บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน

2.1.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ใหญ่ที่สุดสำหรับโลก พลังงานจากดวงอาทิตย์จะส่งมายังโลกด้วยการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานของดวงอาทิตย์บริเวณนอกชั้นบรรยากาศของโลกมีค่าประมาณ 1,400 วัตต์/ตารางเมตร พื้นที่รับแสงของดวงอาทิตย์ของผิวโลกเฉลี่ยเท่ากับ 1.24×10^{14} ตารางเมตร ดังนั้นพลังงานที่โลกได้รับจึงมีค่าประมาณ 1.74×10^{17} วัตต์

พลังงานของดวงอาทิตย์ ไม่ได้ตกถึงผิวโลกทั้งหมด เนื่องจากเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศจะมีพลังงานบางส่วนถูกสะท้อนกลับไปโดยก้อนเมฆ ไอน้ำ หรืออนุภาคของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ และเมื่อตกกระทบพื้นผิวโลกก็จะมีพลังงานบางส่วนถูกสะท้อนกลับออกไปอีก โดยปริมาณการสะท้อนจะขึ้นกับลักษณะพื้นผิวของโลกบริเวณที่ถูกตกกระทบ เช่น บริเวณที่เป็นป่าไม้จะมีการสะท้อนน้อยกว่าบริเวณขั้วโลกที่เป็นน้ำแข็งปกคลุมอยู่ พลังงานทั้งหมดที่สะท้อนออกไปจากโลกมีค่าประมาณ 36 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมดที่มาถึงโลก[1] ลักษณะการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก (Short-wave Radiation) และการแผ่รังสีบนพื้นผิวโลก (Long-wave Radiation)

ก) การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลกเป็นรังสีคลื่นสั้น (Short-wave Radiation) ถูกส่งมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

---

[1] ธนิต ผิวนิ่ม, สมเกียรติ ธานานิต และเลิศวิทย์ โอวาสิทธิ์, มนุษย์กับวิทยาศาสตร์. (นครปฐม: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, 2535)

- รังสีอุลตราไวโอเลต (Ultra-Violet) เรียกกันทั่วไปว่ารังสียูวี (UV) หรือรังสีเหนือม่วง เป็นตัวการทำให้สีของวัตถุซีดจาง ผิวหนังไหม้เกรียม มีความยาวคลื่นประมาณ 290-380 นาโนเมตร
- แสงสว่างที่มนุษย์มองเห็น (Visible Light) มีความยาวคลื่นประมาณ 380-700 นาโนเมตร
- รังสีอินฟราเรด (Infrared or Short Infared) มีความยาวคลื่นประมาณ 700-2300 นาโนเมตร

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์จะแปรผกผันกับระยะทางที่ส่องผ่านมายังพื้นผิวโลก เช่นในเวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์อยู่ในแนวตั้งฉากกับผิวโลกมากที่สุด ระยะทางที่แสงส่องมาถึงโลกน้อยที่สุด ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จะมากที่สุด ในทางกลับกัน เวลาเช้าและเย็นดวงอาทิตย์ไม่ได้อยู่ในแนวตั้งฉากกับผิวโลก ระยะทางที่แสงส่องมาจึงมากขึ้น ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จึงลดลงตามลำดับ

รังสีของดวงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากถือเป็นค่าคงที่ของรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Constant) มีค่าประมาณ 1,395 วัตต์/ตารางเมตร ภูมิภาคต่าง ๆ ของโลกจะได้รับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกันไปตามมุมที่รังสีตกกระทบ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ ณ บริเวณใด ๆ จะเท่ากับผลคูณของค่าคงที่ของรังสีดวงอาทิตย์ กับค่าโคซายน์ (Cosine) ของมุมที่รังสีตกกระทบ

ข) การแผ่รังสีบนพื้นผิวโลก

การแผ่รังสีบนพื้นผิวโลก เป็นการถ่ายเทพลังงานระหว่างวัตถุบนพื้นผิวโลกในลักษณะรังสีคลื่นยาว (Long-wave Radiation) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นส่องผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกและตกกระทบวัตถุต่าง ๆ ทำให้เกิดพฤติกรรม 3 อย่าง คือ การดูดกลืน (Absorptance)ใช้สัญลักษณ์ α การส่องผ่าน (Transmittance) ใช้สัญลักษณ์ τ และการสะท้อน (Reflectance) ใช้สัญลักษณ์ λ โดยที่ค่าการดูดกลืนของวัตถุคือ สัดส่วนของการดูดกลืนพลังงานต่อปริมาณพลังงานที่ตกลงบนพื้นผิวโลก

α = รังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed radiation) / รังสีที่ตกกระทบ (Incident radiation)

เนื่องจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้รวมถึงช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นด้วยตา ดังนั้น จึงสามารถใช้ตาในการประเมินความสัมพันธ์ของการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์กับสีของวัสดุ โดยสามารถทราบได้ว่าการมองวัตถุที่มีสีเข้มจะมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ได้มากกว่าวัตถุที่มีสีอ่อน และในการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของวัตถุไม่จำเป็นต้องเท่ากับการแผ่รังสีคลื่นยาว โดยพลังงานส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ถูกดูดกลืนก็จะถูกสะท้อนหรือส่องผ่านไป ซึ่งถ้าให้ค่าของรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 1 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืน การส่องผ่าน และการสะท้อนดังนี้

$$\text{การดูดกลืน } (\alpha) + \text{การส่องผ่าน } (\tau) + \text{การสะท้อน } (\lambda) = 1$$

รังสีคลื่นสั้นที่ถูกดูดกลืนจะสะสมในวัตถุโดยเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นและแผ่รังสีความร้อนในลักษณะรังสีคลื่นยาว (Long-wave Radiation)ไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า คุณสมบัตินี้เรียกว่า การคายความร้อน (Emittance) ใช้สัญลักษณ์ ε ค่าการคายความร้อน มีค่าเท่ากับการแผ่รังสีจากพื้นผิวของวัตถุ ต่อการแผ่รังสีที่สมบูรณ์

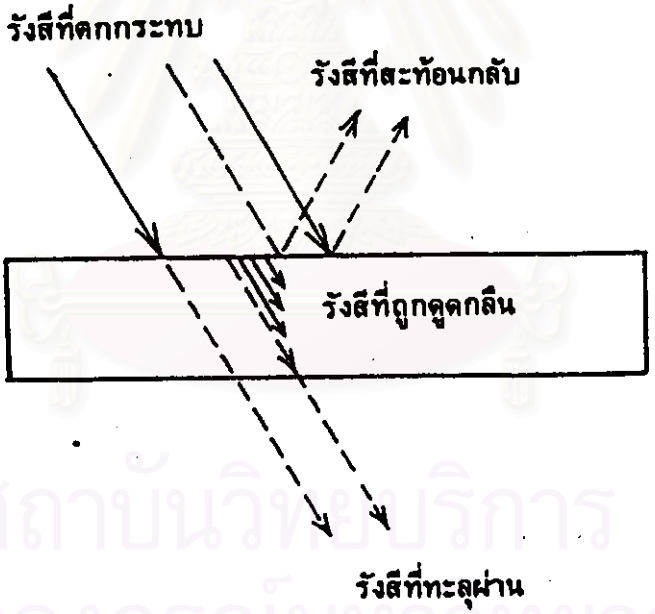
ε = การแผ่รังสีจากวัตถุ (Radiation from material) / การแผ่รังสีจากวัตถุดำ (Radiation from blackbody)

เมื่อ ε = 1.00 แสดงว่าวัตถุดำ (blackbody) ก็คือตัวคายความร้อนที่สมบูรณ์ (Perfect emitter) นั่นเอง พบว่าบนพื้นผิวโลกโดยทั่วไปจะมีค่าการคายรังสีความร้อนประมาณ 0.9 ในความสัมพันธ์ของค่าการคายรังสีกับค่าการดูดกลืนของความยาวขนาดคลื่นเดียวกันจะมีค่าเท่ากัน

การแผ่รังสีดวงอาทิตย์มายังพื้นโลกสามารถเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะตามทิศทางของการเกิดรังสีได้ รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Solar Radiation or Direct Sun) รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) และรังสีสะท้อน (Reflected Radiation)

- รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Solar Radiation or Direct Sun) คือรังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรงในทิศทางของพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ถึงพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อมาถึงชั้นบรรยากาศของโลกมีค่าประมาณ 429 Btu/hr.ft^{2}g เมื่อรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวโลก โดยผ่านชั้นบรรยากาศที่บางที่สุด ถ้าแนวรังสีเบี่ยงออกจากแนว 90 องศา ค่าความเข้มของพลังงานจะลดลง

- รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมาถึงชั้นบรรยากาศและถูกตกกระทบเมฆ ไอน้ำ และฝุ่นละออง ๆ ที่มีอยู่ในอากาศ และกระจายออกอย่างไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มสูงที่บริเวณเส้นขอบฟ้า รังสีกระจายจะมีประมาณ 10-90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยรวมที่เข้าสู่ในอาคาร ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย สภาพท้องฟ้ามีปริมาณละอองไอน้ำและเมฆที่สูง ทำให้รังสีกระจายมีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคาร
- รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) คือรังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวต่าง ๆ มีค่าขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนของพื้นผิวนั้น ๆ ปริมาณของรังสีสะท้อนที่ตกลงบนพื้นผิวใด ๆ มีอิทธิพลมาจากลักษณะของพื้นผิวและทิศทางของวัตถุที่อยู่โดยรอบ แม้ว่าผนังภายนอกอาคารจะไม่ถูกรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงก็ตามอุณหภูมิก็สูงได้ เนื่องจากรังสีกระจายและรังสีสะท้อนที่สะท้อนมาจากสภาพแวดล้อมรอบอาคาร



รูปที่ 2.1 แสดงรังสีความร้อนที่ตกกระทบ ถูกดูดกลืน และทะลุผ่าน

ที่มา: ตระการ ก้าวกสิกรรม, คู่มือฉนวนความร้อน, (กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์. 2537), หน้า 14.

2.1.2 การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งสามาถเคลื่อนสามารถเปลี่ยนรูปจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่งได้ เช่นจากพลังงานความร้อนไปสู่พลังงานไฟฟ้า และสามารถเปลี่ยนสถานะจากสถานะที่สูงไปยังสู่สถานะที่ต่ำกว่าได้เอง เช่นจากที่อุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิที่ต่ำโดยการถ่ายเทความร้อน ซึ่งสามารถ เกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน (Conduction) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) และการพาความร้อน (Convection)

ก) การนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าระหว่างโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงกัน หรือสสารที่สัมผัสกัน โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลที่ร้อนกว่าและการเคลื่อนที่ของตัวกลาง การนำความร้อนจะเกิดขึ้นในทุกทิศทางไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลกและจะเกิดขึ้นจนกว่าทุดจุดที่สัมผัสจะมีอุณหภูมิเท่ากัน

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance) จะแปรผันตามค่าความหนาแน่นของวัสดุ[2] วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วยคือเป็นวัสดุที่นำความร้อนดีด้วย ตัวอย่างเช่น โลหะต่างๆ คอนกรีต อิฐและหินมีค่าการนำความร้อนสูงแต่ยังต่ำกว่าวัสดุจำพวกโลหะ วัสดุเช่นไม้ วัสดุที่มีรูพรุน (Porous Material) อากาศ จะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ

$$\text{Thermal Conductance} = K * D$$

โดยที่ Thermal Conductance = ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Btu / hr.ft^2)

K = ค่า Thermal Conductivity (Btu.ft / hr.lb.$^\circ$F)

D = ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (lb / ft^3)

---

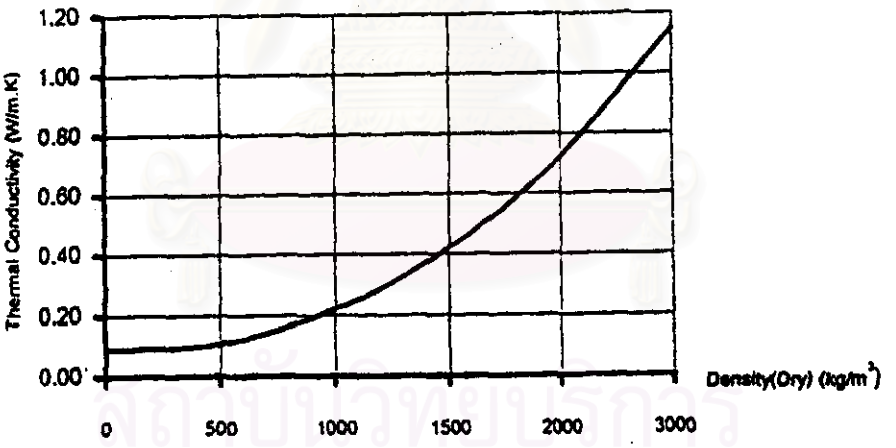
[2] Fuller Moore, Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting,(Singapore: Mcgraw-Hill Book Co., 1993) , p. 8.

ค่า Thermal Conductance คืออัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุชนิดหนึ่งหรือที่ประกอบกันที่มีความหนาค่าหนึ่ง ในหนึ่งหน่วยเวลาในที่นี้ คือจำนวนบีทียู (BTU) ต่อชั่วโมงที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่มีพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนต์ไฮต์[3]

ค่า Thermal Conductivity คืออัตราการถ่ายเทความร้อน ผ่านวัสดุชนิดหนึ่งที่ความหนาหนึ่ง ในหนึ่งหน่วยเวลา ในที่นี้คือจำนวนบีทียูต่อชั่วโมงที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่มีพื้นที่ 1 ตารางฟุต ความหนา 1 นิ้ว เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนต์ไฮต์

บีทียู คือ หน่วยที่ใช้ในการวัดพลังงานความร้อน โดยกำหนดให้ปริมาณความร้อน 1 บีทียู หมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ ร้อนขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์[4]

ค่าการคายความร้อนของวัสดุจะขึ้นอยู่กับ Thermal Conductance และความหนาแน่นของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจะส่งผ่านความร้อนออกมาได้น้อยและช้ากว่าวัสดุที่มีการนำความร้อนสูง เช่น โลหะ การส่งผ่านความร้อนออกมายังภายนอกก็จะมีปริมาณมากและรวดเร็ว[5]



แผนภูมิที่ 2-1 แสดงความสัมพันธ์ของการนำความของวัสดุและความหนาแน่นของวัสดุ

ที่มา: Narenda K. Bansal, Gerd Hauser and Gernot Minke. Passive Building Design A Handbook lf Matural Climatic. 1994, p38

---

[3] Stein and Reynolds, Mechanical And Electrical Equipment For Building, 8th Edition, (New York: Jon wily & Son, Inc),P131

[4] สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร., บ้านประหยัดพลังงาน, (พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2542), หน้า 221

[5] Katherine PanchyK, Solar Interior, (New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1984)

ข) การแผ่รังสีความร้อน

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetics Waves) เมื่อวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิมากกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์จะมีพลังงานภายในตัวจากการสั่นของโมเลกุล ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะถูกปล่อยออกมาจากวัตถุนั้นในลักษณะการแผ่รังสีความร้อนผ่านผิวของวัสดุ โดยอาศัยกลไกของการแผ่รังสีด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานความร้อนจะถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ สามารถเกิดขึ้นได้อยู่ในภาวะสุญญากาศ

รังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจะเดินทางผ่านช่องว่างในบรรยากาศในลักษณะเป็นเส้นตรงจนกว่าจะตกกระทบวัตถุใด ๆ ก็จะเกิดการดูดซับรังสีความร้อนขึ้น โมเลกุลที่ผิวของวัสดุที่ถูกตกกระทบจะดูดซับพลังงานของรังสีความร้อนและเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานความร้อนและทำให้โมเลกุลของตัววัตถุเองสั่นและอุณหภูมิสูงขึ้น เช่นเดียวกับการนำความร้อนการแผ่รังสีความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกทิศทุกทาง ไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก

อุณหภูมิผิวของวัสดุไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น แต่จะขึ้นกับความยาวคลื่น (Wavelength) หรือความถี่ของรังสี (Frequency) ของรังสีด้วย โมเลกุลของสสารหรือวัตถุจะสั้นด้วยความเร็วที่ขึ้นกับความยาวคลื่นและความถี่ของรังสี โมเลกุลที่มีความเร็วสูงสุดหรือมีอุณหภูมิสูงสุด จะปลดปล่อยรังสีความร้อนที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุดและมีความถี่สูงสุด[6]

ความสามารถในการปลดปล่อยหรือการคายความร้อนของวัสดุ (Emissitivity) เป็นค่าที่ใช้ในการวัดความสามารถของพื้นผิวของวัสดุในการคายรังสีความร้อน เมื่อได้รับความร้อนค่าหนึ่งซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 คือไม่สามารถคายรังสีความร้อนได้เลย จนถึง 1.00 คือมีการแผ่รังสีในอัตราสูงสุด ซึ่งวัสดุที่จะเกิดการคายรังสีความร้อนแบบนี้ได้เรียกว่าวัตถุดำ (Black body) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ค่าของการคายรังสีความร้อนของพื้นผิวจะมีค่าเท่ากับค่าการดูดซับความร้อนตามกฎของเคอร์ชอฟ (Kirchoff's Law)[7]

---

[6] Fuller Moore, Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting, (Singapore: Mcgraw-Hill Book Co., 1993), p.15.

[7] Fuller Moore, Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting, (Singapore: Mcgraw-Hill Book Co., 1993), p.15.

โลหะที่มีพื้นผิวมันวาวจะมีค่าการดูดซับความร้อนต่ำ และค่าการสะท้อนความร้อนสูง ดังนั้นค่าการคายความร้อนจึงมีต่ำ เกิดการแผ่รังสีได้ยาก แต่หากมีความร้อนที่ผิวของวัสดุนั้นแล้วจะสามารถดูดซับความร้อนไว้ได้ดี ส่วนใหญ่โลหะจะมีค่าการคายความร้อนที่ต่ำ ส่วนอโลหะจะมีค่าการคายความร้อนที่สูง ค่าการคายความร้อนจะขึ้นกับลักษณะพื้นผิว และสีของวัสดุ

ค) การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล ได้แก่ ของเหลวและก๊าซ การพาความร้อนเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของของไหล ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างผิวของแข็งนั้น การพาความร้อนจะเกิดขึ้นร่วมกับการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน การถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งที่มีอุณหภูมิต่างกัน ของไหลที่ไหลผ่านสัมผัสของแข็งที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยกระบวนการการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ความร้อนดังกล่าวจะถูกแพร่ให้กับส่วนอื่น ๆ ของของไหลโดยผ่านกระบวนการนำความร้อนและการผสมกัน (Physical mixing) ของของเหลว เมื่อของไหลไหลผ่านบริเวณของแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความร้อนจะถูกถ่ายเทอีกครั้งให้กับของแข็ง โดยกระบวนการการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน

ข้อแตกต่างของการนำความร้อนและการพาความร้อนก็คือชนิดของโมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่ ในกระบวนการนำความร้อนโมเลกุลไม่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง แต่จะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับโมเลกุลอื่น ๆ โดยการสั่นสะเทือนหรือชนต่อเนื่องกันไป สำหรับการพาความร้อนพลังงานความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับโมเลกุลอื่น ๆ โดยการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งของโมเลกุลของของไหลที่เป็นตัวกลางเมื่อได้รับความร้อน ตัวอย่างการพาความร้อนที่พบได้ทั่วไป (Natural Convection) ได้แก่ การไหลเวียนของอากาศภายในห้อง เมื่ออากาศได้รับความร้อนโมเลกุลของมันจะเกิดการเคลื่อนที่ห่างจากกันมากขึ้น จึงทำให้ความหนาแน่น4ของอากาศลดลง อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะไหลเข้าไปแทนที่อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า และเนื่องจากการพาความร้อนขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจึงไหลขึ้นด้านบนเสมอ

2.1.3 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ก) ความจุความร้อนของวัสดุ (Thermal Heat Capacity)

หมายถึง ความสามารถในการกักเก็บความร้อนของสสารถ้าสสาร 2 ชนิดมีความจุความร้อนต่างกันแล้วจะพบว่า สสารที่มีความจุความร้อนเมื่อได้รับความร้อนก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่าสสารที่มีความจุความร้อนน้อย

ข) ความสามารถในการดูดกลืน และการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ

โดยปกติแล้ว หากเป็นสีของผนังธรรมดาหรือสีผิวของวัสดุตามธรรมชาติ ค่าการคายความร้อนจะค่อนข้างสูงคือประมาณ 0.8-0.9 เป็นส่วนใหญ่ นอกจากว่าเป็นสีเคลือบผิวพิเศษ (Selective Absorption) อาจจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำแต่มีค่าสัมประสิทธิ์การคายความร้อนสูง จะทำให้ผิววัสดุสูง จะทำให้ผิววัสดุเย็นกว่าปกติ สำหรับค่าการดูดกลืนความร้อน ส่วนมากจะแปรตามความเข้มของสีผิว เข้มมากก็จะดูดกลืนความร้อนสูง

ค) การหน่วงเหนี่ยวความร้อน

ส่วนใหญ่จะนิยมใช้คำว่า 'Time Lag' แทนคำว่า 'Thermal Time Lag' ในความหมายเดียวกัน ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่ความร้อนเคลื่อนที่จากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังหรือหลังคาอาคาร กระบวนการเคลื่อนที่ของความร้อนดังกล่าวอาจเกิดขึ้นล่าช้าออกไปอันเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของมวลสารและความจุความร้อนของผนัง โดยทั่วไปสำหรับผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ความล่าช้าดังกล่าวอาจนานถึง 4 ชั่วโมง นั่นหมายความว่าความร้อนที่เกิดจากด้านหนึ่งของหนังต้องใช้เวลานาน 4 ชั่วโมงกว่าจะเคลื่อนตัวไปสู่อีกด้านหนึ่งของผนัง[8]

---

[8]สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร., บ้านประหยัดพลังงาน, (พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2542,) หน้า219

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความชื้น

2.2.1 คุณสมบัติของความชื้น

อากาศประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิดรวมถึงน้ำในสภาวะของไอน้ำแทรกอยู่ในอากาศในปริมาณที่มากน้อยต่างกัน ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเรียกว่าความชื้น การเกิดความชื้นขึ้นในอาคารเกิดจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับอาคาร เช่น การคายน้ำของต้นไม้บริเวณที่ตั้งอาคาร การระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำใกล้อาคาร การระเหยน้ำจากดินผ่านทางเดินหรือวัสดุปูพื้นที่มีรูพรุนที่ความชื้นสามารถระเหยผ่านขึ้นมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังฝนตก และการระเหยจากแหล่งน้ำใกล้อาคารทำให้ไอน้ำในอากาศมีปริมาณสูงขึ้น เป็นต้น ไอน้ำในอากาศบางครั้งเกิดการกลั่นตัวในระดับต่างๆกัน เช่น การกลั่นตัวขนาดเล็กก่อให้เกิดน้ำค้าง และหมอกบริเวณใกล้พื้นดิน และการกลั่นตัวขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดเมฆ

การเปลี่ยนรูปของน้ำในอากาศในลักษณะต่างๆจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในอากาศ พลังงานในการที่ทำให้น้ำเปลี่ยนอุณหภูมิเรียกว่า ความร้อนจำเพาะ (Sensible Heat) และเมื่อน้ำเกิดการระเหยจะใช้พลังงานความร้อนในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซโดยอุณหภูมิคงเดิม เรียกว่าความร้อนแฝง (Latent Heat)

เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ อากาศที่อุณหภูมิต่างๆมีความสามารถในการรับไอน้ำไว้ได้สูงสุดในปริมาณจำกัด ถ้าเกินกว่าขีดสูงสุดนี้แล้วอากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้เพิ่มอีก และการที่อากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้อีกเรียกว่าการอิ่มตัว (Saturation) และจุดที่ไอน้ำแทรกตัวอยู่ในอากาศในปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิหนึ่งๆเรียกว่า จุดอิ่มตัว (Saturated Point)

ไอน้ำที่แทรกอยู่ในอากาศทำให้อากาศเกิดความดันไอน้ำ (Vapor Pressure) เมื่ออากาศรับไอน้ำจนถึงจุดอิ่มตัว (Saturated Point) ก็จะมีความดันสูงสุด และจากการสังเกตทดลองในเชิงฟิสิกส์พบว่า ในมวลอากาศที่เท่ากันอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะสามารถบรรจุไอน้ำได้ปริมาณมากกว่าปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า[9]

---

[9] Olin, H.B., Schmidt, J.L., and Lewis, W.H, Construction principles materials, and methods, (6th ed. New York: Van NosTrand Reinhold, 1995), P 458.

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

2.2.1 ประเภทของความชื้น

ก) ความกดไอน้ำ (Vapor Pressure)

อากาศประกอบด้วยก๊าซต่างๆ รวมถึงไอน้ำ ที่อุณหภูมิใด ๆ อากาศที่มีไอน้ำที่เป็นก๊าซอิสระผสมอยู่ในจะมีความกดอากาศที่เกิดของอากาศเกิดจากความกดของก๊าซ และไอน้ำ (Vapor Pressure)[10] มีหน่วยเป็น กิโลปาสคาล (kPa) การคำนวณหาค่าความกดไอน้ำใช้วิธีเดียวกับกรมอุตุนิยมวิทยา โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$es(T) = 0.611 \times EXP(17.27 \times T / (T+237.3)) \text{ กิโลปาสคาล}$$

$$e = (rh / 100) \times es(T)$$

โดยที่

es(T) = ความกดไอน้ำอิ่มตัวในขณะที่อุณหภูมิขณะนั้นในบรรยากาศมีความชื้นสูงสุด หน่วยเป็นกิโลปาสคาล

e = ความดันไอน้ำ หน่วยเป็นกิโลปาสคาล

T = อุณหภูมิ หน่วยองศาเซลเซียส

rh = ความชื้นสัมพัทธ์มี หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ความกดไอน้ำจะสูงสุดเมื่ออากาศเกิดการอิ่มตัว (Saturated) ความกดไอน้ำมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาภายในหนึ่งวัน และแตกต่างตามสภาพที่ตั้งอาคาร ความกดไอน้ำจะมีสูงสุดบริเวณเส้นศูนย์สูตรและลดลงน้อยที่สุดบริเวณขั้วโลก เนื่องจากการเกิดไอน้ำมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ด้วยเหตุผลเดียวกันในฤดูร้อนก็จะมีความกดไอน้ำในอากาศมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความกดไอน้ำในฤดูหนาว

---

[10] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold,1993), p1

ข) ความชื้นแท้ (Absolute Humidity)

ความชื้นแท้คือความหนาแน่น หรือ น้ำหนักของไอน้ำ ตามปกติใช้วัดเป็น กรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ เกรนต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต[11]

ความชื้นแท้ a = $[10^6 e/R \text{ water Vapour}] T \text{ gm } m^{-3}$

โดยที่ a = ความชื้นแท้

e = ความกดไอน้ำ

R = ค่าก๊าซคงที่ของไอน้ำ

T = อุณหภูมิ

ค) ปริมาณความชื้น (Moisture Content or Humidity Ratio)

คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น หรือน้ำหนักของไอน้ำต่อน้ำหนักอากาศแห้ง[12] หรืออาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอัตราส่วนความชื้น(Humidity Ratio) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อกิโลกรัม หรือ กรัมต่อกิโลกรัมแล้วแต่ความละเอียดในการใช้งาน

อัตราส่วนความชื้น = ความหนาแน่นของไอน้ำ / ความหนาแน่นของอากาศแห้ง

คำนวณได้จากสมการดังนี้

R = 623 e(in gram of water vapour) / Pd (Kilogram of dry air)[13]

โดยที่ R = อัตราส่วนความชื้นมีหน่วยเป็นกิโลกรัมของไอน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง

e = ความกดไอน้ำ

Pd = ความกดของอากาศแห้ง (Pd = P-e)

P คือความกดดันของบรรยากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเลมีหน่วยเป็นบาร์ (bar) มีค่าเท่ากับ 1.01325 บาร์ โดยที่ 1 บาร์ มีค่าเท่ากับ 100 กิโลปาสคาล

---

[11] สุวพันธ์ นิลายน. อุตุนิยมวิทยา, (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539), หน้า42

[12] สุวพันธ์ นิลายน. อุตุนิยมวิทยา, (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539), หน้า43

[13] สุวพันธ์ นิลายน. อุตุนิยมวิทยา, (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539), หน้า43

ง) ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity)

ความชื้นจำเพาะคือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น หรือน้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นเทียบกับน้ำหนักของอากาศชื้น (น้ำหนักอากาศแห้งรวมกับน้ำหนักไอน้ำในอากาศ) มักใช้เป็น กรัมของไอน้ำต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศชื้น หรือ เกรนของไอน้ำต่อ 1 ปอนด์ของอากาศ ถ้าไอน้ำในอากาศมีมากขึ้นค่าความชื้นจำเพาะก็จะมีมากขึ้น และถ้าไอน้ำในอากาศน้อยลง ค่าความชื้นจำเพาะก็จะลดลง

จ) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

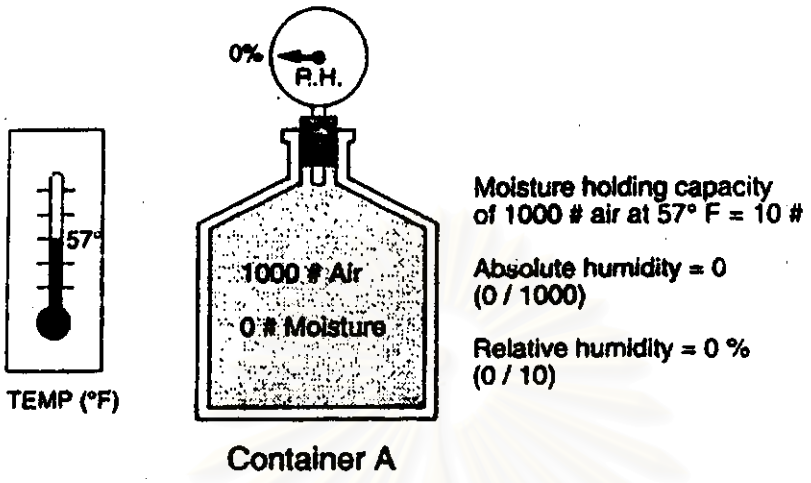
ความชื้นสัมพัทธ์ คืออัตราส่วนระหว่างความชื้นที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นกับปริมาณความชื้นมากที่สุดที่อากาศสามารถรับเอาไว้ได้ หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำในอากาศเทียบกับน้ำหนักของไอน้ำที่ควรจะมีได้เต็มที่ในขณะนั้นเมื่อมีปริมาตรและอุณหภูมิเดียวกัน ตัวอย่างเช่น อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณความชื้นเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณไอน้ำที่สูงสุดที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้นสามารถรับเอาไว้ได้ หรืออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้นสามารถรับได้ และเราเรียกในกรณีที่สองนี้ว่าการอิ่มตัว[14]

ผลกระทบของปริมาณความชื้นในอากาศต่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ สามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น จากภาพที่ 2.2 – 2.4 สมมติให้ ขวด 3 ขวดที่ภายในบรรจุอากาศปริมาณ 1000 ปอนด์ มีอุณหภูมิเท่ากันที่ 57 องศาฟาเรนไฮต์ โดยสมมติให้ขวดไม่สามารถให้อากาศ น้ำ หรือไอน้ำผ่านเข้าออกได้ และที่อุณหภูมิ 57 องศาฟาเรนไฮต์ อากาศ 1000 ปอนด์ สามารถรับความชื้นสูงสุดได้ประมาณ 10 ปอนด์

- ขวด A มีความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์เป็นศูนย์ เพราะไม่มีความชื้นในอากาศอยู่เลย
- ขวด B เติมความชื้นลงไป 3 ปอนด์ในรูปของหยดน้ำในขณะที่อุณหภูมิเท่าเดิม ความชื้นในขวดนี้เป็น 0.003 ปอนด์ ต่ออากาศ 1000 ปอนด์ ในขณะที่มีความชื้นสัมพัทธ์เป็น 30 เปอร์เซ็นต์

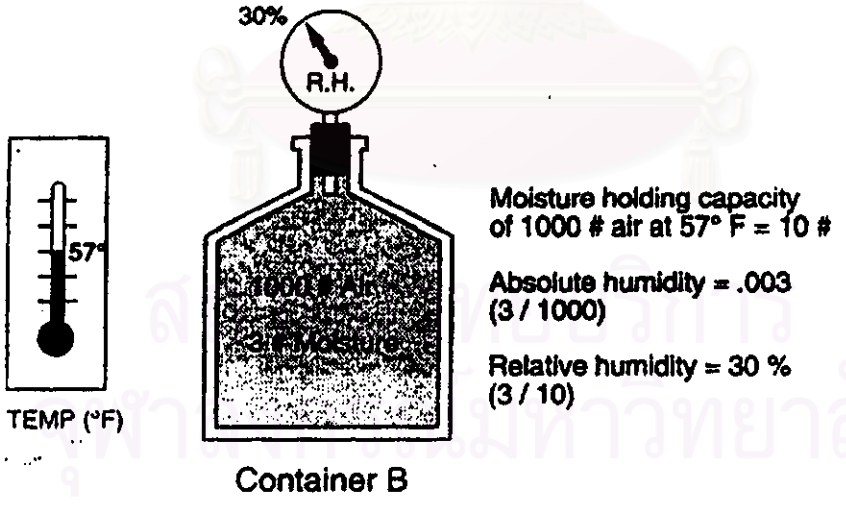
---

[14] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P1.



ภาพที่ 2.2 แสดงผลกระทบของปริมาณความชื้นในอากาศของขวด A

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P2.

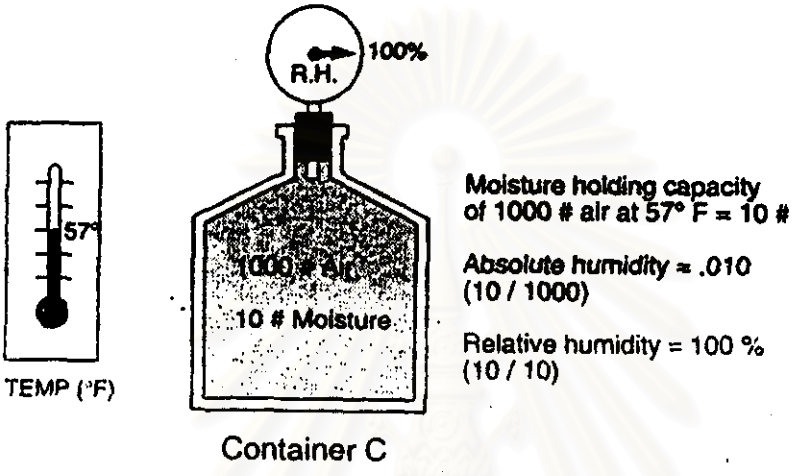


ภาพที่ 2.3 แสดงผลกระทบของปริมาณความชื้นในอากาศของขวด B

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P2.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ขวด C เติมความชื้นลงไป 10 ปอนด์ ในรูปของหยดน้ำ อัตราส่วนความชื้นในขวดจะเท่ากับ 0.010 ปอนด์ ต่ออากาศ 1000 ปอนด์ ในขณะเดียวกันความชื้นสัมพัทธ์เป็น 100% แสดงว่าขวด C มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ที่อุณหภูมินี้คือ ความชื้น 10 ปอนด์ ต่อปริมาณอากาศ 1000 ปอนด์ ถ้าเพิ่มความชื้นลงไปอีกจะเป็นผลให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ

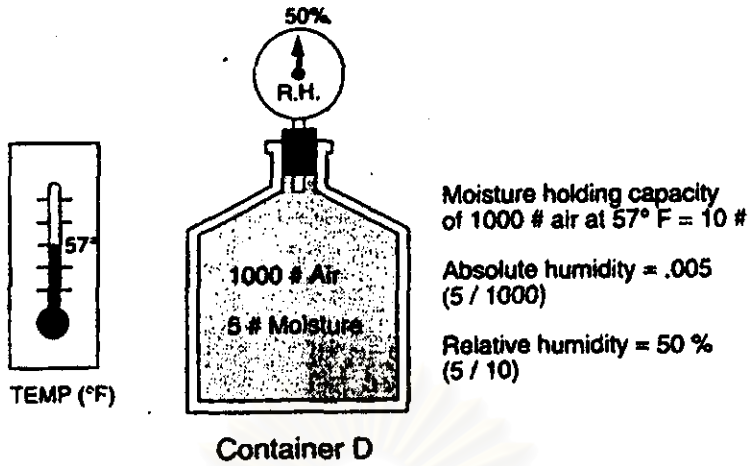


ภาพที่ 2.4 แสดงผลกระทบของปริมาณความชื้นในอากาศของขวด C

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P2.

ผลกระทบของอุณหภูมิสามารถอธิบายจากภาพที่ 2.5 -2.7 ขวดทั้งสามเป็นขวดที่มีอากาศบรรจุอยู่เท่ากัน และถูกปิดอย่างดีไม่เกิดการผ่านของอากาศ น้ำ หรือไอน้ำ บรรจุอากาศปริมาตร 1000 ปอนด์

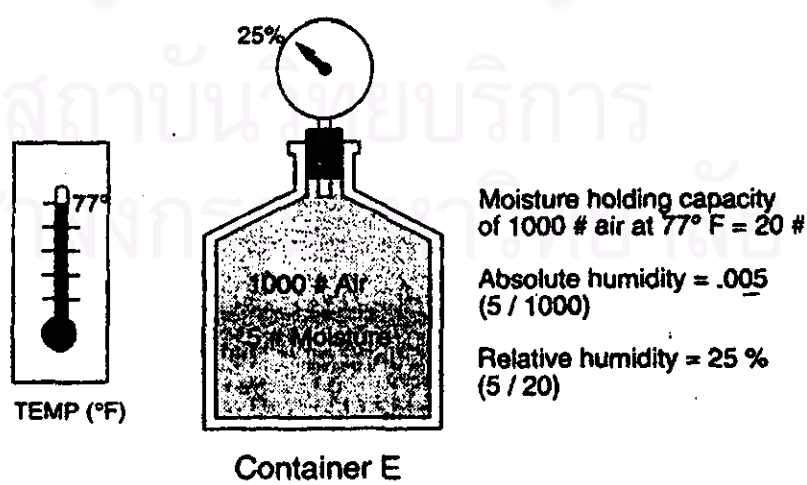
- ขวด D อยู่ในอุณหภูมิ 57 องศาฟาเรนไฮต์ และบรรจุด้วยความชื้น 5 ปอนด์ ที่อุณหภูมิ 57 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่ออากาศอิ่มตัว อากาศสามารถรับความชื้นได้สูงสุดประมาณ 10 ปอนด์ ดังนั้นอากาศในขวดนี้จะมีอัตราส่วนความชื้น 0.005 ปอนด์ต่ออากาศ 1000 ปอนด์และมีความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2.5 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่ออากาศต่อในขวด D

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P3.

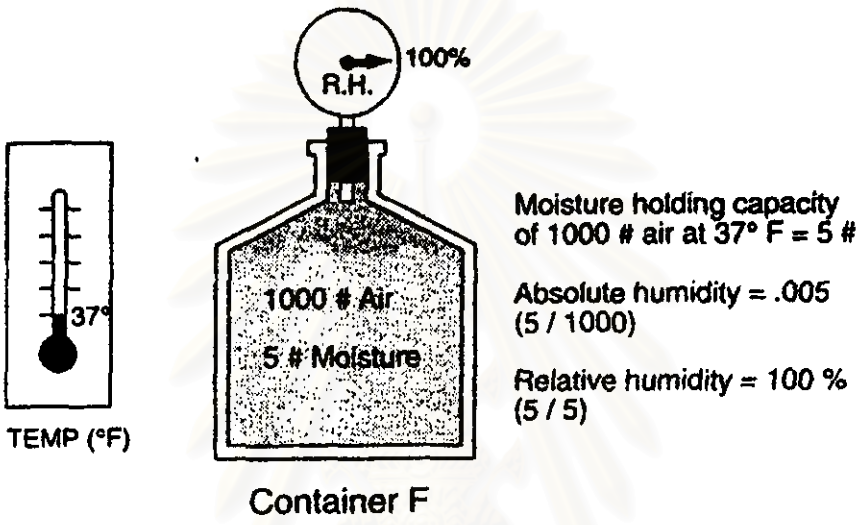
- ขวด E มีความชื้น 5 ปอนด์ เหมือนขวด D แต่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 77 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการับความชื้นของอากาศจะเปลี่ยนตาม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 77 องศาฟาเรนไฮต์ อากาศสามารถรับความชื้นมากขึ้นเป็น 20 ปอนด์ เมื่ออากาศอิ่มตัว เนื่องจากปริมาณความชื้นในขวดเป็น 5 ปอนด์ เท่าเดิมดังนั้นสัดส่วนความชื้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงเป็น 25 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2.6 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิในอากาศต่อขวด E

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P3.

- ขวด F ยังคง มีความชื้น 5 ปอนด์ เหมือนขวด D และE แต่มีอุณหภูมิลดลงเป็น 37 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่ออุณหภูมิลดลงความสามารถในการรับความชื้นจะลดลงเหลือเพียง 5 ปอนด์ เมื่ออากาศอิ่มตัว ขวด F มีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับขวด D และ E แต่เนื่องจากผลของความสามารถที่ลดลงในการรับปริมาณความชื้นเมื่ออากาศอิ่มตัว ทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มเป็น 100 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2.7 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิในอากาศต่อขวด F

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P3.

ในภาพที่ 2.2 - 2.4 ขวด A, B และ C ทั้งสามใบมีอุณหภูมิที่คงที่เท่า ๆ กันเมื่อความชื้นในอากาศเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้อัตราส่วนความชื้น และความชื้นสัมพัทธ์สูงตามขึ้น ส่วนในภาพที่ 2.5 - 2.6 ขวด D, E และ F อัตราส่วนความชื้นคงที่ แต่ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศลดลง และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น[15]

[15] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P4.

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะมีค่าสูงสุดในช่วงเช้ามืดที่ดวงอาทิตย์เริ่มจะขึ้นซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำ ในบางครั้งขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงสุดนั้นอาจถึงจุดอิ่มตัวและกลั่นตัวเกิดเป็นหมอกขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศเริ่มสูงขึ้นความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงและหมอกก็จะสลายไป ปริมาณไอน้ำในอากาศไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิมากนักจึงมีปริมาณใกล้เคียงเท่ากันตลอดวัน

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ สามารถอธิบายได้ดังนี้ อุณหภูมิอากาศที่ต่ำมีโอกาสที่ความชื้นสัมพัทธ์จะสูงเพราะว่าความสามารถในการรับปริมาณไอน้ำสูง และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณไอน้ำเข้าไปเพียงเล็กน้อยก็จะอิ่มตัว ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และความชื้นสัมพัทธ์ สามารถเปรียบเทียบจากแผนภูมิไซโครเมติค (Psychrometric Chart) ในแผนภูมิที่ 2.2 และ 2.3

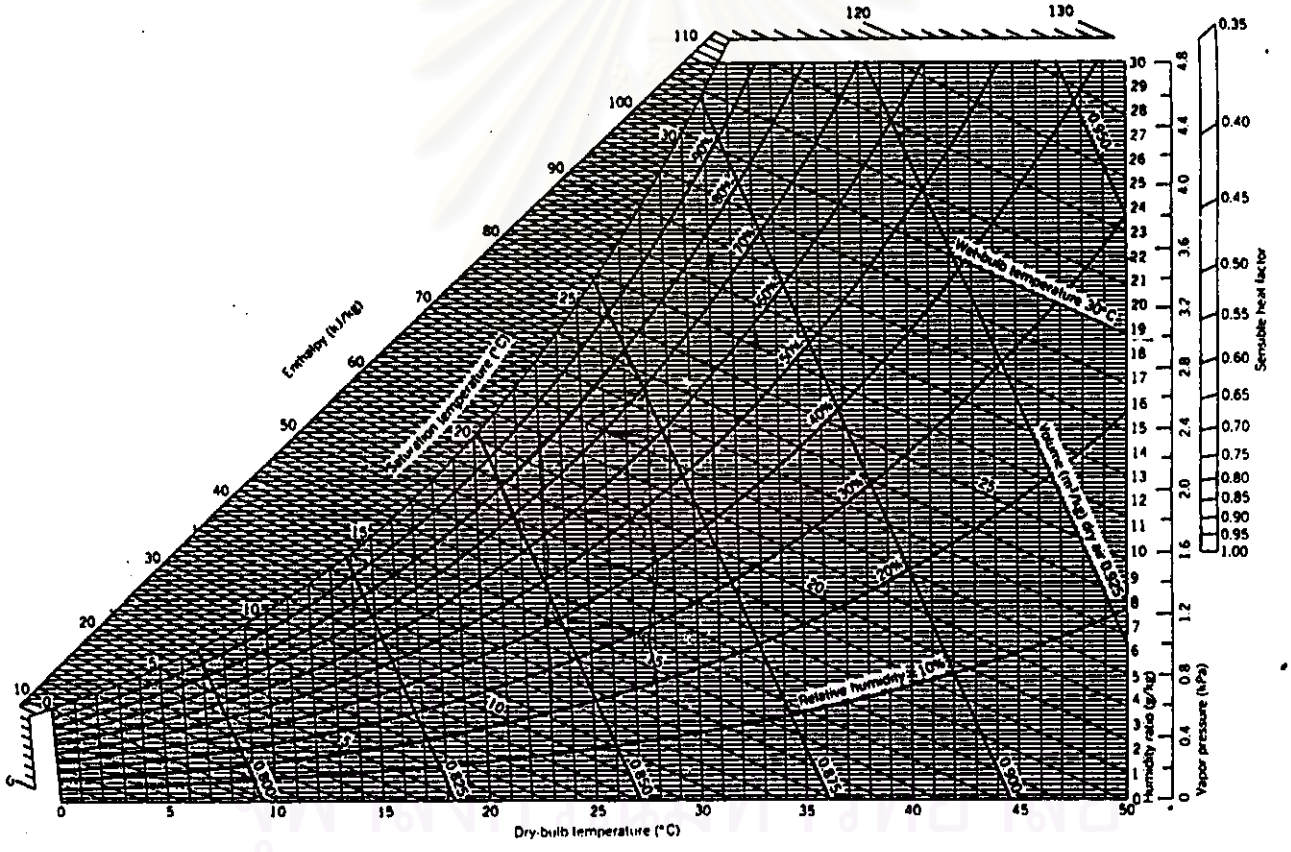
ฉ) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่นของอากาศ ในขณะที่อุณหภูมิลดลง[16] ณ จุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 100% เป็นจุดที่อากาศอิ่มตัว อากาศในขณะนั้นไม่สามารถรับปริมาณไอน้ำได้เพิ่มขึ้นอีก หากมีปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้น หรืออุณหภูมิอากาศลดลงในขณะที่ยังมีปริมาณไอน้ำในอากาศเท่าเดิม จะทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่ง ณ จุดที่ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำนี้จะเรียกว่า จุดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งสามารถเกิดได้ในกรณีที่อุณหภูมิของพื้นผิวใดมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศที่อยู่โดยรอบ ก็จะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำบนพื้นผิวนั้น[17]

---

[16] สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร., บ้านประหยัดพลังงาน, (พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า220

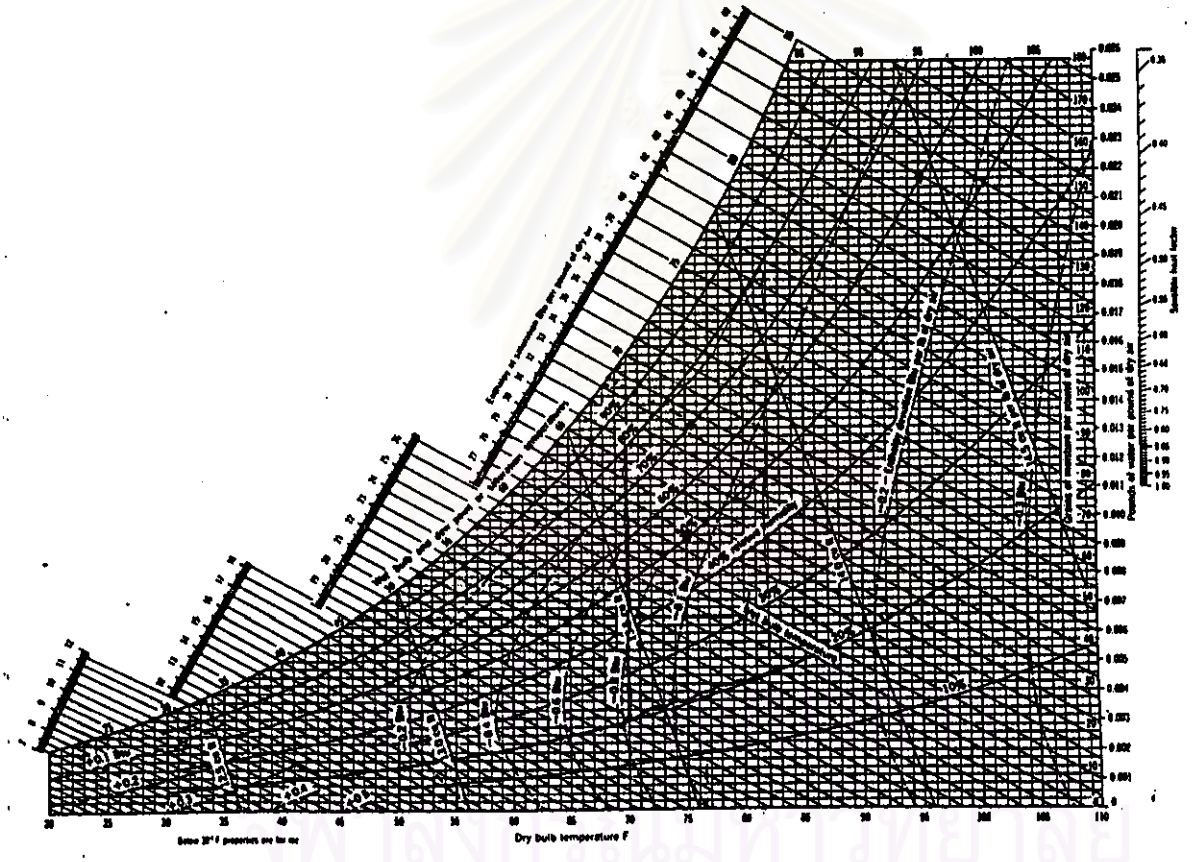
[17] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold,1993), p6



แผนภูมิที่ 2.2 Psychrometric chart, SI units

Conditions at sea level, standard atmospheric pressure (101.325 kPa).

ที่มา : Stein and Reynolds, Mechanical And Electrical Equipment For Building, (8th Edition New York: Jon Wily & Son, Inc), P131



แผนภูมิที่ 2.3 Psychrometric chart, conventional units

Conditions at sea level, standard atmospheric pressure (29.921 in Hg).

ที่มา : Stein and Reynolds, Mechanical And Electrical Equipment For Building, (8th Edition. New York: Jon Wily & Son, Inc) P131

2.3 ปัญหาจากความชื้นที่มีผลกระทบต่ออาคาร

ความชื้นนอกจากก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาวะน่าสบายแล้วยังมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ยังมีผลกระทบกับอาคารด้วย ในอาคารที่มีความชื้นสูง ความชื้นจะก่อให้เกิดทำให้เชื้อราและเชื้อโรคส่วนใหญ่เติบโตได้ดี มีผลให้คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) ลดลง ทำให้เจ็บป่วยได้ง่าย ความชื้นเป็นตัวทำให้วัสดุอาคารเสื่อมสภาพลดความสวยงาม และความชื้นที่มีมากในอาคารที่มีการปรับอากาศจะเพิ่มภาระให้เครื่องปรับอากาศในการรีดความชื้น มากกว่าการลดอุณหภูมิอากาศ

2.3.1. เชื้อรา

อาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศชื้นบ่อยครั้งที่พบการเกิดเชื้อราตามผนัง หรือเพดานในอาคาร ราและกลิ่นที่เกิดขึ้นไม่ใช่แค่เรื่องความสวยงามแต่จะมีผลไปถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

เชื้อราเติบโตบนพื้นผิววัสดุอาคารเกิดได้ในอุณหภูมิตั้งแต่ 50 องศาฟาเรนไฮต์ (10 องศาเซลเซียส) – 100 องศาฟาเรนไฮต์ (37.7 องศาเซลเซียส) สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 75 องศาฟาเรนไฮต์ (23.8 องศาเซลเซียส) - 95 องศาฟาเรนไฮต์ (35 องศาเซลเซียส) เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 35 องศาฟาเรนไฮต์ (1.6 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ที่ราสามารถโตได้ตั้งแต่คือตั้งแต่ 75% ขึ้นไป[18] การเกิดและเติบโตของราต้องอาศัยความชื้นในขบวนการผลิตเอนไซน์ (Enzymes) และ Metabolic activities ในการย่อยอาหาร

ในการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราที่จะเกิดขึ้น จะต้องควบคุมความชื้นภายในอาคาร ซึ่งประกอบด้วยการควบคุมน้ำและไอน้ำที่จะเข้ามาภายในอาคาร อากาศในภูมิอากาศร้อนชื้นถ้ามีการปรับอากาศภายในอาคาร เครื่องปรับอากาศจะทำหน้าที่ในการทำความเย็นด้วยการปรับอุณหภูมิ และพร้อมกับการปรับความชื้นให้ลดลง การทำความเย็นเกี่ยวพันกับอุณหภูมิอากาศ และการลดความชื้นและสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำค้าง ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสูง เชื้อราและเชื้อโรคสามารถเติบโตได้ดี

---

[18] Massari, Giovanni, Humidity in Monuments, (Faculty of Architecture University of Rome) p7.

2.3.2. วัสดุประกอบอาคาร

การออกแบบให้อาคารอยู่ในภาวะความสบายโดยใช้การระบายอากาศจะเกิดผลที่ดีเมื่ออากาศที่ผ่านเข้ามาในอาคารมีความเย็นแต่ไม่มีความชื้นมากเกินกว่าความชื้นของอากาศภายในอาคารนั้น การนำอากาศจากภายนอกที่มีความชื้นเข้ามามีผลต่อการเสื่อมของวัสดุประกอบอาคารทางด้านคุณภาพและความสวยงาม ตัวอย่างเช่น การซีดของสี การที่ผนังเกิดรา การอ่อนตัวของยิปซัม และการเกิดสนิมของโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุประเภทไม้ที่มีการดูดความชื้นได้มาก อาจเกิดการบวม หดตัว หรือโก่งตัวของไม้ ความชื้นจึงเป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณสมบัติของวัสดุหลายประการดังนี้ [19]

- การเปลี่ยนแปลงสารเคมีในวัสดุ (Chemical changes) เช่นการเกิดสนิมของเหล็กเป็นการเกิดปฏิกิริยากันระหว่างเหล็กกับน้ำทำให้เกิดสนิม เป็นต้น
- การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุ (Physical changes) เช่น การที่เกิดการหลุดร่วงของผนังอิฐจากการสะสมของความชื้น
- การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (Biological process) เช่น การผุของไม้

2.4 การเกิดของความชื้นภายในอาคาร

การควบคุมระดับความชื้นภายในอาคารต้องเข้าใจถึงวิธีการที่ความชื้นเข้าสู่อาคารหรือวิธีการที่ความชื้นเกิดขึ้นในอาคารเสียก่อน เพื่อสามารถแก้ปัญหาที่ตรงจุด การเคลื่อนที่ของไอน้ำจะเคลื่อนจากบริเวณที่มีปริมาณไอน้ำมากและมีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีไอน้ำน้อยและมีอุณหภูมิต่ำกว่า ไอน้ำในอากาศจะมีความดันที่ขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศ อากาศที่มีไอน้ำมากก็จะมีปริมาณไอน้ำสูง และไอน้ำจะเคลื่อนที่ในอากาศโดยการกระจายจากบริเวณที่มีความดันไอน้ำมากไปสู่ที่ที่มีความดันไอน้ำน้อยกว่าโดยไม่ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนตัวของอากาศที่รับมันเอาไว้ การเกิดความชื้นภายในอาคารเกิดจากการที่ความชื้นในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซเข้ามาภายในอาคาร โดยสามารถแบ่งการที่ความชื้นเข้าสู่ภายในอาคารออกเป็นกรณีต่างๆได้ดังนี้

---

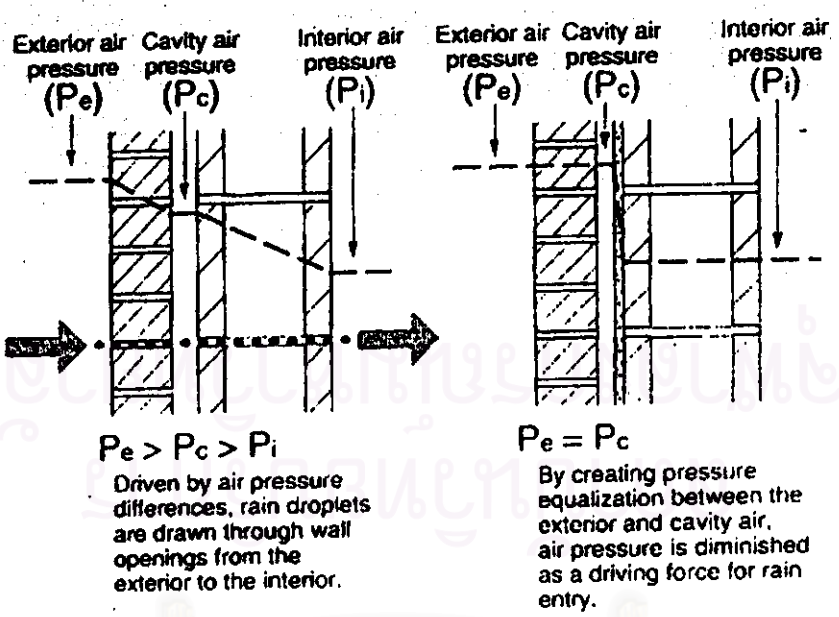
[8]Olin, H.B., Schmidt, J.L., and Lewis, W.H, Construction principle, materials and methods, (New York: Van NosTrand Reinhold, 1995), P 462.

2.4.1. การผ่านเข้าสู่อาคารของฝน (Rain Penetration)

การผ่านเข้าสู่อาคารของน้ำฝนสู่ในอาคารเกิดขึ้นจากการกระทำระหว่างแรงดูดที่เกิดจากรูเล็กๆของวัสดุ (Capillary action) แรงอัดของลม (Wind pressure) แรงดึงดูดโลก (Gravity) การกระจาย (Diffusion) ค่าการดูดซับความชื้น (Absorption) ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature different) โดยเฉพาะแรงดูดของผนังอาคารและแรงอัดของลมเป็นสิ่งที่มีผลต่อการผ่านเข้าสู่อาคารของฝนมากที่สุด น้ำฝนในปริมาณมากสามารถผ่านเข้าสู่อาคารได้ในช่วงที่เกิดพายุฝน เนื่องจากมีลมแรง ผนังจึงถูกกระทบจากแรงอัดของลม

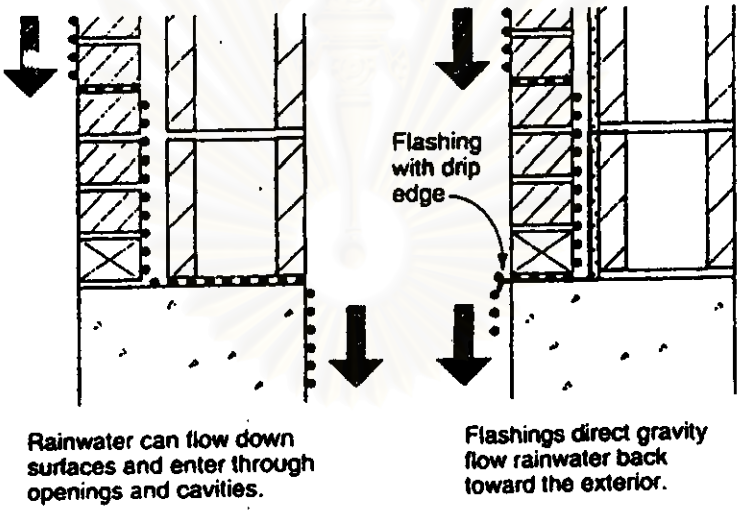
เมื่อฝนตกกระทบพื้นผิวของอาคารภายนอก ผิวผนังที่มีรูเล็ก ๆ จำนวนมาก เช่น ไม้ อิฐมอญ หรืออิฐบล็อก เป็นต้น น้ำฝนจะถูกดูดโดยแรงที่เกิดจากรูบนผิววัสดุ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำและโมเลกุลของวัสดุจะมีแรงดึงเกิดระหว่างกันที่เรียกว่า การดูดซับ (Absorption) การดูดซับความชื้นของวัสดุจะขึ้นอยู่กับความแรงของฝน ถ้าอัตราการดูดซับต่ำน้ำที่เกิดขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มบนพื้นผิวก็จะไหลลงโดยไม่มีการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในวัสดุ และการที่ฝนตกไม่แรงแต่ตกเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการซึมเข้าไปในวัสดุมากกว่าฝนที่ตกแรงแต่ตกไม่นาน เนื่องจากระยะเวลาที่ฝนตก ความชื้นที่ซึมเข้าไปในผนังจะระเหยจนเกิดการสะสมอยู่ในผนังตลอดช่วงเวลาที่ฝนตกจนวัสดุนั้นอิ่มตัว และเกิดความชื้นที่พื้นผิวภายใน

แรงลมเป็นส่วนหนึ่งของการดูดซับน้ำของวัสดุ เมื่อแผ่นฟิล์มของน้ำไหลบนผนังและผ่านรอยแตกที่เกิดขึ้นบนผนัง ความดันของอากาศภายนอกที่มีมากกว่าความดันอากาศภายในและแรงลมจะดันน้ำเข้าไปในรอยแตกและแผ่นฟิล์มก็จะเกิดขึ้นวงจรที่ซ้ำเดิม นอกจากการที่น้ำผ่านเข้ามาทางลักษณะผิวของวัสดุภายนอกแล้ว กรณีที่วัสดุก่อผนัง (Mortar) เกิดรูขึ้นน้ำก็สามารถซึมผ่านเข้ามาได้และการเสียรูปของวัสดุ เช่น การขยายตัวหรือการหดตัว ทำให้เกิดรอยแตกที่น้ำเข้าได้



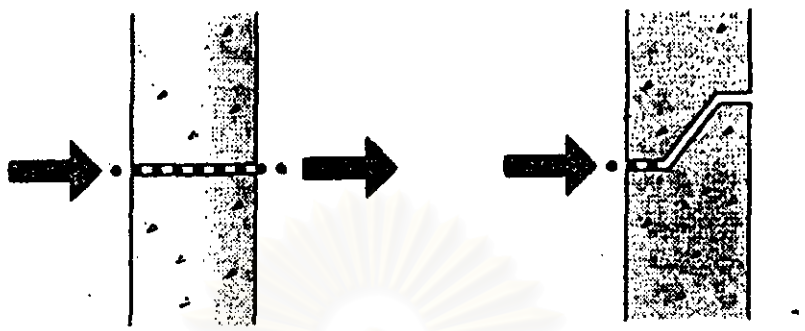
ภาพที่ 2.8 แสดงวิธีการน้ำฝนผ่านผนังอาคารโดยแรงอัดของอากาศ

ที่มา : Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P.20.



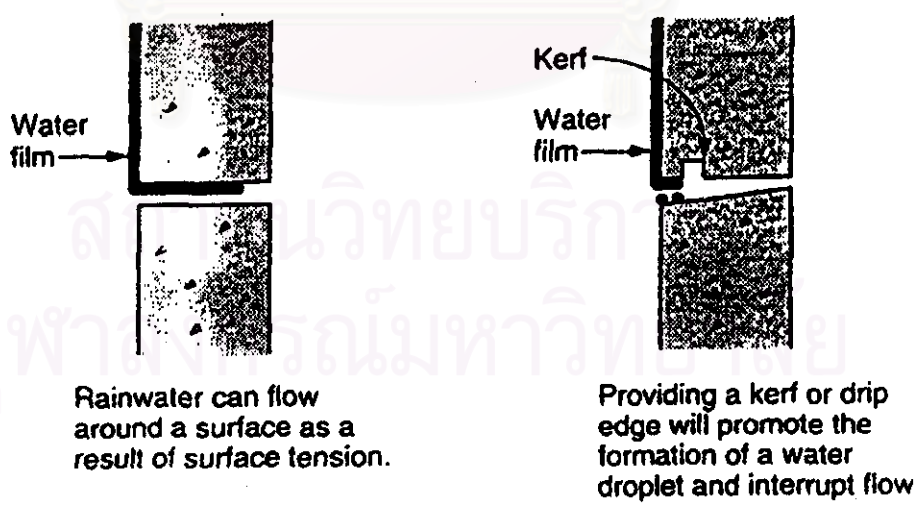
ภาพที่ 2.9 แสดงวิธีการน้ำฝนผ่านผนังอาคารโดย แรงดึงดูดของโลก

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P.21.



ภาพที่ 2.10 แสดงวิธีการน้ำฝนผ่านผนังอาคารโดยการดูดผ่านช่องเล็ก ๆ

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P21.



ภาพที่ 2.11 แสดงวิธีการน้ำฝนผ่านผนังอาคารโดยอาศัยแรงดึงผิว

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P21.

2.4.2. การควบแน่น

อากาศสามารถรับไอน้ำในปริมาณที่จำกัดที่อุณหภูมิหนึ่ง ปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับได้นั้นจะเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์จะเป็น 100% เมื่ออากาศอิ่มตัว และจะเป็นอัตราส่วนของปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นเทียบกับความชื้นที่อากาศสามารถรับได้สูงสุดเมื่ออิ่มตัว เมื่ออากาศที่ยังไม่อิ่มตัวเกิดการเย็นขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้อากาศอิ่มตัว อุณหภูมินี้เรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความเย็นที่เพิ่มเข้าไปจนอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้าง จะก่อให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำส่วนเกินที่อากาศไม่สามารถรับไว้ได้

ตัวอย่างจากตารางที่ 2.1 เช่น อากาศที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีความสามารถรับความชื้นได้ 15 กรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ถ้าอากาศมีไอน้ำอยู่เพียง 12 องศาเซลเซียส แสดงว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าอุณหภูมิลดลงเหลือ 14 องศาเซลเซียส อากาศที่มีปริมาณไอน้ำเท่ากันนี้จะถึงจุดอิ่มตัว และถ้าอุณหภูมิลดต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส ก็จะเกิดการควบแน่น

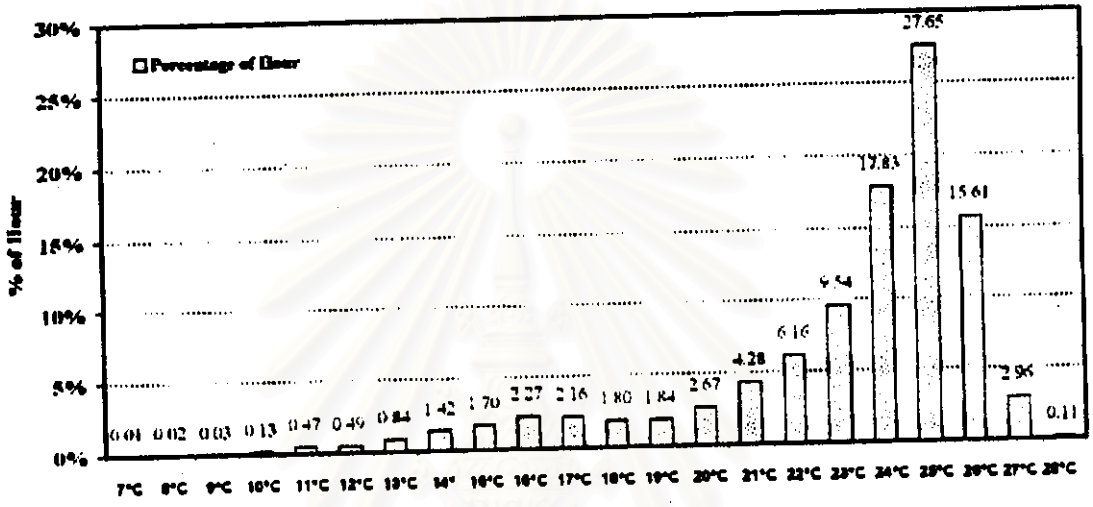
Air temp. (°c)	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Vapour (g/m^3)	6.8	7.2	7.7	8.2	8.8	9.4	10.0	10.7	11.4
Air temp. (°c)	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Vapour (g/m^3)	12.0	12.8	13.6	14.5	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3

ตารางที่ 2.1 แสดงความชื้นสัมบูรณ์เมื่ออากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 5 องศาเซลเซียส ถึง 22 องศาเซลเซียส ที่ระดับความกดอากาศปกติ

ปัจจัยหลักของการเกิดขึ้นและปริมาณการกลั่นตัว คือ อุณหภูมิผิววัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความกดไอน้ำ และไอน้ำที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร ความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำภายในและภายนอกขึ้นอยู่กับการถ่ายเทอากาศ ความกดไอน้ำภายในอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศจะสูงกว่าอาคารที่มีการปรับอากาศและจะลดไอน้ำจากอากาศภายนอกที่จะเข้ามาด้วย

แนวโน้มในการเกิดการควบแน่นของหยดน้ำในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย พบว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง หมายความว่า โอกาสที่จะเกิดการควบแน่น

ของหยดน้ำในผนังอาคารก็จะสูงตามไปด้วย การวิเคราะห์จากข้อมูลจริงของสภาพภูมิอากาศในกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2538 พบว่าการควบแน่นของหยดน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส มีจำนวนชั่วโมงถึง 27.65 เปอร์เซ็นต์ในหนึ่งปี และที่อุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียสมีถึง 18.68 เปอร์เซ็นต์[20]



แผนภูมิที่ 2.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่เกิดจุดน้ำค้าง ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร., บ้านประหยัดพลังงาน, (พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า136

ก) การกลั่นตัวที่พื้นผิว (Surface Condensation)

เมื่ออากาศที่ไม่ถึงจุดอิ่มตัวเคลื่อนตัวมากระทบพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง อากาศส่วนที่สัมผัสกับผิววัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างของมันจะอิ่มตัวและไอน้ำที่อากาศไม่สามารถรับได้อีกต่อไปจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่พื้นผิววัสดุนั้น จากการที่ไอน้ำในอากาศบริเวณที่มีไอน้ำมีการกลั่นตัว ทำให้ความดันอากาศส่วนหนึ่งในบริเวณนั้นต่ำกว่าความดันอากาศเฉลี่ย

---

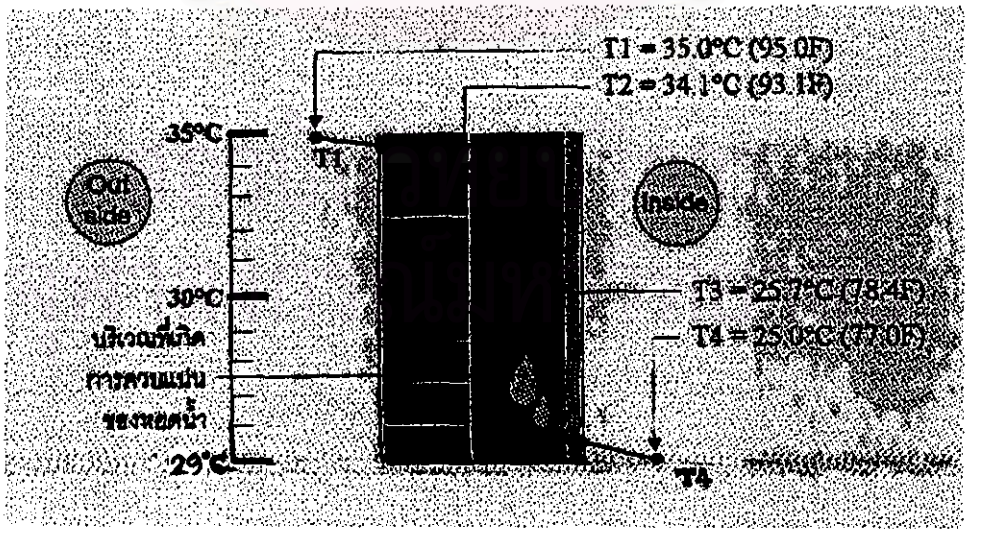
[20] สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร., บ้านประหยัดพลังงาน, (พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า136

ของห้อง ความแตกต่างดังกล่าวจะทำให้มีการเคลื่อนตัวของไอน้ำไปสู่บริเวณที่มีการกลั่นตัว ทำให้มีการไหลเวียนของอากาศ

การกลั่นตัวไม่ได้จำเป็นที่จะต้องเกิดขึ้นในบริเวณที่ไอน้ำถูกสร้างขึ้น แต่จะเกิดในที่ที่มีพื้นผิวอุณหภูมิต่ำที่สุด ห้องน้ำและห้องครัวเป็นห้องที่ไม่สามารถที่จะป้องกันการเกิดการกลั่นตัวได้ เนื่องจากเป็นห้องที่มีไอน้ำเกิดขึ้นมาก แต่ไอน้ำที่เกิดขึ้นในห้องเหล่านี้พยายามที่จะขยายตัวไปสู่บริเวณที่มีไอน้ำน้อยกว่า เนื่องจากไอน้ำที่มีความดันไอน้ำมากกว่าจะทำให้ในอาคารมีความดันไอน้ำเท่ากัน และการกลั่นตัวก็จะเกิดในบริเวณที่มีพื้นผิวอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

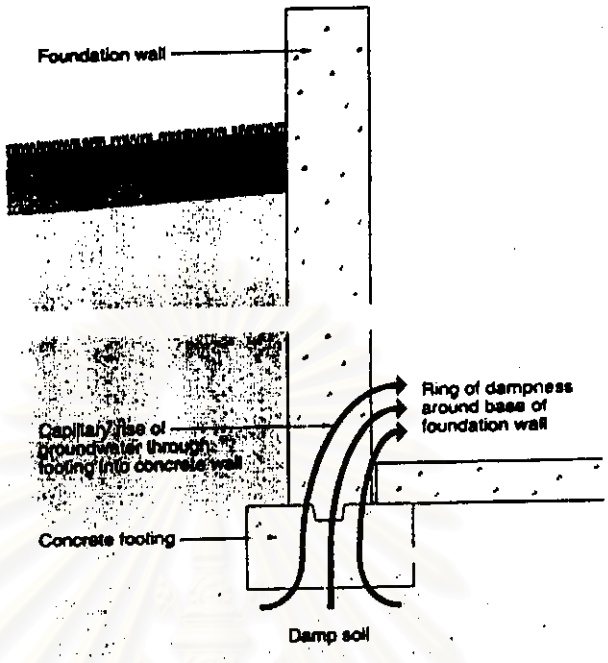
ข) การกลั่นตัวภายในผนัง (Condensation within the wall)

การที่ความชื้นผ่านเข้ามาภายในผนังอาคารอาจจะเป็นความชื้นที่มาจากภายใน ภายนอกอาคาร หรือผนังอาคารโดยตรงจากน้ำฝนหรือน้ำจากแหล่งอื่นๆ ความชื้นสามารถผ่านเข้ามาภายในผนังจากการแพร่ของไอน้ำ การเคลื่อนที่ของอากาศ เมื่อไอน้ำเกิดการสะสมอยู่ภายในผนังและมีการถ่ายเทอุณหภูมิผ่านผนัง เมื่ออากาศภายนอกและภายในมีอุณหภูมิต่างกัน ทำให้การเกิดหยดน้ำในผนังเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศภายในผนังที่มีความชื้นสะสมอยู่ต่ำกว่าจุดน้ำค้าง ซึ่งจุดนี้จะอยู่ที่ช่วงระยะใดระยะหนึ่งภายในช่องอากาศในผนัง การเกิดการกลั่นตัวขึ้นภายในผนังจนเกิดการสะสมของน้ำภายในผนังได้



ภาพที่ 2.12 แสดงการควบแน่นเป็นหยดน้ำในผนังของผนังที่มีช่องว่างอากาศ

ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร., บ้านประหยัดพลังงาน, (พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า137



ภาพที่ 2.13 แสดงความชื้นผ่านเข้าสู่อาคารทางฐานราก

ที่มา: Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Buildings, (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), P26.

2.4.3. ความชื้นในดิน

ความชื้นและน้ำใต้ดินสามารถผ่านพื้นและผนังของส่วนที่อยู่ใต้ดินของอาคารเข้ามา จากการดูดซับ (Capillary suction) ผ่านผนังฐานรากที่เป็นคอนกรีต หรือเป็นอิฐหรือพื้นคอนกรีต เมื่อผนังของฐานรากสัมผัสโดยตรงกับแผ่นรองด้านบนของผนังฐานราก ผ่านรูเล็กๆในโครงสร้างที่ไม่มีการป้องกัน และความชื้นจะแพร่ขึ้นไปสู่โครงสร้างที่ติดกัน และนอกจากนี้แรงดันน้ำใต้ดินเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความชื้นในอาคาร

2.4.4. ความชื้นจากแหล่งกำเนิดภายในอาคาร

ภายในอาคารความชื้นเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการใช้งานภายในอาคารโดยการ หายใจ เหงื่อออก การทำอาหาร การซักรีด และกิจกรรมประจำวันอื่นๆ ของผู้ใช้อาคาร ในขบวนการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ภายในอาคารก็สร้างความชื้นขึ้นด้วย อัตราการสร้างไอน้ำจากกิจกรรมต่างๆเหล่านี้ไม่คงที่

2.4.5 การควบคุมความชื้นภายในอาคาร

ก) การเพิ่มอุณหภูมิของพื้นผิวภายในที่มีการกลั่นตัว

ในส่วนที่มีการทำความเย็น ส่วนที่จะเกิดการกลั่นตัวขึ้นคือส่วนที่เป็นผนังภายใน ถ้าอุณหภูมิผนังสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศภายนอก ก็จะไม่เกิดการกลั่นตัว การเพิ่มอุณหภูมิของผนังจะเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการควบแน่นที่ผิวผนังได้

ข) การนำความชื้นออกโดยการแพร่ไอน้ำ

การเอาความชื้นออกจากกรอบอาคาร ถ้าอัตราของความชื้นที่ผ่านผนังภายใน และวัสดุผิวผนังมากกว่าอัตราของความชื้นที่เข้ามาอยู่ในช่องผนัง ความชื้นก็จะไม่เกิดการสะสม ความชื้นที่ผ่านเข้าไปภายในอาคารจะถูกกำจัดออกโดยการรีดความชื้นของระบบปรับอากาศ การป้องกันความชื้นวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของแผ่นผนังด้านในที่จะให้ความชื้นผ่าน และขึ้นกับอัตราความชื้นที่เข้ามาในอาคาร แต่การที่ความชื้นเข้าไปภายในอาคารก็จะเป็นการเพิ่มภาระให้ระบบปรับอากาศ

ค) การระบายอากาศที่บริเวณหลังคา

ปัญหาของความชื้นที่สะสมอยู่ภายใต้หลังคา เมื่อเกิดการกลั่นตัวจะทำความเสียหายให้กับฝ้าเพดาน และสร้างปัญหาเรื่องการเกิดเชื้อรา กลิ่นอับ การป้องกันความชื้นที่เกิดขึ้นทำได้โดยการใช้การระบายอากาศในส่วนพื้นที่ใต้หลังคาซึ่งเป็นการระบายความร้อนที่ช่วยลดภาระการทำความเย็นให้กับระบบปรับอากาศ แต่การนำอากาศเข้าไปในพื้นที่ใต้หลังคานั้นความชื้นจะถูกพาเข้าไป

ด้วยและจะเกิดการสะสมความชื้น เนื่องจากอัตราความชื้นที่เข้าไปมีมากกว่าอัตราความชื้นที่จะผ่านออกมา

ความชื้นที่สะสมอยู่ในส่วนได้หลังคาจากการที่มีลมพัดผ่าน การเกิดการควบแน่นขึ้นได้ถ้าอากาศที่สัมผัสกับผิวฝ้าเพดานที่มีความเย็นที่ได้รับจากอากาศภายในอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย