผา มีคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางวันได้น้อยกว่าหญ้าคาแต่ในอดีตที่นิยมใช้กัน และไม่มีผลทางด้านความร้อนมากอย่างในปัจจุบัน เนื่องจากวัสดุต่างๆ ที่ใช้สร้างบ้านพักอาศัยในอดีต เป็นวัสดุมวลเบาเช่น ไม้ เป็นต้น รวมทั้งรูปแบบอาคารและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับสภาพอากาศ วัสดุมุงหลังคาจึงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนไม่มากนัก ดังนั้นหากนำมาใช้ในปัจจุบัน ควรจะมีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับยุคสมัยด้วย

7. การทดลองครั้งนี้ มิได้ควบคุมตัวแปรเรื่องสีของวัสดุมุงหลังคา ทั้งนี้ผู้วิจัยต้องการทดสอบคุณสมบัติในภาพการใช้งานจริงของวัสดุมุงที่ใช้กันในท้องตลาด ดังนั้นผลของอุณหภูมิผิวบนของวัสดุมุงหลังคา อาจแปรผันไปตามสีหลังคาได้

2.5.2 ชนิด – ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุมุงหลังคา

ชนิด – ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุมุงหลังคา มีผลกระทบอย่างมากต่ออุณหภูมิในหลังคาและความสามารถในการสะสมความร้อน (Heat Capacity) ของวัสดุหลังคา ก็มีผลต่อช่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนของหลังคาด้วย เช่นหลังคาประเภท Lightweight จะมีปริมาณสะสมความร้อนในช่วงเย็น หรือกลางคืนน้อยกว่าหลังคาประเภท Heavyweight

ภาพที่ 2.10 แสดงการค่าเปรียบเทียบ R-Value ของฉนวนกันความร้อนและวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว (Norbert Lechner., 1991.)

" A comparison of the thermal resistance of various materials. All values are for l-in.-thick samples. The actual resistance of a sample varies with density, temperature, material composition, and in some-cases moisture content. The resistance of lightweight concrete varies greatly with density and aggregate used (R-values vary from 0.2 to 2.0)."

วัสดุฉนวนกันความร้อน	ค่าความต้านทานความร้อนต่อความหนา1"	ลักษณะทางกายภาพ	คุณสมบัติทั่วไป
1. Fiber glass	3.2	Rolls,batts& blankets	ทนน้ำ,ทนไฟ,กันเสียงได้ดี
2. Rock Wool	2.2 4.4	Loose Fill Rigid board	ทนน้ำ,ทนไฟ,กันเสียงได้ดี
3. Perlite	2.7	Loose Fill	ป้องกันไฟได้ดีมาก
4. cellulose	3.2 3.5	Loose Fill Sprayed in place	สามารถเข้าไปในพื้นที่เล็กได้ดี มีการดูดซับความชื้น ทนไฟ,กันเสียงได้ดี
5. Polystyrene (expanded)	4	Rigid board	ราคาต่ำเมื่อเทียบกับค่าความเป็นฉนวน ติดไฟได้ ควรระวังไม่ให้ถูกไฟ,แสงแดด
6. Polystyrene (extruded)	5	Rigid board	ต้านทานความชื้นสูงมาก สามารถใช้ในชั้นใต้ดิน ติดไฟได้ ควรระวังไม่ให้ถูกไฟ,แสงแดด ราคาแพงกว่า แบบที่5
7.Urethane / / isocyanurate	7.2	Rigid board	มีความต้านทานความร้อนสูงมาก ติดไฟได้ และเป็นพิษ ควรระวังไม่ให้ถูกไฟและความชื้น
	6.2	Foamed in place	สำหรับพื้นผิวที่ขรุขระและไม่ธรรมดา
8. Phenolic foam	8.2	Rigid board	มีความต้านทานความร้อนสูงที่สุด ต้านทานไฟได้ดี ,ประสบการณ์ แตกง่าย
9. Reflective foil	ขึ้นอยู่กับทิศทางของ foil ที่ติดกับช่องอากาศและทิศทางของการถ่ายเทความร้อน	ถูกแบ่งด้วยช่องอากาศ	มีประสิทธิภาพในการความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา ควรติดช่องอากาศอย่างน้อยหนา 3/4 นิ้ว แผ่นฟอยล์ควรคว่ำลงเพื่อป้องกันฝุ่นเกาะ

ที่มา : Norbert Lechner ,Heating Cooling Lighting Design Methods for Architects

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ

2.5.3 การเลือกใช้วัสดุมุงหลังคา

การเลือกใช้วัสดุมุงหลังคา ลักษณะผิวและสีสำหรับด้านที่รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ก็มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคาด้วยเหมือนกัน ดังเช่น การเลือกใช้แผ่นหลังคาเหล็ก ที่มีผิวเป็นมันและสีขาว จะทำให้แสงอาทิตย์สะท้อนกลับได้ค่อนข้างมาก และดูดซึมได้น้อย ประกอบกับผิวด้านล่างเป็นฟอยด์ มีค่า Emissivity ต่ำ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตัวอาคาร

ไม่สูงกว่าอุณหภูมิภายนอกมากนัก สีภายนอก และลักษณะพื้นผิวของหลังคา จะมีอิทธิพลต่อปริมาณการแผ่รังสีความร้อนที่ถูกดูดซึมในหลังคาตอนกลางวัน และการสูญเสียความร้อน จากการแผ่รังสีคลื่นยาวของหลังคาโบกปูนทาสีขาว อุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานจะต่ำกว่าอากาศด้านบนตลอดช่วงเวลากลางวันเสมือนว่า หลังคาเป็นเครื่องทำความเย็นให้แก่ตัวอาคาร โดยทั่วไปอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาโบกปูนสีขาว จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก (B.Givoni, Man Climate and Architecture, 1969)

2.6 การมีระบบป้องกันการแผ่รังสีความร้อน(Radiant Barrier System)ในช่องใต้หลังคา

การมีระบบการป้องกันการแผ่รังสีความร้อน (Radiant Barrier System) ในช่องใต้หลังคา การใช้ฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันความร้อนไม่ให้ถ่ายเทสู่พื้นที่ใช้สอยเบื้องล่าง เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญสามารถช่วยในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยผ่านทางกลังคาได้เป็นอย่างดี จากการศึกษาการวิจัยที่เกี่ยวข้องและการค้นคว้าเอกสารอ้างอิงต่างๆ ทำให้ทราบถึงระบบวิธีการใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

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

อิทธิพลจากแสงแดด ความชื้น และความร้อนจากภายนอกอาคาร มีผลต่อการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีฝนตกชุกและอุณหภูมิสูงเกือบตลอดปี ทำให้ต้องมีการพิจารณาเลือกใช้วัสดุ ที่มีคุณสมบัติในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางหนึ่ง คือ การเลือกใช้วัสดุที่สามารถป้องกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร หรือมีค่า R-Value สูง "ฉนวน" คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน โดยมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) น้อย ทำให้อิทธิพลภายนอกเข้ามาภายในเกิดขึ้นค่อนข้างรุนแรง ซึ่งมีทางแก้ไขโดยการเพิ่มความหนาของฉนวนให้มากขึ้น แต่ทำให้มีราคาแพง ดังนั้นการออกแบบโดยการผสมผสานการใช้ฉนวนและมวลสาร จะเป็นผลดีในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารไม่เปลี่ยนแปลงรุนแรงเหมือนภายนอก และถ้าสามารถหน่วงเหนี่ยวเวลาได้อย่างเหมาะสม คือทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกต่ำลงมากที่สุด ก็ยิ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากยิ่งขึ้น

2.6.2 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)

- การปลอดภัยจากสารเคมีและกลิ่น (Freedom from Objectionable Odour)

- การเสื่อมสภาพ (Corrosion)

- ความทนทานต่อสารเคมี (Chemical Resistance)

- การกันน้ำและความชื้น (Resistance to Water Penetration)

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

ตารางที่ 2.4 แสดงเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฉนวน (สุนทร บุญญาธิการ, 2537)

2.6.3 คุณสมบัติของฉนวนประเภทโฟม

โฟม ฉนวนประเภทโฟมทั้งหลาย มีความจำเป็นต้องห่อหุ้ม หรือปกป้องจากการทำลายของรังสี UV จากดวงอาทิตย์ โฟมส่วนใหญ่มีข้อดี คือสามารถคงสภาพเดิมได้แม้จะโดนความเปียกชื้น (ทนน้ำ) แต่เนื่องจาก โฟมมีจุดหลอมเหลวต่ำ (โดยทั่วไปจะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส) ทำให้เมื่อโดนความร้อนสูงนานๆ โฟมก็จะเปลี่ยนรูป เช่น บิด งอ บุบสลาย หรือไหม้ไปในที่สุด แต่ในบ้านทั่วๆ ไป มักจะไม่มีอุณหภูมิสูงถึงระดับนั้น ยกเว้นกรณีที่มีการนำโฟมไปใช้บุหลังกระจกโดยตรง จะทำให้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งโฟมไม่สามารถคงสภาพเดิมเอาไว้ได้ (สุนทร บุญญาธิการ,2537)

ฉนวนโพลิเอทธีริน (Polyetherene Foam) มีลักษณะคล้ายฉนวนโพลีสไตรีน จะให้ความหนาแน่นมากกว่า มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนได้ดี การใช้งานอาจใช้ติดกับวัสดุมุงหลังคาด้านใน เช่นหลังคาแผ่นโลหะ ฯลฯ (ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537)

ฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane Foam) หรือ ฉนวนโพลิไดโซโซยานูเรทโฟม คือ วัสดุฟลูออโรคาร์บอนที่พ่นให้เป็นโฟม โดยที่จะให้โครงสร้างแข็งขึ้นอยู่กับการบ่ม โดยมีการหล่อเป็นรูปแบบแผ่นแข็งล่วงหน้าหรือเป็นรูปแบบที่ฉีดพ่นเป็นสเปรย์ในชิ้นงาน มีสภาพการนำความร้อนต่ำอาจจะเพิ่มขึ้นตามอายุของโฟม การดูดซึมน้ำต่ำเป็นตัวต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย และไม่มีพิษยกเว้นเมื่อถูกเผาไหม้จะให้ควันมาก และให้ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งเป็นอันตราย การใช้งานจะต้องหุ้มด้วยวัสดุที่หน่วงไฟไหม้ ใช้เป็นฉนวนหลังคา พื้น ผนัง ปกติจะใช้ร่วมกับผิวสะท้อนรังสีด้านนอกของฉนวนที่หุ้มอาคาร (ตระการ ก้าวกสิกรรม,2537)

ฉนวนโพลิสไตรีนโฟม (Polystyrene Foam) ฉนวนโพลิสไตรีนโฟมหรือโฟมขาว ผลิตขึ้นมา 2 รูปแบบ คือแบบโฟมอัดรีด (Extruded) และแบบโฟมหล่อ (Molded) โฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดรีดจะมีความหนาแน่นบรรจุมากกว่า มีรูปร่างคงที่มากกว่าและสามารถทนแรงกดและแรงดึงได้มากกว่าโฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการแบบหล่อ เนื่องจากโฟมโพลิสไตรีนโฟม เป็นสารที่ลุกไหม้ได้ ควรมีเปลือกหุ้มต้านทานเปลวไฟสำหรับในการใช้งาน เช่น แผ่นยิปซั่ม และช่วยป้องกันจากการกระทบแสงอุลตร้าไวโอเลตโดยตรงด้วย เพราะจะทำให้เป็นสีเหลืองและคุณภาพลดลง มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนได้ดี การใช้งานอาจจะใช้หุ้มภายนอกอาคารทั้งหมด เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคารได้ (ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537)

ฉนวนใยแก้ว (Glass Fiber) ผลิตขึ้นมาจากการปั่นก้อนแก้วแข็งด้วยการปั่นจนเป็นเส้นเกลียวบาง เชื่อมยึดกันด้วยตัวประสาน (รูปที่ 2-12) เนื่องจากใยแก้วเป็นสารอนินทรีย์ จึงเป็นวัสดุที่ไม่ลุกไหม้ แต่ตัวประสานใยแก้วนั้นสามารถลุกไหม้ได้ จึงต้องมีมาตรฐานกำหนดตาม ASTM

C84 คุณสมบัติสภาพการนำความร้อนต่ำ การดูดซับเสียงดี ไม่เป็นพิษ และไม่มีกลิ่น การประยุกต์ใช้งานเป็นฉนวนหลังคา อาคาร ผนัง พื้น ห้องใต้ถุนตึก และงานระบบท่อ

ฉนวนใยหิน (Rock Fiber) ลักษณะคล้ายคลึงกับฉนวนใยแก้ว มีทั้งฉนวนแร่ใยหิน (Asbestos) มีคุณสมบัติสภาพการนำความร้อนต่ำ ไม่ติดไฟ การดูดซับเสียงดี (รูปที่ 2-13)

ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulosic Fiber) ผลิตขึ้นจากการนำไม้หรือกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) (รูปที่ 2-14) ทั่วไปใช้กันอยู่ 2 เกรดคือ Short Fiber และ Long Fiber (รูปที่ 2-15) โดย Short Fiber ทำจากกระดาษหนังสือพิมพ์ จะมีสีคล้ำกว่า ใช้พ่นกับผนังทั่วไป ส่วน Long Fiber ทำจากกระดาษที่มีเนื้อละเอียดกว่า เช่น กระดาษพิมพ์งาน A3, A4 ทั่วไป จะมีคุณสมบัติในการยึดเกาะพื้นผิวได้ดีกว่า Short Fiber ใช้พ่นในส่วนหลังคา โดยที่คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนยังเท่าเทียมกัน การแผ่และดึงให้กระจายออกทำการย่อย Cellulose Fiber ให้ละเอียดจนเป็นปุย จากนั้นทำการประสานด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือ สารบอแรกซ์ จะช่วยป้องกันมดปลวก และยับยั้งการติดเชื้อราในบางส่วนอีกชนิดคือ สารบอริกซ์ จะช่วยต้านทานการลุกไหม้ การใช้งานมักใช้ในลักษณะฉีดพ่น สำหรับเป็นฉนวนใต้ดาดฟ้า หลังคา หรือถึงใต้ดินขนาดใหญ่ ข้อควรระวังของฉนวนประเภทนี้ คือ เมื่อโดนน้ำมากจะยุ่ยได้ง่าย จากการทดสอบตาม ASTM C-737-73 ฉนวนควรจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากการดูดซึมน้ำไม่เกิน 15 % โดยปริมาณ เพราะอาจเกิดปัญหาในการใช้สำหรับสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง

แผ่นบางผิวสะท้อนรังสี ส่วนใหญ่ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ ที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนสูง หรือค่าการแผ่รังสีต่ำ (รูปที่ 2-20) มักใช้กับส่วนหลังคาของบ้านพักอาศัย หรือใช้กับประกอบกับแผ่นยิปซั่ม หรือฉนวนกันความร้อนชนิดอื่น เช่น ใยแก้ว มีคุณสมบัติคงทนถาวรและทนต่อแรงดึงได้ดี กันน้ำ และความชื้นได้ดี ไม่ติดไฟ(บางชนิด) ติดตั้งง่าย แต่ควรมีช่องอากาศระหว่างวัสดุหลังคาเพราะแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ มีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสว่างภายในอาคารอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีฉนวนกันความร้อนอีกหลายชนิด มีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น โฟมชนิดสารยืดหยุ่น (Electrometric Foam) หรือโฟมยางแบบขยาย ใช้เป็นฉนวนท่อที่ยืดหยุ่นได้ด้วยการพ่นให้ขยายตัวในแบบฉนวนเพอร์ไลท์ (Perlite) หรือ ซิลิก่าโฟม (Exponded Foam) เป็นฉนวนที่ทำมาจากเม็ดแก้วภูเขาไฟแบบทราย ฉนวนฟีโนลิคโฟม (Phenolic Foam) และฉนวนท่อที่ถูกหล่อแข็ง ทำจากวัสดุฟีโนลิคที่เป็นกลางทางเคมี และฉนวนเวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) ทำจากไมกาซึ่งเป็นแร่ชนิดหนึ่งเป็นเกล็ดๆ คล้ายกระจก เป็นต้น

การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนทั่วไป ต้องพิจารณาประเด็นหลักคือ คุณสมบัติต้านทานความร้อน คุณสมบัติป้องกันไฟ และคุณสมบัติการป้องกันเสียง สำหรับฉนวนกันความร้อนที่กล่าวมาพอที่จะสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติให้เข้าใจได้บ้างพอสมควร

2.6.4 ตำแหน่งการติดตั้งของฉนวนกันความร้อนและฝ้าเพดาน

หลังคาเป็นพื้นผิวอาคารที่รับแสงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลา แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมโดยหลังคาและส่งผ่านพลังงานความร้อนลงมาสู่ด้านล่างโดยการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาเท่านั้นเนื่องจากมีช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุมุงหลังคา จึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ และเนื่องจากอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นข้างบนทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาด้วยเช่นกัน ถ้าทำการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนในช่องอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานก็จะช่วยป้องกันการแผ่รังสีได้ การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนในช่องหลังคาสามารถติดตั้งได้ 3 แห่ง คือ (ธนิต จินดาวณิค, 2540)

- บนโครงหลังคาหรือใต้วัสดุมุงหลังคา

- ใต้หลังคา

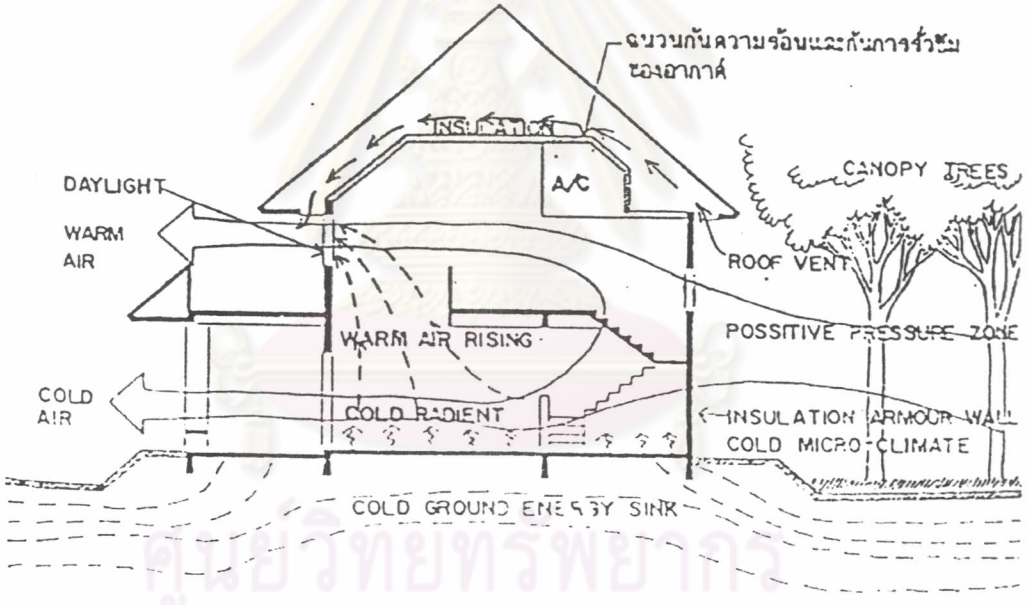
- ด้านบนฝ้าเพดาน

ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีความร้อนหลังจากทำการติดตั้งไม่นานจะให้ผลเหมือนกัน แต่เมื่อใช้งานไปนานๆ วิธีการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนที่โครงหลังคาหรือฝ้าเพดานโดยหันด้านมันหรือด้านที่เป็นฟอยด์หันขึ้นด้านบน ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีความร้อนจะลดลงไปเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นละอองจะไปสะสมอยู่บนผิวของฟอยด์ จึงทำให้ฟอยด์ทำหน้าที่ดูดซึมรังสีความร้อนแทนที่จะทำหน้าที่สะท้อนความร้อน ในการติดตั้งวัสดุป้องกันรังสีความร้อนควรติดตั้งโดยหันด้านที่เป็นฟอยด์ลงสู่ด้านที่เป็นช่องอากาศ ฟอยด์จะไม่แผ่รังสีความร้อนที่ได้รับจากหลังคาไปสู่ฝ้าเพดานหรือฉนวนบนฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและฝุ่นก็ไม่สามารถสะสมบนผิวของฟอยด์ได้

การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนที่ใต้โครงหลังคาหรือจันทันสามารถใช้ฟอยด์ชนิด 2 หน้าได้ ทำให้เกิดการแบ่งช่องว่างที่สามารถออกแบบให้ระบายลมขึ้นระหว่างวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนกับหลังคาที่ร้อน และช่องใต้หลังคา ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของช่องใต้หลังคาใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องที่อยู่ใต้ฝ้าเพดาน การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนด้านบนของโครงหลังคาหรือใต้วัสดุมุงอาจกระทำได้สะดวกกว่า ก่อนวางวัสดุมุงหลังคาควรติดตั้งให้แผ่นฟอยด์ ห้อยต่ำลงมาประมาณ 1.5-2 นิ้วจากด้านบนของโครงหลังคาเพื่อทำให้เกิดช่องอากาศระหว่างวัสดุมุงและฟอยล์ และจากการวิจัยพบว่าการใช้แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ติดตั้งในส่วนของใต้

กระเบื้องหลังคาจะช่วยลดอุณหภูมิใต้ผิวกระเบื้องได้ประมาณ 7-8 องศาเซลเซียส และการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ดชนิดที่มีอลูมินั่มฟอยล์เหนือฝ้าเพดานวางในแนวระนาบจะช่วยลดอุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานได้ถึง 4 องศาเซลเซียส แต่เมื่อระยะเวลานานขึ้นจะมีฝุ่นมาเกาะบริเวณผิวหน้าของฟอยล์ทำให้คุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนของฟอยล์ลงทำให้สามารถลดอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานได้เพียง 1 องศาเซลเซียสเท่านั้น (โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, 2540)

ระบบของการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนไม่จำเป็นต้องป้องกันไม่ให้มีอากาศไหลเวียน เนื่องจากรังสีความร้อนเดินทางเป็นเส้นตรงผ่านที่ว่าง ไม่ใช่เดินทางผ่านอากาศ การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันรังสีความร้อน ไม่ใช่ป้องกันการพาความร้อน ดังนั้นรูรั่วตามแผ่นฟอยล์จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพของฟอยล์ลดลง และการที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาจะช่วยให้ระบบ สามารถป้องกันรังสีความร้อนได้ดีขึ้น (ธนิต จินดาวณิต, 2540)



ภาพที่ 2.11 แสดงการติดตั้งฉนวนและการระบายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคา(สุนทร บุญญาธิการ, 2539)

จากวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต เรื่อง พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุมุงหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น (จุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540) พบว่า

จากการทดสอบฉนวนและการระบายอากาศ พบว่าตำแหน่งการติดตั้งฉนวนในแนวราบเหนือฝ้าเพดานที่มีการระบายอากาศ จะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุมุงหลังคาได้มากกว่า การติดตั้งฉนวนตามแนวเอียงของหลังคา ซึ่งจากการพิจารณาอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดาน พบว่า

กล่องทดลอง ที่มีการติดตั้งฉนวนแนวราบเหนือฝ้าเพดานและมีการระบายอากาศบริเวณชายคา จะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากล่องทดลอง ที่มีการติดตั้งฉนวนแนวเอียงและมีการระบายอากาศบริเวณชายคาประมาณ 1-15 องศาในช่วง Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) ทั้งนี้จากการพิจารณาอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของกล่องฉนวนแนวเอียง ที่มีการระบายอากาศบริเวณชายคามีอุณหภูมิอากาศภายนอกเข้ามาแทนที่ ทำให้ฉนวนแนวเอียงที่ติดตั้งไม่สามารถป้องกันความร้อนอย่างที่ควรจะเป็น ดังนั้นเมื่อความร้อนไหลเข้าไปภายในกล่องที่ไม่มีฉนวนกั้น จึงทำให้อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและภายในกล่องสูงตามไปด้วย สามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งการวางฉนวนที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองครั้งนี้คือ ตำแหน่งแนวราบเหนือฝ้าเพดานนั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย