

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

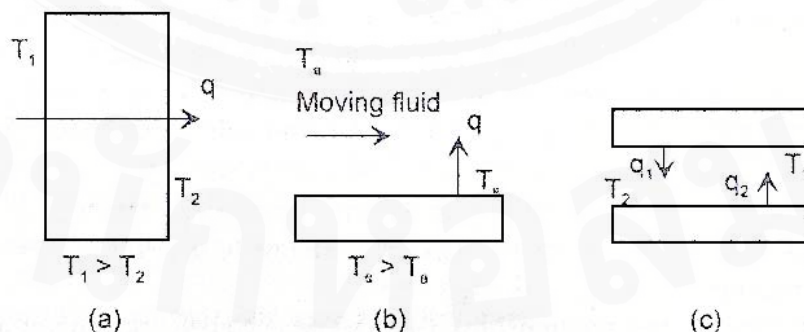
2.1 ทฤษฎีที่สำคัญที่เกี่ยวกับความร้อน

2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน

โดยทั่วไปการถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ทาง คือ การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ในบางโอกาสจะเรียกการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้ว่า mode of heat transfer ดังภาพที่ 2.1 ที่แสดงความแตกต่างของการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 ทาง ซึ่งการถ่ายเทความร้อนไม่ได้จำกัดว่าจะต้องเกิดขึ้นโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ในบางกรณีสามารถเกิดการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบพร้อมกันได้ และเกิดการถ่ายเทความร้อนจากจุดที่อุณหภูมิสูงไปสู่จุดที่อุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ โดยมีรายละเอียดของการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 ทาง ดังนี้

ภาพที่ 2.1

การถ่ายเทความร้อน (a) การนำความร้อนผ่านวัตถุแข็ง (b) การพาความร้อนของพื้นผิวกับของไหล และ (c) การแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิว



ที่มา: Dincer, I., 2001.

1. การนำความร้อน (conduction heat transfer) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากส่วนหนึ่งของวัสดุไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของวัสดุชนิดเดียวกัน หรือสู่วัตถุอื่นด้วยการสัมผัสทางกายภาพ โดยไม่มีการแทนที่ของโมเลกุลของมวลสาร ได้แก่ ในวัตถุที่มีสถานะเป็นของแข็ง การถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุจากส่วนที่ร้อนสู่ส่วนที่เย็นกว่า การนำความร้อนเป็นส่วนหนึ่งของผลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุล และการแผ่รังสีภายใน ซึ่งถ้าพิจารณาในกรณีของวัสดุที่เป็นโลหะจะมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุลร่วมด้วย ทำให้สามารถนำความร้อนภายในวัตถุได้ดี และในทางกลับกันก็สามารถระบายความร้อนออกได้ดีเช่นกัน การถ่ายโอนของอิเล็กตรอนเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อน และการนำไฟฟ้าในวัสดุจำพวกโลหะได้ โดยที่ค่าการนำความร้อนสูงจะแปรผันตรงกับค่าการนำไฟฟ้า

กฎการนำความร้อน Fourier's Law of Heat conduction (Joseph Fourier, 1822 อ้างถึงใน Dincer, I., 2001) เป็นกฎเกี่ยวกับอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งเนื้อเดียวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัด และส่วนต่างของอุณหภูมิที่ส่งผ่านวัตถุกับระยะของการถ่ายเทความร้อน (dT/dx) ดังภาพที่ 2.2 ที่แสดงลักษณะของกฎการนำความร้อนของ Fourier ที่เกิดกับวัตถุแผ่นบางที่มีความหนาเป็น dx และมีพื้นที่ผิว A ที่มีอุณหภูมิด้านหนึ่งเป็น T และด้านที่อุณหภูมิต่ำกว่าเป็น $(T-dT)$ ตั้งแต่เริ่มมีการถ่ายเทความร้อนจากด้านที่อุณหภูมิสูงสู่ด้านอุณหภูมิต่ำกว่าจนถึงช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการถ่ายเทความร้อนที่ dT ได้ผลเป็นสมการการถ่ายเทความร้อน ดังสมการที่ 2.1

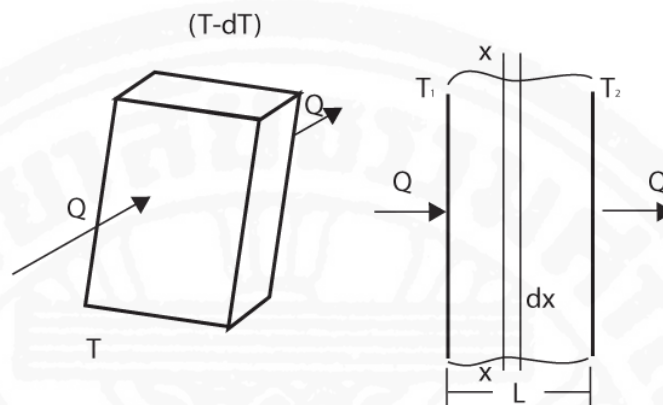
$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

ซึ่งอยู่ในรูปของค่าการนำความร้อน (thermal conductivity, k) การนำความร้อนของวัตถุเป็นค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลา เมื่ออุณหภูมิลดลงหนึ่งองศาในหนึ่งหน่วยระยะทาง ซึ่งมีหน่วยเป็น $W/m^{\circ}C$ หรือ W/mK เมื่อนำมาประยุกต์แทนค่าด้วย T_1 , T_2 และ L จะได้ผลลัพธ์ดังสมการที่ 2.2 จะได้เป็นสมการในการหาค่าการนำความร้อนเมื่อทราบอุณหภูมิ

$$Q = k \frac{A}{L} (T_1 - T_2) \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

ภาพที่ 2.2

การนำความร้อนผ่านวัตถุที่เป็นแผ่นแบน



ที่มา: Dincer, I., 2001.

