บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การระเหยของน้ำเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เราคุ้นเคยเป็นอย่างดี เมื่อน้ำระเหยความชื้นในอากาศจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิอากาศจะลดลง เช่นเดียวกับแนวคิดในการลดอุณหภูมิอากาศด้วยกระบวนการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา ที่อาศัยหลักการดังกล่าวเพื่อทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลักเบื้องต้นทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับอุณหภูมิ ความร้อนและการเปลี่ยนสถานะของน้ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การทำความเข้าใจเกี่ยวกับความร้อนและอุณหภูมิ [7]

ความร้อน(Heat) คือพลังงานรูปหนึ่งที่สะสมในสสาร เช่นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในสสาร หรือการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอวกาศ พลังงาน (Energy) คือความสามารถในการทำงาน มีหน่วยวัดเดียวกัน คือ จูล (J) ที่มาจากหน่วยพื้นฐาน MKS (m, kg, s) ในระบบSI (สามารถดูที่มาของหน่วยต่าง ๆ ด้านพลังงานจาก ตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก)

อุณหภูมิ (Temperature, T) เป็นสิ่งแสดงถึงพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในวัตถุ สเกลวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้ได้แก่ สเกลเซลเซียสและสเกลเคลวิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสถานะของน้ำในสภาพความดันปกติ โดยแบ่งระยะห่างระหว่างจุดที่น้ำเริ่มเดือดกับจุดที่น้ำเริ่มกลายเป็นน้ำแข็งเป็น100 ช่อง แต่ละช่องมีระยะห่างเท่ากัน เรียกว่าช่ององศา โดย 0°C เป็นอุณหภูมิที่น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง และมีอุณหภูมิจุดเดือดที่ 100 °C

ส่วนสเกลเคลวินมีค่าเริ่มต้นที่ 0 K เรียกว่า อุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ (Absolute Zero) เป็นจุดที่ไม่มีความร้อนใดๆ อยู่เลย มีค่าเท่ากับ -273.15°C หรือ 0°C = 273.15 K โดยสเกลทั้งสองมีระยะห่างในสเกลเท่ากันโดยทั่วไปองศาเซลเซียสมักใช้ในการอ่านค่าของอุณหภูมิในเครื่องมือวัด ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิมักใช้สเกลเคลวินโดยไม่ต้องมี“องศา” นำหน้าเช่น อุณหภูมิภายนอก 40°C อุณหภูมิภายใน 25°C จะมีค่าความแตกต่าง 15K และหากต้องการแปลงค่าองศาเซลเซียสเป็นองศาเคลวินสามารถบวกด้วยค่า 273.15 นั่นคือ 15°C มีค่าเท่ากับ 273.15+15°C = 288.15 K

ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) คือค่าที่แสดงความเกี่ยวข้องระหว่างอุณหภูมิและความร้อน โดยความร้อนจำเพาะคือปริมาณความร้อนที่ถูกใช้เพื่อให้สสารจำนวนหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น จูล/กิโลกรัม เคลวิน (J/kg.K) ซึ่งสสารต่างชนิดกันจะมีค่าความร้อนจำเพาะ

แตกต่างกัน โดยทั่วไป น้ำมีค่าความร้อนจำเพาะมากที่สุดที่ 4176 J/kg.K (สามารถดูค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุอื่นจากตาราง ก.2 ในภาคผนวก)

ความร้อนแฝงของสสาร (Latent Heat) คือพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยสสารหนึ่งหน่วยปริมาตรเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของสสารนั้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น จูล/กิโลกรัม (J/kg) ยกตัวอย่างการเปลี่ยนสถานะของน้ำ มีความต้องการพลังงานความร้อนดังนี้

- ความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะของน้ำแข็งเป็นน้ำ ที่อุณหภูมิ 0°C = 335 kJ/kg
- ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ 100°C = 2261 kJ/kg
- ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ 18°C = 2400 kJ/kg

เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะกลับคืนจากน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ก็มีการปลดปล่อยพลังงานคืนกลับมาในปริมาณเท่ากัน

เทอร์โมไดนามิค (Thermodynamics) คือศาสตร์ที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของความร้อน มีกฎหลักอยู่ 2 ข้อได้แก่ กฎการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งกล่าวไว้ว่า พลังงานไม่มีทางสูญหาย แต่มีการเปลี่ยนรูป และพลังงานที่ได้รับในระบบจะเท่ากับพลังงานที่ใส่เข้ามา ส่วนกฎข้อที่สองคือ การเคลื่อนที่ของความร้อนจะเกิดขึ้นในทิศทางเดียวเท่านั้น คือเคลื่อนจากที่ร้อนกว่าไปที่เย็นกว่าเสมอ เช่นเดียวกับน้ำที่เคลื่อนที่จากที่สูงสู่ที่ต่ำ ยกเว้นมีแรงภายนอกเข้ามาบังคับ จึงจะทำให้เกิดการกลับทิศทางการเคลื่อนที่ เช่นเดียวกับการปั๊มน้ำขึ้นจากที่ต่ำไปสู่ที่สูง

ความร้อนเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าด้วย 3 รูปแบบได้แก่ การนำ การพาและการแผ่รังสีความร้อน โดยสามารถวัดปริมาณการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละแบบได้ 2 ทางคือ

อัตราการไหลของความร้อน (Heat flow rate, Q) คือการไหลของพลังงานทั้งหมดต่อหน่วยเวลาผ่านพื้นที่ที่กำหนดหรือในระบบที่กำหนด มีหน่วยเป็นจูลต่อวินาที หรือ วัตต์ (W)

ความหนาแน่นของอัตราการไหลของความร้อน (Heat flux density) คือ อัตราการไหลของความร้อนที่ไหลผ่านหน่วยพื้นที่ที่กำหนดหรือที่ว่างที่กำหนด มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

หน่วยวัดที่นิยมใช้ในการวัดการไหลของพลังงานอีกรูปหนึ่งคือ วัตต์-ชั่วโมง (W.h) ซึ่งเป็นหน่วยวัดพลังงานที่ถูกส่งออกมาในอัตรา 1 วัตต์ ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งถ้า 1 ชั่วโมง = 3600 วินาที, 1วัตต์ = 1 จูล/วินาที แล้ว 1วัตต์ ชั่วโมง เท่ากับ 3600 จูล หรือ 3.6 กิโลจูล และหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง นิยมใช้ในหน่วยวัดทางพลังงานไฟฟ้า 1 kWh = 3 600 000 kJ หรือ 3.6 MJ (megajoule)

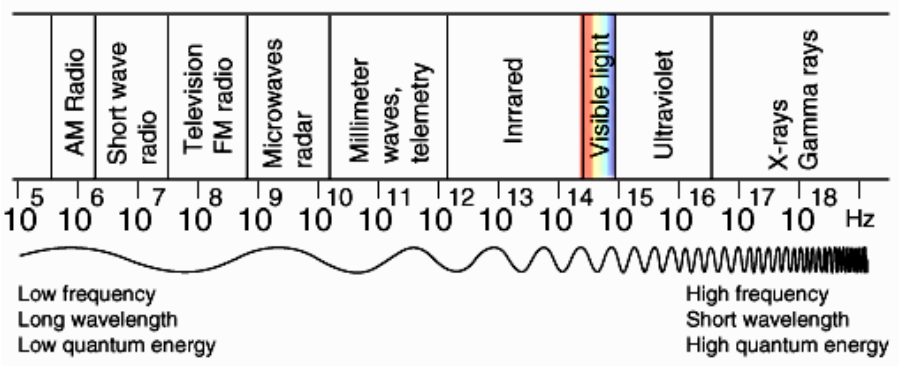
2.2 การเคลื่อนที่ของความร้อน (Heat flow)

เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่จากที่สูงสู่ที่ต่ำของน้ำ ความร้อนก็มีลักษณะการเคลื่อนที่จากที่ร้อนกว่าไปยังที่เย็นกว่า โดยเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ

การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากของแข็งสู่ของไหล (น้ำหรือก๊าซ) หรือจากของไหลสู่ของแข็ง มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ พื้นที่ผิวสัมผัสที่สัมผัสกับของไหล ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวสัมผัสกับของไหลและประการสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์การพา (convection coefficient, h_c) มีหน่วยวัดเป็น W/m^2K ซึ่งขึ้นกับความหนืดและความเร็วของของไหล รวมทั้งลักษณะการไหลว่าเป็นไปแบบต่อเนื่องเป็นเส้นตรงหรือไหลแบบหมุนวน

การแผ่รังสีความร้อน เกิดขึ้นจากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่า โดยเป็นการแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 700 nm – 10,000 nm แบ่งเป็นคลื่นความร้อนช่วงสั้น (Short Infrared) มีความยาวระหว่าง 700nm- 2,300 nm และคลื่นความร้อนช่วงยาว (Long Infrared) มีความยาวระหว่าง 2.3-10 μm (จำกัดความยาวที่ 70μm) โดยช่วงคลื่นที่ปล่อยมาจากวัตถุจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุ ที่ผิวของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิประมาณ 6000°C ปล่อยคลื่นรังสีความร้อนคลื่นสั้นออกมาเท่าๆ กับคลื่นแสงและรังสีอุลตราไวโอเล็ต ส่วนวัตถุในพื้นโลกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ปลดปล่อยคลื่นรังสีความร้อนช่วงยาว รูปที่2.1 แสดงความสัมพันธ์ของช่วงคลื่นในช่วงความยาวต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ ของแสงอาทิตย์[8]

อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนใน 3 รูปแบบที่กล่าวมานั้น มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุทั้งสอง ในขณะที่อัตราการไหลของความร้อน (heat flow rate) ที่เกิดจากการนำความร้อนขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดที่เป็นทางผ่านของความร้อน

2.2.1 การนำความร้อน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ (Conductivity, λ) โดยวัดจากความหนาแน่นของการไหลของความร้อนผ่านวัตถุความหนา 1 เมตร (ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อนยาว 1 เมตร) ที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองด้าน 1 เคลวิน มีหน่วยวัดเป็น Wm/m^2K หรือ W/mK

วัตถุที่นำความร้อนได้น้อยมักถูกนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน แต่เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นลักษณะเส้นใย หรือมีรูพรุนซึ่งประกอบด้วยโพรงอากาศ จึงมีความไวต่อความชื้นในอากาศเป็นอย่างมาก หากช่องอากาศที่มีในวัสดุเปียกน้ำจะทำให้ค่าการนำความร้อนเพิ่มสูงขึ้น ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนใยซีเมนต์ ซึ่งเปลี่ยนไปเมื่อวัสดุเปียกและแห้งต่างกัน ส่วนวัสดุที่ปิดผิวหน้าด้วยโฟม จะมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ดีเช่นเดิม (โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนั้น ไม่ขึ้นกับขนาดและรูปร่าง ได้มาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ เมื่อนำมาใช้งานจริงจะต้องบวกค่าความผิดพลาด κ, kappa ที่เกิดจากการผลิต การขนส่ง หรือการติดตั้งที่ลดความเป็นฉนวนของวัสดุเหล่านี้ด้วย)

ตารางที่ 2.1 ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนใยซีเมนต์ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน

ลักษณะทางกายภาพ	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	การนำความร้อน (วัตต์/เมตร เคลวิน)
แห้ง	136	0.051
เปียก	272	0.144
เปียกชุ่ม	400	0.203

สำหรับค่าการนำความร้อนของผนัง (Conductance, C) สามารถคำนวณได้โดยเอาสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหารด้วยความหนาของผนัง (ในกรณีที่วัสดุผนังมีชนิดเดียว) โดยมากมักไม่นิยมใช้ค่านี้ในการคำนวณทางด้านความร้อนในอาคาร แต่จะใช้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (Transmittance, U-value) ของวัสดุมากกว่า โดยค่าดังกล่าวเป็นการพิจารณาความหนาแน่นของการไหลของความร้อน (Heat flow density, W/m^2) ที่ไหลผ่านระหว่างผนังที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน 1 เคลวิน (ΔT) มีหน่วยเป็น W/m^2K

$$Q = A \times U \times \Delta T \tag{2.1}$$

ตัวอย่างเพื่อความเข้าใจสำหรับการคำนวณการส่งผ่านความร้อนรวมของวัสดุ สมมุติหากอุณหภูมิอากาศภายนอกคือ $T_{out} = 10°C$ และอุณหภูมิภายในคือ $T_{in} = 22°C$

ดังนั้น ΔT = 10-22 = -12K (ค่าติดลบแสดงว่าเกิดการสูญเสียความร้อนให้กับภายนอกอาคาร) หากพื้นที่ผนังอิฐ 10 ตารางเมตร (U = 1.5 W/m^2K) ค่าการส่งผ่านความร้อนQ = 10 × 1.5 × (-12) = -180 W

ตรงข้ามกับค่าการส่งผ่านความร้อนของวัสดุ คือค่าความต้านทานรวม (Air-air resistance, R_{a-a}) มีหน่วย m^2K /W นั่นคือการรวมความต้านทานที่มีทั้งหมดของวัสดุ ได้แก่ฉนวนอากาศที่ผิวหน้าของวัสดุ ความต้านทานการส่งผ่านความร้อนของวัสดุเองและฉนวนอากาศด้านใน ยกตัวอย่างค่าความต้านทานของผนัง2 ชั้น ดังนี้

$$R_{a-a} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_{so} \tag{2.2}$$

สำหรับผนังชั้นเดียว การหาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุหาได้จากความหนาของวัสดุ (breadth; b) หน่วยเป็น เมตร หารด้วยสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุนั้น

$$R_{body} = b/\lambda \tag{2.3}$$

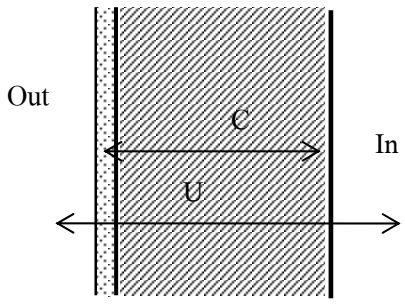
ในกรณีที่ผนังประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น การคิดค่าความต้านทานรวมสามารถคิดได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ ในรูปที่ 2.2 แสดงผนังอิฐความหนา 22 มิลลิเมตร (λ = 0.84 W/mK) ฉาบผิวหน้าด้วยซีเมนต์ (λ = 0.6 W/mK) ความต้านทานความร้อนของอากาศฟิล์มภายนอก R_{so} = 0.06 และความต้านทางความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน R_{si} = 0.14 m^2K /W

$R_{body} = 0.220/0.84 + 0.015/0.6 = 0.287\ m^2K/W$

$C = 1/R_{body} = 1/0.287 = 3.484\ W/m^2K$

$R_{a-a} = 0.14 + 0.287 + 0.06 = 0.487$ ดังนั้น

$U = 1/R_{a-a} = 1/0.487 = 2.054\ W/m^2K$



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างหน้าตัดผนัง แสดงค่าการส่งผ่านความร้อนและการส่งผ่านความร้อนรวม

2.2.2 การพาความร้อน ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection coefficient, h_c) มีหน่วยวัดเป็น W/m^2K

$$Q_v = A \times h_c \times \Delta T \quad (m^2 \times W/m^2K \times K = W) \tag{2.4}$$

ค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากหรือน้อยขึ้นกับตำแหน่งของพื้นผิว ทิศทางการไหลของความร้อนและความเร็วของของไหล ยกตัวอย่างเช่น

- พื้นผิววางตั้ง (ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนในแนวนอน) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน = 3 W/m^2K
- พื้นผิววางนอน(ความร้อนเคลื่อนที่ขึ้น จากอากาศสู่ฝ้าเพดาน, พื้นสู่อากาศในห้อง) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน = 4.3 W/m^2K
- พื้นผิววางนอน(ความร้อนเคลื่อนที่ลง จากอากาศสู่พื้น, เพดานสู่อากาศในห้อง) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน = 1.5 W/m^2K

ซึ่งพบว่าทิศทางจากล่างขึ้นบนจะมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากกว่าจากบนลงล่าง เนื่องจากอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นบนเสมอ จากสมการข้างบนสมมุติว่าอยู่ในสภาพอากาศนิ่งซึ่งหมายถึงการเคลื่อนที่ของอากาศเกิดจากการส่งผ่านความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่หากพื้นผิวปะทะกับกระแสลมแล้ว สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีมากกว่าปกติ คือ $h_c = 5.8 + 4.1\ v$ เมื่อ v คือความเร็วลม หน่วยเป็น เมตร/วินาที

2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ 3 ประการได้แก่

การสะท้อน (Reflectance, ρ) คือคุณสมบัติของวัสดุที่บอกถึงปริมาณรังสีที่ถูกสะท้อนออกมาเมื่อกระทบกับผิววัสดุ

การดูดซับ (Absorptance, α) คือคุณสมบัติในการดูดซับรังสีของวัสดุ โดยเปรียบเทียบกับ Black Body ซึ่งเป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับดีที่สุด ($\alpha = 1$) โดยปรกติวัตถุที่มีสีเข้มมักมีค่าการดูดซับสูง ตรงข้ามกับวัตถุสีอ่อนและมีความมันวาวที่มีค่าการดูดซับน้อย ปัจจุบันค่าการดูดซับของวัสดุมีตั้งแต่ 0.9(Black asphalt) – 0.2 (อลูมิเนียมผิวมัน หรือวัสดุทาสีอ่อน)

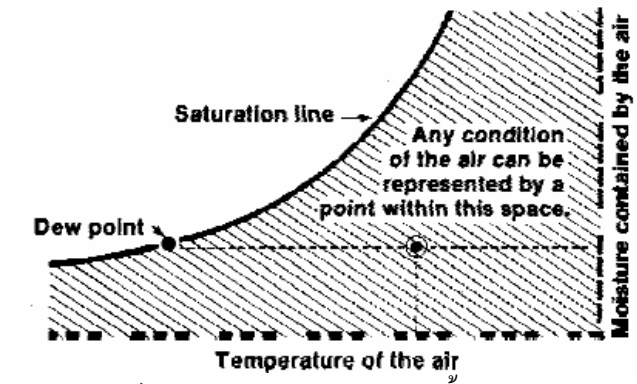
การเปล่งรังสี (Emittance; ε) คือค่าที่วัดความสามารถในการเปล่งรังสีของวัตถุโดยเทียบกับ Black Body ซึ่งเป็นวัสดุที่เปล่งรังสีได้ดีที่สุด สำหรับพื้นผิวปกติทั่วไปถ้าอุณหภูมิและความยาวคลื่นในช่วงเดียวกัน $\alpha = \varepsilon$ แต่วัสดุหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการเลือกรับช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ทำให้เหมาะในการเลือกใช้เพื่อเป็นตัวดูดเก็บความร้อนในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ หรือใช้เป็นแผ่นสะท้อนรังสีความร้อน

การคำนวณค่าการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มีความซับซ้อนมาก แต่มีวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพที่มีส่วนสำคัญต่อการออกแบบอาคารคือ ถ้าทราบค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมของดวงอาทิตย์ (Global irradiance, G) สามารถหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้จากสมการ

$$Qs = A \times G \times \alpha \ (m^2 \times W/m^2 \times \text{non-dim.} = W) \qquad (2.5)$$

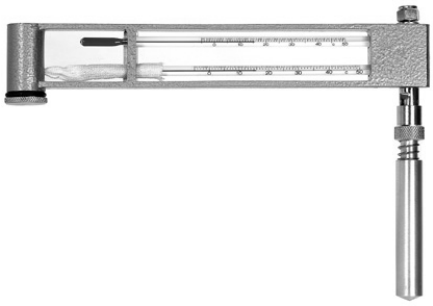
2.3 อากาศชื้นกับแผนภูมิไซโครเมติก[9]

Psychrometric Chart เป็นกราฟที่แสดงถึงสภาพหรือสภาวะของอากาศในขณะนั้น โดยแกนนอนหมายถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ส่วนแกนตั้งแสดงปริมาณไอน้ำทั้งหมด (absolute humidity, AH) ที่มีอยู่ในอากาศ มีหน่วยเป็นกรัมต่อกิโลกรัม (g/kg, กรัมของไอน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง) ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ อากาศมีความสามารถในการรับเอาไอน้ำไว้ได้ในปริมาณจำกัด เราเรียกภาวะที่อากาศไม่สามารถรับไอน้ำไว้ได้อีกว่า “อากาศอิ่มตัว” (Saturation) ส่วนบนของกราฟที่เป็นเส้นโค้งคือเส้นจุดอิ่มตัวของอากาศ บอกให้เราทราบปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับไว้ได้ในอุณหภูมิต่างๆ



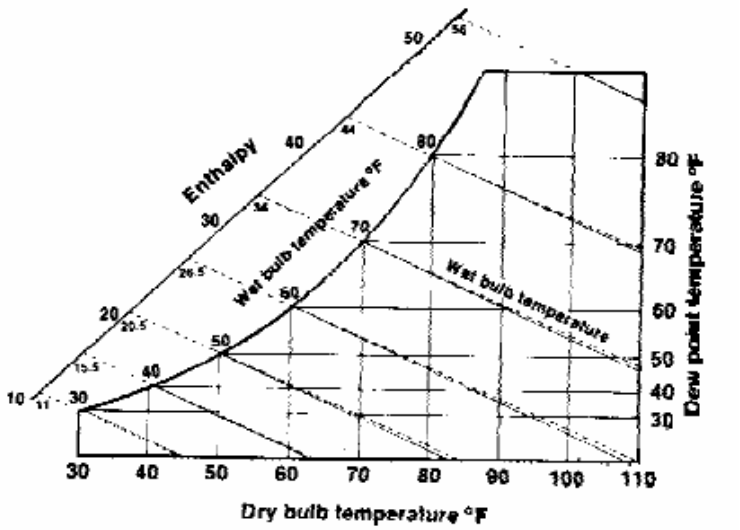
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของอากาศบนPsychrometric Chart

Relative Humidity หรือความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึงอัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ซึ่งบอกถึงปริมาณความชื้นที่อุณหภูมิอากาศนั้นๆ ยังสามารถรับไว้ได้ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อากาศจะอิ่มตัวเมื่อมีความชื้นในอากาศ 20 กรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้งคิดเป็นความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ หากลดปริมาณความชื้นในอากาศลงเหลือ 10 g/kg ในขณะที่อุณหภูมิเท่าเดิม เราสามารถอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้เท่ากับ 50 %



รูปที่ 2.4 สลิงไซโครมิเตอร์ **(Sling Psychrometer)** [10]

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นเรียกว่า Sling Psychrometer ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ 2 อัน มีอันหนึ่งที่หุ้มปลายกระเปาะด้วยผ้าเปียกซึ่งต่อเชื่อมกับกระเปาะบรรจุน้ำในอุปกรณ์ เมื่อแกว่งเครื่องมือ อากาศที่ไหลผ่านผ้าเปียกนี้จะทำให้เกิดการระเหยซึ่งค่าอุณหภูมิที่ได้จะแสดงอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่เกิดจากการระเหยของน้ำ ส่วนเทอร์โมมิเตอร์อีกหนึ่งอันแสดงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองมีความหมายที่แสดงถึงสภาพความชื้นที่มีอยู่ในบรรยากาศ หากความแตกต่างมาก แสดงว่าเกิดการระเหยของน้ำที่ผ้าเปียกมาก ทำให้ลดอุณหภูมิลงได้มาก นั่นคือความชื้นในอากาศค่อนข้างน้อย จึงยังสามารถเกิดการระเหยต่อได้ หากอากาศอิ่มตัว จะไม่เกิดการระเหยและลดอุณหภูมิ นั่นคือ WBT = DBT

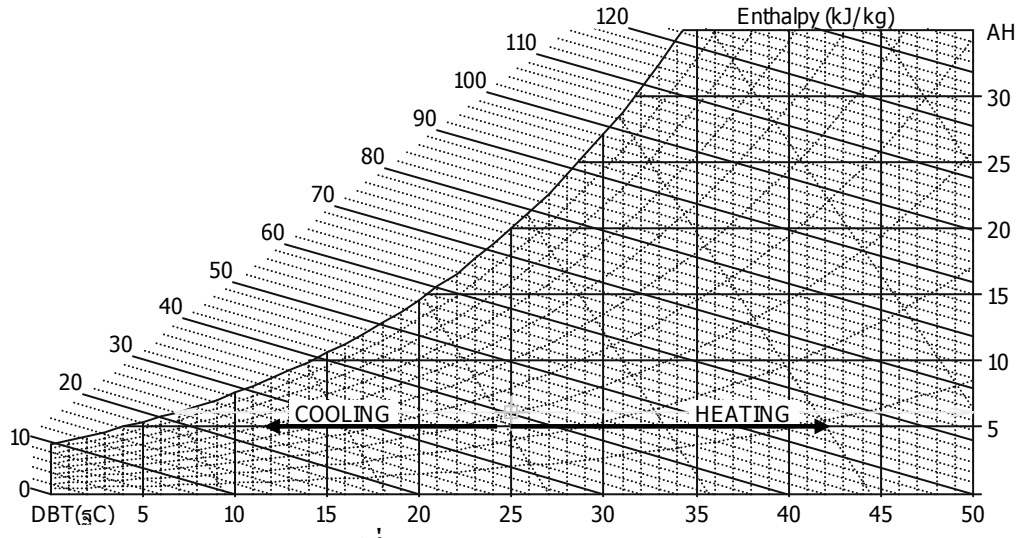


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงค่า Enthalpy ที่ปรากฏบน Psychrometric Chart

Enthalpy คือค่าพลังงานความร้อนที่บรรจุในอากาศ มีหน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม, kJ/kg ที่อุณหภูมิ 0°C ความชื้นสัมพัทธ์เป็นศูนย์ มีค่าพลังงานในอากาศเท่ากับ 0 ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกราฟ ปริมาณความร้อนที่มีในอากาศหนัก 1 กิโลกรัม ประกอบด้วยค่าความร้อนสัมผัส (sensible heat, H_S) ที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าประมาณ 1.005 kJ/kg K และค่าความร้อนแฝง (Latent heat, H_L) ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำให้น้ำระเหย และเนื่องจากเส้นบอกค่าenthalpy มีความ

ใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกมาก เพื่อป้องกันความสับสนทำให้ต้องวางค่าดังกล่าวอยู่ด้านนอกกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

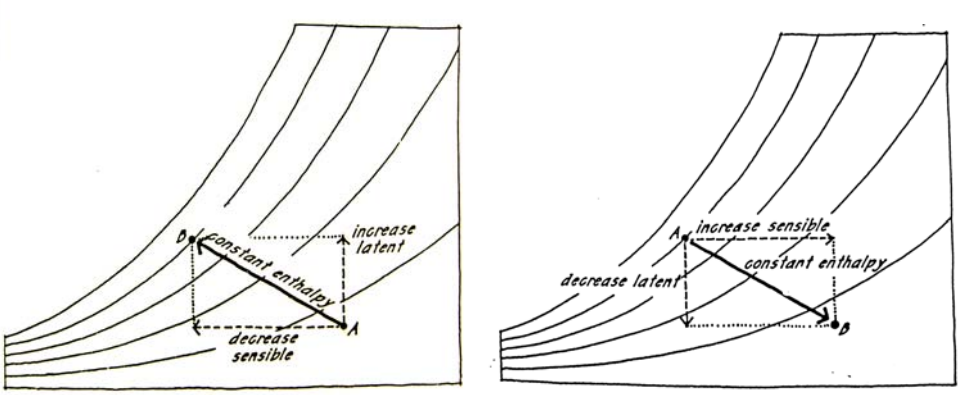
Specific volume คือปริมาตรของอากาศที่ความดันปกติ ที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม (m^3/kg) ซึ่งตรงกันข้ามกับความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)



รูปที่ 2.6 แสดง heating และ cooling

การเปลี่ยนสถานะของอากาศในกรณีต่าง ๆ สามารถแสดงได้ด้วยกราฟไซโครเมตริก เมื่อพูดถึงการทำความร้อน(Heating) คือการเลื่อนตำแหน่งจุดในกราฟไปทางขวามือ นั่นคืออุณหภูมิกระเปาะแห้งจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นในอากาศ (AH) ยังคงเท่าเดิม การทำความเย็น (Cooling) คือการเคลื่อนที่ของจุดในกราฟๆในทิศทางตรงกันข้าม มีผลทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งลดลงแต่ไม่ได้ลดความชื้นในอากาศ เมื่อลดอุณหภูมิลงเรื่อยจนถึงเส้นโค้งที่จุดอิ่มตัวของน้ำที่จุดนี้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 100%

การทำความเย็นด้วยการระเหย (Evaporative cooling) คือกระบวนการที่ทำให้วัสดุหรือระบบมีอุณหภูมิต่ำลงโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากวัสดุหรือระบบนั้น อุณหภูมิที่ต่ำลงเกิดจากการที่น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำในอากาศ ซึ่งความร้อนจะถูกดูดซับกลายเป็นความร้อนแฝงไปอยู่ในไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิของระบบต่ำลง ในขณะที่ความชื้นในอากาศจะเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.7 (ซ้าย)



รูปที่ 2.7 แสดง Adiabatic heating และ Dehumidification

การทำความร้อนด้วยกระบวนการอะเดรียเบติก (Adiabatic heating) คือกระบวนการที่ทำให้วัสดุหรือระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากวัสดุหรือระบบนั้น หรือการลดความชื้น (Dehumidification) โดยให้อากาศชื้นเคลื่อนที่ผ่านสารเคมีบางชนิด ได้แก่ ซิลิกาเจล หรือไกลคอล สเปรย์ (Glycol spray) ซึ่งทำหน้าที่ดูดความชื้นในอากาศให้ลดลง และปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นลดลงด้วย ดังรูปที่ 2.7 (ขวา)

2.4 ภาวะน่าสบาย [11]

ร่างกายมนุษย์ต้องการสภาวะที่เหมาะสมในระดับหนึ่ง เพื่อการใช้ชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เรียกสภาวะดังกล่าวว่า “สภาวะน่าสบาย” (Comfort) ซึ่งได้มีผู้ให้คำจำกัดความมากมายได้แก่

Longman ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า สภาวะน่าสบายคือสภาวะความรู้สึกที่ผ่อนคลายและมีความพอใจทางกายภาพโดยไม่มีความเจ็บปวด

Givoni ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า สภาวะน่าสบายเป็นช่วงเวลาของสภาพอากาศที่มนุษย์พิจารณาเห็นว่าน่าสบายและยอมรับได้ โดยปราศจากความรู้สึกร้อนและความเปียกชื้นที่ผิวหนัง ซึ่งความเปียกชื้นที่ผิวหนังก็คือเหงื่อที่ตกค้างไม่อาจระเหยออกไปจากผิวหนังได้โดยเร็ว

ASHRAE ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า สภาวะน่าสบาย คือ สภาวะทางจิตใจที่แสดงความพึงพอใจในสภาพแวดล้อมที่ร้อนหนาว โดยอาศัยการวิจัยสำรวจประเมินผลความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างโดยเกณฑ์การประเมินผลจะอยู่ที่ว่าหาก 90% ของกลุ่มตัวอย่างลงความเห็นว่าน่าสบายก็จะถือว่าสภาพแวดล้อมนั้นอยู่ในขอบเขตน่าสบาย จากการศึกษาของP.O.Fanger พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว (Thermal Comfort) มีอยู่ทั้งหมด 6 ตัวแปร ซึ่งสามารถจำแนกออกได้ 2 ด้านหลัก ๆ ดังนี้

2.4.1 ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม(เกี่ยวข้องกับงานสถาปัตยกรรม)

อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) หมายถึง ผลที่ก่อให้เกิดความอบอุ่นขึ้น ซึ่งมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศจัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง ที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย ซึ่งกระทบถึงร่างกายและจิตใจของมนุษย์เป็นอย่างมาก ในห้องที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ นอกจากร่างกายจะไม่มีความสบายแล้ว ยังทำให้จิตใจหงุดหงิด อารมณ์เสียได้ง่าย มีการวิจัยพบว่าห้องทำงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติคนสามารถทำงานได้ดี และกระฉับกระเฉงมากกว่าคนที่ทำงานในห้องที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึงอัตราส่วนของจำนวนไอน้ำในอากาศกับจำนวนไอน้ำสูงสุดที่อากาศในอุณหภูมินั้นสามารถรับได้ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญถัดมาจากอุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำในอากาศไม่สามารถทำให้อุณหภูมิในร่างกายเราสูงขึ้นหรือต่ำลงโดยตรง แต่สามารถทำให้เราเกิดความรู้สึกร้อนหรือเย็นได้ หากอากาศมีปริมาณน้ำมากเหงื่อก็จะไม่สามารถระเหยได้เร็ว ทำให้เรามีความรู้สึกอึดอัดรำคาญ

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature) เป็นความรู้สึกทางด้านความร้อนที่ได้รับจากการแผ่รังสีจากผิววัสดุที่อยู่รอบข้าง โดยผลรวมของการแผ่รังสีความร้อนในลักษณะนี้คือ Mean radiant temperature, MRT โดยค่า MRT จะเป็นบวกเมื่อสิ่งที่อยู่รอบ ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิผิวร่างกายและค่าเป็นลบหากสิ่งที่อยู่รอบมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวของร่างกาย

ความเร็วลม (Air Velocity) กระแสลมเป็นปัจจัยหนึ่งของสภาวะความสบายทางด้านอุณหภูมิ เนื่องจาก

1. อากาศที่เคลื่อนไหวจะพัดพาความร้อนที่อยู่รอบ ๆ ตัวไป จากการศึกษาพบว่ามนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศจริงประมาณ 0.4ºC เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1km./Hr
2. อากาศที่เคลื่อนไหวจะพัดพาความชื้นและทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมขึ้น สำหรับร่างกายที่จะระบายความร้อนในรูปของเหงื่อ
3. อากาศที่เคลื่อนไหวช่วยไม่ให้เกิดการสะสมของมลภาวะ ปริมาณของอากาศที่เคลื่อนที่ เพื่อสร้างสภาวะที่เหมาะสมต้องการความเร็วลมระหว่าง 0.051 ถึง 0.077 m/s กระแสลมที่มีความเร็ว 0.255 ถึง 1.02 m/s และพัดเข้ามาอย่างสม่ำเสมอก็สามารถทำให้รู้สึกสบายได้ อากาศที่เคลื่อนที่เร็วกว่า 1.02 m/s จะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกลมแรงรบกวนการทำงาน (ASHRAE)

2.4.2 ตัวแปรด้านบุคคล

อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism) คือกระบวนการที่อาหารเผาผลาญกลายเป็นพลังงาน ร่างกายสามารถนำไปใช้เป็นพลังงาน 20% อีก 80% จะกลายเป็นส่วนเกินและถูกส่งออกจากร่างกายสู่บรรยากาศรอบข้าง ความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกิจกรรมแต่ละประเภทดังนี้

ตารางที่ 2.2 พลังงานที่เกิดจากกิจกรรมประเภทต่าง ๆที่เกิดจากมนุษย์

ท่า (กิริยา)	วัตต์
นอนหลับ	ต่ำสุด 70
นั่ง หรือทำงานเบา ๆ เช่นถักไหมพรม	130-160
ยืนหรือทำงานนิดหน่อย	160-190
เดิน ยกของเบา ๆ หรือผลักประตู	290-410
ทำงานแบกลาก ยกของหนัก	580-700
ทำงานอย่างต่อเนื่องติดต่อกัน ครึ่งชั่วโมง	อย่างมาก 1,100

2.4.3 การสวมเสื้อผ้า (Clo Value)

เสื้อผ้ามีอิทธิพลอย่างมากต่อความรู้สึกสบายหรือไม่สบายของมนุษย์ เป็นทั้งฉนวนกันความร้อนและช่วยรักษาอุณหภูมิที่สบายให้แก่ร่างกาย ผลในการเป็นฉนวนของเสื้อผ้าแสดงหน่วยเป็น clo โดย 1 clo หมายถึง ความต้านทางอุณหภูมิเฉลี่ย 0.155 m^2ºC/W และมีค่าระหว่าง 0-4 clo ตารางที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของเสื้อผ้าชนิดต่าง ๆ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เกิดภาวะความสบายภายในห้อง

ตารางที่ 2.3 แสดงลักษณะการสวมเสื้อผ้าที่เหมาะกับสภาพอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสม

Clo Value	**Clothing example**	**Typical comfort temperature when sitting (ºC)**
0 clo	Naked: swimwear	29
0.5 clo	Light trouser, shirt; light dress. Blouse	25
1 clo	Business suit; dress, Jumper	22
2.0 clo	Heavy suit. Overcoat, gloves, hat	14

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรด้านบุคคลที่อาจส่งผลต่อความรู้สึกร้อนหนาวได้บ้างเล็กน้อยได้แก่

อายุและเพศ ผู้หญิงในทุก ๆ อายุต้องการอุณหภูมิ 1ºC สูงกว่าผู้ชาย ในขณะที่ทั้งผู้ชายและผู้หญิงที่มีอายุมากกว่าต้องการอุณหภูมิ1ºC สูงกว่าผู้ที่มีอายุน้อยกว่า (ASHREA)

ขนาดและรูปร่าง สัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของร่างกายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนของร่างกายกับสิ่งแวดล้อม คนผอมจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าอ้วนเตี้ยซึ่งมีมวลร่างกายเท่ากัน และสามารถระบายความร้อนได้มากกว่าและอดทนต่ออุณหภูมิที่สูงกว่า

ไขมันที่อยู่ใต้ผิวหนัง เป็นฉนวนกันความร้อนได้อย่างดีเยี่ยม คนอ้วนจะต้องการอากาศเย็นกว่าเพื่อที่จะระบายความร้อนจำนวนที่เท่า ๆ กับคนทั่วไป

สภาวะของสุขภาพร่างกาย ในคนป่วยอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism) จะเพิ่มขึ้นทำให้หน้าที่และกลไกการทำงานของร่างกายต่ำลง

อาหารและเครื่องดื่ม อาหารจำพวกโปรตีน (เนื้อสัตว์ ไข่) จะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มการผลิตความร้อนอิสระโดยปราศจากพลังงานที่นำมาใช้งานได้ นอกจากนี้แอลกอฮอล์ก็เป็นเหตุให้เส้นเลือดขยาย ทำให้อาจมีเหงื่อเพื่อที่จะระบายความร้อนที่ผลิตขึ้นมา

สีผิว อาจจะมีผลต่อการเพิ่มความร้อนจากการแผ่รังสี ได้มีการสาธิตแสดงว่าผิวสีอ่อนกว่าจะสะท้อนรังสีความร้อนได้มากกว่าสีผิวที่ดำสนิทถึง 3 เท่า ผิวดำจะประกอบด้วย Melanin Pigment ซึ่งจะป้องกันการทำลายจากแสงอุลตร้าไวโอเลท ดังนั้น สีผิวจึงไม่มีผลต่อความต้องการสภาวะอุณหภูมิ แต่มีผลในด้านความต้านทานต่อการทำลายของแสงแดด

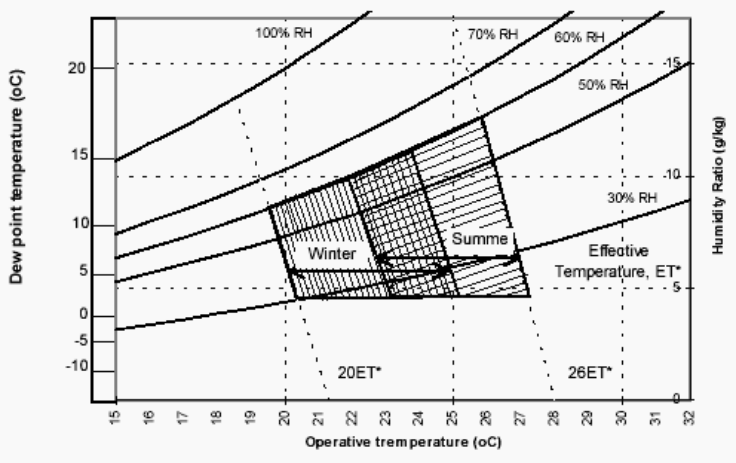
นอกจากตัวแปรทั้งสองด้าน ยังมีตัวแปรทางด้านจิตใจ (Psychology) ที่จะบ่งบอกออกมาได้เนื่องจากเป็นความรู้สึกคุ้นชินของแต่ละบุคคล

2.5 ขอบเขตความสบาย

จากหลักเกณฑ์ความสบาย ASHRAE กำหนดว่า เมื่อ

ฤดูร้อน :	ระดับเสื้อผ้า	0.5 clo กิจกรรมเบา ๆ	1.2 met
	ความเร็วลม	<0.15 m/s	
ฤดูหนาว :	ระดับเสื้อผ้า	0.9 clo กิจกรรมเบา ๆ	1.2 met
	ความเร็วลม	<0.15 m/s	

แผนภูมิของขอบเขตความสบายจะมีลักษณะตามรูปที่ 2.8 โดยแนวนอนแสดง Operative Temperature



รูปที่ 2.8 แสดงขอบเขตความสบายของฤดูร้อนและหนาว

ช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนแผนภูมิจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง และมีบางช่วงซ้อนกันอยู่ แสดงให้เห็นความแตกต่างของฤดูร้อนและหนาว Effective Temperature (ET) จะแสดงในแนวเอียง ขอบเขตต่ำสุดในฤดูหนาวเท่ากับ 20ºC เขตสูงสุดคือ 26ºC ช่วงที่ซ้อนกันอยู่คือช่วง 23-24ºC อุณหภูมิที่ทำให้รู้สึกสบายที่สุดจะอยู่ที่ 22ºC สำหรับฤดูหนาวและ 24.5ºC ในฤดูร้อน

Operative Temperature คืออุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรอบตัวเรา โดยมีผลมาจาก Radiant Temperature กับ อุณหภูมิอากาศ

Effective Temperature คืออุณหภูมิ Operative Temperature ที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% ที่ทำให้คนมีความรู้สึกเทียบเท่ากับ Operative Temperature ในขณะนั้น

นอกจากเกณฑ์ความสบายของ ASHREA ซึ่งศึกษาเน้นหนักไปในด้านสภาวะที่มีการปรับอากาศแล้ว ยังมีผู้เชี่ยวชาญอีกกลุ่มหนึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับความสบายในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ พบว่า ร่างกายคนเราสามารถปรับความรู้สึกสบายได้ตามสภาพอากาศแวดล้อม

ผลการศึกษาของ Auliciems (1981) โดยการเก็บข้อมูลจากการสอบถามข้อมูลจากคณะบุคคลและใช้อุปกรณ์วัดสภาพอากาศเป็นจำนวนมาก พบว่าอุณหภูมิในที่ร่มทำให้เรารู้สึกสบาย (Neutral Indoor Temperature) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (Mean Monthly Outdoor Temperature) ดังสมการ

$$T_a = 17.6+0.31\ T_m \qquad (2.6)$$

และจากผลการศึกษาของ Szokolay (1980) พบว่าความเร็วลมที่พัดผ่านร่างกายมีผลทำให้ร่างกายมีความรู้สึกเย็นขึ้นจากอุณหภูมิเฉลี่ยโดยรอบ อุณหภูมิที่รู้สึกจะลดลงมีค่าดังสมการ

$$DT = 6v- v2,\ 0<v<3\ m/s. \qquad (2.7)$$

หากใช้ความเร็วลมสูงเกินไปอาจสร้างความรำคาญให้กับผู้ใช้งานในอาคารได้

จากรายงานผลการศึกษาสภาพอากาศในกรุงเทพมหานครโดย John Busch (1990) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งศึกษาอุณหภูมิสบายในอาคารปรับอากาศ และอีกกลุ่มหนึ่งศึกษาสภาพความสบายในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ พบว่าคนที่ทำงานในอาคารที่ปรับอากาศจะรู้สึกสบายในช่วงเดียวกับผลการศึกษาความสบายของ ASHREA ในช่วงฤดูร้อน ส่วนคนที่ทำงานในอาคารที่ไม่ปรับอากาศจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิประมาณ 28 ºC ผลนี้สอดคล้องกับผลงานของ Auliciems

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้แบ่งประเภทได้ตามลักษณะความสำคัญและที่มาของปัญหา โดยเป็นเนื้อหาที่โยงถึงการออกแบบทำความเย็นให้กับอาคารด้วยวิธีธรรมชาติด้วยวิธีต่าง ๆ และเน้นการลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีการระเหย ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร

2.6.1 รูปแบบการลดอุณหภูมิด้วยวิธีธรรมชาติสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น

Passive Cooling Options in Hot-Humid Climates (Givoni. 1994, 1998) การลดความร้อนในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติในอาคารเขตร้อนชื้น การศึกษาครั้งนี้เป็นการหาวิธีลดความร้อนในอาคารหลายวิธี โดยใช้ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนจากวัตถุที่เย็นกว่า โดยการใช้ความเย็นจากการระเหยของน้ำ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ความเย็นจากดิน โดยท่อฝังดิน รวมถึงระบบขังน้ำบนหลังคาและการฝังท่อที่มีระบบน้ำเย็นหล่อบนหลังคา ซึ่งเป็นการลดความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติโดยไม่มีระบบปรับอากาศมาใช้ เพื่อศึกษาถึงตัวแปรและปัจจัยที่สามารถนำมาใช้ในอาคารได้จริง

2.6.2 การทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยทางอ้อม ผ่านเพดานคอนกรีต

Indirect Evaporative Cooling through a Concrete [12] เป็นการศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้องที่ทำการทดสอบ โดยออกแบบการทดลองเปรียบเทียบระหว่างห้องที่ใช้ระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำผ่านท่อที่ฝังในเพดานคอนกรีต กับห้องทดลองที่ไม่ได้ใช้ระบบใด ๆ ในการทำความเย็น พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงได้ นอกจากนี้ยังมีการกำหนดตัวแปรอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบสมมุติฐาน ต่าง ๆที่ตั้งไว้ได้แก่ การเพิ่มมวลของอาคารด้วยการเติมก้อนอิฐเข้าไปในห้องทดลอง เพื่อดูผลของการลดความร้อนสะสมที่เกิดจากระบบ รวมถึงการศึกษาผลที่เกิดจากการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติที่อาจส่งผลต่ออุณหภูมิภายในห้อง ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อเพื่อมวลของอาคารโดยเรียงกำแพงอิฐเข้าไปภายในห้องทดสอบทั้งสองห้อง ทำให้อุณหภูมิห้องในเวลากลางคืนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการสะสมความร้อนของวัสดุในเวลากลางวันและคายความร้อนออกมาในเวลากลางคืน แต่ผลระบบการทำความเย็นผ่านหลังคาคอนกรีตก็ทำให้อุณหภูมิภายในห้องทดสอบลดลงได้

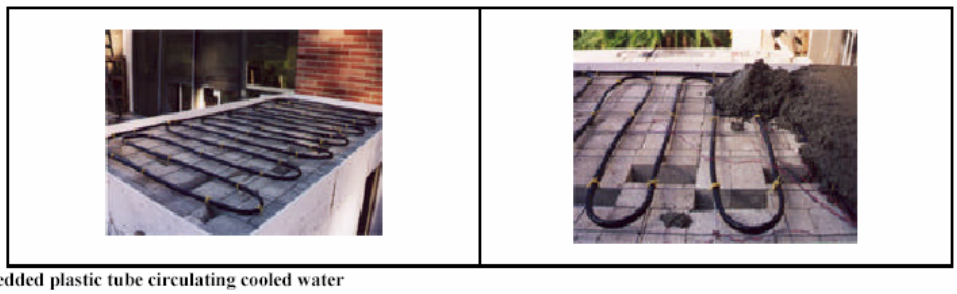


Figure 1: Embedded plastic tube circulating cooled water

Figure 2 shows the data acquisition system and the measuring points.

รูปที่ 2.9 การก่อสร้างห้องทดลองที่มีการฝังท่อไว้บนหลังคาคอนกรีต

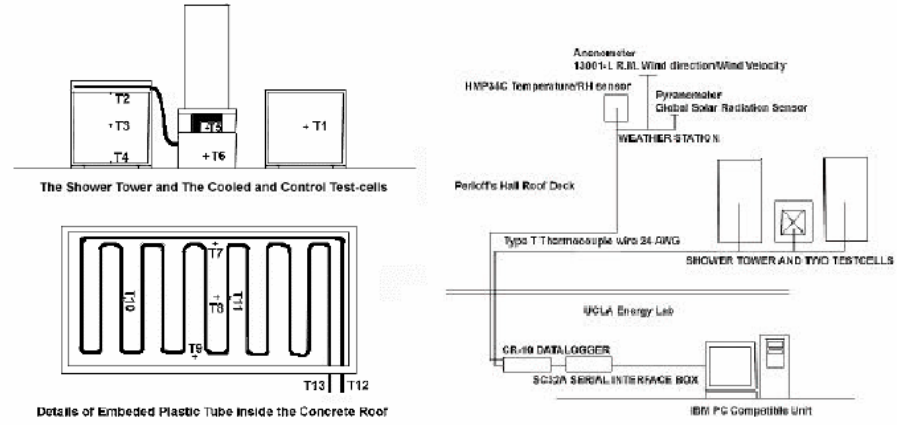


Figure 2: Data Acquisition System and Measuring Points

รูปที่ 2.10 ผังการทดลองของระบบ ซึ่งแสดงตำแหน่งต่าง ๆที่มีการตรวจสอบอุณหภูมิ

Figure 3 (A to C) shows samples of the diurnal temperatures during the cooling in the original configuration (3a), with the added mass (3b) and with the night ventilation (3c).

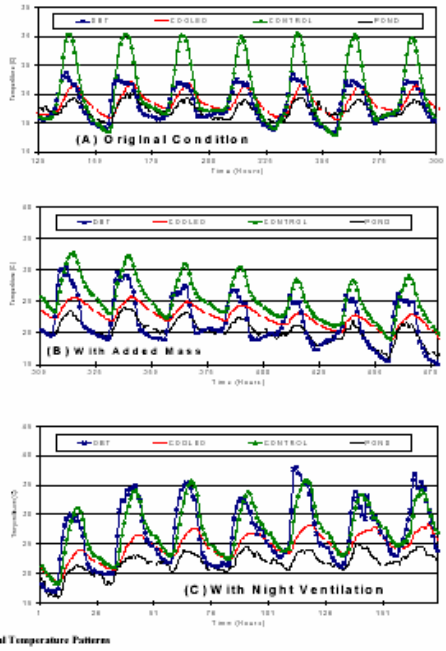


Figure 3: Diurnal Temperature Patterns

รูปที่ 2.11 ผลการทดลองแสดงอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรต่าง ๆที่ทำการทดลอง

โดยในขั้นสุดท้าย ได้มีการสรุปสมการในการประมาณการค่าอุณหภูมิที่ลดลง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่มีการพิจารณาค่าโดยวิธีการทางสถิติ

2.6.3 การศึกษาเกี่ยวกับการทำความเย็นในอาคารด้วยการใช้น้ำ [13]

ระบบปรับอากาศที่มีการนำไปใช้ในอาคารโรงงาน มีหลายรูปแบบได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบขยายตัวโดยตรง, แบบน้ำทั้งหมด, แบบอากาศทั้งหมด และแบบน้ำและอากาศ ซึ่งล้วนเป็นที่แพร่หลายสำหรับการปรับอากาศเพื่อผลิตงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน แต่เป็นระบบที่มีการลงทุนและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานค่อนข้างสูง จึงได้มีการนำระบบปรับอากาศอีกรูปแบบมาใช้ โดยอาศัยวิธีการทำความเย็นด้วยการใช้น้ำ หรือที่เรียกว่า ระบบทำความเย็นแบบระเหย อย่างไรก็ตามวิธีใหม่นี้ไม่เป็นที่แพร่หลายยังคงอยู่ในขั้นตอนการศึกษา แต่มีข้อดีคือใช้เงินลงทุนต่ำและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานน้อย

ปริญญา ทราจารวัฒน์และอัมพร ตันโชติกุล ได้ทำการศึกษาระบบการทำความเย็นในอาคารด้วยการใช้น้ำโดยศึกษาถึงผลของปริมาณอากาศที่ถ่ายเทออกจากอาคารและปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบที่มีต่อสภาวะอากาศภายในอาคาร พร้อมทั้งศึกษาบทบาทของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารที่มีต่อความสามารถในการทำความเย็นของระบบเพื่อพัฒนาการทำความเย็นด้วยวิธีการดังกล่าวไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

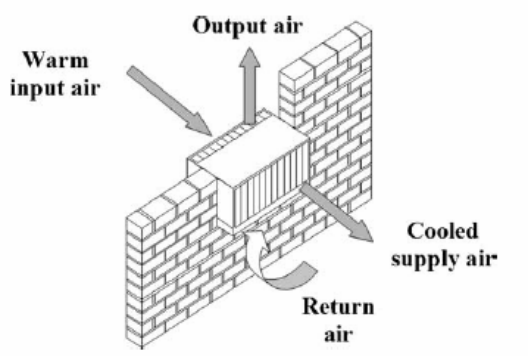
ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศด้วยน้ำ, อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคาร, ปริมาณอากาศที่ถ่ายเทออกจากอาคารและปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบทำความเย็น และในการศึกษาการทำความเย็นสามารถลดอุณหภูมิอากาศลงได้มากสุดเท่ากับ 7 เคลวิน ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าปริมาณอากาศที่ถ่ายเทและ ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 11 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ตามลำดับ โดยพบว่าในวันที่อากาศร้อนจัดและมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ ระบบทำความเย็นจะมีความ สามารถในการลดอุณหภูมิได้ดีกว่าในวันที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำและมีค่าชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงกว่า

2.6.4 การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบกึ่งทางอ้อม [4]

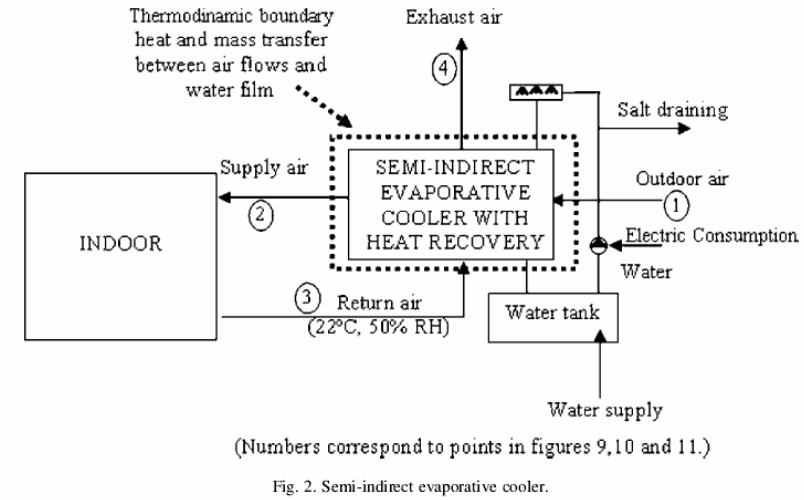
จากการทดลองของ E. Velasco Gomezและคณะ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำความเย็นด้วยการระเหยซึ่งใช้กันมานานทั้งในอุตสาหกรรมและระบบปรับอากาศ ในการลดพลังงานความร้อนที่มีในอากาศ ทำให้อุณหภูมิลดลง การระเหยแบบตรงมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ แต่อาจก่อให้เกิดโรคติดเชื้อทางเดินหายใจ ส่วนระบบการระเหยทางอ้อมเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานต่ำ

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบระบบการระเหยแบบกึ่งทางอ้อมด้วยการใช้น้ำเย็นจากหอทำความเย็นและอากาศเวียนกลับจากห้องที่มีอุณหภูมิ 22 °C ความชื้น 50% RH ส่งผ่านท่อ

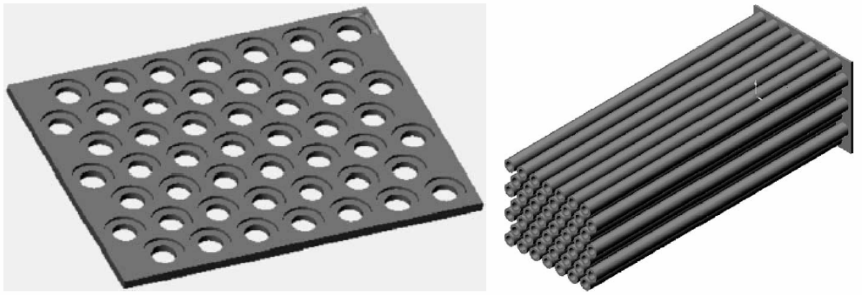
เซรามิค เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก โดยไม่ต้องสัมผัสกับละอองไอน้ำซึ่งอาจก่อให้เกิดการติดเชื้อได้ เพราะเชื้อโรคเดินทางมากับอากาศเท่านั้น และจะเป็นอันตรายเมื่อหายใจเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ โดยการระเหยที่เกิดจากเซรามิคไม่ก่อให้เกิดหยดน้ำ ไม่เกิดแผ่นฟิล์มน้ำและเนื่องจากวัสดุมีรูพรุนเป็นตัวกั้นเชื้อโรคที่มีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ จึงไม่สามารถเล็ดลอดออกมาสู่ภายนอกได้ แต่อย่างไรก็ตามการบำรุงรักษาที่ดีและสม่ำเสมอ ก็มีส่วนช่วยในการยับยั้งการติดเชื้อได้ ระบบนี้สามารถลดอุณหภูมิและความชื้นที่สูงสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น



รูปที่ 2.12 รูปแบบการประยุกต์ใช้ท่อเซรามิคทำความเย็นแบบ แอร์หน้าต่างในอดีต



รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงการทดงานของระบบปรับอากาศแบบกึ่งทางอ้อม



รูปที่ 2.14แผ่นรองท่อเซรามิคทำจากPVC (ซ้าย) และท่อเซรามิคทำความเย็น (ขวา)

Fig. 8. The device over the tank.

รูปที่ 2.15 ชุดอุปกรณ์การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบกึ่งทางอ้อม

2.6.5 การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรงผ่านท่อเซรามิคความพรุนสูง[5]

การทดลองเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิอากาศด้วยกระบวนการระเหยแบบตรงผ่านท่อเซรามิคความพรุนสูง โดย Elfatih Ibrahim และคณะ ด้วยการทดลองท่อที่มีความพรุนแตกต่างกัน 3 แบบ ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา เพื่อหาความพรุนที่เหมาะสมของเซรามิคที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านเข้ามาในห้องทดลองที่ได้ทำการเตรียมไว้ โดยมีรูปแบบและผลการทดลองดังนี้

แท่งเซรามิคขนาด 31.5×16.5×3.5 ซ.ม. มีรูตรงกลางสำหรับใช้เป็นท่อน้ำที่นำมาทดลองได้จากการเผา 3 ระดับความร้อนคือ 1110, 1130, 1170 °C ทำให้มีความพรุนแตกต่างกันตั้งแต่ 17.4-18.3 %, 12.4-13.8% และ 8.0-8.8% ตามลำดับ โดยค่าความพรุน (Porosity: P) คือสัดส่วนของช่องว่างในอากาศต่อปริมาตรของเซรามิค ซึ่งหาได้จากการชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ (Dry: D) น้ำหนักหลังแช่น้ำ (Immense: I) และน้ำหนักหลังเช็ดหมาด (Wet: W) ตามสมการ

$$P = (W-D)/(W-I) \qquad (2.5)$$

รูปที่ 2.16 ชุดอุปกรณ์การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรง

การทดลองจัดทำขึ้นภายในกล่องทดลองสี่เหลี่ยมวัดขนาดภายใน 34.0× 21.0 ซ.ม. ความยาว 2.53 ม. หุ้มด้วยโฟมหนา 7 ซ.ม. เพื่อสามารถวางท่อได้ 1-2 แถว จากนั้นอากาศที่ถูกควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านจากส่วนบนของท่อผ่านช่องรังผึ้งเพื่อลดแรงดันและให้อากาศที่ผ่านสม่ำเสมอ แล้วทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วลมเข้า ซึ่งจะไหลผ่านไปยังท่อเซรามิคและไหลออกสู่ปลายท่อ น้ำที่ส่งเข้ามาในท่อถูกเก็บไว้ในถังที่มีความสูง 1 เมตรและ 4 เมตร เพื่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันน้ำที่ถูกปล่อยมาแบบกาลักน้ำ

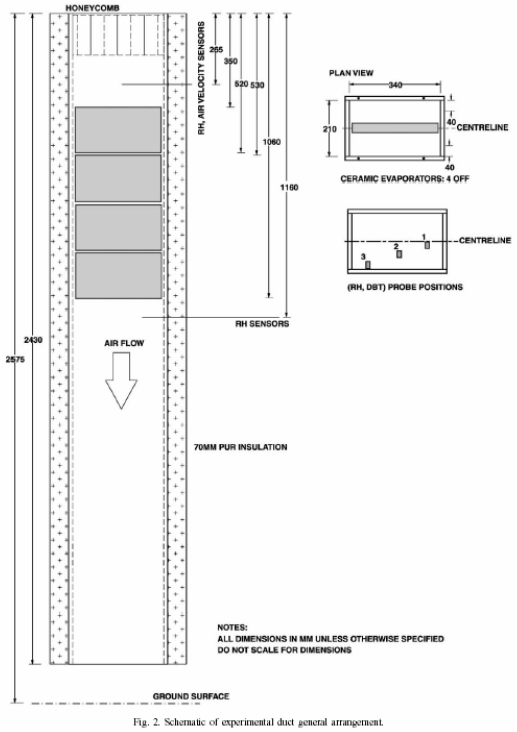


Fig. 2. Schematic of experimental duct general arrangement.

รูปที่ 2.17 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองการทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรง

อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่นำมาใช้ในการทดลองได้มีการควบคุมให้มี 3 ช่วงความชื้นตั้งแต่ 25, 40 และ55% RH มีอุณหภูมิตั้งแต่ 27-37° C ความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองมีการควบคุมให้คงที่ แต่ละชุดการทดลองทำต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิไต่ระดับคงที่ก่อนจะเปลี่ยน

อุณหภูมิและความชื้นในระดับถัดไป ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมเข้าและอุณหภูมิน้ำถูกบันทึกไว้ โดยมีผลการทดลองคือ

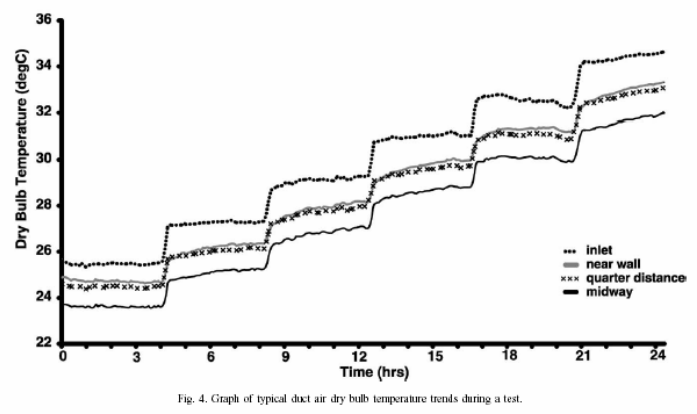


Fig. 4. Graph of typical duct air dry bulb temperature trends during a test.

รูปที่ 2.18 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

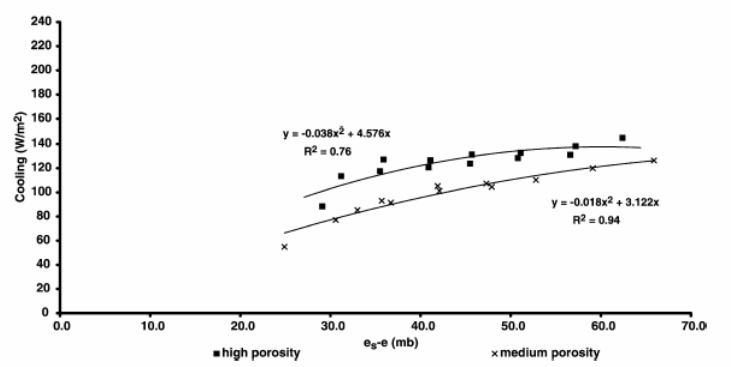


Fig. 7. Graph of effect of porosity on cooling performance: medium and high porosity ceramic evaporators.

รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นของเซรามิคความพรุนสูงและปานกลาง

เซรามิคที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ มีความพรุนสูง มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิดีกว่าเซรามิคความพรุนปานกลาง ส่วนเซรามิคที่มีความพรุนต่ำไม่พบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ

การวางตำแหน่งแท่งเซรามิคแถวเดียวในท่อทดสอบให้ผลในการลดอุณหภูมิได้ดีกว่าการวางแบบเรียง Side by side ซึ่งทำให้กระแสลมภายในสูงกว่าที่มีการวางขวางลม 44%

การทำความเย็นขึ้นอยู่กับความพรุน และแรงดันน้ำภายในท่อ การติดตั้งที่สามารถให้ลมผ่านผิวเซรามิคได้มาก ล้วนมีส่วนช่วยให้เกิดความเย็นได้มากกว่า รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์แบบแถวเดียวกับสองแถวที่พบว่า แบบแถวเดียวสามารถก่อให้เกิดความเย็นได้มากกว่า

อุณหภูมิอากาศลดลง 6-8 K ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 30% ความเย็นสูงสุดที่สามารถทำได้จากระบบคือ 240 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ว่าระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรงผ่านท่อเซรามิคความพรุนสูงนี้มีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในอาคาร