เปลือกอาคารกับ Thermal Comfort

สมจินต์ ดิสวัสดิ์

Chief of Engineering Department, EEC Engineering Network Co. Ltd.

1. Introduction

เปลือกอาคารเป็นองค์ประกอบที่ช่วยป้องกันอาคารจากสภาพแวดล้อมต่างๆภายนอกที่ไม่พึงประสงค์ ไม่ให้มีผลกระทบหรือมีผลกระทบน้อยที่สุดกับสภาพแวดล้อมภายในที่ต้องการของผู้อยู่อาศัย เปลือกอาคารแบ่งได้เป็นสองส่วนหลักคือ ส่วนที่ทึบแสง และส่วนที่โปร่งแสง ซึ่งก็คือ ผนังและกระจกนั่นเอง

เปลือกอาคารนอกจากจะต้องมีความสวยงามสบายตาถูกต้องตามรูปแบบสถาปัตยกรรมแล้ว ยังต้องให้มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศด้วย สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทย ที่อาคารมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเป็นส่วนใหญ่ เปลือกอาคารต้องสามารถกันความร้อน และกันความชื้นได้เป็นอย่างดี นั่นคือต้องมีค่าการนำความร้อนผ่านเปลือกอาคารต่ำและไม่รั่ว ซึ่งในการออกแบบอาคารส่วนใหญ่ก็พิจารณาส่วนนี้กันอยู่แล้ว แต่ในส่วนของผลกระทบของเปลือกอาคารกับความสบายเชิงความร้อน มักจะไม่ค่อยได้คำนึงถึงกันมากนัก ผู้เขียนจึงอยากกระตุ้นให้พิจารณาส่วนนี้เพิ่มเติมเข้าไปในการพิจารณาเลือกเปลือกอาคาร

โดยผลกระทบนี้จะมีผลกับคนที่นั่งใกล้เปลือกอาคารที่เรียกว่าความไม่สบายเฉพาะที่ (Local Discomfort) หรือความไม่สม่ำเสมอของความสบายเชิงความร้อน (Thermal nonuniform conditions) เช่นคนที่นั่งใกล้ผนังหรือกระจกที่ร้อน หรือนั่งอยู่ใต้หัวจ่ายที่เป่าลมเย็นใส่เป็นต้น สำหรับพื้นที่ใกล้กระจกเนื่องจากผู้ออกแบบระบบปรับอากาศรู้ว่าบริเวณนี้จะร้อนเลยออกแบบให้หัวจ่ายบริเวณนี้มีลมที่สูงกว่าบริเวณอื่น และมักจะใช้หัวจ่าย Slot แล้วเรียกเท่ ๆ กันว่าการตัดโหลดกระจก

2. Thermal comfort

ความสบายเชิงความร้อนคือสภาวะที่คนเรารู้สึกร้อนหนาวหรือพอดีกับสภาพแวดล้อม ซึ่งมีอยู่ 6 ปัจจัย ตาม ASHRAE Standard 55-2017 [1] แบ่งเป็นสองส่วนหลักคือปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (Environmental factors) สี่ปัจจัย และปัจจัยด้านบุคคล (Personal factors) อีกสองปัจจัย ดังตารางด้านล่าง {ทั้งนี้ในส่วนของ Mood[(a)] หรืออารมณ์ของคน ผู้เขียนได้เพิ่มเติม

ขึ้นมาเอง เพราะบ่อยครั้งที่เห็นว่าไปตรวจงานแล้วพบว่าค่าต่างๆได้ตามมาตรฐานที่อ้างถึง แต่ยังมีบางคนที่รู้สึกไม่สบาย}

Thermal comfort	
Environmental factors	**Personal factors**
1. Air temperature 2. Radiant temperature 3. Air speed 4. Humidity	1. Metabolic rate 2. Clothing insulation 3. Mood[(a)]

ASHRAE Standard 55 – 2017 [1] ได้ให้ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้ไว้ในรูปของ Thermal comfort zone ดังรูปที่ 1 และสมการที่ 1

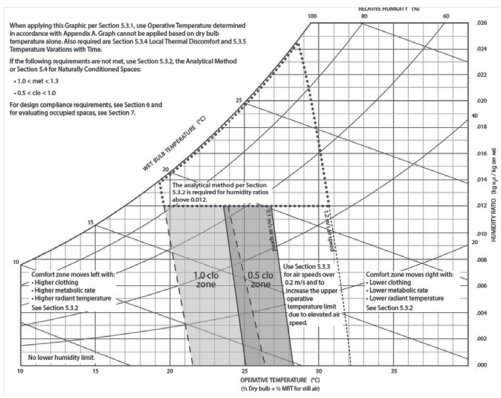


Figure 5.3.1 Graphic Comfort Zone Method: Acceptable range of operative temperature t_o and humidity for spaces that meet the criteria specified in Section 5.3.1 (1.0 ≤ met < 1.3; 0.5 < clo < 1.0)—(a) I-P and (b) SI.

รูปที่ 1: Thermal comfort zone [1]

$$To = A\,Ta + (1 - A)\,Tr \qquad (1)$$

เมื่อ

To = Operative temperature

Ta = Average air temperature

Tr = Mean radian temperature (สำหรับรายละเอียดสามารถศึกษาได้จาก ASHRAE Handbook – Fundamental)

และ A มีค่าต่างๆตามตารางด้านล่าง

V_a	< 40 FPM (<0.2 m/s)	40 – 120 FPM (0.2 – 0.6 m/s)	120 – 200 FMP (0.6 – 1.0 m/s)
A	0.5	0.6	0.7

โดยค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย (V_a) ในการออกแบบโดยทั่วๆไปจะอยู่ที่ 25 – 50 FPM (0.13 – 0.25 m/s) อย่างไรก็ตามที่ความเร็ว 50 FMP คนที่นั่งทำงานอยู่กับที่จะรู้สึกว่าลมค่อนข้างแรง ส่วนความเร็วที่สูงขึ้นไป เช่นที่ 75 FPM (0.38 m/s) นั้นมักจะใช้เป็นค่าสูงสุดในการออกแบบสำหรับห้างสรรพสินค้าที่คนเดินไปมา และความเร็วที่ 75 – 300 FPM (0.38 – 1.52 m/s) มักนิยมใช้ในการออกแบบ Spot cooling ในโรงงานอุตสาหกรรม

ในช่วงความเร็วอากาศที่ออกแบบโดยทั่วไปประมาณ 0.2 m/s จะได้ว่า

$$To = (Ta + Tr)/2 \qquad (2)$$

โดย Tr ก็คือ Mean Radiant Temperatures (MRT) นั่นเอง ซึ่งสำหรับคนที่นั่งใกล้เปลือกอาคารภายนอก ค่า MRT มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของเปลือกอาคารนั่นเอง โดยหากเปลือกอาคารมีอุณหภูมิสูง คนที่นั่งใกล้ ๆ ก็รู้สึกร้อนแม้ว่าอุณหภูมิอากาศจะอยู่ในช่วงความสบายของพื้นที่บริเวณที่ห่างจากเปลือกอาคาร เราอาจเรียกความไม่สบายนี้ว่า Local discomfort

ก่อนจะยกตัวอย่างการหา MRT และ Thermal comfort ผู้เขียนขอพูดถึงความรู้สึกร้อนหนาวของคนที่มีต่อสภาวะแวดล้อมก่อน โดยสามารถแสดงได้ด้วยสเกล ASHRAE Thermal Sensation Scale [4] ดังตารางข้างล่าง เราอาจจะเรียกว่า Predicted Mean Vote (PMV) ซึ่งใช้แสดงระดับของความ (ไม่) สบายเชิงความร้อน ให้อยู่ในตัวเลขหรือค่าเชิงปริมาณที่สามารถตรวจวัดได้

Value	Sensation
+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly warm
0	Neutral
-1	Slightly cool
-2	Cool
-3	Cold

โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบความสบายเชิงความร้อนของโซนต่างๆที่จะยกตัวอย่างต่อจากนี้จะทำโดยอ้างอิงความความสบายเชิงความร้อนที่ค่า PMV หรือ Thermal Sensation Scale ค่าเดียวกัน เช่น หากโซนอ้างอิงมี PMV 0.5 โซนอื่น ๆ ที่จะนำมาเปรียบเทียบจะมีค่า PMV 0.5 เช่นเดียวกัน

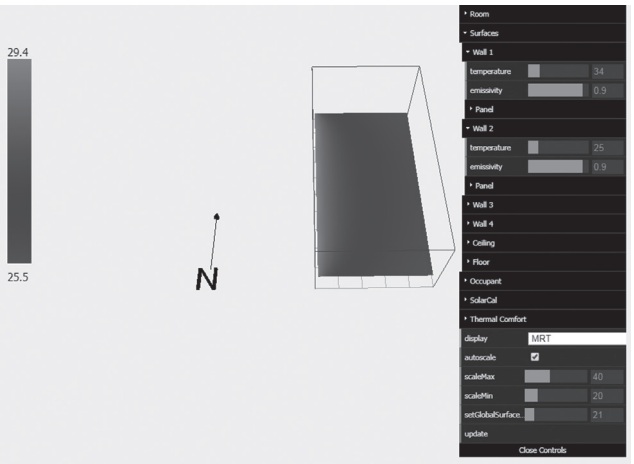
3. Mean radiant temperature

Mean radiant temperature คืออะไร ผู้เขียนขอยกเอาทั้งประโยคจาก ASHRAE Handbook – Fundamental 2017, Chapter 9 Thermal Comfort [4] มาให้ได้อ่านกันนะครับ (เอาเป็นว่าผู้เขียนไม่มีปัญญาแปลให้ท่านอ่านเป็นภาษาไทยได้ครับ)

“The mean radiant temperature is the uniform temperature of an imaginary enclosure in which radiant heat transfer from the human body equals the radiant heat transfer in the actual nonuniform enclosure.”

การหาค่า MRT สำหรับคนที่นั่งใกล้ผนังอาจจะสมมุติว่ามีค่าใกล้เคียงกับอุณภูมิผิวของผนัง โดยความเป็นจริงแล้วค่า MRT จะมีค่าต่ำกว่าอุณภูมิที่ผนังขึ้นอยู่กับขนาดของผนังร้อน และระยะห่างของคนกับผนังเป็นหลัก หากต้องการหาโดยละเอียดสามารถทำได้โดยเข้าไปที่ CBE MRT Calculator, http://centerforthebuiltenvironment.github.io/mrt/ [2]

จากรูปที่ 2 แสดงถึงการหาค่า MRT ของห้องที่มีผิวด้านหนึ่งของห้องใช้กระจกสองชั้นมีอุณภูมิผิว 34 °C ส่วนอุณภูมิผนังด้านอื่นๆ 25 °C จะได้ค่า MRT ของพื้นที่ใกล้ผนังประมาณ 29 °C

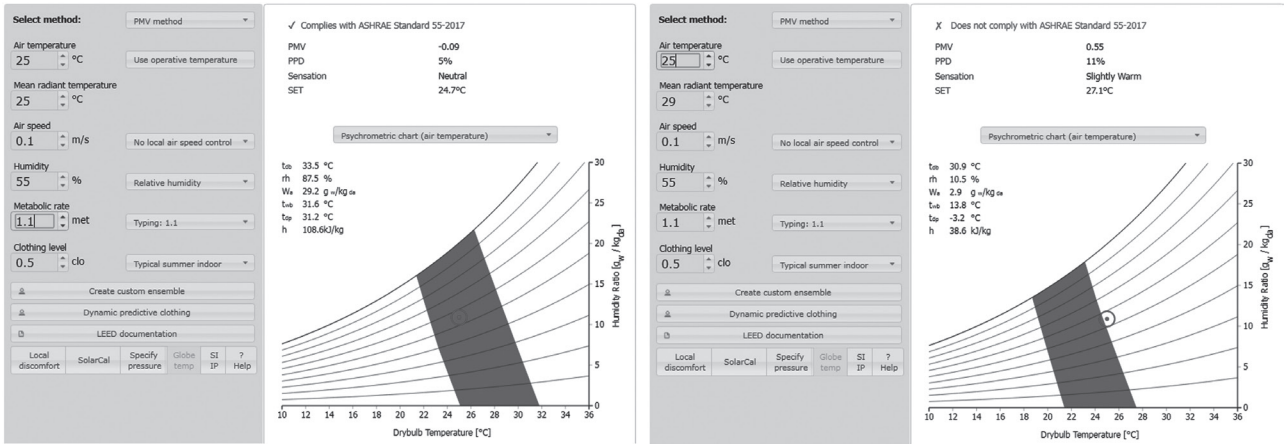


รูปที่ 2: MRT Calculator visualization [2]

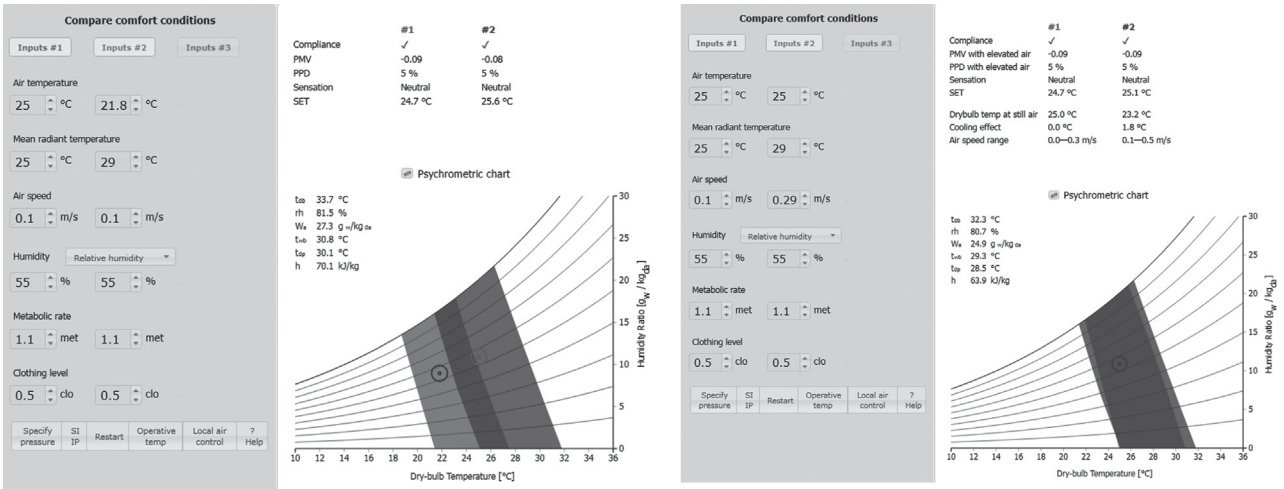
ส่วนวิธีในการตรวจสอบความสบายเชิงความร้อนสามารถเข้าไปที่ CBE Thermal Comfort Tool, http://comfort.cbe.berkeley.edu/ [3]

จากรูปที่ 3 เปรียบเทียบห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 55%rh ที่ค่า MRT 25 °C และค่า MRT 29 °C จะเห็นว่าคนที่นั่งใกล้กระจกจะร้อน และอยู่นอก Thermal comfort zone

หากจะทำให้คนที่นั่งใกล้ผนังภายนอกอาคารที่มี MRT 29 °C มีความสบายเชิงความร้อนเท่ากับคนที่นั่งอยู่โซนภายในที่มี MRT 25 °C จะต้องลดอุณหภูมิอากาศโซนนอกลงให้เท่ากับ 21.8 °C ดังรูปที่ 4 ซ้าย หรือต้องเพิ่มความเร็วอากาศให้เท่ากับ 0.29 m/s ดังรูปที่ 4 ขวา เป็นต้น ซึ่งความเร็วนี้ค่อนข้างสูงสำหรับคนที่นั่งทำงานส่งผลให้คนอาจรู้สึกรำคาญได้



รูปที่ 3: เปรียบเทียบ Thermal comfort zone ของคนที่นั่งโซนภายใน (รูปซ้าย) กับคนที่นั่งใกล้กระจก (รูปขวา) [3]



รูปที่ 4: การปรับให้ Thermal comfort zone ของคนที่นั่งโซนภายในและโซนนอกมีความสบายเชิงความร้อนเท่ากัน (PMV -0.09) สามารถทำได้โดยปรับอุณหภูมิของโซนนอกให้ต่ำลง (รูปซ้าย) หรือปรับความเร็วลมของโซนนอกให้สูงขึ้น (รูปขวา) [3]

3.1 ผนังทึบ

เราอาจจะประเมินค่าอุณหภูมิผิวผนังได้โดยประมาณโดยใช้ค่า Dry bulb indoor air temperature แทนค่าอุณหภูมิผนังภายใน (Interior wall) ส่วนอุณหภูมิผิวของผนังภายนอก (Outdoor exposed walls), Tsi สามารถประเมินได้จากสมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังดังนี้

$$Tsi = Ti + (U/hsi)(To - Ti) \quad (3)$$

เมื่อ

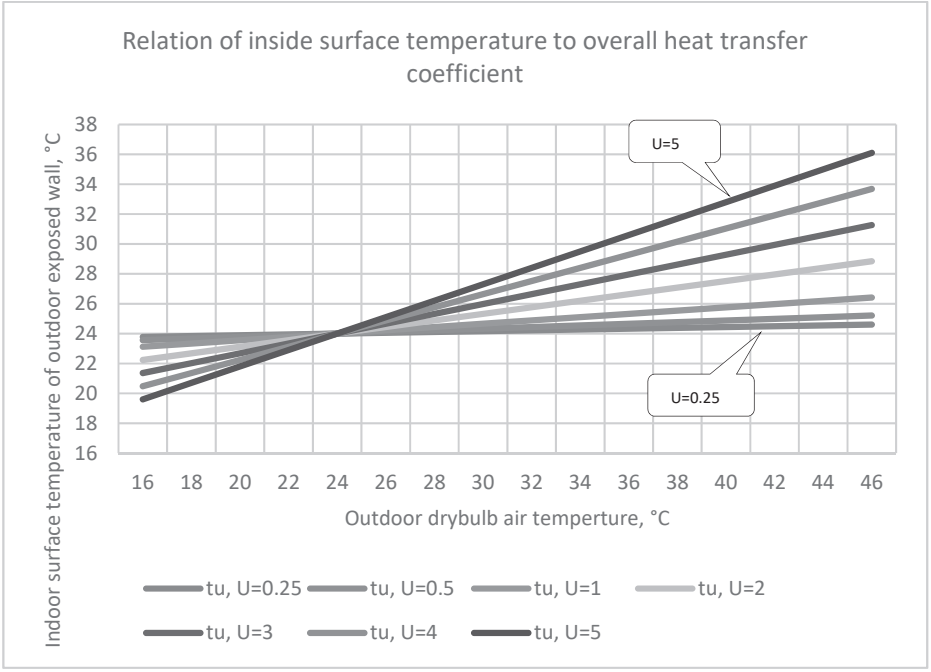
Tsi = Inside surface temperature of outdoor exposed wall, °C

Ti = Inside air temperature, °C

To = Outside air temperature, °C

U = Overall heat transfer coefficient, W/m^2K

hsi = Heat transfer coefficient of the inside surface of an outdoor exposed wall, W/m^2K

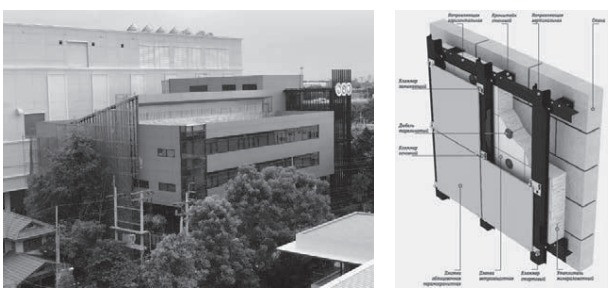


รูปที่ 5: แสดงค่าอุณหภูมิผิวด้านในของผนังทึบภายนอกที่มีค่า U (W/m^2K) ต่าง ๆ กัน (ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีความหนาประมาณ 100 mm มีค่า U ประมาณ 3.5 W/m^2K ส่วนผนังที่มีการเพิ่มฉนวนหนาประมาณ 100 mm จะมีค่า U ประมาณ 0.3 W/m^2K)

รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิของผนังทึบภายนอกที่มีค่า U ต่างๆ ในแต่ละอุณภูมิภายนอกต่าง ๆกั น ซึ่งค่า U ที่ต่ำนอกจะช่วยลดความร้อนที่เข้าอาคารแล้ว ยังทำให้อุณหภูมิผิวผนังต่ำลงอีกด้วย ดังนั้นการใส่ฉนวนที่ผนังภายนอก นอกจากจะช่วยลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแล้วยังช่วยปรับ Thermal comfort zone ไปทางขวาของ Psychrometric chart ซึ่งหมายถึงเราสามารถที่จะปรับเทอร์โมสตัสให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้อีกด้วย ทำให้ประหยัดพลังงานต่อที่สอง

ซึ่งผลที่เกิดจากผนังนี้มีกระทบกับคนที่นั่งอยู่ใกล้ผนังระยะประมาณ 1 – 2 เมตรจากผนัง ผลดังกล่าวทำให้คนที่อยู่ที่ริมผนังบ่นว่าร้อนในขณะที่คนอื่นๆที่อยู่โซนในสบาย แต่หากปรับอุณหภูมิให้คนใกล้ผนังเย็นสบาย คนที่อยู่โซนในก็จะหนาว หากว่าผลของ MRT ที่ผนังไม่มากนักก็อาจแก้ได้โดยการปรับปริมาณลมบริเวณใกล้ผนังให้สูงขึ้น หรือการออกแบบที่เกลี่ยลมที่ใกล้ผนังให้มากขึ้นนั่นเอง แต่ก็ไม่ควรมากจนเกิดความรำคาญ

รูปที่ 6 เป็นรูปจากโครงการแห่งหนึ่งที่มีการปรับปรุงโดยการเพิ่มฉนวนให้กับผนังภายนอกอาคาร จากเดิมอุณหภูมิผิวผนังประมาณ 31 – 36 °C หลังการเพิ่มฉนวนทำให้อุณหภูมิผิวผนังลดลงเหลือประมาณ 27 °C ส่งผลให้คนที่นั่งใกล้ผนังรู้สึกเย็นขึ้นแม้ว่าตั้งเทอร์โมสตัสไว้ที่อุณหภูมิเดิม



รูปที่ 5: แสดงอาคารที่มีการปรับปรุงเพิ่มฉนวนให้กับผนัง

3.2 กระจก

สำหรับผนังทึบหากเลือกที่ผนังที่มีค่า U ต่ำก็ทำให้ได้อุณหภูมิผนังต่ำลงไปด้วย แต่สำหรับกระจกแล้ว ค่า U ที่ต่ำไม่ได้หมายความว่าอุณหภูมิผิวกระจกจะต่ำด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อความสบายเชิงความร้อนของกระจกมีดังนี้

1. ขนาดกระจก โดยขนาดยิ่งใหญ่อุณหภูมิของกระจกยิ่งมีผลต่อคนนั่งใกล้

2. ตำแหน่งของคน นั่งใกล้ไกลจากกระจกแค่ไหน นั่งใกล้มากก็มีผลกระทบมาก

3. ชนิดของกระจก มีผลกับอุณหภูมิผิวของกระจก โดยกระจกที่มีค่า Solar energy absorption สูง จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูง

4. ชนิดของแฟรมหรือกรอบกระจกและ Thermal breaker ถึงแม้จะใช้กระจกสองชั้นอย่างดีแต่เลือกกระจกที่ไม่มี Thermal breaker จะทำให้ความร้อนจากข้างนอกเข้ามาส่งผลให้แฟรมกระจกร้อนมาก คนนั่งใกล้ก็ร้อนไปด้วย

ตารางข้างล่างแสดงค่าอุณภูมิผิวภายในของกระจกชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 32 °C และอุณภูมิอากาศภายในประมาณ 24 °C

จากตารางจะเห็นว่าแม้ว่าเราสามารถลดค่าความร้อนที่เข้ามาในอาคารได้มากจากการเลือกกระจกสองชั้น แต่ค่าอุณหภูมิผิวของกระจกก็ยังสูง และส่งผลกระทบต่อคนนั่งใกล้กระจก ดังนั้นการเลือกใช้ Air flow window จะมีส่วนช่วยในการสร้าง Thermal comfort ให้กับคนนั่งใกล้กระจกได้มากทีเดียว

รูปที่ 6: แสดงกระจกที่มี Thermal breaker (ซ้าย) และกระจกแบบ Natural air flow (ขวา)

ชนิดกระจก	ค่า U (W/ m2.K)	ค่า SC	Inside surface temp, °C	References	ค่า MRT ของคนนั่งใกล้กระจก (หาจาก CBE MRT), °C
กระจกใสชั้นเดียว	N/A	N/A	42	ผู้เขียนวัดค่าที่อาคารแห่งหนึ่ง	33.4
กระจกสองชั้น ช่องว่างบรรจุอากาศ	3.14	0.84	34.4	[5]	29.6
กระจกสองชั้น ช่องว่างบรรจุก๊าซอาร์กอน	1.45	0.34	30.6	[5]	27.7
กระจก Air flow window	3.14	0.31	25 - 29	[5]	25 – 26.9

ดังนั้นการเลือกกระจกในมุมมองด้านพลังงานและความสบายเชิงความร้อนจะต้องพิจารณาดังนี้

1. เลือกที่ค่า Overall heat transfer coefficient, U ต่ำ เช่นเดียวกับการเลือกผนังทึบ

2. เลือกที่ค่า Solar Heat Gain Coefficient, SHGC หรือค่า Shading Coefficient, SC ต่ำ

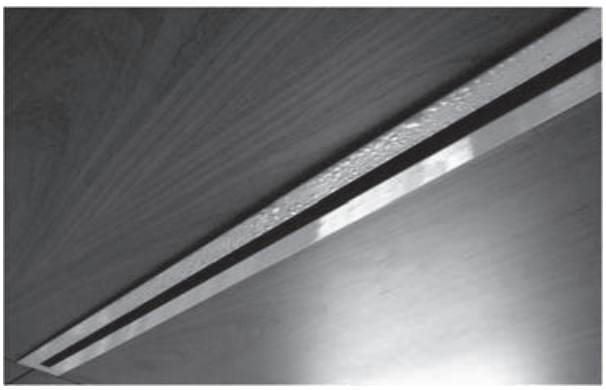
3. เลือกที่ค่าอุณหภูมิกระจกต่ำ

นอกจากนี้แล้วยังต้องพิจารณาถึง Short wave radiation (Direct solar) ที่มีผลกระทบกับ Thermal comfort กับคนที่นั่งติดกระจกด้วย ซึ่ง ASHRAE Standard 55-2017 ได้นำเอาส่วนนี้มาพิจารณาไว้ด้วย แต่ผู้เขียนขอติดไว้ก่อนจะเล่าให้ฟังในโอกาสต่อไป

4. เปลือกอาคารรั่วกับ Thermal comfort

ด้วยสภาพอากาศที่ชื้นของประเทศไทย บ่อยครั้งที่เรามักจะพบปัญหาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไม่ได้ และการเกิดหยดน้ำที่หัวจ่าย อันเนื่องมาจากเปลือกอาคารที่รั่ว ถึงแม้ว่าเราจะออกแบบให้อาคารเป็นบวก (Positive pressure) ก็ตาม แต่บางเวลาลมภายนอกที่พัดแรง Positive pressure ของอาคารก็ไม่อาจต้านได้ การมีเปลือกอาคารที่ไม่รั่วจึงช่วยลดผลกระทบส่วนนี้ไปได้

รูปที่ 7 เป็นรูปจากโครงการแห่งหนึ่งที่อยู่ใกล้แม่น้ำ หัวจ่ายอยู่ใกล้กระจก มีหยดน้ำเกาะ จากการสำรวจหน้างานพบว่า อุณหภูมิห้อง 24 °C แต่ความชื้นห้องนี้สูงเกิน 70%rh ห้องนี้หนาวแต่ชื้น นอกจากไม่ค่อยสบายเชิงความร้อนแล้ว ยังมีปัญหารำคาญใจเรื่องน้ำหยดอีกในช่วงที่เกิดเหตุ ลมบริเวณนั้นพัดแรง กระจกรับลมจากแม่น้ำโดยตรง และมีลมรั่วเข้ามาทางกรอบกระจก ลมที่ชื้นสัมผัสกับหัวจ่ายที่เย็น ทำให้เกิดหยดน้ำขึ้น และทำให้ความชื้นในห้องโดยรวมเพิ่มขึ้นด้วย หลังจากทำการซีลกระจกไม่ให้รั่วแล้ว ปัญหาก็หายไป พร้อมกับความชื้นในห้องที่ลดลง เมื่อความชื้นลดลง เรายังสามารถปรับเทอร์โมสตัสให้สูงขึ้นได้ ได้ความสบายเพิ่มขึ้นแล้วยังทำให้ประหยัดพลังงานอีกด้วย



รูปที่ 7: แสดงน้ำหยดที่หัวจ่ายลมเย็นเนื่องจากมีลมรั่วผ่านแฟรมกระจกเข้ามาในห้อง

5. สรุป

อาคารสมัยใหม่นอกจากจะเน้นในด้านการประหยัดพลังงาน และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และต้องมีความยั่งยืนแล้ว ยังต้องคำนึงถึงถึงคุณภาพชีวิตของคนที่อยู่ภายในอาคารด้วย หนึ่งในคุณภาพชีวิตของคนก็คือการอยู่ในสภาพอากาศที่มีความสบายทางความร้อน หรืออยู่ใน Thermal comfort zone ไม่ว่าเขาจะนั่งหรือทำกิจกรรมอยู่ตรงส่วนใหนของอาคาร การเลือกเปลือกอาคารที่เน้นเฉพาะการลดค่าความร้อนเข้ามาในอาคารเพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอสำหรับอาคารสมัยใหม่ โดยเฉพาะอาคารที่มีกระจกเป็นส่วนประกอบของเปลือกอาคาร ซึ่งนอกจากต้องคำนึงถึงค่า Window to wall ratio ประกอบกับค่า U ในการ Optimize การใช้พลังงานแล้ว ยังต้องเลือกผนังและกระจกที่มีค่าอุณภูมิผิวภายในที่ต่ำด้วย ซึ่งนอกจากจะปรับปรุงค่า Thermal comfort ของคนที่นั่งใกล้กระจกให้ดีขึ้นแล้ว ยังเป็นการประหยัดพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย เนื่องด้วยไม่ต้องปรับอุณหภูมิให้ต่ำกว่าโซนอื่นๆเพื่อชดเชยกับผิวกระจกที่ร้อน อีกทั้งยังทำให้การออกแบบและการควบคุมระบบปรับอากาศง่ายขึ้นอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ANSI/ASHRAE Standard 55-2017, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

[2] CBE MRT Calculator, http://centerforthebuiltenvironment.github.io/mrt/

[3] CBE Thermal Comfort Tool, http://comfort.cbe.berkeley.edu/

[4] ASHRAE Handbook – Fundamental, 2017, Chapter 9 Thermal Comfort

[5] ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ, นวัตกรรมการใช้กระจกสำหรับเมืองร้อนชื้น, 2551