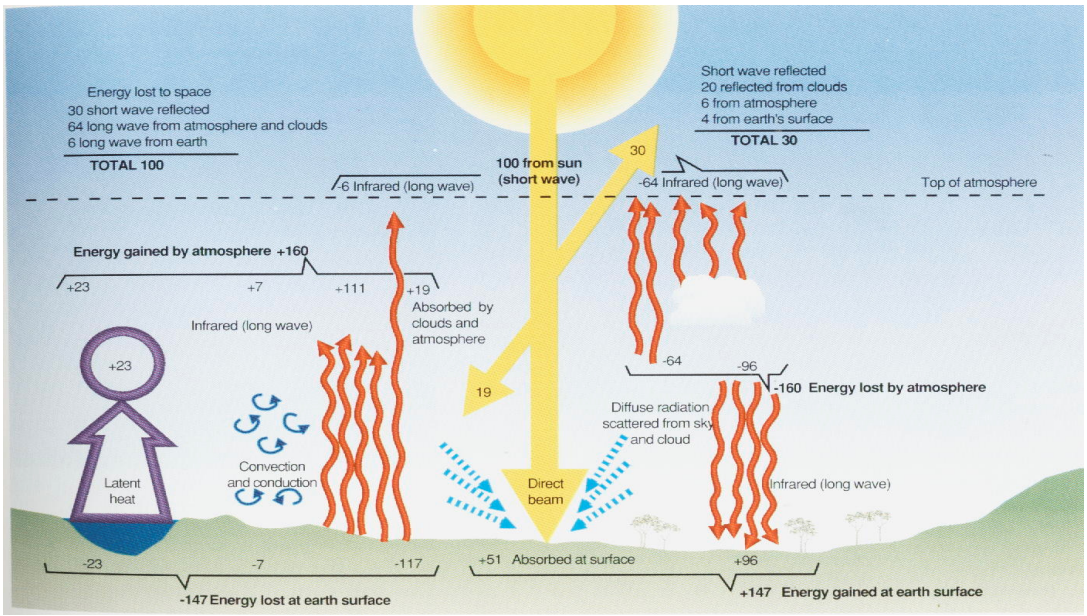
บทที่ 2

การสำรวจแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อปรับสภาวะน่าสบายในอาคาร คือพลังงานความร้อนที่เข้ามาพร้อมแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงที่ส่องผ่านเข้ามาทางผนังโปร่งแสง ประตูและหน้าต่าง การลดความร้อนจากแสงเป็นการแก้ปัญหาความร้อนภายในอาคาร

2.1 อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก รังสีบางส่วนถูกก้อนเมฆสะท้อนออกไป บางส่วนถูกดูดซับโดยชั้นบรรยากาศ บางส่วนก็แพร่กระจายไปยังชั้นบรรยากาศ เหลือบางส่วนที่ส่องผ่านเข้ามายังผิวโลก ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านโลก

ที่มา : Bob Crowder (1995)

รังสีดวงอาทิตย์ จะประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ (ASHREA,1989)

2.1.1 รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) คือ รังสีความร้อนที่มีอยู่ในแสงสว่าง เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ มีคุณสมบัติดังนี้ เป็นรังสีที่สามารถมองเห็นได้เฉพาะบางช่วงความยาวของคลื่น (Wave Length) คือ 380-700 นาโนเมตร มีอุณหภูมิสูงสามารถทะลุผ่านกระจกใสได้ รวมทั้งสะท้อนได้ดีสำหรับวัตถุที่มีผิวมันและสีอ่อน วัตถุสีดำสามารถดูดซับรังสีประเภทนี้ได้ดี ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.1.1.1 รังสีคลื่นสั้นที่แผ่ลงมาโดยตรง (Direct Radiation) จากการศึกษาของ ASHREA, 1989 เป็นรังสีที่ส่องมายังบรรยากาศโลกมีค่า 1,370 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่นำมาใช้กันโดยทั่วไป และจากการโคจรของโลกลักษณะวงรีจะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ค่ามากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม ที่โลกโคจรใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด มีค่าการแผ่รังสีเท่ากับ 1,418 W/m^2 และน้อยที่สุดในวันที่ 6 กรกฎาคม เมื่อโลกมีการโคจรห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ค่าการแผ่รังสีจะเท่ากับ 1,325 W/m^2

2.1.1.2 รังสีคลื่นสั้นที่แผ่กระจายเนื่องจากชั้นบรรยากาศ (Diffuse Radiation) คือ รังสีที่เกิดขึ้นจากการผ่านชั้นบรรยากาศ และถูกทำให้กระจัดกระจายจากฝุ่นละอองและโมเลกุล รังสีส่วนใหญ่ที่ผ่านลงมาเป็นรังสีชนิดนี้ การกระจายที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอ มีความเข้มสูงในบริเวณรอบดวงอาทิตย์ ปริมาณของรังสีจะมีค่า 10 – 90 % ของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่อาคาร

2.1.1.3 รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมและบริเวณใกล้เคียง ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว (Reflectivity) สี ลักษณะผิว และทิศทาง จะส่งผลต่อปริมาณของแสงและความร้อนที่สะท้อนไปยังหลังคาและผนัง

2.1.2 รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) คือ รังสีที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีคลื่นสั้นกระทบกับวัตถุทึบแสง หรือส่งผ่านวัตถุ และเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวในรูปพลังงานความร้อน โดยมีความยาวคลื่นประมาณ 3,000 นาโนเมตร มีผลทำให้วัตถุนั้นๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยการถ่ายเทแบบการนำความร้อน รังสีชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นรังสีที่ไม่สามารถมองเห็นและสะท้อนได้ดีกับวัตถุผิวมัน แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

2.1.2.1 รังสีคลื่นยาวที่สะท้อนกลับจากพื้นและวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ รังสีคลื่นยาวจะการสูญเสียความร้อนของวัตถุให้แก่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน การถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ซึ่งแตกต่างกันที่ตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายเทดังนี้

ก. การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่สัมผัสกัน อาจเป็นโมเลกุลที่อยู่ในสสารเดียวกัน หรือระหว่างสสาร 2 ชนิด การนำความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเกิดการสั่นสะเทือน และถ่ายเทพลังงานไปสู่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ สิ่งที่มีผลต่อการนำความร้อนประกอบด้วย

- สสารที่เป็นตัวนำความร้อน
- ความหนาแน่นของตัวนำความร้อน (Density)
- ความชื้นที่อยู่ในสสาร (Moisture Content)
- ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิ

ข. การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งเรียกรวมว่าของไหล เมื่อของไหลถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งด้วยแรงธรรมชาติ หรือจากแรงเครื่องจักรกล ซึ่งโมเลกุลที่หนักและมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะตกลงสู่ที่ต่ำกว่า ส่วนโมเลกุลที่เบาและมีอุณหภูมิสูงกว่าจะลอยตัวสูงขึ้น ปรากฏการณ์นี้จะทำให้เกิดการไหลเวียนของความร้อน

ค. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง รังสีจะเดินทางจากที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า รังสีความร้อนสามารถถูกสกัดกั้นโดยการใช้วัสดุผิวมันเงา วัสดุต่างชนิดกันมีคุณสมบัติการดูดซับและสะท้อนรังสีที่แตกต่างกัน เมื่อวัสดุหนึ่งมีค่าดูดซับมากจะมีค่าสะท้อนรังสีต่ำเช่นกัน

2.2 **เปลือกอาคาร** (Building Envelope) **กับการถ่ายเทความร้อน**

เปลือกอาคารประกอบด้วย หน้าต่าง ประตู ผนัง พื้น และหลังคา ซึ่งเป็นส่วนที่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมโดยตรง เป็นตัวนำในการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารมีดังนี้ (ASHREA, 1989)

- ทิศที่ตั้งเปลือกอาคารในแต่ละด้านที่หันรับแสงอาทิตย์
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของวัสดุของเปลือกอาคาร
- ขนาดของพื้นที่เปลือกอาคารและรูปร่างอาคาร (Shape)
- ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอก (Temperature Difference)

นอกจากนี้เปลือกอาคารสามารถแบ่งประเภทได้อีก 2 ลักษณะคือ

2.2.1 เปลือกอาคารประเภททึบแสง (Opaque)

พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารประเภทนี้ จะถ่ายเทเข้ามาแบบการนำความร้อน (Conduction) เท่านั้น ซึ่งมีสมการคำนวณหาค่าหาดังนี้ (ASHREA, 1989:27.15)

$$Q = U * A * (T_I - T_0) \quad \text{หรือ}$$

$$Q = U * A * CLTD$$

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนผ่านเข้ามา (W)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ($W/m^2 \cdot {}^{\circ}C$)

A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (m^2)

T_I = อุณหภูมิที่สูงกว่า ($^{\circ}C$)

T_0 = อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ($^{\circ}C$)

CLTD = ภาระความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference) ($^{\circ}C$)

การเลือกใช้ (T_I-T_0) หรือ CLTD มีเหตุผลดังนี้

2.2.1.1 เลือกใช้ (T_I-T_0) เมื่อ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในมีค่าคงที่ ซึ่งไม่มีอิทธิพลของดวงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้อง (Steady State Condition)

2.2.1.2 เลือกใช้ CLTD เมื่อ ต้องการให้ค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมินั้นไม่คงที่ แต่ปรับให้เข้ากับอิทธิพลภายนอก เช่น เวลา วัน เดือน ตำแหน่งละติจูด (Latitude) มวลสารของเปลือกอาคาร สี ฯลฯ ซึ่งใช้ในกรณีที่มีแสงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมากที่สุด ทำให้การคำนวณต้องเปลี่ยนเป็นค่า CLTD โดยมีสมการดังนี้ (ASHREA, 1989)

$$\text{Sol-air Temperature } (T_e) = T_{out} + \alpha I_t / h_0 - \varepsilon \Delta R / h_0$$

โดยที่ T_e = Sol-air Temperature ($^{\circ}C$)

T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}C$)

I_t = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on the Surface) มีค่าประมาณ 63 W/m^2 ในแนวนอน และ 0 W/m^2 ในแนวตั้ง)

α = สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ

h_0 = สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิว รวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection มีค่าประมาณ 17 $W/m^2 \cdot {}^{\circ}C$

ε = สัมประสิมธ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of the Surface)

ΔR = อัตราแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า(W/m^2)

2.2.2 เปลือกอาคารประเภทโปร่งแสง (Void)

ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารประเภทนี้ มีการถ่ายเทความร้อน 2 แบบ คือ แบบนำความร้อน และแบบแผ่รังสีความร้อน ด้วยสมการดังนี้ (ASHREA,1989 : 26.32 , 26.33)

2.2.2.1 แบบการนำความร้อน ซึ่งใช้สมการดังนี้

$Q = U * A * (T_i - T_o)$ หรือ

$Q = U * A * CLTD$

2.2.2.2 แบบการแผ่รังสีความร้อน สมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$Q = A * SC * SHGF * CLF$

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนผ่านเข้ามา (W)

A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (m^2)

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Shading Coefficient)

SHGF = Maximum Solar Heat Gain Factor for Specific Orientation of Surface, Latitude, and Month

CLF = Cooling Load Factor with No Interior Shading

ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารประเภทโปร่งแสง เช่น กระจก เข้ามาในอาคารทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่งๆ คือ ผลรวมของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทแบบการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ดังนั้นสมการที่ได้ คือ

$Q = (U * A * CLTD) + (A * SC * SHGF * CLF)$

2.2.3 อิทธิพลของมวลสาร

อิทธิพลของมวลสารจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด โดยที่คุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนมีดังนี้

2.2.3.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (Thermal Conductivity : K) หมายถึง อัตราส่วนพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ถ่ายเทผ่านวัสดุหนา 1 เซนติเมตร ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน 1 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น W/m • K (ASHREA, 1977)

2.2.3.2 การถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal Conductance : C) หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมงที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่ความหนามาตราฐานในพื้นที่ 1 ตารางเมตร เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน 1 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น W/m^2 • K (ASHREA, 1977) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$C = K / dX$$

เมื่อ dX คือ ความหนาของวัสดุ (cm.)

C คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2 • K)

2.2.3.3 ค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance / R – Value)เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุ เป็นส่วนกลับของค่า Conductivity หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่ง ๆ ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร เมื่อมีอุณหภูมิต่างกัน 1 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น m^2 • K/W (ASHREA, 1977) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ R คือ ค่าการต้านทานความร้อน (ยิ่งมีค่ามากเท่าไรยิ่งดีเท่านั้น)

2.2.3.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of Heat Transmission / U – Value) เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ โดยการคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าหรือออกจากอาคารอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิจะใช้ค่า U – Value เป็นหลัก (ASHREA, 1977) โดยที่

$U = 1 / \sum R$ มีหน่วยเป็น W/m^2 • K

$\sum R$ คือ ผลของค่า R – Value ของเปลือกหุ้มอาคาร

2.2.4 ความจุความร้อน (Thermal Heat Capacity)

วัสดุที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนไหลผ่านในอัตราที่ช้าลง จากผลการวิจัยพบว่าวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนต่างกันแต่มีความเข้มของสีและลักษณะพื้นผิวเหมือนกัน วัสดุที่มีมวลสารมากกว่าจะมีการเลื่อนเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวนอกช้ากว่าและค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุด และอุณหภูมิผิวต่ำสุดจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่าความร้อนที่สะสมในวัสดุที่มีมวลสารน้อยจะมีไม่มากเท่ากับในวัสดุที่มีมวลสารมาก เมื่อไม่มีอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ความร้อนที่สะสมอยู่ภายในวัสดุจะเริ่มคายความร้อนออกสู่ภายนอก วัสดุที่มีมวลสารมากมีอุณหภูมิที่ผิวสูงที่สุด (วันเอก กิจสมใจ, 2539)

2.2.4.1 การหน่วงเวลาหรือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนนานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า ในสภาพการใช้งานจริงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ ที่สำคัญ คือ ปริมาณความร้อนที่มากพอทำให้วัสดุในแต่ละขั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวก่อนที่จะถ่ายเทไปเข้าอาคาร

2.2.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนให้กับอาคารโดยตรงโดยการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน (Surface Air Conductance) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่าน และลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของในส่วนนี้จะมีค่าน้อยมากในกรณีที่วัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่วัสดุนั้น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

2.2.4.3 ค่าการดูดกลืนและการกระจายพลังงานความร้อนของวัสดุ (Surface Absorption and Surface Emission) โดยปกติแล้วหากวัสดุมีสีธรรมดาหรือสีของวัสดุตามธรรมชาติ ค่า Surface Emission จะค่อนข้างสูง ประมาณ 0.8-0.9 นอกจากวัสดุนั้นจะเป็นสีชนิดพิเศษ (Selective Coating) อาจมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำ แต่ก็มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิวของวัสดุเย็นกว่าปกติ สำหรับค่าการดูดกลืนความร้อนส่วนใหญ่มักจะผันแปรตามความเข้มของสีผิว คือ ถ้ามีสีเข้มมาก ก็จะดูดกลืนความร้อนสูง

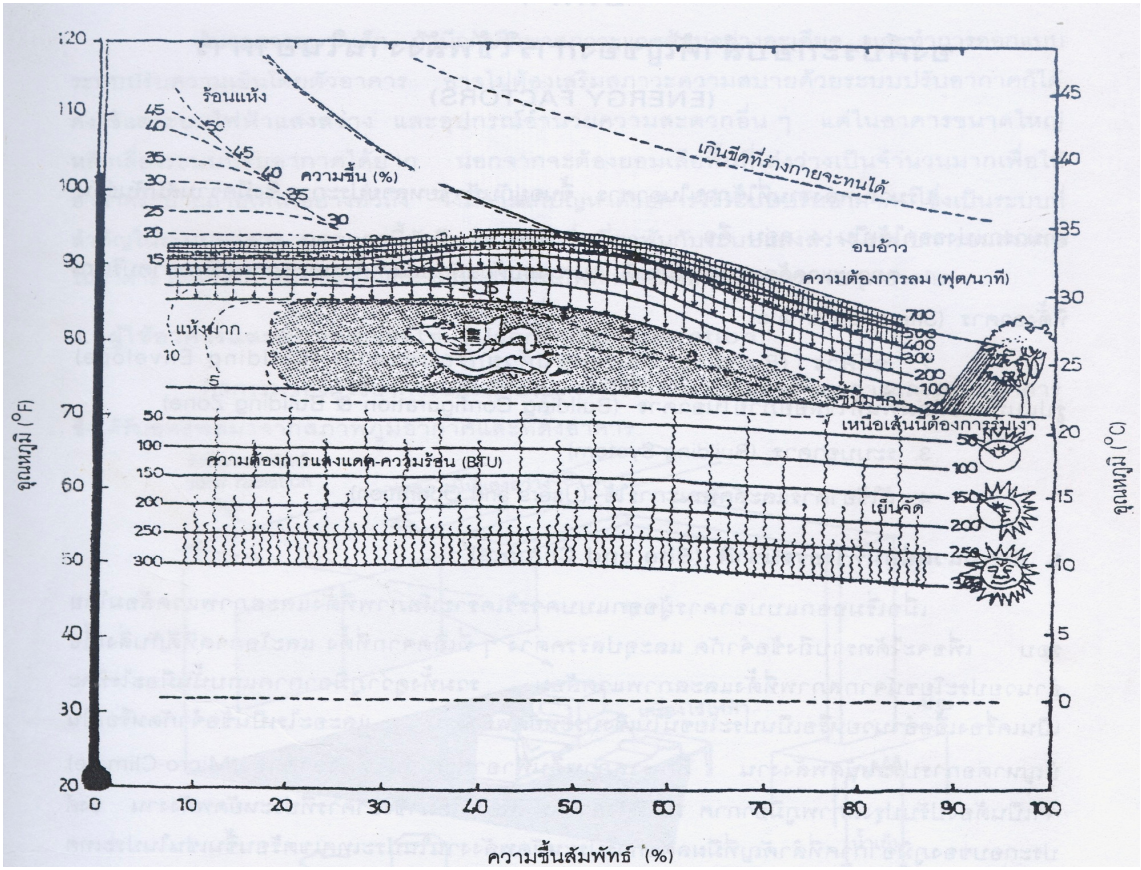
2.3 สภาวะน่าสบายที่มีต่อความรู้สึก

การออกแบบอาคารที่สนองตอบความสำคัญของสภาวะน่าสบาย ซึ่ง Stein (1982) ได้

กล่าวว่า “สภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ (Thermal Comfort) หมายถึงการที่ตัวเราไม่รู้สึกว่าร้อนหรือหนาวเกินไป หรือไม่รู้สึกว่าได้สูญเสียความร้อนหรือรับความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นสภาวะที่สมดุลย์ทางอุณหภูมิหรือความร้อนระหว่างร่างกายกับสภาวะแวดล้อม”

ร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส และต้องรักษาระดับอุณหภูมินี้ไว้ให้คงที่ ร่างกายใช้พลังงานความร้อนในการเผาผลาญอาหารประมาณ 20% ที่เหลืออีกประมาณ 80% ต้องขับออกสู่ภายนอกร่างกาย หากผลิตความร้อนมากกว่าร่างกายต้องสูญเสียก็จะทำให้ไม่สบายหรือรู้สึกร้อน หากการสูญเสียความร้อนมากกว่าการผลิตความร้อนจะรู้สึกหนาว (Givoni , 1969)

ผลจากการวิจัยพบว่า อุณหภูมิพอเหมาะในเขตเส้นสูตรสูตร อยู่ระหว่าง 21.9 – 29.4 องศาเซลเซียล โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ (RELATIVE HUMIDITY) ระหว่าง 20% - 75% ซึ่งต้องมีสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เข้ามาร่วมอีกมาก ข้อมูลลำดับแรกได้จากการหาค่าของสภาวะน่าสบาย โดยวิธี Vivctor Olgyay’s System ซึ่งค่าสภาวะน่าสบายจะเลื่อนขึ้น 0.6 องศาเซลเซียล ต่อทุก ๆ การเพิ่มค่าขึ้น 4.4 องศาเซลเซียส ของตำแหน่งเส้นรุ้ง (Latitude) ซึ่งเรียกว่า BIOCLIMATIC CHART



รูปที่ 2.2 แผนภูมิชีวภูมิอากาศแสดงสภาวะน่าสบายสำหรับกรุงเทพฯ

ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ (2539)

การอ่านแผนภูมิชีวภูมิอากาศ

1. เหนือเขตสภาวะน่าสบายเป็นเส้นโค้งต่อเนื่อง ซึ่งแสดงความเร็วลม หมายถึงว่าในที่ ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่าระดับขอบเขตสภาวะน่าสบาย จะต้องการลมมาช่วยให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย
2. เหนือเขตสภาวะน่าสบายเช่นเดียวกัน เป็นเส้นโค้งขาดซึ่งแสดงถึงการเพิ่มความชื้นหรือไอน้ำในอากาศ สำหรับในที่มีความชื้นน้อยแต่มีอุณหภูมิสูง
3. ใต้เขตสภาวะน่าสบาย แสดงเส้นสำหรับต้องการเพิ่มความร้อนในที่มีอุณหภูมิต่ำมาก

เช่น ที่อุณหภูมิ 26.7 องศาเซลเซียล (80 องศาฟาเรนไฮท์) ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ไต้องการอะไรมาช่วย เพราะอยู่ใขตสภาวะน่าสบาย

ที่อุณหภูมิ 32.2 องศาเซลเซียล (90 องศาฟาเรนไฮท์) ความชื้นสัมพัทธ์ 60% ต้องการลม 360 ฟุตต่อนาที (1.82 เมตรต่อวินาที) มาช่วยจึงจะอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย

ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียล (50 องศาฟาเรนไฮท์) ความชื้นสัมพัทธ์ 56% ต้องการความร้อน 290 Btu เข้ามาช่วยจึงจะอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย

ที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียล (100 องศาฟาเรนไฮท์) ความชื้นสัมพัทธ์ 17% ต้องการความชื้นมาช่วย 30% จึงจะอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย

จากการศึกษาของ Fanger (1972) กล่าวว่าองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบายด้วยกัน 2 ส่วน คือ สภาวะในร่างกาย และสภาวะนอกร่างกาย ประกอบด้วยตัวแปร 2 ด้าน ดังนี้

2.3.1 ด้านสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย 4 ปัจจัย มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1.1 อุณหภูมิอากาศโดยรอบ (Ambient Air Temperature) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศที่วัดได้จากปรอทวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

2.3.1.2 อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature , MRT) หมายถึง ค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรง MRT สามารถคำนวณจากผิวอุณหภูมิของด้านต่าง ๆ ในห้อง ซึ่งหาได้จากสูตร (Fanger, 1972) ดังนี้

$$Tmr = \Sigma(Ti * Ai) / \Sigma Ai$$

เมื่อ Tmr = อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (^{o}C)

Ai = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (m^2)

Ti = อุณหภูมิพื้นผิวเปลือกอาคาร (^{o}C)

2.3.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง ค่าเปรียบเทียบ สัดส่วนเป็นร้อยละของความชื้นในอากาศ กับปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศสามารถอุ้งรับได้ โดยปราศจากการ กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ สามารถหาได้จากสูตร (Givoni , 1994) ดังนี้

Relative Humidity = (E – ½ (t – tw) * 100) / Ew

เมื่อ t = อุณหภูมิตุ้มแห้ง (°C)

tw = อุณหภูมิตุ้มเปียก (°C)

E = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิตุ้มแห้ง (mm.)

Ew = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิตุ้มเปียก (mm.)

2.3.1.4 ความเร็วลม (Wind Speed) ความเร็วลมที่เหมาะสมจึงจำเป็นต่อการสร้างสภาวะสบาย ลมที่พัดผ่านผู้อยู่อาศัยมีผลต่อ Thermal Comfort ซึ่งลมจะพัดพาความร้อนรอบตัวออกไป และการพัดพาความชื้นบริเวณร่างกายช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้น ทำให้เกิดความรู้สึกเย็นลง ผลของ Regression Analysis โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากแผนภูมิชีวภาพ (Bioclimatic Chart) สามารถแทนค่าสูตรสมการทดถอย (Olgyay , 1973) ดังนี้

ความรู้สึกเย็นลง (°C) = 0.381 V + 0.016 RH

เมื่อ V = ความเร็วลม (Km/h)

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

2.3.2 ด้านตัวบุคคล ประกอบด้วย 2 ปัจจัย มีรายละเอียดดังนี้

2.3.2.1 อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate) ซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรม เช่น การเดินยืน นั่ง นอน หรือสภาพธรรมชาติของเผ่าพันธุ์ ได้แก่ สีผิว โครงสร้างร่างกาย ซึ่งกลไกทางร่างกายที่แตกต่างกันจะทำให้สภาวะสบายแตกต่างกันไปความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมาจะมีค่าเท่ากับ 58.2 W/m^2 (1 Met) โดยเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่จะผลิตพลังงานความร้อนประมาณ 117 W/m^2 (Fanger, 1972) ดังตารางที่ 2.1

2.3.2.2 ลักษณะการสวมใส่เสื้อผ้าเป็นอีกองค์ประกอบที่ส่งผลถึงสภาวะน่าสบาย เพราะถ้าอากาศที่ร้อนอบอ้าวแต่สวมใส่เสื้อผ้าที่หนาก็ไม่ทำให้เกิดสภาวะสบายแก่ร่างกายได้ แม้ว่าสภาพแวดล้อมจะอยู่ในเขตสบายแล้วก็ตาม

ตารางที่ 2.1 Metabolism Rate ในระดับกิจกรรมต่างๆ

ระดับกิจกรรม	Metabolism Rate (หน่วย Met)
นอนพัก	0.8
นั่งพัก	1.0
นั่งทำงาน	1.2
เดิน (4 – 7 Km/h)	2.0 – 4.0
ทำกิจกรรมหนัก	4.5 – 7.5

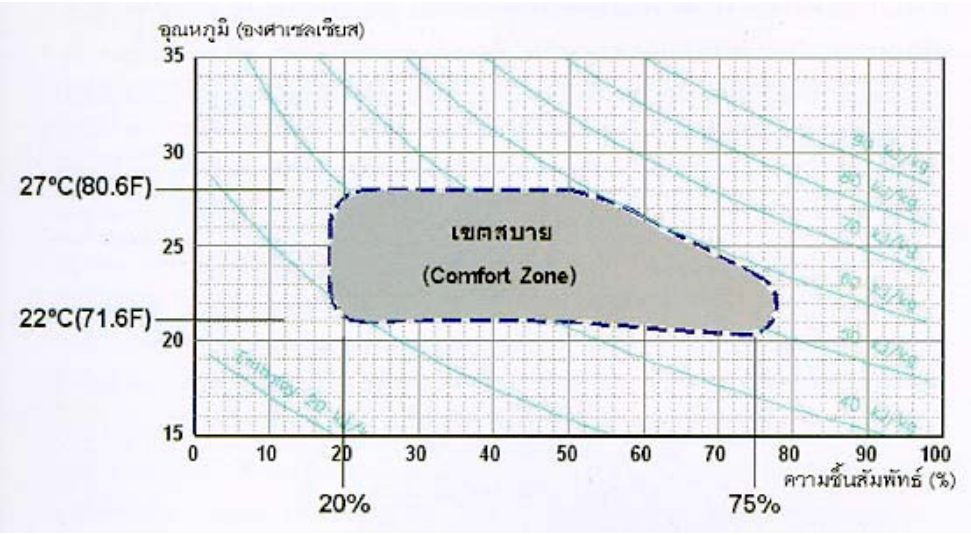
ที่มา : Man, Climate and Architecture., B. Givoni (1969)

เพื่อแสดงให้เห็นขอบเขตสภาวะน่าสบาย โดยมีข้อจำกัดของมนุษย์แสดงด้วยเส้นประในแผนภูมิ (ดังรูปที่ 2.3) กำหนดขอบเขตของเขตสบายเมื่อ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

- อุณหภูมิเฉลี่ย (Mean Temperature) 21.1–27.8 องศาเซลเซียส
- ความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ย (Mean Relative Humidity) 18 – 77 %

ขอบเขตสภาวะน่าสบายกำหนดขึ้น มีเงื่อนไขดังนี้ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

- ความเร็วลมค่อนข้างสงบ ประมาณ 0-50 ฟุต/นาที
- อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยผนังมีค่าเท่ากัน
- การแต่งกายเป็นแบบลำลอง
- อยู่ในอริยาบถปกติ เช่น นั่งเล่น นั่งอ่านหนังสือ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ (2542)

2.4 ตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะสบาย

2.4.1 Microclimate เป็นตัวแปรที่สำคัญในการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ ประกอบด้วย ตำแหน่งสถานที่ตั้ง การปรับปรุงสภาพแวดล้อมเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ด้านอุณหภูมิ ตลอดจนผลกระทบจากการแผ่รังสี ทำให้อุณหภูมิอากาศรอบอาคารนั้นร้อน หรือ เย็น ตามความประสงค์ (Olgyay, 1961)

จากการวิจัยเรื่องสภาวะแวดล้อมพบว่าการปลูกต้นไม้ที่มีจำนวนและความหนาแน่นเพียงพอและการออกแบบอาคารที่ถูกต้อง อาจทำให้อุณหภูมิอากาศเย็นลงถึง 5 องศาเซลเซียล เมื่อลมพัดผ่านใต้พุ่มใบต้นไม้เข้าสู่อาคารในทิศทางที่เหมาะสมทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงด้วยอิทธิพลร่มเงา และการระเหยของน้ำ (สุนทร บุญญาธิการ และ บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 2539)

2.4.2 อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ Mean Radiant Temperature (MRT) มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว ถ้าพื้นผิวของห้องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (32 องศาเซลเซียส) พื้นผิวนั้นๆ จะแผ่รังสีความร้อน ทำให้ร่างกายรับความร้อนเพิ่มขึ้น ภายในอาคารมีค่าเฉลี่ยจากอุณหภูมิพื้นผิวภายในด้านต่างๆ ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนและรวมถึงการบังแสงแดดโดยตรงพื้นผิวต่างๆ ในอาคาร อิทธิพลที่มีผลต่อ MRT ภายในอาคาร ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ และคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้เป็นพื้น ผนัง หลังคา

อิทธิพลที่มีผลทำให้ MRT สูงขึ้นจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) การแผ่รังสีจะเกิดขึ้น 2 ลักษณะ คือ รังสีโดยตรง (Direct Radiation) และการแผ่กระจายรังสี (Diffused Radiation) ซึ่งMRT จะมีการแปรเปลี่ยนตามอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศจะสูงกว่ากลางคืน อากาศเป็นของไหล (Fluid) มีการพัดพา (Convected) และสัมผัสกับวัสดุผิวต่างๆ จึงทำให้อุณหภูมิของผิววัสดุแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิอากาศ และไม่คงที่ตลอด 24 ชั่วโมง

ในกรณีที่ MRT และอุณหภูมิผิวภายในอาคารเท่ากับอุณหภูมิอากาศ ถือว่าอยู่ในสภาพปกติ หากว่า MRT และพื้นผิวภายในอาคารต่างๆ มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศถือว่าเป็นกรณีที่ไม่ดี ในทางกลับกันถ้า MRT และอุณหภูมิพื้นผิวต่างๆ มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศจัดได้ว่าเป็นกรณีที่ดี(สุนทร บุญญาธิการ และ บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 2539)

2.4.3 การใช้ประโยชน์ความเย็นจากพื้นดิน พื้นอาคารที่สัมผัสดินหากมีการปรับปรุงสภาพของดินให้เย็นที่สุด ร่วมกับร่มเงาต้นไม้ พืชคลุมดิน และความเปียกชื้น จากการศึกษา สุนทร บุญญาธิการ และ บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (2539) พบว่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยที่ความลึก 0.60 ม.

(อุณหภูมิประมาณ 26-27 องศาเซลเซียส) จะมีค่าคงที่และต่ำกว่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยที่ความลึก 1.00 ม. ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การนำความเย็นจากดินมาใช้ในส่วนของพื้นและผนังอาคารที่ติดพื้นดิน ต้องมีระบบป้องกันความชื้นที่เกิดขึ้นกับเปลือกอาคารด้วย

2.4.4 มวลอาคาร มีผลกระทบต่อ MRT และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารเนื่องจากความจุความร้อนของมวลสาร ประกอบด้วยส่วนต่างๆ เช่น ผนัง พื้น หลังคา จะเห็นได้ว่ามวลอาคารเป็นแหล่งที่สะสมความร้อนในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากเป็นกรอบอาคารด้านนอกที่ต้องเผชิญกับการแผ่รังสีความร้อน เพื่อป้องกันแดดและความร้อนที่ส่องเข้ามาภายในอาคาร

การส่งผ่านความร้อนของวัสดุจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เป็นปัญหาใหญ่ของการเกิดความร้อนภายในอาคาร เนื่องจากอุณหภูมิความร้อนจะผ่านตัวนำ (วัสดุ) ทั้งนี้เพราะวัสดุต่างชนิด มีคุณสมบัติการนำความร้อนที่แตกต่างกัน กัน (ดูตารางที่ 2.2) เช่น วัสดุที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบจะนำความร้อนได้ดีกว่า วัสดุที่ไม่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ

2.4.5 ลมและการระบายอากาศ กระแสลมที่พัดผ่านผิวหนัง จะทำให้อัตราการสูญเสียความร้อนจากการระเหยของเหงื่อสูงขึ้นทำให้ร่างกายรู้สึกเย็นลง เมื่ออุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (32 องศาเซลเซียส) (Givoni , 1969)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ

ชนิด	หน่วย (W/m • K)
Copper	393.0
Glass	7.4
Concrete	0.93
Brick	0.7
Gypsum Board	0.22
Wood	0.16
Glass Wool	0.036
Expanded Polystyrene	0.036

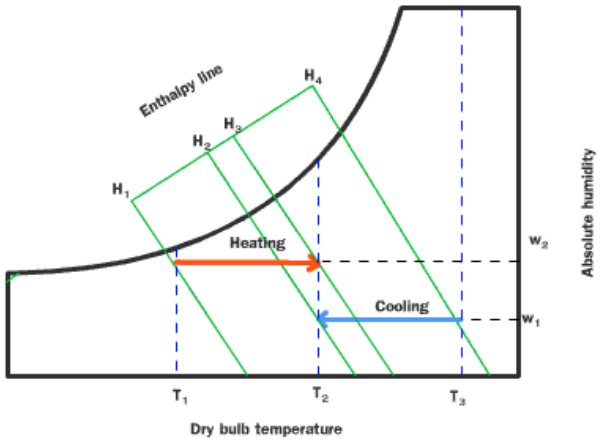
ที่มา : Thai Gypsum Product Public Co.,Ltd. (1995)

การให้ความร้อนหรือการทำความเย็นของอากาศ อันเป็นการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิที่ระดับความดันคงที่ เช่น ในการให้ความร้อนแก่อากาศ (Heating of Air) จากอุณหภูมิ T_1 ไปเป็น T_2 (ดังรูปที่ 2.4) จะพบว่าค่าปริมาณความชื้นมีค่าคงที่ในระหว่างกระบวนการ และค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง โดยพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของ

อากาศสามารถหาได้จากผลต่างของเอนทัลปีระหว่าง H_1 และ H_3 การให้ความร้อนแก่อากาศมีประโยชน์มากในการรีไซเคิลอากาศที่ใช้ทำแห้งไปแล้วนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่

ส่วนการทำเย็นของอากาศ (Cooling of Air) จากอุณหภูมิ T_2 ไปเป็น T_3 (ดังรูปที่ 2.4) จะพบว่าค่าปริมาณความชื้นก็มีค่าคงที่เช่นเดียวกับกระบวนการให้ความร้อน และค่าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น พลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิสามารถหาได้จากผลต่างของเอนทัลปีระหว่าง H_2 และ H_4

หากสภาวะน่าสบายไม่สามารถเกิดขึ้นได้ จำเป็นต้องอาศัยเครื่องกลเข้ามาช่วย การใช้พลังงานในการปรับอากาศให้อยู่ในสภาวะน่าสบายโดยอาศัย Psychrometric Chart ที่ว่าด้วยการศึกษาความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics) เป็นแผนภูมิที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะอากาศ ซึ่งการคำณวนหาเอนทัลปี (Enthalpy) ที่บ่งบอกระดับพลังงานที่ผสมผสานระหว่างความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ความร้อนแฝง (Latent Heat) และงานไหล (Flow Work)



รูปที่ 2.4 การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของอากาศในไซโครเมตริก

ที่มา : http://www.geocities.com//oowen10/mass_transfer/psychrometrics.htm?20055

การคำณวนค่า Enthalpy ของอากาศที่สภาวะความดันบรรยากาศโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ (ASHREA, 1977)

$$P = 0.000000010618393*(T^6) - 0.0000010869575*(T^5) + 0.000042080891*(T^4) - 0.00070999723*(T^3) + 0.0072562898*(T^2) + 0.028402986*(T) + 0.61150476$$

a = % RH / 100

$$b = \frac{0.622*(a)*(P)}{101.325 - (a)*(P)}$$

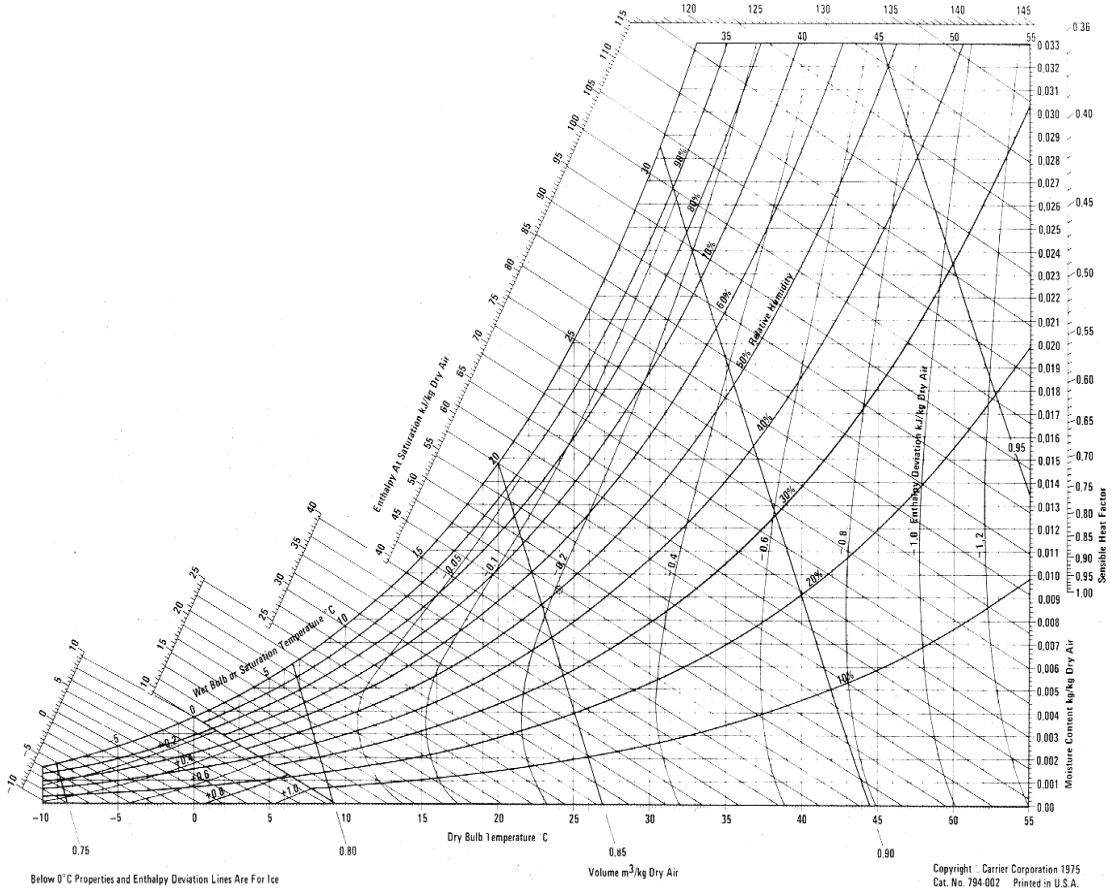
H = 1.005 (T) + (b) [2501.3 + 1.82 (T)]

โดยที่ P = ความดันบรรยากาศที่ระดับเหนือน้ำทะเล

T = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ หน่วยเป็น °C

% RH = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หน่วยเป็น% RH

H = เอนทัลปีของอากาศ หน่วยเป็น kJ / kg dry air



รูปที่ 2.5 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)

ที่มา : http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/figures/83-psy_E.gif