2. การพาความร้อน (convection heat transfer) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในของไหลเมื่อมีสัมผัสส่วนหนึ่งของของไหลนั้นกับสารอื่นที่มีอุณหภูมิที่ต่างกัน การพาความร้อนสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการไหล โดยเมื่อของไหลมีการไหลที่มีผลมาจากอิทธิพลมาจากสิ่งอื่นที่ควบคุม เช่น พัดลม ปั๊ม กระแสลม เป็นต้น เรียกโดยรวมว่า การพาความร้อนภายใต้ อิทธิพล (forced convection) และในรูปแบบที่ไม่มีอิทธิพลจากสิ่งอื่น เรียกว่า การพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection) ที่การไหลมีผลมาจาก buoyancy force ภายในของไหลนั้น โดยเกิดขึ้นจากผลของค่าต่างของความหนาแน่น และอุณหภูมิภายในของไหล ดังตัวอย่างเช่น วัตถุร้อนสัมผัสกับอากาศจะเกิดการพาความร้อนตามธรรมชาติ ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนในของแข็งจะเป็นการนำความร้อน แต่เมื่อของแข็งนั้นสัมผัส และมีการถ่ายเทความร้อนกับของไหล เช่น อากาศ หรือน้ำจะเกิดการพาความร้อน ในของไหลแท้จริงแล้วจะมีส่วนร่วมของการนำความร้อนอยู่เช่นเดียวกับของแข็ง แต่จะมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการพาความร้อน

กฎการเย็นตัว Newton's Cooling Law (Newton, Isaac, 1679 อ้างถึงใน Dincer, I., 2001) เป็นกฎที่ว่าด้วยลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากผิววัตถุของแข็งสู่ของไหล โดยอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัส และอุณหภูมิของไหล ในลักษณะของการพาความร้อนตามธรรมชาติ สร้างเป็นสมการได้ ดังสมการที่ 2.3

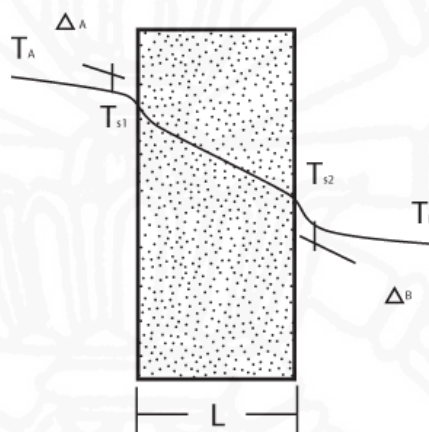
$$Q = hA(T_s - T_f)$$

สมการที่ 2.3

เมื่อ h มีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convection heat transfer coefficient) เป็นค่าที่ครอบคลุมถึงปัจจัยทุกอย่างที่มีผลต่อการพาความร้อน เช่น ลักษณะพื้นผิว อุณหภูมิ คุณสมบัติทางกายภาพ การเคลื่อนที่ของไหลตามธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม เพื่อให้เข้าใจในกฎของ Newton ได้ดียิ่งขึ้น จึงกำหนดแบบจำลองขึ้นมาเป็นตัวอย่าง โดยมีการถ่ายเทความร้อนผ่านของไหล A ที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ของไหล B ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยผ่านผนังความหนา x ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3

ลักษณะผนังที่มีการพาความร้อนเกิดขึ้นทั้ง 2 ด้านของผนัง



ที่มา: Dincer, I., 2001.

โดยที่ของไหล A อุณหภูมิลดลงจาก T_A เป็น T_{s1} เช่นเดียวกับที่ของไหล B อุณหภูมิสูงขึ้นจาก T_{s2} เป็น T_B การถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ จากของไหล A สู่ผนัง และผนังสู่ของไหล B เป็น ดังสมการที่ 2.4 และ 2.5

$$q = h(T_A - T_{s1}) \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

$$q = h(T_{s2} - T_B) \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

เช่นเดียวกับการนำความร้อนในฟิล์มที่ผิวผนังสามารถหาได้จากสมการที่ 2.6 และ 2.7

$$q = \frac{k_A}{\Delta_A} (T_A - T_{s1}) \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

$$q = \frac{k_B}{\Delta_B} (T_{s2} - T_B) \quad \text{สมการที่ 2.7}$$

เมื่อนำสมการข้างต้นมาคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน พบว่า มีค่า

$$h_A = \frac{k_A}{\Delta_A}, h_B = \frac{k_B}{\Delta_B} \quad \text{ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนในหนึ่งหน่วยพื้นที่มีค่า ดังสมการที่ 2.8}$$

$$q = \frac{k}{L} (T_{s1} - T_{s2}) \quad \text{สมการที่ 2.8}$$

ในสภาวะคงที่ ค่าการถ่ายเทความร้อนในสมการที่ 2.3 2.4 และ 2.5 จะมีค่าเท่ากัน ดังสมการที่ 2.9

$$q = h_A(T_A - T_{s1}) = h_B(T_{s2} - T_B) = k/L(T_{s1} - T_{s2}) \quad \text{สมการที่ 2.9}$$

$$q = \frac{(T_A - T_B)}{(1/h_A + L/k + 1/h_B)} \quad \text{สมการที่ 2.10}$$

เมื่อนำเอาสมการที่ 2.3 มาใช้ร่วมกับสมการที่ 2.10 จะได้สมการที่ 2.11

$$Q = HA (T_A - T_B) \quad \text{สมการที่ 2.11}$$

เมื่อ $H = (1/h_A) + (L/k) + (1/h_B)$ และ H คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (the overall heat transfer coefficient) ที่ใช้ในกรณีที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่ใช้หลายค่า

3. การแผ่รังสีความร้อน (radiation heat transfer) วัตถุจะแผ่รังสีออกมาในทุกทิศทางตลอดเวลา ถ้าวัตถุนั้นไม่ได้มีอุณหภูมิที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์ โดยการถ่ายเทความร้อนผ่านการแผ่รังสีความร้อนจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีวัตถุตั้งแต่ 2 ชิ้นที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันอยู่ในขอบเขตเดียวกัน การแผ่รังสีความร้อนจะเกิดจากวัตถุที่มีค่าอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่วัตถุที่อุณหภูมิต่ำกว่า ในกรณีที่มีของไหลเป็นตัวกลางระหว่างวัตถุทั้ง 2 ก็ยังคงสามารถแผ่รังสีความร้อนได้ เนื่องจากของไหลโดยมากจะมีค่าการดูดกลืนรังสีอยู่ในช่วงความถี่ที่คงที่ และความถี่ของคลื่นรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตถุที่มีสถานะเป็นของแข็งจะมีความถี่เกินกว่าที่ของไหลจะดูดกลืนได้ทั้งหมด ซึ่งการแผ่รังสีความร้อนวัตถุที่รับมีรูปแบบของพลังงานที่ได้รับออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ถูกดูดกลืน ส่วนที่ถูกสะท้อน และส่วนที่มีการส่งผ่านต่อสู่วัตถุอื่น เรียกค่าที่เกิดขึ้นนี้ว่า ค่าการดูดกลืน (absorptivity: a) ค่าการสะท้อน (reflectivity: r) และค่าการส่งผ่าน (transmittivity: t) โดยที่ $a + r + t = 1$ และสำหรับวัตถุที่เป็นของแข็ง และของเหลวค่าการส่งผ่านมีค่าน้อยมากทำให้ $a + r = 1$ และในวัตถุดำค่าการดูดกลืนจะมีค่าสูงมากดังนั้น $a = 1$ และ $r = 0$

กฎ The Stefan-Boltzmann Law (Stefan, Joseph, 1879 อ้างถึงใน Dincer, I., 2001) เป็นกฎที่เกิดจากการทดลองโดย Stefan และพิสูจน์เป็นกฎโดย Boltzmann ที่ว่าด้วยค่าการแผ่รังสีของวัตถุดำที่แปรผันโดยตรงกับกำลัง 4 ของอุณหภูมิของวัตถุนั้น โดยเป็นการแผ่รังสีในทุกทิศทาง และทุกความถี่ ดังสมการที่ 2.12

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad \text{สมการที่ 2.12}$$

เมื่อ σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann มีค่าเท่ากับ $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$, T_s เป็นค่าสัมบูรณ์ของอุณหภูมิผิว เมื่อนำไปปรับใช้จะได้ค่าการแผ่รังสีของวัตถุที่ไม่เป็นวัตถุดำ ดังสมการที่ 2.13

$$E_b = \epsilon \sigma T_s^4 \quad \text{สมการที่ 2.13}$$

หาค่าการแผ่รังสีความร้อนจากผิววัตถุไปสู่สิ่งแวดล้อมในหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้ดังสมการที่ 2.14

$$E_b = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{สมการที่ 2.14}$$

2.1.2 คุณสมบัติของวัสดุทึบตัน (Opaque Materials)

1. ค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistance) เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการถ่ายเทความร้อนหรือลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ โดยวัสดุที่มีค่าความต้านทานสูงจะมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนไปด้วย ในการหาความต้านทานความร้อนจะมีลักษณะเดียวกันกับความต้านทานไฟฟ้า โดยความต่างของอุณหภูมิเปรียบได้กับค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (voltage) ดังนั้นการคำนวณหาความต้านทานจะใช้กฎของ Ohm (Ohm, Georg, 1827 อ้างถึงใน Dincer, I., 2001) ในการคำนวณเช่นเดียวกับความต้านทานไฟฟ้า ดังสมการที่ 2.15 และ 2.16 ในชุดของการคำนวณหาความต้านทานสามารถเขียนอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งใช้ในการคำนวณสำหรับผนังที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

$$R_{t,cd} = \frac{(T_1 - T_2)}{Q_{cd}} = \frac{L}{kA} \quad \text{สมการที่ 2.15}$$

$$R_e = \frac{(E_1 - E_2)}{I} = \frac{L}{\sigma A} \quad \text{สมการที่ 2.16}$$

2. ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่บ่งบอกถึงความสามารถในการส่งผ่านความร้อนหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ หากวัสดุมีค่าการนำความร้อนสูงแสดงถึงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุนั้นสูงตามไปด้วย ค่าการนำความร้อนเป็นค่าพลังงานในระยะเวลาหนึ่งผ่านวัสดุที่มีพื้นที่ผิวและความหนาทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น โดยจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดและอุณหภูมิ ค่าการนำความร้อนสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของการนำความร้อน และความต้านทานความร้อน ดังสมการที่ 2.17

$$C = \frac{1}{R} = \frac{k}{\Delta x} \quad \text{สมการที่ 2.17}$$

3. ค่าความจุความร้อน (heat capacity) คือ ปริมาณความร้อนที่สามารถทำให้วัสดุในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่พื้นที่ผิวหนึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 หน่วย เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการรักษาระดับอุณหภูมิของวัสดุหรือปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำให้วัสดุร้อนขึ้น หากค่าความจุความร้อนมีค่า

สูงแสดงถึงการให้พลังงานในปริมาณสูงในการทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำเป็นวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนที่สูงมาก แต่จัดอยู่ในประเภทของวัสดุที่มีมวลสารระดับกลางเท่านั้น ดังตารางที่ 2.1 ค่าความจุความร้อนสามารถหาได้ ดังสมการที่ 2.18

$$H = \rho s \text{ หรือ } H = mC_p \Delta T \quad \text{สมการที่ 2.18}$$

ตารางที่ 2.1

ค่าความจุความร้อนของวัสดุในหนึ่งหน่วยปริมาตร

วัสดุ	ค่าความจุความร้อนในหนึ่งหน่วยปริมาตร (BTU/ft ³ F)
น้ำ (water)	62.40
เหล็ก (steel)	59.00
ไม้ (wood)	26.00
อิฐ (brick)	25.00
คอนกรีต (concrete stone)	22.00
ฉนวนโฟม (foam insulation)	1.00
อากาศ (air)	0.02

ที่มา: Lechner, Norbert, 1991.

4. ค่าการแพร่กระจายความร้อน (thermal diffusivity) ค่าการแพร่กระจายความร้อน คือ อัตราส่วนของสภาพการนำความร้อนต่อความจุความร้อนในเชิงปริมาตร (volumetric thermal diffusivity) คิดเป็นสัดส่วนของความหนาแน่นกำลัง 2 ต่อเวลา หากคิดเป็นส่วนกลับของการแพร่กระจายความร้อนจะได้เป็นค่าการให้หรือรับความร้อน (heating time) คือเวลาที่ให้ความร้อนจนวัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง ดังนั้น วัสดุที่มีค่าการแพร่กระจายความร้อนสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระยะเวลาที่สั้น การหาค่าการแพร่กระจายความร้อนสามารถหาได้จากสมการที่ 2.19

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad \text{สมการที่ 2.19}$$

5. ระยะเวลาการหน่วงความร้อน (time lag) หากกำหนดให้ด้านหนึ่งของผนังมีอุณหภูมิสูงกว่าอีกด้าน ด้านที่มีความร้อนสูงกว่าจะถ่ายเทความร้อนไปหาด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า แต่อุณหภูมิในด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไม่สูงขึ้นทันที แต่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในระยะเวลาหนึ่ง จนถึงจุดอิ่มตัว (fill up the heat capacity) ปรากฏการณ์การชะลอตัวของการถ่ายเทความร้อนนี้ เรียกว่า การหน่วงความร้อน (thermal lag) พบว่า เมื่อถึงจุดหนึ่งที่ปริมาตรความจุความร้อนของวัสดุมีการรับความร้อนจนเต็มความจุจนถึงจุดที่อุณหภูมิภายในถึงสภาวะสมดุลไม่เกิดการหน่วงความร้อนต่อไประยะเวลาที่เกิดขึ้นคือ ระยะเวลาการหน่วงความร้อน

การหน่วงความร้อนมีการนำไปใช้กันมากในอาคารในแถบภูมิอากาศเขตร้อนแห้ง (hot and dry climate) ที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างวันสูง (temperature swing) เช่น ในภูมิประเทศที่เป็นทะเลทราย เป็นต้น ด้วยความต้องการลดปริมาณความร้อนในเวลากลางวัน และต้องการความอบอุ่นในเวลากลางคืน ผนังที่สามารถหน่วงความร้อนได้ดีที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนในเวลากลางวัน และคายความร้อนในเวลากลางคืนเป็นคำตอบในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.2

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและระยะเวลาการหน่วงความร้อนของวัสดุ

วัสดุ	ความหนา (นิ้ว)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W/m^2C)	ระยะเวลาการหน่วงความร้อน (นาที)
อิฐ	4.0	0.61	150
	8.0	0.41	330
	12.0	0.31	510
คอนกรีต	4.0	0.85	150
	8.0	0.67	300
	12.0	0.55	480
แผ่นฉนวน	2.0	0.16	40
	4.0	0.09	180
ไม้	0.5	0.68	10
	1.0	0.47	25
	2.0	0.30	60

ที่มา: Lechner, Norbert, 1991.

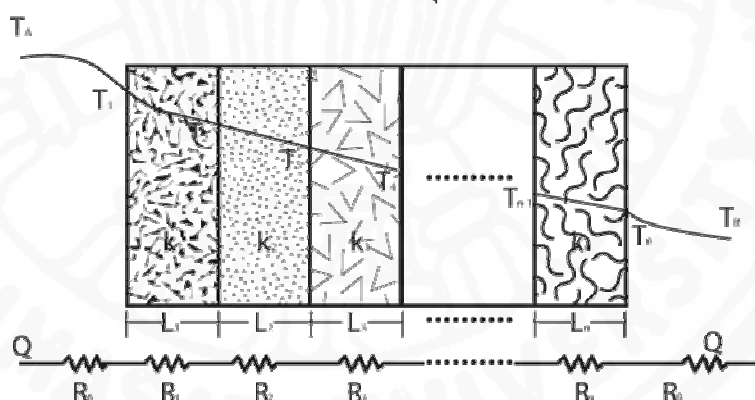
2.1.3 ผนังที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด (Composite Wall)

ในบางกรณีมีการใช้ผนังเพื่อจุดมุ่งหมายพิเศษ เช่น ผนังเก็บพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ผนังเก็บความเย็น เป็นต้น ดังนั้น จึงต้องมีการใช้วัสดุหลายชนิดเพื่อให้ผนังที่ได้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยทั่วไปลักษณะของผนังประกอบ ดังภาพที่ 2.4 ที่ระบบต่อแบบขนานด้วยวัสดุหลายชนิดที่มีค่าความต้านทานที่ต่างกัน ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับค่าความต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก และค่าความต้านทานของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของผนัง ดังสมการที่ 2.20

$$Q = \frac{(T_A - T_1)}{(1/h_1 A)} = \frac{(T_1 - T_2)}{(1/k_1 A)} = \dots = \frac{(T_n - T_B)}{(1/h_B A)} \quad \text{สมการที่ 2.20}$$

ภาพที่ 2.4

ผนังประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด



ที่มา : Dincer, I., 2001.

สามารถเขียนสมการอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ ดังสมการที่ 2.21

$$Q = \frac{(T_A - T_B)}{\sum R_t} = \frac{\Delta T}{\sum R_t} \quad \text{สมการที่ 2.21}$$

เมื่อ $\sum R_t = R_{t,t} = \frac{l}{HA}$ ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าดัง

สมการที่ 2.22

$$H = \frac{l}{R_{t,t} A} = \frac{l}{(1/h_1 + L_1/k_1 + \dots + 1/h_B)} \quad \text{สมการที่ 2.22}$$

2.1.4 สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort)

คำจำกัดความของสภาวะน่าสบาย หมายถึง สภาวะที่คนไม่รู้สึกหรือไม่สามารถรับรู้ได้ว่าร่างกายสูญเสียความร้อนหรือได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อม แสดงถึงลักษณะสมดุลระหว่างร่างกายกับสิ่งแวดล้อม โดยจะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล จึงสามารถกำหนดค่าสิ่งที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายได้เป็นช่วงกว้าง ๆ ซึ่งมีตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายอยู่ 6 ตัวแปร คือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย และค่าเสื้อผ้าที่สวมใส่

1. อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature) เป็นปัจจัยหลักในการสร้างสภาวะน่าสบาย อุณหภูมิอากาศที่จัดอยู่ในเขตสภาวะน่าสบายมีค่าประมาณ 22.2- 26.6 องศาเซลเซียส ตามกำหนดของ ASHRAE (1989) หากอุณหภูมิของอากาศมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่านี้ จำเป็นต้องจัดการทำความเย็นหรือความร้อนเพิ่มเติม เพื่อให้ทำให้อุณหภูมิอากาศกลับเข้าสู่เขตสภาวะน่าสบาย

2. อุณหภูมิผิวโดยรอบ (mean radiant temperature) หรือการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายอย่างมาก โดยหากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมลดลง 1 องศาเซลเซียส จะทำให้รู้สึกเย็นลง 1.4 องศาเซลเซียส หากสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนจากวัสดุนั้นส่งผลให้วัสดุอื่น ๆ โดยรอบได้รับรังสีความร้อนและจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น การคิดการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยของการแผ่รังสีความร้อนโดยรวมจากสิ่งแวดล้อม ดังสมการที่ 2.23

$$MRT = \frac{\sum T\phi}{360} \quad \text{สมการที่ 2.23}$$

3. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงในขณะนั้นกับปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ การมีปริมาณความชื้นในอากาศน้อยในสภาวะอากาศร้อนการเพิ่มความชื้นในอากาศจะช่วยให้เข้าสู่เขตสภาวะน่าสบายได้ แต่หากมีปริมาณความชื้นที่สูงเกินไปจะส่งผลให้การระเหยของเหงื่อที่ผิวหนังลดลง ซึ่งส่งผลให้รู้สึกร้อน และไม่สบายตัวได้เช่นกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่อยู่ในสภาวะน่าสบายนั้นมีค่าอยู่ที่ 20 - 80 เปอร์เซ็นต์

4. ความเร็วลม (wind speed) เป็นปัจจัยที่มีผลสภาวะน่าสบายเนื่องจากกระแสลมสามารถพัดเอาความร้อนที่อยู่รอบตัวออกไป และยังพัดพาเอาความชื้นที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของร่างกายออกไป ซึ่งช่วยให้มีการระเหยของเหงื่อเร็วขึ้น ทำให้รู้สึกเย็นจากการที่น้ำจะดูดพลังงานจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นไอ โดยการเพิ่มความเร็วลม 0.2 เมตรต่อวินาที ทำให้รู้สึกเย็นลง 1.1 องศาเซลเซียส

5. อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (metabolism rate) ร่างกายจะมีการเผาผลาญพลังงานตลอดทั้งวันเพื่อเป็นพลังงานในการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งจะมีอัตราในการเผาผลาญพลังงานที่ต่างกันไปตามกิจกรรมที่ทำและลักษณะร่างกาย โดยปกติอุณหภูมิร่างกายจะถูกควบคุมให้มีค่าไม่เกิน 37 องศาเซลเซียส หากร่างกายมีอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีการรักษาสมดุลทางความร้อนจากการขับเหงื่อช่วยในการระบายความร้อนจากการระเหยของเหงื่อ และจากการหายใจเข้าออก

6. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (cloth-value) เป็นปัจจัยเสริมจากร่างกายเป็นได้ทั้งส่วนของการเพิ่มความร้อนในร่างกาย โดยหากสวมใส่เสื้อผ้าที่หนาจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนของร่างกายสู่สิ่งแวดล้อมทำให้ร่างกายอบอุ่นขึ้น และการลดหรือสูญเสียความร้อนในร่างกาย โดยหากสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงการสวมเสื้อที่บางทำให้ผิวมีโอกาสระบายความร้อนเกิดการระเหยของเหงื่อช่วยลดอุณหภูมิในร่างกาย

2.1.5 การควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ผนังอาคาร (Moisture Condensation on Wall Surface)

ภูมิประเทศในเขตนานเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการควบแน่นของความชื้นที่ผิวผนังสูง เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวอุณหภูมิภายนอกอาคารจะลดต่ำลงโดยมากจะมีค่าต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (dew point) ที่น้ำในอากาศจะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งความชื้นในอากาศสามารถเกิดได้จากกิจกรรมภายในอาคารของมนุษย์ เช่น การซักล้าง การประกอบอาหาร เป็นต้น รวมถึงการ

หายใจที่จะมีความชื้นออกมาพร้อมกับหายใจด้วยเช่นกัน ซึ่งการเคลื่อนที่ของความชื้นจะแพร่กระจายจากที่มีความชื้นสูงสู่ความชื้นต่ำ โดยสามารถแบ่งลักษณะการแพร่กระจายของความชื้นได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การแพร่กระจายความชื้นแบบซึมผ่านเนื้อวัตถุ (diffusion) ซึ่งมีความดันไอที่ต่างกัน เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการแพร่กระจาย โดยไอน้ำจะซึมผ่านวัตถุจนถึงจุดที่อิทธิพลของแรงดันไอลดลงจนไอน้ำไม่สามารถซึมผ่านเนื้อวัตถุได้ และจะเกิดการควบแน่นที่จุดที่ไอน้ำไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ ซึ่งการแพร่กระจายแบบนี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการดูดความชื้นของวัสดุผนัง นอกจากนั้นการแพร่กระจายความชื้นแบบซึมผ่านเนื้อวัสดุเป็นกระบวนการที่ใช้ระยะเวลายาวนาน และมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการควบแน่นบนผิวผนัง

2. การแพร่กระจายความชื้นทางอากาศ (exfiltration) มีความดันอากาศเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำในอากาศที่สามารถซึมผ่านจากช่องเปิด และรอยรั่วซึมของผนัง โดยความชื้นในอากาศเมื่อกระทบกับพื้นผิวหรือสิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างจะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งการแพร่กระจายความชื้นผ่านอากาศเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการควบแน่นบนผิวผนัง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลของผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนต่างรูปแบบทั้งหมด 8 รูปแบบ คือ ติดตั้งฉนวนภายนอก 3 แบบ ได้แก่ ผนังระบบ EIFS โฟมที่ความหนา 1 2 และ 3 นิ้ว และติดตั้งฉนวนภายใน 5 แบบ ได้แก่ การเพิ่มยิปซัมบอร์ดและฉนวนโฟมที่ความหนา 1 2 และ 3 นิ้ว การเพิ่มยิปซัมบอร์ดชนิดบุฟอลย์ที่มีช่องอากาศ 1.5 นิ้ว และการเพิ่มยิปซัมบอร์ดติดตั้งไฟเบอร์กลาสหนา 1 นิ้ว โดยทำการทดสอบในอาคารทดลอง และวัดผลที่เกิดขึ้นกับด้านของอาคารทั้ง 4 ทิศ ผลการวิจัย พบว่า การแผ่รังสีความร้อนสูงสุดเกิดในทิศใต้มีปริมาณความร้อน 1150 วัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาเป็นทิศตะวันตก ทิศตะวันออก และทิศเหนือ ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าค่าจากการคำนวณ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในกรณีที่เพิ่มความหนาของฉนวน พบว่า สัดส่วนของค่าความต้านทานความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วนเดียวกันกับปริมาณความร้อนที่ลดลง โดยที่การเพิ่มฉนวนโฟมหนา 1 2 และ 3 นิ้ว ลดปริมาณความร้อนลง 50 60 และ 62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารจะให้ผลที่ดีกว่าการเพิ่มฉนวนภายใน (สุริชัย วุฒิวิวงศ์, 2539)

การศึกษาอิทธิพลของการกักเก็บความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ทำการทดลองเก็บผลจากกล่องทดลองที่สภาพแวดล้อมจริง โดยทดลองกับผนังคอนกรีตที่มีความหนา 10 20 และ 30 เซนติเมตร พบว่า ผนังคอนกรีตที่มีความหนามากจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำกว่าผนังที่มีความหนาน้อยกว่า และมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยต่ำกว่า 1-2 องศาเซลเซียส และมีระยะเวลาในการหน่วงความร้อนนานกว่า 3-4 ชั่วโมง (ณัฐกานต์ เกษประทุม, 2540)

การศึกษาอิทธิพลจากการรับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง และไม่รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงสู่ผนัง ทำการทดลองเก็บผลจากกล่องทดลองที่สภาพแวดล้อมจริง โดยทดลองกับผนังคอนกรีตที่มีความเท่ากันที่มีอุปกรณ์ป้องกันการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ และไม่มีอุปกรณ์ป้องกันการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ พบว่า ในกรณีที่ตั้งอุปกรณ์ป้องกันการแผ่รังสีความร้อนจะมีอุณหภูมิภายในต่ำกว่า และมีระยะเวลาในการหน่วงความร้อนนานกว่า 60 นาทีโดยประมาณ (ณัฐกานต์ เกษประทุม, 2540)

การศึกษาอิทธิพลของสีและอุณหภูมิผิวภายนอกของผนัง ทำการทดลองเก็บผลจากกล่องทดลองที่สภาพแวดล้อมจริง โดยทดลองกับผนังคอนกรีตที่มีความเท่ากันแต่ทาสีต่างกัน คือ ขาวและดำ พบว่า ผนังที่ทาสีขาวมีอุณหภูมิผิวภายนอกเย็นกว่าผนังที่ทาสีดำที่ 3-4 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงสุด ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายในและอากาศภายในที่วัดได้ในกรณีของผนังทาสีขาวต่ำกว่าด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ ผนังที่ทาสีขาวมีระยะเวลาการหน่วงความร้อนนานกว่าผนังทาสีดำ 30-60 นาที (ณัฐกานต์ เกษประทุม, 2540)

การศึกษาการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่มีมวลสารสูง ทำการทดลองเก็บผลจากอาคารทดลองที่สภาพแวดล้อมจริง โดยกำหนดให้อาคารทดลองมีองค์ประกอบที่เหมือนกันทั้งหมดยกเว้นวัสดุผนังที่เป็นผนังคอนกรีตและผนังไม้ พบว่า การใช้ผนังมวลสารสูง เช่น ผนังคอนกรีต เป็นต้น ช่วยลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศภายในอาคารลง 7 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี และลดช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายในสูงเกินไปได้ 70 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 235 ชั่วโมง อุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในอาคาร เช่น ชัตเตอร์หน้าต่าง พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น เป็นระบบอัตโนมัติจะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในสูงขึ้นระดับหนึ่ง วัดผลจากช่วงเวลาที่อุปกรณ์ทำงานเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร ซึ่งอาคารที่มีคอนกรีตเป็นวัสดุผนังมีเวลาในการเปิดใช้งานน้อยกว่าผนังไม้ เมื่อประเมินการใช้พลังงานของอาคารที่มีผนังทำจากคอนกรีตใช้พลังงานอยู่ที่ 7.5 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร น้อยกว่าอาคารผนังไม้คิดเป็น 15.5 เปอร์เซ็นต์ (Bellamy, L.A. and Mackenzie, D.W., 2003)

การศึกษาการแพร่กระจายของอุณหภูมิและมวลสารที่เกี่ยวข้องกับความร้อนในการระบายอากาศ กรณีศึกษาอาคาร Houghton Hall ซึ่งเป็นอาคารที่มีด้านหนึ่งเป็นอาคาร 2 ชั้น มีโถงเปิดที่

มีปล่องระบายอากาศ และอีกส่วนหนึ่งเป็นอาคาร 3 ชั้นที่มีการใช้การออกแบบช่องเปิด เพื่อการระบายอากาศร่วมกับมวลสารที่ใช้กักเก็บอุณหภูมิ ซึ่งมวลสารในระบบมีหน้าที่เป็นส่วนที่ช่วยลดค่าความต่างของอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวันและกลางคืนภายในอาคาร ลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และมีส่วนช่วยระบบทำความเย็นภายในอาคารทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้การทำงานร่วมกับการระบายอากาศจากกฎ Buoyancy การไหลของอากาศตามธรรมชาติ ซึ่งจากการตรวจวัดที่จุดต่าง ๆ ในอาคาร พบว่า ในช่วงฤดูร้อนจะมีอัตราการระบายอากาศผ่านโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นวัสดุมวลสารสูง 40-60 ลิตรต่อวินาทีต่อคน มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีอัตราการระบายอากาศที่ 8 ลิตรต่อวินาทีต่อคน ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลง 2-6 องศาเซลเซียส (BP Institute and University of Cambridge, 2005)

การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาการคำนวณหาสมมูลความร้อน และลำดับเวลาการแผ่รังสีเพื่อใช้ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของ ASHRAE โดยทำการทดลองกับอาคารทดลอง 2 ชั้น ขนาดกว้าง 12 ฟุต ยาว 12 ฟุต สูง 10 ฟุต กำหนดให้ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในอาคาร ระบบโครงสร้างอาคาร หลังคา และฐานรากของอาคารทดลองเหมือนกันมีเพียงผนังอาคารที่ใช้วัสดุที่มีมวลสารต่างกัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของทั้ง 2 อาคารมีค่าใกล้เคียงกันจนไม่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรที่ต้องการจากการทดลอง ทำการทดลองโดยรักษาระดับอุณหภูมิภายในของอาคารทดลองให้มีค่าเท่ากันกับค่าติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน พบว่า มวลสารสามารถลดการใช้พลังงานสูงสุดในการทำความเย็นลง 25 เปอร์เซ็นต์ แต่มีระยะเวลาในการหน่วงความร้อนต่างกันเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อาคารที่ใช้ทดสอบมีหน้าต่างขนาดใหญ่คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ของรูปด้านแสดงถึงอัตราส่วนของพื้นที่กระจกของอาคารอยู่ในระดับสูง ซึ่งส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นที่กระจกเข้ามาได้ จึงสามารถกล่าวได้ว่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกของอาคารมีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการหน่วงความร้อนมากกว่ามวลสารของอาคาร (Fisher, D.E., 2003)

การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผนังก่ออิฐ 2 ชั้นที่มีช่องอากาศระหว่างผนังและผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุผนังภายในด้วยผนังมวลเบา ทำการทดลองเก็บผลจากอาคารทดลองที่สภาพแวดล้อมจริง โดยทดลองกับอาคารทดลอง 1 ชั้นขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร มีลักษณะของหลังคา ช่องเปิดและฐานรากแบบเดียวกัน โดยมีผนังต่างชนิดกัน พบว่า ผนังก่ออิฐ 2 ชั้น จะมีอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดสูงกว่าผนังก่ออิฐที่บุภายในด้วยผนังมวลเบา โดยผนังก่ออิฐ 2 ชั้นสามารถลดการแผ่รังสีของอุณหภูมิลงเป็น 2.5-3.5 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิภายนอกมีการแกว่ง

ประมาณ 20 องศาเซลเซียส และผนังก่ออิฐที่บุภายในด้วยผนังมวลเบาลดลงเป็น 3-5 องศาเซลเซียส หากพิจารณาค่าความต้านทานของผนังที่ 2 แบบ พบว่า ผนังก่ออิฐ 2 ชั้น มีค่าความต้านทานความร้อนน้อยกว่าผนังก่ออิฐที่บุภายในด้วยผนังมวลเบาประมาณ 2 เท่า แต่ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในมีค่าใกล้เคียงกันมาก และผนังในทิศที่มีปริมาณการแผ่รังสีความร้อนสูงสุด เช่น ทิศตะวันตก เป็นต้น มีปริมาณการแผ่รังสีความร้อนสูงถึง 800 วัตต์ต่อตารางเมตร ผนังที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 แบบ สามารถลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในลงเป็นประมาณ 200 วัตต์ต่อตารางเมตร และผลจากการทดลองอุณหภูมิภายในของทั้ง 2 กรณี ในเวลากลางคืนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเสมอ (Bellamy, L.A. and Mackenzie, D.W., 2003)

การศึกษาการเกิดการควบแน่นที่ผิวผนังที่มีลักษณะต่างกัน โดยใช้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในขณะทำการทดลองกับผนังที่มีลักษณะต่างกัน 5 รูปแบบ โดยผนังที่ใช้ในการทดลองมีชั้นของวัสดุที่แตกต่างกัน 4 ชนิด พบว่า ผนังที่มีการติดตั้งแผ่นฉนวนไว้ด้านในของผนังจะมีการเกิดหยดน้ำที่ผิวผนังในกรณีที่มีความชื้นสูงที่สุด และอุณหภูมิต่ำที่สุด ซึ่งแสดงถึงการติดตั้งฉนวนที่ผนังด้านในช่วยลดการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ผิวผนังได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นการติดตั้งฉนวนภายนอก และการติดตั้งฉนวนระหว่างผนังมีประสิทธิภาพในการลดการควบแน่นที่ผิวผนังได้น้อยที่สุด (Hamdan, M.A., 2007)

จํานักรหอสมุด