บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย การลดความร้อนให้กับผนังอาคารโดยการประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำ ประกอบด้วยทฤษฎีดังต่อไปนี้

1. การระเหยของน้ำ
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมด้านความร้อน
3. หลักการพื้นฐานของความรู้สึกสบายที่เกิดจากอุณหภูมิ
4. คุณสมบัติในการแผ่รังสีของพื้นผิววัสดุ (Surface Radiation)
5. คุณสมบัติของผิววัสดุซึ่งตอบสนองต่อการแผ่รังสีความร้อน (Surface characteristics with respect to radiation)
6. อิทธิพลมวลสารและการหน่วงเหนี่ยวความร้อน
7. สมการที่ใช้คำนวณปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร
8. การคำนวณหาความร้อนไหลเข้าสู่อาคารโดยผ่านผนังอาคาร Q_{wall}
9. Sol-Air Temperature
10. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature, MRT)
11. ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศ
12. ทฤษฎีความชื้น

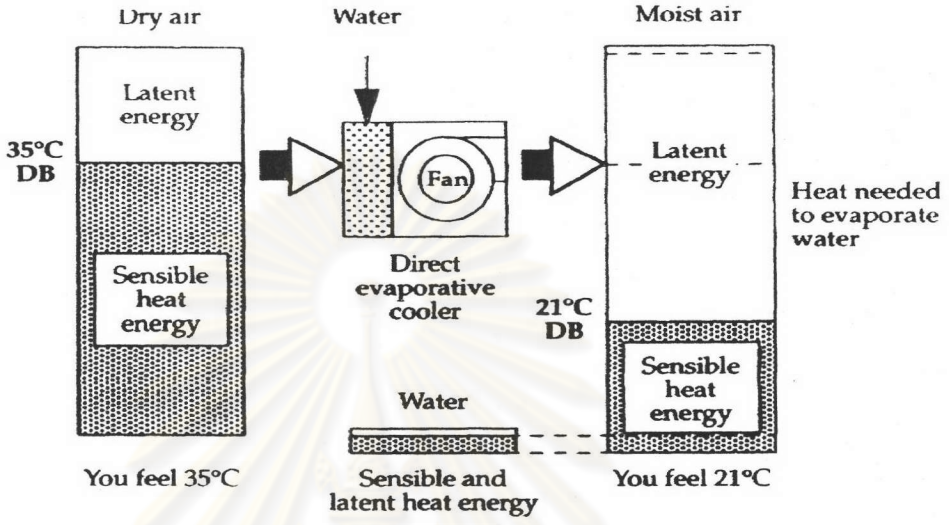
2.1.1 การทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำ (Evaporation)

การระเหยของน้ำ เป็นขบวนการที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอน้ำโดยเมื่ออากาศสัมผัสกับน้ำ โดยน้ำจะดึงความร้อนจากอากาศเพื่อใช้ในการระเหยของน้ำ ดังนั้นจึงเป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนในรูปความร้อนสัมผัส ไปเป็นความร้อนแฝง

การนำการระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารมี 2 ลักษณะ

1. การลดอุณหภูมิโดยการใช้การระเหยของน้ำโดยตรง (Direct Evaporative) เป็นการนำอากาศผ่านกระบวนการระเหยน้ำโดยตรง โดยอากาศดังกล่าวสัมผัสกับน้ำโดยตรง น้ำจะดึงเอาความร้อนอากาศใช้ในการระเหย ทำให้อุณหภูมิอากาศ หรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry –

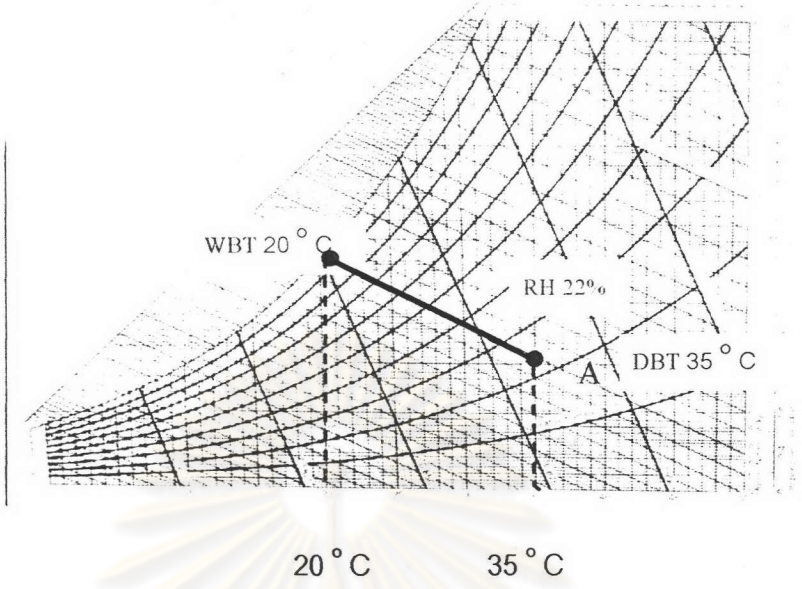
bulb temperature) ลดลง แต่ความชื้นสัมผัสเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ (Wet – bulb temperature) โดยขบวนการดังกล่าวพลังงานภายในระบบไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยเป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนในรูปความร้อนสัมผัส ไปเป็นความร้อนแฝง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงขบวนการระเหยของน้ำแบบทางตรง (Direct Evaporative)

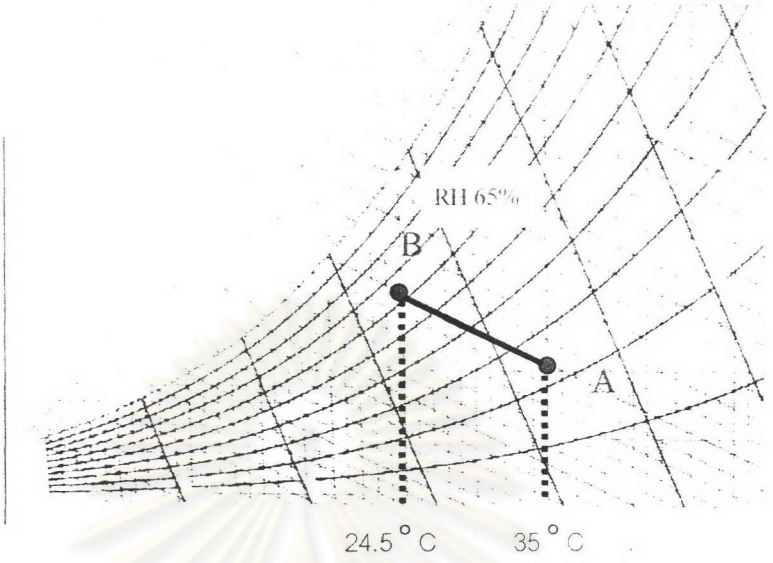
ที่มา : Evaporative Air-Condition, 1998: 22

โดยสามารถอธิบายด้วย Psychomatric chart ดังรูปที่ 2 พบว่าที่จุด A อุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature) มีอุณหภูมิเท่ากับ 35 ° C (95° F) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature) มีอุณหภูมิเท่ากับ 20 ° C (68° F) ความชื้นสัมพันธ์ (Relative humidity) เท่ากับ 22 % ความชื้นจำเพาะ (moisture content) เท่ากับ 8 กรัม / กิโลกรัม เมื่อนำอากาศที่สภาวะดังกล่าวผ่านวัสดุผิวเปียกหรือละอองน้ำ จะพบว่าอุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature) ลดต่ำลงและปริมาณความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่คงที่



รูปที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก และความชื้นสัมพันธ์ของอากาศบนแผนภูมิ

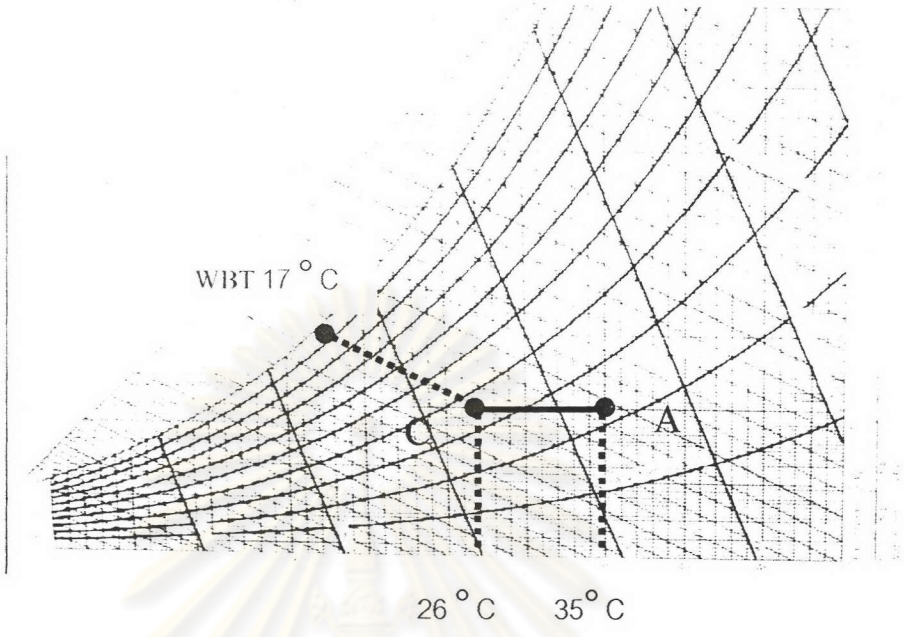
อุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature) ลดลงได้ต่ำสุดจะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature) ซึ่งถือว่ากระบวนการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้ 100% แต่ในทางปฏิบัติขบวนการดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นสมบูรณ์ อุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature)ที่ผ่านขบวนการลดอุณหภูมิโดยการระเหยของน้ำโดยตรง (Direct Evaporative) จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature) ประมาณ 20 % - 40 %ของความแตกต่างอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature)กับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature)ของอากาศ โดยจาก Psychromatric chart ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3 พบว่ามีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature) เท่ากับ 24.5 ° C (76° F) และมีความชื้นสัมพันธ์ (Relative humidity) เท่ากับ 65 % ความชื้นจำเพาะ (moisture content) เท่ากับ 12.7 กรัม / กิโลกรัม ที่จุด B โดยสามารถหาประสิทธิภาพได้จากอัตราส่วนของผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่จุด A และอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่จุด B กับผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่จุด A กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่จุด A



รูปที่ 2.3 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ลดลง จากการระเหยของน้ำทางอ้อม (Indirect Evaporative)

2. การลดอุณหภูมิโดยการใช้การระเหยของน้ำทางอ้อม (Indirect Evaporative) เป็นขบวนการที่นำอากาศผ่านเข้าสู่ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) โดยอากาศจะผ่านตัวกลางที่อาจเป็นท่อหรือขดลวดและเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศหรือน้ำที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าที่อยู่ด้านนอก โดยผ่านตัวกลาง ซึ่งอากาศดังกล่าวจะไม่ได้สัมผัสกับอากาศหรือน้ำ ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature) มีอุณหภูมิลดต่ำลง โดยที่ความชื้นในอากาศไม่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พลังงานรวมในระบบลดต่ำลง

