บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยต้องมีพื้นฐานความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยเรื่องต่างๆ ต่อไปนี้

2.1 กระบวนการทางไซโครเมตริกกับการปรับอากาศ

2.1.1 ไซโครเมตริก (Psychrometric)

ไซโครเมตริก(Psychrometric) เป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของอากาศในการปรับอากาศ เกี่ยวกับการวัดหาค่าคุณสมบัติของอากาศภายนอกและภายในห้องปรับอากาศ และใช้ในการกำหนดสภาพของอากาศที่จะเหมาะสมที่สุดในเรื่องของการปรับอากาศ ทั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อนำการอ่านไซโครเมตริก มาประยุกต์ใช้ให้เกิดความเข้าใจในระบบ ตลอดจนเข้าใจการทำงานทางด้านอุณหภูมิของการทำความเย็น สำหรับคำนิยามต่างๆ ที่ปรากฏในแผนภูมิไซโครเมตริก (Skeletion Psychrometric Chart) มีความหมายดังนี้

1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature ; D.B.)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง หมายถึง ค่าอุณหภูมิของวัตถุที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปหรือเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยปกติจะต้องควบคุมไม่ให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อนต่างๆ เช่น ดวงอาทิตย์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับความร้อนระหว่างตัวรับรู้และแหล่งกำเนิดความรู้

2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature ; W.B.)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก หมายถึง ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถบันทึกได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์หรือเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดอื่นๆซึ่งตัวรับรู้ (Sensor) ถูกห่อหุ้มด้วยผ้าหรือสำลีชุบน้ำและมีความเร็วลมหรืออากาศพัดผ่านจนทำให้เกิดการระเหยของน้ำในบริเวณนั้น อันจะเป็นผลทำให้อุณหภูมิจากกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์หรือตัวรับรู้นั้นเย็นลงจนถึงจุดคงที่และอ่านค่าอุณหภูมิที่อ่านได้คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก

3. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature ; D.P.)[1]

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนจุดกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของไอน้ำในอากาศ และกำลังดันของตัวมันเอง ซึ่งกล่าวได้ว่า *อุณหภูมิจุดน้ำค้าง*นี้เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีอุณหภูมิลดลงแต่ปริมาณไอน้ำในอากาศยังคงเท่าเดิม และมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ณ ขณะนั้นเป็นสภาวะที่อากาศอิ่มตัว คือ ไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มขึ้นได้อีก หากมีปริมาณไอน้ำเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ สภาวะนี้เรียกว่า *อุณหภูมิจุดน้ำค้าง* ซึ่งเกิดขึ้นได้ในกรณีที่พื้นผิวของวัสดุใดๆ มีอุณหภูมิพื้นผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ จนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะทำให้เกิด *หยดน้ำ* บนพื้นผิววัสดุนั้น

เมื่อจำนวนไอน้ำในอากาศเพิ่มขึ้น กำลังดันของไอน้ำในอากาศจะเพิ่มขึ้นและจุดน้ำค้างจะสูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าลดจำนวนไอน้ำในอากาศให้น้อยลง กำลังดันจะลดลง จุดน้ำค้างจะลดลงต่ำลงไปด้วย

4. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity ;R.H.)

ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณไอน้ำมากที่สุดที่อากาศจะสามารถอุ้มไว้ได้

5. ความชื้น (Humidity of Ratio)

ความชื้นในอากาศ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการปรับอากาศ ถ้าในอากาศมีความชื้นสูง การกำหนดขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้จะต้องใหญ่กว่าเครื่องปรับที่ใช้ในบริเวณที่มีความชื้นต่ำกว่าสำหรับห้องที่มีขนาดเท่ากัน ทั้งนี้เพราะเครื่องปรับอากาศนั้นจะต้องเพิ่มขนาดให้ใหญ่ขึ้น เพื่อใช้ในการทำให้ไอน้ำในอากาศในห้องปรับอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ เกาะตัวอยู่ในที่ผิวของครีบและคอยล์เย็น เพื่อลดปริมาณความชื้นของอากาศภายในห้องให้น้อยลงอยู่ในจุดที่พอเหมาะ คือความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการปรับอากาศนอกจากจะทำให้อากาศภายในลดลงแล้ว ยังต้องคอยควบคุมความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์ที่พอเหมาะเพื่อให้ความสบายของผู้อยู่อาศัยภายในห้องปรับอากาศนั้น ๆ ด้วย

---

[1] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residentials and Small Comercial Buildings (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), p. 6.

6. เอนทัลปี (Enthalpy ; Enthalpy of saturation)

เอนทัลปีเป็นคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่บ่งบอกระดับพลังงานที่ผสมผสานระหว่างความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ความร้อนแฝง (Latent Heat) และงานไหล (Flow Work) ซึ่งเป็นค่า ณ สภาวะใดๆ

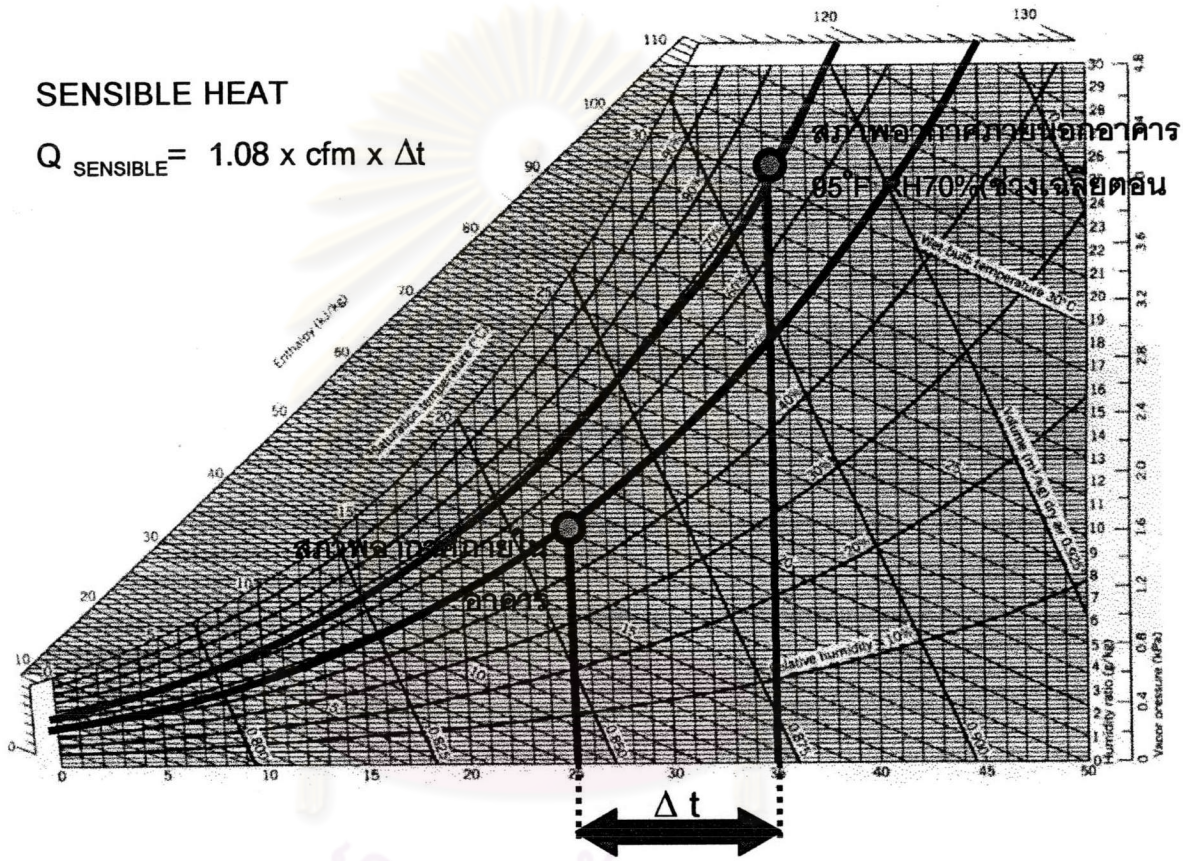
7. Enthalpy Deviation

เป็นค่าเอนทัลปีในสภาวะที่อากาศไม่อยู่ในสถานะอิ่มตัว ซึ่งจะต้องแก้ค่าความถูกต้องด้วยค่าปรับแก้เอนทัลปี (Enthalpy Deviation) ซึ่งมีหน่วยเป็น *บีทียูต่อปอนด์ของอากาศแห้ง* เห็นได้ว่าเราจะใช้ค่าปรับแก้เอนทัลปี เมื่อต้องการค่าที่แน่นอนสำหรับการปรับอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

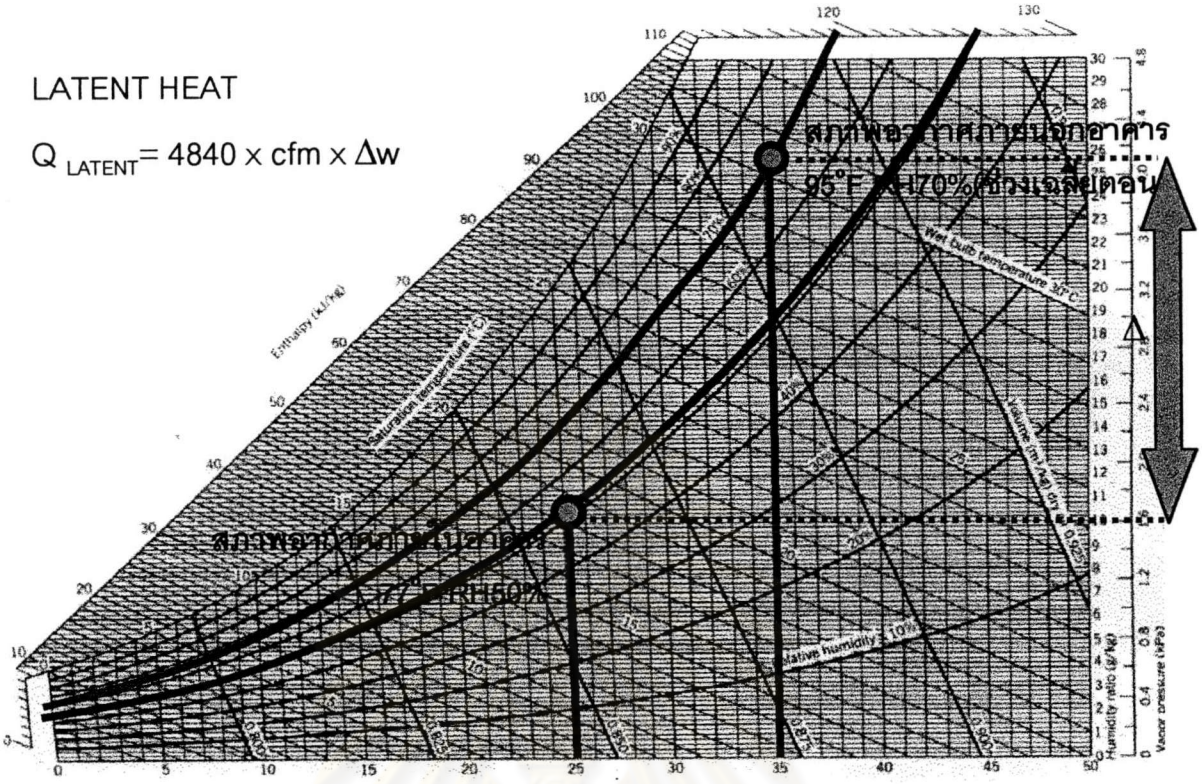
2.1.2 ขยายความเข้าใจเรื่องเอนทัลปี (Enthalpy)

เอนทัลปี เป็นคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่บ่งบอกระดับพลังงานที่ผสมผสานระหว่าง ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ความร้อนแฝง (Latent Heat) และงานไหล(Flow Work)

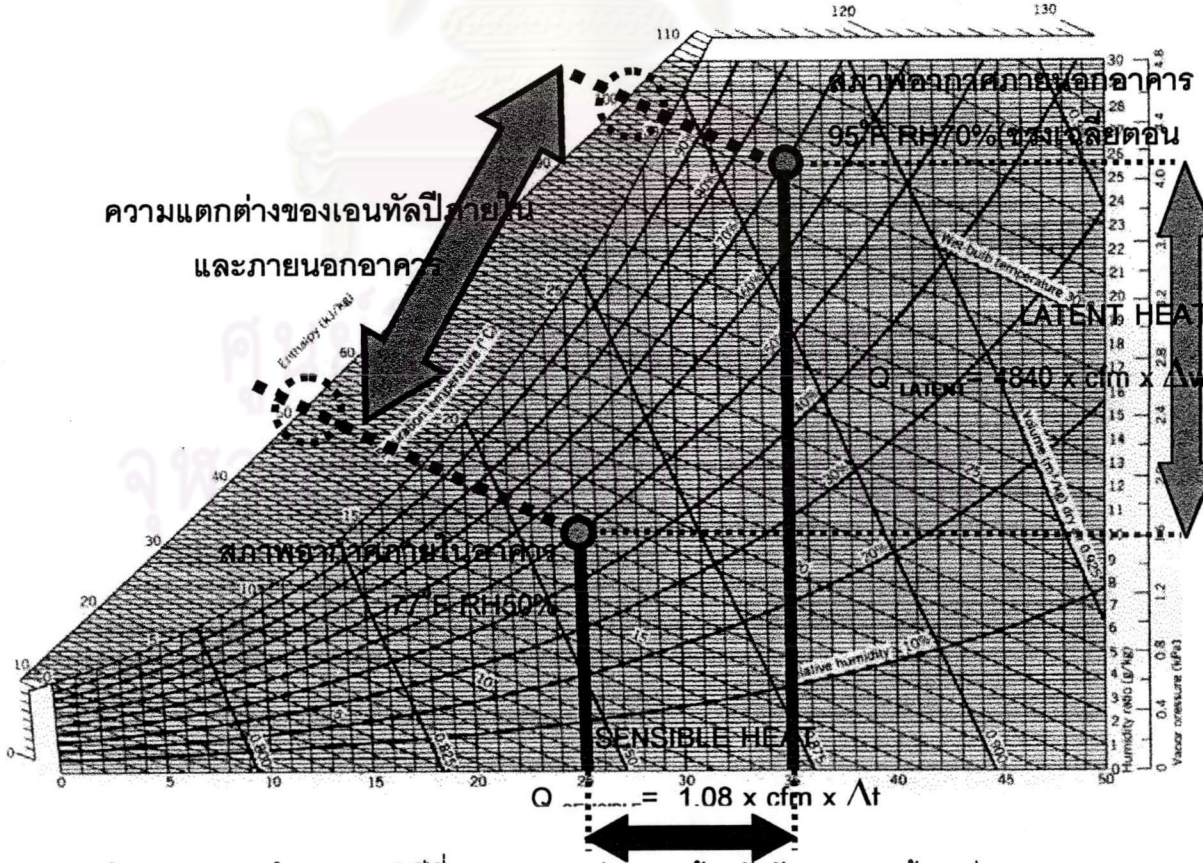


แผนภูมิ 2.1 แสดงการคำนวณความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 2.2 แสดงการคำนวณความร้อนแฝง



แผนภูมิ 2.3 แสดงการคำนวณเอนทัลปีที่ผสมผสานระหว่าง ความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง

เอนทัลปี (h) อากาศชื้น

เอนทัลปีของอากาศและน้ำสามารถหาได้จากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ และตารางไอน้ำ แต่ในกรณีที่ไม่ต้องการใช้ตาราง สามารถหาค่าได้จากสูตรที่มาจากหลักการ ดังนี้

1) เอนทัลปีของน้ำ (h_t)

มีสมการในการคำนวณ คือ

$$h_t = 4.186\ t \quad ; \text{หน่วย kJ / kg}$$

2) เอนทัลปีของไอน้ำ (h_v)

มีสมการในการคำนวณ คือ

$$h_v = 2501 + 1.86\ t \quad ; \text{หน่วย kJ / kg}$$

3) เอนทัลปีของอากาศ (h_a)

มีสมการในการคำนวณ คือ

$$h_a = t \quad ; \text{หน่วย kJ / kg}$$

4) เอนทัลปีของอากาศชื้น (อากาศ + ไอน้ำ) (h)

มีสมการในการคำนวณ คือ

$$h = h_a + w * h_v$$

หน่วยกิโลจูลต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง

โดยมีการแทนค่าเป็น t = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

w = อัตราส่วนความชื้นกิโลจูลต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง

แทนค่าจากสมการของ เอนทัลปีของไอน้ำ และเอนทัลปีของอากาศ

$$h = t + w\,(2501 + 1.86\ t) \quad ; \text{หน่วย kJ / kg}_{da}$$

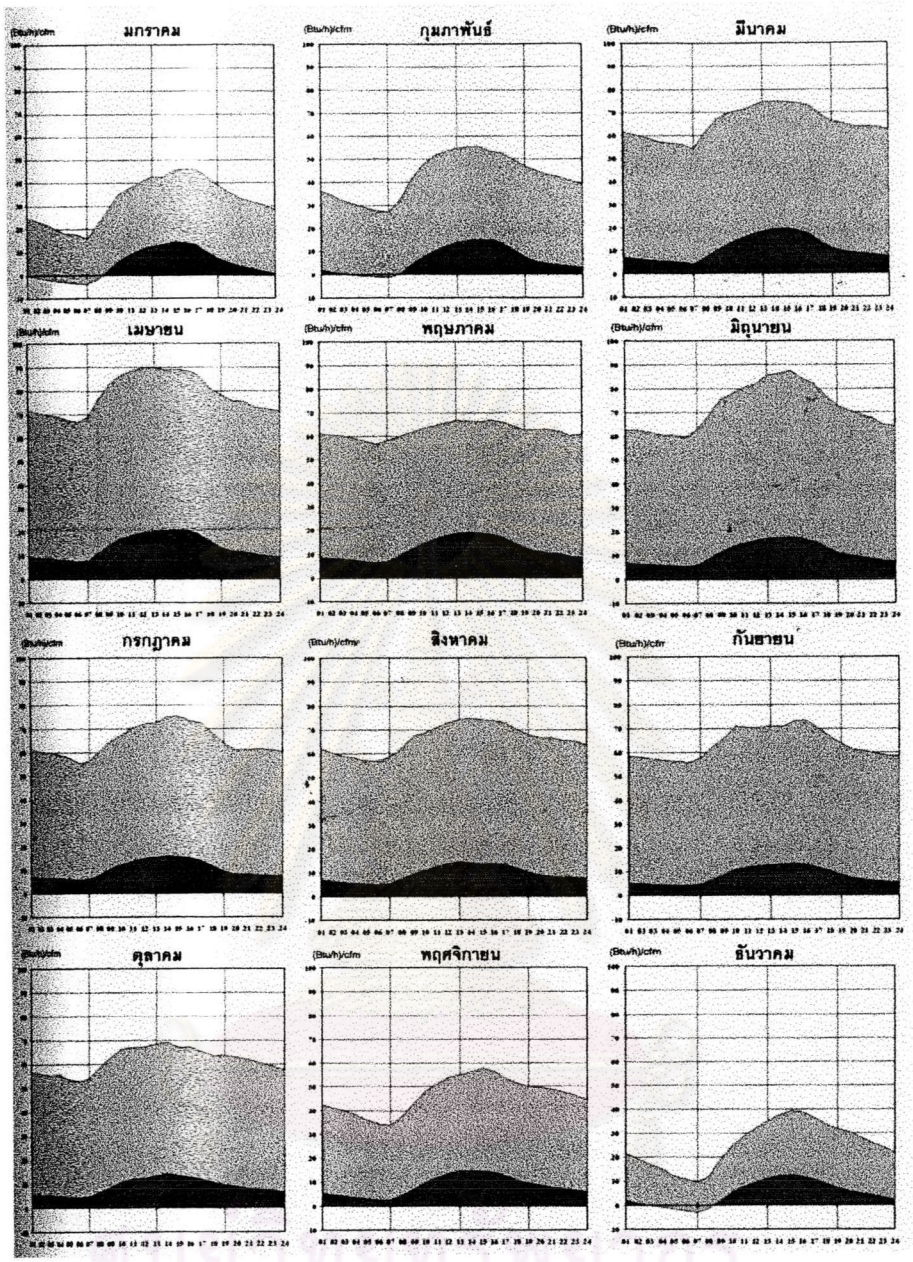
หากพิจารณาผลต่างของเอนทัลปีของอากาศชื้นของ 2 สภาวะ คือ *เอนทัลปีของไอน้ำ* และ*เอนทัลปีของอากาศ* จะได้

$$h_2 - h_1 = (1 + 1.86\ w_m)(t_2 + t_1) + (2501 + 1.86\ t_m)(w_2 + w_1) \ ;$$

Sensible Heat Latent Heat

โดยมีการแทนค่าเป็น $W_m = (w_1 + w_2) / 2$

$t_m = (t_1 + t_2) / 2$



แผนภูมิ[2] **2.4** แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลด อุณหภูมิให้กับอากาศ

---

[2] สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า (กรุงเทพ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า 59.

2.1.3 รูปแบบทางไซโครเมตริกสำหรับกระบวนการทำความร้อนและความเย็น

ในกระบวนการปรับอากาศ อากาศจะถูกทำให้ร้อนหรือเย็น และไอน้ำในอากาศจะเพิ่มขึ้นหรือถ่ายเทออก เพื่อให้เข้าใจอย่างแจ่มชัดในแต่ละกระบวนการไซโครเมตริก จำเป็นต้องทราบแบบของการเปลี่ยนแปลงในการทำความร้อนและทำความเย็นที่สามารถจะแปลจากแผนภูมิไซโครเมตริก ได้แก่ ปริมาณความร้อนแฝงในการทำความร้อนและความเย็น และความร้อนสัมผัสในการทำความร้อนและความเย็น

1. ความร้อนแฝง (Latent Heat)

ความร้อนแฝงแบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง คือ *ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ* และ *ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย*

1.1 *ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ* เป็นความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนของเหลวให้กลายเป็นไอ เช่น ต้มน้ำจนถึงจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส ถ้าต้มต่อไปอุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่น้ำจะเดือดกลายเป็นไอ

1.2 *ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย* คือ ความร้อนที่ต้องการถ่ายออกในการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นของแข็ง ตัวอย่างเช่น น้ำทำให้เย็นถึงจุดเยือกแข็ง 0 องศาเซลเซียส ถ้าถ่ายเทความร้อนออกอีก น้ำจะกลายเป็นน้ำแข็ง

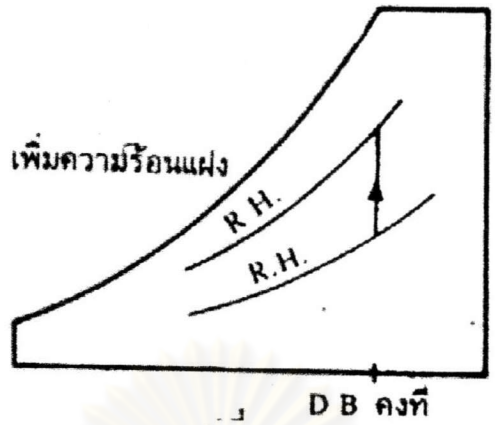
<u>ความร้อนแฝงประยุกต์ใช้กับอากาศ</u> [3]

เมื่อนำหลักของความร้อนแฝงประยุกต์ใช้กับอากาศ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับจำนวนไอน้ำในอากาศ เมื่อเพิ่มความร้อนแฝง จำนวนไอน้ำในอากาศจะเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิของอากาศไม่เปลี่ยน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

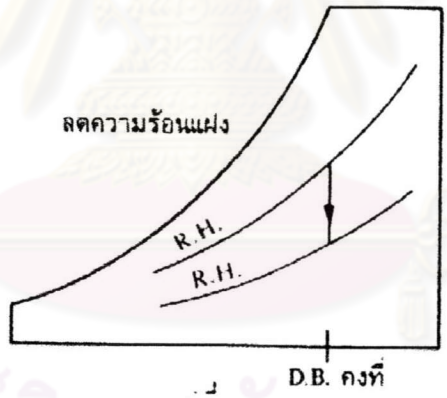
[3] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, <u>เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ</u> (กรุงเทพ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2536), หน้า 69.



รูปภาพ 2.1

รูปภาพ[4] 2.1 เป็นสภาพที่เกิดการระเหย แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ เพิ่มความร้อนแฝงให้กับอากาศ

ผลที่ได้นี้ แสดงบนแผนภูมิไซโครเมตริกเป็นเส้นตรงของเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง แสดงว่าความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อถ่ายเทความร้อนแฝงออก จำนวนไอน้ำในอากาศลดลง แต่อุณหภูมิของอากาศจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง



รูปภาพ 2.2

รูปภาพ[5] 2.2 เป็นสภาพที่เกิดการกลั่นตัว แต่ไม่เปลี่ยนอุณหภูมิอากาศถ่ายเทความร้อนแฝง

ผลที่ได้นี้ แสดงบนแผนภูมิไซโครเมตริกเป็นเส้นตรงบนเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง แสดงการลดของความชื้นสัมพัทธ์

[4-5] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2536), หน้า 102.

2. **ความร้อนสัมผัสกับการทำความร้อนและความเย็น** (Sensible Heating and cooling)

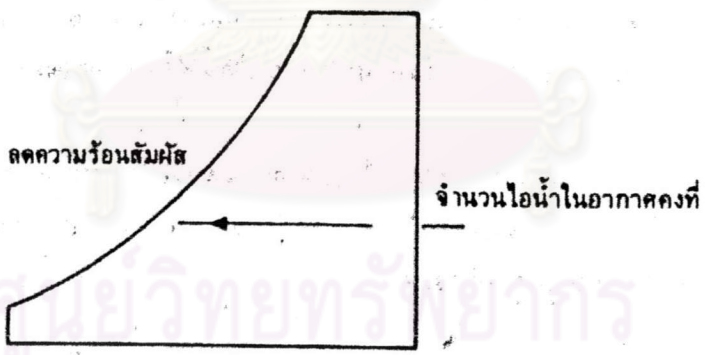
ความร้อนสัมผัสเป็นความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่จำนวนไอน้ำในอากาศไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากเป็นการทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงสามารถรับรู้ได้จากการสัมผัส

ความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นเป็น*ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)* และความร้อนที่ถ่ายเทออกทำให้อุณหภูมิของน้ำลดลงก็เรียกว่าเป็น*ความเย็นสัมผัส (Sensible cooling)*

<u>ความร้อนสัมผัสประยุกต์ใช้กับอากาศ</u>

รูปภาพ 2.3

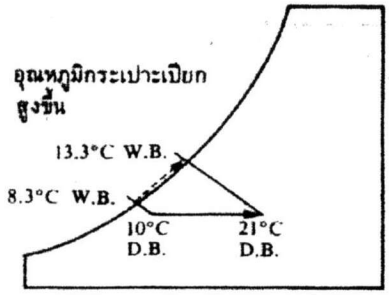
รูปภาพ[6] 2.3 เมื่อเพิ่มปริมาณความร้อนสัมผัส อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนไอน้ำในอากาศ

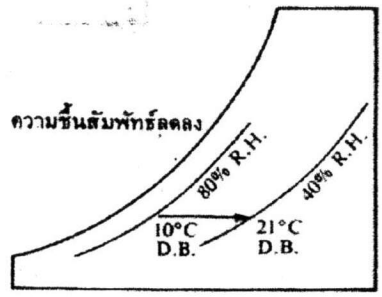


รูปภาพ 2.4

รูปภาพ[7] 2.4 เมื่อลดปริมาณความร้อนสัมผัสออกจากอากาศ อุณหภูมิของอากาศจะลดลงแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนไอน้ำในอากาศ

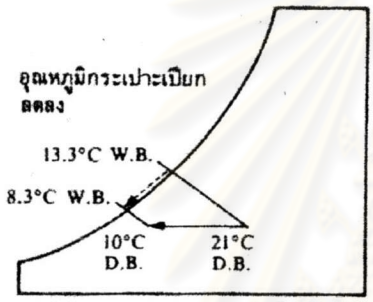
[6-7] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, <u>เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ</u> (กรุงเทพ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2536), หน้า 115.

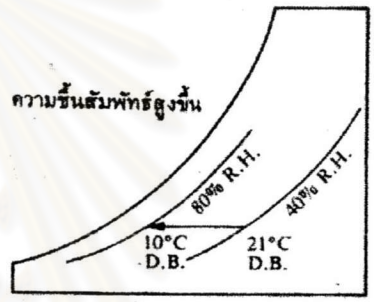




รูปภาพ 2.5 **รูปภาพ 2.6**

รูปภาพ[8] **2.5, 2.6** แสดงว่าอะไรเกิดขึ้นกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างความร้อนสัมผัสหรือกระบวนการทำความเย็น





รูปภาพ 2.7 **รูปภาพ 2.8**

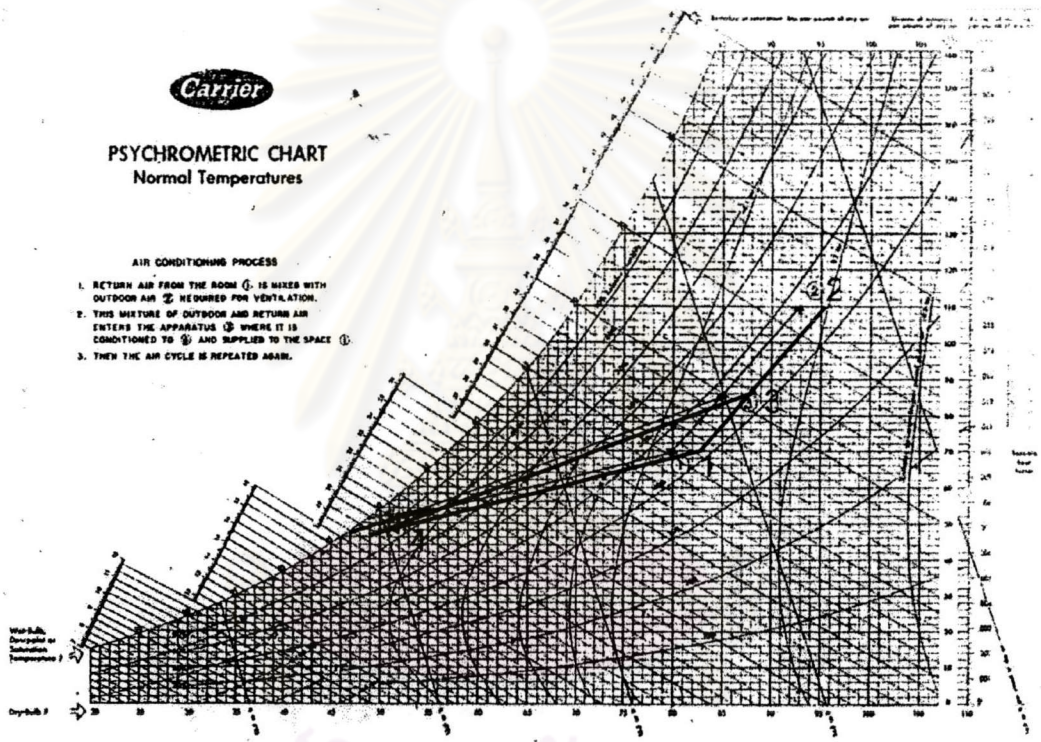
รูปภาพ[9] **2.7** แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเพิ่มปริมาณความร้อนสัมผัสในอากาศ

รูปภาพ[10] **2.8** แสดงเมื่อมีการทำความเย็น อุณหภูมิกระเปาะแห้งจะลดลงจาก 21 องศาเซลเซียส เป็น 10 องศาเซลเซียส และจุดน้ำค้างคงที่ที่ 7.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิกระเปาะเปียกลดลงจาก 13.3 องศาเซลเซียส เป็น 8.3 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มจาก 40 เปอร์เซ็นต์ เป็น 80 เปอร์เซ็นต์

ในกระบวนการปรับอากาศซึ่งความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัสถูกเพิ่มเข้าในเวลาเดียวกัน เรียกว่า ***เป็นกระบวนการทำความร้อนและเพิ่มความชื้น*** *(Heating and humidifying process)* เกิดขึ้นบ่อยในการปรับอากาศสำหรับฤดูหนาวซึ่งอากาศหนาวกว่าและแห้งกว่า ตัวอย่างเช่น การติดตั้งเครื่องปรับอากาศสำหรับที่อยู่อาศัยต้องการความร้อนสัมผัสจากแหล่งต่างๆ และความร้อนแฝงจากระบบการระเหยตัวของน้ำ เพื่อรักษาอากาศให้อยู่ในระดับของอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม

[8-10] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2536), หน้า 164.

กระบวนการปรับอากาศใน *"รูปแผนภูมิแสดงกระบวนการปรับสภาวะอากาศของไซโครเมตริก"* จะพบว่าอากาศภายนอกที่จุด 2 จะผสมกับลมย้อนกลับจากห้องที่จุด 1 และผ่านเข้าเครื่องทำความเย็นที่จุด 3 หลังจากอากาศเคลื่อนที่ผ่านเครื่องทำความเย็นนี้แล้วจะถูกทำให้เย็นตัวลงเป็นไปตามเส้น 3-4 จากนั้นจึงส่งออกมายังบริเวณปรับสภาวะอากาศที่จุด 4 แล้วอากาศที่ถูกส่งออกมาที่จุด 4 นี้จะไปรับความร้อนมาจากห้อง ทำให้อุณหภูมิของอากาศค่อย ๆ สูงขึ้นเป็นไปตามเส้น 4-1 จนกระทั่งถึงจุดที่ 1 ซึ่งเป็นจุดที่ลมกลับจากห้อง ต่อจากนั้นกระบวนการดังกล่าวจะกลับมาซ้ำที่เดิม วนไปวนมาเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ

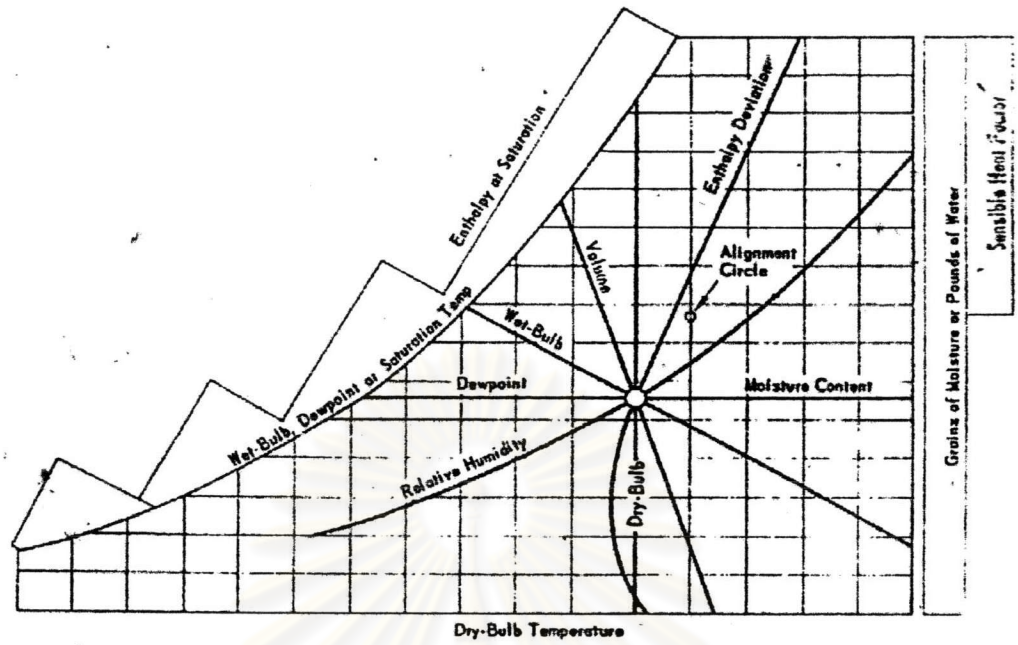


รูป 11.2 Typical Air Conditioning Process Traced on a Standard Psycrometric Chart

แผนภูมิ[11] 2.5 แสดงกระบวนการปรับสภาวะอากาศของไซโครเมตริก

(Typical Air Conditioning Process Traced on a Standard Psychrometric Chart)

[11]สมศักดิ์ สุโมตยกุล, เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2536), หน้า 119.



แผนภูมิ[12] 2.6 แสดงเทอมต่าง ๆ ในแผนภูมิไซโครเมตริก (Skeletion Psychrometric Chart)

แผนภูมิไซโครเมตริกสามารถบอกสถานะของอากาศหลายอย่าง เป็นกราฟหรือแผนภูมิที่ใช้สำหรับพลอต หรือลากเส้นจากค่าอ้างอิงต่าง ๆ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ หรือต้องการคำนวณหาจากคุณสมบัติของอากาศ และไอน้ำในอากาศ และจะสังเกตได้ว่า "อุณหภูมิกระเปาะแห้ง" "อุณหภูมิกระเปาะเปียก" "อุณหภูมิจุดน้ำค้าง" และ "ความชื้นสัมพัทธ์" จะมีความสัมพันธ์กัน คือ หากทราบค่า 2 ค่าใดก็ตาม จะทำให้สามารถหาค่าอื่นๆ ได้ แต่ในกรณีของ *อากาศอิ่มตัว* "อุณหภูมิกระเปาะแห้ง" "อุณหภูมิกระเปาะเปียก" และ "อุณหภูมิจุดน้ำค้าง" จะมีค่าเท่ากันหมด

<u>การประยุกต์ทางปฏิบัติของเทอมไซโครเมตริก</u>

การใช้ความรู้เรื่องแผนภูมิไซโครเมตริก ทำให้สามารถหาได้ว่าจะต้องทำอย่างไรกับอากาศภายนอกก่อนที่จะจ่ายเข้าไปในห้อง เพื่อที่จะให้ส่วนผสมของความชื้นและอุณหภูมิมีความเหมาะสมพอดี

---

[12] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, <u>เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ</u> (กรุงเทพ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2536), หน้า 117.

การประยุกต์ทางปฏิบัติของเทอมจุดน้ำค้าง

จุดน้ำค้าง ให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง *ความชื้นสัมพัทธ์* และ *อุณหภูมิกระเปาะแห้ง* ในการประยุกต์เกี่ยวกับความเหมาะสมภายในห้องปรับอากาศ จะเห็นว่าจุดน้ำค้างมีบทบาทสำคัญในการสร้างและคงไว้ซึ่งสภาพภายในห้องปรับอากาศ ซึ่งป้องกันการกลั่นตัวบนผิวที่เย็น เช่น หน้าต่าง

การประยุกต์ทางปฏิบัติของเทอมกระเปาะเปียก

อุณหภูมิกระเปาะเปียก ในความสัมพันธ์กับแผนภูมิไซโครเมตริกใช้หา *จำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ* ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วถึงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกและองค์ประกอบของน้ำ อุณหภูมิกระเปาะเปียกหาได้ง่ายจากการอ่านโดยตรงที่เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก

สรุปแผนภูมิไซโครเมตริกที่สามารถนำมาใช้ในงานวิจัย

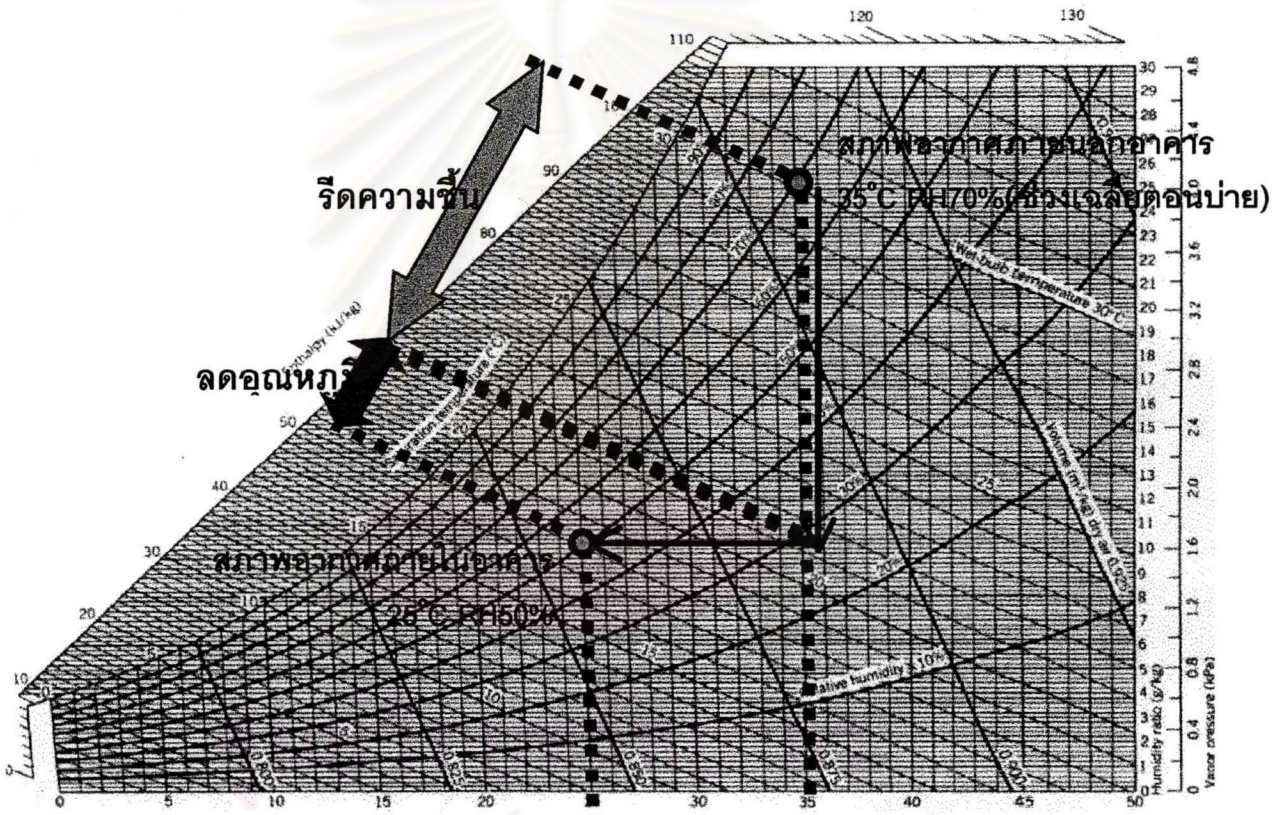
- แผนภูมิไซโครเมตริกสามารถจะใช้หาการปฏิบัติที่ต้องทำกับอากาศข้างนอกก่อนที่จะนำเข้าไปในห้อง
- แผนภูมิสามารถแสดงถึง *การทำความร้อนในฤดูหนาว* ด้วยการเพิ่มความร้อนและความชื้น และ *การทำความเย็นในฤดูร้อน* ด้วยการลดอุณหภูมิและความชื้น
- ความชื้นสัมพัทธ์ นอกจากใช้ในการอธิบายถึงสภาวะที่เหมาะสมแล้ว ยังสามารถใช้ในการคำนวณถึงสถานะที่จะเกิดการกลั่นตัวบนผิวที่เย็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 ทฤษฎีการปรับอากาศ

การปรับอากาศ[13] คือ การกระทำต่ออากาศเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศเป็นไปตามความต้องการของที่นั้นๆ

การปรับอากาศให้กับอาคารทั่วไปในเมืองไทย เครื่องปรับอากาศจะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ลดอุณหภูมิ และลดความชื้นให้กับอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปการคำนวณมักยึดถือสภาวะภายในอาคารที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์เป็นสภาวะปรับอากาศภายในอาคาร



แผนภูมิ 2.7 แสดงการทำงานของเครื่องปรับอากาศในการลดอุณหภูมิและรีดความชื้น

และต้องควบคุมความบริสุทธิ์และการเคลื่อนไหวของอากาศด้วย ภาระการทำความเย็นมักจะแบ่งเป็นประเภทตามสถานที่ที่ได้รับความร้อน คือภาระความร้อนห้อง (room heat load) และภาระความร้อนอุปกรณ์ (apparatus heat load) โดยทั่วไป

---

[13] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ (กรุงเทพ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2536), หน้า 261.

นอกจากนี้ การปรับอากาศมีความหมายรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศให้มีอุณหภูมิพอเหมาะให้คนที่อยู่ข้างในมีความรู้สึกสบาย ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ การระบายอากาศเสียทิ้ง รวมทั้งการหมุนเวียนของอากาศบริสุทธิ์ และการกรองอากาศที่สกปรกให้สะอาด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่เป็นผลพลอยได้คือการขจัดสิ่งรบกวนต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง ควันบุหรี่ กลิ่นและเสียงให้ลดน้อยลง ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. ปรับและควบคุมอุณหภูมิ

การปรับอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศให้อยู่ในช่วงที่คนเรารู้สึกสบายเป็นสิ่งสำคัญมาก โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 29 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่คนรู้สึกสบายควรอยู่ระหว่าง 24-26 องศาเซลเซียส

2. ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อความสบายของมนุษย์เรามากพอๆ กับอุณหภูมิ เช่น ในฤดูหนาวบางวันซึ่งมีอุณหภูมิสูงเท่าๆ กับในฤดูร้อน (29 องศาเซลเซียส) เราก็ยังรู้สึกว่าในฤดูหนาวเย็นสบายกว่าในฤดูร้อน เหงื่อแห้งง่ายไม่เหนียวตัว เพราะในฤดูหนาวอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เหงื่อที่ผิวหนังระเหยได้ง่ายกว่าในฤดูร้อนซึ่งมีอากาศชื้น ความชื้นสัมพัทธ์สูง เหงื่อที่ผิวหนังระเหยตัวได้ยาก หรือในฤดูหนาวบางวันซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่คนเรากำลังสบาย (24-26 องศาเซลเซียส) แต่เป็นวันที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมาก การระเหยตัวของน้ำในร่างกายที่ผิวหนังหรือที่ริมฝีปากมากเกินไป ทำให้ผิวหนังแห้งหรือริมฝีปากแตกได้ จึงรู้สึกไม่สบาย โดยทั่วไปความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับมนุษย์ที่อยู่ได้สบายควรมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ค่าของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อาจจะต้องลดมากกว่านี้เพื่อให้รู้สึกสบาย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุโดยรอบผู้อยู่อาศัยมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในห้องมากกกว่าปกติ และมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวกายของคนด้วย โดยจะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนมาที่ตัวคน จึงทำให้ต้องมีลดอุณหภูมิลงไปมากกว่าค่าที่กำหนด ในลักษณะของการเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวนี้ เรียกว่า *ความร้อนจากการแผ่รังสี* (Mean Radiant Temperature; MRT)

3. ระบายอากาศเสียทิ้ง

แม้ว่าในห้องปรับอากาศจะมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงที่พอเหมาะ แต่ถ้าอากาศภายในห้องอับทึบและไม่บริสุทธิ์ ย่อมทำให้ผู้อาศัยอยู่ข้างในรู้สึกอึดอัด และไม่สุขสบาย ดังนั้น การปรับอากาศจึงต้องคำนึงถึงการระบายอากาศเสียออกไปด้วย

4. การหมุนเวียนของอากาศบริสุทธิ์

การหมุนเวียนของอากาศบริสุทธิ์ภายในห้องปรับอากาศต้องคำนึงถึงความเร็วของลม เพราะถึงแม้ว่าจะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศได้พอเหมาะแล้ว แต่ถ้าลมส่งพัดหมุนเวียนแรงเกินไป และปะทะส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายโดยตรงตลอดเวลาแล้ว จะทำให้ผู้อยู่ในห้องมีความรู้สึกไม่สบายได้

5. การกำจัดฝุ่นละออง ควันบุหรี่ กลิ่น และเสียง

เนื่องจากห้องปรับอากาศเป็นห้องที่ปิดมิดชิด การปรับอากาศและระบายอากาศที่ดีเป็นการขจัดสิ่งรบกวนต่างๆ ได้ เช่น ฝุ่นละออง ควัน กลิ่นและเสียงอึกทึกจากภายนอกให้ลดลง

2.1.5 การคำนวณและคาดคะเนภาระความร้อน (Heat Load Calculation and Estimation)

ในการคำนวณภาระความร้อนสูงสุดให้สมมติว่าภาวะที่ไม่พึงประสงค์ที่สุด ความร้อนที่ไหลเข้าไปในห้องปรับอากาศ เรียกว่า *ความร้อนเพิ่ม* (Heat Gain) ซึ่งการคำนวณภาระความร้อนเกือบทั้งหมดเป็นความร้อนเพิ่ม แต่ในบางครั้งภาระความร้อนที่ใช้จะต้องมีการแก้ไขค่าความร้อนเพิ่ม เช่น

1) การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างเข้ามาในห้อง ทำให้พื้นและวัตถุอื่นๆ ร้อนขึ้น แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายในห้อง นั่นหมายความว่า ความร้อนเพิ่มจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์มีช่วงที่ช้า ก่อนที่จะมาเป็นภาระความร้อน มีผลให้ภาระความร้อนเบื้องต้น (Primary Load) น้อยลงไปกว่าค่าที่คาดหมายไว้ก่อน

2) การคำนวณความร้อมเพิ่มมาตรฐานเป็นการคำนวณเมื่ออุณหภูมิภายในห้องคงที่ ที่ภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่แน่นอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่ในความเป็นจริงความร้อนจะถูกเก็บไว้ในพื้นและวัตถุอื่นๆ ในระหว่างวันหยุดเมื่อเครื่องปรับอากาศไม่ทำงาน ฉะนั้นความร้อนดังกล่าวจึงควรนำไปรวมเข้ากับค่าการคำนวณความร้อนเพิ่มมาตรฐานด้วย

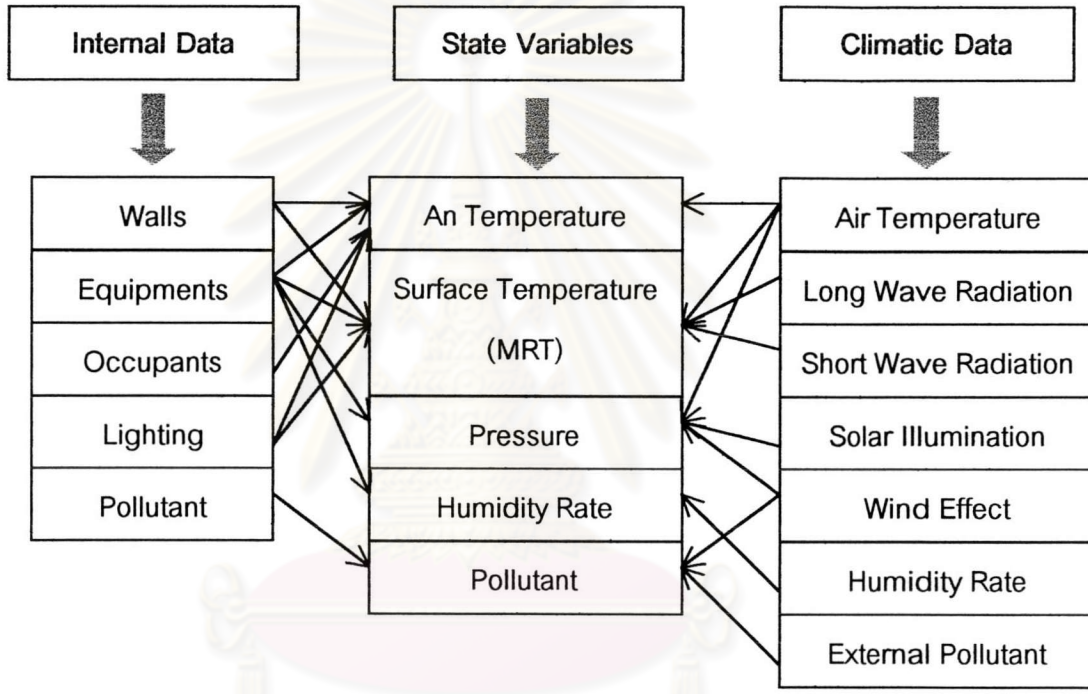
การคำนวณข้อ 1) และ 2) เรียกว่า "การคำนวณภาระความร้อนสะสม" (Storage Heat Load Calculation)

การถ่ายเทความร้อนสามารถพยากรณ์สภาพอากาศภายในอาคารได้ ซึ่งต้องทราบปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบการถ่ายเทความร้อนของอาคาร แบ่งเป็น

- ปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ (Climatic Data)
- ปัจจัยภายในอาคาร (Internal Data)

สามารถแสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ทำนายสภาพอากาศภายในห้องได้ ดังนี้

แผนภูมิ[14] **2.8** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของการถ่ายเทความร้อน



แผนภูมินี้แสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่สัมพันธ์กัน เช่น อุณหภูมิอากาศภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก และปัจจัยภายในอาคาร ได้แก่ เปลือกอาคาร อุปกรณ์ผู้ใช้อาคาร และการใช้แสงภายในอาคาร

[14] Allard, Natural Ventilation in Buildings (New Jersy: Printon Press, 1998), p. 31.

2.1.6 หลักการของภาระความเย็น (Cooling Load)

ภาระความเย็น มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. รังสีแสงอาทิตย์
2. อุณหภูมิภายนอก
   - กระเปาะเปียก
   - กระเปาะแห้ง
3. อุณหภูมิภายใน
4. ความดันบรรยากาศ
5. ความเร็วลม
6. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง
7. วัสดุที่เป็นกรอบอาคาร
8. สภาพการใช้อาคาร

ภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศ มีดังนี้

1. ภาระการทำความเย็นจากแหล่งกำเนิดความร้อน**ภายนอก**ห้องปรับอากาศ
   1) ภาระการทำความเย็นอันเนื่องจากความร้อนผ่านหลังคา และผนัง
   2) ภาระการทำความเย็นอันเกิดจากการนำความร้อน และการส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจก
   3) ภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนผ่านผนังภายใน เพดาน และพื้น
2. ภาระการทำความเย็นจากแหล่งกำเนิดความร้อน**ภายใน**ห้องปรับอากาศ
   1) ภาระการทำความเย็นอันเนื่องจากความร้อนของดวงไฟแสงสว่าง
   2) ภาระการทำความเย็นอันเกิดจากความร้อนของตัวคน
   3) ภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนของเครื่องมือ เครื่องใช้
   4) ภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนของเครื่องจักรที่ให้กำลังงาน
   5) ภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากอากาศภายนอกเข้ามาภายในห้อง....***(*งานวิจัย)***
   6) การคำนวณภาระของคอยล์ทำความเย็น
   7) ภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากการทำงานของพัดลม
   8) ภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่อากาศเย็นได้รับขณะอยู่ภายในท่อลม
   9) ความเย็นที่สูญหายไปเนื่องจากการรั่วของท่อส่งลม

การคำนวณค่าภาระความเย็นของระบบปรับอากาศ มีความเกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของความร้อนซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอัตราการไหลของความร้อน 4 ประเภท ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน และแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ได้แก่

1. อัตราความร้อน ที่ถูกถ่ายเทเข้ามาสู่ภายในห้อง (Space Instantaneous Heat Gain) และ/หรืออัตราความร้อนที่เกิดขึ้นในห้อง ณ เวลานั้น ๆ แบ่งได้เป็น 6 ลักษณะ คือ

1) การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านพื้นผิวที่มีลักษณะโปร่งใส เช่น กระจก

2) การนำความร้อนผ่านตำแหน่งด้านนอก และหลังคา

3) การนำความร้อนผ่านผนังภายใน ฝ้าเพดาน และพื้น

4) ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่นั้น เนื่องจากผู้อยู่อาศัย ไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า และอื่น ๆ

5) ความร้อนจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาระบาย

6) ความร้อนอื่น ๆ

อัตราความร้อนที่อยู่ภายในห้อง แบ่งเป็น

- ความร้อนสัมผัสเป็นส่วนที่ทำให้อุณหภูมิภายในห้องเปลี่ยน
- ความร้อนแฝงเป็นส่วนที่ทำให้ความชื้นภายในห้องเปลี่ยน

2. ค่าอัตราความร้อนที่ต้องนำออกไปจากห้อง(Space Cooling Load) เพื่อรักษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องให้มีค่าคงที่ แบ่งได้ 2 ส่วน คือ

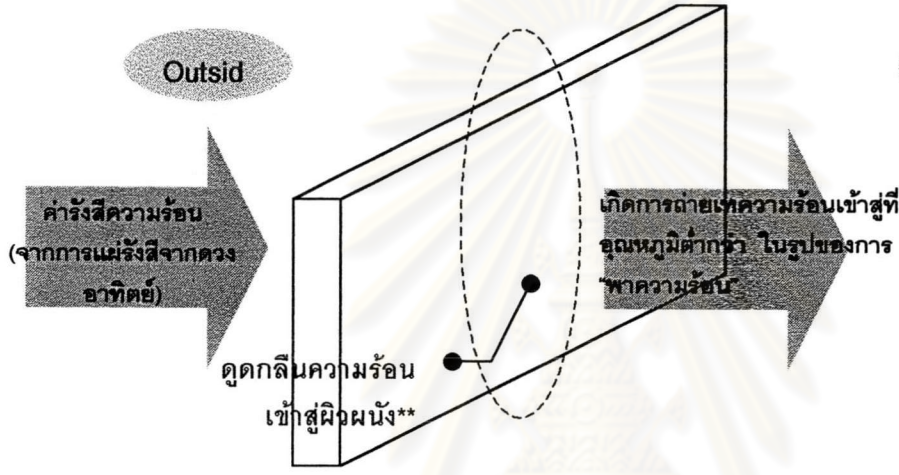
1) เป็นการนำความร้อนผ่านเนื้อวัสดุโดยรอบพื้นที่บริเวณ หรือเกิดจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่ ซึ่งความร้อนเหล่านี้จะกลายเป็น Cooling Load ในทันที เนื่องจากการพาความร้อนของอากาศออกจากผิวหน้าของวัสดุ

2) เป็นการแผ่รังสีจากแสงแดด ตัวคน อุปกรณ์ไฟฟ้า ดวงไฟ เป็นต้น ความร้อนนี้จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในพื้นที่จนกว่าจะมีอุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ความร้อนบางส่วนจึงกลายเป็น Cooling Load โดยการพาความร้อน ขบวนการนี้เรียกว่า Thermal Storage ซึ่งทำให้เกิด Time Lag

3. อัตราความร้อน ที่ต้องถูกนำออกไปจากห้องที่มีการปรับสภาวะอากาศ (Space Heat Extraction Rate) อัตราความร้อนนี้ รวมถึงผลของคุณลักษณะควบคุมของระบบ ซึ่งส่งผลให้มีการแกว่งของอุณหภูมิภายในห้องโดยยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่

นั้นได้ อุปกรณ์ควบคุมโดยทั่วไปจะทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานและหยุดเป็นพักๆ ตลอดเวลา จึงทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ต้องการบ้าง

4. อัตราความร้อนที่ถูกดึงออกจากพื้นที่นั้นโดยคอยล์เย็น (Cooling Coil Load) ในกรณีของเครื่องปรับอากาศแบบ Central System Cooling Coil Load จะเท่ากับผลรวมของ Cooling Load หลาย ๆ ห้อง บวกกับความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบจ่ายความเย็น เช่น ท่อลมและปริมาณความร้อนจากการนำอากาศบริสุทธิ์ภายนอกเข้ามาภายในอาคาร



**หมายเหตุ

เฟอร์นิเจอร์ ผนัง พื้น เพดาน ล้วน มีการสะสมหรือดูดกลืนความร้อน จนกระทั่งมี *อุณหภูมิผิวเพิ่ม* มาก กว่าอุณหภูมิอากาศแล้วจึงถ่ายเท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 คุณสมบัติของอากาศ

คุณสมบัติของอากาศ เป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวถึงการแปรเปลี่ยนและลักษณะการถ่ายเทความร้อน ตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

2.2.1 ความร้อน (Heat)

ความร้อน เป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงาน ความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ (Lechner, 1991.) ได้แก่ ความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝง และรังสีความร้อน

1. **ความร้อนสัมผัส** (Sensible Heat)

ความร้อนสัมผัส เกิดขึ้นในระดับของโมเลกุล (Degree of Molecule) ถูกกระตุ้นโดยพลังงาน ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น หรือการเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทาง (Random Motion) ซึ่งการกระตุ้นเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การได้รับรังสีความร้อน แรงเสียดทานระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น ปฏิกิริยาเคมี หรือเกิดจากการถ่ายเทความร้อนของวัตถุที่ร้อนกว่า เมื่ออุณหภูมิของวัตถุเปลี่ยนความร้อนที่มีอยู่ในวัตถุก็จะเปลี่ยนตาม คือ เมื่อความร้อนในวัตถุเพิ่มขึ้น การสั่นของโมเลกุลก็จะเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น การวัดอุณหภูมิเป็นการวัดความแรงของการสั่น(Intensity of Random Motion) ของโมเลกุลของวัตถุเท่านั้น ไม่ใช่เป็นการวัดปริมาณความร้อนที่มีในวัตถุนั้น ปริมาณความร้อนในวัตถุจะขึ้นอยู่กับความจุความร้อน (Specific Heat) ของวัตถุ และอุณหภูมิของวัตถุ

2. **ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ** (Latent Heat)

พลังงานความร้อนที่ใส่เข้าไปในวัตถุเพื่อให้วัตถุนั้นเปลี่ยนสถานะ ซึ่งค่าปริมาณความร้อนที่ทำให้เปลี่ยนสถานะของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น น้ำ ถ้าต้องการให้น้ำแข็งอุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮต์ (0 องศาเซลเซียส) เปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮต์ (0 องศาเซลเซียส) จะต้องใส่พลังงานความร้อนเข้าไป 144 บีทียูต่อน้ำ 1 ปอนด์ และถ้าต้องการเปลี่ยนสถานะจากน้ำอุณหภูมิ 212 องศาฟาเรนไฮต์ (100 องศาเซลเซียส) เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิ 212 องศาฟาเรนไฮต์ (100 องศาเซลเซียส) จะต้องใส่พลังงานความร้อนเข้าไป 1,000 บีทียูต่อน้ำ 1 ปอนด์ เป็นคุณสมบัติของวัสดุวัดได้เป็นค่าพลังงานต่อมวล ซึ่งถ้าเป็นอากาศก็คือ ค่าพลังงานต่อมวลของอากาศแห้ง (บีทียูต่อปอนด์ของอากาศแห้ง) ความร้อนแฝงในอากาศ คือ ความร้อนที่ต้องใส่เข้าไปเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (น้ำ) กลายเป็นไอ (น้ำ)

I20975670

ผลรวมของ *ความร้อนแฝง* และ*ความร้อนสัมผัส* เรียกว่า เอนทัลปี มีหน่วยเป็น *บีทียูต่อปอนด์ของอากาศแห้ง* ซึ่งอากาศทั่วๆ ไป ในสภาพแวดล้อมจะมีทั้งอากาศและไอน้ำคือจะมีทั้งความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง สามารถหาค่าได้โดยดูจากแผนภูมิไซโครเมตริก เส้นแสดงเอนทัลปีจะขนานกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก หรือจากการคำนวณ ดังนี้

กำหนดให้ อากาศภายใน อุณหภูมิอากาศเป็น 75 องศาฟาเรนไฮต์
ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ (0.0093 ปอนด์ของน้ำต่อปอนด์ของอากาศแห้ง)

อากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศเป็น 90 องศาฟาเรนไฮต์
ความชื้นสัมพัทธ์ 54 เปอร์เซ็นต์ (0.0162 ปอนด์ของน้ำต่อปอนด์ของอากาศแห้ง)

แสดงวิธีหาค่าเอนทัลปี

Item	Indoor Condition	Outdoor Condition
Latent Heat, Vapor	0.0093*1061** = 9.90	0.0162*1061[1] = 17.25
Sensible Heat, Vapor	0.0093*0.444*75 = 0.31	0.0162*0.444*90 = 0.65
Sensible Heat, Air (1 lb)	1*0.241/75 = 18.10	1*0.241/90 = 21.70
Enthalpy (Total Heat)	28.30	39.60

**Latent Heat of vaporization, Btu/lb (approximate)

ตาราง 2.1 แสดงการคำนวณหาค่าเอนทัลปีจากค่าอุณหภูมิและความชื้นจำเพาะ[15]

หรือหาค่าได้จากสมการ

$$h = U * PV$$ [16]

โดยที่ h = ค่าเอนทัลปี (lb of Dry Air)
U = ค่าพลังงานภายใน (Btu)
P = ค่าปริมาตรจำเพาะ (lb/cu ft)
V = ค่าความดัน

[15] Stein and Reynold, Mechanical and Electrical Equipment for Building, Eighth Edition, (New York: John Willy and Sons, 1992), p. 133.

[16] American Society of Heating, Refrigeration and Air-condition Engineering. ASHRAE Fundamentals (Kuala Lumper,1989), p. 1.2.

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความชื้น (Humidity)

ความชื้น[17](Humidity) คือ ละอองไอน้ำในอากาศซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ

ปริมาณไอน้ำในอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาวะของอุณหภูมิในขณะนั้น ความชื้นในอากาศจะอยู่ในรูปของไอน้ำ ซึ่งอากาศสามารถอุ้มความชื้นได้ปริมาณมากเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น และความสามารถในการอุ้มความชื้นของอากาศจะลดลงเมื่ออากาศมีอุณหภูมิลดต่ำลง ซึ่งกล่าวได้ว่าเมื่ออากาศอยู่ในสภาวะอิ่มตัว (Saturated) แสดงว่า ณ เวลานั้นอากาศไม่สามารถอุ้มปริมาณไอน้ำได้อีก นั่นคืออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสภาวะที่อากาศมีปริมาณไอน้ำสูงสุด ณ สภาวะนั้น

2.3.1 อิทธิพลของความชื้น

อากาศเกือบทั้งหมดประกอบไปด้วยความชื้นต่างๆ และเมื่ออากาศมีปริมาณไอทั้งหมดจนถึงจุดสมดุลที่เรียกว่า *อิ่มตัว* จำนวนไอน้ำที่เกิดขึ้นจริงที่อากาศสามารถมีได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของของผสมที่อุณหภูมิต่ำ จำนวนความชื้นที่ต้องการมีปริมาณน้อยมากสำหรับอากาศอิ่มตัว ส่วนที่อุณหภูมิสูง จำนวนความชื้นที่ต้องการมีมากก่อนที่จะถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอากาศที่อยู่ที่สภาวะต่ำกว่าจุดอิ่มตัว การระเหยของน้ำในอากาศเหนือมหาสมุทร ของผสมไอน้ำกับอากาศจำนวนมากจะถูกลมพัดพาไปเป็นระยะทางหลายพันกิโลเมตร ซึ่งจะทำให้อากาศไม่อิ่มตัว และเมื่ออุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจะทำให้ความสามารถของอากาศในการรับปริมาณไอน้ำลดลง ทำให้สภาวะอิ่มตัวเกิดขึ้นได้ง่าย นอกจากนี้ในการลดอุณหภูมิจะทำให้เกิดผลของการควบแน่นของไอน้ำ และปริมาณน้ำเกิดได้เร็วขึ้น

ปริมาณความชื้นในอากาศคือ ***ความชื้น*** มีความหมายอยู่ 2 ความหมาย คือ ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ความชื้นจำเพาะ เป็นน้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริง (ปอนด์) ของอากาศแห้ง สามารถแสดงได้ทั้งหน่วยปอนด์ของไอน้ำต่อปอนด์ของอากาศแห้งและ grain ของไอน้ำต่อปอนด์ของอากาศแห้ง

---

[17] ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพ: บริษัท อัมรินทร์ พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด(มหาชน), 2539), หน้า 159.

ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นการวัดระดับของการอิ่มตัวของอากาศที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) ซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของการอิ่มตัว โดยที่ 100% ของความชื้นสัมพัทธ์แสดงถึงอากาศอิ่มตัว และ 0% ของความชื้นสัมพัทธ์แสดงถึงอากาศแห้งอย่างสมบูรณ์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เป็นค่าของอัตราส่วนความดันของไอน้ำที่เกิดขึ้นจริงต่อด้วยความดันรวมของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งใดๆ

จากการศึกษา (สุนทร บุญญาธิการ, 2540) พบว่า ระดับความชื้นในประเทศไทยโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก ความชื้นจึงกลายเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบ เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร ในเกือบตลอดทั้งปีพบว่าเมื่อนำอากาศจากภายนอกมาปรับสภาพให้อยู่ในเขตสบายภายในห้องปรับอากาศ จะต้องใช้พลังงานจำนวนมหาศาลในการลดความชื้นในรูป *ความร้อนแฝง (Latent Heat)* และการลดอุณหภูมิในรูป *ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)*

หากจะเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ เมื่อนำอากาศจากภายนอกมาปรับสภาพให้อยู่ในเขตสบาย (Comfort Zone) ภายในห้องปรับอากาศจะต้องใช้พลังงานมากในการรีดความชื้น (Latent Load) และทำความเย็นให้กับอาคาร (Sensible Load) และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้โดยเมื่อเปิดประตูหรือหน้าต่างให้อากาศภายนอกเข้ามาปรับสภาพให้อยู่ในระดับที่ต้องการภายในอาคารโดยใช้ระบบปรับอากาศ พบว่า*พลังงานส่วนใหญ่ใช้ในการรีดความชื้นมากกว่าการทำความเย็นให้อากาศภายในหลายเท่า* เนื่องมาจากอิทธิพลของความชื้นที่สะสมอยู่ในอากาศ ความชื้นจึงจัดเป็นตัวแปรสำคัญประการหนึ่งในการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงานในอาคาร โดยมีปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ในเวลากลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากอิทธิพลของความชื้นที่สะสมอยู่ภายในอาคารและวัสดุตกแต่งภายในต่างๆ ด้วยเหตุนี้การประหยัดพลังงานภายในอาคารจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความชื้นที่เข้ามาจากภายนอกอาคาร และต้องคำนึงถึงการรั่วซึมของอากาศ และการกำหนดปริมาณอากาศภายนอกที่จะนำเข้ามาภายในบ้าน ในเชิงปฏิบัติจะพบว่าบ้านพักอาศัยทั่วๆ ไปในประเทศไทยมีการรั่วซึมของอากาศสูงมาก ความชื้นของอากาศจะสูงมาก ความชื้นจากอากาศภายนอกบ้านสามารถทะลุทะลวงเข้ามาภายในอาคารได้หลายทาง เช่น

1) ความชื้นที่ซึมผ่านผนังอาคาร

ในกรณีที่เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนทั่วไป พบว่าไม่สามารถป้องกันความชื้นได้ดีนัก เมื่อผนังภายนอกเปียกชื้น ความชื้นจะค่อยๆ ซึมผ่านผนังและเข้าสู่ภายในอาคารในสภาพของไอน้ำ ซึ่งเป็นความชื้นที่ยากต่อการควบคุม

2) ความชื้นที่รั่วซึมผ่านขอบประตูหน้าต่างและช่องเปิด

ในระบบก่อสร้างทั่วไปมักจะมีช่องว่าง รูรั่ว และรอยแยกที่อยู่ระหว่างขอบประตู หน้าต่าง กับส่วนประกอบของอาคารค่อนข้างมากถึงแม้จะปิดประตูหน้าต่างสนิทแล้วก็ตาม เมื่อมีความแตกต่างของแรงดันอากาศบริเวณใต้ลมและเหนือลมเกิดขึ้นจะทำให้อากาศรั่วซึมผ่านผนังและรอยแยกต่าง ๆ เข้ามาภายในอาคารเป็นจำนวนมหาศาล พลังงานที่สูญเสียในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิเหล่านี้ อาจมากกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการปรับอากาศ

3) ความชื้นจากการเปิด – ปิด ประตูหน้าต่าง

เมื่อมีการเปิดประตูหน้าต่างรับลมหรือเปิดเข้า-ออกจากตัวบ้าน ในขณะที่ภายนอกมีลมแรงพบว่าจะต้องสูญเสียพลังงานจากการที่อากาศจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในอาคารเป็นปริมาณมากจนคาดไม่ถึง เช่น ถ้าเปิดประตูบาน ขนาด 1 เมตร x 2 เมตร ในด้านใต้ลมช่วงบ่ายของเดือนเมษายน โดยมีความเร็วลมภายนอกประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หากลมนั้นเคลื่อนเข้าสู่ภายในตัวบ้านอย่างสะดวกเป็นเวลานาน 1 นาที จะต้องเพิ่มภาระในการลดอุณหภูมิให้กับอาคารประมาณ 12.6 เมกะจูล (12,000 บีทียู) ซึ่งหมายความว่าถ้าเปิดประตูค้างไว้เพียง 1 นาที จะต้องใช้ระบบปรับอากาศ ขนาด 1 ตัน เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับกระแสลม ที่ผ่านเข้ามาในอาคาร

4) ความชื้นจากการสะสมของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

ในกรณีที่เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนจะพบว่า เมื่อเปิดบ้านทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ ความร้อน ความชื้นจากภายนอกบ้านจะสะสมอยู่ภายในเนื้อวัสดุต่างๆ ภายในบ้าน เช่น ผนัง พื้น หรือวัสดุภายในอื่นๆ และต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมหาศาลเพื่อลดความร้อนและความชื้นที่สะสมอยู่ในวัสดุก่อสร้าง

5) ความชื้นที่สะสมในวัสดุตกแต่งภายในและเครื่องเรือน

การใช้วัสดุตกแต่งภายในบ้าน ตลอดจนเครื่องเรือน เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เช่น พรมบางชนิด ผ้าม่าน โซฟา หนังสือเก่าๆ และอุปกรณ์ที่มีค่าการดูดซับความชื้นสูง จะพบว่าเมื่อเปิดบ้านทิ้งไว้ความชื้นจะสะสมอยู่ภายในวัสดุประเภทนี้จำนวนมาก ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีความชื้นสูง ถ้าเปิดหน้าต่างทิ้งไว้นาน ระดับความร้อนภายในและภายนอกบ้านจะใกล้เคียงกัน ทำให้ต้องใช้พลังงานมากเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ

องค์ประกอบธรรมชาติภายนอกที่ตั้งที่มีผลอิทธิพลต่อการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน ที่ผู้ออกแบบอาคารควรวิเคราะห์พิจารณา ได้แก่ ลม ดวงอาทิตย์ และแสงธรรมชาติ ซึ่งองค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง ได้แก่ อาคารข้างเคียง ต้นไม้ใหญ่ หรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนทิศทางและความเร็วของกระแสลมได้ ความเร็วลมจากภายนอกที่กระทำต่ออาคารมีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารด้านภาระการปรับอากาศในด้าน Infiltration เป็นการรั่วของความ

ร้อนเข้าสู่ภายในอาคารทางรอยต่อขอบหน้าต่าง รอยต่อผนังอาคารและประตูทางเข้าออกอาคาร และในบริเวณที่อุณหภูมิภายนอกกับภายในแตกต่างกันมาก หรือขณะที่เกิดสภาวะร้อนจัดของวัน ลด Air Film Resistance และลด Surface Temperature

2.3.2 การวัดความชื้น (Humidity Parameters)[18]

1. อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio หรือ Moisture Content) สัญลักษณ์ W

คือ อัตราส่วนมวลของไอน้ำในอากาศ (M_w) ต่อมวลของอากาศแห้ง (M_a)

$$\text{อัตราส่วนความชื้น (W)} = \frac{\text{อัตราส่วนมวลของไอน้ำในอากาศ } (M_w)}{\text{มวลของอากาศแห้ง } (M_a)}$$

สมการในการคำนวณ[19]

$$\text{อัตราส่วนความชื้น (W)} = 0.62198 \frac{(X_w)}{(X_a)}$$

โดยแทนค่าในสมการ เป็น

W = อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio)

X_w = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Water vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (Moist Air)

X_a = อัตราส่วนมวลของอากาศแห้ง (Dry air) ต่อมวลของอากาศผสม (Moist Air)

2. ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) สัญลักษณ์ d_v

คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้ง หน่วยที่ใช้ในการวัดจะใช้เป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต

สมการในการคำนวณ[20]

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์ } (d_v) = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศผสม } (M_w)}{\text{ปริมาตรของอากาศ (V)}}$$

โดยแทนค่าในสมการ เป็น

d_v = ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity)

M_w = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Water vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (moist air)

V = ปริมาตรของอากาศ

[18-20] American Society of Heating Refrigeration and Air-Coditioning Engineers, ASHRAE Handbook Fundamentals (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), p. 6.12.

3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) สัญลักษณ์ ϕ

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำสูงสุดในอากาศต่อมวลของไอน้ำทั้งหมดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ดังนั้น การที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง อากาศขณะนั้นไม่มีไอน้ำอยู่เลย ณ อุณหภูมินั้นๆ หรือการที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอากาศขณะนั้นอิ่มตัว กล่าวคือ อากาศนั้นไม่สามารถรับไอน้ำไว้เพิ่มได้อีก

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ } (\phi) = \frac{\text{มวลไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิหนึ่ง}}{\text{มวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมินั้น}}$$

สมการในการคำนวณ[21]

$$\phi = \frac{X_w}{X_{ws\ at\ t,p}}$$

โดยแทนค่าในสมการ เป็น

ϕ = ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

X_w = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Water Vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (Moist Air) ณ อุณหภูมิและความดันหนึ่ง ๆ

$X_{ws\ at\ t,p}$ = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Vapor) ต่อมวลของอากาศผสมในสภาวะอิ่มตัว (Saturated Mixture) ณ อุณหภูมิและความดันนั้น ๆ

ปริมาณความชื้นในอากาศมีผลต่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้โดยสมมติให้ภายในขวด 3 ใบ บรรจุอากาศปริมาณ 1,000 ปอนด์ มีอุณหภูมิเท่ากันที่ 57 องศาฟาเรนไฮต์ และมีคุณสมบัติในการป้องกันไม่ให้อากาศ น้ำ หรือไอน้ำผ่านเข้าออกได้ทั้ง 3 ขวด กำหนดให้ ณ อุณหภูมิที่ 57 องศาฟาเรนไฮต์ อากาศ 1,000 ปอนด์นั้นสามารถรับความชื้นได้สูงสุดประมาณ 10 ปอนด์ แล้วเมื่อพิจารณาจากภาพ (ในหน้าถัดไป) แสดงให้เห็นว่า

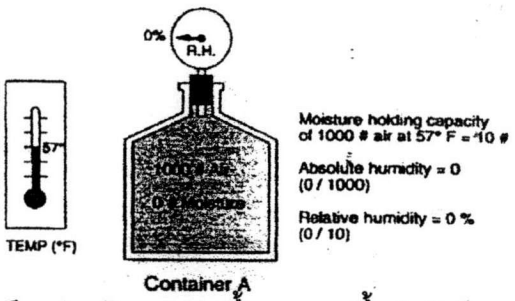
ขวด A มีความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์เป็น 0 เนื่องจากไม่มีความชื้นในอากาศอยู่เลย

ขวด B บรรจุความชื้นเข้าไป 3 ปอนด์ โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์

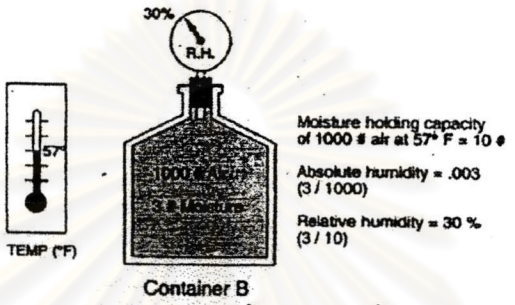
ขวด C เมื่อบรรจุความชื้นลงไป 10 ปอนด์ ในรูปของหยดน้ำ อัตราส่วนความชื้นในขวดจะเท่ากัน 0.010 ปอนด์ต่ออากาศ 1,000 ปอนด์ ความชื้นสัมพัทธ์เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าขวด C มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศรับได้ ณ อุณหภูมินั้น หากมีการเพิ่มความชื้นอีกจะเกิดการกลั่นตัวเป็น *หยดน้ำ*

---

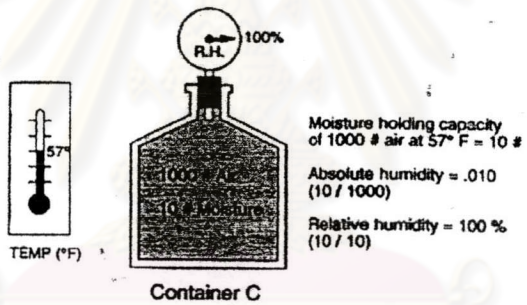
[21] American Society of Heating Refrigeration and Air-Coditioning Engineers, ASHRAE Handbook Fundamentals (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), p. 6.12.



รูปภาพ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด A[22]



รูปภาพ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด B[23]



รูปภาพ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด C[24]

นอกจากนี้ ปริมาณไอน้ำในอากาศยังสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ โดยความสัมพันธ์สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ โดยสมมติให้ภายในขวด 3 ใบ (ขวด D, E และ F) เป็นขวดที่บรรจุอากาศปริมาณ 1,000 ปอนด์เท่ากัน และมีการปิดผนึกอย่างดีไม่ให้เกิดการรั่วไหลของอากาศ น้ำ หรือไอน้ำได้ แล้วเมื่อพิจารณาจากภาพ (ในหน้าถัดไป) ขวดทั้ง 3 ใบ ณ อุณหภูมิอากาศที่ 57 องศาฟาเรนไฮต์ แสดงให้เห็นว่า

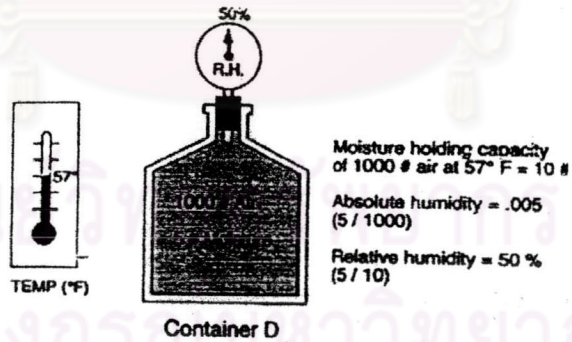
ขวด D ที่มีปริมาณความชื้น 5 ปอนด์ เมื่ออากาศอิ่มตัวอากาศจะสามารถรับปริมาณความชื้นได้สูงสุดประมาณ 10 ปอนด์ แสดงว่าอัตราส่วนความชื้นของอากาศในขวด D เท่ากับ 0.005 ปอนด์ต่ออากาศ 1,000 ปอนด์ และจะมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์

[22-24]Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residentials and Small Comercial Buildings (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), p. 2.

ขวด E ซึ่งมีปริมาณความชื้น 5 ปอนด์เท่ากับขวด D เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้นเป็น 77 องศาฟาเรนไฮต์ จากการที่อุณหภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงย่อมส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นเปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้นก็จะทำให้ความสามารถในการรับความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 20 ปอนด์เมื่ออากาศอิ่มตัว ในขณะที่อัตราส่วนความชื้นยังคงเท่าเดิม คือ 0.005 แต่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเหลือ 25 เปอร์เซ็นต์

ขวด F ในทางตรงข้าม เมื่ออุณหภูมิอากาศลดลงเหลือ 37 องศาฟาเรนไฮต์ ในขณะที่ปริมาณความชื้นในขวดยังคงเท่ากับ 5 ปอนด์ เช่นเดียวกันกับขวด D และ E จะทำให้อากาศในขวด F มีความสามารถในการรับความชื้นลดลงเหลือ 5 ปอนด์เมื่ออากาศอิ่มตัว และอัตราส่วนความชื้นยังเท่าเดิม คือ 0.005 ปอนด์ จึงทำให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในขวด F เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ส่วนภาพประกอบต่อไป จะเป็นการอธิบายเมื่ออุณหภูมิอากาศคงที่แต่ปริมาณความชื้นในอากาศเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราส่วนความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นตาม ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ แต่ปริมาณความชื้นและอัตราส่วนความชื้นคงที่ (ดังรูปขวด D E และ F) ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิอากาศลดต่ำลงก็จะทำให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น[25]

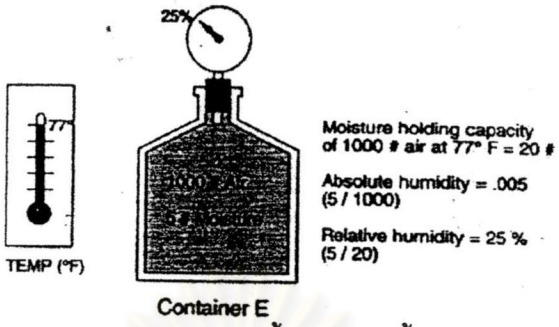


รูปภาพ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด D[26]

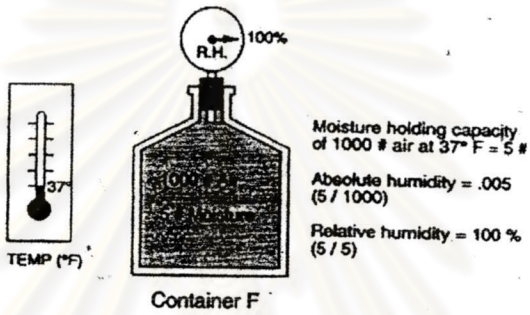
---

[25] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residentials and Small Comercial Buildings (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), p. 4.

[26] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residentials and Small Comercial Buildings (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), p. 2.



รูปภาพ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด E[27]



รูปภาพ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด F[28]

<u>ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ</u> (Enthalpy of moist air) สัญลักษณ์ h

ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ คือ ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศ จะมีความร้อนสะสมอยู่ทั้งในส่วนของความร้อนแฝง และความร้อนสัมผัส ซึ่งคุณสมบัติของความร้อนดังกล่าวสามารถเรียกได้ว่า ***"เอนทัลปี"***

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ } (\phi) = \frac{\text{มวลไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิหนึ่ง}}{\text{มวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมินั้น}}$$

สมการในการคำนวณ

$$h = h_a + W h_g$$

[27-28] Lstiburek and Carmody, <u>Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residentials and Small Comercial Buildings</u> (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993), p. 2.

โดยแทนค่าในสมการ เป็น

h = Enthalpy of Moist Air ; หน่วย Btu per pound of dry air

h_a = Specific Enthalpy of Moist Air ; หน่วย Btu per pound

โดยที่ $h_a = 0.240\ t$; t = อุณหภูมิอากาศ หน่วยเป็น องศาฟาเรนไฮต์

W = ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

h_g = Specific Enthalpy of Saturated Water Vapor ; หน่วย Btu per pound

โดยที่ $h_g = 1061 + 0.444\ t$; t = อุณหภูมิอากาศ หน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์

ดังนั้น สามารถสรุปสมการหา Enthalpy ดังนี้

$$h = 0.240\ t + W\ (1061 + 0.444\ t)$$

2.3.3 การถ่ายเทความชื้น[29]

การถ่ายเทความชื้น ซึ่งอยู่ในรูปของไอน้ำนั้น มีรูปแบบที่หลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้

1) ความแตกต่างของความดันอากาศ หรือ แรงโน้มถ่วงของโลก
2) แรงดูดความชื้นภายในช่องว่างของเนื้อวัสดุ
3) ความแตกต่างของค่าความจุความชื้น
4) การเคลื่อนตัวของไอน้ำในอากาศที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศ
5) ความแตกต่างของความดันไอน้ำ

ด้วยกระบวนการถ่ายเทความชื้น สามารถสกัดกั้นการถ่ายเทความชื้นได้ด้วยการติดตั้งฉนวนป้องกันความชื้น (Vapor Retarder) เพื่อลดความแตกต่างของความดันอากาศ หรือแรงโน้มถ่วงของโลก นอกจากนี้การป้องกันการถ่ายเทความชื้นที่เกิดจากกระบวนการแรงดูดความชื้นภายในมวลสาร และการเคลื่อนตัวของไอน้ำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศก็เป็นกระบวนการสำคัญ เพราะสามารถนำความชื้นเข้ามาในอาคารได้เป็นจำนวนมากเช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การถ่ายเทความชื้นโดยแรงดูดความชื้น</u>

ภายในรูพรุนของวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1 μm โมเลกุลของไอน้ำในวัสดุจะสร้างแรงดึงระหว่างผิวของโมเลกุลด้วยกัน

---

[29] American Society of Heating Refrigeration and Air-Coditioning Engineers, <u>ASHRAE Handbook Fundamentals</u> (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), p.6.13.

สมการในการคำนวณ [30]

$$s = \frac{2\sigma \cos\theta}{r}$$

โดยแทนค่าในสมการ เป็น

s = แรงดูดความชื้น (Capillary Suction)

σ = แรงดึงผิวของน้ำ (Surface Tension of Water)

θ = มุมสัมผัส (Contact of Wetting Angle)

r = รัศมีส่วนโค้งของผิว (Radius of the Capillary)

โดยมุมสัมผัส (Contact of Wetting Angle) มุมระหว่างส่วนผิวหน้าของของเหลวที่เห็นเป็นเส้นโค้ง ซึ่งภายในวัสดุที่มีการดูดซับความชื้น (Hydrophilic) มุมสัมผัสจะมีค่าน้อยกว่า 90° และสำหรับวัสดุที่ไม่ดูดซับความชื้น (Hydrophobic) มุมสัมผัสจะอยู่ระหว่าง 90°-180° และการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะเกิดจากความแตกต่างของแรงดูดความชื้น เมื่อแรงดูดความชื้นมีค่ามากกว่าแรงดึงผิวของน้ำ และในส่วนของแรงดึงผิวของน้ำนั้น เป็นส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นโดยความแตกต่างของแรงดึงผิวจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ในสภาวะ Isothermal และ Nonisothermal แม้ว่าปริมาณแรงดูดความชื้นจะมีจำนวนน้อยแต่กระบวนการถ่ายเทความชื้นยังคงดำเนินการอยู่ทั้งในส่วนกระบวนการของของเหลว และไอน้ำ ซึ่งในส่วนของกระบวนการที่เกิดจากไอน้ำนั้นจะเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัว (Vapor Saturation Pressure)

<u>การถ่ายเทความชื้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศ (Air Movement)</u>

การเคลื่อนที่ของอากาศและการแพร่ความชื้น (Vapor Diffusion) จะสามารถนำความชื้นเข้ามาในอาคารได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในอาคารแสดงว่าการติดตั้งแผงกำบังลม และการติดตั้งฉนวนกันความชื้นยังคงมีความจำเป็นสำหรับการป้องกันการแทรกซึมความชื้นแก่อาคาร

<u>การแพร่ความชื้น (Water Vapor Diffusion)</u>

ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศสามารถแพร่กระจายผ่านอากาศ รวมถึงวัสดุต่างๆ ของอาคาร ความชื้นสามารถแพร่กระจายผ่านพื้นที่ที่ต่อเนื่องกัน รวมถึงพื้นผิวที่เกิดการควบแน่น

---

[30] American Society of Heating Refrigeration and Air-Coditioning Engineers, <u>ASHRAE Handbook Fundamentals</u> (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), p.6.15.

ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดความแตกต่างของความดันความชื้น เมื่อความชื้นเคลื่อนที่ผ่านวัสดุต่าง ๆ เข้ามาในอาคารแล้วจะเข้ามาผสมกับอากาศภายใน

2.3.4 การวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น (Moisture Content and Transfer Measurement)

การวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้นสามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ

1. การดูดซับความชื้นของวัสดุ[31] (Sorption Isotherm)

ค่าของการดูดซับความชื้นของวัสดุ จะสัมพันธ์กับสมดุลความชื้นของวัสดุ (Equilibrium Moisture Content หรือ EMC) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่

ค่าความจุความชื้น (Moisture Content หรือ MC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณ (มวล) ของน้ำในวัสดุต่อมวลของวัสดุในสภาวะแห้ง (Dry Mass)

ค่าการดูดซับความชื้น ต้องพิจารณา *อุณหภูมิและปริมาณความชื้น* ของสภาพแวดล้อม จากนั้นจึงนำวัสดุที่ต้องการทดสอบไปตั้งไว้ในสภาพแวดล้อม เพื่อดูดซับความชื้นจากสภาพแวดล้อมนั้นจนกระทั่งเข้าสู่*สภาวะสมดุลของความจุความชื้น* คือ เป็นสภาวะที่เกิดความสมดุลของความชื้นในวัสดุกับความชื้นของวัสดุแต่ละชนิด แต่จะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อวัสดุดูดซับความชื้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุลความชื้นแล้ว ผลที่ปรากฏอาจจะพบทั้งปริมาณ *ความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้น* (Adsorption Isotherm) หรือ*ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง* (Desorption Isotherm)

วัสดุก่อสร้างส่วนมากมีความพรุนในเนื้อวัสดุจำนวนมาก ซึ่งความชื้นจากภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมผ่านเข้ามาในอาคารได้โดยง่าย โดยปริมาณความชื้นที่สะสมภายในเนื้อวัสดุจะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม คือ เมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น รูพรุนอากาศในวัสดุจะถูกแทนที่ด้วยความชื้นที่ซึมผ่านเข้ามาในเนื้อวัสดุ และหากสภาพแวดล้อมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ลดลง วัสดุจะคายความชื้นที่สะสมไว้ออกมา แต่บางครั้งก็ขึ้นอยู่กับแต่ละวัสดุที่จะพยายามรักษาระดับปริมาณความชื้นภายในเนื้อวัสดุไว้จึงไม่มีการคายความชื้นออกมา

การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารที่เกิดจากการถ่ายเทความชื้น จะปรากฏในรูปแบบของ *ความร้อนสัมผัส* และ*ความร้อนแฝง* ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นผลจากความแตกต่างของความดันไอน้ำ ที่ถ่ายเทจากบริเวณที่ความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า นอกจากนี้การระเหยของความชื้นจากผนังด้านที่ร้อนหรือการดูดซับความชื้นของผนังด้านที่เย็นจะ*เพิ่มปริมาณความร้อนแฝง*ในการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร

---

[31] American Society of Heating Refrigeration and Air-Coditioning Engineers, ASHRAE Handbook Fundamentals (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), p. 14.27.

2. **การระเหยความชื้นผ่านช่องว่างของวัสดุ** (Vapor Permeability)

ค่าการแทรกซึมความชื้นผ่านช่องว่างในวัสดุที่สามารถวัดได้นั้น เป็นคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นของวัสดุ มีหน่วยเป็น perm โดย 1 perm = ปริมาณไอน้ำจำนวน $5.72*10^{-11}$ กิโลกรัม (ประมาณ $1.26*10^{-12}$) ที่ถ่ายเทผ่านพื้นที่ผิว 1 ตารางเมตร ในเวลา 1 วินาที โดยมีผลต่างของความดันไอน้ำเท่ากับ 1 ปาสคาล (Pa)

พฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นสามารถประมาณได้โดยการพิจารณาจากความหนาของวัสดุและทิศทางการเคลื่อนตัวของไอน้ำ ซึ่งในกระบวนการวัดค่าการแทรกซึมของความชื้นผ่านช่องว่างในวัสดุสามารถวัดได้จากการทดสอบวัสดุ ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

1) Dry Cup Method
2) Wet Cup Method
3) Modified Cup Test

3. **ความหนาแน่นของไอน้ำในวัสดุ** (Liquid Diffusivity)

การแทรกตัวของไอน้ำในวัสดุต่างๆ เป็นการเคลื่อนตัวตามรูพรุนหรือช่องว่างในวัสดุ โดยสามารถพิจารณามวลของไอน้ำที่แทรกซึมผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ในระยะเวลาหนึ่งด้วยความหนาแน่นของไอน้ำ,ค่าการแทรกซึมผ่านของไอน้ำและค่าความจุความชื้น (Moisture Contentหรือ MC) ซึ่งคือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณ (มวล) ของน้ำในวัสดุต่อมวลของวัสดุในสภาวะแห้ง (Dry Mass)

2.4 การรั่วซึมของอากาศ

2.4.1 การไหลเวียนของอากาศ

การไหลเวียนของอากาศ เป็นการแลกเปลี่ยนของอากาศภายนอก (Outdoor Air) กับอากาศที่อยู่ภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงอากาศจากภายนอกที่จงใจนำเอาเข้ามาภายในอาคาร การแลกเปลี่ยนของอากาศภายนอกนี้เองเป็นส่วนสำคัญของ The total load of space conditioning สามารถแยกได้เป็น 2 แบบ

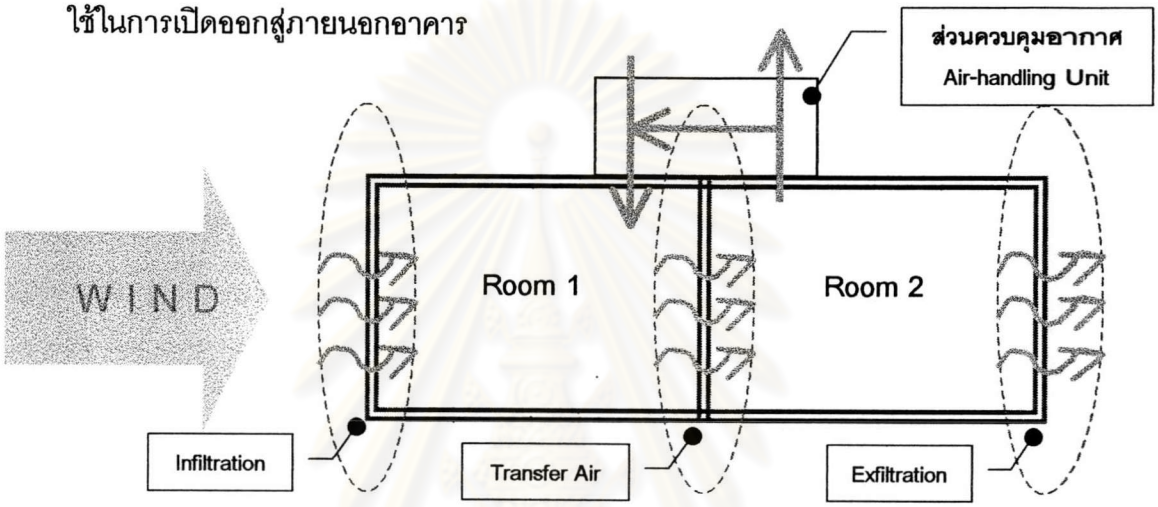
1) Ventilation Air เป็นอากาศที่ใช้ในการทำให้อากาศภายในมีคุณภาพ ซึ่งประกอบไปด้วย <u>การระบายอากาศแบบธรรมชาติ</u> (Natural Ventilation)

การระบายอากาศแบบธรรมชาติ เป็นอากาศที่ไหลเข่ามาผ่านทางหน้าต่าง/ประตู/ลูกกรง หรือซึมผ่านมาทางช่องใดๆ ของอาคาร และอากาศที่เคลื่อนที่โดยธรรมชาติ และการทำให้มีความกดอากาศที่ต่างกัน

<u>การระบายอากาศแบบเครื่องกล</u> (Forced Ventilation)

การระบายอากาศแบบเครื่องกล เป็นการเคลื่อนไหวของอากาศที่เข้า-ออกอาคารโดยตั้งใจ ซึ่งกรณีนี้ใช้พัดลมบริเวณปากปล่อง และช่องทางออกที่ลมอ่อนลงแล้ว วิธีนี้เรียกอีกอย่างว่า *Mechanical Ventilation*

2) Infiltration หรือ Air Leakage เป็นอากาศภายนอกที่ไหลผ่านเข้ามาภายในอาคารโดยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งเข้ามาตามรอยแยก และส่วนอื่นที่เปิดโดยไม่ตั้งใจ และบริเวณประตูที่ใช้ในการเปิดออกสู่ภายนอกอาคาร



รูปภาพ[32] **2.15 แสดงอาคาร 2 ชั้น ที่มีการใช้** Forced Ventilation Infiltration **และ** Exfiltration

Transfer Air เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายในอาคารจากส่วนหนึ่ง (Room1) ไปยังอีกส่วน ทั้งโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจ

Exfiltration เป็นการซึมของอากาศภายในอาคารไปสู่ภายนอกอาคาร

<u>หมายเหตุ</u>

* สำหรับอาคารที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศ และไล่ความชื้น จะเหมาะในการใช้ Ventilation และ Infiltration Airflow ในการทำให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย

** การใช้อากาศแบบธรรมชาติ (Natural Ventilation), การรั่วซึมของอากาศสู่ภายใน (Infiltration), การซึมของอากาศสู่ภายนอก (Exfiltration) เป็นการเคลื่อนที่โดยธรรมชาติ และเป็นการเคลื่อนที่จากความต่างของความกดอากาศ

---

[32] American Society of Heating Refrigeration and Air-Coditioning Engineers, <u>ASHRAE Handbook Fundamentals</u> (Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 1997), p. 25.1.

2.4.2 การรั่วซึมของอากาศ

อากาศภายนอก ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าอากาศภายในบริเวณปรับอากาศสามารถรั่วซึมเข้ามายังบริเวณปรับภาวะอากาศได้ โดยผ่านรอยรั่วตามขอบหน้าต่าง ขอบประตูและอื่นๆ จำนวนอากาศรั่วซึมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสาเหตุหลายประการ เช่น

1) รอยรั่วตามขอบหน้าต่างขอบประตู

- ถ้ารอยรั่วมีมาก จำนวนอากาศรั่วซึมเข้ามาในบริเวณปรับอากาศก็จะมากตาม

2) ทิศทางและความเร็วลมที่กระทบรอยรั่ว

- หาก *ทิศทางลม* กระทบด้านอาคารที่มีรอยรั่วมาก โอกาสที่อากาศจะรั่วซึมผ่านอาคารก็จะมีมาก
- หาก *ความเร็วลม* ที่กระทบด้านอาคารที่มีรอยรั่วมีความเร็วสูง โอกาสที่อากาศจะรั่วซึมผ่านเข้าอาคารก็จะมีมาก

อากาศที่รั่วซึมผ่านรอยรั่วนี้ ความเร็วลมมีส่วนในการทำให้เกิดความดันลมสูงด้านต้นทางลมเข้า ส่วนด้านปลายทางลมออกนั้นความดันลมจะต่ำกว่า ดังนั้นการคิดค่าความร้อนเนื่องจากอากาศรั่วซึมผ่านรอยรั่วจึงต้องคิดเฉพาะรอยรั่วของด้านอาคารตรงด้านต้นทางลมเข้าเท่านั้น เนื่องจากด้านอาคารตรงด้านปลายทางลมออก ลมจะเข้ามาในอาคารได้ลำบาก นอกจากนี้ลมภายนอกที่ถูกพัดพาเข้ามาจะต้องเท่ากับลมภายในที่ไหลออกไป นั่นคือ *ลมเข้าเท่ากับลมออก*

<u>วิธีป้องกันการรั่วซึมของอากาศ</u>

วิธีป้องกันการรั่วซึมของอากาศผ่านรอยรั่วออกเกินไปนั้นสามารถทำได้ ดังนี้

- พยายามปิดรอยรั่วให้น้อยลงตรงด้านอาคารที่ลมปะทะลมเท่าที่จะทำได้
- นำอากาศภายนอกจำนวนพอเหมาะเข้ามาผสมกับลมเย็นก่อนกลับคืนสู่เครื่องส่งลมเย็นแล้วให้ผ่านคอยล์เย็นแล้วจึงกระจายเข้าในอาคาร เพื่อให้ความดันลมภายในอาคารเป็นบวก ก็จะป้องกันอากาศภายนอกรั่วซึมผ่านรอยรั่วได้ส่วนหนึ่ง

2.4.3 แนวคิดพื้นฐานการเกิดภาระการทำความเย็น
(ภาระการทำความเย็นในส่วนของการรั่วซึมของอากาศ)

ภาระการทำความเย็นจากส่วนของการรั่วซึมของอากาศ อากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งที่ส่งผลต่อภาระการปรับอากาศ (การทำความร้อนในภูมิอากาศหนาว การทำความเย็น การไล่ความชื้นและการสร้างความชื้นในภูมิอากาศหนาว) ซึ่งทำให้เป็น

เหตุผลหนึ่งที่ต้องมีการควบคุมการรั่วไหลของอากาศเข้าสู่อาคารให้น้อยที่สุด การรั่วซึมของอากาศจะส่งผลต่อภาระการทำความเย็นหรือความร้อนในอาคารบ้านพักอาศัยธรรมดา ประมาณ 20-40% ของภาระการทำความเย็นทั้งหมด แต่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจะส่งผลโดยเฉลี่ยประมาณ 60% ของภาระการทำความเย็นทั้งหมด

อากาศที่รั่วซึมเข้าสู่อาคารจะสร้างภาระการทำความเย็นได้ 3 ทาง คือ

1) อากาศที่รั่วไหลเข้ามาจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายใน ซึ่งค่าการใช้พลังงานเพื่อใช้กับความร้อนแบบ Sensible
2) อากาศจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความชื้น (Moisture content) ของอากาศภายในอาคาร ซึ่งค่าการใช้พลังงานเพื่อใช้กับความร้อนแฝง
3) อากาศที่รั่วไหลเข้าสู่อาคารจะไปเพิ่มภาระการทำความเย็นได้ โดยการก่อให้เกิดการลดประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนให้กับอาคาร จากการเพิ่มอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งประสิทธิภาพที่ลดลงไปนี้ของระบบฉนวนอาคารยังยากที่จะอธิบายหรือใช้การคำนวณได้ แต่ก็เป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ยังสามารถก่อให้เกิดการควบแน่นของหยดน้ำในอากาศบริเวณภายนอก หรือภายในเนื้อฉนวนได้ อันเป็นผลให้เกิดเชื้อรา และเชื้อโรคได้ต่อไปในที่สุด

Driving Mechanism

การใช้อากาศธรรมชาติ (Natural Ventilation) และการรั่วซึมของอากาศ จะถูกขับดันจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ความดันที่เปลี่ยนแปลงผ่านเปลือกอาคารซึ่งเกิดจากลม
2. ความหนาแน่นของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร เช่นการเกิดการลอยตัวของอากาศ (Stack effect)
3. การใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องควบคุมการเผาไหม้ ระบบ Leaky Forced-air Thermal Distribution และระบบ Ventilation โดยการใช้เครื่องกล

ความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกในแต่ละที่ตั้ง มักขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของ Driving Mechanism เช่นเดียวกันกับลักษณะเฉพาะของช่องเปิดต่างๆ ในอาคาร ตัวอย่างเช่น ที่ตั้งของช่องเปิดในอาคาร,ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความดันอากาศและอัตราการไหลของอากาศในแต่ละช่องเปิด

ความดันอากาศที่แตกต่างไหลผ่านเปลือกของอาคาร จะตั้งอยู่บนฐานของความต้องการมวลอากาศที่เข้าสู่อาคารจะต้องมีปริมาณที่เท่ากันกับมวลอากาศที่ออกจากอาคาร ตามปกติความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคารไม่จำเป็นต้องทราบก็ได้ ดังนั้นเรื่องที่ต้องพิจารณา คือ เรื่องของปริมาตรของ *อากาศที่ไหลเข้าสู่อาคาร* ต้องมีปริมาตรเท่ากับ *อากาศที่ออกจากอาคาร* จากข้อตกลงเบื้องต้นเหล่านี้พอจะกล่าวได้ว่าความแตกต่างของความดันบริเวณเปลือกอาคารสามารถประมาณได้ แต่อย่างไรก็ตามการประมาณได้นี้จำเป็นต้องทราบรายละเอียดในจุดต่างๆ อย่างละเอียดเพื่อความถูกต้อง

เมื่อลมเข้าปะทะเปลือกหรือผิวของอาคารด้านใดด้านหนึ่งจะสร้างการกระจายของ Static Pressure บนผิวด้านนอกของอาคารนั้น ขึ้นอยู่กับ

- ทิศทางของลมที่มากระทำ
- ความเร็วลม
- ความหนาแน่นของอากาศ
- ทิศทางของผิวที่รับ
- สภาพโดยรอบพื้นผิวนั้น ๆ

อย่างไรก็ตาม การกระจายของความดันนี้อาจจะไม่เกิดขึ้นได้ เนื่องจาก

1. ไม่มีแรงอื่นมากระทำกับอาคาร
2. เดิมไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอก
3. ไม่มีอากาศไหลผ่านอาคาร ความแตกต่างของความดันสามารถที่จะประเมินได้จาก Static Pressure ภายใน

<u>ความดันลม (Wind Pressure)</u>

ความดันลมที่เกิดขึ้น มีปัจจัยที่เกิดจากมุมของลมที่มากระทำ (Wind Angel) และรูปร่างของอาคาร (Building Shape) ความดันของลมหรือความเร็วของลม (Velocity Head) สามารถที่จะนำข้อมูลต่างๆ เหล่านี้มาคำนวณได้ (Bernoulli's Equation) โดยที่ถือว่าความสูงหรือความดันไม่มีการสูญเสีย

ความดันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลง ความสูงและอุณหภูมิ จะพบว่าเมื่อมีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้นเท่าไร หรืออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นมากเท่าไรจะทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลง และหากความสูงและอุณหภูมิของอากาศยังคงเพิ่มต่อไปอย่างคงที่แล้ว ความหนาแน่นของอากาศจะลดลงไปได้อีก ส่วนบริเวณที่เป็นผิวดินความเร็วลมจะมีค่าเท่ากับ 0 และมีค่าสูงมากขึ้นเมื่อมีความสูงมากขึ้น

2.4.4 การคำนวณหาจำนวนอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคาร

อากาศภายนอกซึ่งร้อนและชื้น สามารถเข้ามาภายในห้องที่มีการปรับอากาศได้ 2 วิธี คือ

1) Infiltration

2) Ventilation

1. ภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration)

การแทรกซึมของอากาศภายนอกเข้ามาตามรอยแตกของขอบหน้าต่างหรือตามการเปิดเข้า–ออกของประตู จะเกิดขึ้นมาน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวของรอยแตก ตลอดจนความดันอันเนื่องจากความเร็วของลมที่ปะทะอาคาร ในกรณีที่เป็นอาคารสูงหลายชั้น อาจเกิดจากการหวนกลับของลม (Reverse Chimney Effect) โดยอากาศภายนอกรั่วเข้ามาที่ชั้นบนๆ อาคารผ่านช่องท่อต่างๆ ลงสู่ชั้นล่างแล้วไหลลงสู่ภายนอกทางประตู ปรากฏการณ์นี้เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร อากาศร้อนที่รั่วเข้ามานี้จะกลายเป็นภาระการทำความเย็นทันที ในการคำนวณหาปริมาณอากาศที่รั่วเข้ามาสามารถหาได้จากทั้งแบบระบบการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Method) และแบบรอยรั่ว (Crack Method)

2. ภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากการระบายอากาศ (Ventilation)

คือ การนำอากาศภายนอกส่วนหนึ่งเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้อง โดยผ่านทางคอยล์ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ เพื่อลดกลิ่นอันเกิดจากตัวคน วัสดุ หรือกระบวนการบางอย่างที่เกิดขึ้นภายในห้อง เนื่องมาจากการทำงานของระบบปรับอากาศ การนำอากาศภายในห้องมาทำความเย็นเพื่อใช้งานหมุนเวียนตลอดเวลา อาจเกิดการสะสมของกลิ่นต่างๆ จนทำให้ห้องเหม็นอับ หรือในบางครั้งกลิ่นเหล่านั้นอาจทำอันตรายแก่สุขภาพของคนที่อยู่ภายในห้องได้ การคำนวณภาระการทำความเย็นจากการระบายอากาศควรตรวจสอบว่าห้องนั้นมีการระบายอากาศด้วยวิธีใดและมีอัตราเท่าใด (ค่า CFM ที่ใช้ในการคำนวณ) ไม่ว่าอากาศภายนอกจะเข้าสู่ห้องปรับอากาศโดยวิธีใดข้างต้น ย่อมกลายเป็นภาระของเครื่องปรับอากาศทั้งสิ้น

การคำนวณแบบที่ 1

การคำนวณค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเข้ามาในบริเวณปรับอากาศ โดยผ่านรอยรั่วตามขอบหน้าต่างและประตูซึ่งจะทำการคำนวณจากทิศทางของกระแสลมกระทบหน้าต่างและประตูโดยตรง เป็นการคำนวณโดย ***ใช้พื้นที่ของหน้าต่างและประตู*** เป็นหลักในการคำนวณ และให้คิดพื้นที่หน้าต่างและประตูเฉพาะทางด้านต้นทางลมเข้าเท่านั้น ถ้าทิศทางลมพัดเอียงทำมุมกับหน้าต่างและประตูให้คูณค่าด้วย 0.6

ตาราง 2.2 แสดงการรั่วซึมของอากาศผ่านหน้าต่างและประตู (ใช้ **พื้นที่** เป็นหลักในการคำนวณ) ที่ความเร็วลม 7.5 ไมล์ ต่อชั่วโมง

Double Hung Windows

Description	cfm / ft^2 sash area					
	Small- 30" x 72"			Large- 54" x 96"		
	No W-Strip	W-Strip	Storm Sash	No W-Strip	W-Strip	Storm Sash
Average Wood Sash	.43	.26	.22	.27	.17	.14
Poorly Fitted Wood Sash	1.20	.37	.60	.76	.24	.38
Total Sash	.80	.35	.40	.51	.22	.25

Casement Type Windows

Description	cfm / ft^2 sash area									
	Percent Openable Area									
	0%	25%	33%	40%	45%	50%	60%	66%	75%	100%
Rolled Section – Steel Sash										
Industrial Pivoted	.33	.72	-	.99	-	-	-	1.45	-	2.6
Architectural Projected	-	.39	-	-	-	.55	.74	-	-	-
Residential	-	-	.28	-	-	.49	-	-	-	.63
Heavy Projected	-	-	-	-	.23	-	-	.32	.39	-
Hollow Metal – Vertically Pivoted	.27	.58	-	.82	-	-	-	1.20	-	2.20

Swinging Doors on Opposite Walls

Percent Time 2nd Door is Open	cfm per Pair of Doors				
	Percent Time 1st Door is Open				
	10	25	50	75	100
10	100	250	500	750	1000
25	250	625	1250	1875	2500
50	500	1250	2500	3750	5000
75	750	1875	3750	5625	7500
100	1000	2500	5000	7500	10000

Doors on One or Adjacent Walls, For Corner Entrances

Description	cfm / ft^2 sash area			
	No Use	Average Use	Standing Open	
			No Vestibule	Vestibule*
Revolving Doors-Normal Operation	.8	5.2	-	-
Panels Open	-	-	1,200	900
Glass Door-3/16" Crack	4.5	10.0	700	500
Wood Door (3' x 7')	1.0	6.5	700	500
Small Factory Door	.75	6.5	-	-
Garage & Shipping Room Door	2.0	4.5	-	-
Ramp Garage Door	2.0	6.75	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง ประตูที่ 2 ก่อนเข้าโถงใหญ่ หลังผ่านประตูแรกมาแล้ว ซึ่งพบได้ตามศูนย์การค่าใหญ่ๆ บางแห่ง ถ้าการเปิด-ปิด ประตูมีไม่มาก อาจลดจำนวนการเล็ดลอดของอากาศลงได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ถ้าการเปิด-ปิดประตูมีมาก ให้คิดค่าจำนวนการเล็ดลอดของอากาศตามปกติ

Doors

Description	cfm / ft^2 sash area		
	72' Revolving Door	36" Swinging Door	
		No Vestibule	Vestibule
Bank	6.5	8.0	6.0
Barber Shop	4.0	5.0	3.8
Candy and Soda	5.5	7.0	5.3
Cigar Store	20.0	30.0	22.5
Department Store (Small)	6.5	8.0	6.0
Dress Shop	2.0	2.5	1.9
Drug Store	5.5	7.0	5.3
Hospital Room	-	3.5	2.6
Lunch Room	4.0	5.0	3.8
Men's Shop	2.7	3.7	2.8
Restaurant	2.0	2.5	1.9
Shoe Store	2.7	3.5	2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณแบบที่ 2

เป็นตารางแสดงค่าจำนวนอากาศภายนอกเล็ดลอดผ่านเข้ามาในบริเวณปรับภาวะอากาศโดยผ่าน *รอยรั่วตามขอบหน้าต่างและประตู*ทางด้านต้นทางลมเข้า โดยใช้รอยรั่วตามขอบหน้าต่างและประตูเป็นหลักในการคิดคำนวณ

ตาราง 2.3 แสดงการรั่วซึมของอากาศผ่านหน้าต่างและประตู (ใช้ **รอยรั่ว** เป็นหลักในการคำนวณ)

Double Hung Windows – Unlocked on Windward Side

Type of Double Hung Window	cfm per linear foot of crack											
	Wind Velocity Mph (ไมล์ต่อชั่วโมง)											
	5		10		15		20		25		30	
	No W-Strip	W-Strip	No W-Strip	W-Strip	No W-Strip	W-Strip	No W-Strip	W-Strip	No W-Strip	W-Strip	No W-Strip	W-Strip
Wood Sash												
Average Wood Sash	.12	.07	.35	.22	.65	.40	.98	.60	1.33	.82	1.73	1.00
Poorly Fitted Window	.45	.10	1.15	.32	1.85	.57	2.60	.85	3.30	1.18	4.20	1.50
Poorly Fitted with Storm Sash	.23	.05	.57	.16	.93	.29	1.30	.43	1.60	.59	2.10	.70
Metal Sash	.33	.10	.78	.32	1.23	.53	1.73	.77	2.30	1.00	2.80	1.20

Casement Type Windows on Windward Side

Type of Casement Window and Typical Crack Size		cfm per linear foot of crack					
		Wind Velocity Mph (ไมล์ต่อชั่วโมง)					
		5	10	15	20	25	30
Rolled Section – Steel Sash							
Industrial Pivoted	1/16" crack	.87	1.80	2.9	4.1	5.1	6.2
Architectural Projected	1/32" crack	.25	.60	1.03	1.43	1.86	2.3
Architectural Projected	3/64" crack	.33	.87	1.47	1.93	2.5	3.0
Residential Casement	1/64" crack	.10	.30	.55	.78	1.00	1.23
Residential Casement	1/32" crack	.23	.53	.87	1.27	1.67	2.10
Heavy Casement Section Projected	1/64" crack	.05	.17	.30	.43	.58	.80
Heavy Casement Section Projected	1/32" crack	.13	.40	.63	.90	1.20	1.53
Hollow Metal – Vertically Pivoted		.50	1.46	2.40	3.10	3.70	4.00

Doors on Windward Side

Type of Door		cfm per linear foot of crack					
		Wind Velocity Mph (ไมล์ต่อชั่วโมง)					
		5	10	15	20	25	30
Glass Door-Herculite							
Good Installation	1/8" crack	3.2	6.4	9.6	13.0	16.0	19.0
Average Installation	3/16" crack	4.8	10.0	14.0	20.0	24.0	29.0
Poor Installation	1/4" crack	6.4	13.0	19.0	26.0	26.0	38.0
Ordinary Wood or Metal							
Well Fitted-W-Strip		.45	.60	.90	1.3	1.7	2.1
Well Fitted-No W-Strip		.90	1.2	1.80	2.6	3.3	4.2
Poorly Fitted-No W-Strip		.90	2.3	3.70	5.2	6.6	8.4

<u>การออกแบบและควบคุมระบบปรับอากาศ</u>

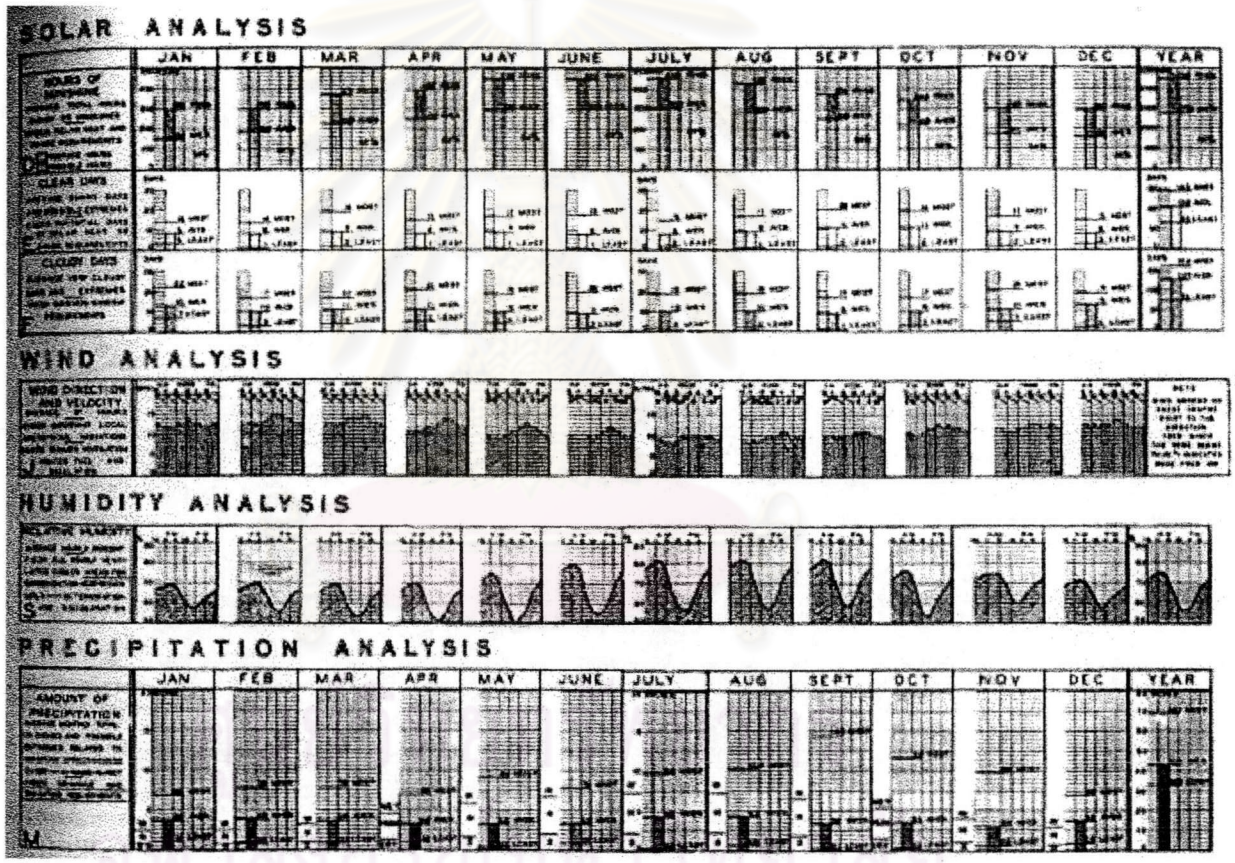
การออกแบบระบบปรับอากาศของบ้านมีความแตกต่างจากระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงาน เนื่องจากในอาคารสำนักงานมีลักษณะการใช้งานที่ผู้ใช้อาคารมีกิจกรรม (Activity) สูง ทำให้ต้องใช้แรงลมค่อนข้างสูงและไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับการใช้งานในแต่ละพื้นที่ เช่น มีการจ่ายลมเย็นเฉพาะจุดที่เป็นโต๊ะทำงาน (Work Station) หรือจัดให้มีการกระจายลมค่อนข้างเร็ว ถ้ามีกิจกรรมน้อยจะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเย็นเกินไป แต่ในการออกแบบระบบปรับอากาศของบ้านต้องคำนึงถึงการใช้งานในพื้นที่ส่วนต่างๆ โดยละเอียด บ้านพักอาศัยจะมีพื้นที่ที่มีกิจกรรมสูงไม่มากนัก เช่น ในส่วนรับแขก ส่วนทานอาหาร จึงควรมีการปรับให้มีอัตราความเร็วลมสูง แต่ถ้าเป็นส่วนอื่นๆ ที่มีกิจกรรมต่ำ เช่น ห้องนอน ส่วนพักผ่อน ซึ่งผู้อยู่อาศัยจะแต่งตัวด้วยเสื้อผ้าค่อนข้างเบาบาง (ค่า Clo-Value น้อย) ดังนั้นอุณหภูมิภายในอาคารจึงควรสูงกว่าปกติเล็กน้อยเพื่อความสบายและคุณภาพชีวิตที่ดี โดยเฉพาะห้องนอนต้องให้มีการไหลเวียนของอากาศค่อนข้างต่ำและมีอุณหภูมิไม่เย็นมาก การควบคุมระบบปรับอากาศในบ้านหลังนี้เน้นให้มีระดับเอนทัลปีสูงสุด โดยยังคงสภาพของสภาวะน่าสบายภายในบ้านได้ ซึ่งหมายถึงสามารถใช้ระบบปรับอากาศภายในบ้านโดยใช้พลังงานน้อยที่สุด แต่สภาวะภายในบ้านยังคงอยู่ในเขตสบาย

2.5 แนวทางการออกแบบที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อม

การออกแบบอาคารจำเป็นต้องพิจารณาสภาพแวดล้อมเพื่อความเหมาะสมสำหรับแต่ละท้องถิ่น ทำให้เกิดลักษณะอาคารที่แตกต่างกัน ลักษณะอาคารจะทำการวิเคราะห์จากสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศของท้องที่เพื่อการออกแบบที่เหมาะสม โดยเรื่องที่พิจารณา ได้แก่

- การวิเคราะห์ดวงอาทิตย์
- การวิเคราะห์ความเร็วลม และทิศทางลม
- การวิเคราะห์ความชื้นในอากาศ

โดยทำการหาค่าเฉลี่ยแต่ละเดือน โดยวิเคราะห์ในทุกเรื่องที่เกี่ยวข้อง



รูปภาพ[33] **2.16** แสดงการวิเคราะห์สภาพอากาศในเรื่องต่างๆ

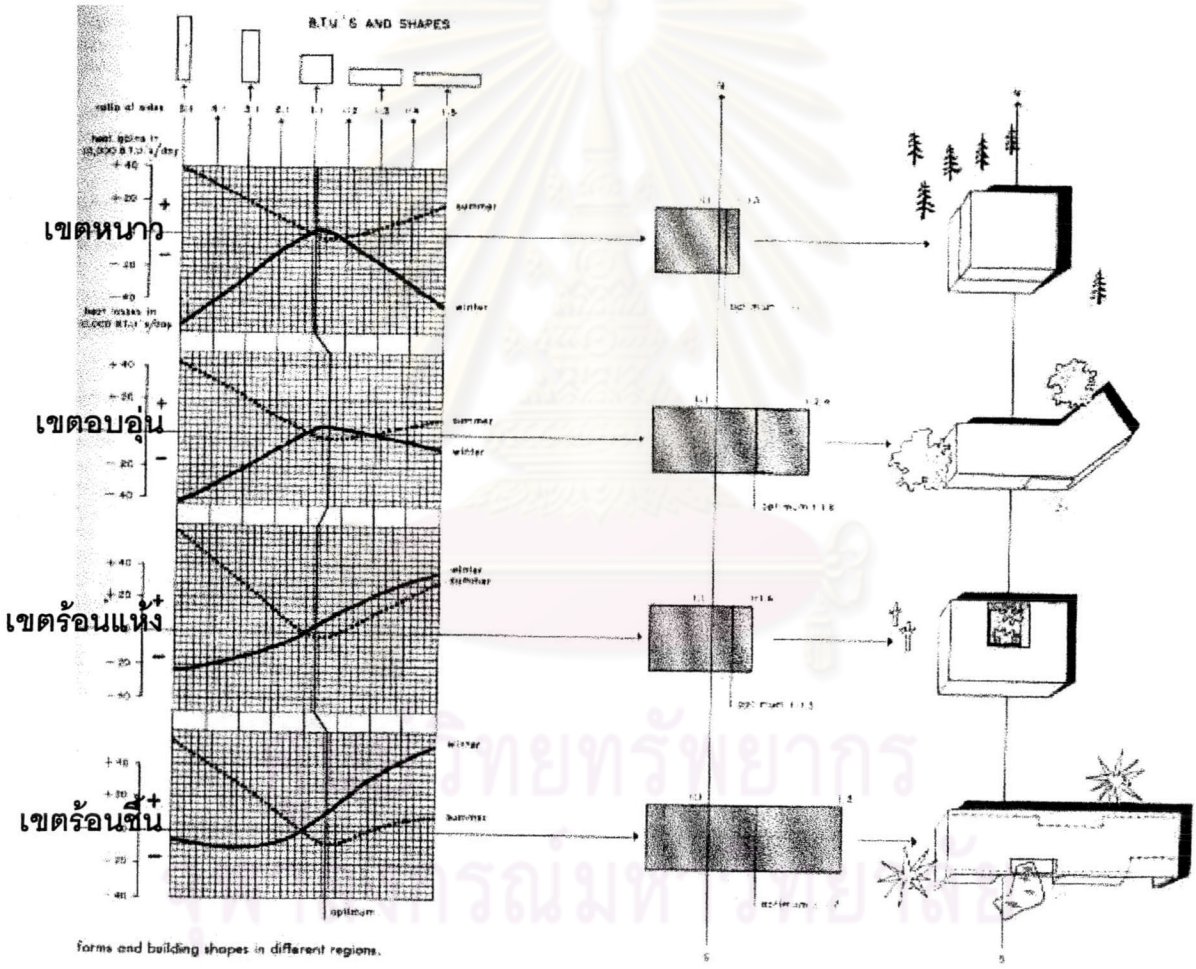
[33]Olgyay, Victor and Olgyay, Aladar, Design with climate (New Jersey: Princeton, 1973), p. 25.

การวิเคราะห์สภาพอากาศเพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางการออกแบบในเรื่องต่างๆ ดังนี้

การวิเคราะห์รูปทรงอาคาร

รูปทรงอาคารที่ดี คือ รูปทรงที่สูญเสียความร้อนให้กับบรรยากาศภายนอกน้อยที่สุดในฤดูหนาว และดูดซับความร้อนจากสภาพแวดล้อมในฤดูร้อนน้อยที่สุด

สำหรับในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย จากการพิจารณาสภาพอากาศจะเห็นว่าอาคารควรมีรูปทรงที่ต้องการถ่ายเทความร้อนให้กับบรรยากาศให้มากที่สุด (สำหรับอาคารที่ใช้ระบบธรรมชาติ) และยังต้องสามารถสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้าสู่อาคารได้อีกด้วย ดังเช่น การเปรียบเทียบรูปทรงอาคารสำหรับแต่ละเขตที่มีสภาพอากาศแตกต่างกัน



รูปภาพ[34] **2.17** แสดงการเปรียบเทียบรูปทรงของอาคารในแต่ละเขตอากาศ

[34] Olgyay, Victor and Olgyay, Aladar, Design with climate (New Jersey: Princeton, 1973), p. 89.

ข้อสังเกตของรูปทรงทางสถาปัตยกรรม จากการกระทำทางสภาวะอุณหภูมิ กล่าวได้ว่า

1. อาคารรูปจัตุรัสไม่ใช่รูปทรงที่ดีสำหรับภูมิภาคใดๆ เลย
2. อาคารรูปทรงเรียวยาวตามแกนเหนือ-ใต้ กลับตอบสนองการแก้ปัญหาสภาวะอุณหภูมิได้เลวกว่าอาคารรูปจัตุรัสในทุกๆ ฤดูกาล
3. อาคารรูปทรงเรียวยาวตามแกนตะวันออก-ตะวันตกตอบสนองการแก้ปัญหาทางสภาวะอุณหภูมิการแผ่รังสีได้ดีที่สุด

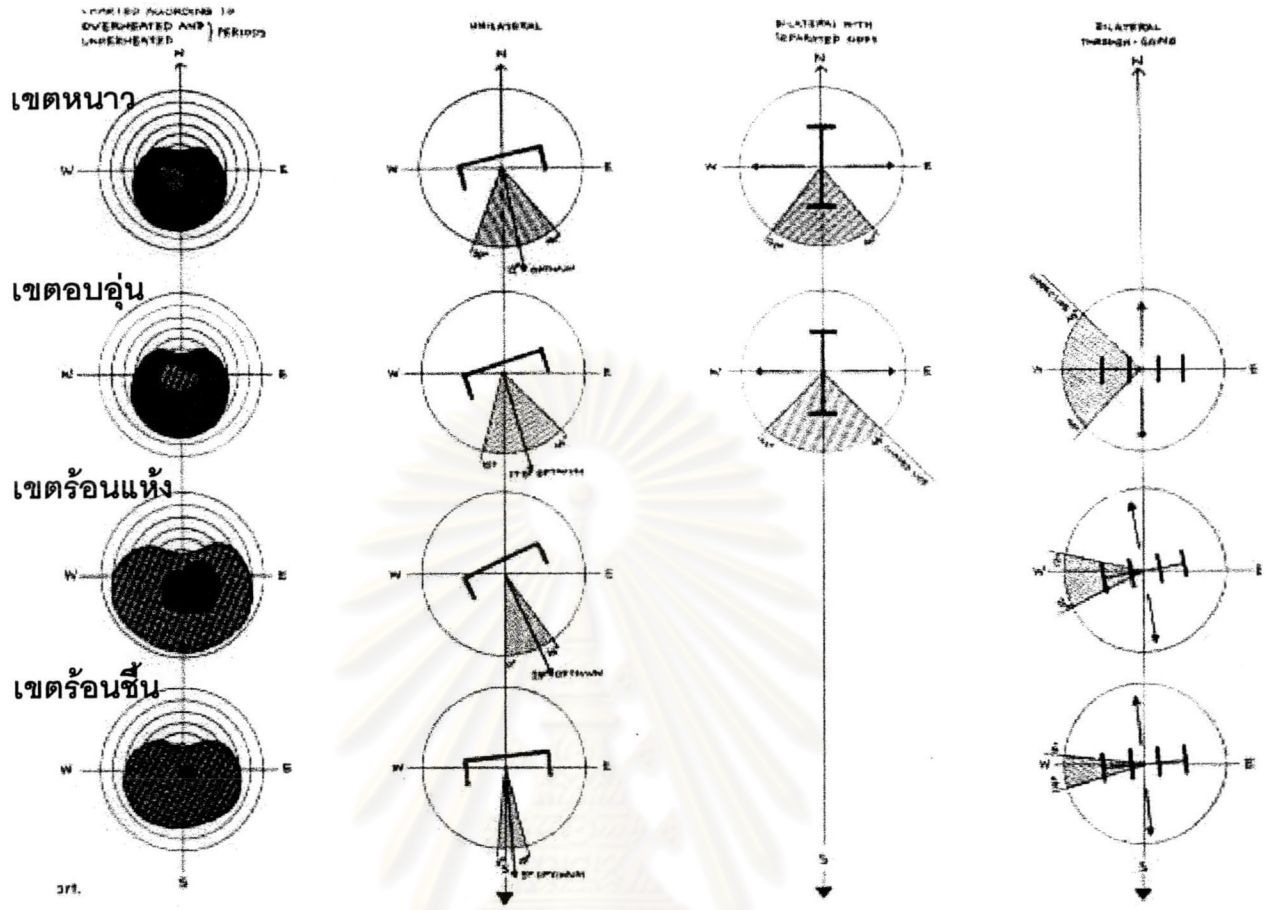
การวิเคราะห์การวางอาคารแบบ Sol-Air Orientation

ฤดูกาลเปลี่ยนไปตามความแตกต่างกัน จากการโคจรของดวงอาทิตย์กับลักษณะการเอียงของแกนโลก การวางอาคารโดยวิธีการ Sol-Air Approach เกิดจากการพบว่าอุณหภูมิของอากาศกับการแผ่รังสี ร่วมกันทำให้เกิดผลทางด้านความร้อนกับร่างกาย การวิเคราะห์หา Sol-Air Orientation นำไปสู่การควบคุมสภาพบรรยากาศให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย

ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันออกไปตามฤดูกาลและตำแหน่งของท้องถิ่นเมื่ออุณหภูมิทั่วไปต่ำ อาคารควรจะวางให้รับการแผ่รังสีความร้อนมากที่สุด และเมื่ออุณหภูมิทั่วไปสูงเกินควร อาคารควรจะหันหลบการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์

การวิเคราะห์การแผ่รังสีรวม ซึ่งพล็อตลงในตารางรูปกลมเป็นชั้นๆ แสดงปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการแผ่รังสี มีเส้นแสดงตำแหน่งทิศ ลากเส้นแสดงปริมาณความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีรวม จากการวิเคราะห์ส่วนนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางการวางอาคารได้ แต่การเนื่องจากโคจรของดวงอาทิตย์จึงไม่สามารถหันหลบแสงแดดได้มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากหากหันหลบมากเกินไป อาคารที่มีทิศทางการเปิดสองด้าน (เพื่อรับการหมุนเวียนของอากาศ และแสงสว่างจะมีด้านที่ต้องรับแสง) จะต้องได้รับความร้อนเพิ่ม เนื่องจากการส่องผ่านอาคารของแสงแดดและความร้อน

จากรูปภาพ 2.16 แสดงการเปรียบเทียบการวางอาคารสำหรับแต่ละเขตอากาศ จะเห็นว่าแต่ละท้องถิ่นที่มีสภาพอากาศแตกต่างกันจะมีแนวการวางอาคารที่พิจารณาจากเรื่องแสงแดดและรังสีความร้อน ทั้งนี้เป็นการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการวางอาคาร และการออกแบบเฉพาะท้องถิ่นตามสภาพอากาศ



รูปภาพ[35] **2.18** แสดงการเปรียบเทียบการวางแนวอาคารในแต่ละเขตอากาศ

การวางแนวอาคารสำหรับเขตร้อนชื้นของประเทศไทยต้องทำการวิเคราะห์การหันทิศทางอาคารโดยพิจารณาอุณหภูมิในแต่ละทิศทาง กับการวิเคราะห์เรื่องลมประจำถิ่น จะทำให้ได้การวางแนวอาคารที่เหมาะสมของแต่ละท้องถิ่นโดยที่ความร้อนไม่เข้ามาภายในอาคารและสามารถใช้กระแสลมช่วยให้เกิดความรู้สึกเสมือนสภาวะน่าสบายได้อีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[35] Olgyay, Victor and Olgyay, Aladar, Design with climate (New Jersey: Princeton, 1973), p. 61.

การวิเคราะห์กระแสลม

การวิเคราะห์เรื่องของกระแสลมเป็นการวิเคราะห์ให้ได้มาซึ่งทิศทางการจัดวางตำแหน่งช่องเปิดสำหรับอาคาร โดยต้องพิจารณาในเรื่องต่างๆ ดังนี้

<u>ความเร็วลมภายในห้องและทิศทางของลมที่สัมพันธ์กับช่องเปิด</u>

ขนาดช่องเปิด และจำนวนของช่องเปิดมีผลกับทิศทางของกระแสลม (Air Flow Pattern) และปริมาตรของกระแสลมที่เกิดขึ้นภายในห้องจึงได้ทำการหาค่าความเร็วลมจากสูตรการคำนวณเป็นหลัก ดังนี้

$$\overline{V} = 0.45\,(1 - Ke^{-3.84})\,V_o$$

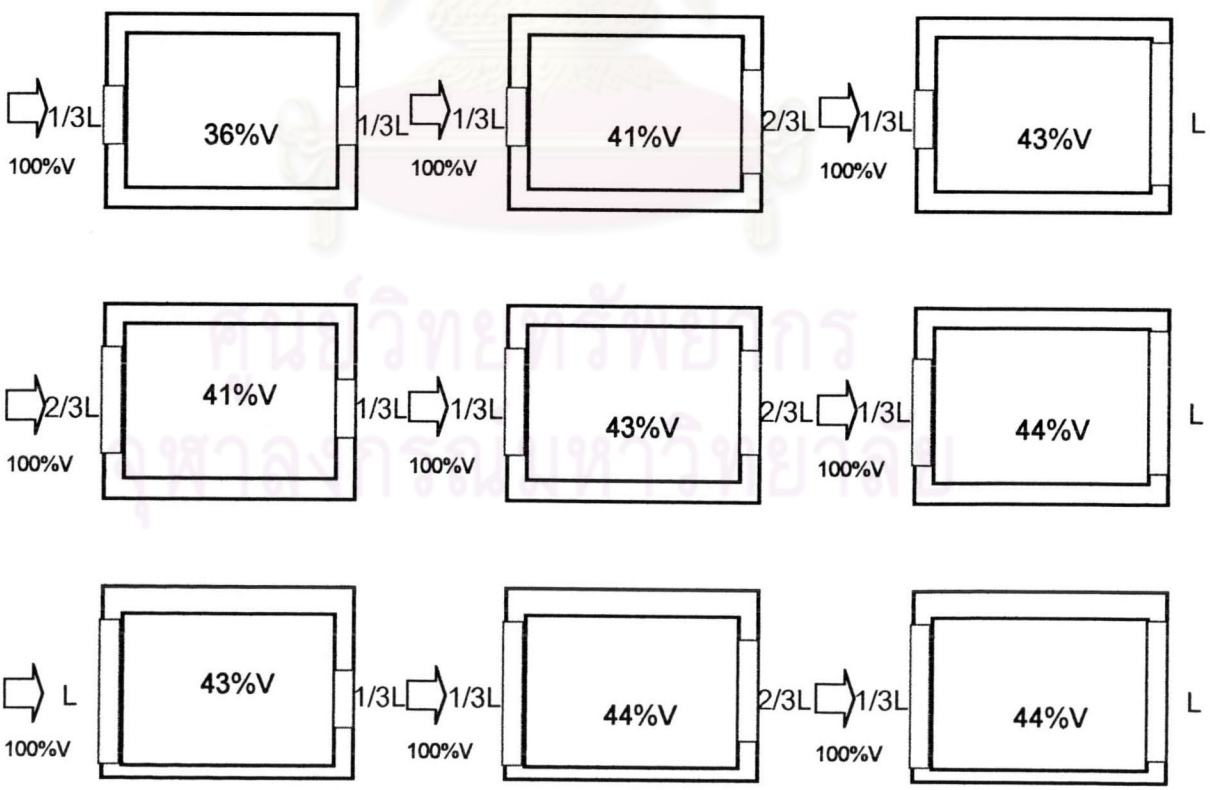
โดยที่

$\overline{V}$ = ค่าเฉลี่ยความเร็วลมภายในห้อง หน่วยเป็น เมตร/วินาที

K = สัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดรวมของผนังด้านที่มีช่องเปิดต่อพื้นที่หน้าตัดรวมของช่องเปิดทั้งทางลมเข้าและทางลมออก

$e^{-3.84}$ = ค่าคงที่ทางกลศาสตร์ เท่ากับ 0.0215

V_o = ค่าความเร็วลมด้านนอกห้อง



รูปภาพ 2.19 แสดงความเร็วลมเฉลี่ย ภายในห้องที่มีช่องเปิดตรงกัน แต่ช่องเปิดขนาดไม่เท่ากัน

ซึ่งค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จะมีส่วนสัมพันธ์กัน คือ ช่องทางเข้าและทางออกต่างกันมาก ค่าความเร็วลมก็จะมีค่าที่มาก โดยเฉพาะช่องทางเข้าแคบและช่องทางออกกว้าง ลมจะมีค่าความเร็วเพิ่มขึ้น บริเวณปากทางเข้าซึ่งอาจจะสูงกว่าลมจากภายนอก

แต่ในกรณีที่ลมภายนอกแรงมาก แต่ช่องทางออกไม่มีลมที่มาปะทะบริเวณช่องทางเข้าจะไม่สามารถเข้ามาภายในห้องได้ ทำให้สรุปได้ว่า ไม่ว่าลมจะเร็วเท่าใดแต่ถ้าช่องเปิดมีทางด้านเดียว ความเร็วลมภายในห้องก็เกือบจะเป็น 0 ซึ่งจะส่งผลไปยังการระบายอากาศด้วย แต่ในความเป็นจริงนั้น กระแสลมสามารถมาได้จากหลายทิศทางในฤดูกาลที่แตกต่างกัน หรือในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทิศทางที่เปลี่ยนไปของกระแสลมนี้จะส่งผลไปถึงความเร็วลมภายในห้อง รวมไปถึงปริมาตรลมภายในห้องด้วย

<u>การวางตำแหน่งช่องเปิด</u>

การวางตำแหน่งช่องเปิดทางเข้าและทางออกของอาคารมีผลโดยตรงต่อแนวทางการไหลของกระแสลม และความเร็วลมจะลดลงเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางการไหล มีสูตรในการคำนวณหาอัตราการไหลเวียนของอากาศภายในห้อง ดังนี้

$$Q = KVA$$

โดยที่

Q = อัตราการไหลเวียนของอากาศ หน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง

K = ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของช่องลมเข้าและช่องลมออก)

V = ความเร็วลม หน่วยเป็น เมตรต่อชั่วโมง

A = พื้นที่หน้าตัด ขนาดของช่องทางเข้า หน่วยเป็น ตารางฟุต

Outlet = Inlet ซึ่งจะได้ Maximum Flow (CFM)

Outlet < Inlet ซึ่งจะได้ Maximum Velocity ภายในห้อง

(Less than)

Outlet > Inlet ซึ่งจะได้ Minimum Flow

(More than)

$$\frac{\text{Area of Outlet}}{\text{Area of Inlet}} = K$$

Effectiveness Factor

พื้นที่หน้าตัดทางออก : พื้นที่หน้าตัดทางเข้า Area of Outlet / Area of Inlet	ค่าของ K ที่ใช้ในการคำนวณ
1 : 1	3150..... Maximum Flow
2 : 1	4000
3 : 1	4250
4 : 1	4325..... Minimum Flow ภายในห้อง
5 : 1	4400
3 : 4	2700
1 : 2	2000
1 : 4	1100..... Maximum Velocity ภายในห้อง

ตาราง[36]2.4 แสดงสัดส่วนของขนาดช่องเปิดทางเข้ากับทางออกที่สัมพันธ์กับการไหลของกระแสลม

จากค่า K ที่ปรากฏนั้น สามารถวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศ ช่องเปิดทางให้อากาศออกจะสำคัญกว่าช่องเปิดที่ให้อากาศไหลเข้า ถ้าพื้นที่หน้าตัดของผนังด้านทางออกกับทางเข้าเท่ากัน

สามารถสรุปเรื่องความเร็วของกระแสลมภายในห้องและทิศทางของกระแสลมที่สัมพันธ์กับช่องเปิด ได้ดังนี้

- ความเร็วของกระแสลมภายในห้องที่มีการเจาะช่องเปิดที่อยู่ตรงข้ามกัน จะมีความเร็วมากกว่าแบบช่องเปิดทางเข้าและทางออกตังฉากกัน ความเร็วของกระแสลมที่ดีต้องไม่มากและไม่น้อยจนเกินไป

- ความเร็วของกระแสลมในห้องที่มีขนาดช่องเปิดทางเข้าเล็ก และทางออกใหญ่ต่างกันมาก ๆ จะยิ่งทำให้กระแสลมมีความเร็วที่มากขึ้นจากกระแสลมที่วัดได้จากภายนอก แต่โดยส่วนใหญ่ค่าความเร็วของกระแสลมโดยเฉลี่ย (V) ภายในห้องจะต่ำกว่าภายนอกอาคารเสมอ

- การเปิดช่องเปิดในด้านหรือทิศทางที่ตั้งฉากหรือทำมุมเพียงเล็กน้อยกับกระแสลมประจำปี จะทำให้รับกระแสลมเต็มที่

---

[36] Olgyay, Victor and Olgyay, Aladar, Design with climate (New Jersey: Princeton, 1973), p. 104.

- กระแสลมที่เข้ามาในช่องเปิดที่อยู่ติดๆ กัน จะมีทิศทางเบี่ยงเบนไปจากกรณีช่องเปิดที่อยู่ห่างๆ กัน อันเนื่องจากความกดอากาศที่กระทำต่อกันของกระแสลมในแต่ละช่องเปิดนั้นเอง

- กระแสลมที่เข้ามาทางทิศที่ทำมุมกับช่องเปิดทางเข้า จะมีความเร็วของกระแสลมเฉลี่ยภายในห้องมากกว่ากระแสลมที่เข้ามาในทิศตั้งฉากกับช่องเปิด

<u>แนวทิศทางการไหลของกระแสลม</u>

แนวทิศทางการไหลของกระแสลม เนื่องจากสิ่งประกอบบริเวณช่องเปิดทางเข้าและช่องเปิดทางออกของอากาศ สิ่งประกอบช่องเปิดทางเข้าบริเวณนอกอาคารนับว่ามีผลต่อแนวการไหลของอากาศที่เข้ามาภายในห้อง ซึ่งจะมากและน้อยต่างกันตามลักษณะขนาดและตำแหน่งของสิ่งประกอบนั้น ๆ โดยรวมถึงสิ่งประกอบที่เป็นกันสาดทางตั้งและกันสาดทางนอนชนิดต่าง ๆ

สามารถสรุปเรื่องแนวทิศทางการไหลของกระแสลม (อันเนื่องมาจากสิ่งประกอบบริเวณช่องเปิดทางเข้าและช่องเปิดทางออก) ได้ดังนี้

- สิ่งประกอบช่องเปิดทางเข้าของอากาศนอกอาคารจะมีผลต่อแนวการไหลของอากาศภายในอาคารอย่างเห็นได้ชัด เช่น ชายคาที่ระดับฝ้าของอาคารจะปะทะกระแสลม และเปลี่ยนแนวการไหลของกระแสลมเข้าสู่ช่องเปิดทางเข้า เพิ่มคุณสมบัติในการระบายอากาศ ในขณะที่ชายคาอันเดียวกันวางที่ระดับขอบบนของช่องทางเข้าของอากาศ ทำให้กระแสลมพุ่งขึ้นสูงสู่ฝ้าภายในอาคาร เนื่องจากการเปลี่ยนความกดอากาศภายนอก ซึ่งเป็นแนวการไหลที่ไม่สมควรให้เกิดขึ้นภายในอาคาร และชายคาอันเดียวกันวางระดับบนขอบหน้าต่าง แต่ดึงหลุดออกเล็กน้อย เพื่อให้เป็นช่องปรับความดัน จะทำให้แนวการไหลของอากาศต่ำลงสู่ระดับที่เป็นประโยชน์ได้

- สิ่งประกอบ เช่น ต้นไม้ กันสาด สามารถช่วงเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแสลมได้ เช่น กรณีเจาะช่องเปิดทางเข้าและทางออกอยู่ด้านข้างก็สามารถใช้สิ่งประกอบทางตั้งมาใช้ในทิศทางที่กระแสลมผ่นทำให้เกิดการเบี่ยงเบนเข้าไปในห้องได้ (กระแสลมที่ได้อาจมีความเร็วไม่มากนักแต่ก็นับว่าช่วยให้เกิดการไหลเวียนของอากาศดีขึ้นกว่าการไม่ใช้สิ่งประกอบเลย)

- สิ่งประกอบทางตั้งและทางนอนให้ผลที่ต่างกัน โดยที่สิ่งประกอบทางตั้ง คือ ขึ้นหรือลงจากแนวเดิมของกระแสลม

- สิ่งประกอบจะเกิดผลเป็นอย่างมากก็ต่อเมื่ออยู่บริเวณช่องเปิดทางเข้าเป็นหลัก

<u>สิ่งที่มีผลและตัวแปรการไหลของกระแสลม</u>

ความสัมพันธ์ของทิศทางและรูปแบบการไหลของกระแสลมมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบน และลักษณะการพัดพาของกระแสลมที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

หัวข้อ	ข้อสรุป	ข้อเสนอแนะ
รูปทรงอาคาร	เลือกรูปทรงอาคารที่มีพื้นที่รักระแสลมได้มาก และถ่ายเทออกได้สะดวก ซึ่งในเขตร้อนชื้นควรหันด้านตามยาวของอาคารเข้ารับแระแสลม โดยเปิดช่องเปิดให้มีขนาดที่พอเพียงและเหมาะสมทั้งช่องทางเข้าและทางออกของกระแสลม	ควรทำที่กันแดดบัง หรือยื่นชายคาหากด้านที่รับลมเป็นด้านที่รับแดดและฝน
ขนาดและสัดส่วนของห้อง	ควรออกแบบห้องที่มีความลึกและซอกมุมมากจนเกินไป เพราะกระแสลมจะไม่สามารถเข้าถึงได้ ทำให้เกิดจุดอับลมขึ้นภายในห้อง	การวางผังอาคารไม่ควรวางอาคารโดยมีห้องที่ลึกและซ้อนกัน
ตำแหน่งช่องเปิด	เลือกช่องเปิดให้กระแสลมเข้า โดยไม่ควรให้มีสิ่งกีดขวางในด้านที่กระแสลมมาปะทะ	หากไม่สามารถเจาะช่องเปิดในทิศทางที่กระแสลมเข้าอาคารได้ อาจเจาะช่องเปิดทางด้านข้างประกอบกับการใช้สิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ กันสาด ทำให้ลมหักเหเข้าไปในช่องเปิด
การเจาะช่องเปิด	การเจาะช่องเปิดทางเข้าเล็ก ช่องทางออกใหญ่จะมีกระแสลมที่เร็วและแรงกว่าการเจาะช่องเปิดทางเข้าใหญ่ ช่องทางออกเล็กและช่องเปิดทางเข้าและทางออกในขนาดที่เท่ากัน แต่การเจาะช่องเปิดทางเข้าใหญ่ ทางออกเล็กจะครอบคลุมพื้นที่ได้มากสุด แต่กระแสลมจะลดลงบริเวณปากทางช่องเปิดออก	ขนาดของช่องเปิดสามารถควบคุมความเร็ว และความแรงของกระแสลมได้ ดังนั้นการออกแบบจึงต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับการใช้สอย
ขนาดและจำนวนช่องเปิด	อาคารควรมีขนาดและจำนวนช่องเปิดทางลมเข้าและลมออกมากจะทำให้การไหลเวียนของกระแสลมดียิ่งขึ้น	ขนาดและจำนวนช่องเปิดจะไม่เกิดผลหากช่องเปิดอยู่ด้านเดียวกัน

หัวข้อ	ข้อสรุป	ข้อเสนอแนะ
การเคลื่อนที่ของกระแสลมที่เข้าสู่ช่องเปิดของอาคาร	กระแสลมจะเคลื่อนที่เข้าและออกทางช่องเปิดที่ใกล้กันที่สุดก่อน ยกเว้นกรณีที่ช่องเปิดอยู่ทางผนังเดียวกัน	ควรเปิดช่องเปิดด้านลมเข้าและออกในทิศทางตรงกันข้าม เพื่อให้เกิดการระบายอากาศที่ทั่วถึง
กันสาด	กันสาดมีผลกับทิศทางลมที่จะเข้าสู่อาคาร ทำให้เกิดการหักเหของกระแสลม	การเลือกใช้ให้พิจารณาให้เหมาะสมกับความต้องการ
หน้าต่าง	ควรใช้หน้าต่างที่เปิดได้เต็มพื้นที่ช่องเปิด เช่น บานเลื่อน บานเปิด หรือบานเฟี้ยม เมื่อต้องการกระแสลมที่เข้ามากโดยไม่เปลี่ยนทิศทาง	ใช้หน้าต่างบานกระทุ้ง หรือบานเกล็ด เมื่อต้องการการหักเหของกระแสลมให้มีทิศทางที่เลี้ยวเบน
การกั้นผนังภายในห้อง	การกั้นผนังภายในห้องมากเกินไปทำให้ลมกระจายไม่ทั่วถึง	หากจำเป็นต้องมีการกั้นผนังมาก ควรมีช่องเปิดที่ผนัง หรือกันผนังลอย
ตำแหน่งผนังกั้นภายในและเฟอร์นิเจอร์	ควรวางตำแหน่งให้เหมาะสมกับทิศทางลม เพื่อให้กระแสลมไหลผ่านทั่วห้องได้ดีขึ้น	หากวางขวางทิศทางลมจะทำให้กระแสลมเปลี่ยนทิศทางได้
ความสูงของช่องเปิดถึงพื้นดิน	ช่องเปิดยิ่งอยู่สูง กระแสลมที่เข้ามาจะเร็วและแรงมากขึ้น	ต้องพิจารณาผลกระทบจากอาคารข้างเคียง ซึ่งจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของกระแสลม
ระยะห่างระหว่างอาคาร	ระยะการวางอาคาร ขนาดอาคารและตำแหน่งมีผลในการจัดวางกลุ่มอาคาร เมื่อมีระยะห่างกันมากทำให้การไหลของกระแสลมเข้าถึงได้ดีขึ้น	การวางอาคารให้อยู่ซ้อนกันต้องคำนึงถึงระยะห่างที่เหมาะสม
การระบายอากาศทางปล่อง	การระบายอากาศทางปล่อง จะใช้ได้ดีเมื่อภายในห้องกับบริเวณปากปล่องมีความแตกต่างด้านอุณหภูมิหรือความกดอากาศต่างกันมากๆ โดยที่อากาศจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีอุณหภูมิต่ำไปที่ที่มีอุณหภูมิสูง (ปากปล่อง) เสมอและอากาศในห้องก็จะเคลื่อนที่จากที่มีความกดอากาศสูงไปยังที่มีความกดอากาศต่ำเสมอ	ใช้การระบายอากาศทางปล่องในกรณีที่มีขีดจำกัดเรื่องการเจาะช่องเปิด ทั้งเรื่องของขนาด ทิศ-ทาง จำนวน เพื่อช่วยให้กระแสลมภายในไหลเวียนดีขึ้น

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย : ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง และ ผศ. สุวิทย์ บุณยวานิชกุล
ผู้วิจัย : การจัดทำฐานข้อมูลภูมิอากาศของประเทศไทย
ปีที่ทำงานวิจัย : 2540

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยามาทำเป็นข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่สามารถเชื่อถือได้และนำมาใช้ได้ง่าย โดยตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลในแต่ละค่าโดยตลอดเวลา 30 ปี โดยทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ (Format) ที่สามารถทำการวิเคราะห์และนำมาใช้ได้โดยสะดวก การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis) และใช้สมการถดถอยผสมผสานกับกรรมวิธีอื่นๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่เชื่อถือได้ สามารถตรวจสอบความเชื่อถือได้ของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลของแต่ละสถานีของจังหวัดโดยนำเสนอค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด และทำการสร้างตัวอย่างการนำข้อมูลภูมิอากาศไปใช้กับโปรแกรมมาตรฐานที่ใช้ประเมินการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น DOE-2

จังหวัดที่นำมาทำการวิจัย เลือกจากจังหวัดที่มีข้อมูลสมบูรณ์ และมีการเก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ ทั้งหมด 11 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพฯ เชียงใหม่ อุดรธานี อุบลราชธานี ขอนแก่น นครราชสีมา ชลบุรี .ระยอง กาญจนบุรี ภูเก็ต และสงขลา

ประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม รวมทั้งข้อมูลอื่นที่มีแนวโน้มว่าจะมีประโยชน์ต่อการวิจัยด้านพลังงาน เช่น ปริมาณน้ำฝน ปริมาณเมฆ

งานวิจัย : **นาย ศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ**
ผู้วิจัย : อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดขณะปิด
ปีที่ทำงานวิจัย : 2543

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยการวัดจริงบริเวณช่องเปิดของอาคารที่กำหนด โดยการใช้วัดความเร็วลมที่เปลี่ยนไปจากช่องเปิด ผ่านพื้นที่ 1 ตารางฟุต ตามการทดลองที่มีการจำแนกลักษณะช่องเปิดไว้ และตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทดลองกับการเกิดรั่วซึมของอากาศ ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นนำมาประเมินพลังงานที่สูญเสียไปจากการรั่วซึมของอากาศ และใช้วิธีการทางสถิติในการทำนายปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิด

ผลสรุปจากการวิจัยพบว่า การรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิดนั้นมีปัจจัยสำคัญ คือ ประเภทของช่องเปิดและความเร็วลมภายนอก โดยมีการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศจากสูงสุดถึงน้อยสุด (ต่อตารางเมตร) คือ ช่องเปิดบานเกร็ด (80%ของความเร็วลมภายนอก) และช่องเปิดบานเปิด ช่องเปิดบานเลื่อน และช่องเปิดติดตาย ตามลำดับ และทางทิศใต้มีการสูญเสียพลังงานมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากทางทิศใต้มีความเร็วลมภายนอกโดยเฉลี่ยสูงที่สุดตลอดทั้งปี ดังนั้นการประหยัดพลังงานต้องคำนึงถึงการรั่วซึมของอากาศด้วย และควรหลีกเลี่ยงการออกแบบอาคารที่ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร สุดท้ายได้มีการเสนอแนะอาคารที่มีเหลี่ยมน้อย หรืออาคารทรงกลมจะสามารถลดการรั่วซึมของอากาศได้ดีที่สุด

จากการศึกษางานวิจัยสามารถทำตารางสรุปอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดขณะปิดสำหรับหน้าต่างประเภทต่างๆ ได้ ดังนี้

ตาราง 2.5 แสดงการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมผ่านหน้าต่างชนิดต่าง ๆ

การรั่วซึม	บานเกล็ด 80%								บานเปิด 50%								บานเลื่อน 8.73%								บานติดตาย								ก่ออิฐฉาบปูน 10 ซม. 0.05%							
การสูญเสีย พ.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
มกราคม	L	H					L*	L*	L	H							H		L						H		L								H		L				L*	L*
กุมภาพันธ์	L	H					L*	L*	L	H									L	H							L	H					L		H				L*	L*
มีนาคม	L				H				L				H							H		L						H		L					H					L*
เมษายน					H		L						H		L					H		L						H		L					H				L	L*
พฤษภาคม	L				H				L				H					L		H							L		H							H				L*
มิถุนายน	L				H				L				H				L			H					L				H				L		L*					H
กรกฎาคม	L						H		L						H		L						H		L					H				L						H
สิงหาคม	L					H			L					H			L					H			L					H				L			H			
กันยายน	L						H		L						H		L						H		L					H			L					H		
ตุลาคม	L							H	L							H			L					H		H	L									L			H		
พฤศจิกายน		H			L					H		L					H			L					H			L					H				L			
ธันวาคม			H			L				H			L				H				L				H				L				H	H			L			

สัญลักษณ์ H = สูญเสียพลังงานในทิศทางนั้นสูงสุด

L = สูญเสียพลังงานในทิศทางนั้นต่ำสุด

L* = สูญเสียพลังงานในทิศทางนั้นต่ำมาก หรือแทบจะไม่มีการสูญเสีย