บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับความร้อนที่ผ่านผนังที่มีคุณสมบัติและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารที่ต่างกัน ในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านผนังทึบและผนังโปร่งแสง รวมไปถึงการคำนวณภาระการทำความเย็น โดยจะแบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 แหล่งกำเนิดความร้อน

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็น

2.4 การลดความร้อนให้กับอาคาร

2.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งกำเนิดความร้อน

2.1.1 องค์ประกอบของรังสีดวงอาทิตย์

รังสีดวงอาทิตย์เป็นรังสีคลื่นสั้นที่ถูกส่งมาในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง ในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.1 ประกอบด้วย

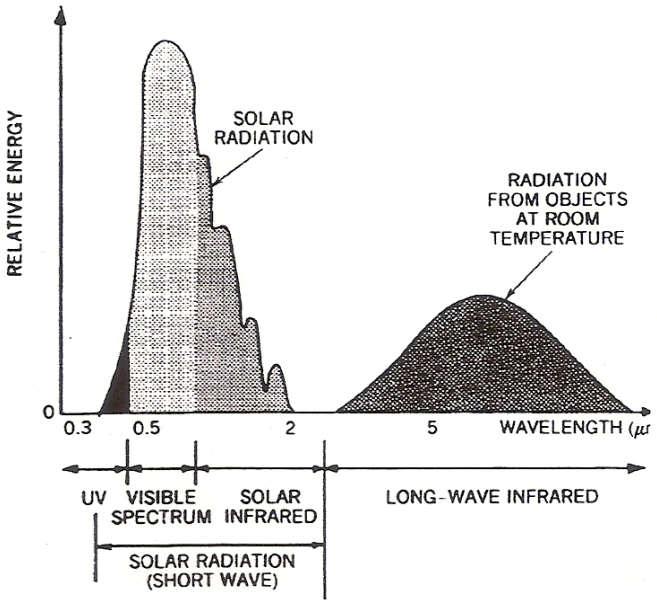
1) รังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือเป็นที่รู้จักในชื่อของรังสี UV มีความยาวคลื่นประมาณ 290 - 400 นาโนเมตร มีสัดส่วนประมาณ 9% ของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งรังสีนี้ทำให้วัตถุเสื่อมสภาพ และยังเป็นอันตรายต่อผิวหนังมนุษย์ ทำให้ผิวหนังไหม้เกรียม

2) แสงที่มองเห็น มีความยาวคลื่นประมาณ 400 - 700 นาโนเมตร มีสัดส่วนประมาณ 38% ของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด เป็นช่วงรังสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้

3) รังสีอินฟราเรด มีความยาวคลื่นประมาณ 700 - 3500 นาโนเมตร มีสัดส่วนประมาณ 53% ของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด โดยที่รังสีนี้จะอยู่ในรูปของความร้อน เมื่อกระทบกับวัตถุใด ๆ แล้วจะทำให้วัตถุนั้น ๆ มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น

ภาพที่ 2.1

กราฟแสดงช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ใน Electromagnetic Spectrum



ที่มา: Lechner, 2001, p. 43.

2.1.1 ประเภทของรังสีดวงอาทิตย์

การถ่ายเทพลังงานความร้อนส่วนใหญ่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังผิวโลก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกัน ดังนี้

1) รังสีตรง (direct radiation) เป็นรังสีคลื่นสั้นที่เคลื่อนผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นผิวโลก ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแสงสว่าง

2) รังสีกระจาย (diffuse radiation) เป็นรังสีคลื่นสั้นตกกระทบกับอนุภาคต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศและสะท้อนจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียง ซึ่งมีทิศทางที่ไม่แน่นอน

รังสีทั้งหมดที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนเกิดจากผลรวมของรังสีตรง และรังสีกระจาย เรียกว่ารังสีรวม ในช่วงเวลากลางวันเมื่อรังสีคลื่นรวมซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นตกกระทบกับวัตถุ หรือส่งผ่านวัตถุเข้าไป จะเปลี่ยนรูปเป็นรังสีคลื่นยาว ส่งผลให้วัตถุนั้น ๆ มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จึงมีการถ่ายเทความร้อนจากผิววัตถุที่อุณหภูมิสูงไปสู่ผิววัตถุที่อุณหภูมิต่ำกว่า

ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืน ท้องฟ้ามีอุณหภูมิที่ต่ำมาก ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียความร้อนของวัตถุให้แก่ท้องฟ้า (Night Sky Radiation) ในรูปของรังสีคลื่นยาว

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

2.2.1 คุณลักษณะทางด้านการถ่ายเทความร้อน

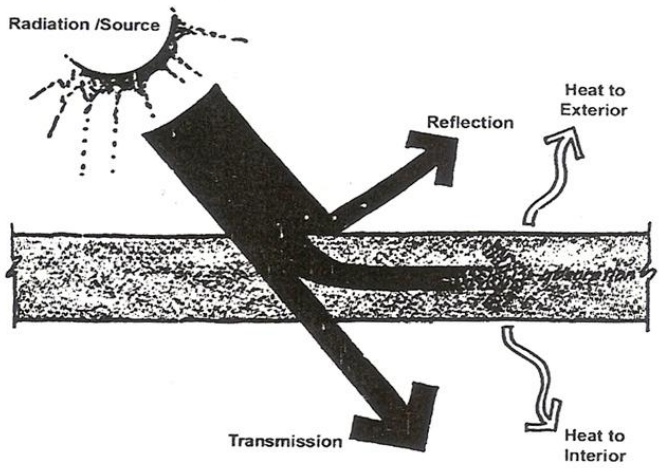
จากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) การถ่ายเทพลังงานความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ โดยแบ่งรูปแบบการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

1) การนำความร้อน (conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัตถุ โดยจะถ่ายเทจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

2) การพาความร้อน (convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านมวลของไหล เช่น ก๊าซ ของเหลว ต่าง ๆ โดยที่การพาความร้อนมักเกิดจากการเคลื่อนที่ของลม

3) การแผ่รังสีความร้อน (radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เมื่อรังสีตกกระทบกับวัตถุใด ๆ แล้ว จะเกิดพฤติกรรม 4 รูปแบบคือ การดูดซับรังสี (absorbtance) การสะท้อนรังสี (reflectance) การส่งผ่านรังสีความร้อนโดยตรง (transmittance) และการคายรังสี (emittance) ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ หากเป็นวัสดุทึบแสงจะไม่มีการทะลุผ่านของรังสี แต่รังสีส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนและกักเก็บความร้อนไว้ภายในตัววัสดุ ดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2
พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเมื่อรังสีความร้อนตกกระทบกับวัสดุใด ๆ



ที่มา: Moore, 1993, p. 15.

2.2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารส่วนหนึ่งเกิดจากความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางกรอบอาคาร ซึ่งประกอบด้วย หลังคา ผนัง พื้น โดยที่ในวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางผนังอาคาร สามารถแบ่งประเภทออกเป็นผนังทึบแสง และผนังโปร่งแสง มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

1) การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบแสง

ในกรณีผนังทึบ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารเกิดจากการนำความร้อนเท่านั้น ปริมาณความร้อนถ่ายเทมาจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายในวัสดุ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในวัสดุ ส่งผลให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามอุณหภูมิภายนอก และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง ผนังจะเกิดการคายความร้อนและการพาความร้อนสู่สภาวะแวดล้อม

การคำนวณหาความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทึบ ในการวิจัยนี้ได้อธิบายถึงวิธีการคำนวณวิธี Radiant Time Series (RTS) เป็นวิธีการคำนวณที่โปรแกรม eQUEST 3.63 ซึ่งเป็นเครื่องมือการทดลองนี้ใช้ในการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็น โดยสามารถคำนวณได้โดยสมการดังต่อไปนี้ (ASHRAE, 2005, p. 23.)

$$q_{i,q-n} = UA(t_{e,q-n} - t_{rc}) \qquad \text{(สมการ 2.1)}$$

เมื่อ $q_{i,q-n}$ = ปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายในผนังจากการนำความร้อน ในแต่ละชั่วโมง (Conductive heat input for the surface n hours ago), Watt หรือ Btu/h

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ, Watt/m^2.^{o}C หรือ Btu/h.ft^2.^{o}F

A = พื้นที่ของกรอบอาคาร ในกรณีนี้เป็นพื้นที่ของผนังทึบ, m^2 หรือ ft^2

$t_{e,q-n}$ = อุณหภูมิอากาศที่ผิวภายนอกของอาคาร (Sol-Air Temperature), ^{o}C หรือ ^{o}F

t_{rc} = ค่าสันนิษฐานอุณหภูมิห้องซึ่งเป็นอุณหภูมิคงที่ (presumed constant room air temperature), ^{o}C หรือ ^{o}F

จากสมการข้างต้น ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวภายนอกของอาคาร และภายในนั้นมีค่าไม่คงที่เนื่องจากสภาพภูมิอากาศ วัน เวลา เดือน สีของผนัง เป็นต้น ทำให้ความร้อนที่

$$q_q = c_0 q_{i,q} + c_1 q_{i,q-1} + c_2 q_{i,q-2} + c_3 q_{i,q-3} + \ldots + c_{23} q_{i,q-23} \quad \text{(สมการ 2.2)}$$

เมื่อ q_q = ปริมาณความร้อนจากการนำความร้อนรายชั่วโมง (Hourly conductive heat gain for the surface), Watt หรือ Btu/h

$q_{i,q}$ = ปริมาณความร้อนที่เข้ามา ณ ชั่วโมงปัจจุบัน (Heat input for the current hour)

$q_{i,q-n}$ = ปริมาณความร้อนที่เข้ามา ณ ชั่วโมงก่อนหน้า (Heat input n hour ago)

c_0, c_1, etc = ค่าถ่วงน้ำหนักของการนำความร้อน (conduction time factors)

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) และมวลสารของผนัง เนื่องจากมวลสารของผนังส่งผลให้เกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ความร้อนไม่สามารถถ่ายเทเข้ามาได้ในทันที เกิดการเลื่อนอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารออกไป ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป ดังนั้นวัสดุในแต่ละชนิดจึงมีค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าแตกต่างกัน

2) การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารเกิดจาก 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกมาจากการนำความร้อนเช่นเดียวกับผนังทึบ และอีกส่วนหนึ่งมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งมีทั้งรังสีตรง และรังสีกระจาย เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบกับผนังโปร่งแสงบางส่วนถูกสะท้อนออกมา บางส่วนถูกดูดซับไว้ภายในตัววัสดุ และบางส่วนส่งผ่านสู่ภายในอาคารโดยตรง ทำให้ผิววัสดุภายในอาคารมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น สะสมความร้อนบริเวณพื้นและผนังภายในของอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้น

การคำนวณหาความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังโปร่งแสงสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (ASHRAE, 2005, p. 14.)

$$q_b = AE_D SHGC(\theta) IAC \quad \text{(สมการ 2.3)}$$

$$q_d = A(E_d + E_r)(SHGC)_D IAC \quad \text{(สมการ 2.4)}$$

$$q_c = UA(t_{out} - t_{in}) \quad \text{(สมการ 2.5)}$$

$$Q = q_b + q_d + q_c \quad \text{(สมการ 2.6)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังโปร่งแสงทั้งหมด

q_b = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา เนื่องจากจากรังสีตรง (Direct beam solar heat gain), Watt หรือ Btu/h

q_d = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา ความร้อนจากรังสีกระจาย (Diffuse solar heat gain), Watt หรือ Btu/h

q_c = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา ความร้อนจากการนำความร้อน (Conductive heat gain), Watt หรือ Btu/h

A = พื้นที่ของกรอบอาคาร ในกรณีนี้เป็นพื้นที่ของผนังโปร่งแสง (m^2 หรือ ft^2)

E_D, E_d, E_r = ค่าการแผ่รังสีความร้อนตรง(direct irradiance) , ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายสะท้อนผ่านท้องฟ้า(diffuse irradiance), ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายผ่านสะท้อนผ่านพื้นดิน(ground-reflected irradiance)

$SHGC(\theta)$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ณ มุมตกกระทบที่ q (direct solar heat gain coefficient as a function of incident angle q)

$(SHGC)_D$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ อันเนื่องจากจากรังสีกระจาย (diffuse solar heat gain coefficient)

t_{in} = อุณหภูมิภายใน (^oC หรือ ^oF)

t_{out} = อุณหภูมิภายนอก (^oC หรือ ^oF)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Watt/$m^2.^oC$ หรือ Btu/h.$ft^2.^oF$)

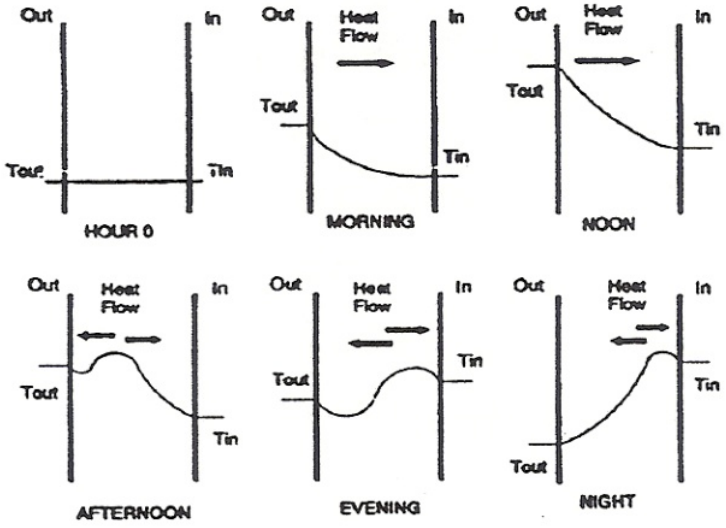
IAC = ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนของการบังเงาภายใน (inside shading attenuation coefficient), ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดภายใน

เมื่อพิจารณาจากสมการทั้งสมการคำนวณความร้อนที่มาจากการนำความร้อน และมาจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ จะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสงจะขึ้นอยู่กับ ค่า U-value และค่า SHGC ซึ่งค่าเหล่านี้มีค่าแตกต่างกันตามวัสดุ โดยที่ค่า SHGC ยิ่งน้อย ยิ่งเป็นการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร

2.2.3 **การหน่วงความร้อน** (Time Lag)

จากการศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ พบว่านอกจากค่า U-value แล้ว มวลสารถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลถึงความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ทำให้เกิดพฤติกรรมการหน่วงเหนี่ยวความร้อน จากการศึกษาการเกิดสภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในวัสดุ (Santamouris & Asimakopoulos, 1996) ได้อธิบายว่าแรกเริ่มอุณหภูมิภายในและภายนอกของอาคารมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเริ่มมีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายนอกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโดยการนำความร้อน เป็นสาเหตุให้อุณหภูมิภายในวัสดุมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่อในช่วงบ่ายและเย็น เมื่ออุณหภูมิภายนอกลดลง ความร้อนในผนังที่ถูกเก็บสะสมไว้ในช่วงวันจึงเกิดการถ่ายเท 2 ทาง ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3
พฤติกรรมการหน่วงเหนี่ยวความร้อนภายในมวลสาร



ที่มา : Santamouris & Asimakopoulos, 1996, p. 187.

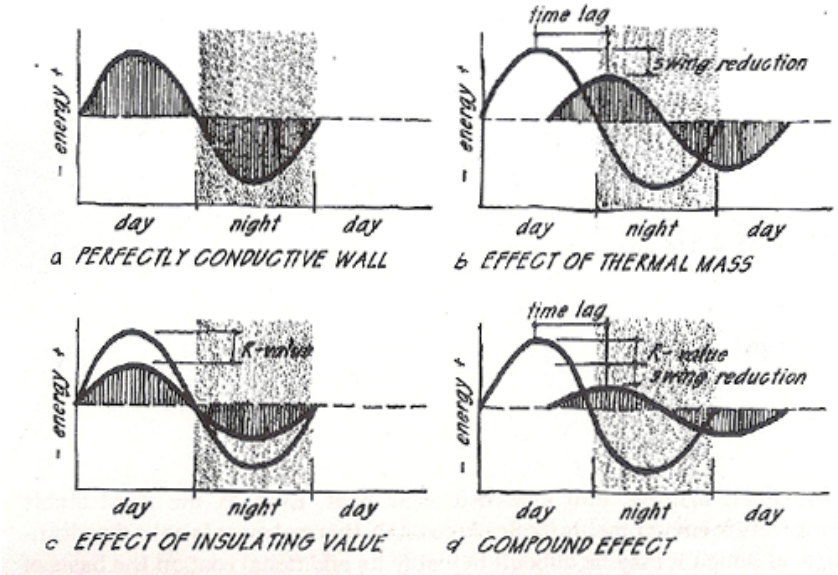
ประโยชน์ของการหน่วงเหนี่ยวความร้อน สามารถทำให้เกิดการเลื่อนของเวลาที่อุณหภูมิสูงสุดภายในอาคาร ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของภายนอก และภายในอาคาร ซึ่งการหน่วงเหนี่ยวของวัสดุมักขึ้นอยู่กับมวลสารของผนัง (Austral Bricks technical & engineering staff, 2006) ซึ่งวัสดุที่มีมวลสารต่างกัน ได้แก่ อิฐ ซึ่งเป็นมวลสารหนัก และไม้ซึ่งเป็นมวลสารเบา โดยวัสดุที่มีมวลมากจะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนมากกว่าวัสดุมวลเบา และมีการส่งผ่านความร้อนที่ช้ากว่าวัสดุมวลเบา เกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่นานกว่า

การหน่วงความร้อน นอกจากจะเป็นการเลื่อนอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารแล้ว ยังส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาเช่นกัน จากภาพที่ 2.4 จะเห็นว่า เมื่อวัสดุมีการหน่วงความร้อนจะมีความร้อนส่วนหนึ่งกลับออกสู่สภาวะแวดล้อมภายนอก ทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามามีปริมาณที่ลดลง โดยที่วัสดุมีมวลสารที่มาก สามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้นาน ปริมาณความร้อนที่กลับออกสู่ภายนอกจึงมีค่าสูงกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย และส่งผลให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามามีปริมาณที่น้อยกว่า

ดังนั้นอาจกล่าวสรุปได้ว่ามวลสารของวัสดุส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน 2 กรณีด้วยกัน กรณีแรกคือการเลื่อนอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารออกไป และอีกกรณีหนึ่งคือการลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา เนื่องจากการหน่วงความร้อน

ภาพที่ 2.4

อิทธิพลของมวลสารและความเป็นฉนวนที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในห้อง



ที่มา: Moors, 1993, p. 210.

2.2.4 **อุณหภูมิอากาศที่ผิวภายนอกของอาคาร** (Sol-air Temperature)

จากสมการ $q_{i,\ q\text{-}n} = UA(t_{e,\ q\text{-}n} - t_{rc})$ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายนอกบริเวณผิวของวัสดุส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน ซึ่งถ้าค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกสูง ยิ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยสามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิอากาศที่ผิวภายนอกของผนังอาคาร (Sol-air-Temperature) ได้จากสมการดังนี้ (ASHRAE, 2005, p. 22.)

$$t_e = t_0 + \frac{\alpha E_t}{h_0} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_0} \qquad \text{(สมการ 2.7)}$$

เมื่อ t_e = อุณหภูมิอากาศที่ผิวภายนอกของผนังอาคาร (sol-air temperature)

t_0 = อุณหภูมิของอากาศภายนอก

E_t = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด

α = สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ

h_0 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผิวรวมทั้ง long wave radiation และ convection ,มีค่าประมาณ 3 Btu/h.ft^{2}C

R = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า

ε = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว

จะเห็นได้ว่าตัวอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุแปรผันตรงกับอุณหภูมิภายนอก ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของผิววัสดุ และรังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด ดังนั้นหากค่าเหล่านี้มีค่ามากส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายนอกเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกมากขึ้นการถ่ายเทความร้อนจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.3 **การคำนวณภาระการทำความเย็น**

การคำนวณภาระการทำความเย็นการวิจัยนี้จะกล่าวถึงการคำนวณภาระการทำความเย็นในโปรแกรม eQUEST 3.63 เป็นการคำนวณวิธี Radiant Time Series (RTS) ซึ่งเป็น

วิธีการคำนวณที่ค่อนข้างแม่นยำ และมีความซับซ้อน สามารถแบ่งได้ออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน ได้แก่

1) การเปลี่ยนจากความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องปรับอากาศเป็นภาระการทำความเย็น (Calculating Loads from Heat Gains) มีการแบ่งขั้นตอนในการคำนวณออกเป็น 2 ขั้นตอน ด้วยกัน ในขั้นตอนแรก เป็นการคำนวณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านผนังทึบ และผนังโปร่งแสงในแต่ละชั่วโมง โดยใช้สมการที่ 2.1 – 2.5 ซึ่งความร้อนที่ผ่านเข้ามาส่วนหนึ่งเกิดการพาความร้อน (Convective Heat) ส่งผลกระทบกับอุณหภูมิอากาศในทันที กลายเป็นภาระการทำความเย็น และอีกส่วนหนึ่งถูกดูดซับเก็บไว้ภายในถูกเก็บสะสมไว้ภายในผนัง พื้น หรือเฟอร์นิเจอร์ (Radiant Heat) โดยมีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 และในขั้นตอนต่อไป ซอฟแวร์มีการใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factors) ของห้องมาใช้ในการคำนวณ เพื่อเปลี่ยนจากความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องปรับอากาศ (Heat Gain) ให้กลายเป็นภาระการทำความเย็น (Load) หรืออาจกล่าวได้ว่าความร้อนส่วนหนึ่งที่ถูกเก็บสะสมไว้ภายในผนัง พื้น หรือเฟอร์นิเจอร์ ทำให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในท้ายที่สุดความร้อนที่ถูกเก็บสะสมอยู่จะค่อย ๆ คายออกเป็นอุณหภูมิห้องโดยวิธีการพาความร้อน ดังภาพที่ 2.5 ดังนั้นค่าภาระการทำความเย็นจึงมีค่าที่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับมวลสารของเปลือกอาคาร หรืออีกนัยหนึ่ง ถ้าหากเปลือกอาคารไม่มีมวลสารปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาก็จะมีค่าเท่ากับภาระการทำความเย็น โดยการเปลี่ยนความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคาร ให้กลายเป็นภาระการทำความเย็น สามารถคำนวณโดยใช้สมการดังนี้ (ASHRAE, 2005, p. 23.)

$$Q_{r,\theta} = r_0 q_{r,\theta} + r_1 q_{r,\theta-1} + r_2 q_{r,\theta-2} + r_3 q_{r,\theta-3} + \ldots + r_{23} q_{r,\theta-23} \qquad \text{(สมการ 2.8)}$$

เมื่อ $Q_{r,\theta}$ = ภาระการทำความเย็น เนื่องจากการแผ่รังสี (Q_r) ณ ชั่วโมงปัจจุบัน (θ), Watt หรือ Btu/h

$r_0 q_{r,\theta}$ = ปริมาณความร้อนที่คายออกมาโดยการแผ่รังสีซึ่งเป็นความร้อนที่สะสมไว้ภายในผนัง พื้น หรือเฟอร์นิเจอร์ ณ ชั่วโมงปัจจุบัน (radiant heat gain for current hour), Watt หรือ Btu/h

$r_1 q_{r,\theta-1}$ = ปริมาณความร้อนที่คายออกมาโดยการแผ่รังสีซึ่งเป็นความร้อนที่สะสมไว้ภายในผนัง พื้น หรือเฟอร์นิเจอร์ ณ ชั่วโมงก่อนหน้า (radiant heat gain n hours ago), Watt หรือ Btu/h

$r_0, r_1, etc.$ = ค่าถ่วงน้ำหนักของการแผ่รังสี (radiant time factors)

ตารางที่ 2.1

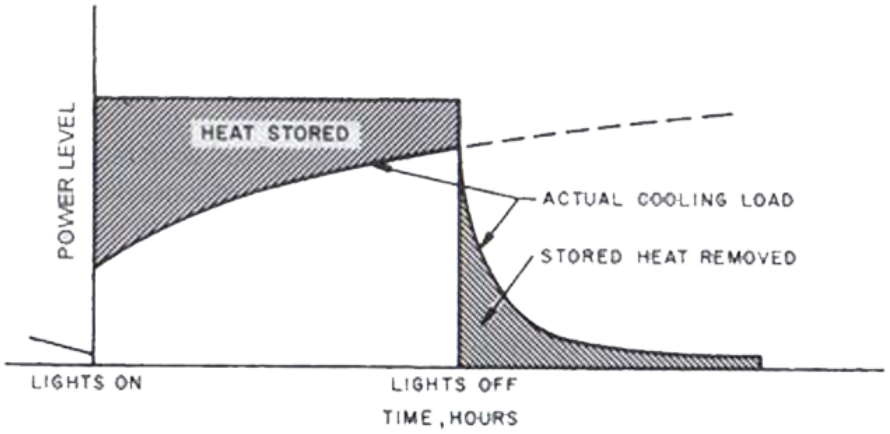
เปอร์เซ็นต์การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคาร

Heat Gain Source	Radiant Heat,%	Convective Heat, %
Transmitted solar, no inside shade	100	0
Window solar, with inside shade	63	37
Absorb (by fenestration) solar	63	37
Conduction, exterior wall	63	37

ที่มา: ASHREA, 2005, p. 22. (ดัดแปลงโดยผู้วิจัย)

ภาพที่ 2.5

อิทธิพลของการสะสมความร้อนที่มีผลต่อค่าภาระการทำความเย็น



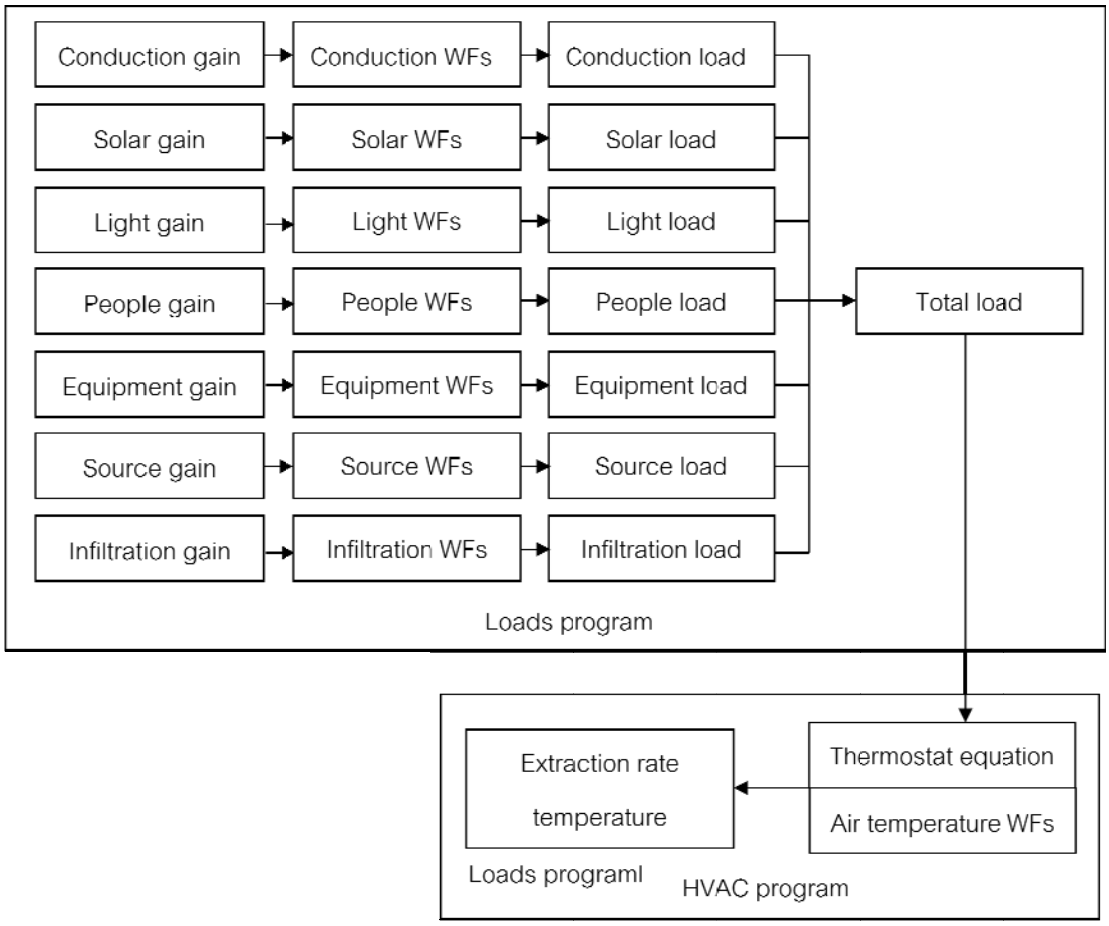
ที่มา: ASHREA, 2005, p. 2.

2) การคำนวณภาระการทำความเย็นจากอัตราการดึงความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (Calculating Loads from Extraction Rates load) ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ห้องปรับอากาศจากส่วนต่าง ๆ จะถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นภาระการทำความเย็นดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ค่าผลรวมทั้งหมดจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณในส่วนของระบบปรับอากาศ ซึ่งอาศัยการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของอากาศในการปรับค่าภาระการทำความเย็นให้สอดคล้องกับลักษณะของมวลสารของห้องนั้น ๆ ดังนั้นการคำนวณในส่วนของระบบปรับอากาศจะใช้อัตราในการดึงความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (Extraction Rates) ค่อย ๆ ลดอุณหภูมิอากาศ (ที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของมวลสารที่ต่างกัน)

จากขั้นต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การคำนวณภาระการทำความเย็นของโปรแกรม eQUEST จะมีอยู่ 3 กระบวนการใหญ่ ๆ โดยเริ่มจากความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องปรับอากาศ แปลงเป็นภาระการทำความเย็น และแปลงเป็นอัตราในการดึงความร้อนของเครื่องปรับอากาศในท้ายที่สุด ดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6

การคำนวณภาระการทำความเย็น ของโปรแกรม eQUEST



ที่มา: James J. Hirsch & Associates, 2009

ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของ ASHRAE และโปรแกรม eQUEST 3.63 ตรงที่ค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักของ ASHRAE จะถือว่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาถือเป็นภาระการทำความเย็นทั้งหมด แต่ค่าถ่วงน้ำหนักของโปรแกรม eQUEST

3.63 จะถือว่ามีความร้อนส่วนหนึ่งเกิดการนำความร้อนกลับออกประมาณ 10 – 30 % หรือมากกว่า ในกรณีที่ผนังนั้นมีความเป็นฉนวนและมีพื้นที่ช่องเปิดน้อย ซึ่งความร้อนในส่วนที่นำความร้อนกลับออกนี้ ไม่ส่งผลถึงภาระการทำความเย็น ดังนั้นหากเลือกใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของ ASHRAE จะส่งผลให้มีค่าภาระการทำความเย็นที่มากกว่าปกติ (James J. Hirsch & Associates, 2009)

2.4 การลดความร้อนให้กับอาคาร

รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่กระทบกับวัสดุเปลือกอาคารส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ดังนั้นหากสามารถลดการถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้ เป็นการประหยัดทั้งพลังงานและค่าใช้จ่าย จากการศึกษาการคำนวณภาระการทำความเย็น จะเห็นได้ว่าความร้อนที่ส่งผลกระทบภาระการทำความเย็นมาจากหลายส่วนด้วยกัน ซึ่งสอดคล้องกับสาระน่ารู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงาน (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2553) ซึ่งได้กล่าวถึงวิธีการลดความร้อนได้ดังต่อไปนี้

1) การลดปริมาณรังสีความร้อนที่จะผ่านเข้าทางกระจก

2) การลดการนำความร้อนผ่านผนังทึบผนังอาคาร

3) การลดการนำความร้อนผ่านหลังคา

4) การลดความร้อนจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร

5) การลดอัตราการรั่วซึมของอากาศเย็นออกภายนอกให้น้อยลง

6) การลดอัตราการระบายอากาศอาคารที่มีการปรับอากาศ

ซึ่งในการวิจัยฉบับนี้ได้มุ่งเน้นเฉพาะเรื่องของการลดปริมาณรังสีความร้อนที่จะผ่านเข้าทางกระจก และการลดการนำความร้อนผ่านผนังทึบผนังอาคารเท่านั้น

2.4.1 การลดปริมาณรังสีความร้อนที่จะผ่านเข้าทางกระจก

การลดปริมาณรังสีความร้อนที่จะผ่านเข้าทางกระจกหน้าต่างสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

1) การใช้อุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร เพื่อไม่ให้กระจกถูกแสงแดดโดยตรง ได้แก่ การติดตั้งผ้าใบ แผงครีบ กันสาด หรือปลูกต้น เป็นต้น และติดตั้งผ้าม่านหรือมู่ลี่บังแสงแดดภายในอาคาร เพื่อเป็นการป้องกันรังสีความร้อนทางอ้อม

2) การเลือกใช้กระจกที่สามารถป้องกันความร้อนได้ดี และยอมให้แสงเพื่อการมองเห็นผ่านได้มาก เช่น กระจกสะท้อนความร้อน (Heat Mirror) ซึ่งเป็นกระจกที่สามารถสะท้อนความร้อนได้ประมาณร้อยละ 60 เป็นต้น และควรหลีกเลี่ยงช่องแสงบนหลังคา (Skylight) เนื่องจากรังสีความร้อนที่ส่งผ่าน Skylight จะมากกว่าที่ผ่านเข้ามาทางผนังหรือหน้าต่างกระจก เพราะรับรังสีความร้อนอยู่ตลอดวัน

2.4.2 การลดการนำความร้อนผ่านผนังทึบผนังอาคาร

การลดปริมาณรังสีความร้อนผ่านผนังทึบอาคารสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

1) การติดตั้งฉนวนกันความร้อน ป้องกันความร้อนไม่ให้ผ่านเข้าสู่อาคาร

2) ทาสีด้านนอกของกำแพงหรือตัวอาคารด้วยสีอ่อน เช่น สีขาว สีครีม หรือใช้วัสดุที่มีผิวมันสีอ่อนทาสีอ่อนให้กับด้านนอกของอาคาร

3) การติดตั้งแผงกันแดด ให้กำแพงอยู่ในร่มเงาตลอดทั้งวัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกทำการศึกษาวิธีการลดความร้อนสะสม โดยการเปลี่ยนสีของผนัง การติดตั้งฉนวนกันความร้อน การติดตั้งแผงกันแดด และการเปลี่ยนชนิดกระจก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jinghua, Changzhi & Liwei (2008) ซึ่งได้ทำการศึกษาแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารประหยัดพลังงาน ในสภาพภูมิอากาศร้อนและหนาวในประเทศจีน โดยทำการศึกษาทั้งในเรื่องของการติดตั้งฉนวน การดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของผนังอาคาร สัดส่วนกระจก ชนิดของกระจก และชนิดของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด และการติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายใน เป็นวิธีการที่ช่วยการลดพลังงานในการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศได้มากที่สุด ซึ่งสามารถลดพลังงานลงได้ 11.31% และ 11.55% โดยที่กรณีอ้างอิง ไม่มีการใช้ฉนวนกันความร้อน มีสัดส่วนกระจกอยู่ที่ 30% ชนิดของกระจกเป็นกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร และไม่มีอุปกรณ์บังแดด

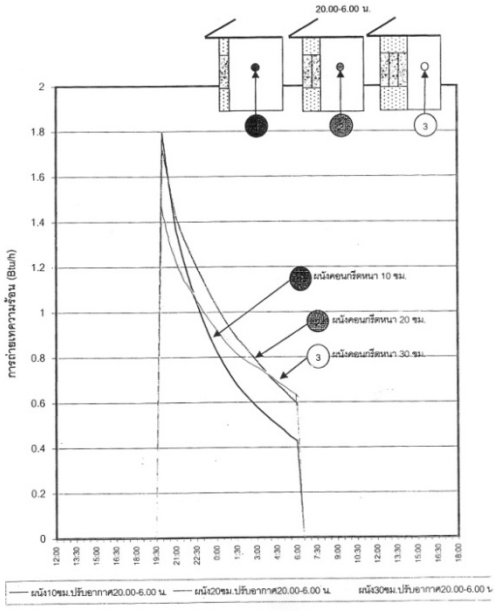
จากผลการวิจัยข้างต้น มีข้อสังเกตได้ว่าหากจำลองด้วยสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดยจำลองสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย ค่าการใช้พลังงานในแต่ละวิธีการลดความร้อนน่าจะมีค่าที่แตกต่างกัน

2.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ

ในปัจจุบันมีการศึกษามากมายเกี่ยวกับการการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ จากการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก (ณัฐกานต์ เกษประทุม, 2543) ได้ทำการศึกษาผนังคอนกรีต ที่ความหนาต่าง ๆ ผลที่ได้คือค่าการถ่ายเทความร้อนในสภาวะปรับอากาศช่วงกลางคืนของทุกผนัง จะมีค่าสูงสุดตั้งแต่เริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ และมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าสภาวะปรับอากาศ 24 ชั่วโมงตลอดทั้งคืน โดยที่คอนกรีตที่มีความหนาน้อยที่สุด จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดมากที่สุด และมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งคืนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับผนังคอนกรีตที่หนากว่า ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Bojic, Yik, Wan & Burnett (2000) พบว่าเมื่อเปลี่ยนผนังคอนกรีตจาก 10 เซนติเมตร เป็นคอนกรีต 30 เซนติเมตร ส่งผลให้ภาระการทำความเย็นสูงขึ้น 0.7% เนื่องจากการเพิ่มความหนาของผนังเป็นการเพิ่มความร้อนสะสมในตัวเนื้อวัสดุเอง

ภาพที่ 2.7
การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 เซนติเมตร
ในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 20.00 - 6.00 น.



ที่มา: ณัฐกานต์ เกษประทุม, 2543, p. 271.

เป็นฉนวนที่สูง ดังนั้นความร้อนที่ผ่านเข้ามาจึงน้อย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ได้แก่มวลสาร และ ค่า U-value

การศึกษาด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ จากการศึกษาได้มีการนำเอาหลักการนี้ไปเสนอการประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถเลือกใช้งานวัสดุได้เหมาะสมกับอาคารที่มีช่วงเวลาการใช้ที่แตกต่างกัน สำหรับอาคารที่มีการใช้งานในช่วงกลางคืน จำพวกอาคารที่พักอาศัยนั้น ควรใช้ผนังที่มีมวลสารน้อย เพราะผนังที่มีมวลสารน้อยจะมีปริมาณความร้อนที่เก็บสะสมในผนังน้อย ดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารจึงมีค่าที่น้อย

จากการศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วผนังอาคารไม่ได้มีส่วนประกอบของผนังทึบเท่านั้น ยังมีส่วนของผนังโปร่งแสงซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความร้อนภายในอาคาร จึงอาจจะไม่สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์จริงได้

2.5.2 **การลดการถ่ายเทความร้อน**

จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างสีผิววัสดุและการดูดกลืนรังสี (Givoni, 1998) สามารถสรุปได้ว่ายิ่งวัสดุมีสีเข้ม ความสามารถในการดูดกลืนความร้อนก็จะยิ่งสูงทำให้ความร้อนที่สะสมในวัสดุยิ่งมีค่ามาก ทำให้มีการคายรังสีที่มาก ในขณะที่สีอ่อนจะมีพฤติกรรมการสะท้อนแสงมากกว่าสีเข้ม ซึ่งผลมีลักษณะเช่นเดียวกับการวิจัยของ วันเอก กิจสมใจ (2539) และงานวิจัยของ สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล (2537) พบว่าในช่วงเวลาที่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ วัสดุสีเข้มจะมีอุณหภูมิภายนอกสูงกว่าวัสดุสีอ่อนตลอดเวลา ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร โดยที่อิทธิพลของสีจะน้อยลง เมื่อวัสดุมีค่า U-value ต่ำ

จากการศึกษาการติดตั้งฉนวนกันความร้อน พบว่าการเพิ่มฉนวนให้ผนังอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาวะภูมิอากาศร้อนชื้นและมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในช่วงเย็นนั้น ไม่ได้เป็นการ

่อเมื่อผนังคอนกรีตต้องมีความหนาอยู่ที่ประมาณ 25 เซนติเมตร (Bojic, Yik, Wan & Burnett, 2000) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาตำแหน่งในการติดตั้งฉนวน โดยศึกษาอิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน จากการศึกษาพบว่า กรณีที่มีการปรับอากาศ 24 ชั่วโมง การเลือกใช้ฉนวนไว้ภายนอก เป็นรูปแบบที่เหมาะสม เนื่องจากหน่วงความร้อนได้นานกว่า (รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ, 2543) ในขณะที่ช่วงเวลากลางวัน การติดตั้งฉนวนไว้ภายนอกมีภาระการการทำความเย็นที่ต่ำกว่ากรณีที่ติดตั้งฉนวนไว้ภายใน แต่สำหรับอาคารที่มีการใช้งานกลางคืน กลับมีลักษณะในทางกลับกัน การติดตั้งฉนวนไว้ภายในเป็นการประหยัดพลังงานได้มากกว่า (Yongfei, Zehua & Gang, 2006) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้เลือกตำแหน่งในติดตั้งฉนวน ภายในเท่านั้น

จากการศึกษาการติดตั้งแผงกันแดด (สุนทร บุญญาธิการ, 2545) พบว่าถ้าไม่มีการติดตั้งแผงกันแดดผนังกระจกใสในทางทิศใต้ความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคารมีมากกว่า 631 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือประมาณ 200 บีทียูต่อตารางฟุตต่อชั่วโมง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการป้องการความร้อนไม่ให้กระจกใสจึงเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการติดตั้งแผงกันแดดเฉพาะบริเวณผนังโปร่งแสง

จากการศึกษางานวิจัยการพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว และการพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในทาวน์เฮ้าส์ (อรรจน์ เศรษฐบุตร และธนิต จินดาวนิค, 2550 และ 2551) โดยทำการทดลองโดยการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1E ซึ่งการวิจัยทั้งสองมีผลการทดลองไปในแนวทางเดียวกัน พบว่าในวัสดุผนัง และกระจกชนิดเดียวกัน เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพิ่มมากขึ้น พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นประสิทธิภาพการกันความร้อนของวัสดุกระจกจึงมีความจำเป็นมาก โดยจากการทดลองพบว่ากระจกสะท้อนแสง เป็นการลดค่าการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศสูงที่สุด ในขณะที่การติดตั้งวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวน กลับเป็นการเพิ่มค่าการใช้พลังงานในบางกรณีเท่านั้น แต่เมื่อมีการใช้ผนังที่มีความเป็นฉนวน และติดตั้งกระจกที่มีการป้องกันความร้อนได้ดี กลับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าการใช้พลังงานปรับอากาศได้ แต่ในการวิจัยทั้ง 2 งานวิจัยนี้ได้ทำการเปลี่ยนเฉพาะวัสดุอาคารเท่านั้น ยังไม่ได้ศึกษาครอบคลุมถึงการเปลี่ยนสีของผนัง และการติดตั้งแผงกันแดด ว่าส่งผลกระทบอย่างไรในอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืน