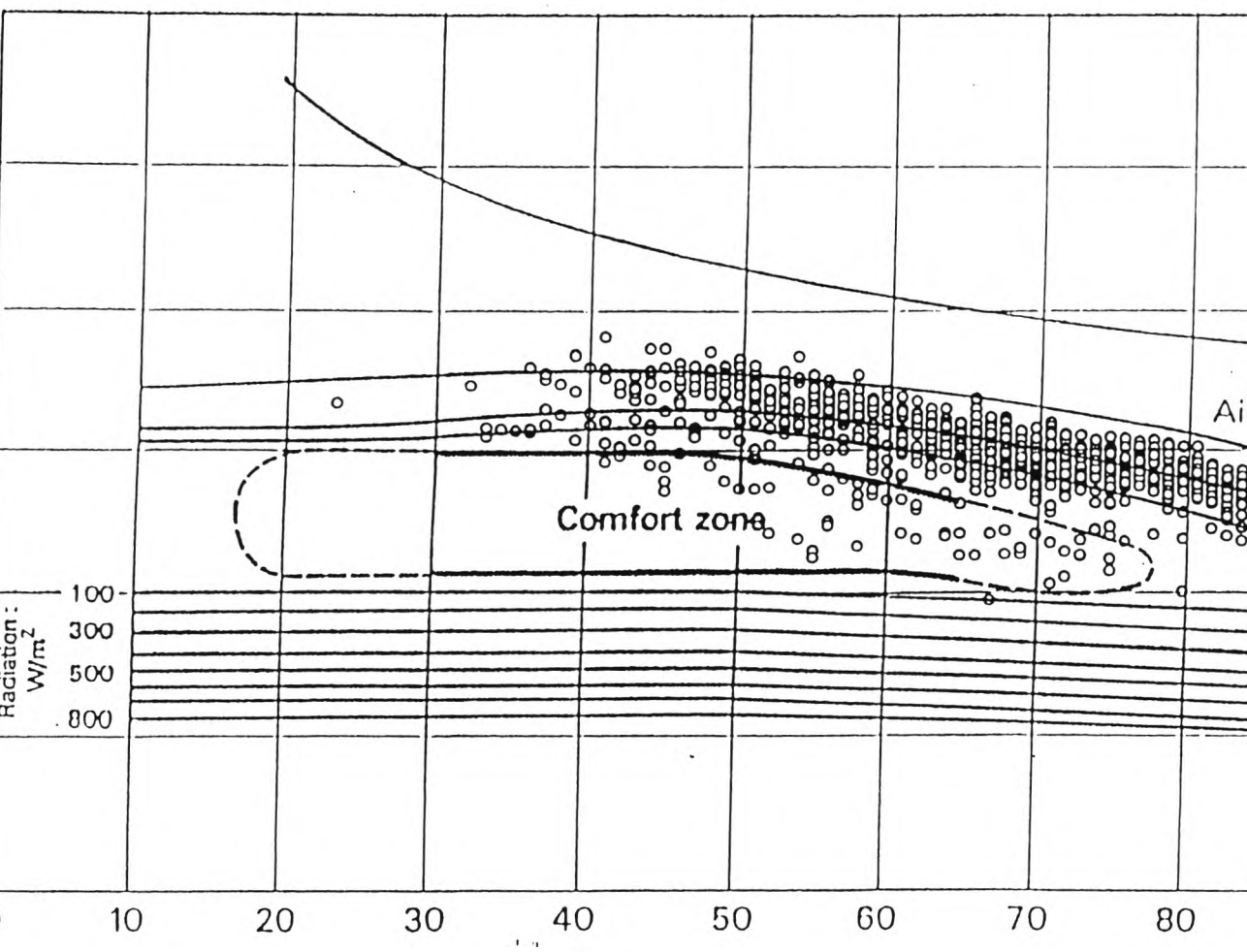
บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สืบเนื่องมาจากประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (hot-humid) และมีฝนตกชุก จึงทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์สูงเกือบตลอดปี แนวทางการออกแบบอาคารให้มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ จึงได้แก่การค้นหาวิธีป้องกันความร้อนและลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารเป็นหลัก ซึ่งการศึกษากระบวนการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ของวัสดุ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการค้นหาแนวทางการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยก็คือ วัสดุกระจก (glass) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุประกอบเปลือกอาคารชนิดอื่น จึงเป็นความลำบากอย่างยิ่ง ในการออกแบบอาคารที่ใช้วัสดุกระจกประกอบอาคารเป็นส่วนใหญ่ ให้มีคุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ สำหรับการเลือกใช้กระจกประกอบส่วนต่าง ๆ ของอาคารนั้น ควรพิจารณาถึงความต้องการในการใช้สอยพื้นที่ หรือลักษณะการใช้งานอาคารควบคู่ไปกับคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของกระจกที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามชนิด ลักษณะ ความหนา และคุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิของกระจก (ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก-SC) เป็นสำคัญ โดยมีการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ และค่าการถ่ายเทความร้อนจากตัววัสดุกระจกเป็นตัวแปรหลักที่มีผลกระทบโดยตรงต่อสภาพความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้งส่วนสภาพแวดล้อมภายนอกและกายในอาคาร แต่อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาโดยอาศัยตัวแปรเหล่านี้คำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ก็ยังไม่สามารถก่อให้เกิดสภาพอุณหภูมิภายในอาคารที่ดีได้อย่างเพียงพอ อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของตัววัสดุเอง ดังนั้นการพิจารณาถึงตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมจากธรรมชาติเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น เช่น การใช้กระแสลมธรรมชาติเพื่อระบายความร้อนภายในอาคารและการใช้มวลสารเพื่อดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นภายในและการผสมผสานต้นไม้ที่สามารถปรับสภาพอุณหภูมิภายในอาคารให้ดีขึ้น เหล่านี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการปรับปรุงแต่งสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในอาคารให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ (Olgyay, 1962) และนอกจากนี้ การอาศัยความเข้าใจในเรื่องปัจจัยภายนอกที่มีผลทางชีวภาพต่อการส่งเสริมสภาวะความน่าสบายของมนุษย์ก็เป็นอีกแนวทางที่สามารถนำมาร่วมใช้ปฏิบัติให้เกิดผลดีขึ้นได้ เพราะโดยแท้จริงแล้วในการพิจารณาเลือกใช้ การระบายอากาศจากธรรมชาติเพื่อลดความร้อนภายในอาคาร ควรจะมีสภาพอุณหภูมิภายนอกที่เย็นกว่าภายในอาคาร (Lechner, 1992) แต่เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิที่ 2.1 ซึ่งแสดงข้อมูลของอุณหภูมิอากาศเป็นรายชั่ว

BIOCLIMATIC CHART

LOCATION : BANGKOK, THAILAND (1997)



โมงในปี พ.ศ. 2540 (1997) ของกรุงเทพฯ ประกอบกับการแสดงขอบเขตของสภาวะความน่าสบาย ด้วย เส้นประจะพบว่าจำนวนชั่วโมงของอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในสภาวะความน่าสบายในกรุงเทพฯ มีน้อยมาก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิส่วนใหญ่จะอยู่นอกเหนือขอบเขตสภาวะความน่าสบาย ในตำแหน่งที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเกือบตลอดปี ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่า หากพิจารณาจากปัจจัยทางด้านอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว สภาพการดำรงชีวิตของคนในประเทศไทย จะต้องมีความเป็นอยู่ที่ร้อนกว่าสภาวะความน่าสบายตลอดเวลา แต่ในความเป็นจริงแล้วความรู้สึกสบายของมนุษย์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ แต่เพียงอย่างเดียวยังมีปัจจัยจากธรรมชาติอื่น ๆ อีกหลายประการประกอบกันเพื่อก่อให้สภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ (Fanger, 1982) การศึกษาเพื่อทำความเข้าใจสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการลดความร้อนจากตัวแปรธรรมชาติข้างต้น ซึ่งได้แก่ตัววัสดุกระจก ช่องเปิดผนัง มวลสาร และต้นไม้เหล่านี้จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาวิจัยทั้งนี้

ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลในการลดความร้อนจากตัวแปรดังกล่าวควรเริ่มจากการศึกษากระบวนการถ่ายเทความร้อนของตัวแปรจากธรรมชาติข้างต้นตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 กระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งใส

ในการศึกษากระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งใส เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างถูกต้อง ในการวิจัยนี้จะแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนที่มีความสัมพันธ์กันดังนี้

2.1.1กระบวนการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะแสดงให้เห็นก่อพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งในที่นี้คือหลังคาโปร่งใสประกอบกับปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามรูปแบบนั้น ๆ ผ่านวัสดุดังกล่าว

2.1.2แหล่งกำเนิดความร้อน ซึ่งในที่นี้ก็คือการได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยจะเป็นการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดความร้อน กับปริมาณความร้อนกับปริมาณความร้อนที่ถูกส่งผ่านหลังคาโปร่งใสในรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งผลทางด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้น เพื่อประโยชน์ในการหาแนวทางแก้ไขในลำดับต่อไป

2.1.1 กระบวนการถ่ายเทความร้อน

กระบวนการถ่ายเทความร้อน โดยแท้จริงเป็นการถ่ายเทพลังงานของสสารจากจุดที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังจุดที่มีพลังงานต่ำกว่า ซึ่งอนุภาคของสสารที่มีพลังงานหรือในทางกายภาพที่สามารถตรวจสอบได้คืออุณหภูมิสูงกว่าจะมีการสั่นสะเทือนของอนุภาคมากกว่า และอนุภาคของ

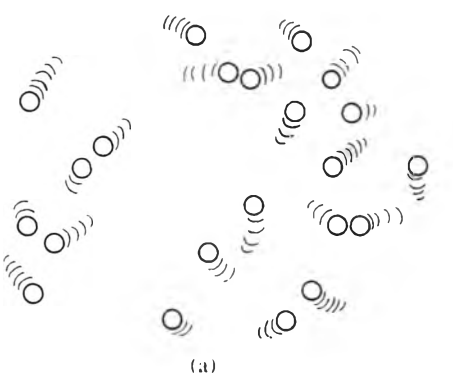
สสารที่มีพลังงาน (อุณหภูมิ) น้อยกว่า ก็จะมีการสั่นสะเทือนน้อยกว่า (รูปที่ 2.1) กระบวนการถ่ายเทพลังงาน (ความร้อน) นี้เกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยการถ่ายเทจะเป็นไปจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ซึ่งกระบวนการนี้จะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งอุณหภูมิของทั้ง 2 สสารเท่ากัน หรือที่เรียกว่าภาวะสมดุลของอุณหภูมิ (thermal equiribium) อัตราของการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้ 1. ความแตกต่างของอุณหภูมิ 2. พื้นที่ของผิวสัมผัส 3. ความต้านทานความร้อนของสสารที่เป็นตัวกลางการถ่ายเทความร้อน (Bradshaw, 1993) การถ่ายเทความร้อนของสสารจะเกิดใน 3 ลักษณะดังนี้ (รูปที่ 2.2)

การนำความร้อน (conduction) เกิดขึ้นในสสารที่มีสภาพเป็นของแข็งที่มีการสัมผัสกัน

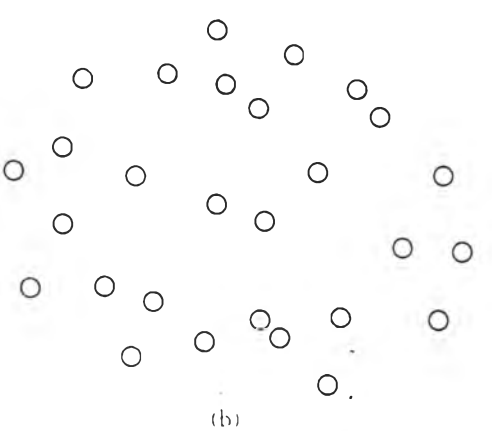
การพาความร้อน (convection) เกิดขึ้นในสสารที่มีสภาพเป็นของไหล (fluid)

การแผ่รังสีความร้อน (radiation) เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า electromagnetic waves) โดยไม่ต้องมีตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

2.1.1.1 การนำความร้อน การนำความร้อนเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนของสสารที่มีสถานะเป็นของแข็ง เกิดขึ้นเนื่องจากการที่สสารทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ ที่มีการเคลื่อนที่ (สั่น) ตามสภาพของอุณหภูมิในสสารนั้น ๆ อนุภาคของสสารที่มีพลังงาน (อุณหภูมิ) สูงกว่าจะเคลื่อนที่มากกว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อ มีการกระทบกันของอนุภาคที่มีอุณหภูมิสูงกว่ากับอนุภาคที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ที่อยู่ใกล้เคียงกันและการถ่ายเทพลังงาน (อุณหภูมิ) ของสสารก็จะเกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กับกระบวนการนี้(รูปที่ 2.3) ปริมาณการถ่ายเทพลังงานในรูปแบบนี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ, พื้นที่ผิวสัมผัส และค่าการนำความร้อนของวัตถุ (thermal conductance-C) ซึ่งจะเป็นตัวแสดงให้เห็นความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุนั้น ๆ ว่ามีค่ามากหรือน้อยเพียงใด ถ้ามีค่ามากแสดงว่าวัตถุนั้นมีความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุสูง หรือมีความเป็นฉนวนน้อย จากความสัมพันธ์ข้างต้นจะได้รูปแบบของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทโดยการนำความร้อนกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องข้างต้นในรูปสมการดังนี้



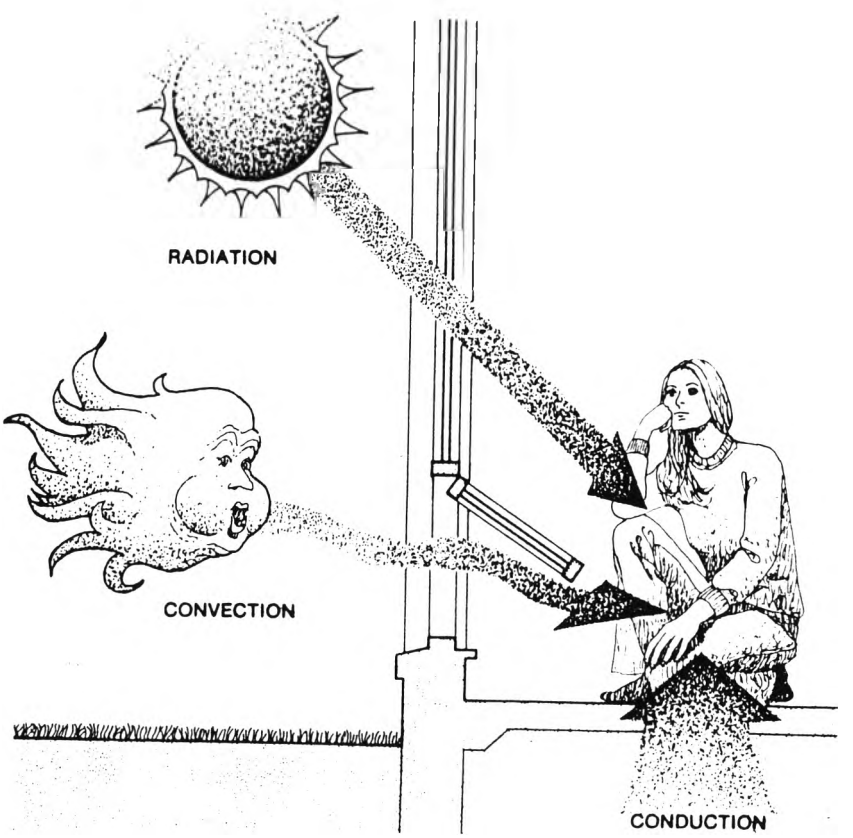
a) อนุภาคที่มีอุณหภูมิสูง



b) อนุภาคที่มีอุณหภูมิต่ำ

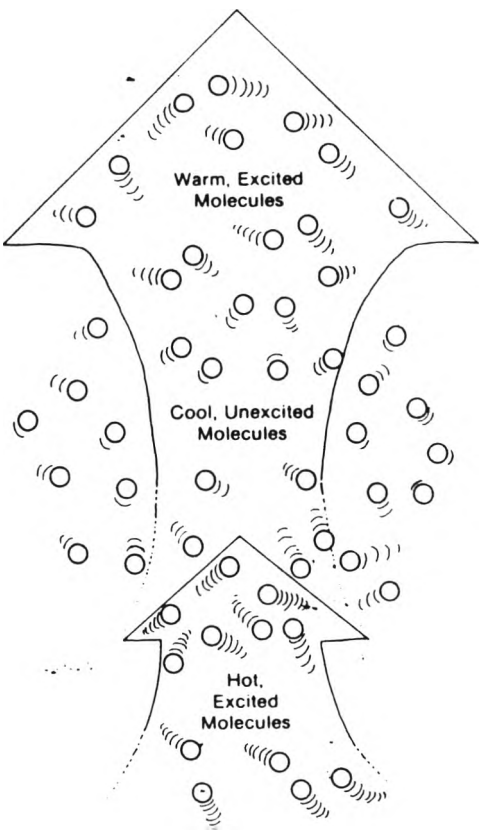
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการสั่นสะเทือนของอนุภาคที่มีผลมาจากสภาพอุณหภูมิ

ที่มา : Bradshaw, V. Building control systems. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการถ่ายเทความร้อนใน 3 ลักษณะ

ที่มา : Bradshaw, V. Building control systems. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.



รูปที่ 2.3 แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน

ที่มา : Bradshaw, V. Building control systems 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.

$$Q = C * A * \Delta t$$

โดยที่

Q = ปริมาณของความร้อนที่ถ่ายเทโดยการนำความร้อน ($w/m^2.c$)

C = ค่าการนำความร้อนของวัตถุ

A = พื้นที่หน้าตัดของหนังหรือวัตถุ วัดในแนวตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อน (m^2)

Δt = ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}C$, $^{\circ}K$)

จากสมการความสัมพันธ์นี้ (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering [ASHRAE] , 1993) จะเห็นได้ว่า การถ่ายเทความร้อนในลักษณะการนำความร้อนของวัสดุหลังคาโปร่งใส ซึ่งในที่นี้คือกระจกจะมีตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ คือ การเลือกใช้วัตถุกระจกที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ โดยค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะกระจก, ชนิดของกระจก ตลอดคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิที่มีความแตกต่างไปตามประโยชน์ใช้สอยและความเหมาะสมในการใช้งานดังจะแสดงให้เห็นในลำดับต่อไป

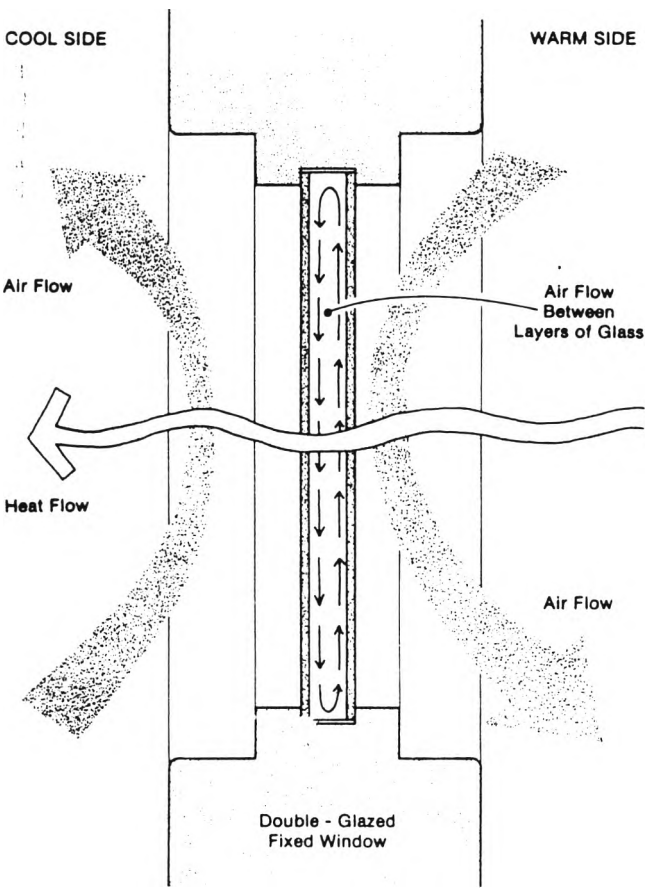
2.1.1.2 การพาความร้อน มักเป็นการถ่ายเทความร้อนที่พบมากในวัตถุหรือสสารที่มีสถานภาพเป็นของไหล (fluid) เช่น ของเหลว (liquid) และก๊าซ (gas) การพาความร้อนของสสารที่มีสถานะเป็นก๊าซเช่นอากาศจะเป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจน จากการที่เมื่ออากาศได้รับความร้อนจะเปลี่ยนแปลงสภาพของตัวเองให้มีความหนาแน่นน้อยและมีน้ำหนักน้อยลง อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ซึ่งมีความหนาแน่นและน้ำหนักมากกว่าจะเคลื่อนตัวสู่เบื้องล่างตามแรงโน้มถ่วงของโลก การเคลื่อนไหวในรูปของการแทนที่กันของอากาศนี้ก็คือลักษณะการพาความร้อน อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของอากาศในลักษณะนี้ก็อาจเกิดจากการมีแรงกระทำจากภายนอก เช่น การใช้พัดลมหรือเครื่องปรับอากาศเข้าเป็นตัวช่วยให้อากาศเคลื่อนที่ได้ การพาความร้อนนี้นับว่าเป็นแนวทางสำคัญในการระบายความร้อนจากจุดที่ไม่ต้องการออกไปได้ (รูปที่ 2.4) ปริมาณการถ่ายเทความร้อน โดยการถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้จากสมการ(ASHRAE , 1993)

$$Q = h_c * \Delta t$$

Q = ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทโดยการนำความร้อนในหน่วยพื้นที่ (w/m^2)

h_c = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอากาศ ($w/m^2/k$)

Δt = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกกับภายใน ($^{\circ}C$, $^{\circ}K$)



รูปที่ 2.4 แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน

ที่มา : Bradshaw, V. Building control systems. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนของอากาศ จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม, อุณหภูมิของอากาศ, อุณหภูมิพื้นผิวของระนาบ, ลักษณะพื้นผิวของวัตถุและตำแหน่งของส่วนประกอบอาคาร (ASHRAE , 1993)

2.1.1.3 การแผ่รังสีความร้อน การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านที่ว่าง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน การแผ่รังสีความร้อนเกิดจากการที่อนุภาคที่ผิวหน้าของวัตถุสั่นจะเกิดการคายความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ของคลื่นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุที่คายความร้อนออกมา การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจะกระทบกับผิวหน้าของอีกสสารหนึ่งและดูดซับพลังงานจากการแผ่รังสีนี้ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนที่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการสั่นของโมเลกุลและทำให้อุณหภูมิผิววัตถุนั้นสูงขึ้น (รูปที่ 2.5) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการแผ่รังสีความร้อนของสสารหรือวัตถุใด ๆ จะขึ้นอยู่ ค่าการคายความร้อนโดยการแผ่รังสี (emissivity) ของวัตถุและอุณหภูมิของผิววัตถุเป็นสำคัญ ดังจะเห็นได้จากสมการ (Givoni, 1976)

$$Q = \varepsilon * C_s * (T_o/100)^4$$

Q = ปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสี

ε = ค่าคายความร้อนโดยการแผ่รังสีของวัตถุ

C_s = ค่าคงที่ ($5.67\ w/m^2k^4$)

$T_o(k)$ = อุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ของพื้นผิวภายนอก

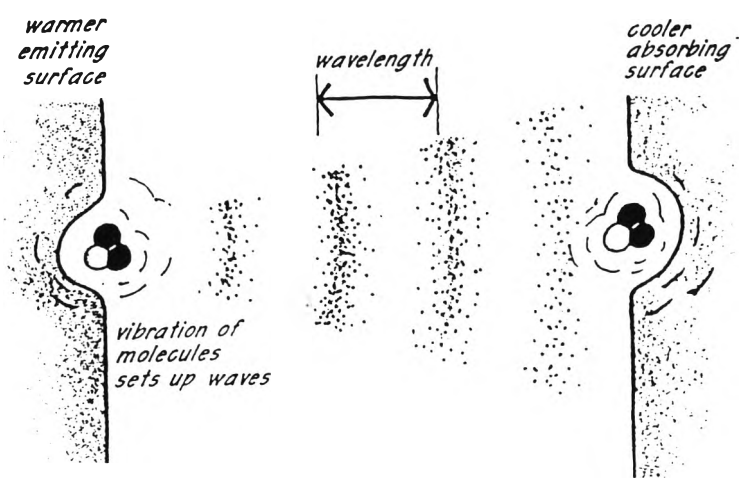
เมื่อรังสีความร้อนกระทบวัตถุทึบแสง บางส่วนจะถูกดูดซึมและสะท้อนออกมาเป็นบางส่วน ส่วนที่ดูดซึมจะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศ โดยการแผ่รังสี การหาความร้อน และการถ่ายเทภายในตัวเองวัตถุของโดยกระบวนการนำความร้อน

วัตถุมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติดังนี้

ก. ความสามารถในการดูดซับความร้อน

ข. ความสามารถในการสะท้อน

ค. ความสามารถในการคายความร้อน โดยการแผ่รังสี



รูปที่ 2.5 การนำความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน

ที่มา : Moore, F. Environmental control system: Heating, cooling, lighting. Singapore: Mcgraw-Hill , 1993.

ความสามารถในการดูดซับความร้อนเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงปริมาณรังสีความร้อนที่ถูกดูดซึมโดยผิววัตถุ วัตถุสีดำสนิทหรือวัตถุที่ผิวดูดรังสีความร้อนหมดและไม่สะท้อนหรือถ่ายเทความร้อนออกมาเลย หน่วยของการดูดความร้อนเป็นจำนวนเต็มเท่ากับ 1.0 และผิวหน้าในลักษณะอื่นที่มีลักษณะต่างกันไปก็จะมีการดูดซึมรังสีความร้อนน้อยกว่า ก็จะมีค่าที่ลดลงไปตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสี ไม่สามารถทำได้สมบูรณ์เต็มที่ไม่ว่าจะใช้การควบคุม ปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อน ในทางใดก็ตามข้างต้น ด้วยสาเหตุจากตามสภาพของทั้งวัสดุเองและจากสภาพแวดล้อม ทางที่ได้ที่สุดก็คือการทำให้ความร้อนผ่านได้ช้าลง โดยการเพิ่มขนาดหรือความหนาของวัสดุ ช่วงเวลาที่ความร้อนถ่ายเทจากผิวภายนอกสู่ภายใน หรือผิวบนสู่ผิวล่างเรียกว่า ค่าความหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) ของวัสดุความหนาของวัสดุใด ๆ ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มระยะเวลาของการถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้น และเพิ่มระยะเวลาของการดูดซึมรังสีความร้อนของวัดสุอีกทางหนึ่งด้วย พิจารณาค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลาของวัสดุกระจกตามหัวข้อด้านล่างนี้พบว่า

กระจกชั้นเดียว (single glazing) ค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลา 0 ชม.

กระจก 2 ชั้น (double glazing) ค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลา 0-0.5 ชม. (Givoni, 1976)

ซึ่งจะเห็นได้กระจกมีค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลาต่ำมากเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ เช่น คอนกรีตที่มีค่าตั้งแต่ 1 ชม.ขึ้นไปตามความหนาของคอนกรีตเป็นต้น ดังนั้นการเพิ่มความหนาของกระจกจึงไม่เป็นสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาเป็นปัจจัยหลักในการใช้งาน ซึ่งการป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีของกระจกที่เหมาะสมจะแสดงให้เห็นในลำดับต่อไป

2.1.2 แหล่งกำเนิดความร้อน

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในภูมิร้อนชื้นแถบศูนย์สูตรระหว่างแลตติจูล 5 และ 21 องศาเหนือ ลองติจูด 97 และ 106 องศาตะวันออก ลักษณะกายภาพนี้ส่งผลให้ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในปริมาณมากกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สภาพอุณหภูมิของประเทศไทยโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ที่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์น้อยกว่า โดยเฉลี่ยความเข้มของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกผ่านสภาพบรรยากาศที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (149.5×10^6 กม.) มีค่าเท่ากับ 1370 w/m^2 (ASHRAE, 1993) และค่านี้จะเป็นค่าทั่วไปที่ใช้ในการคำนวณใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับค่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ $1418 w/m^2$ ในวันที่ 3 มกราคม ซึ่งเป็นวันที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด และมีค่าต่ำสุด1325 w/m^2 ในวันที่4กรกฎาคมของทุกปี เมื่อระยะห่างระหว่างโลกกับ

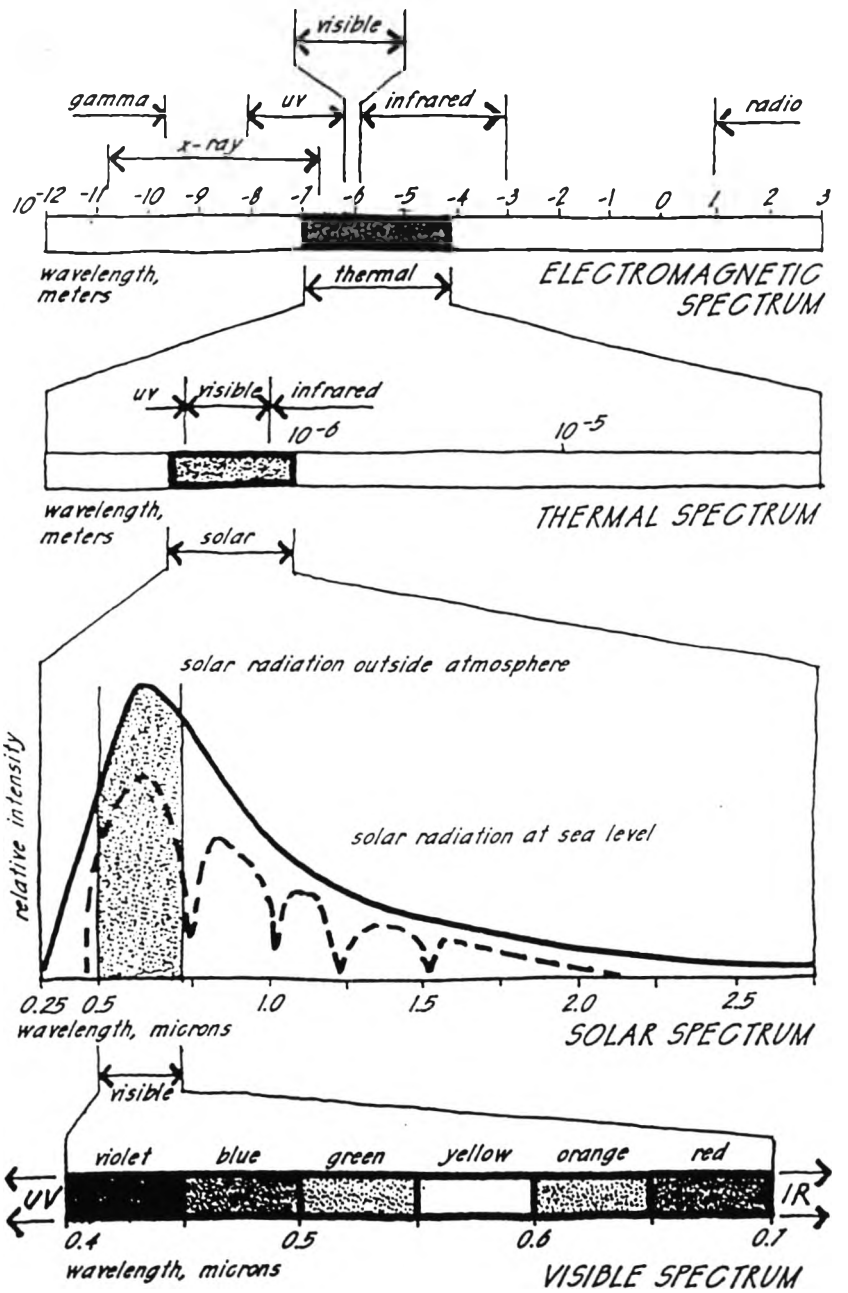
ค่าต่ำสุด 1325 w/m^2 ในวันที่ 4 กรกฎาคมเมื่อระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์มีค่ามากที่สุด (ASHRAE, 1993) ทั้งนี้โลกได้รับรังสีความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะเป็นมากเนื่องจากมีบรรยากาศของโลกกรองเอาไว้ ส่วนหนึ่งของรังสีจะถูกดูดซึมไว้ในบรรยากาศบางส่วนต้องกระจายออกเพราะกระทบกับโมเลกุลของบรรยากาศ และแผ่กลับให้โลกในสภาพของการกระจายรังสี ส่วนหนึ่งของรังสีพื้นดินได้รับและดูดซับความร้อนไว้ หลังจากนั้นก็จะถ่ายเทให้กับอากาศที่อยู่ชิดผิว และสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงทำให้อุณหภูมิของอากาศและสิ่งใกล้เคียงมีอุณหภูมิสูงขึ้น สภาพพื้นผิวโลกยิ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากเท่าใดก็ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากขึ้น เนื่องจากมีการกรองจากบรรยากาศน้อยลง

ลักษณะกายภาพของรังสีดวงอาทิตย์จะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่างกัน และพฤติกรรมทางด้านอุณหภูมิที่ต่างกันไป 3 ลักษณะ ดังนี้ (รูปที่ 2.6)

ก. รังสีอุลตราไวโอเลต (ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.20-0.38 นาโนเมตร มีปริมาณของพลังงานเท่ากับ 7% เป็นช่วงของความยาวคลื่นที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชพรรณไม้ แต่จะทำให้วัตถุมีสีจางลง

ข. รังสีที่ตามองเห็น (vissible radiation) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.38-0.78 นาโนเมตร มีปริมาณของพลังงานเท่ากับ 47% เป็นช่วงคลื่นของแสงสว่างที่ใช้ในการมองเห็นของมนุษย์

ค. รังสีความร้อน (heat radiation) มีความยาวคลื่น ตั้งแต่ 0.78 นาโนเมตร มีปริมาณของพลังงานเท่ากับ 46% เป็นช่วงคลื่นที่มีปริมาณความร้อนมากที่สุด



รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์

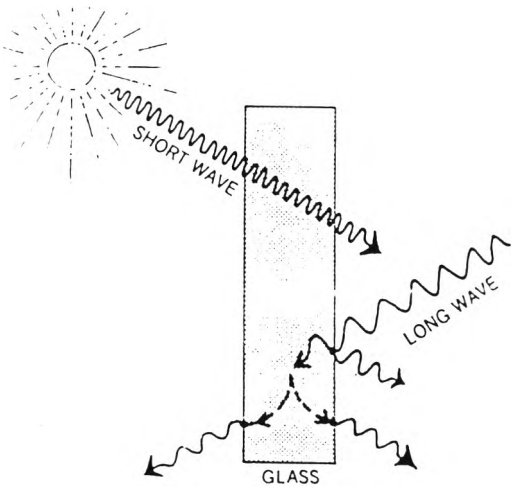
ที่มา : Moore, F. Environmental control system: Heating, cooling, lighting. Singapore: Mcgraw-Hill, 1993.

จากคุณลักษณะของการแผ่รังสีของควงอาทิตย์ข้างต้นเมื่อพิจารณาประกอบคุณสมบัติที่ต่างจากวัสดุอื่น ๆ ของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัย (กระจก) สำหรับการวิจัยนี้ จะพบว่า ในวัตถุโปร่งใส เช่น กระจกหรือพลาสติกใส จะมีลักษณะที่แตกต่างจากวัตถุทั่วไปด้วยการเกิดสภาพที่แตกต่างกันต่อการส่องผ่านของรังสีคลื่นสั้นจากควงอาทิตย์ และรังสีคลื่นยาว (พลังงานความร้อน) ที่เกิดจากการคายรังสีของสภาพแวดล้อม คือ การที่วัตถุโปร่งใสจะมีคุณสมบัติที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้น (ความยาวคลื่น 0.20-0.38 นาโนเมตร) ส่องผ่านไปได้ แต่จะมีสภาพทึบแสงต่อรังสีคลื่นยาว (ความยาวคลื่น 0.78 นาโนเมตร) โดยรังสีคลื่นยาวดังกล่าวจะเกิดขึ้นจากการแผ่รังสีกลับ (reradiated) ของวัตถุที่ถูกรังสีตกกระทบ เมื่อพื้นผิวภายในที่ได้รับการแผ่รังสีคลื่นสั้นและดูดซึมไว้ตามคุณสมบัติของวัสดุ ก็จะแปรสภาพรังสีดังกล่าวเป็นพลังงานความร้อนที่เกิดจากรังสีควงอาทิตย์ในรูปของรังสีคลื่นยาวซึ่งเป็นพลังงานความร้อน (รูปที่ 2.7) และแผ่รังสีกลับสู่ภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นเมื่อสิ่งที่กั้นแบ่งระหว่างสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกเป็นวัสดุโปร่งใสเช่น กระจกจากคุณสมบัติดังกล่าว ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในก็จะถูกเก็บกักไว้ภายใน โดยจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีควงอาทิตย์ที่ได้รับตลอดจนลักษณะและชนิดของวัสดุที่อยู่ภายในรวมทั้งคุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของกระจกประกอบกัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวก็คือการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) ที่ประเทศในภูมิภาคเขตหนาวใช้เก็บกักความร้อนให้เกิดขึ้นในอาคารที่มีผนังหรือหลังคาเป็นวัสดุโปร่งใส (รูปที่ 2.8)

ส่วนประกอบของรังสีควงอาทิตย์ ปริมาณของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารจะมีผลมาจากส่วนประกอบของรังสีควงอาทิตย์ 3 ส่วนดังนี้

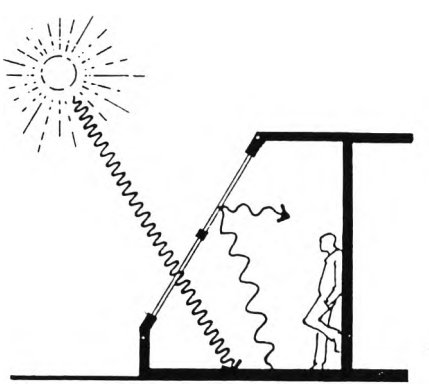
ก. การแผ่รังสีโดยตรง (direct Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากส่องผ่านโดยตรงระหว่างโลกกับควงอาทิตย์ผ่านสภาพบรรยากาศของโลก โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของโลก และทิศทางการโคจรของควงอาทิตย์ที่ส่งผลทำให้ความเข้มของรังสีควงอาทิตย์มากขึ้นหรือน้อยลง ตามระยะห่างระหว่างโลกกับควงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังจะมีปัจจัยเพิ่มเติมจากสภาพท้องฟ้าอีกด้วยถ้าสภาพท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) ก็จะมีปริมาณของรังสีควงอาทิตย์มากกว่าวันที่ท้องฟ้ามีดครึ้ม

ข. การแผ่รังสีโดยการกระจาย (diffuse radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการแผ่รังสีโดยตรง ตกกระทบฝุ่นละอองในบรรยากาศ หรือกลุ่มเมฆหมอกในท้องฟ้า เหล่านี้แล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นรังสีควงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกอีกครั้งหนึ่ง และนอกจากนี้การเกิดการแผ่รังสีโดยการกระจาย ยังขึ้นอยู่กับ ลักษณะสภาพภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม ในบริเวณนั้น ๆ ที่จะเอื้ออำนวยต่อการเกิดรังสีในลักษณะการกระจายข้างต้น การเกิดปรากฏการณ์นี้ในปริมาณมากจะทำให้ปริมาณของรังสีควงอาทิตย์มีค่าลดลง



รูปที่ 2.7 แสดงพฤติกรรมของวัตถุโปร่งใสต่อรังสีควงอาทิตย์

ที่มา : Lechner, N. Heating. cooling lighting : Design method for architects. New York: John Wiley & Sons, 1990.



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก

ที่มา : Lechner, N. Heating. cooling. lighting : Design method for architects. New York: John Wiley & Sons, 1990.

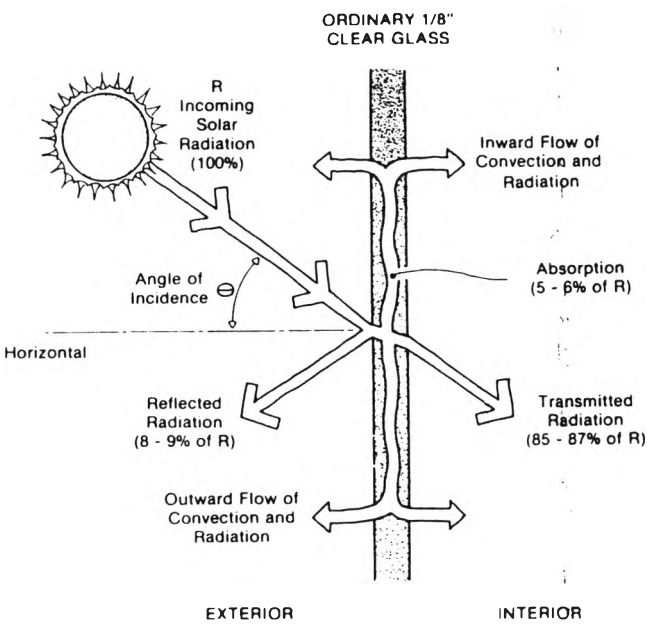
ค. การแผ่รังสีโดยการสะท้อน (reflected radiation) เกิดขึ้นจากการที่รังสีโดยตรงและรังสีที่เกิดจากการกระจายทั้ง 2 ส่วนตกกระทบพื้นผิวและสกาพแวดล้อมกายนอกอาคารในลักษณะต่าง ๆ เช่น คอนกรีต, ต้นไม้, สนามหญ้า เหล่านี้เป็นต้น แล้วสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวอาคาร ปริมาณการเกิดการสะท้อนรังสีควงอาทิตย์นี้นอกจากจะสัมพันธ์กับปริมาณของการแผ่รังสี 2 ส่วนข้างต้นแล้วก็ยังขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวที่มีผลต่อค่าการสะท้อนของวัตถุอีกด้วย

นอกจากปริมาณของรังสีควงอาทิตย์ที่มีมากหรือน้อยตามลักษณะการแผ่รังสีที่ได้แสดงให้เห็นข้างต้นแล้ว การได้รับการแผ่รังสีควงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคาร ยังมีความสัมพันธ์กับทิศทางของระนาบที่หันเข้าสู่แหล่งกำเนิด (surface orientation) ประกอบกับทิศทางการตกกระทบของรังสี (angle of incidence) ซึ่งตัวแปรทั้ง 2 ประการนี้ก็มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด แต่อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นไปที่ประเด็นดังกล่าวเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลา แต่จะเน้นไปที่วิธีการในการแก้ปัญหาทีเกิดขึ้นภายหลังการได้รับการแผ่รังสีควงอาทิตย์และการขจัดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเป็นหลัก

2.1.3 คุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของกระจก

วัสดุกระจกนับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการออกแบบสถาปัตยกรรมในรูปแบบที่ทันสมัยในปัจจุบัน ดังจะเห็นได้จากการใช้งานกระจกประกอบระบบเปลือกอาคารในลักษณะต่าง ๆ กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในส่วนผนังและหลังคาอาคาร นอกจากนี้รูปแบบของการใช้งานก็ยิ่งมีความแตกต่างกันไปตามความต้องการของสถาปนิกและเจ้าของอาคาร อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาก็คือการเกิดการเก็บกักความร้อนที่เกิดขึ้นกายในอาคารอย่างมากมาย ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นถึงผลจากการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกที่มีผลต่อสภาพอุณหภูมิภายในอาคาร และสภาวะความน่าสบายของผู้ใช้งานอาคารจากการแผ่รังสีความร้อนของผิวกระจก ดังนั้นความรู้ความเข้าใจในคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนของวัสดุจึงเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกใช้วัสดุดังกล่าวประกอบการใช้งานอาคารให้มีประสิทธิภาพต่อไป

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโปร่งใส เช่น กระจก สามารถควบคุมได้โดยการใช้การบังเงา (shading) ให้กับบริเวณช่องเปิดที่ใช้วัสดุดังกล่าวนี้ประกอบเปลือกอาคาร เพื่อลดปริมาณการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตการวิจัยนี้และนอกจากนี้ยังทำได้โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติทางด้านสเปกตรัม (spectrum) ของวัสดุโปร่งใส รวมไปถึงเข้าใจในคุณลักษณะทางด้านการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโปร่งใสที่เกิดขึ้นเมื่อถูกตกกระทบโดยรังสีควงอาทิตย์ ที่ก่อให้เกิดผลด้านอุณหภูมิ 3 ลักษณะดังนี้ (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 การส่งผ่านความร้อนในลักษณะต่าง ๆ ของวัสดุกระจก

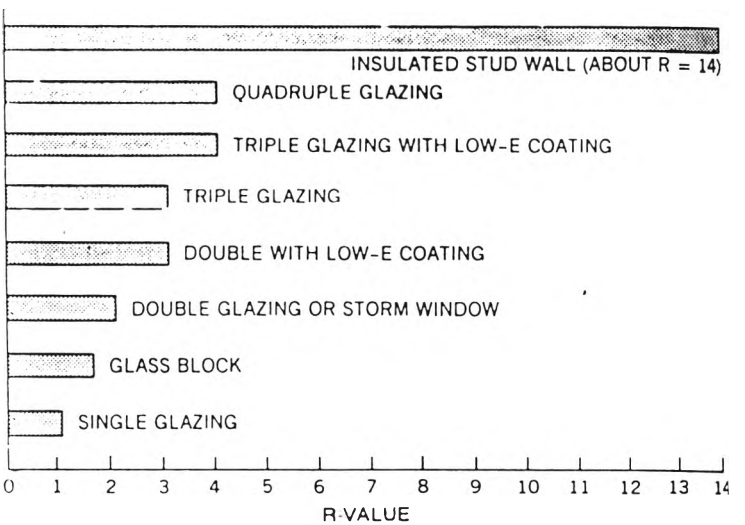
ที่มา : Bradshaw, V. Building control system. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.

การสะท้อนรังสี (refection-ρ) เป็นการสะท้อนรังสีออกซึ่งไม่ก่อให้เกิดความร้อนต่อตัวกระจกและภายในอาคาร

การดูดซึมความร้อน (absorption-α) เป็นการดูดซึมรังสีความร้อนเข้าสู่ตัวกระจก ซึ่งจะส่งผ่านความร้อนสู่ภายในด้วยการนำความร้อนและการพาความร้อน $\rho + \alpha + \tau = 1$

การส่งผ่านรังสี (transmission-τ) เป็นการส่งผ่านรังสีความร้อนผ่านตัวกระจกเข้าสู่ภายในอาคารซึ่งจะก่อให้เกิดความร้อนในลักษณะของการแผ่รังสีกลับ (reradiated)

ซึ่งในการถ่ายเทรังสีความร้อนใด ๆ ก็ตาม จะมีค่าขององค์ประกอบทั้ง 3 รวมกันแล้วเท่ากับ 1($\rho + \alpha + \tau = 1$) จากคุณสมบัติเหล่านี้ของกระจก (ASHRAE, 1993) ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของการผลิตวัสดุกระจกที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้นตามลำดับ จากเดิมที่เป็นกระจกใสมีค่าการส่องผ่านค่อนข้างสูงเกือบเต็ม 100% ของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ กลายเป็นกระจกดูดซับความร้อน (heat absorbing glass) หรือกระจกสะท้อนแสง (reflective glass) ที่มีแนวความคิดเริ่มจากการปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านการป้องกันความร้อนของกระจกใส ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาศัยคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อน, การดูดซับความร้อนของวัสดุกระจกเป็นสำคัญ นอกจากนี้การค้นคิดคุณสมบัติของกระจกที่มีคุณสมบัติ ยอมให้ช่วงของสเปกตรัมที่ไม่ก่อให้เกิดความร้อนกับกายในอาคารส่องผ่านพร้อม ๆ กันกับสเปกตรัมช่วงที่เป็นแสงสว่างเข้าสู่อาคารอย่างเหมาะสม ซึ่งก็ได้แก่กระจกที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนที่ดีที่สุดในปัจจุบัน คือกระจกสะท้อนคลื่นความร้อน (heat-mirror glass) หรือ กระจกฉนวน (heat-stop glass) ที่ผสานเอาข้อดีของกระจกสะท้อนแสงและกระจกใสเข้ามารวมกัน ดังจะอธิบายละเอียดในหัวข้อวัสดุที่ใช้ในการวิจัยต่อไป โดยการวิจัยนี้จะมุ่งแสดงการเปรียบเทียบให้เห็นถึงพฤติกรรมทางด้านอุณหภูมิของกระจก 2 ชนิด ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจกที่เท่าเทียมกัน (0.4) แต่มีค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่ต่างกัน รวมทั้งลักษณะทางกายภาพที่ผิดจากกันโดยสิ้นเชิง เพื่อความชัดเจนของการศึกษาพฤติกรรมรวมทั้งลักษณะของความเป็นไปทางด้านอุณหภูมิของวัสดุซึ่งกระจกทั้ง 2 ชนิดนี้คือ กระจกชั้นเดียวเป็นกระจกสะท้อนแสง และกระจก 2 ชั้นเป็นกระจกฉนวนความร้อน โดยวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นวัสดุที่ถูกเลือกใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน การศึกษากระบวนการเหล่านี้จะดำเนินการศึกษาแบบแยกพิจารณาและรวมการพิจารณาควบคู่ไปกับการค้นหากรรมวิธีในการลดความร้อนภายในอาคารและสภาพที่ไม่พึงประสงค์ของผู้ใช้อาคาร โดยตัวแปรอื่นๆ จากธรรมชาติ รวมทั้งวิธีการส่งเสริมสภาวะความน่าสบายของผู้ใช้อาคารให้เกิดขึ้น โดยจะยกเว้นการวิจัยในปัจจัยอื่นที่มีผลต่อปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งได้แก่ มุมของระนาบที่มีผลต่อการแผ่รังสีและทิศทางของรังสีตกกระทบ เพื่อความสะดวกเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย (แผนภูมิ 2.2)



แผนภูมิที่ 2.2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของกระจกชนิดต่างๆ

ที่มา : Lechner, N. Heating, cooling lighting : Design method for architects. New York: John Wiley & Sons, 1990.

2.1.4 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุโปร่งใส

กระบวนการการถ่ายเทความร้อนจากรังสีควงอาทิตย์และแหล่งกำเนิดความร้อนใด ๆ ผ่านวัตถุโปร่งใส ซึ่งได้แก่กระจกในการวิจัยนี้ จะพบว่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านกระจกจะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

2.1.4.1 การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน (heat condution) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนในรูแบบของการนำความร้อน ซึ่งเกิดจากผิวนอกของกระจกที่สัมผัส กับอากาศที่ผิวกระจก (adjacent air) ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่ภายในอาคารจะขึ้นอยู่ค่าการนำความร้อนของกระจก (k) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกนั้น ๆ (U-value) และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารเป็นสำคัญ (ตารางที่ 2) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนในรูปของสมการ

$Q = U.A.\Delta t$

2.1.4.2 การแผ่รังสีคลื่นยาว (longwave radiation) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่นเกินกว่า 2500 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีความร้อน ระหว่างผิวหน้าของกระจกกับท้องฟ้าสภาพแวดล้อมและวัตถุใกล้เคียงของกระจก เนื่องจากรังสีคลื่นยาวเป็นรังสีควงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปพลังงานความร้อน การป้องกันความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคารของกระจกโดยทั่วไปจะมีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา(shading coefficient-SC)ของกระจกชนิดนั้น ๆ เป็นตัวกำหนดให้มีการส่งผ่านรังสีความร้อนผ่านตัววัสดุมากหรือน้อยเพียงใด โดยวัสดุกระจกที่มีค่า SC ที่น้อยจะตัดการแผ่รังสีคลื่นยาวได้มากกว่ากระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา มาก (ตารางที่ 2.1)

2.1.4.3 การแผ่รังสีคลื่นสั้น (short wave radiation) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นจากควงอาทิตย์ที่ตกกระทบนั้นผิวหน้าของกระจกซึ่งรวมการแผ่รังสีโดยตรงและโดยอ้อมซึ่งเกิดจากรังสีตกกระทบอนุภาคต่างๆ ในบรรยากาศ และการสะท้อนจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียงปริมาณของรังสีตกกระทบพื้นผิวกระจกจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามทิศทางของระนาบกระจก, ตำแหน่งเส้นรุ้งของอาคาร (สัมพันธ์กับการโคจรของควงอาทิตย์) และช่วงเวลาโดยค่านี้จะเรียกอีกอย่างว่าค่าตัวประกอบรังสีความร้อนจากควงอาทิตย์ (solar heat gain factor-SHGF) ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ได้มีการกำหนดไว้ตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยดังกล่าวข้างต้น (ตารางที่ 2.2)

SHADING COEFFICIENTS (SC) FOR GLASS

Glazing Material		Nominal Pane Thickness		Shading Coefficient								
					Indoor Shading					Shading Between Glazing		
Outer	Inner	in.	mm	No shading	Medium Venetian Blinds	Light Venetian Blinds	Opaque Roller Shades (Dark)	Opaque Roller Shades (White)	Translucent Roller Shade	Medium Venetian Blinds	Light Venetian Blinds	Louvered Sun Screen
Single-Pane Glass												
		1/8	3	1.0								
Clear		1/4	6	.94	.64	.55	.59	.25	.39			
glass		3/8	10	.91								
		1/2	12	.88								
Heat		1/8	3	.84	.57	.53	.45	.30	.36			
absorbing		1/4	6	.71								
glass*		3/8	10	.62	.54	.52	.40	.28	.32			
		1/2	12	.56	.42	.40	.36	.28	.31			
Reflective				.30	.25	.23						
coated				.40	.33	.29						
glass				.50	.42	.38						
				.60	.50	.44						
Painted glass												
Light color				.28								
Medium color				.39								
Dark color				.50								
Stained glass												
Amber				.70								
Dark-red				.56								
Dark blue				.60								
Dark green				.82								
Greyed green				.46								
Light opalescent				.43								
Dark opalescent				.37								
Double-Pane Glass												
Clear	Clear	1/8	3	.88	.57	.51	.60	.25	.37	.36	.33	.43
Glass	Glass	1/4	6	.82								.49
Heat Absorbing Glass*	Clear Glass	1/4	6	.56	.39	.36	.40	.22	.30	.30	.28	.39
Reflective	Clear			.20	.19	.18						
Coated	Clear			.30	.27	.26						
Glass				.40	.34	.33						
Triple-Pane Glass												
Clear	Clear	1/8	3	.80								
Clear	Clear	1/4	6	.71								

Shading devices fully drawn except roller shades. For fully drawn roller shades, multiply light colors by .73, medium colors by .95, and dark colors by 1.08.

*Refers to gray, bronze, and green tinted heat-absorbing float glass.

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก

ที่มา : Lechner, N. Heating, cooling, lightning: Design method for architecture. New York: John Wiley & Son , 1990.

Solar Intensity (E_{DN}) and Solar Heat Gain Factors (SHGF) for 24° North Latitude

Date	Solar Time	Direct Normal, W/m²	Solar Heat Gain Factors, W/m²																Solar Time
			N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Hor.	
Jan	7	223	7	8	65	143	194	212	200	154	80	9	7	7	7	7	7	7	15	5
	8	754	37	39	131	404	600	698	689	571	360	89	37	37	37	37	37	37	173	4
	9	908	56	58	72	335	598	757	798	716	522	229	61	58	58	58	58	58	381	3
	10	972	73	73	75	166	454	667	772	759	631	395	119	74	73	73	73	73	543	2
	11	1001	82	82	82	86	229	491	667	737	695	546	299	91	82	82	82	82	642	1
	12	1010	85	85	85	85	90	257	504	662	716	662	504	257	90	85	85	85	676	12
HALF DAY TOTALS			301	303	466	1172	2117	2971	3392	3276	2648	1592	759	379	303	301	301	301	2094	
Feb	7	482	19	38	212	359	444	458	405	283	105	20	19	19	19	19	19	19	53	5
	8	825	47	51	252	521	694	758	705	541	281	52	47	47	47	47	47	47	263	4
	9	938	68	70	144	434	655	770	767	646	419	132	69	68	68	68	68	68	482	3
	10	989	83	83	87	241	494	659	720	673	521	276	89	83	83	83	83	83	646	2
	11	1012	92	92	92	99	252	465	601	641	583	431	213	93	92	92	92	92	750	1
	12	1019	95	95	95	95	100	221	421	558	604	558	421	221	100	95	95	95	785	12
HALF DAY TOTALS			355	375	809	1663	2540	3189	3381	3042	2203	1180	630	401	357	355	355	355	2585	
Mar	7	613	33	141	364	517	585	566	457	272	54	31	31	31	31	31	31	31	115	5
	8	842	58	111	390	613	737	748	642	436	152	60	58	58	58	58	58	58	352	4
	9	931	78	84	269	520	678	731	674	513	260	84	78	78	78	78	78	78	567	3
	10	973	94	96	130	325	510	610	616	528	352	148	97	94	94	94	94	94	730	2
	11	993	103	103	106	132	267	407	486	487	411	272	135	106	103	103	103	103	833	1
	12	999	106	106	106	108	112	177	301	397	432	397	301	177	112	108	106	106	868	12
HALF DAY TOTALS			420	597	1328	2185	2856	3187	3057	2451	1445	784	534	439	420	418	418	418	3031	
Apr	6	126	19	67	104	123	124	105	70	21	7	6	6	6	6	6	6	6	12	6
	7	639	62	278	476	595	621	554	400	172	47	44	44	44	44	44	44	44	183	5
	8	808	76	251	500	659	719	669	519	277	77	70	70	70	70	70	70	70	416	4
	9	882	94	169	397	572	655	641	531	332	122	92	90	90	90	90	90	90	615	3
	10	920	107	116	236	394	496	520	466	338	177	110	104	104	104	104	104	104	769	2
	11	938	113	118	125	185	267	325	336	296	220	143	119	116	113	113	113	113	863	1
	12	944	116	118	119	121	123	143	184	221	235	221	184	143	123	121	119	118	892	12
HALF DAY TOTALS			530	1069	1914	2605	2963	2913	2436	1558	770	569	515	495	489	488	487	486	3306	
May	6	270	80	181	248	276	264	209	120	25	18	18	18	18	18	18	18	20	40	6
	7	641	136	370	539	626	618	515	332	101	54	54	54	54	54	54	54	56	229	5
	8	781	121	358	561	675	688	598	417	169	82	78	78	78	78	78	78	80	448	4
	9	848	111	277	474	594	625	565	417	208	104	97	97	97	97	97	97	97	634	3
	10	883	119	186	323	431	474	446	349	212	121	114	111	111	111	111	111	114	777	2
	11	901	126	134	175	227	262	265	235	184	139	127	124	120	120	120	120	124	863	1
	12	906	129	129	130	131	132	134	139	144	146	144	139	134	132	131	130	129	889	12
HALF DAY TOTALS			749	1551	2359	2865	2970	2648	1934	972	591	556	547	544	542	542	542	551	3433	
Jun	6	307	112	222	294	318	298	229	122	26	22	22	22	22	22	22	22	26	54	6
	7	633	175	401	557	628	605	490	297	82	57	57	57	57	57	57	57	62	244	5
	8	764	157	397	580	674	668	563	370	135	85	82	82	82	82	82	82	86	456	4
	9	829	136	322	500	597	607	529	367	168	106	101	101	101	101	101	101	104	635	3
	10	864	129	227	357	442	462	412	301	172	122	114	114	114	114	114	114	118	773	2
	11	881	132	157	204	244	259	242	200	154	132	128	126	122	122	122	126	129	855	1
	12	886	135	135	135	135	135	135	135	135	136	135	135	135	135	135	135	135	880	12
HALF DAY TOTALS			897	1771	2530	2941	2938	2512	1717	803	590	572	567	565	565	565	567	589	3455	
Jul	6	255	81	176	241	266	253	200	114	25	19	19	19	19	19	19	19	21	42	6
	7	615	142	367	529	610	600	498	319	98	56	56	56	56	56	56	56	59	229	5
	8	755	128	361	556	664	673	583	404	163	85	81	81	81	81	81	81	83	444	4
	9	823	117	284	474	588	615	553	406	202	107	100	100	100	100	100	100	100	626	3
	10	858	123	194	328	431	469	437	340	206	124	117	114	114	114	114	114	117	767	2
	11	876	130	140	182	232	263	262	230	180	139	130	127	122	122	122	122	127	851	1
	12	882	133	133	133	134	135	137	141	145	146	145	141	137	135	134	133	133	876	12
HALF DAY TOTALS			779	1572	2352	2830	2916	2585	1877	947	602	570	562	559	557	557	558	570	3394	
Aug	6	109	19	62	93	110	110	93	61	19	7	7	7	7	7	7	7	7	13	6
	7	588	69	273	455	564	586	521	374	161	51	47	47	47	47	47	47	47	183	5
	8	759	82	257	491	640	693	642	496	264	82	74	74	74	74	74	74	74	409	4
	9	837	100	181	398	563	638	621	512	319	123	97	95	95	95	95	95	95	603	3
	10	876	113	125	245	394	488	507	451	325	174	116	109	109	109	109	109	109	752	2
	11	896	121	124	134	193	269	320	327	287	214	145	125	121	118	118	118	118	844	1
	12	902	121	124	125	127	130	148	184	216	229	216	184	148	130	127	125	124	872	12
HALF DAY TOTALS			565	1094	1896	2543	2869	2803	2335	1493	766	588	539	521	516	514	513	512	3242	
Sep	7	544	35	133	333	471	533	516	417	250	55	33	33	33	33	33	33	33	111	5
	8	781	61	112	374	584	701	711	611	418	151	64	61	61	61	61	61	61	340	4
	9	875	82	89	265	504	654	705	650	497	256	88	82	82	82	82	82	82	548	3
	10	920	97	100	134	320	498	593	599	514	346	151	101	97	97	97	97	97	706	2
	11	942	106	106	111	136	265	400	476	477	404	270	139	111	106	106	106	106	806	1
	12	948	110	110	110	112	117	180	298	391	424	391	298	180	117	112	110	110	840	12
HALF DAY TOTALS			438	600	1280	2084	2721	3040	2925	2363	1424	793	550	457	438	435	435	435	2921	
Oct	7	434	20	39	197	329	406	418	369	258	96	21	20	20	20	20	20	20	52	5
	8	778	49	54	248	502	666	725	674	517	268	54	49	49	49	49	49	49	258	4
	9	896	70	72	148	426	637	746	742	624	405	130	72	70	70	70	70	70	473	3
	10	950	85	85	91	242	484	643	701	654	506	269	92	85	85	85	85	85	634	2
	11	974	95	95	95	103	251	456	586	624	568	420	210	100	95	95	95	95	735	1
	12	982	98	98	98	98	104	220	411	544	589	544	411	220	104	98	98	98	770	12
HALF DAY TOTALS			366	388	803	1616	2453	3071	3254	2930	2129	1156	651	412	369	366	366	366	2535	
Nov	7	210	7	8	63	137	185	201	190	146	76	9	7	7	7	7	7	7	15	5
	8	732	38	40	131	397	587	682	672	557	351	87	38	38	38	38	38	38	173	4
	9	889	59	59	74	333	590	745	785	703	513	225	62	59	59	59	59	59	378	3
	10	954	59	59	77	167	450	658	761	748	621	389	116	75	59	59	59	59	539	2
	11	984	83	83	83	87	229	486	658	726	685	538	295	92	83	83	83	83	638	1
	12	992	86	86	86	86	91	255	498	653	706	653	498	255	91	86	86	86	671	12
HALF DAY TOTALS			305	307	469	1160	2085	2919	3330	3215	2600	1567	753	382	307	305	305	305	2079	
Dec	7	93	3	3	22	56	79	89	85	68	38	5	3	3	3	3	3	3	5	5
	8	710	33	33	92	352	548	655	659	561	372	111	34	33	33	33	33	33	139	4
	9	887	54	54	59	293	566	738	794	727	547	266	58	54	54	54	54	54	336	3
	10	959	68	68	70	139	432	659	779	779	659	432	139	70	68	68	68	68	496	2
	11	990	77	77	77	81	217	493	681	761	725	579	328	92	77	77	77	77	594	1
	12	999	80	80	80	80	85	266	526	691	747	691	526	266	85	80	80	80	627	12
HALF DAY TOTALS			277	278	371	987	1927	2834	3322	3286	2737	1734	810	369	280	277	277	277	1886	
			N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW	S	SSE	SE	ESE	E	ENE	NE	NNE	Hor.	PM

Notes: 1. Clearness number = 1.00; Ground reflectance = 0.20

2. Figures shown are for 21st day of each month.

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ของกระจก

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineering. 1993 ASHRAE Handbook of Fundamental. SI edition. Atlanta, 1993.

2.1.4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก เป็นค่าที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ของกระจกชนิดต่าง ๆ เทียบกับกระจกใสตามหนา 3 มม. ที่ไม่มีการบังเงาให้กับกระจก (มีค่า SC=1) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อกระจกมีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก น้อยลง ซึ่งแสดงว่าสามารถลดปริมาณการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารได้ แต่สิ่งที่เกิดขึ้นตามมา ก็คือการได้รับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ในปริมาณที่ลดลงไปด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาเป็นอย่างยิ่งในการเลือกใช้วัสดุกระจกประกอบการใช้งานในอาคาร

2.1.4.5 ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ เป็นค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกใสความหนา 3 มม. ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมรวมทั้งรังสีที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียงค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก, เวลา, วันเดือนปี ที่เป็นผลมาจากการโคจรของโลกและดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ทิศทางของกระจกที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์ก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงของค่านี้

เมื่อได้พิจารณาปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านพื้นผิวกระจกจากองค์ประกอบทั้งหมดจะได้ว่าการคำนวณปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกระจกในช่วงเวลาหนึ่งทั้งหมด (total heat gain) จะมีค่าการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนและการส่งผ่านความร้อน โดยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยมีความสัมพันธ์ในรูปของสมการดังนี้ (ASHRAE, 1993)

$$\text{Conduction} = Q = U \times A \times \Delta t$$

$$\text{Solar Radiation} = Q = A \times SC \times SHGF = \Delta t$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกระจก

A = พื้นที่ของกระจก

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก

SHGF = ค่าตัวประกอบรังสีความร้อนดวงอาทิตย์

Δt = ค่าความแตกต่างกันของอุณหภูมิ

จากความสัมพันธ์นี้จะพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของกระจกจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (U-value) ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก และค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งค่าเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุกระจก

I18981239

ที่ใช้เป็นสำคัญ แต่ในการวิจัยนี้ก็จะมุ่งเน้นไปที่ความสามารถในลดความร้อนของกระจกที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่างกันเท่านั้น เนื่องจากปัจจัยด้านเวลาเป็นตัวกำหนด และนอกจากนั้นตัวแปรสำคัญในการแก้ปัญหานี้ยังขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Δt) ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะของสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญและในการวิจัยนี้จะค้นหาแนวทางลดค่าดังกล่าวนี้เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารอีกแนวทางหนึ่งด้วย

2.2 แนวทางการลดความร้อนโดยวิธีการธรรมชาติ

กระบวนการลดความร้อนโดยวิธีการธรรมชาติเป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้เพิ่มเติมเพื่อสร้างสภาวะความน่าสบายให้กับมนุษย์นอกเหนือจากการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น กระบวนการนี้เป็นการมุ่งเน้นไปที่การขจัดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นออกไปจากอาคาร โดยใช้ตัวแปรจากธรรมชาติในด้านต่างๆที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและการใช้สอย ความสนใจในการใช้วิธีการธรรมชาติเพื่อการลดความร้อน เริ่มเป็นที่สนใจแพร่หลายต่อสาธารณะและในหมู่ผู้เกี่ยวข้องตั้งแต่ช่วงทศวรรษ 1970 เป็นต้นมา ซึ่งเป็นผลมาปัญหาด้านการขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิง โดยเฉพาะน้ำมันดิบที่ส่งผลกระทบไปทั่วโลก ทำให้ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน เช่น ค่าไฟฟ้า แก๊สหุงต้ม ฯลฯ ที่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้สิ่งที่เกิดขึ้นจากการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงอย่างไร้การควบคุมเหล่านี้ ยังก่อให้เกิดปัญหาร้ายแรงต่อสภาวะแวดล้อมและธรรมชาติของโลกมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นภาวะการณ์โลกร้อนระอุ (global warming)หรือการทำลายตัวของโอโซนในชั้นบรรยากาศ เมื่อปัญหาเหล่านี้เริ่มรุนแรงขึ้นจึงก่อให้เกิดความสนใจในแนวทางการใช้ธรรมชาติเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาแนวทางนี้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องจากนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ แต่ในจุดเริ่มต้นของการวิจัยจะเป็นการศึกษาเพื่อให้เกิดการใช้ความร้อนจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ทำความอบอุ่นให้กับอาคารในฤดูหนาว (passive-heating) จนกระทั่งเกิดการขยายตัวและอพยพของประชากรในรัฐทางใต้และตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศแบบประเทศในเขตร้อน และก่อให้เกิดปัญหาในการใช้พลังงานในลักษณะเดียวกัน จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการวิจัยเพื่อค้นหาแนวทางการใช้ธรรมชาติเป็นเครื่องมือในการทำความเย็นให้กับอาคาร (passive-cooling) จากจุดนี้การวิจัยได้ขยายผลเพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวาง จนถูกใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ประกอบการออกแบบอาคารอย่างเหมาะสมกับลักษณะภูมิอากาศและมีประสิทธิภาพต่อไป (Givoni, 1994)

กระบวนการลดความร้อนหรือทำความเย็นจากธรรมชาติมีหลายแนวทางในการเลือกใช้ประกอบการออกแบบอาคารให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ และสภาพของธรรมชาติแวดล้อม โดยปัจจัยในการจำแนกแนวทางที่ใช้เป็นเครื่องมือประกอบการออกแบบจะพิจารณาจากลักษณะของสภาพธรรมชาติที่ถูกใช้เป็นหลักในการใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 แนวทาง ดังนี้

ก. กระบวนการทำความเย็นโดยการระบายอากาศ

ข. กระบวนการทำความเย็นโดยการแผ่รังสี

ค. กระบวนการทำความเย็นโดยการระเหย

ง. กระบวนการทำความเย็นโดยดิน

จ. กระบวนการทำความเย็นโดยการลดความชื้น (Lechner, 1992)

เมื่อได้พิจารณาในส่วนรายละเอียดของปัจจัยจากธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันไปในแต่ละแนวทางในการลดความร้อนที่เกิดขึ้น ประกอบกับความเป็นไปได้ของการสร้างหน่วยทดลอง สถานที่ทำการวิจัย ความเหมาะสมในการใช้งานและความสามารถในการประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารในประเทศไทยที่สามารถเป็นไปได้ จะเห็นได้ว่าแนวทางที่ 1 เป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดในการเลือกใช้เป็นแนวทางประกอบการศึกษาวิจัยนี้ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยโดยรวม และสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติในบริเวณที่ทำการทดลองมีลักษณะที่เอื้ออำนวยและเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติแวดล้อมด้วย แนวทางดังกล่าวข้างต้นได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพและประกอบกับการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะความน่าสบายของมนุษย์ (Fanger, 1992) ในประเด็นของการใช้ลมธรรมชาติเป็นเครื่องมือปรับปรุงสภาพภายในอาคารให้เอื้ออำนวยกับการดำรงชีวิตของมนุษย์

2.2.1 การลดความร้อนด้วยการระบายอากาศโดยการระบายลมธรรมชาติ

การระบายอากาศโดยวิธีการธรรมชาติเป็นกระบวนการทำความเย็นที่ปราศจากเครื่องมือกลที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั่วโลก กระบวนการนี้มีพื้นฐานจากการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน ซึ่งเมื่อมีการเคลื่อนที่ของอากาศก็จะพัดพาความร้อนให้เคลื่อนที่ตามไปด้วย ก่อให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิในบริเวณนั้น ๆ นอกจากนี้เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านผิวหนังของมนุษย์ก็จะก่อให้เกิดการระเหยของเหงื่อที่บริเวณรูขุมขนและส่งผลเกี่ยวกับความรู้สึกร้อน-หนาวของประสาทสัมผัสที่ผิวหนัง (Santomouris and Asimakopolus, 1996) สำหรับการแบ่งประเภทของการระบายอากาศโดยวิธีการธรรมชาติมีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอก สู่ภายในอาคารหรือจากภายนอกอาคารสู่ภายในอาคารจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

2.2.1.1 แบบควบคุมได้ คือ การระบายอากาศ (ventilation) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

ก. การเคลื่อนที่ของอากาศโดยแรงกระทำของตัวเอง (กระแสลม) หรือความแตกต่างของความดันอากาศ

ข. การเคลื่อนที่ของอากาศโดยความแตกต่างของอุณหภูมิ

2.2.1.2 แบบควบคุมไม่ได้ คือการแทรกซึมของอากาศ (infitration) ซึ่งในการวิจัยจะไม่นำมากล่าวถึงเนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการทดสอบหน่วยทดลองที่มีลักษณะเปิดเป็นหลัก ดังนั้น การแทรกซึมของอากาศจึงเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบค่อนข้างน้อยสำหรับการวิจัยนี้ (ASHRAE, 1993) สำหรับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในแบบควบคุมได้ตามหัวข้อ 2.2.1.1 ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภายในอาคารใน 3 ลักษณะ คือ

1. เพื่อรักษาคุณภาพของอากาศภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการพื้นฐานในการใช้ชีวิตของมนุษย์ด้วยการถ่ายเทอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกอาคารเข้าแทนที่อากาศเสีย เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่การหายใจจนกระทั่งเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในการใช้งานในชีวิตประจำวัน ความสำคัญของประเด็นแรกนี้จะอยู่ที่การป้องกันการเกิดโรคภัยไข้เจ็บที่จะเกิดขึ้นจากสภาพที่เรียกว่ามลภาวะจากอากาศภายใน(indoor air pollution) ภายในอาคาร รวมทั้งความต้องการอากาศบริสุทธิ์ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ จึงเรียกการระบายในลักษณะนี้ว่าการระบายอากาศเพื่อสุขภาพ(health ventilation)

2. เพื่อเสริมสร้างสภาวะความน่าสบายในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในลักษณะของการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบของการพาความร้อนซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศที่พัดผ่านตัวมนุษย์จะช่วยเพิ่มอัตราของการสูญเสียความร้อน (heat loss) ที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การพัดพาความร้อนดังกล่าวจะช่วยทำให้ฟิล์มอากาศ (air film) ที่อยู่ที่ผิวหนังมนุษย์ถูกพัดพาไปทำให้เกิดความรู้สึกเย็นสบายไม่เกิดความอับชื้นอันเนื่องมาจากเหงื่อไคลบนผิวหนังอีกด้วย ซึ่งลักษณะการระบายอากาศนี้จะถูกเรียกว่าการระบายอากาศเพื่อสภาวะน่าสบาย (thermal comfort ventilation)

3. เพื่อรักษาสภาพความเย็นและระบายความร้อนของโครงสร้างอาคาร โดยที่เมื่อสภาพอุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าภายนอก การพัดพาของอากาศจะสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่จะมีผลต่อผู้ใช้อาคารไม่ว่าจะเป็นการแผ่รังสีความร้อนหรือการนำความร้อนที่เกิดจากการเก็บกักความร้อนในตัวมวลสารของวัสดุประกอบอาคาร โดยมีความมุ่งหมายหลักอยู่ที่การลดอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดจากการแผ่รังสี (mean radiant temperature-MRT) ซึ่ง

เกิดจากการแผ่รังสีของสภาพพื้นผิวของวัสดุประกอบอาคารในส่วนต่าง ๆ เช่น หลังคา, พื้นและผนังที่ส่งผลต่อสภาพของอุณหภูมิภายในอาคาร โดยการระบายอากาศในลักษณะนี้เรียกว่า การระบายอากาศสำหรับโครงสร้าง (structural ventilation)

โดยทั้ง 3 ลักษณะนี้จะมี ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการระบายความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ กันไปตามสภาพของการใช้งานแต่ในการวิจัยนี้จะเน้นไปที่ความต้องการในการใช้การระบายอากาศ เพื่อสร้างสภาวะความน่าสบายภายในอาคารเป็นหลัก (Givoni, 1962)

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลการถ่ายเทความร้อนโดยการระบายลมธรรมชาติ

ในการศึกษาสภาวะการลดความร้อนโดยวิธีการระบายอากาศจากธรรมชาติในความเป็นจริงแล้วก็คือกระบวนการที่ใช้ธรรมชาติเป็นเครื่องมือในการถ่ายเทความร้อนจากจุดที่ไม่ต้องการออกไปนั่นเอง ซึ่งในที่นี้ธรรมชาติก็คืออากาศหรือกระแสลมที่จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในลักษณะของการพาความร้อนออกไปจากตัวอาคาร โดยที่ปริมาณของความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปนั้นจะเป็นผลจากความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกันระหว่างค่าความจุความร้อนของอากาศ, อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในอาคาร (รูปที่ 2.10) ดังจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ในรูปของสมการด้านล่างนี้ (ASHRAE, 1993)

$$Q = H/C_p(t_i-t_o)$$

หรือปรับสมการใหม่จะได้

$$H = Q*C_p(t_i-t_o)$$

ซึ่ง H = ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไป, มีหน่วยเป็นวัตต์

Q = อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ, มีหน่วยเป็น ม.^{3} (ลิตร)

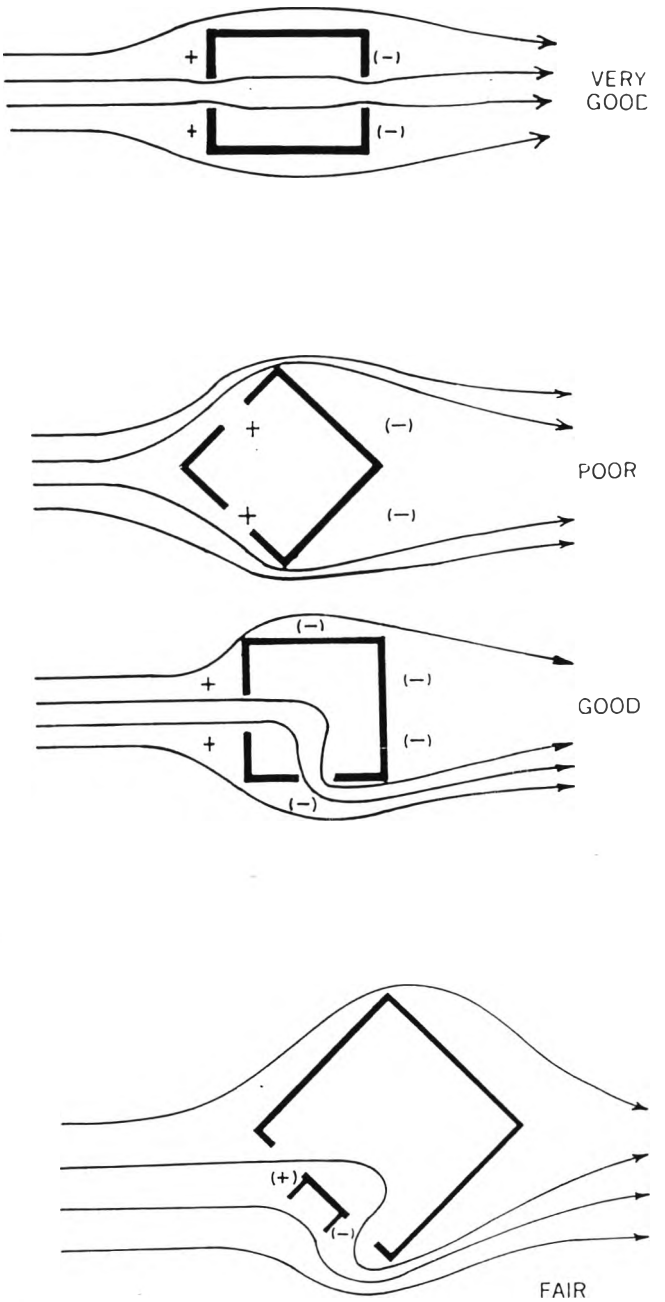
C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (specific heat), มีหน่วยเป็น จูล/กก. °C (มีค่าประมาณ 1000)

ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ, มีหน่วยเป็น กก./ม.^{3} (มีค่าประมาณ 1.2)

t_i-t_o = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายใน-อุณหภูมิภายนอก, มีหน่วยเป็น °C

และเมื่อแทนค่าด้วยค่าคงที่ในส่วนของ C_p และ ρ จะได้รูปแบบของความสัมพันธ์ดังนี้

$H = 1200\ Q\ (t_i-t_o)$ หน่วยเป็น วัตต์ (ASHRAE, 1993)



รูปที่ 2.10 การระบายอากาศ โดยวิธีการธรรมชาติ

ที่มา : Lechner, N. Heating, cooling, lighting : Design method for architects. New York : John Wiley & Sons, 1990.

จากสมการจะเห็นได้ว่าปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปจากตัวอาคารจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ (Q) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Δt) เป็นสำคัญ โดยจะพบว่าในส่วนของอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศจะมีอิทธิพลต่อการการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด เนื่องจากในส่วนของความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใจ (Δt) สำหรับในประเทศไทยตามความเป็นจริงจะมีค่าแตกต่างกันไม่ควรเกิน 10 °C และเป็นปัจจัยที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพธรรมชาติแวดล้อมเป็นส่วนมาก ดังนั้นการระบายอากาศในลักษณะนี้มีจะปัจจัยกระตุ้นจากกระแสลมเป็นหลัก ดังนั้นในส่วนของอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศจึงเป็นส่วนที่สามารถกำหนดได้ด้วยการออกแบบอาคารและรายละเอียดของการออกแบบช่องเปิดเปิดในลักษณะต่าง ๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาต่อไปถึงปัจจัยในการกระตุ้นอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศโดย Liddament (1988) ที่พบความแตกต่างระหว่างความเร็วลมในฤดูหนาวและฤดูร้อน รวมทั้งทิศทางของการพัดพาของลมธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลเช่นเดียวกัน และถ่ายความสัมพันธ์ของความเร็วลมและทิศทางของกระแสลมที่มีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของอากาศและขนาดของช่องเปิดจะสามารถแสดงได้จากสมการของความสัมพันธ์ดังนี้ (ASHRAE, 1993)

$$Q = C_V * A * V$$

ซึ่ง Q = อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ, มีหน่วยเป็น ม.^{3}/วินาที

A = ขนาดพื้นที่ของช่องลมเข้า, มีหน่วยเป็น ม.^{2}

V = ความเร็วลม, มีหน่วยเป็น ม./วินาที

C_V = ค่าแสดงประสิทธิภาพของทิศทางกระแสลม (0.50-0.60 สำหรับลมที่ผิดตั้งฉากกับช่องเปิด) (0.25-0.35 สำหรับลมที่พัดทแยงกับหน้าต่าง)

จากความสัมพันธ์นี้เมื่อนำไปแทนค่าอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ (Q) ในสมการแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณการถ่ายเทความร้อนด้านบนจะได้ออกมาในรูปความสัมพันธ์ดังนี้

$$H = 1200 (C_V * A * V(t_i - t_o)), \text{ หน่วยเป็นวัตต์}$$

จากสมการนี้เมื่อตัดส่วนของค่าคงที่ประสิทธิภาพของทิศทางกระแสลมที่เป็นผลมาจากความเหมาะสมของทิศทางของกระแสลมและช่องเปิดออกไปแล้ว ประกอบกับความเร็วของกระแสลม ซึ่งเป็นปัจจัยจากธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้จะพบว่าสิ่งที่มีอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนด้วยการระบายอากาศนี้ก็คือขนาดพื้นที่ของช่องเปิด (A) นั่นเอง โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองจะเป็นไปในลักษณะตามกันคือ เมื่อพื้นที่ของช่องเปิดในทิศทางกระแสลมเข้ามากก็จะทำให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายในอาคารมาก และในทางกลับกันเมื่อขนาดของช่องเปิดเล็กลงก็จะเป็นผลให้ปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายเทออกไปมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นในการวิจัยจะมุ่งศึกษาความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนนี้จากตัวแปรทั้งสองนี้เป็นหลักดังจะแสดงให้เห็นในส่วนของขั้นตอนและวิธีการทดลองต่อไป

2.3 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

การที่มวลสาร (thermal mass) มีความสามารถในการกักเก็บความร้อน และหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้มากน้อยต่างกันนั้น จึงทำให้ยากต่อการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริง ๆ ทั้งนี้เพราะอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารจริงมาจากหลายองค์ประกอบด้วยกัน เท่าที่พอจะรวบรวมได้แก่อิทธิพลต่างๆ เหล่านี้

- ความจุความร้อนของวัสดุ (thermal heat capacity) โดยวัสดุที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนที่จะไหลผ่านวัสดุเป็นไปในอัตราที่ช้าลง
- การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุ กับสภาพแวดล้อม (long wave radiation heat exchange) เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังกับผิววัสดุอื่นๆ ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น โดยเฉพาะในรูปของการแผ่รังสี
- การถ่ายเทความร้อนของผนังให้กับอากาศโดยตรง โดยการนำความร้อนจากผิวสัมผัส การถ่ายเทความร้อนของผนังด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิวและลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของการนำความร้อนที่มีต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังจะมีค่าน้อยมาก ในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลอันนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น
- ความสามารถในการดูดกลืนและกระจายพลังงานความร้อนของวัสดุ โดยปกติแล้ว หากเป็นสีของวัสดุธรรมดาตามธรรมชาติ ค่าการกระจายพลังงาน จะค่อนข้างสูง คือประมาณ 0.8-0.9 เป็นส่วนใหญ่นอกเสียจากว่าเป็นสีเคลือบผิวพิเศษ (selective coating) ส่วนมากจะแปรตาม

ความเข้มของสีผิว คือ เข้มมากก็จะดูดกลืนความร้อนสูง ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้มุ่งเน้นไปที่ประเด็นนี้

- การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ (Kwang-Woo Kim, 1984) และที่สำคัญคือปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (fill up heat capacity) ก่อนที่จะถ่ายเทไปในชั้นต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงพบว่า ในผนังก่ออิฐฉาบปูนเหมือนกัน แต่ใส่ฉนวนไว้ในตำแหน่งต่างกัน คือ ภายนอกและภายใน ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายนอก ทำให้ความร้อนผ่านฉนวนเข้ามาได้ยาก เป็นเหตุให้จุดอิ่มตัวของความร้อนในผนังเป็นไปได้ช้าจึงทำให้การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนังนั้นมีค่ายาวนานขึ้น

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) โดยปกติการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในมักจะใช้ค่า U เป็นหลักในการคำนวณ

2.3.1การคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

สมการที่ใช้ในการคำนวณ ปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร โดยทั่วๆ ไป ไปมีสองสมการคือ

$$Q = U * A * \Delta T \qquad \text{_____(1)}$$

และ

$$Q = U * A * CLTD \qquad \text{_____(2)}$$

โดยที่ :

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (BTU/HR. SF. ^{O}F)

A = พื้นที่ของผนังที่ถ่ายเทความร้อน (SF)

ΔT = ความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน (^{O}F)

CLTD = ภาระความแตกต่างความร้อนเทียบเท่าหรือ Cooling Load Temperature Difference (^{O}F)

ทั้ง 2 สมการข้างบนนี้ จะพบว่าการคำนวณจะใช้สมการที่ 1 ในกรณีที่ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน มีค่าคงที่ (Steady State Condition) หรืออิทธิพลจากองค์ประกอบภายนอกไม่มีผลกระทบรุนแรงนัก อีกกรณีหนึ่งที่จะใช้สมการที่ 1 ในการคำนวณก็ คือ เพื่อความสะดวกในกรณีที่มีอัตราเสี่ยงต่ำ ในการคำนวณค่า Heat Load ของอาคารในเมืองหนาว ซึ่งถือว่าอิทธิพลอันเนื่องมาจากมวลสาร การหน่วงเวลาหรืออื่นๆ เป็นเสมือนค่า Safety Factor ในการคำนวณ

ในสมการที่ 2 ค่า ΔT ถูกเปลี่ยนเป็น CLTD เพื่อปรับให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เพราะในทางปฏิบัติแล้ว ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในอาคารไม่เคยคงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้การคำนวณค่า Peak Load ของอาคารจึงใช้ค่า CLTD แทน ΔT จากการศึกษารายละเอียดในการคำนวณ (American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers (ASHRAE), 1989) จะพบว่า ค่า CLTD นั้นเป็นค่าที่ดัดแปลงมาจาก ΔT หากแต่ว่าปรับให้เข้ากับอิทธิพลจากภายนอกหลายนอกหลายองค์ประกอบ เช่น เวลา, วัน , เดือน และ เขตละติจูดที่เกิด Peak Load, มวลสารของผนัง สีของผนัง, การหน่วงเวลาของผนังตลอดจนผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมหรือ ถ้าจะมองกันอย่างลึกซึ้ง ก็คือ ค่า CLTD นั้นพยายามจะปรับให้ใกล้กับความเป็นจริงมากที่สุดโดย การคำนวณได้พยายามคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน

2.3.2อิทธิพลจากฉนวนและมวลสาร

โดยปกติวัสดุที่เป็นฉนวน (เท่าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน) มักจะมี น้ำหนักเบา และมีมวลสารน้อยมีความสามารถในการกักเก็บปริมาณความร้อนได้น้อย แต่มีคุณสมบัติในการกีดกันการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในอัตราที่ช้า ในทางตรงข้ามวัสดุที่มีมวลสารมากจะมีความสามารถในการกักเก็บปริมาณความร้อนไว้ได้มาก เมื่อปริมาณความร้อนที่กักเก็บไว้มีมากขึ้นก็จะส่งผ่านตัววัสดุไปอย่างต่อเนื่อง ๆ ด้วยเหตุนี้ความร้อนที่สะสมไว้จึงค่อย ๆ เคลื่อนตัวผ่านเข้าสู่อาคารในเวลาถัดไป ทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าจะเดินทางเข้าสู่ภายในอาคาร อิทธิพลนี้เรียกว่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ถ้าหากในช่วงเวลาที่ผนังนั้นกักเก็บความร้อนอยู่นั้น อุณหภูมิของอากาศภายนอกเย็นลงกว่าอุณหภูมิของผนังแล้ว ในช่วงเวลานั้นก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่อากาศภายนอกด้วย (Kwang – Woo Kim, 1984) ในกรณีนี้จะเห็นว่า ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังนั้น ส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคารและอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวออกจากผนังสู่อากาศภายนอก ซึ่งถ้าหากผนังมี

มวลสารมากและมีการหน่วงเหนี่ยวเวลานาน โอกาสที่ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังจะสูญเสียให้กับอาคารภายนอกก็มีมาก (สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล, 2539)

2.4 ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อสภาวะความน่าสบายของมนุษย์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะความน่าสบาย หรือ Thermal comfort นี้ ได้มีผู้ค้นคว้ามาเป็นเวลานานจากนักวิจัยหลายท่านแต่ผู้ที่ได้รับการยกย่องว่ามีผลงานการวิจัยโดดเด่นเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปในการวิจัยเรื่องนี้ คือ P.O.Fanger (1967) ซึ่งได้สมการแห่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายตัวจากสภาพแวดล้อมขึ้น โดยใช้การปฏิบัติการในห้องทดลองเป็นหลักสำหรับการศึกษากระบวนการลดความร้อนผ่านหลังคากระจกโดยวิธีการธรรมชาตินี้ มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสภาพอุณหภูมิภายในอาคารให้เหมาะสมกับผู้ใช้อาคาร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องนำตัวแปรเหล่านั้นมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่จริง เพื่อประเมินค่าและปรับปรุงสภาวะความน่าสบายภายในอาคารให้เกิดขึ้น

2.4.1 สภาวะความน่าสบาย

B.Stein (1982) ได้กล่าวไว้ว่า "สภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ" (thermal comfort) อาจกล่าวหมายถึงการที่ตัวเราไม่รู้สึกอยู่ในสภาวะไม่น่าสบาย หรือไม่รู้สึกตัวเองว่าเราได้สูญเสียความร้อนหรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นสภาวะที่สมดุลย์ทางอุณหภูมิหรือความร้อนระหว่างร่างกายและสภาวะแวดล้อม

ร่างกายของมนุษย์นั้นจะผลิตความร้อนออกมาอย่างตลอดและต่อเนื่อง ในกิจกรรมประจำวันของมนุษย์เช่น การนอน การนั่ง การเดิน การทำงาน การออกกำลังกาย ล้วนแต่ทำให้เกิดการผลิตความร้อนขึ้นมาในร่างกาย ความต้องการพลังงานของร่างกายมนุษย์ทั้งหมดได้มาจากการบริโภค และย่อยอาหารเครื่องดื่มที่มนุษย์เราได้รับประทานเข้าไป กระบวนการในการเปลี่ยนแปลงอาหารและเครื่องดื่มที่คนเราบริโภคเข้าไปให้เปลี่ยนเป็นพลังงานสำหรับร่างกายคนเรานั้นเรียกว่า กระบวนการเผาผลาญพลังงาน (metabolism)

ภายในร่างกายของมนุษย์เรามีอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส (98.6 องศาฟาเรนไฮท์) และต้องรักษาระดับอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่เพื่อให้ร่างกายมนุษย์เราทำงานไปอย่างปกติ จากอาหารที่มนุษย์ได้บริโภคเข้าไป ร่างกายใช้พลังงานที่ได้มาจากขบวนการเผาผลาญอาหารเพียงแค่ 20 เปอร์เซ็นต์ ความร้อนส่วนที่เหลืออีก 80 เปอร์เซ็นต์ ร่างกายจะต้องขับออกไปสู่สภาพแวดล้อมภายนอกร่างกาย นั่นคือร่างกายมนุษย์เราต้องขับความร้อนออกมามากถึงประมาณสี่เท่าที่ร่างกายใช้

อยู่เพื่อที่จะรักษาระดับอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่ ความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่เข้าสู่ร่างกายก็ต้องถูกขับออกมาด้วย

ผลรวมที่ร่างกายมนุษย์สูญเสียความร้อนจากร่างกาย และร่างกายได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ควรสมดุลและคงไว้ซึ่งระดับอุณหภูมิในร่างกายเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส ถ้าร่างกายผลิตความร้อนมามากกว่าความร้อนที่ร่างกายสูญเสียความรู้สึกไม่สบายก็จะเกิดขึ้น ร่างกายจะรู้สึกร้อน ในทางกลับกันถ้าอัตราการสูญเสียความร้อนของร่างกายมากกว่าอัตราการผลิตและได้รับความร้อนมา อุณหภูมิร่างกายจะลดลง และรู้สึกหนาว

อัตราที่ร่างกายมนุษย์เราผลิตความร้อนออกมาส่วนมากขึ้นอยู่กับระดับของกิจกรรมของร่างกายขึ้นกับชนิดอาหารและเครื่องดื่มที่มนุษย์ได้บริโภคเข้าไป และบางส่วนก็ขึ้นอยู่กับสถานที่ที่มนุษย์เราอยู่ในการดำรงชีวิตประจำวัน ความร้อนที่ร่างกายมนุษย์เราผลิตออกมาถูกวัดเป็น Metabolic หรือหน่วย Met หนึ่ง Met จะเท่ากับ 58.2 W/m^2 หรือ 18.4 $Btu/h\ ft^2$ ในลักษณะที่คนเรานั่งพักเป็นพลังงานที่ผลิตขึ้นมาต่อหน่วยพื้นที่ โดยเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่ทั่วไป พลังงานความร้อนที่ผลิตออกมาประมาณ 117 W/m^2 หรือ 400 $Btu/h\ ft^2$ ยิ่งร่างกายมีกิจกรรมมากความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมาก็ยิ่งมากตาม ผิวร่างกายของมนุษย์เราจะเป็นส่วนสำคัญในการปรับการถ่ายเทความร้อน (ตารางที่ 2.3)

ระดับกิจกรรม	Metabolic Rate (หน่วย Met)
นอนพัก	0.8
นั่งพักผ่อน	1.0
กิจกรรมที่นั่งอยู่กับที่ (สำนักงานพักอาศัย โรงเรียน)	1.2
ยืนพัก	1.2
กิจกรรมเบาๆ, ยืน (ซื้อของ ทำงานในห้องปฏิบัติการอุตสาหกรรมเบา)	1.6
กิจกรรมปานกลาง ยืน (ช่วยงานในโรงงาน คุมเครื่องจักร)	2.0
กิจกรรมหนัก (คุมเครื่องจักรขนาดใหญ่)	3.0

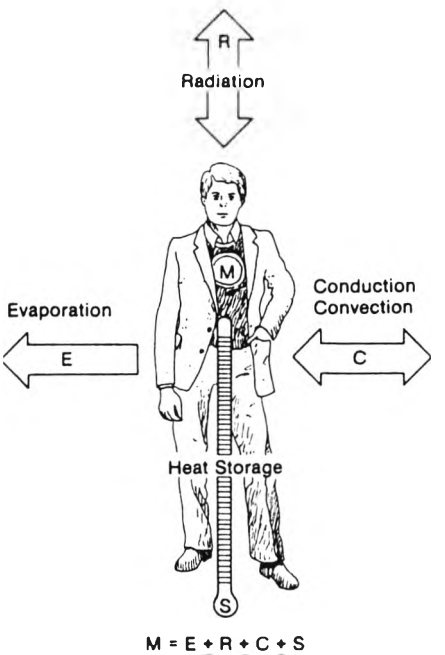
ตารางที่ 2.3 แสดงอัตราการเผาผลาญพลังงานในกิจกรรมต่าง ๆ

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวณิค. <u>การวิเคราะห์สภาวะความน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับอาคารสถาปัตยกรรมไทย</u>. กรุงเทพมหานคร : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

เลือดและน้ำจะเป็นส่วนที่นำความร้อนส่วนเกินมาที่บริเวณผิวหนัง ที่ผิวของร่างกายคนปกติจะมีอุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส (92 องศาฟาเรนไฮท์) ร่างกายเราถ่ายเทความร้อนส่วนเกินไปสู่สภาพแวดล้อมภายนอกได้สี่ทางคือ การนำความร้อน โดยการสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็น การพาความร้อน โมเลกุลของอากาศจะพัดผ่านผิวร่างกายและพาความร้อนออกไป การแผ่รังสี เมื่อผิวร่างกายมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นผิวรอบ ๆ ร่างกาย (โดยไม่มีการสัมผัส) ผิวร่างกายสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีไปสู่พื้นที่ผิวที่เย็นกว่า และการระเหย (evaporation) ของเหลวจะระเหยได้โดยการดึงความร้อนจากพื้นผิวที่ของเหลวระเหย ปริมาณความร้อนที่ร่างกายถ่ายเทสูญเสียออกมาขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย เสื้อผ้าที่เราสวมใส่และสภาพแวดล้อมโดยรอบร่างกาย

ในการทำความเย็นต่อเนื่องของร่างกาย กระทำโดยหายใจออกเอาอากาศที่อุ่นออกมาโดยการระเหยของน้ำในปอดและหายใจออกมา ด้วยกระบวนการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อนจากผิวร่างกาย เมื่ออัตราทำความเย็นของร่างกายด้วยกลไกเหล่านี้ไม่พอเพียงต่อความต้องการของร่างกาย เหงื่อก็จะไหลออกมา น้ำออกมาจากรูขุมขนบนผิวร่างกาย เพื่อจะทำให้ถูกระเหยไปในอากาศเป็นการดึงความร้อนจากร่างกายเปลี่ยนเป็นความร้อนแฝง (latent heat) ในรูปของไอน้ำ ปริมาณความร้อนจำนวนมากสามารถสูญเสียโดยวิธีการนี้และการไหลของเหงื่อมีจำนวนพอเพียงภายใต้สภาพทั่วไปเพื่อเพิ่มการทำความเย็นตามที่ร่างกายต้องการ และโดยที่ผิวของร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส ร่างกายมนุษย์จะแผ่รังสีความร้อนไปทุก ๆ ที่ที่อุณหภูมิเย็นกว่าร่างกายและจะถูกทำความร้อนโดยสิ่งรอบ ๆ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าร่างกาย นอกจากนี้ยังรวมถึงการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ กระแสลมที่พัดผ่านร่างกายก็จะช่วยพัดพาความร้อนจากผิวของร่างกาย และช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้นดังนั้นอุณหภูมิที่พื้นผิวในสภาพแวดล้อม และกระแสลมเป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนออกไป และบรรลุถึงสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิได้ (รูปที่ 2.11)

P.O.Fanger (1967) ได้ค้นพบตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะความน่าสบายมีอยู่ด้วยกัน 6 ตัวแปร เป็นตัวแปรทางด้านบุคคล 2 ตัวแปรคือ กระบวนการเผาผลาญพลังงานและเสื้อผ้าที่สวมใส่ ส่วนตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อมประกอบด้วย 4 ตัวแปรคือ อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature) อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (mean radiant temperature-MRT) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) และความเร็วลม (wind speed)

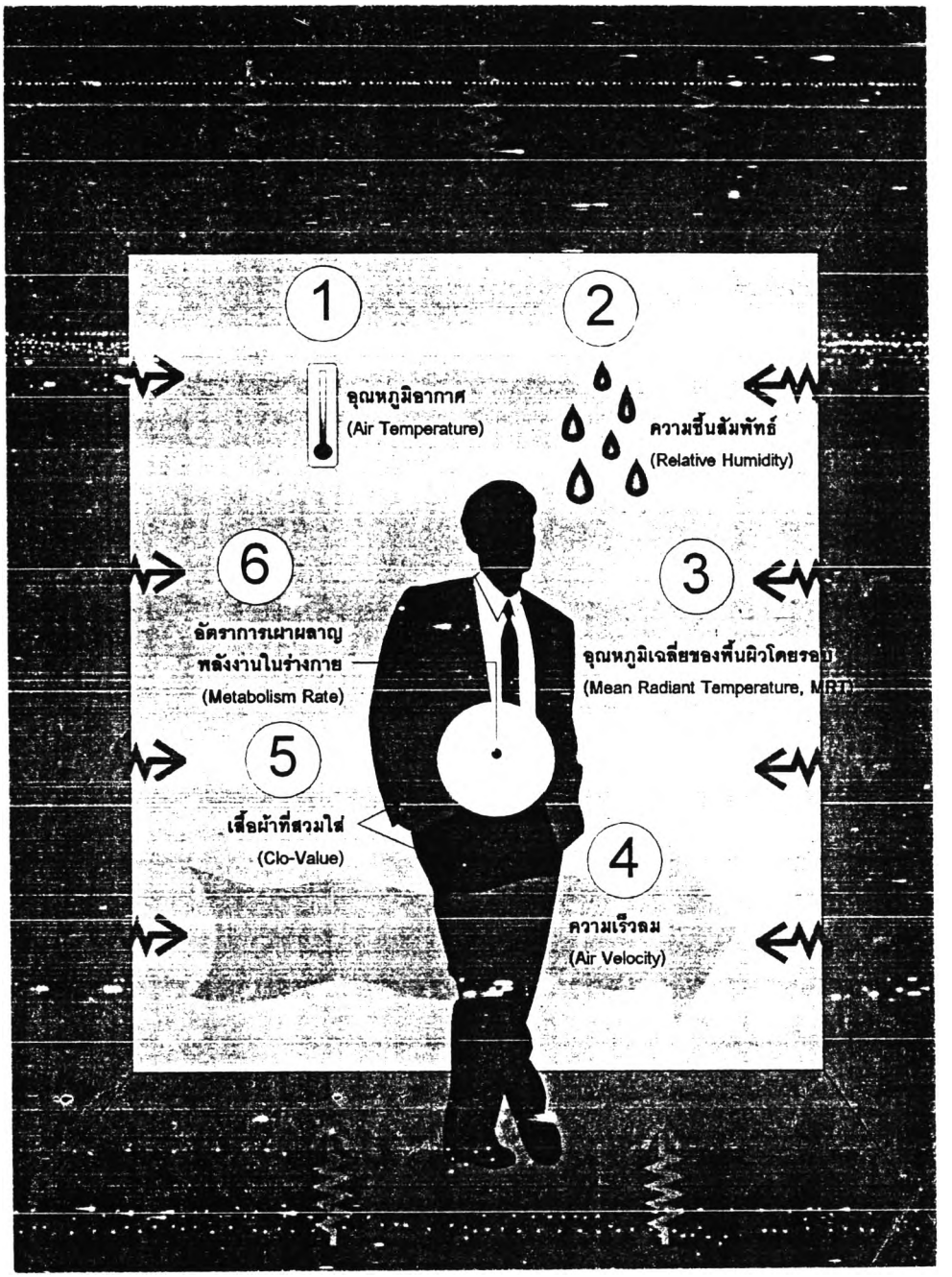


รูปที่ 2.11 การสร้างความสมดุลทางอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ต่อสภาพแวดล้อม

ที่มา : Bradshaw, V. Building control system. 2 nd.ed. New York: John Wiley & Sons, 1993

อุณหภูมิอากาศโดยรอบเป็นจุดหลักในการบ่งบอกถึงสภาวะความน่าสบาย ช่วงอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในสภาวะนี้ จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส (68 องศาฟาเรนไฮท์) ถึง 26.6 องศาเซลเซียส (80 องศาฟาเรนไฮท์) ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าช่วงนี้ การทำความร้อนหรือการทำความเย็น มีความจำเป็นต้องถูกนำมาใช้เพื่อทำให้อยู่ในสภาพความน่าสบายโดยที่อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมสามารถช่วยส่งเสริม สภาพของอุณหภูมิให้ดีขึ้นหรือเลวลงได้

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ นั้นวัดโดยค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย (รูปที่ 2.13) ค่านี้สามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่าง ๆ ในห้อง และตำแหน่งที่วัดค่าจะใช้มุมกระทำ (solid angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิวโดยหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็นค่าของ MRT อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิพื้นผิวที่มีต่อสภาวะน่าสบายและการที่จะสามารถวัดออกมาได้นั้นจะใช้ในรูปของ โอเปอร์เรทีฟ เทมเปอร์เรเจอร์ (operative temperature)

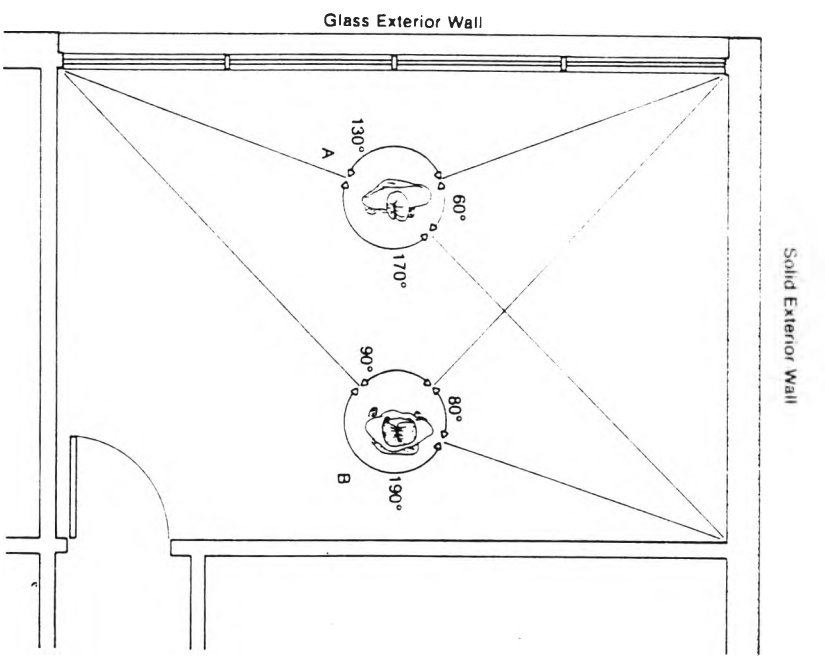


รูปที่ 2.12 แสดงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ <u>เทคนิกการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า</u> กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

โอเปอร์เรทีฟ เทมเปอร์เรเจอร์ เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในห้องและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวต่าง ๆ ในห้องนั้น ในการวัดจะใช้ เครื่องมือวัดอุณหภูมินี้ โดยใช้ลูกโลหะทองแดงกลมทาสีดำด้าน เจาะรูกลมเล็ก ๆ และใช้เทอร์โมมิเตอร์สอดเข้าไปให้อยู่ประมาณกึ่งกลางของลูกโลหะกลม เทอร์โมมิเตอร์นี้จะอ่านค่า โอเปอร์เรทีฟ เทมเปอร์เรเจอร์

โดยทั่วไปอุณหภูมิอากาศมักจะไม่เป็นเครื่องบ่งบอกที่ดีถึงสภาวะน่าสบายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องหรืออาคารที่ทำความร้อนหรือเย็นโดยไม่อาศัยเครื่องกล (ใช้วิธีธรรมชาติ) ซึ่งอุณหภูมินี้ เละความเร็วลม อาจมีอิทธิพลมากกว่าอุณหภูมิอากาศก็ได้ เนื่องจากอุณหภูมินี้ มีอิทธิพลต่อสภาวะความน่าสบายมากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมินี้ ลดลง 1 องศาเซลเซียส ความรู้สึกร้อนหนาวยังคงเหมือนเดิม และเช่นเดียวกันในทางกลับกัน ในห้องที่มีอุณหภูมิอากาศ 26 องศาเซลเซียส แต่ อุณหภูมิผิว สูง 32 องศาเซลเซียส ผู้ที่อยู่ในห้องนั้นก็จะรู้สึกว่ายังร้อนอยู่



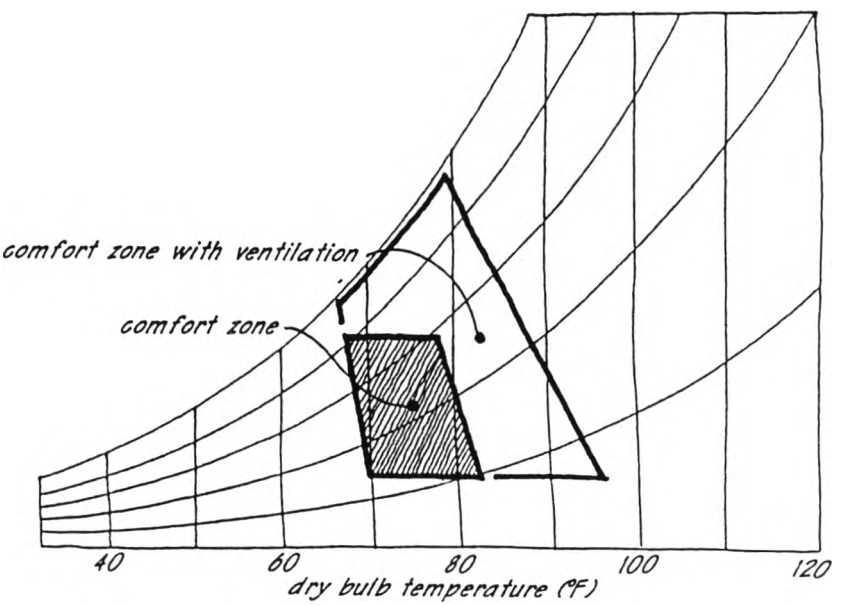
รูปที่ 2.13 แสดงการเกิดอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ

ที่มา : Bradshaw, V. Building control system. 2 nd.ed. New York: John Wiley & Sons, 1993

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึงสัดส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่อากาศสามารถรองรับความชื้นได้โดยปราศจากการกลั่นตัวเองเป็นหยดน้ำ (condensation) ความชื้นเมื่อเทียบแล้วมีความสำคัญน้อยในสภาพอากาศที่เย็นเนื่องจากการสูญเสียความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี จะมีผลมาก แต่ความชื้นจะมีความสำคัญมากในสภาพอากาศที่ร้อนโดยการสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อ ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงของสภาวะความน่าสบาย นั้นอยู่ในช่วง 20-80 เปอร์เซ็นต์

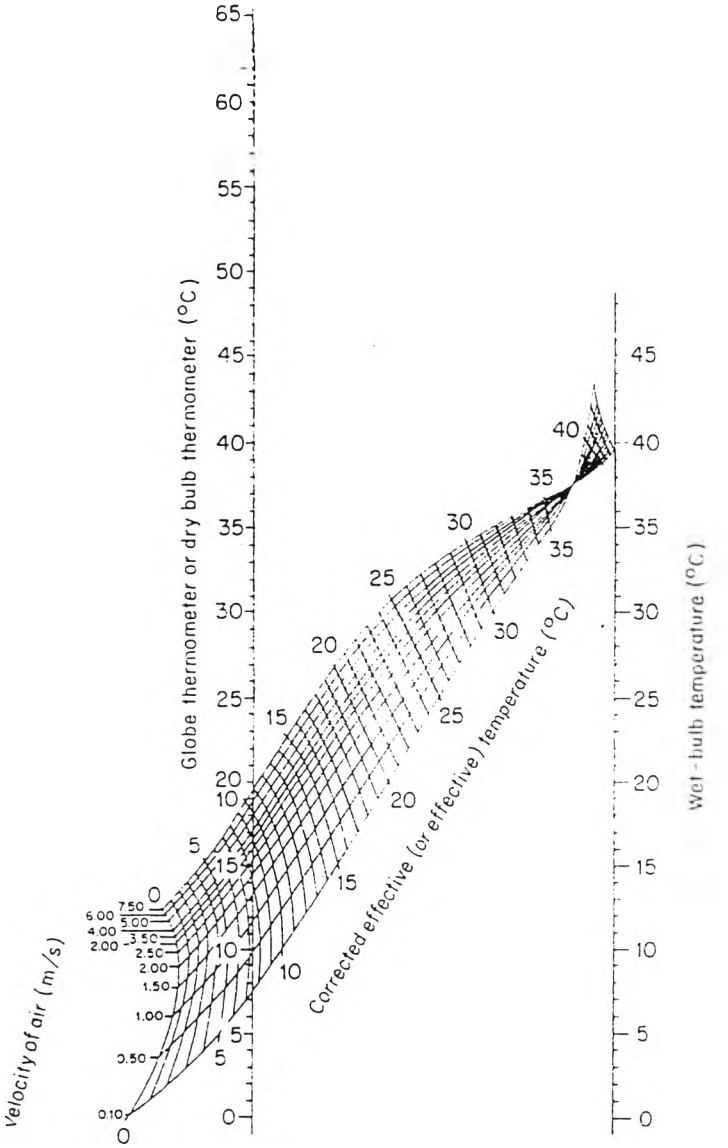
ความเร็วลมที่ผ่านผู้อยู่อาศัยมีผลกระทบต่อสภาวะความน่าสบายลมจะพัดพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น นอกจากนั้นยังพัดพาเอาความชื้นบริเวณผิวร่างกายซึ่งจะช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้นทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้น จึงรู้สึกเย็นขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำอย่างไรก็ตามความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสภาวะน่าสบายหากความเร็วลมน้อยเกินไปผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกอึดอัดไม่มีอากาศถ่ายเท แต่หากความเร็วลมที่มากเกินไปจะทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่าง ๆ (รูปที่ 2.14)

Yaglou (1927) ในช่วงปี 1920 ได้คิดค้นมาตรวัด เรียก มาตรวัด เอฟเฟคทีฟ เทมเพอร์เรเจอร์ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง, อุณหภูมิกระเปาะเปียก และความเร็วลมต่อมาภายหลัง Bedford ได้ปรับปรุงการวัดดังกล่าวและได้รวมปัจจัยของการแผ่รังสีความร้อนเข้าไปด้วย (รูปที่ 2.15)



รูปที่ 2.14 แสดงการเลื่อนขึ้นของสภาวะความน่าสบายจากกระแสลม

ที่มา : Moore, F. Environmental control system: Heating, cooling, lighting. Singapore: Mcgraw. Hill , 1993



รูปที่ 2.15 มาตรวัด เอฟเฟคทีฟเทมเพอร์เรเจอร์ ใช้สำหรับบุคคลที่นั่งพักทำงานเบา ๆ และใส่เสื้อผ้าปกติ

ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวณิค. <u>การวิเคราะห์สภาวะน่าสบาย และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับอากาศกับสถาปัตยกรรมไทย</u>. กรุงเทพมหานคร : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

B.Stein (1986) ได้วัดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม และสภาวะน่าสบายโดยการศึกษาของ Victor Olgyay ซึ่งสามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 2.4

ความเร็วลม	ความเป็นไปได้ของความรู้สึกอุณหภูมิลดลง (ระหว่าง 80-90 องศาฟาเรนไฮท์, ตัวเลขที่มาก สนองกับบริเวณที่มีความชื้นสูง	ผลที่อาจเกิดขึ้น
0-30 fpm	ไม่มีความเปลี่ยนแปลงในความรู้สึกน่าสบาย	ไม่สามารถสังเกตได้
50-100 fpm	ต่ำลง 2-3°F	สบาย
100-200 fpm	ต่ำลง 4-5°F	โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามีการเคลื่อนไหวของอากาศ
200-300 fpm	ต่ำลง 5-7°F	รู้สึกมีลมพัดเล็กน้อยจนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
สูงกว่า 300 fpm	ต่ำลงมากกว่า 5-7°F	ต้องการแก้ไขที่ถูกต้อง ถ้าจะให้การทำงานมีประสิทธิภาพและถูกสุขลักษณะ

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและสภาวะน่าสบาย

ที่มา : Stein, B., and Reynolds J.S. Mechanical & lectrical equipment for buildings. 8th ed. New York : John Wiley & Sons, 1992.

สถาปัตยกรรมนั้นเสมือนผิวชั้นที่สามจากร่างกายคนเราในการทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากหรือเข้าสู่ร่างกาย โดยผิวชั้นแรกของร่างกายคือ ผิวหนังของเราเอง ผิวชั้นที่สองคือ เสื้อผ้าที่สวมใส่ ส่วนสถาปัตยกรรมนั้นเป็นผิวชั้นที่สาม

นอกเหนือจากผิวหนัง และเสื้อผ้าที่เราสวมใส่ คนเราจะรู้สึกอยู่ใน สภาวะน่าสบายหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมที่ผู้นั้นอยู่อาศัย โดยมีเปลือกของอาคารและห้องที่คนเราเข้าอยู่อาศัยเป็นตัวแปรอันหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมทำให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารอยู่ใน สภาวะน่าสบายหรือไม่ เปลือกอาคารเปรียบเทียบเสมือนตัวกลาง (transition space) ระหว่างสภาพแวดล้อมกายนอกและสภาพแวดล้อมภายในอาคาร สถาปัตยกรรมที่ดีนั้นควรจะต้องสามารถปรับปรุงสภาพแวด

ล้อมภายในให้อยู่ในสภาวะความน่าสบาย โดยปราศจากการใช้เครื่องกลเข้ามาช่วย ส่วนอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ ๆ นั้นขึ้นอยู่กับเปลือกอาคาร และมวลของอาคารแต่เป็นการยากที่จะควบคุมออกแบบได้ แต่ยังอยู่ในวิสัยที่ผู้ออกแบบสามารถจะกระทำได้

สำหรับอาคารในภูมิอากาศร้อนชื้นที่ไม่มีเครื่องกลเข้ามาช่วยปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะความน่าสบาย ตัวอาคารเองจะทำหน้าที่ควบคุมและปรับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาพดังกล่าว ได้เพียงสามตัวแปร คือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิพื้นผิวและความเร็วลม ในภูมิอากาศร้อนการที่อาคารที่ไม่มีเครื่องกลเข้ามาช่วยจะปรับให้สภาพแวดล้อมภายในอยู่ในสภาวะความน่าสบายได้นั้น จะต้องทำให้สภาพแวดล้อมภายในเหมาะสมที่จะทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าทำให้สภาพภายในอาคารเย็น การที่ผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกเย็นได้ก็ด้วยการระเหยของเหงื่อ โดยการพึ่งพาความเร็วลม และอุณหภูมิของอากาศที่ต่ำ ลมและอากาศที่เย็นจะช่วยให้การพาความร้อนจากร่างกายดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ผู้อยู่อาศัยก็จะรู้สึกเย็นได้อีกก็ด้วยการแผ่รังสีความร้อนจากผิวร่างกายไปสู่ผิวที่เย็นกว่า นั่นคือ ผิว พื้น ผนัง เพดานที่อยู่รอบตัวผู้อยู่อาศัย ถ้าสภาพภายในมี อุณหภูมิ ที่ต่ำร่างกายจะสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีได้ดีจะทำให้รู้สึกเย็นขึ้น (สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวณิค, 2536)