สามารถอธิบายด้วย Psychromatric chart ดังรูปที่ 2.4 พบว่าที่จุด A อุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature) มีอุณหภูมิเท่ากับ 35 ° C (95° F) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature) มีอุณหภูมิเท่ากับ 20 ° C (68° F) ความชื้นจำเพาะ (moisture content) เท่ากับ 8 กรัม / กิโลกรัม เมื่อนำอากาศที่สภาวะดังกล่าวผ่านตัวกลางที่อาจเป็นท่อหรือขดลวดและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำหรืออากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จะพบว่าอุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – bulb temperature) ลดต่ำลง26° C (78.8° F) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – bulb temperature) มีอุณหภูมิเท่ากับ 17 ° C (62.6° F) ความชื้นจำเพาะ (moisture content) เท่ากับ 8 กรัม / กิโลกรัม เท่าเดิม ที่จุด C



รูปที่ 2. 4 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ลดลง จากการระเหยของน้ำทางตรง (Direct Evaporative)

ความสามารถในการลดอุณหภูมิให้กับอากาศด้วยการใช้การระเหยของน้ำ สำหรับการลดอุณหภูมิโดยใช้การระเหยของน้ำโดยตรง (Direct Evaporative) มีประสิทธิภาพประมาณ 85 % - 90 % ส่วนการลดอุณหภูมิโดยการใช้การระเหยของน้ำทางอ้อม (Indirect Evaporative) มีประสิทธิภาพประมาณ 60 % - 75 % โดยเราสามารถประสิทธิภาพการระเหยของน้ำได้จากสูตร

$$Es = \frac{Toi - Toe}{Toi - Tsat}$$

Es = ประสิทธิภาพการทำความเย็น

Toi = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนผ่านผิวเปียก

Toe = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังผ่านผิวเปียก

Tsat = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนผ่านผิวเปียก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมด้านความร้อน

ก. พลังงานความร้อน

ความร้อนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของร่างกายหรือระบบของร่างกายมนุษย์ อุณหภูมิจะเป็นตัวบ่งชี้สภาพของร่างกาย โดยไม่ขึ้นกับทิศทาง แต่ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในระบบทำให้เกิดกลไกการถ่ายเทความร้อน ซึ่งในตอนนี้จะเกี่ยวข้องกับทิศทาง ทิศทางดังกล่าวถูกกล่าวถูกกำหนดโดยการกระจายตัวแบบพิเศษของอุณหภูมิ ในศัพท์เฉพาะสาขาพลังงานความร้อนได้ให้คำนิยามไว้ว่า "พลังงาน" ซึ่งก้าวออกมาจากขอบเขตจำกัดของระบบ อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของระดับอุณหภูมิ

ในทางกายภาพแล้ว พลังงานความร้อนในร่างกายของมนุษย์มีอิทธิพลอย่างมากต่อการรับรู้ความรู้สึกสบายของมนุษย์เอง (Meyer, 1995)

ข. การถ่ายเทความร้อน การไหลของความร้อนและความหนาแน่นการไหลของความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือ การถ่ายทอดพลังงานความร้อนจากระบบที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังระบบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนที่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ไปในการส่งผ่านความร้อน

โดยการส่งผ่านความร้อนที่ขึ้นกับระยะเวลาก่อให้เกิดความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังแผ่นหนึ่งทะลุผ่านผิวด้านนอกของผนังจะต้องเท่ากับพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกจากผิวด้านในหลังจากเวลาหนึ่งเวลาใดผ่านไป ซึ่งปริมาณความร้อนที่ถูกลำเลียงต่อหน่วยเวลาเรียกว่า "การไหลของความร้อน" (Heat flow) ในขณะที่การไหลของความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวเรียกว่า "ความหนาแน่นของการไหลของความร้อน" (Heat flow density) การถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้จริงในกลไกหลายอย่างซึ่งส่งเสริมระหว่างกัน โดยอาจจะจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกัน นั่นคือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation)

(1) การนำความร้อน (Heat conduction)

การนำความร้อนเป็นการส่งผ่านความร้อนจากอนุภาคหนึ่งไปยังอีกอนุภาคหนึ่งภายใต้ผลจากความแตกต่างของระดับอุณหภูมิ การนำความร้อนเกิดขึ้นในทุกทิศทางของที่ว่างและเกิดขึ้นเฉพาะระหว่างอนุภาคที่อยู่ติดกันโดยตรงเท่านั้น โดยจะเกิดขึ้นได้ในวัตถุที่เป็นของแข็งหรือในของเหลวที่อยู่นิ่งหรือก๊าซ

(2) การพาความร้อน (Convection)

การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของตัวกลางเรียกว่า "การพาความร้อน" (Convection) การพาความร้อนมีทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนไปในทิศทางที่ทำให้เกิดลดอุณหภูมิลงเช่นเดียวกับการนำความร้อน โดยการไหลของความร้อนแบบการพาความร้อนนี้อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะของสสารด้วย เช่น การระเหย การควบแน่น เป็นต้น ส่วนในกรณีการพาความร้อนโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะนั้น สามารถจำแนกออกได้ 2 แบบด้วยกันคือ

- การพาโดยอิสระ (free convection)
- การพาโดยการบังคับ (forced convection)

การพาความร้อนโดยอิสระเกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนขึ้นด้วยตัวของมันเอง เช่น ในกรณีของอากาศที่หลังจากผ่านวัตถุที่มีความร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นด้วยตัวของมันเองและเกิดการเคลื่อนที่ในที่สุด

การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพาแบบบังคับ คือ ปรากฏการณ์ที่นำเอาการหมุนเวียนของอากาศเพิ่มเติมมามีอิทธิพลต่อระบบ โดยไม่คำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนเดิมภายในระบบ ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการใช้พัดลมหรือปั๊ม เป็นต้น

(3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับวัสดุเป็นการแผ่รังสีความร้อน ในกรณีเช่นนี้ความร้อนสามารถถูกส่งผ่านไปได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางใดๆ เช่นในที่ว่างเปล่า ในกรณีการแผ่รังสีความร้อนก็ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานจากระบบที่ร้อนกว่าสู่ระบบที่เย็นกว่าเช่นเดียวกัน โดยรังสีความร้อนสามารถเปรียบเทียบได้กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกไปเป็นเส้นตรงและเป็นทรงกลม และเมื่อรังสีความร้อนตกกระทบพื้นที่ระหว่างวัตถุสองชิ้นก็อาจก่อให้เกิดการดูดกลืน การสะท้อนกลับ หรือการส่งผ่านต่อไปยังวัตถุอื่นๆ ได้

ค. การถ่ายเทพลังงานความร้อนรวมผ่านผนังหลายชั้น

(1) การแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อน และการสะท้อนกลับของความร้อนที่พื้นผิวภายนอกของผนัง

เมื่อผนังด้านหนึ่งด้านใดของบ้านทดลองถูกรังสีจากดวงอาทิตย์ ผนังจะไม่รับเอาความร้อนทั้งหมดที่มาตกกระทบ แต่จะสะท้อนกลับออกไปส่วนหนึ่ง ปริมาณความร้อนส่วนที่ถูกสะท้อนกลับออกไปนี้ ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิการดูดกลืนของพื้นผิวภายนอกของผนังนั้น ภายใต้อิทธิพลของรังสีจากดวงอาทิตย์ พื้นผิวภายนอกของผนังจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงระดับอุณหภูมิค่าหนึ่ง กรณีที่อุณหภูมิดังกล่าวสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ กระบวนการแผ่รังสีและการพาจะเกิดขึ้น ผนังจะคายความร้อนที่ดูดกลืนไว้แล้วออกมาส่วนหนึ่ง โดยความร้อนส่วนที่คงอยู่เท่านั้นที่จะผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่อยู่ถัดเข้าไปภายในได้

(2) การถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นต่าง ๆ ของผนัง

ความร้อนจะถูกส่งผ่านจากด้านนอกผ่านเข้าสู่ด้านในของผนัง โดยการนำความร้อนผ่านคอนกรีตและฉนวนชั้นต่างๆ อาจกล่าวได้ว่า ยิ่งผนังที่ถูกก่อขึ้นมีความสามารถในการจุความร้อนมากขึ้นเท่าใด ระยะเวลาที่ความร้อนใช้ผ่านเข้ามาจากภายนอกจะยาวนานออกไปเท่านั้น และยิ่งชั้นของฉนวนความร้อนสกัดกั้นความร้อนได้ดีมากเท่าไร ปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยให้ผ่านเข้ามาต่อหน่วยเวลาก็จะต่ำลงเท่านั้น

ง. คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุนอกจากจะได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกแล้วยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างของวัสดุด้วย โดยคุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนได้แก่

(1) ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อน (Thermal Condutivity – K)

หมายถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัสดุใดๆ หรือปริมาณความร้อนภายใต้สภาวะคงที่ ที่ถ่ายเทผ่าน 1 หน่วยพื้นที่ของวัสดุที่มีความหนา 1 หน่วยใน 1 หน่วยเวลา โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน 1 หน่วย มีหน่วยเป็น (BTU – in/hr.ft^2. F)

(2) ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อน (Thermal Resistance/ R – Value)

เป็นค่าการแสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุและเป็นส่วนกลับของค่าการนำความร้อน หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับงานความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนผ่านความหนาของวัสดุหนึ่งในพื้นที่ 1 หน่วยเมื่อมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุทั้ง 2 ด้านต่างกัน 1 หน่วย มีหน่วยเป็น ($hr.ft^2.F/ BTU$) (Watson, FAIA, and Kenneth Labs, 1993)

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

โดยที่ R คือ ค่าการต้านทานความร้อน

(3) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of Transmission/ U – Value)

หมายถึง การคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารหรือออกจากตัวอาคารเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิโดยจะใช้ U – Value เป็นหลัก (Watson, FAIA, and Kenneth Labs, 1993) โดยมีสูตรดังนี้

$$U = 1 / \Sigma R \text{ หน่วย } BTU / hr.\ ft^2$$

โดย ΣR คือผลรวม R – Value ของเปลือกอาคาร

(4) ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity)

หมายถึงคุณสมบัติในการจุความน้อยของวัสดุ หรือปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุ 1 หน่วยปริมาตร หรือพื้นที่ผิว 1 หน่วยพื้นที่ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 หน่วย มีหน่วยเป็น $Kcal / m^3$ หรือ $Kcal / m^2$ วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูงจะมีความสามารถในการเก็บความร้อนได้มาก ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งช้าลง ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนแตกต่างกัน มีค่าต่างกัน (จญาดา บุญยเกียรติ, 2537)

2.1.3 หลักการพื้นฐานของความรู้สึกสบายที่เกิดจากสภาพอุณหภูมิ

ก. นิยามของความรู้สึกสบายที่เกิดจากสภาพอุณหภูมิ

คำว่า "ความรู้สึกสบายจากสภาพอุณหภูมิ" อธิบายถึงสภาวะซึ่งบุคคลมีความรู้สึกพอใจอย่างสูงสุดต่อสภาพอุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมที่ตนอาศัยอยู่ สภาวะของความพอใจในสภาพอุณหภูมินี้ ไม่เพียงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่อยู่รอบตัวเท่านั้น แต่ยังได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต่างๆ ถึง 5 ตัวแปรด้วยกัน คือ

