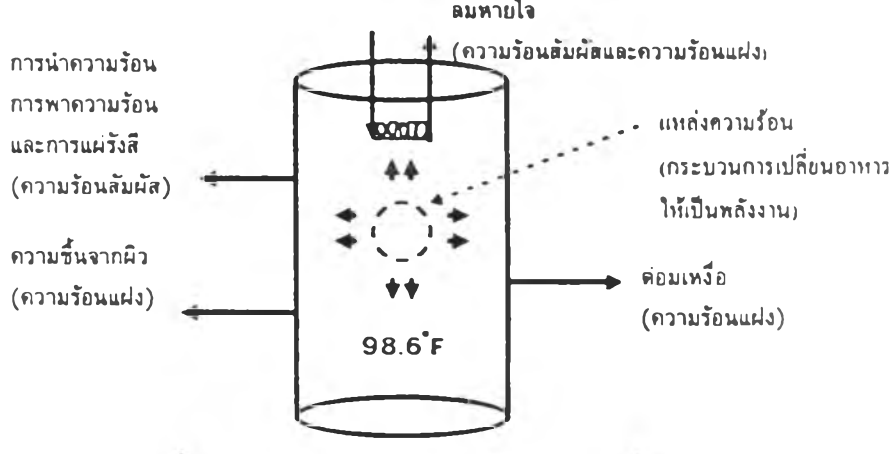
บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตอบสนองของร่างกายมนุษย์ต่อภาวะแวดล้อม

การเลือกภาวะออกแบบสามารถทำให้ผู้อาศัยรู้สึกสบาย จำเป็นต้องทราบลักษณะการตอบสนองของร่างกายต่อภาวะแวดล้อม เพื่อความสะดวกในการพิจารณาจะกำหนดให้ทรงกระบอกขนาด 10 นิ้ว x 5 ฟุต ซึ่งมีพื้นที่ผิวคงที่แทนร่างกายคนดังรูป



ภาพประกอบที่1 ภาพจำลองการตอบสนองของร่างกายมนุษย์ต่อสภาวะแวดล้อม

ร่างกายของคนคล้ายกับเครื่องจักรซึ่งกำเนิดพลังงานความร้อนโดยกระบวนการเปลี่ยนอาหารให้เป็นพลังงานตลอดเวลา อัตรากำเนิดความร้อนของร่างกายอาจแปรผันได้บ้างตามสภาพของกิจกรรม อย่างไรก็ตาม ร่างกายจำเป็นต้องคายความร้อนออกตลอดเวลาในอัตราเท่ากับอัตราการกำเนิด เพื่อรักษาอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ที่ 98.6 F ซึ่งเป็นอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ร่างกายอาจระบายความร้อนออกได้สองทางด้วยกัน คือทางผิวหนังและทางลมหายใจ ความร้อนที่ระบายออกมีทั้งความร้อนในรูปความร้อน

สัมผัสและในรูปความร้อนแฝง การระบายความร้อนสัมผัสเกิดขึ้นโดยวิธีการถ่ายเทความร้อนทั้งสามวิธีคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การนำความร้อนเกิดขึ้นเมื่อร่างกายสัมผัสกับวัสดุที่เป็นของแข็ง การพาความร้อนเกิดขึ้นเมื่อร่างกายสัมผัสกับอากาศหรือของไหลอื่น การแผ่รังสีความร้อนเกิดขึ้นเมื่อร่างกายมีอุณหภูมิต่างกับวัสดุอื่น ส่วนการระบายความร้อนแฝงนั้นเกิดจากการระเหยของความชื้นที่ผิวหนังและการสูญเสียความชื้นไปกับลมหายใจ

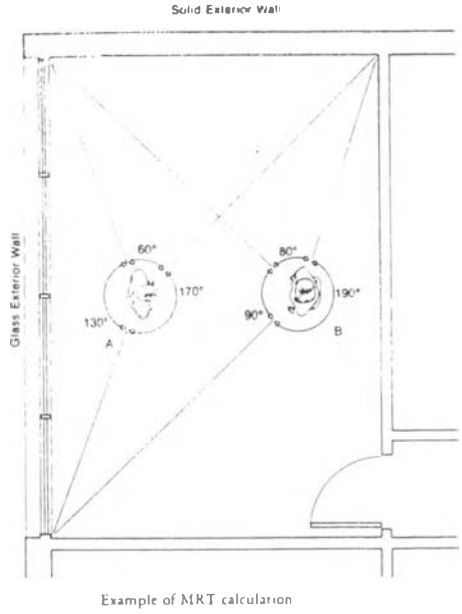
จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมเป็นส่วนประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการระบายความร้อนของร่างกายมนุษย์ อุณหภูมิผิวของวัสดุโดยรอบของสิ่งแวดล้อมที่สูงกว่าอุณหภูมิของร่างกายจะทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนออกจากร่างกายเป็นไปได้ยาก หรือระบายต่ำกว่าอัตราการกำเนิดความร้อนภายในอุณหภูมิร่างกายมีแนวโน้มที่จะสูงกว่า 98.6 F ร่างกายจะลดอัตราการกำเนิดความร้อนภายในให้ต่ำลงโดยธรรมชาติ ซึ่งปรากฏให้เห็นโดยลักษณะการเคลื่อนไหวที่ช้าลงหรือรู้สึกอ่อนเพลียเป็นต้น ในเวลาเดียวกันร่างกายจะกระตุ้นกลไกระบายความร้อนให้ความร้อนออกจากร่างกายเพิ่มมากขึ้น โดยการเพิ่มอัตราไหลเวียนของโลหิตใต้ผิวหนังให้สูงขึ้น ถ้าหากปฏิบัติการดังกล่าวยังไม่เพียงพอ ร่างกายจะเริ่มหลั่งเหงื่อเพื่อระบายความร้อนในรูปความร้อนแฝงเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่ง สำหรับในวันที่หนาวจัดจะเกิดเหตุการณ์ตรงข้าม ในกรณีดังกล่าวนี้คนจะรู้สึกไม่สบาย

จากสภาพความเป็นจริงการออกแบบอาคารให้อยู่ในภาวะน่าสบายนั้น ควรจะต้องคำนึงถึงสภาวะของสิ่งแวดล้อมภายนอกอีกด้วย เนื่องจากร่างกายมนุษย์สามารถปรับอัตราการกำเนิดพลังงานและการระบายความร้อนได้อย่างช้า ๆ การเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงโดยกระทันหันจากภายในอาคารมาสู่ภายนอกอาคารที่อุณหภูมิแตกต่างกันมาก เนื่องจากอุณหภูมิผิวภายนอกอาคารสูงทำให้ MRT (Mean Radiant Temperature)

ของบริเวณภายนอกอาคารสูงอาจทำให้ผู้อาศัยภายในอาคารปรับตัวไม่ทันในขณะที่เดินเข้าหรือออกจากอาคาร ทำให้เกิดอาการไม่สบายได้ [1]

MEAN RADIANT TEMPERATURE(MRT)

อุณหภูมิของพื้นผิวสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิร่างกายโดยที่ปัจจัยส่วนหนึ่งที่ประกอบขึ้นเป็นสภาวะน่าสบายของมนุษย์คือการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ การคิดค่าการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมนี้คิดเป็นค่าเฉลี่ย(Mean)ของการแผ่รังสีจากแหล่งต่าง ๆ ในสภาวะแวดล้อม



Example of MRT calculation

ภาพประกอบที่. 2 แสดงหลักการคำนวณ MRT (Bradshaw, Vaughn. Building control systems. 2 nd. ed., pp. 26. New York: John Weiley & Sons.)

---

[1] สุรพล พฤกษพานิช. การปรับอากาศ หลักการและระบบ . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์ . 2529.

สูตรการคำนวณ Mean Radiant Temperature(MRT)

$$MRT = \sum T\theta / 360 = (T_1\theta_1 + T_2\theta_2 + \ldots\ldots\ldots + T_n\theta_n) / 360$$

เมื่อ T = อุณหภูมิผิวของวัสดุ(Surface temperature)

θ = มุมที่เปิดรับกับพื้นผิววัสดุ ณ จุดที่ทำการวัด

(Surface exposure angle relative to occupant in degrees)

Surface conductance

Surface conductance คือกระบวนการที่ ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปสู่พื้นผิว หรือถูกพาออกไปจากพื้นผิวด้วยกระบวนการ แผ่รังสีความร้อน (Radiation) การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) ทั้งหมดผสมผสานกัน ซึ่งแต่ละหนทางของการส่งผ่านความร้อนที่กล่าวมาแล้วนั้นต่างเป็นอิสระไม่เกี่ยวข้องกัน (Vary independent)

การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนังกับสภาพแวดล้อมโดยการแผ่รังสีความร้อน (Long wave radiation heat exchange) นั้นถูกควบคุมด้วยลักษณะของพื้นผิวผนังคือ Emittance และ Reflectivity และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิววัสดุกับสภาพแวดล้อม และค่าของมุม (Solid angle) ระหว่างผิววัสดุนั้นกับสภาวะแวดล้อม

การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนังกับสภาพแวดล้อมโดยการนำความร้อน (Surface conduction) และการพาความร้อน (Surface convection) ถูกควบคุมด้วยลักษณะความหยาบของพื้นผิว (Surface roughness) ความเร็วลมที่พัดผ่าน

จากตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อน

ตารางที่ 1 Variation in surface heat flux for vertical surfaces at 26.5 with different temperature of surrounding surface (21.1 ambient still air ; 0.83 Emittance)

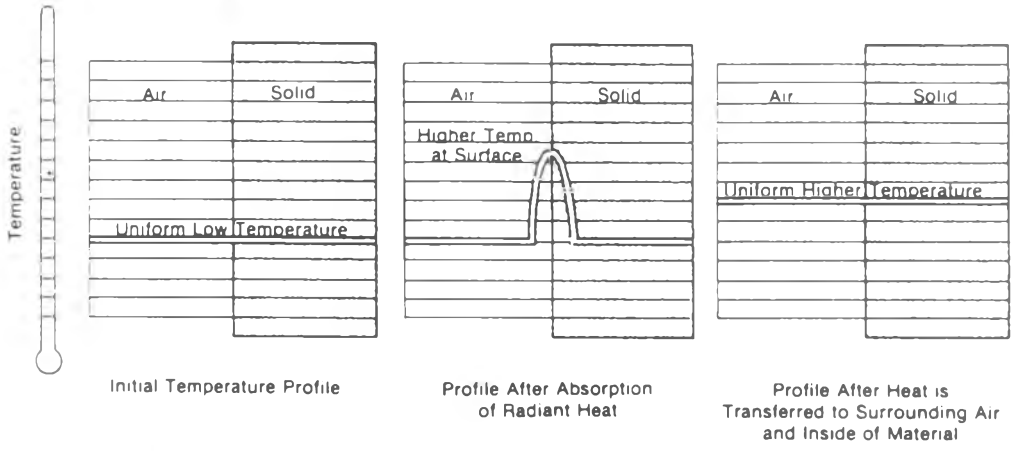
Surrounding surface	Surface heat flux, W/m^2				
Temperature, (C)	23.9	21.2	18.3	15.6	10
Convection	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8
Radiation	13.9	27.1	40.4	53 6	78.5
Total	34.7	47.9	61.2	74.4	99.3

ที่มา: Thermal insulation and vapor retraders - fundamentals หนังสือ ASHRAE handbook fundamentals 1993

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของพื้นผิววัสดุ

จากการศึกษาในเบื้องต้น พบว่า ในความเป็นจริงความร้อนจำนวนมากจากสภาวะแวดล้อมโดยทั่วไปทั้งจากภายนอก และภายในอาคาร อันได้แก่ จากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ , มนุษย์ , เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ไม่ได้ทำให้อุณภูมิของอากาศรร้อนขึ้นมาอย่างทันที ในเบื้องต้นรังสีความร้อนเหล่านั้นจะต้องกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ(Solid surface)ทั้งหลายเสียก่อนและถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสารของวัสดุนั้น ก่อนที่จะแผ่รังสีความร้อนกลับออกมาสู่ภายนอก

ความร้อนจำนวนหนึ่งที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสารของวัสดุทำให้อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุสูงขึ้นกว่าภายในและได้ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่อยู่ติดกับผนังนั้นสูงขึ้นด้วย จากความแตกต่างของอุณหภูมินี้ทำให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปในตัววัสดุโดยการนำความร้อน (Conduction) และสู่อากาศโดยการพาความร้อน (Convection) จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในเท่ากัน ดังรูปที่แสดงดังต่อไปนี้



ภาพประกอบที่ 3 Radiant heat penetration into a solid object (Bradshaw, Vaghn.Building control systems . 2nd. Ed.,pp.82. New York: John Weiley & Sons.)

ในขณะเดียวกันที่ความร้อนถูกนำ (Conducted) เข้าสู่วัสดุได้ถูกสะสมไว้ในตัววัสดุเอง ความร้อนนั้นก็ถูกนำพาออกไป (Convected) สู่อากาศด้วยในขณะเดียวกันเป็นการถ่ายเทความร้อน(Heat gain)เข้าสู่สิ่งแวดล้อม สัดส่วนของความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่จะสะสมในเนื้อวัสดุมากหรือน้อยนั้น ต่างก็ขึ้นอยู่กับ

1. อัตราส่วนของค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance) ของวัสดุนั้นกับค่าความต้านทานความร้อน ที่ชั้นบางๆ ของอากาศ (Air film) ที่สัมผัสวัสดุนั้นอยู่

2.ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุกับอุณหภูมิในเนื้อวัสดุเปรียบเทียบกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกับอุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ

ปกติแล้วค่าความต้านทานต่อความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่เนื้อวัสดุของอาคารส่วนใหญ่ที่ไม่ใช่ฉนวนนั้นมักจะน้อยกว่าค่าความต้านทานของ Air film ที่ผิววัสดุนั้น ๆ มาก ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของวัสดุและอุณหภูมิของอากาศเริ่มจะปรับตัวให้เข้ากัน ความร้อนส่วนใหญ่ก็ยังคงสะสมอยู่ในตัววัสดุนั้นเอง อย่างไรก็ตาม เมื่อกระบวนการสะสมความร้อนดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ อุณหภูมิภายในของเนื้อวัสดุก็เริ่มจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้กระบวนการส่งผ่านความร้อน

อุณหภูมิภายในของเนื้อวัสดุก็เริ่มจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้กระบวนการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุเป็นไปอย่าง ช้า ๆ และเริ่มเป็นการสะสมความร้อนภายในตัววัสดุเอง และในสภาพดังกล่าว ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่สัมผัสอยู่กับพื้นผิววัสดุสูงขึ้นมาก ๆ ความร้อนที่จะถูกพา(Convected)จากพื้นผิวก็ยิ่งน้อยลง แต่กลับถูกสะสมอยู่ในตัววัสดุมากขึ้น

ดังนั้นนอกจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวจะเกิดขึ้นเนื่องจาก Radiant Heat แล้ว อุณหภูมิผิวยังจะสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการพาความร้อนเข้ามาจากอากาศที่สัมผัสอยู่โดยรอบที่อุณหภูมิสูงกว่าอีกด้วย และความร้อนดังกล่าวนี้ยังอาจจะถูกสะสมเข้าไปในตัววัสดุได้อีกส่วนหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อค่าการส่งผ่านความร้อนผ่าน Air film ยังเป็นไปได้น้อยอยู่ ผลกระทบของการแผ่รังสีความร้อนนั้นก็ยังเป็นสิ่งที่เห็นได้ชัดเจนกว่า

ความจุความร้อน (Heat Capacity)

ค่าความจุความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือพื้นที่ผิว 1 หน่วยพื้นที่ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น Kcal / m^3 หรือ Kcal / m^2 วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูงจะกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งช้าลง และจะมีผลทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนแตกต่างกัน มีค่าแตกต่างกัน (ตระการ ก้าวกสิกรรม, คู่มือฉนวนความร้อน, 2537)

Sol-air temperature

Sol-air temperature คือ อุณหภูมิทางทฤษฎีของอากาศที่ติดกับผิววัสดุตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสีจากดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนจากท้องฟ้าจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบ และจากการถ่ายเทความร้อนจากอากาศ (ASHARE , 1992)

การคำนวณค่า Sol-air temperature สามารถทำได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

Sol-air temperature $(T_e) = T_{out} + I * \alpha / h_o - \varepsilon \Delta R / h_o$

โดยที่

T_e = Sol-air temperature

T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก

α = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อนของผิววัสดุ(ไม่มีหน่วย)

h_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวภายนอกทั้งหมด ซึ่งรวมทั้ง Long Wave RadiationและConvection(Btu/HR.SF.)

ΔR = ค่าความแตกต่างระหว่างอัตราแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุและท้องฟ้า(Btu/HR.SF.)

ε = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากพื้นผิว

กรณีพื้นผิวแนวดิ่ง(Vertical surfaces)เนื่องจากพื้นผิวแนวดิ่งรับ Long wave radiation ทั้งจากพื้นดินและอาคารที่แวดล้อมอยู่โดยรอบพอ ๆ กันกับได้รับจากท้องฟ้า สามารถกำหนด

ค่า ΔR ที่แน่นอนได้โดยยาก เมื่อปริมาณความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์สูงขึ้น พื้นผิวของวัสดุโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเสมอ ด้วยเหตุนี้ปริมาณการแผ่รังสีคลื่นยาวออกจากวัตถุ (Long Wave Radiation)ที่เพิ่มขึ้นต่างก็ชดเชยไปกับค่าการกระจายความร้อนของท้องฟ้าที่มีค่าต่ำ ด้วยเหตุนั้น ในการคำนวณปกติ จึงคิดเสมือนว่า ค่า $\Delta R = 0$ สำหรับพื้นผิวแนวดิ่ง (ASHRAE , 1992)

สมการที่ใช้คำนวณปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร

โดยทั่วไป ใช้สมการต่อไปนี้ คือ

$Q = U * A * \Delta T$ ..... (1)

$Q = U * A * CLTD$ ..... (2)

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่เข้าหรือออกจากอาคาร

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง

ΔT = ความแตกต่างระหว่างความร้อนภายนอกและภายใน

CLTD = ภาวะความแตกต่างความร้อนเทียบเท่า หรือ Coooling Load Temperature Different

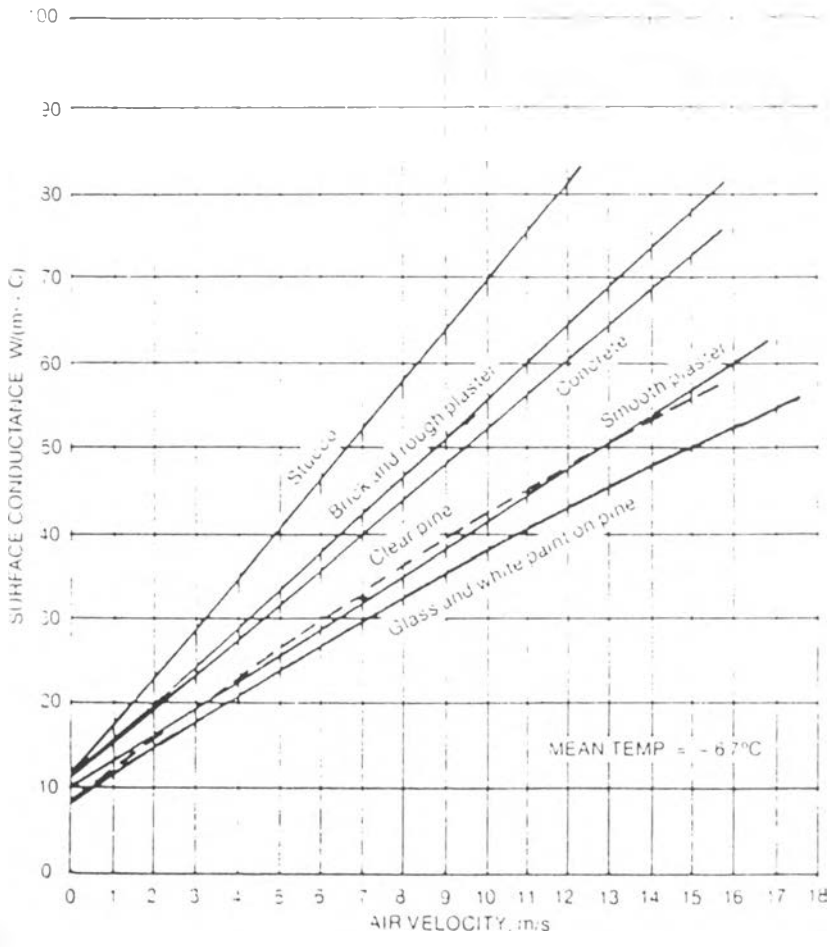
ทั้ง 2 สมการข้างบนนี้ จะพบว่า การคำนวณจะใช้สมการที่ 1 ในกรณีที่ความแตกต่างระหว่างความร้อนภายนอกและภายในมีค่าคงที่ (Steady state condition) หรืออิทธิพลจากองค์ประกอบภายนอกไม่รุนแรงนัก ในสมการที่ 2 ค่า ΔTถูกเปลี่ยนเป็น CLTD เพื่อปรับให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เพราะในทางปฏิบัติแล้ว ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก

[illegible]

และภายในไม่เคยคงที่แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้การคำนวณค่า Peak load ของอาคารจึงใช้ค่า CLTD แทน ΔT จากการศึกษารายละเอียดในการคำนวณ (American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 1989) จะพบว่า ค่า CLTD นั้นเป็นค่าที่ดัดแปลงมาจาก ΔT หากแต่ว่าปรับให้เข้ากับอิทธิพลภายนอกหลายองค์ประกอบ เช่น เวลา, วัน, เดือน และเขตละติจูดที่เกิด Peak Load, มวลสารของผนัง, สีของผนัง , การหน่วงเวลาของผนังตลอดจนผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม หรือ ถ้าจะมองกันอย่างลึกซึ้ง ก็คือ ค่า CLTD นั้นพยายามจะปรับให้ใกล้กับความเป็นจริงมากที่สุด โดยการคำนวณได้พยายามคำนึงถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่ออิทธิพลการถ่ายความร้อน

จากสมการที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น จะเห็นได้ว่า ถ้าพื้นที่ผิว A ที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีส่วนทำให้ค่าของปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากวัสดุหรืออาคารมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อปัจจัยอื่น ๆ คงที่

Parmelee and Huebcher (1947) ได้ทำการศึกษา ผลกระทบของความเร็วลม(Air movement) ที่มีอย่างเห็นได้ชัดต่อการนำความร้อนของพื้นผิววัสดุพบว่าพื้นที่ผิว (Surface length) ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่ออุณหภูมิผิวและการพาความร้อนของพื้นผิวดังตารางที่แสดงต่อไปนี้



ตารางที่ 2 Surface conductance for different 300 mm. square surface as affected by air movement ที่มา: Thermal and water vapor transmission data หนังสือ ASHRAE handbook fundamental 1993 (SI)

จากผลของการศึกษาดังกล่าวเราจะเห็นได้ว่า ผิวของผนัง Stucco ซึ่งเป็นผนังที่มีผิวขรุขระจะเป็นผนังที่มีค่า Surface conductance มากที่สุด เมื่อความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น และผนัง Glass and white paint on pine ซึ่งเป็นผนังที่ผิวเรียบที่สุดค่า Surface conductance จะต่ำที่สุด ในขณะที่ความเร็วลมที่เท่า ๆกัน อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการศึกษาที่ค่า Mean temperature ต่ำมาก คือ -6.7 °c ดังค่าที่แสดงในตารางจึงเป็นที่น่าสงสัยว่าถ้าในสภาวะที่มีตัวแปรอื่น ๆ มากระทบด้วยและมีผลต่ออุณหภูมิผิววัสดุเช่นกัน เช่น การทดลองในสภาวะอุณหภูมิปกติของประเทศไทย ผลสุดท้ายอุณหภูมิผิววัสดุที่วัดได้จากการทดลองจะเป็นอย่างไร ในทางปฏิบัติจริง ลักษณะของพื้นผิวจะเป็นปัจจัยหลักในการทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก Surface conductance หรือไม่

การลดอุณหภูมิผิวของอาคารโดยใช้ต้นไม้ปกคลุม

เถาไม้เลื้อย (Vines) เป็นพืชที่สามารถปลูกให้ปกคลุมอาคารได้เป็นบริเวณกว้างในระยะเวลาที่ไม่นาน สามารถใช้เป็นประโยชน์ได้ในกรณีที่มีพื้นที่ในบริเวณพื้นดินจำกัด หรืออาคารสูงซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่โดยรอบได้

เถาไม้เลื้อยที่ปกคลุมอยู่กับผนังอาคารสามารถที่จะลดอุณหภูมิของผนังได้อย่างน่าเชื่อถือ โดยการบังเงาให้กับผนัง และการระเหยของน้ำ (Shading and Evapotranspiration) อุณหภูมิของผนังสามารถลดลงได้ 5˚-10˚ F (3˚-6˚C) จากการวัดอุณหภูมิของเถาไม้เลื้อยที่ไม่หนาแน่นมาก (หนาประมาณ 3 นิ้ว หรือ 7.6 เซนติเมตร และความหนาแน่นประมาณ 80%) ในสภาวะที่ไม่โดนแสงโดยตรง (Indirect Light) และเมื่อปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรงสูงสุด อุณหภูมิที่วัดได้จากผนังที่มีเถาไม้เลื้อยปกคลุมต่ำกว่าผนังที่ไม่มีอะไรปกคลุมถึง 10˚- 15˚F(6˚- 8 C)(Bradshaw,1993)