(1) ระดับของกิจกรรม

ความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นในร่างกายมีความสัมพันธ์กับระดับกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งในขณะที่คนๆ หนึ่งมีการพักผ่อนอย่างเต็มที่และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยรอบเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์นั้น จะทำให้เกิดการสร้างพลังงานความร้อนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิภายในร่างกายของคนๆ นั้น ประมาณ 45 W / m^2 โดยที่การสร้างพลังงานความร้อนของร่างกายอาจเพิ่มสูงขึ้นถึงระดับ 500 W / m^2 ได้ในกรณีที่มีกิจกรรมหนักๆ เช่นในสถานการณ์การช่วยชีวิตผู้ประสบอุบัติเหตุ เป็นต้น โดยในขณะที่ทำกิจกรรมตามปกติภายในห้องนั่งเล่นหรือในห้องทำงานนั้น ปริมาณความร้อนที่ถูกใช้ไปในการทำกิจกรรมดังกล่าวมีค่าประมาณ 100 ถึง 200 W และกิจกรรมที่มีการใช้พลังงานความร้อนในปริมาณน้อยๆ เช่น กระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายมนุษย์ที่มีการใช้พลังงานความร้อนเพียง 10 W เท่านั้น โดยที่ร่างกายต้องมีการผลิตพลังงานความร้อนสำหรับกระบวนการดังกล่าวประมาณ 50 W นั่นคือ ส่วนของพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปโดยการปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกมีค่าเท่ากับ40 w

ระดับกิจกรรมของมนุษย์มีหน่วยเป็น "met" ซึ่งย่อมาจาก metabolic rate โดย 1 met แทนการแลกเปลี่ยนความร้อน 58.15 W / m^2

(2) เครื่องนุ่งห่ม

เครื่องนุ่งห่มทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนระหว่างผิวหนังกับสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพของฉนวนขึ้นอยู่กับความหนา ความโปร่ง และความสามารถในการนำความร้อนของใยผ้าที่ถูกทอขึ้น ความต้านทานความร้อนของผ้ามีหน่วยเป็น "clo" (ย่อมาจาก clothing) 1 clo เทียบเท่ากับค่าฉนวนความร้อนขนาด 0.16 m^2K/W ซึ่งค่าความต้านทานความร้อนสามารถคำนวณได้จาก

ความสัมพันธ์ในสมการต่อไปนี้ โดยตัวแปรต่างๆ ในสมการดังกล่าวได้เป็นผลที่ได้จากการทดลอง

$I_{cl} = (t_s - t_{cl}) / 0.155K_c$

I_{cl} ความต้านทานความร้อน ฉนวนความร้อนของเครื่องนุ่งห่ม m^2K/W

t_s อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนัง [K]

t_{cl} อุณหภูมิผิวของเครื่องนุ่งห่ม [K]

K_{cl} การไหลของความร้อนที่ทะลุผ่านเครื่องนุ่งห่ม [W/m^2]

(3) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิการแผ่รังสีของพื้นผิวที่อยู่โดยรอบ

อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายในห้องและอุณหภูมิจากการแผ่รังสีของพื้นผิวโดยรอบ มีอิทธิพลโดยตรงต่อองค์ประกอบความร้อนในร่างกายของมนุษย์ การเพิ่มอุณหภูมิห้องอาจทดแทนได้โดยการลดอุณหภูมิของพื้นผิวที่อยู่โดยรอบ หรืออาจกล่าวได้ว่า ความรู้สึกสบายที่แตกต่างกันสามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการลดอุณหภูมิของผนัง เพดานและพื้น ในขณะที่อุณหภูมิของห้องยังคงเดิม อุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีของพื้นผิวเป็นตัวกำหนดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างตัวคนกับสิ่งแวดล้อม

(4) การเคลื่อนตัวของอากาศและกระแสลม

การเคลื่อนตัวของอากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญมากตัวหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ การเคลื่อนตัวของอากาศซึ่งมนุษย์สามารถรู้สึกถูกรบกวนของส่วนต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณคอและข้อเท้า ซึ่งเป็นส่วนที่มีความรู้สึกไวต่อกระแสลมของมนุษย์และจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อกระแสลมเกิดการหมุนระบบการปรับอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์เมื่อมีกระแสลมจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกับกรณีที่มีไอน้ำเกิดขึ้นในห้องที่มนุษย์อาศัยอยู่ นั่นคืออากาศโดยรอบจะกระตุ้นให้ร่างกายมนุษย์แผ่รังสีความร้อนออกมาโดยกระบวนการพาความร้อนทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกลดลงนั่นเอง

(5) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ส่วนหนึ่งของความร้อนที่เปล่งออกมาจากร่างกายของมนุษย์เกิดขึ้นได้โดยการระเหยของเหงื่อซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวหนังและการเพิ่มปริมาณไอน้ำในอากาศที่หายใจออกมา เนื่องจากกระบวนการระเหยของเหงื่อขึ้นอยู่กับความดันของไอน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหนังกับอากาศ จึงอาจคาดหมายได้ว่าความชื้นมีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส มนุษย์แทบจะไม่รู้สึกถึงความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ 20 เปอร์เซ็นต์กับที่ 70 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ระดับกิจกรรมของมนุษย์ที่ต้องใช้พลังงานในระดับที่สูงและอาศัยอยู่ในห้องที่มีอุณหภูมิสูงแล้ว พบว่าอากาศที่มีความชื้นสูงจะเป็นตัวเร่งให้เกิดความรู้สึกร้อนอบอ้าวและความรู้สึกไม่สบายตัว ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศควรถูกนำมาพิจารณาร่วมกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม นอกจากนี้เมื่อมีเหตุผลเรื่องสุขภาพอนามัยเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยแล้ว ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในระดับปกติที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ควรอยู่ในระดับประมาณ 30 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์

ตัวแปรเหล่านี้มีผลกระทบต่อองค์ประกอบความร้อนของบุคคล อันจะนำไปสู่ความรู้สึกสบายของมนุษย์ในสภาพแวดล้อมหนึ่งๆ

ข. การจัดระเบียบความร้อนและความต้องการความร้อนของบุคคล

เนื่องจากมนุษย์เป็นสัตว์เลือดอุ่น จึงจำเป็นต้องรักษาระดับอุณหภูมิของร่างกายให้อยู่ที่ระดับ 37 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อรักษาสมดุลระหว่างการสร้างความร้อนและการปลดปล่อยความร้อนของร่างกาย ความร้อนซึ่งถูกสร้างขึ้นในร่างกายมีพื้นฐานมาจากกระบวนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรท ไขมัน และโปรตีน ซึ่งร่างกายสามารถเก็บสะสมพลังงานเคมีไว้ในรูปของไขมัน แต่ไม่อาจเก็บพลังงานเคมีดังกล่าวไว้ในรูปของพลังงานความร้อนได้ ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นภายในร่างกายจึงต้องมีการปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมอย่างสม่ำเสมอ โดยระดับหรือปริมาณของการปลดปล่อยความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขสภาพภูมิอากาศเป็นส่วนใหญ่

ความสมดุลของความร้อนในร่างกาย ถูกกำหนดโดยระบบควบคุมอุณหภูมิของอวัยวะส่วนสมองที่มีประสิทธิภาพสูงมาก ซึ่งสามารถรับรู้ความแตกต่างของอุณหภูมิและควบคุมปริมาณความร้อนโดยการผลิตหรือปลดปล่อยพลังงานความร้อน อุณหภูมิของร่างกายคงที่ที่ 37 องศาเซลเซียส อยู่ในระดับที่สูงกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้เกิด

การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างร่างกายและสิ่งแวดล้อม ร่างกายของมนุษย์จึงต้องมีการปลดปล่อยความร้อน โดยสามารถกระทำได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ

- การพาความร้อน ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์
- การแผ่รังสีความร้อนจากผิวหนัง ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์
- การระเหยของน้ำผ่านผิวหนังและในลมหายใจ ซึ่งทำให้อุ่นขึ้นและหล่อเลี้ยงให้ชุ่มชื้นภายในทางเดินหายใจ ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

ในกรณีที่จำเป็นต้องปลดปล่อยความร้อนออกมามากขึ้นกว่าภาวะปกตินั้น สามารถทำได้ด้วยการเพิ่มการระเหยของน้ำ ส่วนการเพิ่มการแผ่รังสีและการเพิ่มการพาความร้อนนั้นแทบจะทำไม่ได้เลย ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิของผิวหนังจะเพิ่มขึ้นได้ภายช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ เท่านั้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการความร้อนและการควบคุมความต้องการความร้อน คือ ระดับกิจกรรมของมนุษย์ การนำความร้อนของเครื่องนุ่งห่ม และเงื่อนไขของบรรยากาศโดยรอบ โดยที่ความรู้สึกสบายจากสภาพอุณหภูมิเป็นตัวกำหนดระบบควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้มีความสมดุลในการสร้างพลังงานความร้อนและการสูญเสียความร้อนของร่างกาย

2.1.4 **คุณสมบัติในการแผ่รังสีของพื้นผิววัสดุ** (Surface Radiation)

รังสีความร้อนเป็นรังสีคลื่นยาวและมีพลังงานต่ำเมื่อรังสีตกกระทบวัสดุใดๆ จะมีการสะท้อนส่งผ่านและดูดซึมไว้ในวัสดุนั้น วัสดุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสี ส่งผ่านรังสีและดูดซึมรังสีที่ตกกระทบผิววัสดุแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

1. ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี ซึ่งการแผ่รังสีจะมีค่าสูงสุดในทิศทางตั้งฉาก

2. ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี โดยการคายรังสีในเชิงสเปกตรัมในทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น

3. อุณหภูมิของพื้นผิว การคายรังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่วนการคายรังสีของอโลหะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

4. ความขรุขระของพื้นผิว กรณีที่มีความขรุขระและความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวจะทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งมีผลทำให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้นและส่งผลให้ค่าการคายรังสีมีค่าสูงขึ้น

5. การเจือปนของพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติในการแผ่รังสีของวัสดุเปลี่ยนไปโดยทำให้มีค่าการแผ่รังสีสูงขึ้น (โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, 2539)

2.1.5 คุณสมบัติของผิววัสดุซึ่งตอบสนองต่อการแผ่รังสีความร้อน (Surface Characteristics with Respect to radiation)

1. ความสามารถในการดูดกลืนรังสี (Absorptivity - α) จะขึ้นอยู่กับความเข้มของสีวัสดุ กล่าวคือ วัสดุสีเข้มจะต้องดูดกลืนความร้อนสูง

2. ความสามารถในการสะท้อนรังสี (Reflectivity - ρ) วัสดุผิวเรียบและมันจะมีความสามารถในการสะท้อนความร้อนและแสงได้ดีกว่าวัสดุที่มีผิวหยาบและวัสดุธรรมชาติ

3. ความสามารถในการคายรังสี (Emissivity - τ) คือความสามารถในการกระจายความร้อนของวัตถุ โดยการแผ่รังสีความร้อนหรือ Surface Emission ซึ่งขึ้นอยู่กับผิวของวัสดุ มีแนวความคิดที่จะอธิบายความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของวัสดุ คือ ความสามารถการดูดซึมรังสี (Absorptivity)

4.ความสามารถในการสะท้อนรังสี (Reflectivity) และความสามารถในการคายรังสี (Emissivity) และค่าการส่งผ่านรังสีได้ ดังนี้

$$\alpha+\rho+\tau = 1$$

ความสามารถการดูดซึมรังสี (Absorptivity) ความสามารถในการสะท้อนรังสี (Reflectivity) และความสามารถในการคายรังสี (Emissivity) เป็นคุณสมบัติของวัสดุในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ และสำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่งๆ ผลรวมของความสามารถในการดูดซึมรังสี ความสามารถในการสะท้อนรังสีและความสามารถในการคายรังสีจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ตกกระทบลงมา สำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นพลรวมของความสามารถในการดูดซึมรังสี ความสามารถในการสะท้อนรังสี จะเท่ากับ พลังงานของรังสีเมื่อถูกดูดซึมโดยวัสดุ โดยจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนนี้จะแผ่หรือนำออกมาจากวัสดุในรูปของรังสีคลื่นยาว (Watson, FAIA, และ Kenneth Labs,1983; โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, 2539)

2.1.6 อิทธิพลมวลสารและการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

มวลสารของวัสดุมีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดจนการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อมการที่มีวัสดุที่มีมวลสารต่างกันจะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนที่ต่างกัน วัสดุที่มีมวลสารมากและมีค่าความจุความร้อนสูง (Thermal Capacity) จะทำให้มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนสูง ก่อให้เกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Thermal Time Lag) ทำให้การคายความร้อนออกจากวัสดุอยู่ในอัตราที่ช้ากว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย

ในช่วงเวลากลางวัน วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีอุณหภูมิของวัสดุต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทำให้ค่าความต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีค่าต่ำลง ส่งผลให้ภายในอาคารมีค่า MRT ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกซึ่งส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร

2.1.7 สมการที่ใช้คำนวณปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร

โดยทั่วไป ใช้สมการต่อไปนี้ คือ

$$Q = U * A * \Delta T \quad \text{..... (1)}$$

$$Q = U * A * CLTD \quad \text{..... (2)}$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่เข้าหรือออกจากอาคาร (Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu/h.ft^2)

ΔT = ความแตกต่างระหว่างความร้อนภายนอกและภายใน (ft^2)

CLTD = ภาวะความแตกต่างความร้อนเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Different ($^{\circ}$F)

ความแตกต่างในการที่จะเลือกใช้สูตรแต่ละสูตร จะขึ้นอยู่กับ

1. ค่า ΔT จะใช้ในกรณีที่ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งจะทำให้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกมีค่าคงที่ (Steady State Condition)

2. ค่า CLTD จะใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลจากแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง แสงอาทิตย์เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังเข้าสู่อาคารมากที่สุด เมื่อเปลือกอาคารโดน

แดดก็จะร้อนขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนรังสีความร้อนจากแสงแดดทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเปลี่ยนไปการปรับเปลี่ยนค่า CLTD เป็นการปรับให้เข้ากับอิทธิพลภายนอก เพราะในความเป็นจริงแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารจะไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา โดยจะใช้องค์ประกอบ เช่น วัน เดือน เวลา อิทธิพลของแสงแดด อิทธิพลของมวลสารผนัง การถ่ายเทความร้อนจากผิวภายนอก การหน่วงเวลา สภาพแวดล้อม โดยเป็นการปรับเปลี่ยนค่าให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นจะใช้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน ΔT ไม่ได้ เนื่องจากค่าที่ได้จะต่างจากความเป็นจริงมากและได้มีผู้ประยุกต์อิทธิพลของตัวแปรที่เกิดจากแสงอาทิตย์และองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

2.1.8 การคำนวณหาความร้อนไหลเข้าสู่อาคารโดยผ่านผนังอาคาร Q_{wall}

การคำนวณหาความร้อนที่ไหลผ่านผนังของอาคาร จะใช้สมการสมดุลบนผนังอาคารเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมง และคำนวณหาความร้อนที่ไหลเข้าสู่อาคารโดยมีรูปแบบดังนี้

สมดุลพลังงานบนผนัง

$$\rho_w C_w V_w \frac{dT_w}{dt} = Q_{su} - Q_{sk} + A_w h_{wo}(T_o + T_w) + A_w h_{wi}(T_a - T_w)$$

เมื่อ ρ_w ความหนาแน่นของผนัง (kg/m^3)

C_w ความจุความร้อนของผนัง ($kJ/kg\ ^oC$)

V_w ปริมาตรของผนัง (m^3)

T_w อุณหภูมิของผนัง (^oC)

$Q_{su} = \alpha I(t)$ พลังงานรังสีแสงอาทิตย์ (kW)

α สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของผนัง,เศษส่วน

$I(t)$ ความเข้มรังสีอาทิตย์ (kW/m^2)

Q_{sk} การสูญเสียความร้อนสู่ท้องฟ้า (kW)

A_w พื้นที่ผนัง (m^2)

h_{wo} สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวภายนอก ($W/m^{2o}C$)

T_o อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (^oC)

h_{wi} สัมประสิทธิ์การพาความร้อนผิวภายใน ($W/m^{2o}C$)

T_a อุณหภูมิอากาศชื้นในอาคาร (^oC)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.9 Sol-Air Temperature

Sol-Air Temperature คือ อุณหภูมิประมาณการของอากาศที่ติดอยู่กับวัสดุ เมื่อไม่มีอิทธิพลจากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราเทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้าและจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก (ASHRAE, 1989)

สามารถคำนวณ Sol-Air Temperature ได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{Sol-Air Temperature} = T_e = T_o + (I\alpha / H_o) - (\varepsilon \Delta R / H_o)$$

T_e = Sol-Air Temperature

T_o = อุณหภูมิอากาศภายนอก

α = สัมประสิทธิการดูดซึมความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

I = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on the Surface) (Btu / hr. ft^2)

H_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวซึ่งรวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection (Btu / hr. ft^2)

ΔR = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (Btu / hr. ft^2)

ε = (Hermispherical Emitance of the Surface)

2.1.10 Mean Radiant Temperature (MRT)

อุณหภูมิของพื้นผิวสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิร่างกายโดยที่ปัจจัยส่วนหนึ่งที่ประกอบขึ้นเป็นสภาวะน่าสบายของมนุษย์คือการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ การคิดค่าการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมนี้คิดเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ของการแผ่รังสีจากแหล่งต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม

สูตรการคำนวณ Mean Radiant Temperature (MRT)

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

T = อุณหภูมิผิวของวัสดุ (Surface temperature)

θ = มุมที่เปิดรับกับพื้นผิววัสดุ ณ จุดที่ทำการวัด
(Surface exposure angle relative to occupant in degrees)

2.1.11 ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศ

การใช้การระบายอากาศ (Ventilation) เพื่อดึงความร้อนจากในอาคารไปทิ้งนอกอาคาร โดยการพาความร้อน (Convection) นั้น จะไม่มีโอกาสที่ อุณหภูมิภายใน จะต่ำกว่าภายนอก ซึ่งจะเห็นได้จากสมการนี้

q_s = 1.08 * cfm. * ΔT (จาก ASHRAE fundamental Handbook 1989)

โดย q_s = Sensible Heat Load (Btu/h)

1.08 = 60 min/hr * 0.075 lbm/ft^3 of Air Density * 0.24 Btu/lb^{O}F of Specfic Heat of Air

cfm. = Air Flow Rate (cfm.)

ΔT = Indoor - Outdoor temperature

2.1.12 ทฤษฎีความชื้น

อากาศประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิดซึ่งรวมถึงน้ำในสภาวะของไอน้ำ ซึ่งแทรกอยู่ในอากาศในปริมาณที่มากน้อยแตกต่างกัน ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเรียกว่าความชื้น

ก. คุณสมบัติของความชื้น

การเปลี่ยนรูปของน้ำในอากาศในลักษณะต่างๆ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในอากาศ พลังงานในการที่ทำให้น้ำเปลี่ยนอุณหภูมิเรียกว่า ความร้อนจำเพาะ (Sensible Heat) และเมื่อน้ำเกิดการระเหยจะใช้พลังงานความร้อนในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นก๊าซโดยอุณหภูมิคงเดิม เรียกว่า ความร้อนแฝง (Latent Heat)

เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ อากาศที่อุณหภูมิต่างๆ มีความสามารถในการรับไอน้ำไว้ได้สูงสุดในปริมาณจำกัด ถ้าเกินกว่าขีดสูงสุดนี้แล้ว อากาศจะไม่สามารถรับไอน้ำได้เพิ่มอีก และการที่อากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้เพิ่มอีกเรียกว่า การอิ่มตัว (Saturation) และจุดที่ไอน้ำแทรกตัวอยู่ในอากาศในปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิหนึ่งๆ เรียกว่า จุดอิ่มตัว (Saturated Point)

ไอน้ำที่แทรกอยู่ในอากาศทำให้อากาศเกิดความดันไอน้ำ (Vapor Pressure) เมื่ออากาศรับไอน้ำจนถึงจุดอิ่มตัว (Saturated Point) ก็จะมีความดันสูงสุด และจากการสังเกตทดลองในเชิงฟิสิกส์พบว่า ในมวลอากาศที่เท่ากัน อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะสามารถบรรจุไอน้ำได้ในปริมาณมากกว่าปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ความชื้นสามารถอธิบายได้หลายวิธีการ เช่น ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) หรือ ความกดไอน้ำ (Vapor Pressure) เป็นต้น

ข. ประเภทของความชื้น

ความชื้นสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ตามลักษณะและวิธีการเกิดขึ้น ได้หลายวิธีการดังที่จะได้อธิบายต่อไปนี้

(1) ความกดไอน้ำ (Vapor Pressure)

อากาศประกอบด้วยก๊าซต่างๆ รวมถึงไอน้ำ ที่อุณหภูมิใดๆ อากาศที่มีไอน้ำที่เป็นก๊าซอิสระผสมอยู่จะมีความกดอากาศที่เกิดจากความกดของก๊าซ และไอน้ำ (Vapor Pressure) มีหน่วยเป็น กิโลปาสคาล (kPa) การคำนวณหาค่าความกดไอน้ำใช้วิธีเดียวกับกรมอุตุนิยมวิทยา โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$es(T) = 0.611 * EXP * \frac{(17.27 * T)}{T + 237.3} \quad \text{กิโลปาสคาล}$$

$$e = \frac{Rh}{100} * es(T)$$

โดยกำหนดให้

es(T) = ความกดไอน้ำอิ่มตัวในขณะที่อุณหภูมิขณะนั้นในบรรยากาศมีความชื้นสูงสุด (กิโลปาสคาล)

e = ความดันไอน้ำ (กิโลปาสคาล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Rh = ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)

ความกดไอน้ำจะสูงเมื่ออากาศเกิดการอิ่มตัว (Saturated) ความกดไอน้ำมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาภายในหนึ่งวัน และแตกต่างตามสภาพที่ตั้งอาคาร ความกดไอน้ำจะมีสูงสุดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรและลดลงน้อยที่สุดบริเวณขั้วโลก เนื่องจากการเกิดไอน้ำมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และด้วยเหตุผลเดียวกันในฤดูร้อนก็จะมีความกดไอน้ำในอากาศมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความกดไอน้ำในอากาศในช่วงฤดูหนาว

(2) ความชื้นแท้ (Absolute Humidity)

ความชื้นแท้ คือ ความหนาแน่น หรือน้ำหนักของไอน้ำ ซึ่งตามปกติใช้วัดเป็นกรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ เกรนต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังต่อไปนี้

$$a = \frac{10^6 e}{R \text{ water vapour}} * T \text{ gm m}^{-3}$$

โดยกำหนดให้

a = ความชื้นแท้

e = ความกดไอน้ำ

R = ค่าก๊าซคงที่ของไอน้ำ

T = อุณหภูมิ

(3) ปริมาณความชื้น (Moisture Content or Humidity Ratio)

คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น หรือน้ำหนักของไอน้ำต่อน้ำหนักอากาศแห้ง หรืออาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อกิโลกรัม หรือ กรัมต่อกิโลกรัม แล้วแต่ความละเอียดในการใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราส่วนความชื้น = ความหนาแน่นของไอน้ำ / ความหนาแน่นของอากาศแห้ง

คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R = \frac{623e \text{ (in gram of water vapour)}}{Pd \text{ (Kilogram of dry air)}}$$

โดยกำหนดให้

R = อัตราส่วนความชื้น

(กิโลกรัมของไอน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง)

e = ความกดไอน้ำ

Pd = ความกดของอากาศแห้ง (Pd = P – e)

P = ความกดดันของบรรยากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเล

(บาร์ (bar) มีค่าเท่ากับ 1.01325บาร์)

โดยที่ 1 บาร์ เท่ากับ 100 กิโลปาสคาล

(4) ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity)

ความชื้นจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น หรือ น้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้น เทียบกับน้ำหนักของอากาศชื้น (น้ำหนักอากาศแห้งรวมกับน้ำหนักไอน้ำในอากาศ) มักใช้เป็นกรัมของไอน้ำต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศชื้น หรือ เกรนของไอน้ำต่อ 1 ปอนด์ของอากาศ ถ้าไอน้ำในอากาศมีมากขึ้นค่าความชื้นจำเพาะก็จะมากขึ้น และถ้าไอน้ำในอากาศน้อยลง ค่าความชื้นจำเพาะก็จะลดลง

(5) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนระหว่างความชื้นที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้น กับปริมาณความชื้นมากที่สุดที่อากาศสามารถรับเอาไว้ได้ หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของไอน้ำที่ควรจะมีได้เต็มที่ในขณะนั้นเมื่อมีปริมาตรและอุณหภูมิ

เดียวกัน ตัวอย่างเช่น อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 50% จะมีปริมาณความชื้นเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณไอน้ำที่สูงที่สุดที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้นสามารถรับเอาไว้ได้ หรืออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% จะมีปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศในขณะนั้นสามารถรับเอาไว้ได้ และเรียกกรณีหลังนี้ว่า การอิ่มตัว (Saturation)

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดความร้อนให้กับผนังอาคารโดยการประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำ (A STUDY OF WALL HEAT GAIN REDUCTION BY USING DIRECT EVAPORATIVE COOLING TECHNIQUE) ประกอบด้วยทฤษฎีดังต่อไปนี้

1. Evaporative Pads in Window
2. Use of Porches for Direct Passive Evaporative Cooling
3. The Cooling Tower of Cunningham and Thompson (1986)
4. Inertial Convective / Evaporative " Shower " Cooling Tower
5. Passive Evaporative Cooling using porous ceramic evaporative
6. แนวทางประยุกต์ใช้รูพรุนของวัสดุผิวเปียก (Evaporators) ในการสร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ โดยธรรมชาติ
7. รูปแบบการใช้การระเหยของน้ำในการสร้างความเย็นให้กับอาคารในประเทศไทย

การสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยการใช้การระเหยของน้ำมีหลายรูปแบบ แต่สามารถแบ่งออกได้เป็นการใช้การลดอุณหภูมิโดยการใช้การระเหยของน้ำโดยตรง(Direct Evaporative) และการลดอุณหภูมิโดยการใช้การระเหยของน้ำทางอ้อม (Indirect Evaporative) โดยสภาพที่ตั้งและภูมิอากาศจะเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการเลือกใช้ โดยได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.2.1 Evaporative Pads in Window

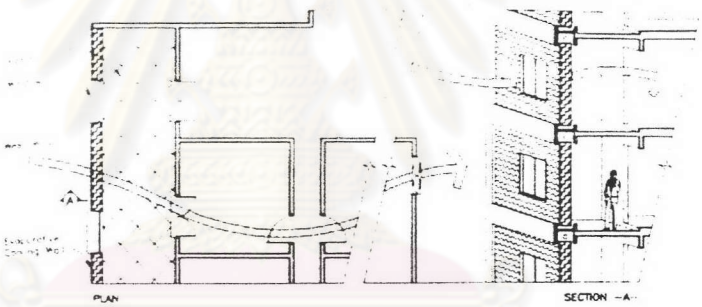
ทำการติดตั้งรังผึ้ง (Pads) ที่ติดตั้งอยู่ที่หน้าต่างของผนังด้านนอกในทิศทางที่ลมพัดเข้าสู่อาคารหรืออาจติดตั้งพัดลมดูดอากาศผนังด้านตรงข้ามหรือทิศทางที่ลมออก โดยอุปกรณ์ที่ติดตั้งพร้อมรังผึ้งประกอบด้วย ปั๊มน้ำ ระบบจ่ายน้ำ และส่วนรองรับน้ำ เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างสมบูรณ์ เมื่ออากาศจากภายนอกอาคารไหลผ่านรังผึ้ง อุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง

(Dry – bulb temperature) จะลดลงประมาณ 40 % – 50 % ของผลต่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก

ในการติดตั้งรังผึ้งที่หน้าต่าง จะมีข้อเสียคือทำให้ความเร็วของลมลดลง และยังปิดกันมุมมองจากภายในออกสู่ภายนอกอาคาร แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือทำการออกแบบระบบรังผึ้งที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ โดยยึดโครงรังผึ้งกับหน้าต่าง แต่ในส่วนรังผึ้งสามารถเคลื่อนย้ายได้ เมื่อไม่ได้ใช้ก็ทำการถอดอุปกรณ์ในส่วนรังผึ้งออกจากหน้าต่าง

2.2.2 Use of Porches for Direct Passive Evaporative Cooling

เป็นการติดตั้งรังผึ้งที่ด้านนอกของระเบียงห้องเป็นเสมือนผนังชั้นนอกอีกชั้นหนึ่งก่อนที่จะพัดผ่านช่องเปิดของผนังอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร โดยรังผึ้งที่ติดตั้งจะติดตั้งเป็นผนัง และสามารถทำช่องเปิดเพื่อให้มีส่วนที่มองออกสู่ภายนอกอาคารได้ซึ่งสามารถเปิดรับลมธรรมชาติได้อีกด้วย



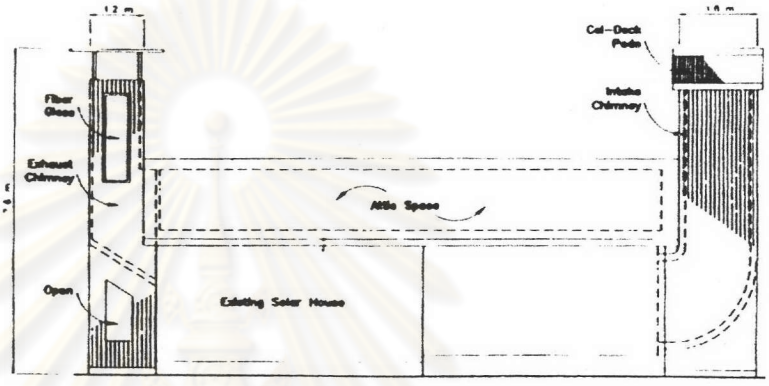
รูปที่ 2.5 แสดงการใช้ระเบียงเป็นผนังผิวเปียกเพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยการระเหยของน้ำ

ที่มา: Baruch G., 1994: 139

2.2.3 The Cooling Tower of Cunningham and Thompson (1986)

ระบบการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) ที่ใช้ธรรมชาติ (Passive) ซึ่งถูกพัฒนาโดย Cunningham and Thompson ที่เมือง Arizona โดยใช้ Cooling Tower มีขนาดความกว้างยาว 1.8 x 1.8 เมตร สูง 7.6 เมตร โดยมีแผ่นรังผึ้งที่ผนัง 4 ด้าน และมีระบบจ่ายน้ำที่ด้านบนของแผ่นรังผึ้ง ทำให้แผ่นรังผึงเปียกน้ำตลอดเวลา น้ำส่วนที่เหลือจะตกลงที่รองรับน้ำด้านล่างและมีปั๊มน้ำสูบขึ้นไปยังระบบจ่ายน้ำด้านบนแผ่นรังผึ้งเป็นวงจรตลอด และด้านตรงข้ามของอาคารก็มี Solar Chimney ซึ่งเมื่ออากาศร้อนภายใน Solar Chimney ร้อนขึ้นอากาศก็จะเกิดการ

ลอยตัวและดึงเอาอากาศที่เย็นจากภายนอกผ่าน Cooling Tower ซึ่งภายในมีแผ่นรังผึ้ง จึงเกิดการะเหยของน้ำทำให้อุณหภูมิอากาศลดต่ำลงอีกและไหลเข้าสู่อาคาร ผลจากการพัฒนาพบว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 40.6 ° C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับ 21.6 ° C โดยอุณหภูมิอากาศภายใน Cooling Tower เท่ากับ 23.9 ° C ส่วนอุณหภูมิภายในอาคารเท่ากับ 24.6 ° C โดยความเร็วลมภายใน Cooling Tower เท่ากับ 0.75 ม. / วินาที



South Elevation

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะ The Cooling Tower of Cunningham and Thompson (1986)
ที่มา: Baruch G., 1994: 140

2.2.4 Inertial Convective / Evaporative "Shower" Cooling Tower

ระบบการเร่งการระเหยของน้ำโดยใช้หอคอยพ่นน้ำ (Shower Tower) นี้เกิดจากความคิดริเริ่มของ Prof. Baruch Givoni เมื่อท่านได้ไปเป็นที่ปรึกษาการออกแบบเพื่อทำความเย็นให้กับลานภายนอกสำหรับงาน EXPO ปี 1992 ในเมือง Seville ประเทศ Spain และต่อๆ มาเขาก็ได้สนใจทดลองการใช้ระบบนี้มาใช้เป็นระบบทำความเย็นให้กับอาคาร

หอคอยพ่นน้ำจะมีฝักบัวติดตั้งอยู่บนสุดเพื่อเป็นตัวกระจายละอองน้ำ และน้ำที่ใช้ในระบบนี้จะเป็นน้ำที่มีระบบหมุนเวียนส่งและนำน้ำที่เข้าไปให้ความเย็นแก่อาคารแล้วกลับมาใช้ (โดยระบบการใช้งานแบบทางตรงนั้น อากาศพร้อมละอองน้ำจะถูกปล่อยเข้าไปในอาคาร แต่ในการใช้งานแบบทางอ้อมนั้น) ละอองน้ำจะถูกเก็บอยู่ในถังเก็บน้ำด้านล่างของหอคอย น้ำส่วนหนึ่งจะถูกสูบเข้าไปเพื่อทำความเย็นให้กับอาคาร โดยน้ำเย็นจะถูกสูบผ่านวัสดุที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งจะแขวนอยู่ในระดับฝ้าเพดาน จากนั้นน้ำส่วนนี้จะถูก

นำไปหมุนเวียนโดยจะถูกสูบไปทิ้งในถังเก็บน้ำ และน้ำส่วนนี้จะถูกสูบขึ้นไปเพื่อปล่อยลงมาเป็นละอองอีกครั้งหนึ่ง

บนหอคอยนี้จะมีการติดตั้งที่ดักลม (Wind Catcher) เพื่อนำอากาศใหม่เข้ามาหมุนเวียน อากาศนี้จะมีพลังงานความร้อนแฝงส่วนหนึ่งที่จะเข้าไปเพื่อเปลี่ยนรูปให้ละอองน้ำกลายเป็นไป ความร้อนแฝงนี้จะไปทำให้ละอองน้ำซึ่งถูกปล่อยรูปให้ละอองน้ำกลายเป็นไอความร้อนแฝงนี้จะไปที่ให้ละอองน้ำซึ่งถูกปล่อยลงมาจากฝักบัวด้านบนระเหย และในที่สุด น้ำในส่วนนี้ก็จะมีอุณหภูมิลดลงไป ณ อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกตามหลักการระเหยของน้ำ อากาศที่อยู่โดยรอบละอองน้ำเหล่านี้ก็จะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกเช่นเดียวกัน

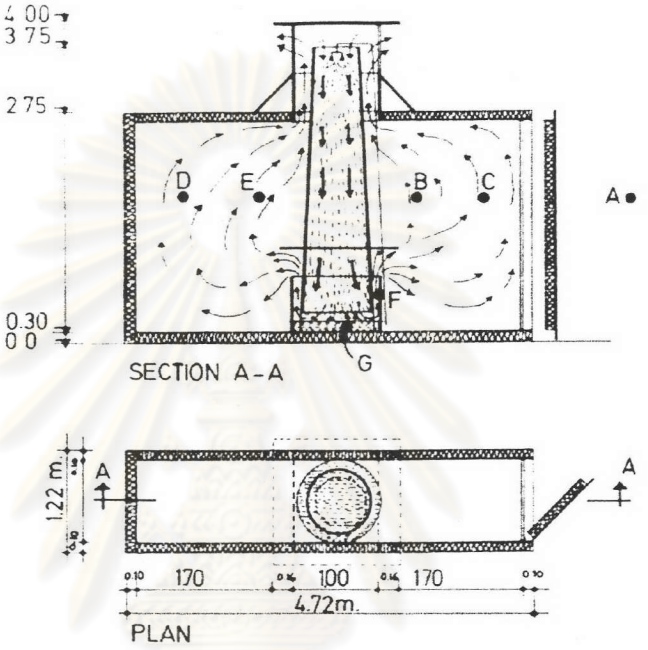
สำหรับการใช้งานแบบโดยตรงนั้น อากาศที่อยู่รอบๆ ละอองน้ำนี้ก็จะถูกส่งโดยตรงไปยังห้องในอาคาร อากาศนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกอาคาร แต่จะมีค่าความชื้นที่สูงกว่า ฉะนั้นการนำไปใช้งานแบบโดยตรงนี้จะเหมาะสมกับ อาคารที่อยู่ในสภาพอากาศแบบร้อนแห้งเท่านั้น เนื่องจากว่า ความรู้สึกสบายของมนุษย์นั้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้น ดังนั้นในสภาพอากาศแบบที่มีความชื้นมากเกินพออยู่แล้ว การเพิ่มความชื้นของอากาศที่นำเข้าไปสู่ภายในตัวอาคารจะเป็นผลเสียต่อสภาพอากาศภายในอาคาร แนวความคิดที่จะนำระบบนี้มาใช้แบบทางอ้อม ในกรณีที่สภาพอากาศเป็นแบบร้อนชื้นจึงเกิดขึ้น การใช้งานแบบทางอ้อม คือ แทนที่จะใช้อากาศที่ปรับสภาพให้เย็นแต่มีความชื้นมาใช้ กลับใช้น้ำที่เกิดจากการสะสมละอองน้ำเย็นโดยผ่านวัสดุที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

<u>อุณหภูมิภายในอาคารที่คาดหวังได้จากการติดตั้งระบบหอคอยน้ำเย็น</u>

เนื่องจากแหล่งความเย็นนั้นมาจากน้ำที่สะสมจากละอองน้ำที่ระเหย และอุณหภูมิของน้ำนี้จึงจะได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น ขนาดปั๊มที่ใช้ในการสูบน้ำ ขนาดของถังเก็บน้ำ การใช้ฉนวนกันความร้อนรอบหอคอย ถังน้ำ และท่อต่างๆ และการกันแดดมิให้เข้าสู่ภายในหอคอยพ่นน้ำและถังเก็บน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ถ้าปัจจัยภายนอกอื่นๆ เหล่านี้สามารถดำเนินการได้และถังเก็บน้ำมีขนาดที่ใหญ่พอเพียงแล้ว อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำนี้ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะเปียก

เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลง (Swing Temperature) น้อย อันเนื่องมาจากค่ากักเก็บความร้อนที่สูง (High Heat Capacity) ในช่วงกลางวันบางเวลานั้นอุณหภูมิสูงสุดของน้ำซึ่งจะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของตัวมันเอง จะมีค่าที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกสูงสุดเทียบในวันเดียวกันได้ อุณหภูมิกระเปาะเปียกเป็นอุณหภูมิศักยภาพสูงสุดในการทำความ

เย็น ณ เวลาหนึ่งๆ โดยทั่วไปอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในเวลากลางคืน ซึ่งค่าไม่ได้แตกต่างจากอุณหภูมิแห้งเท่าใดนัก การระเหยอาจจะเป็นไปได้ไม่ดีเท่าที่ควร การปรับอุณหภูมิในเวลากลางคืนอาจไม่มีประสิทธิภาพเท่ากับในเวลาวัน แต่การนำเอาความเย็นของน้ำในช่วงเวลานี้มาใช้โดยใช้คุณสมบัติทางด้านการเก็บกักความร้อนของน้ำเอง ถือว่าเป็นการนำมาใช้ได้อย่างถูกต้องและเป็นประโยชน์สูงสุด



รูปที่ 2.7 แสดง Shower Cooling Tower

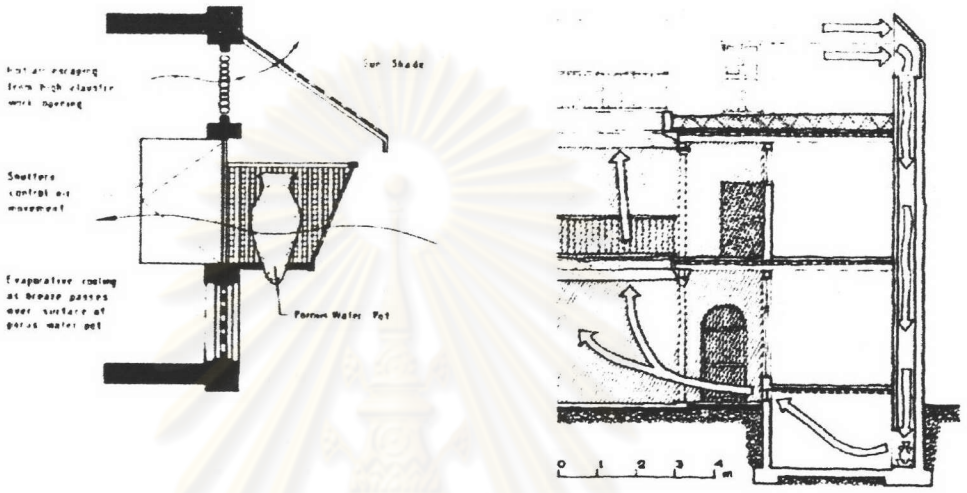
ที่มา: Baruch G., 1994: 144

2.2.5 Passive Evaporative Cooling using porous ceramic evaporative

งานวิจัยนี้เป็นงานที่ศึกษาถึงแนวทางการใช้การระเหยของน้ำแบบทางตรง (Direct Evaporative Cooling) เพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive) โดยมุ่งศึกษาการใช้วัสดุที่ทำจากเซรามิคเป็นวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุผิวเปียก (Wet pads) ซึ่งศึกษาถึงประเด็นหลัก 2 ประเด็นได้แก่ รูพรุนของวัสดุ (porosity) ผิวเปียกและความสามารถในการซึมน้ำ (permeability)

แนวความคิดเบื้องต้นในงานวิจัย ได้จาการศึกษาถึงรูปแบบการใช้การระเหยของน้ำเพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคารในอดีต โดยสามารถพบเห็นได้ทั่วๆไป เช่น อินเดีย ปากีสถาน อียิปต์ และประเทศในแถบแอฟริกาเหนือ โดยรูปแบบในการใช้หลักการการระเหยของน้ำเพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคาร มีทั้งการใช้น้ำพุในพื้นที่โล่ง การใช้สระน้ำและพืชพรรณ ใช้หอคอยดักลม (Wind Tower) รวมถึงการใช้เหยือกน้ำเซรามิค โดยน้ำเหยือกน้ำซึ่งมีความสามารถในการระเหยน้ำได้ดี

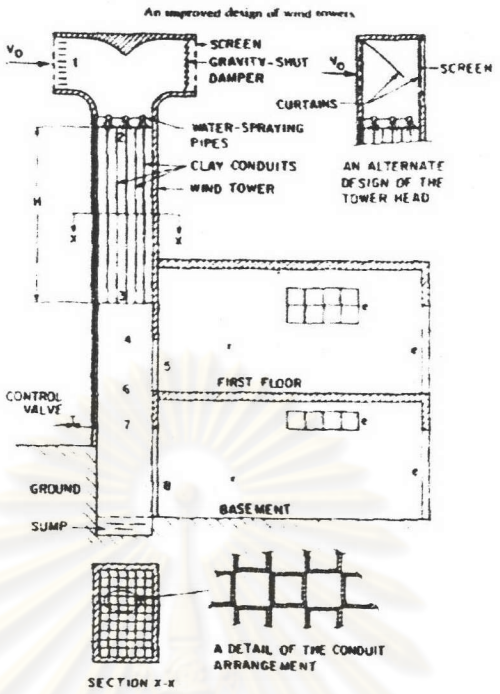
โดยนำเหยือกน้ำไปไว้ในตำแหน่งที่ลมจะพัดเข้าสู่อาคาร โดยอาจเป็นบริเวณหน้าต่างหรือในช่องดักลม (Wind Catch) ของบ้านในประเทศอิรัก โดยจะมีช่องดักลมเหนือหลังคาเพื่อดักลมธรรมชาติให้ไหลผ่านปล่องผ่านเข้าสู่อาคาร โดยที่ปลายปล่องทางออกอาคารจะมีเหยือกใส่น้ำตั้งอยู่ เมื่ออากาศไหลผ่านเหยือกน้ำอากาศจะมีลดอุณหภูมิที่ลดต่ำลง และมีความชื้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.8 แสดง รูปแบบการสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยการระเหยของน้ำ โดยใช้เหยือกน้ำวางตรงทางลมเข้าทางช่องหน้าต่างและช่องดักลม (Wind Catch) (จากภาพซ้ายไปขวา)

ที่มา: Cain et al., 1976: 62

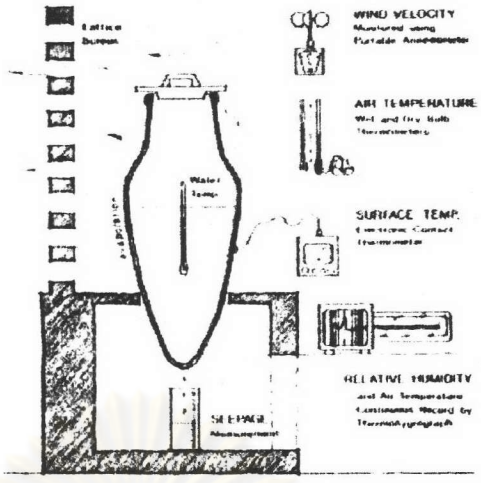
ในปี 1985 Bahadori ได้มีการพัฒนาปรับปรุงรูปแบบการสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยการระเหยของน้ำโดยใช้ หอคอย (Wind Tower) ซึ่งปรับปรุงประสิทธิการในการสร้างความเย็นโดยใช้รูปแบบของปล่องเสา (Column) ซึ่งเป็นรูปแบบหอคอยของประเทศอิหร่าน โดยปล่องเสาดังกล่าวจะประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุผิวเปียกเพื่อช่วยในการระเหยของน้ำที่ทำจากดินเหนียวมีลักษณะเป็นตะแกรงให้ลมผ่านช่องตะแกรงในแนวความสูงของเสา และมีการใช้สเปร์ยฉีดน้ำให้กับตะแกรงดินเหนียวดังกล่าว อากาศที่ผ่านปล่องเสาดังกล่าว จะมีอุณหภูมิลดต่ำลงและเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยในอาคาร โดย Bahadori ได้ศึกษาถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากปล่องเสาดังกล่าว รวมถึงปัจจัยในด้านความสูงของตะแกรงซึ่งทำหน้าที่เป็นผิวเปียก สภาพภูมิอากาศภายนอก เช่นอุณหภูมิอากาศภายนอก ความชื้นสัมพันธ์ ความเร็วลมที่ผ่านเข้าในปล่องเสา โดยจากการศึกษาที่ใช้ปล่องเสาที่มีความสูง 5 เมตร พื้นที่หน้าตัดปล่องเสา 2 ตารางเมตร สามารถลดอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่อาคารได้ถึง 14 ° C เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร



รูปที่ 2.9 แสดงการใช้ (Wind Tower) เพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยวิธีการระเหยของน้ำ

ที่มา: Bahadori M., 1985: 120

มีการทดลองโดยใช้เหยือกน้ำเซรามิคที่มีรูพรุน โดย Allan Cain ในปี 1970 ที่ Gourna ในประเทศอียิปต์ โดยเรียกว่า เหยือกน้ำ Maziara โดยได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลเป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลทุกชั่วโมง ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของผิวเหยือกน้ำเซรามิกด้านนอก ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศภายนอก ความชื้นสัมพันธ์ และการหยดหรือซึมของน้ำจากเหยือก โดยพบว่าด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถสร้างความเย็นได้ 192 วัตต์ ในวันที่มีอากาศร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเหยือกน้ำที่มีรูพรุนสูง และการซึมของน้ำได้ดี มีความสามารถในการเกิดการระเหยของน้ำได้ดี โดยมีการเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่ใช้กันในปัจจุบันพบว่า เครื่องปรับอากาศขนาดความเย็น 3500 วัตต์ ต้องการพลังงานไฟฟ้าในการผลิตความเย็น 2400 วัตต์ คิดเป็น 70 % ของความเย็นที่ผลิตได้ ซึ่งการสร้างความเย็นจากเหยือกน้ำไม่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า เพียงแต่ต้องเติมน้ำทุกเช้าในเหยือกโดยจากการศึกษา 1 เหยือกผลิตความเย็นได้ 200 วัตต์ ดังนั้นถ้าใช้เหยือกน้ำ 5 ถึง 6 เหยือกในการสร้างความเย็นในแต่ละจุด จะมีความสามารถในการผลิตความเย็นประมาณ 1000 –12000 วัตต์ ซึ่งเท่ากับเครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่างขนาดเล็ก



รูปที่ 2.10 แสดงการศึกษาการระเหยของน้ำด้วยเหยือกน้ำ Maziara

ที่มา: Cain A., 1975: 222

2.2.6 แนวทางประยุกต์ใช้รูพรุนของวัสดุผิวเปียก (Evaporators) ในการการสร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำโดยธรรมชาติ

เป็นการศึกษาหาแนวทางการสร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ โดยศึกษาถึงคุณสมบัติของรูพรุนของวัสดุเซรามิคในการการทำหน้าที่เป็นผิวเปียก ทั้งในเทคนิค เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้ในอาคาร โดยในปี 1999 Brain Ford ศึกษาโดยหลีกเลี่ยงการใช้สเปร์ยน้ำ ให้กับวัสดุผิวเปียกดังเช่นกรณีการศึกษาของ Bahadori โดยได้มีการผลิตวัสดุผิวเปียกที่ทำจากเซรามิคร่วมกับภาควิชาเคมีของมหาวิทยาลัยฟรอเรนซ์ โดยผลิตกำหนดคุณสมบัติวัสดุผิวเปียกที่มีอัตราการระเหยสูงสุดและไม่มีการไหลซึมของน้ำออกจากวัสดุผิวเปียก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดลอง</u>

เป็นการทดลองที่เมืองเนเปิลส์ ทางตอนใต้ของอิตาลี โดยการทดลองเป็นการทดลองตามสภาพแวดล้อมธรรมชาติ โดยใช้วัสดุผิวเปียกเป็นเซรามิคเผาไม่เคลือบที่มีขนาดเหมือนกันโดยมีขนาด กว้าง * ยาว * หนา เท่ากับ 31.5 * 17 * 3.5 เซนติเมตรโดยเผาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1110° c ถึง 1170 ° c จำนวน 5 ตัวโดยอุณหภูมิที่เผาจากตัวอย่างที่ 1 ถึง 5 เผาจากอุณหภูมิต่ำไปอุณหภูมิสูงตามลำดับ โดยตัวอย่างที่ 1 เผาที่อุณหภูมิต่ำที่สุดที่อุณหภูมิ 1110° c มีความสามารถในการจุน้ำของรูพรุนมากที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างที่ 5 เผาที่อุณหภูมิสูงที่สุด มีความสามารถในการจุน้ำของรูพรุนต่ำที่สุด โดยตัวอย่างทั้งหมดตั้งอยู่ในที่ร่มที่มีลมไหลผ่านช่อง

เปิดกลางห้อง โดยตั้งบนไม้ที่ความสูง 1.5 เมตร และทำการเก็บข้อมูลเก็บข้อมูลเป็นเวลา 17 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึงเวลา 24.00 น. เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนระหว่างความสามารถในการดูดซับของรูพรุนของวัสดุผิวเปียก จึงทำการนำตัวอย่างทำการแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมงก่อนการทดลอง และทำการเก็บข้อมูลได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ความชื้นสัมพันธ์ภายในห้อง ความเร็วลมภายในห้อง อุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของผิววัสดุตัวอย่าง โดยทำการเก็บทุกชั่วโมงด้วยเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data loggers)

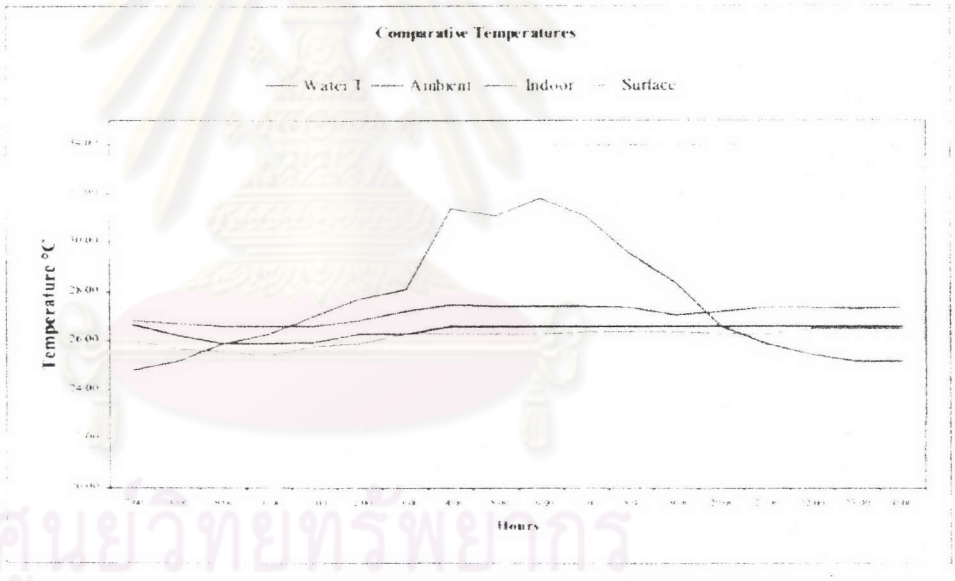
รูปที่ 2.11 แสดงวัสดุผิวเปียกที่ทำจากเซรามิค
ที่มา: Rosa., 2001: 6

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองโดยใช้กรณีที่สภาพเลวร้ายที่สุด ที่ระดับความชื้นสัมพันธ์ในอากาศสูงมากกว่า 70 % เป็นเวลามากกว่า 70.5 %ของวัน ความเร็วลมต่ำในช่วงความเร็ว 0.2 เมตร / วินาที – 0.01 เมตร / วินาที ดังแสดงในกราฟที่ 23 ของตัวอย่างที่ 5 พบว่าอุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งวัน อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และอัตราการระเหยของน้ำและความเย็นที่เกิดขึ้นจากขบวนการระเหยของน้ำพบว่าตัวอย่างที่ 1 มากที่สุดและไล่ไปตามลำดับตัวอย่างจาก ตัวอย่างที่1 ถึง ตัวอย่างที่ 4ซึ่งทำการวัดอัตราการระเหยของน้ำก่อนและหลังการทดลองดังกราฟที่ 24 ส่วนตัวอย่างที่ 5 ทำการวัดปริมาณน้ำที่ทุกชั่วโมงด้วยเครื่อง ไฮโดรมิเตอร์ โดยความเย็นที่เกิดจากทุกตัวอย่างคำนวณจากอัตราการระเหยของน้ำ โดยตัวอย่างที่ 1 สามารถให้ 7.6 วัตต์ หรือ 66 วัตต์ / ตารางเมตร แส่วนตัวอย่างที่ 5 สามารถให้ 2 วัตต์ หรือ 16 วัตต์ / ตารางเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 5 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำได้แก่ รูพรุนและความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านหรือการอุ้มน้ำ รวมถึงปัจจัยด้านอื่นๆอีกได้แก่ขนาด และการกระจายตัวของรูพรุน ผิว

วัสดุ ความสามารถในการดูดซับน้ำ แรงดันและอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านวัสดุผิวเปียก และจากการศึกษายังพบว่าการให้น้ำที่ผิววัสดุเปียกจะมีอัตราการระเหยของน้ำได้ดีกว่าการการที่เนื้อวัสดุวัสดุอุ้มน้ำและมีลมพัดผ่าน

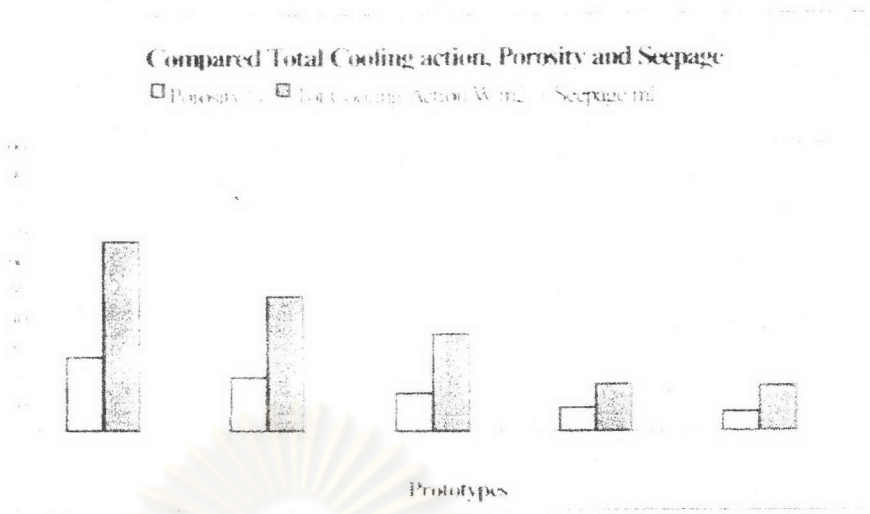
ในการนำวัสดุผิวเปียกเพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคารที่ทำมาจากเซรามิคที่มีรูพรุนสูง สามารถซ้ำได้ในหลายรูปแบบ โดยอาจทำเป็นองค์ประกอบอาคารที่เป็น เปลือกอาคารด้านนอก หรือวัสดุตกแต่งผิวผนังอาคารด้านนอก แผงกันแดด ช่องระบายอากาศหรือบานเกล็ดเป็นต้น โดยการสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยการระเหยของน้ำขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสภาพอากาศ ถ้ามีอุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้งที่สูงและมีอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ต่ำจะทำให้อัตราการระเหยของน้ำสูง ด้วยวิธีการนำระบบการระเหยของน้ำแบบทางตรงมาใช้ พบว่าจะเหมาะสมที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่า 24 ° C ความชื้นสัมพันธ์ไม่ควรเกิน 40 %



รูปที่ 2.12 แสดงข้อมูลที่เก็บจากการทดลองของตัวอย่างที่ 5

ที่มา: Rosa., 2001: 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการระเหยของน้ำกับรูพรุนของวัสดุ

ที่มา: Rosa., 2001: 9

สรุป

จากการศึกษาระบบการสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยใช้การระเหยของน้ำที่ใช้ธรรมชาติ (Passive Evaporative Cooling) โดยใช้วัสดุผิวเปียกที่เป็นเซรามิคมีรูพรุน พอสรุปประเด็นได้ดังนี้

1. อัตราการระเหยของน้ำของวัสดุผิวเปียกที่ทำจากเซรามิคขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำกับพื้นที่ผิว

2. อัตราการระเหยของน้ำขึ้นอยู่กับ รูพรุนและความสามารถในการซึมน้ำของวัสดุผิวเปียก รวมถึงอัตราการของน้ำที่ไหลผ่านสู่วัสดุผิวเปียก

3. ความสามารถในการซึมน้ำของวัสดุผิวเปียกสามารถเพิ่มได้ โดยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ

4.ปริมาณรูพรุนที่แตกต่างกัน มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศหรือสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยส่งผลถึงอัตราการระเหยของน้ำและปัญหาเนื่องจากน้ำที่ซึมผ่านจากวัสดุผิวเปียก

2.2.7 รูปแบบการใช้การระเหยของน้ำในการสร้างความเย็นให้กับอาคารในประเทศไทย

จากการศึกษาพบว่า การใช้การระเหยของน้ำเพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคารในประเทศไทย พบมากในการใช้อาคารประเภทเกษตรกรรม ได้แก่โรงเลี้ยงไก่ หมู และโรงเรือนดอกไม้ โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ความชื้นในอากาศค่อนข้างสูง การใช้การระเหยของน้ำเพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคารจะเพิ่มความชื้นในอากาศให้มากขึ้นไปอีกจนอาจมีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร แต่สำหรับสัตว์เลี้ยงและพืชความชื้นที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงที่รับได้กว้างกว่ามนุษย์จึงสามารถนำมาใช้ได้ โดยปัจจุบันเป็นการใช้การระเหยน้ำแบบทางตรง (Direct Evaporative) โดยมีระบบกระจายน้ำให้กับวัสดุผิวเปียก (Wet pads) และนำลมเข้าสู่อาคารโดยใช้พัดลมดูดอากาศให้ผ่านผิวเปียกดังกล่าวและนำเข้าสู่อาคาร อากาศที่ผ่านวัสดุผิวเปียกจะมีอุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิกระเปาะแห้งลดลง แต่ขณะเดียวกันความชื้นสัมพันธ์ (Relative humidity) และความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) เพิ่มขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำ โดยทางทฤษฎีถือว่าเป็นการเปลี่ยนรูปจากความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ไปเป็นความร้อนแฝง (Latent Heat) โดยที่พลังงานรวมของระบบ (Enthalpy) ไม่เปลี่ยนแปลง

จากการศึกษางานวิจัยของผศ.ดร. ศิริชัย เทพา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ศึกษาการนำระบบทำความเย็นแบบระเหยมาใช้กับโรงเรือนเพาะเห็ดหอม เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิในโรงเรือน โดยทำการเก็บข้อมูลจากโรงเรือนขนาดที่ย่อส่วน และได้มีการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งพบว่าค่าที่วัดได้จากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าโรงเรือนวางตัวตามแนวทิศตะวันออก – ตะวันตก และมีผิวเปียกอยู่ทางผนังด้านทิศเหนือ มีพัดลมดูดอากาศอยู่ทางด้านทิศใต้ จะทำให้ระบบทำความเย็นแบบระเหยมีประสิทธิภาพมากที่สุด

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ วิทยานิพนธ์การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำความเย็นในโรงเรือนไม้ดอกโดยใช้เทคนิคการทำความเย็นแบบการระเหยของน้ำของนายจุมพล ประสมทรัพย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่มีรูปแบบแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยของผศ.ดร. ศิริชัย เทพา

งานวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพของอิฐแดงที่ใช้เป็นแผ่นทำความเย็นในโรงเรือนสุกรขุนที่ใช้ระบบการระเหยของน้ำ ของนายจตุรงค์ โยธารักษ์และคณะ นิสิตคณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเก็บข้อมูลจากโรงเรือนปิดขนาด 25 * 52 * 2.5 (กว้าง * ยาว * สูง) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2542 ถึง กรกฎาคม 2543 โดยแบ่งโรงเรือนออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 โรงเรือน โดยกลุ่มที่ 1 ใช้อิฐ 2 รู และกลุ่มที่ 2 ใช้อิฐ 20 รูเป็นวัสดุผิวเปียก โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้อิฐ 20 รู มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้ดีกว่าอิฐ 2 รู โดยพบว่าพื้นที่อิฐแบบ 20 รูมากกว่า 2 รูซึ่งอาจเป็นปัจจัยในการเกิดการระเหยของน้ำได้ดีกว่า

จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ศึกษาการนำระบบทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ เป็นการศึกษาในการพัฒนาปรับปรุงด้านเกษตรกรรม ส่วนในงานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมาสร้างความเย็นให้กับอาคารที่มนุษย์ใช้สอย พบว่ายังไม่มีการศึกษาเพื่อนำรูปแบบการระเหยของน้ำแบบทางตรง (Direct Evaporative) มาใช้กับอาคารในประเทศไทย ส่วนรูปแบบการระเหยของน้ำแบบทางอ้อม ได้มีการศึกษาวิจัยถึงเทคนิคการนำ Indirect Evaporative Cooling System มาใช้ในการปรับอุณหภูมิอาคาร โดยดร. สุกัญญา นุตาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นการศึกษาโดยน้ำเย็นมาใช้ลดอุณหภูมิของอาคารโดยใช้ตัวกลาง (Heat Exchange) ที่มีท่อสำหรับให้น้ำเย็นไหลผ่านฝังอยู่ในแผ่นคอนกรีตโดยน้ำเย็นผ่านขบวนการลดอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการลดอุณหภูมิให้กับผนังอาคาร โดยใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนและดึงความร้อนออกจากผนังอาคารโดยหมุนเวียนน้ำในแทงค์เก็บน้ำ โดยแบ่งได้ทั้งแบบที่ไม่มีการลดอุณหภูมิให้กับน้ำแต่อาศัยคุณสมบัติความสามารถในการจุความร้อนของน้ำที่สูง และแบบที่ลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้ปั๊มความร้อน (Heat Pump)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปัจจัยที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงในการใช้ระบบการทำความเย็นให้กับอาคารด้วยการระเหยของน้ำโดยตรงโดยใช้วัสดุผิวเปียก มีดังนี้

1. ประสิทธิภาพของอัตราการระเหยของน้ำโดยตรงมีประมาณ 60% - 90% ขึ้นอยู่กับผลต่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งในอากาศกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกในอากาศ ถ้ามีมากอัตราการเกิดการระเหยของน้ำจะมีสูง

2. สภาพที่ตั้งและภูมิอากาศ โดยพบว่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นในอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพของอัตราการระเหยของน้ำ โดยถ้าอากาศมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพันธ์ต่ำอัตราการระเหยของน้ำจะมีสูง

3. ทิศทางการวางอาคาร พบว่าการวางอาคารในแนวทิศตะวันออก – ตะวันตก และมีวัสดุผิวเปียกที่ด้านทิศเหนือ และมีพัดลมดูดอากาศหรือช่องทางออกทิศใต้ อัตราการระเหยของน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

4. คุณสมบัติของวัสดุผิวเปียกมีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ โดยวัสดุผิวเปียกต้องมีความสามารถในการซึมน้ำได้สูงหรืออุ้มน้ำได้ดี และมีความต้านทานอากาศที่ไหลผ่านต่ำเนื่องจากถ้าวัสดุผิวเปียกมีความหนาแน่นมากหรืออากาศไหลผ่านได้ต่ำจะทำให้อัตราการระเหยของน้ำต่ำด้วย ฉะนั้นความหนาของวัสดุผิวเปียกจึงมีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ

5. อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านวัสดุผิวเปียกต้องมีปริมาณที่พอเหมาะและเพียงพอที่จะให้อากาศสัมผัสกับวัสดุผิวเปียก โดยถ้าอัตราการไหลของอากาศผ่านผิวเปียกสูงจะทำให้ช่วงเวลาที่อากาศน้อยเกินไป การระเหยเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ถ้าอัตราการไหลต่ำความเย็นที่ได้จากการระเหยก็จะมีปริมาณน้อย

6. อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการระเหยเพื่อสร้างความเย็น ควรมีอุณหภูมิที่ต่ำเพราะมีผลต่อประสิทธิภาพของการระเหย เช่นกรณีลดอุณหภูมิของน้ำด้วยขบวนการระเหยของน้ำทางอ้อมก่อนที่นำน้ำดังกล่าวมาใช้ในการไหลผ่านวัสดุผิวเปียก อุณหภูมิอากาศที่ลดได้จะต่ำกว่าการใช้การระเหยของน้ำโดยตรงอย่างเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย