# บทที่ 2

# การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนถ่ายเท หรือ เดินทางในลักษณะต่าง ๆ กันซึ่งสามารถพิจารณาความแตกต่างได้ที่ตัวกลางในการถ่ายเท แบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

1. **การนำความร้อน** (Thermal Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน ไม่ว่าจะเป็นโมเลกุลที่อยู่ในสสารเดียวกัน หรือ ระหว่างสสาร 2 ชนิด การนำความร้อนเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่ร้อนกว่าสั่นสะเทือน แล้วถ่ายเทพลังงานของมันไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่า โดยที่ตัวกลางของมันไม่มีการเคลื่อนที่
2. **การพาความร้อน** (Thermal Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวกลางที่เป็นของไหล ซึ่งได้แก่ ก๊าซ หรือ ของเหลว
3. **การแผ่รังสีความร้อน** (Thermal Radiation) เป็นการเดินทางโดยตรงของพลังงานผ่านที่ว่างที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง พลังงานรังสีเดินทางจากแหล่งที่ร้อนกว่าในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electronic Wave) ไปสู่ด้านที่เย็นกว่า

1. **การนำความร้อน** (Thermal Conduction) คือกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค การนำความร้อนในของแข็งและของเหลวที่มีสภาพนำความร้อนต่ำเกิดจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ส่วนการนำความร้อนในก๊าซเกิดขึ้นผ่านการสั่นระหว่างโมเลกุล ซึ่งผลการถ่ายเทความร้อนที่นำมาพิจารณาเป็นการพิจารณาทั้งระบบของวัตถุ จากการทดลองพบว่าจากการถ่ายเทความร้อน โดยวิธีการนำความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิผิววัตถุที่อยู่ติดกัน รวมถึงพื้นที่ผิวตั้งฉากที่ความร้อนไหลผ่าน แต่เป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางที่ความร้อนถ่ายเท ในการคำนวณการนำความร้อนของแผ่นราบจะคำนวณจากสูตร

$$Q = kA\ (T_1 - T_2) \qquad \text{.....(1)}$$

เมื่อ $Q$ = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อ 1 วินาที , W

$k$ = สภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity), W/m.K

$A$ = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน, m2

$T_1, T_2$ = อุณหภูมิสูงและต่ำที่ผิวแต่ละด้านตามลำดับ,K

$X$ = ความหนาแน่นของแผ่นราบ,m

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

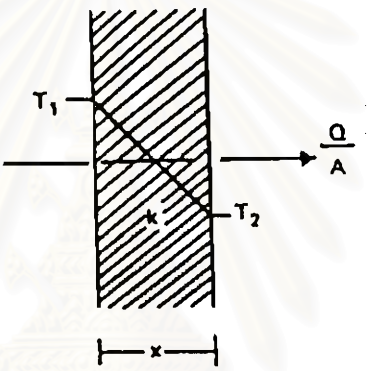

สภาพนำความร้อน k เป็นค่าคงที่ ขึ้นกับวัสดุแต่ละชนิด ในวัสดุชนิดเดียวกัน ค่า k จะขึ้นกับอุณหภูมิ แต่ถ้าหากอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักจะถือว่าค่า k คงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิได้นอกจากนั้นเรายังสามารถหาปริมาณการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนในเทอมของการต้านทานการถ่ายเทความร้อนของวัตถุ นั่นคือถ้าพิจารณา **ความต้านทานความร้อน** (Thermal resistance,R) เทียบกับความต้านทานไฟฟ้าซึ่งมีความต่างศักย์ ($V_1$-$V_2$) ในลักษณะนี้ซึ่งเรามีผลต่างอุณหภูมิ ($T_1$-$T_2$) สมการ (1) จะกลายเป็น

$$Q = T_1 - T2/R$$

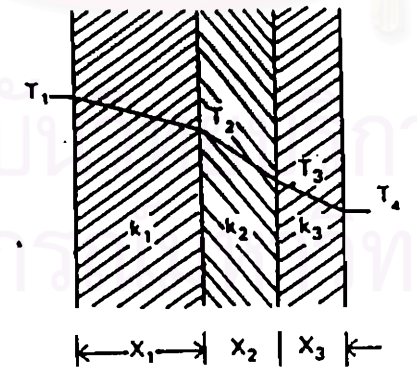
เมื่อ $$R = x/kA$$

ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังชั้นเดียว แต่เนื่องจากในความเป็นจริง บางครั้งผนังของอาคารอาจมีมากถึง 3 ชั้น ฉะนั้นจะสามารถคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมได้จากสมการ

$$Q = T_1 - T4/ (R_1+R_2+R_3) \quad .....(2)$$




**รูปที่ 2.1 เส้นผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบชั้นเดียว**
**ที่มา : ตระการ ก้าวกสิกรรม , คู่มือฉนวนความร้อน (2537) หน้า 8**




**รูปที่ 2.2 เส้นผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบ 3 ชั้น (วัสดุต่างชนิดกัน)**
**ที่มา : ตระการ ก้าวกสิกรรม , คู่มือฉนวนความร้อน (2537) หน้า 8**

2. **การพาความร้อน** คือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลไหลที่ไหลผ่านสัมผัสกับพื้นผิวของของแข็งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่คือ

- **การพาความร้อนแบบอิสระหรือโดยธรรมชาติ** (Free or natural convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของไหล จากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่อของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้น (ได้รับความร้อน) จะมีความหนาแน่นลดลงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้เกิดแรงยกตัว (Buoyant force) ทำให้อนุภาพลอยตัวขึ้น
- **การพาความร้อนแบบบังคับ** (Forced convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แรงภายนอกมาบังคับการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่างกัน สำหรับกรณีที่ลมมีความเร็วมาก 4-5 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะถือว่าเป็นการพาความร้อนแบบบังคับเราสามารถหาปริมาณการพาความร้อนของวัตถุทั้ง 2 แบบได้จากสมการ

$$Q = hA\,(T_s - T_f) \qquad \text{.....(3)}$$

เมื่อ h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา,$W/m^2.K$

A = พื้นที่ผิวของของแข็งที่ของไหลสัมผัส,$m^2$

$T_s$ = อุณหภูมิพื้นที่ผิวของแข็ง,K

$T_f$ = อุณหภูมิของไหล,K

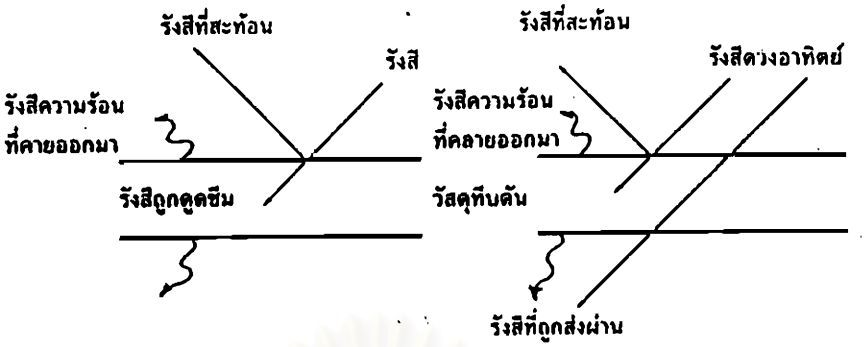
ค่า h นี้จะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุ แต่ขึ้นกับรูปร่างของผิววัสดุที่ของไหลไหลผ่านและธรรมชาติของไหลที่ไหลผ่านพื้นผิว สำหรับค่า h โดยเฉลี่ยของของไหลบางชนิดสามารถดูได้จากตาราง 2.2

นอกจากนี้การคำนวณความต้านทานความร้อนของการพา สามารถคำนวณในรูปของความต้านทานความร้อน ( R ) ได้ดังนี้

$$Q = T_s - T_f$$

เมื่อ $R = 1/hA$

**3.การแผ่รังสีความร้อน** คือกระบวนการที่วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิมากกว่า ศูนย์องศาสมบูรณ์ ( $^{\circ}K$) จะมีพลังงานภายในอยู่ในตัวจากการสั่นของโมเลกุลของวัตถุนั้น ซึ่งพลังงานนี้บางส่วนจะถูกปล่อยออกมาจากวัตถุในลักษณะของการแผ่รังสีความร้อน ในกลไกของการแผ่รังสีด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีความร้อนที่แผ่ออกมา ปกติจะเดินทางผ่านช่องว่างในบรรยากาศด้วยความเร็วแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.1 – 100 ไมครอน ในลักษณะที่เป็นเส้นตรงจนกว่าจะกระทบวัตถุใด ๆ ถ้าวัตถุที่แผ่รังสีออกมาไม่ได้รับความร้อนจากวัตถุอื่น อุณหภูมิของวัตถุนั้นก็จะลดลง และถ้าวัตถุใด ๆ ได้รับรังสีความร้อนมากกว่าที่วัตถุนั้นปล่อยออกไป อุณหภูมิของวัตถุจะเพิ่มขึ้น โดยหลักการ คือ รังสีความร้อนที่กระทบวัตถุใด ๆ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนโดยวัตถุนั้น (ขึ้นกับคุณสมบัติทางด้านดูดกลืนและสะท้อนของวัตถุนั้น) บางส่วนอาจทะลุผ่านและมีบางส่วนสะท้อนกลับออกจากวัตถุนั้น ดังแสดงในรูป 2.4




**รูปที่ 2.3 แสดงการสะท้อนกลับ การดูดกลืน และการทะลุผ่านของรังสีที่ตกกระทบ**

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพลังการแผ่รังสีทั้งที่ดูดกลืน ทะลุผ่าน และสะท้อนกลับจะขึ้นอยู่กับตัววัตถุเองและคุณสมบัติทางพื้นผิวของวัตถุนั้น สำหรับวัตถุทึบสัดส่วนที่ทะลุผ่านจะเท่ากับ 0 และจากกฎของ Stefan-Boltzmann จะได้

$$E_b = \sigma T^4$$

**หมายเหตุ** สมการนี้เป็นสมการที่ใช้สมการที่ใช้กับการแผ่รังสีของวัตถุดำเท่านั้น

โดยวัตถุดำ (Black Body) หมายถึง วัตถุที่มีความสามารถดูดกลืนรังสีตกกระทบได้หมดโดยไม่มีการสะท้อนหรือทะลุผ่าน ถือเป็นตัวดูดกลืนรังสีที่สมบูรณ์ ฉะนั้น วัตถุดำเป็นวัตถุที่มีการแผ่รังสีที่สมบูรณ์ด้วย อย่างไรก็ตามวัตถุดำจริง ๆ ในธรรมชาติไม่มี ยกเว้นดวงอาทิตย์ที่อาจสมมุติว่าเป็นวัตถุดำได้ แต่ในความเป็นจริงแล้วแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุดำเป็นเพียงเพื่อให้เกิดความสะดวกในการคำนวณทางวิศวกรรม ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับการแผ่รังสีของวัตถุชนิดหนึ่ง ที่มีอุณหภูมิค่าหนึ่งที่เท่ากับกับอุณหภูมิของวัตถุดำชิ้นหนึ่ง พบว่า

$$E / E_b = \varepsilon$$

เมื่อ $E$ = กำลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ

$\varepsilon$ = สภาพการแผ่รังสีของวัตถุ (Emissivity) โดยทั่วไป $\varepsilon < 1$

(ยกเว้นวัตถุดำ $\varepsilon = 1$ เพราะถือว่าวัตถุมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดกลืนรังสีที่สมบูรณ์)

เนื่องจากวัตถุชนิดใด ๆ จะไม่เป็นค่าดูดกลืนรังสีที่สมบูรณ์เท่ากับวัตถุดำ การแผ่รังสีที่เปล่งออกมาจึงน้อยกว่าที่เปล่งจากวัตถุดำที่อุณหภูมิเท่ากับ โดยวัตถุที่มีค่า $\varepsilon$ คงที่ไม่เปลี่ยนตามความยาวคลื่นเรียกว่า วัตถุเทา (Gray Body) ส่วนวัตถุที่มีค่า $\varepsilon$ ไม่คงที่ ซึ่งเป็นลักษณะของวัตถุในความเป็นจริง ส่วนมากถือว่าไม่ใช่วัตถุเทา (Non - Gray Body) อย่างไรก็ตามในการคำนวณจะถือเสมือนว่าวัตถุเป็นเสมือนวัตถุเทา คือมีค่า $\varepsilon$ คงที่ ซึ่งเราสามารถคำนวณกำลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุใด ๆ ได้จากสมการ

$$E = \sigma * \varepsilon * T^4 \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ E = กำลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ

$\sigma$ = ค่าคงที่ของชเตฟาน-โบลต์ซมันน์

= $5.67 * 10^{-8}$ "$W/m^2.K^4$

$\varepsilon$ = สภาพการแผ่รังสีของวัตถุ (Emissivity) โดยทั่วไป $\varepsilon > 1$

(ยกเว้นวัตถุดำ $\varepsilon = 1$ เพราะถือว่าวัตถุมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดกลืนรังสีที่สมบูรณ์)

ในการคำนวณจะถือว่า ค่า $\varepsilon$ คงที่

T = อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุดำ,K.

ในการใช้งานจะพิจารณาค่า $\varepsilon$ ของวัตถุที่ได้ตลอดช่วงความยาวคลื่นและทุกทิศทางของรังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิว อย่างไรก็ตามค่า $\varepsilon$ ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุนั้นด้วย

ในการแผ่รังสีความร้อนจากผิววัตถุหนึ่งไปยังผิวของอีกวัตถุหนึ่งนั้นไม่อาจส่งรังสีความร้อนให้แก่กันได้ทั้งหมด แต่จะมีบางส่วนที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ ระยะห่างระหว่างวัตถุ และลักษณะการจัดวางวัตถุทั้งสอง ซึ่งปัจจัยในการพิจารณาในลักษณะนี้เรียกว่า ตัวประกอบทางรูปร่าง

## 2.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

เนื่องจากอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารจริงมาจากหลายองค์ประกอบ สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล (2537) ได้รวบรวมอิทธิพลต่าง ๆ ไว้ดังนี้

- **ความจุความร้อนของผนัง** (Thermal Heat Capacity) ผนังที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านผนังเป็นไปในอัตราที่ช้าลง
- **การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนังกับสภาพแวดล้อม** (Long Wave Radiation Heat Exchange) เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังกับผิววัสดุอื่น ๆ ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น โดยเฉพาะในรูปการแผ่รังสี
- **การถ่ายเทความร้อนของผนังให้กับอากาศโดยตรง โดยการพาความร้อน** (Surface Convection) การถ่ายเทความร้อนของผนังด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิวและลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของ Surface Convection ที่มีต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังจะมีค่าน้อยมากในกรณีที่ ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น
- **ความสามารถในการดูดกลืนและกระจายพลังงานความร้อนของเปลือกอาคาร** (Surface Absorption and Surface Emission) โดยปกติหากเป็นสีของผนังธรรมดาทั่วไปตามธรรมชาติจะมีค่า Surface Emission ค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 0.8 – 0.9 เป็นส่วนใหญ่ นอกจากว่าจะเป็นสีเคลือบผิวที่พิเศษ (Selective Coating) อาจจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำแต่มีค่าสัมประสิทธิการกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิววัตถุเย็นกว่าปกติ ค่าการดูดกลืนความร้อนจะแปรตามความเข้มของสีผิว คือ เข้มมากจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนสูง

การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง (Time Lag) วัตถุที่มีมวลสารมากจะมีค่าหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัตถุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัตถุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ (Kwang – Woo Kim , 1984) และที่สำคัญคือ ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (Fill Up Heat Capacity) ก่อนที่จะถ่ายเทไปในชั้นต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงพบว่าในผนังก่ออิฐฉาบปูนเหมือนกัน แต่ใส่ฉนวนไว้ในตำแหน่งที่ต่างกัน คือ ภายนอกและภายใน ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายนอกจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายใน ทั้งนี้เพราะการที่มีฉนวนอยู่ภายนอกทำให้ความร้อนผ่านฉนวนเข้ามาได้ยากทำให้การ Fill Up Heat Capacity ของผนังเป็นไปได้ช้า ทำให้ Time Lag ของผนังมีค่านานขึ้น

- **สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ** (Overall Coefficient of Heat Transmission , U) โดยปกติการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในมักใช้ค่า U เป็นหลักในการคำนวณ

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับอากาศ

สุรพล พฤกษพานิช (2529) ได้ให้นิยามของการปรับอากาศ คือ การสร้างให้มีขึ้นและคงไว้ซึ่งภาวะอุณหภูมิ ความชื้น การไหลเวียน และ ความบริสุทธิ์ของอากาศ เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยเกิดความสบายหรือให้เหมาะกับวัสดุ หรือ กระบวนการการภายในสถานที่ใดสถานที่หนึ่ง สามารถแบ่งการปรับอากาศในปัจจุบันได้ 2 ประเภท คือ

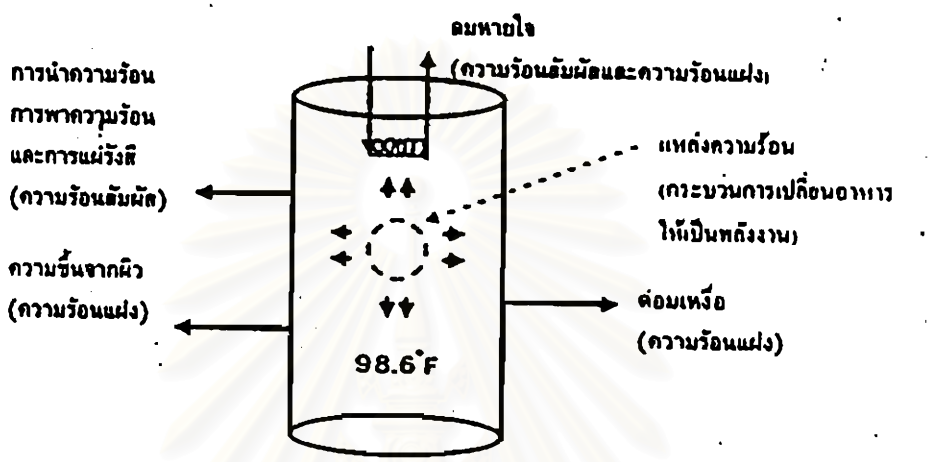
1. **การปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม** เป็นการปรับอากาศเพื่อให้กระบวนการผลิตดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ และมีคุณภาพ หรือเพื่อรักษาวัสดุให้มีอายุการใช้งานตลอดจนเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาให้ยาวขึ้น
2. **การปรับอากาศเพื่อความสบาย** ซึ่งพิจารณาในแง่ของการปรับอากาศเพื่อให้มนุษย์สามารถระบายความร้อนออกจากร่างกายได้ในปริมาณที่เหมาะกับกระบวนการภายในร่างกาย โดยให้ร่างกายสามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ง่าย ซึ่งจะนำไปสู่สภาวะความสบาย

จากหลักการสามารถแบ่งการทำความเย็นได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การทำความเย็น (Refrigeration) หมายถึง การทำให้อุณหภูมิลดลงไม่เกิน -240 $^{0}$F
2. การทำความเย็นอุณหภูมิต่ำมาก

## การตอบสนองของร่างกายต่อสภาวะแวดล้อม

สุรพล พฤกพานิช (2529) การเลือกภาวะออกแบบภายในที่สามารถทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบาย จำเป็นต้องทราบลักษณะการตอบสนองของร่างกายต่อภาวะแวดล้อม เพื่อให้ความสะดวกในการพิจารณาจะกำหนดให้ทรงกระบอกขนาด 10 นิ้ว * 5 ฟุต ซึ่งมีพื้นที่ผิวคงที่แทนร่างกายคนดังรูป 2.4




**รูปที่ 2.4 แสดงการกำเนิดพลังงานและการระบายความร้อนของร่างกาย**
**ที่มา : สุรพล พฤกพานิช , การปรับอากาศหลักการและระบบ,2529 หน้า68**

ร่างกายของคนคล้ายกับเครื่องจักรซึ่งกำเนิดพลังงานความร้อนโดยกระบวนการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงานตลอดเวลา อัตรากำเนิดความร้อนของร่างกายจะแตกต่างไปตาม เพศ , วัย , อายุ และลักษณะของกิจกรรมที่ทำ อย่างไรก็ตามร่างกายจำเป็นต้องคายความร้อนออกมาตลอดเวลาในอัตราที่เท่ากับอัตราการกำเนิดความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ที่ 98.6 °F ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในอวัยวะต่าง ๆ ร่างกายระบายความร้อนได้ 2 ทาง คือ ทางผิวหนังและทางลมหายใจ ความร้อนที่ระบายออกอยู่ในรูปของความร้อนแฝง และความร้อนสัมผัสซึ่งสามารถระบายด้วยวิธีการถ่ายเทความร้อน 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน สำหรับการระบายความร้อนแฝงนั้นเกิดจากการระเหยของความชื้นที่ผิวหนังและการสูญเสียความชื้นไปกับลมหายใจ ปกติร่างกายจะระบายความร้อนโดยวิธีพาความร้อนและการระเหยความชื้นจากผิวหนังเป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากผิวหนังมีพื้นที่คงที่ ดังนั้น อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วอากาศจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการระบายความร้อนออกจากร่างกาย หรือมีอิทธิพลต่อความสบายของคน

### ปริมาณและคุณภาพอากาศที่ใช้ในการปรับอากาศ

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ส่งผลต่อความสบาย และ สุขภาพของผู้อยู่อาศัยในห้องปรับอากาศ คือ คุณภาพอากาศ ซึ่งหมายถึง ขีดความบริสุทธิ์ของอากาศภายในห้อง โดยปกติอากาศจะมีสิ่งปนเปื้อนซึ่งประกอบไปด้วย ฝุ่น ควัน และ แก๊ซ ที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการนำเอาอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาเพื่อลดความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนภายในห้องปรับอากาศ สำหรับมาตรฐานของห้องที่ไม่มีคนสูบบุหรี่จะนำอากาศภายนอกเข้ามาประมาณ 5 – 30 cfm ต่อคน แต่ถ้าหากมีการสูบบุหรี่ควรจะเพิ่มเป็นประมาณ 15 – 50 cfm ต่อคน ส่วนประเภทของห้องปรับอากาศที่เป็นอาคารสำนักงานปริมาณอากาศระบบที่แนะนำอยู่ระหว่าง 15 – 25 cfm ต่อคน และในส่วนของห้องประชุมอยู่ที่ 30 – 40 cfm ต่อคน

## 2.4 การคำนวณภาระปรับอากาศ (Cooling Load)

จาก ASHRAE Fundamental Hand Book (SI) , (1997) สรุปการคำนวณภาระปรับอากาศ ด้วยวิธี CLTD/SCL/CLF สามารถกำหนดปัจจัยที่พิจารณาสำหรับการคำนวณภาระปรับอากาศได้ดังนี้

1. External Cooling Load
2. Internal Cooling Load
3. Ventilation and Infiltration

1. External Cooling Load คือ การคำนวณภาระปรับอากาศจากความร้อนภายนอกอาคารที่ผ่านระบบเปลือกอาคารเข้ามาภายในอาคาร สามารถแบ่งได้เป็น

**1.1 ภาระปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านผนัง , หลังคา และกระจกช่องแสง**

สูตรในการคำนวณ คือ $Q = U*A*\Delta T$ .....(5)

$Q = U*A*CLTD$ .....(6)

เมื่อ Q = ภาระปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเปลือกอาคาร (watt/sq.m$^{o}$C หรือ Btu/h sq.ft$^{o}$F)

A = พื้นที่เปลือกอาคาร (sq.m หรือ sq.ft)

$\Delta T$ = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายนอกและภายใน ( $^{o}$Cหรือ $^{o}$F)

CLTD = ภาวะความความแตกอุณหภูมิเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Different

ในการคำนวณสมการที่ 5 จะใช้ในกรณีที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในมีค่าคงที่ (Steady State Condition) หรืออิทธิพลจากภายนอกมีค่าไม่รุนแรงมากนัก แต่ในความเป็นจริงที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศ วัน เวลา เดือน และละติจูด ตลอดจนลักษณะของมวลสาร สีของผนัง การหน่วงเวลาของผนัง ตลอดจนผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม นั่นคือ ค่า CLTD จะเป็นการปรับการคำนวณที่คำนึงถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด หรือพิจารณาตามคู่มืออนุรักษ์พลังงานในอาคารจะใช้ค่าอุณหภูมิ $T_{deq}$ แทน

1.2 ภาระปรับอากาศที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกช่องแสง

สูตรในการคำนวณ คือ $Q = A*SC*(SCL\text{หรือ}SF)$ .....(8)

เมื่อ Q = ภาระปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)

SC = Shading Coefficient ของกระจก

A = พื้นที่เปลือกอาคาร (sq.m หรือ sq.ft)

SCL = Solar Cooling Load Factor

SF = Solar Heat Gain Factor

ค่า Solar Cooling Load Factor จะแปรไปตามละติจูดและช่วงเวลาในการใช้งานในอาคารซึ่ง สำหรับประเทศไทยจะมีการปรับแก้ตามคู่มืออนุรักษ์พลังงานจะใช้ค่า SF (ดูรายละเอียดที่ภาคผนวก)

1.3 การคำนวณภาระปรับอากาศเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และ พื้น

สูตรในการคำนวณ คือ $Q = U*A*(t_b - t_{rc})$ .....(9)

เมื่อ Q = ภาระปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเปลือกอาคาร (watt/sq.m$^{0}$C หรือ Btu/h sq.ft $^{0}$F)

A = พื้นที่เปลือกอาคาร (sq.m หรือ sq.ft)

$t_b$ = อุณหภูมิในส่วนที่ต่อเนื่องกับพื้นที่ปรับอากาศ ( $^{0}$Cหรือ $^{0}$F)

$t_{rc}$ = อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ( $^{0}$Cหรือ $^{0}$F)

2. Internal Cooling Load คือ การคำนวณภาระปรับอากาศจากความร้อนภายในอาคารเปลือกอาคาร สามารถแบ่งได้เป็น

2.1 การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากผู้อยู่อาศัยในอาคาร

สูตรในการคำนวณ คือ $Q_{sensible} = N*(\text{Sensible Heat Gain})*CLF$ .....(10)

$Q_{latent} = N*(\text{latent Heat Gain})*CLF$

เมื่อ Q = ภาระปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)

N = จำนวนคนที่ใช้อาคาร

CLF = Cooling Load Factor มีค่า = 1 เมื่อมีการใช้งาน 24 ชม.หรือในกรณีที่มีความหนาแน่นมาก

2.2 การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ในอาคาร

สูตรในการคำนวณ คือ $Q = W*(F_{ul})*(F_{sa})*CLF$ .....(11)

เมื่อ Q = ภาระปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)

W = Watt Input ของอุปกรณ์หรือของระบบแสงสว่าง

$F_{ul}$ = Lighting Use Factor ของอุปกรณ์หรือของระบบแสงสว่าง

$F_{sa}$ = Speacial Allowence Factor ของอุปกรณ์หรือของระบบแสงสว่าง

CLF = Cooling Load Factor มีค่า = 1 เมื่อมีการใช้งาน 24 ชม.หรือในกรณีที่ปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืนและวันหยุด

3. Ventilation and Infiltration

สูตรในการคำนวณ คือ $Q = 1.23*V*(t_0-t_1)$ .....(12)

$Q = 3010*V*(W_0-W_1)$ .....(13)

$Q = 1.20*V*(h_0-h_1)$ .....(14)

เมื่อ Q = ภาระปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)

V =ความเร็วลม (L/S)

$t_0, t_1$ = อุณหภูมิอากาศภายนอก, ภายใน ( $^0$C หรือ $^0$F)

$W_0, W_1$ = ความชื้นภายนอก , ภายใน kg(water)/kg(dry air)

$h_0, h_1$ = Enthalpy ความชื้นภายนอก , ภายใน kj/kg(dry air)

## 2.5 การศึกษาสภาวะน่าสบายของมนุษย์ (Thermal Comfort)

Mechanical and Electrical Equipment for Building (1992) สรุปถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ในเชิงความร้อนได้ดังนี้

1. **อุณหภูมิอากาศโดยรอบ** (Ambient Air Temperature)
2. **ความชื้นสัมพันธ์** (Relative Humidity)
3. **ความเร็วลม** (Wind Speed)
4. **ค่าแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างคนกับสภาพแวดล้อม** (MRT)

1. **อุณหภูมิอากาศโดยรอบ** (Ambient Air Temperature) จากการศึกษาพบว่าโดยเฉลี่ยร่างกายของคนมีอุณหภูมิปกติอยู่ที่ประมาณ 37.5 องศาเซลเซียส และที่ผิวควรมีอุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส จึงจะรู้สึกสบาย จากคุณสมบัติของการถ่ายเทความร้อนที่จะถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมย่อมเป็นปัจจัยสำคัญต่อสภาวะความน่าสบายของคน
2. **ความชื้นสัมพัทธ์** (Relative Humidity) คือ อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำในอากาศชื้นต่อปริมาณไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ปริมาณสัดส่วนสูงสุดของไอน้ำที่สามารถคงอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ก่อนที่จะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจะถือว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% ซึ่งเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก บรรยากาศจะสามารถรับไอน้ำได้เพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย จึงทำให้ร่างกายสามารถร่างกายระบายความร้อนด้วยการระเหยเหงื่อได้ยากขึ้น ทำให้เกิดสภาวะที่ไม่สบาย
3. **ความเร็วลม** (Wind Speed) ที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของคนเพราะเหตุผล 3 ประการ คือ ประการแรกอากาศที่เคลื่อนไหวจะพาความร้อนที่อยู่รอบ ๆ ตัวไป ประการที่สองคืออากาศที่เคลื่อนไหวจะพัดพาความชื้น และก่อให้เกิดสภาวะที่น่าสบายเกิดขึ้น และประการสุดท้าย อากาศที่เคลื่อนไหวจะช่วยลดการสะสมของมลภาวะในบริเวณนั้น ปริมาณของอากาศที่เคลื่อนที่เพื่อสร้างสภาะที่พอเหมาะอยู่ระหว่างความเร็ว 10 – 15 ฟุตต่อนาที

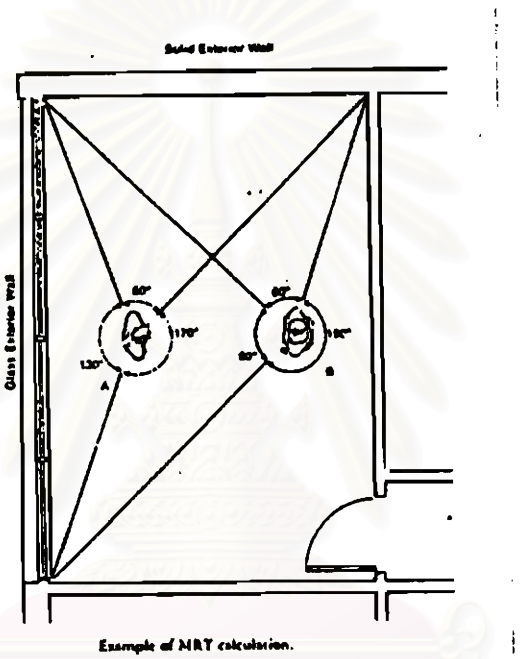
4. **ค่าแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างคนกับสภาพแวดล้อม** (Mean Radiant Temperature) หรือ MRT เป็นการคิดค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทุกพื้นผิวโดยรอบ ซึ่งแผ่รังสีความร้อนและส่งผลกระทบกับอุณหภูมิของร่างกายของคนเรา ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$MRT = \sum T\theta/360 \quad \text{.....(15)}$$

$$= (T_1\theta_1 + T_2\theta_2 + \ldots\ldots T_n\theta_n)/360$$

เมื่อ T = อุณหภูมิผิววัสดุ (Surface Temperature)

$\theta$ = มุมที่เปิดรับกับพื้นผิววัสดุ ณ จุดที่ทำการวัด (Surface Expose Angle Relative to Occupant in Degrees)




**รูปที่ 2.5 แสดงหลักการคำนวณ MRT**

**ที่มา : Brashaw , Vaughn.Building Control System. 2 nd. Ed.,pp.26**

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณค่า MRT ในเชิงความสัมพันธ์กับ Operative Temperature หรือ Globe Temperature และความเร็วลม ซึ่งสามารถคำนวณได้สมการ

$$MRT = T_G + K_G \sqrt{V}\,(T_G - T_A) \quad \text{.....(16)}$$

เมื่อ MRT = Mean Radiant Temperature

V = ความเร็วลม (fpm)

$T_G$ = Globe Temperature ($^0$F)

$T_A$ = Air Dry Bulb Temperature ($^0$F)

$K_G$ = Convection Coeffient of Globe

Surface Conductance

จากการศึกษาของ วันเอก กิจสมใจ (2539) Surface Conductance คือ กระบวนการที่ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปสู่พื้นผิว หรือ ถูกพาออกไปจากพื้นผิวด้วยกระบวนการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ทั้งหมดผสมผสานกัน ซึ่งแต่ละกระบวนการส่งผ่านความร้อนที่กล่าวมาแล้วนั้นต่างเป็นอิสระไม่เกี่ยวข้องกัน (Vary Independent)

การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนังกับสภาพแวดล้อมโดยการนำความร้อน (Surface Conduction) และการพาความร้อน (Surface Convection) ถูกควบคุมด้วยลักษณะความหยาบของพื้นผิว (Surface Roughness) และความเร็วลมที่พัดผ่าน

การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนังกับสภาพแวดล้อมโดยการแผ่รังสีความร้อน (Long Wave Radiation Heat Exchange) นั้นถูกควบคุมด้วยลักษณะของพื้นผิวผนัง คือ ค่า Emittance และ ค่า Reflectivity และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิววัสดุกับสภาพแวดล้อม และค่าของมุม (Solid Angle) ระหว่างวัสดุนั้นกับสภาวะแวดล้อม

| Surrounding surface | Surface heat flux, $W/m^2$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Temperature, (C ) | 23.9 | 21.2 | 18.3 | 15.6 | 10 |
| Convection | 20.8 | 20.8 | 20.8 | 20.8 | 20.8 |
| Radiation | 13.9 | 27.1 | 40.4 | 53.6 | 78.5 |
| Total | 34.7 | 47.9 | 61.2 | 74.4 | 99.3 |

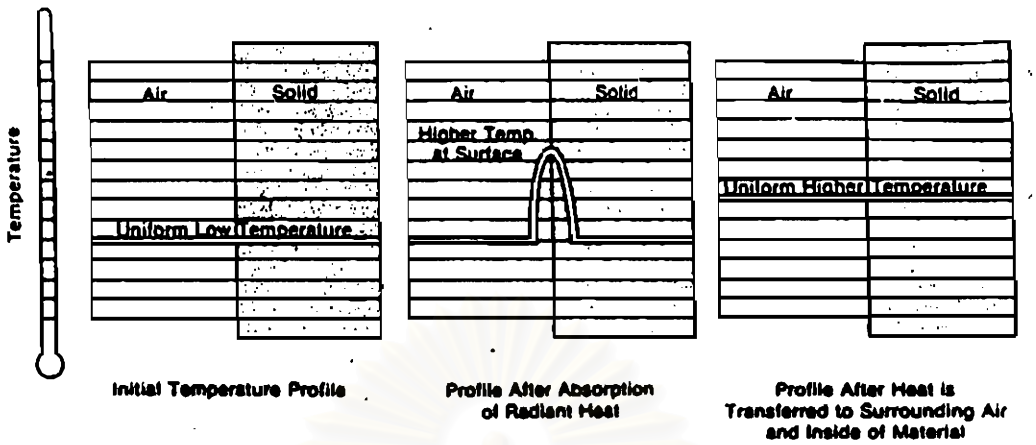
**ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อน**

**ที่มา : Thermal insulation amlnd vapor retarders - ASHRAE Fundamental Hand Book , 1993**

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของพื้นผิววัสดุ

วันเอก กิจสมใจ (2539) ในความเป็นจริงความร้อนปริมาณมากที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทั้งที่เกิดจากภายในอาคาร ได้แก่ ตัวคน อุปกรณ์เครื่องใช้ หรือ ปริมาณความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคาร อันได้แก่การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของอากาศร้อนขึ้นมาอย่างทันที แต่ในความเป็นจริง คือ รังสีความร้อนเหล่านั้นจะต้องกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ (Solid Surface) ก่อนและถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสารของวัสดุนั้น ก่อนที่จะแผ่รังสีความร้อนออกมาสู่ภายนอก

ความร้อนจำนวนหนึ่งที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสารของวัตถุนั้นส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวภายนอกสูงกว่าเนื้อวัตถุภายใน และทำให้อุณหภูมิของอากาศที่อยู่ติดกันกับวัตถุนั้นสูงขึ้นไปด้วย จากความแตกต่างของอุณหภูมินี้ทำให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัตถุโดยการนำความร้อน และสู่อากาศโดยการพาความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกเท่ากัน ดังรูป 2.6




**รูปที่ 2.6** Radiant heat penetration into a solid object

ที่มา : Brashaw , Vaughn.Building Control System. 2 nd. Ed.,pp.82

ในขณะเดียวกันที่ความร้อนถูกนำ (Conducted) เข้าสู่วัตถุได้ถูกสะสมไว้ในตัววัตถุเอง ความร้อนนั้นก็ถูกนำพาออกไป (Convected) สู่อากาศด้วยในขณะเดียวกัน ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อน (Heat Gain) เข้าสู่สิ่งแวดล้อม สัดส่วนของความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่จะสะสมในเนื้อวัตถุมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับ

1. อัตราส่วนของค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) ของวัตถุนั้นกับค่าความต้านทานความร้อนที่ชั้นบาง ๆ ของอากาศ (Air Film) ที่สัมผัสวัตถุนั้นอยู่
2. ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุกับอุณหภูมิในเนื้อวัตถุเปรียบเทียบกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ

ปกติแล้วค่าความต้านทานต่อความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่เนื้อวัตถุของอาคารที่ไม่ใช่ฉนวนนั้นมักจะน้อยกว่าค่าความต้านทานของ Air Film ที่ผิววัตถุนั้น ๆ มาก ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของวัตถุและอุณหภูมิของอากาศเริ่มจะปรับตัวเข้าหากัน ความร้อนส่วนใหญ่ก็ยังคงสะสมอยู่ในตัววัตถุนั้นเอง อย่างไรก็ตามเมื่อกระบวนการสะสมความร้อนดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ อุณหภูมิภายในของเนื้อวัตถุก็เริ่มจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้กระบวนการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งเป็นไปอย่างช้า ๆ และเริ่มเป็นการสะสมความร้อนภายในตัววัตถุเอง และในสภาพดังกล่าว ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่สัมผัสอยู่กับพื้นผิววัสดุจะสูงขึ้นมาก ๆ ความร้อนที่จะถูกพาจากพื้นผิวก็ยิ่งน้อยลง แต่กลับถูกสะสมอยู่ในตัววัตถุมากขึ้น

ดังนั้นนอกจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวจะเกิดขึ้นเนื่องจาก Radiant Heat แล้วอุณหภูมิผิวยังจะสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการพาความร้อนเข้ามาจากอากาศที่สัมผัสอยู่โดยรอบที่อุณหภูมิสูงกว่าอีกด้วย และความร้อนดังกล่าวนี้ยังอาจสะสมเข้าไปในตัววัตถุได้อีกส่วนหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อค่าการส่งผ่านความร้อนผ่าน Air Film ยังเป็นไปได้น้อยอยู่ ผลกระทบของการแผ่รังสีความร้อนนั้นก็ยังเป็นสิ่งที่เห็นได้ชัดเจนกว่า

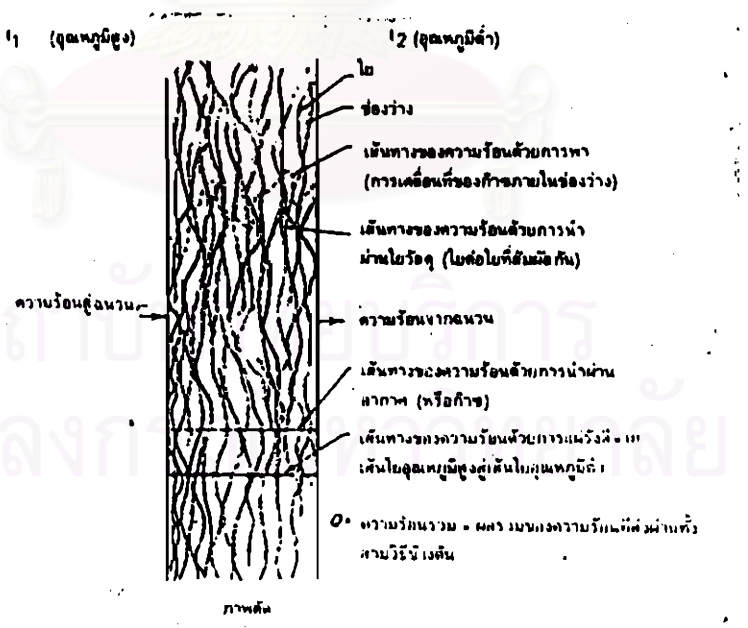
## 2.6 การใช้ฉนวนกันความร้อน ตระการ ก้าวกสิกรรม (2537)

คุณประโยชน์ของการติดตั้งระบบฉนวนกันความร้อนในอาคาร คือเพื่อสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นหรือทำความร้อน (กรณีภูมิอากาศของเมืองหนาว) เป็นการป้องกันการถ่ายเทความร้อนไม่ให้เข้ามาภายในอาคาร ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า หน้าที่ของฉนวนความร้อนคือ จะต้องยับยั้งหรือขัดขวางการถ่ายเทความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยปกติกลไกการถ่ายเทความร้อนในฉนวนจะประกอบไปด้วย กระบวนการทั้ง 3 แบบคือ การนำความร้อน,การพาความร้อนและการแผ่ความร้อน ดังนั้นจึงมักใช้คำว่า "สภาพนำความร้อนปรากฏ" (Apparent Thermal conductivity) แทนการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน

ในที่นี่จะกล่าวถึงการถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน 2 แบบ คือ

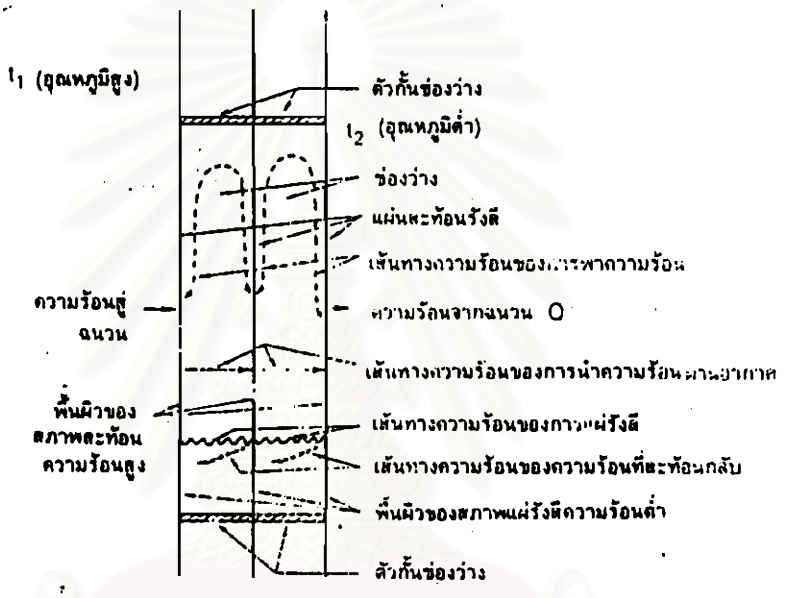
1. การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นมวล
2. การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นผิวสะท้อนแสง

**1. การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นมวล** พิจารณาประกอบกับรูป 2.7 จากหลักการที่ความร้อนไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นความร้อนจะไหลจากผิวทางด้านขวาไปทางซ้าย ความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนที่บรรจุเต็มไปด้วยช่องอากาศที่เป็นช่องว่างระหว่างเส้นใยของฉนวนจะมีอัตราการไหลที่ช้าลง ซึ่งถ้าช่องอากาศมีขนาดที่พอเหมาะจะทำให้การพาความร้อนจากผิวด้านอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำมีปริมาณน้อยลง และทำให้เส้นทางการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำลดลงด้วย (เนื่องจากเส้นทางที่ยาวขึ้นและคดเคี้ยวของเส้นใย) ส่วนการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการแผ่รังสีก็สามารถลดลงได้ด้วยคุณสมบัติของความทึบและคุณสมบัติการสะท้อนรังสี




**รูปที่ 2.7 รูปแสดงการไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน**
**ที่มา ตระการ ก้าวกสิกรรม , คู่มือฉนวนความร้อน ( 2537)**

**2. การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นผิวสะท้อนแสง** พิจารณาประกอบกับรูป 2.8จากความต้องการลดค่าการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีจากพื้นผิวสู่พื้นผิว จึงจำเป็นต้องออกแบบฉนวนในลักษณะผิวสะท้อนรังสี (Reflective Insulation) นั่นคือทำให้เกิดการสะท้อนรังสีความร้อนไปมาระหว่างผิวสองด้าน โดยคุณสมบัติที่สำคัญของแผ่นวัสดุจะต้องมีค่าสภาพแผ่รังสีและดูดกลืนรังสีต่ำ เป็นหลัก ส่วนช่องว่างระหว่างแผ่นกั้นเหล่านี้จะต้องก่อให้เกิดสภาพการนำความร้อนและการพาความร้อนน้อยที่สุด โดยการทำให้ช่องว่างเหล่านี้เป็นสุญญากาศ (การนำและการพาความร้อนต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนซึ่งอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแนวทางที่เพิ่มประสิทธิภาพของระบบฉนวนผิวสะท้อนด้วยการแทนที่อากาศในช่องด้วยก๊าซเฉื่อยที่มีสภาพนำความร้อนต่ำกว่าอากาศ




**รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนผิวสะท้อนรังสี**
**ที่มา ตระการ ก้าวกสิกรรม , คู่มือฉนวนความร้อน ( 2537)**

## ประเภทและคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

การแบ่งประเภทของฉนวนสามารถสามารถจำแนกได้ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

1. การแบ่งประเภทของฉนวนจากองค์ประกอบของฉนวน
2. การแบ่งประเภทของฉนวนจากกลไกการถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน
3. การแบ่งประเภทของฉนวนจากลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ขายในท้องตลาด
4. การแบ่งประเภทของฉนวนตามสารเคมีของวัสดุ
5. การแบ่งประเภทของฉนวนตามหลักฟิสิกส์
6. การแบ่งประเภทของฉนวนตามอุณหภูมิของงานที่จะใช้

## การแบ่งประเภทของฉนวนจากลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ขายในท้องตลาด

1. ฉนวนแบบแผ่นแข็ง (Rigid Insulation) ตัวอย่างของแนวลักษณะนี้ได้แก่ โพลิสไตรีน , โพลียูรีเทน, โพลีไอโซไซยาเรต , เพอร์ไลต์ , ฟีโนลิค ฉนวนลักษณะนี้สามารถใช้ได้กับทุกส่วนของอาคาร เช่น ผนัง , ฐานราก และหลังคา เป็นต้น
2. ฉนวนใยแร่ ฉนวนลักษณะนี้รวมไปถึงการผลิตเส้นใยที่ผลิตจากหิน , เศษโลหะหรือแก้ว ผลิตภัณฑ์ที่ประดิษฐ์จากเศษโลหะ บางครั้งเรียกว่า ROCK WOOL หรือ MINERAL WOOL ฉนวนลักษณะนี้สามารถผลิตออกมาในรูปของแผ่นแข็ง , แบบกึ่งแผ่นแข็ง , แบบคลุมหรือห่ม และ แบบเส้นใยอัดเป็นแผ่น
3. ฉนวนลูสฟิลล์ ฉนวนลักษณะนี้มักประกอบขึ้นจากเส้นใยต่าง ๆ เมล็ดเล็ก ๆ ที่ทำให้เป็นขุย หรือเศษไม้ ตัวอย่างของฉนวนลักษณะนี้ ได้แก่ โพริง , เวอร์มิคูไลท์ และ เซลลูโลสอิก ไฟเบอร์ เป็นต้น
4. ฉนวนโฟมฉีดในที่ เป็นฉนวนที่ใช้สำหรับฉีดฟนในสถานที่ที่ต้องการใช้งานเลย ตัวอย่างของฉนวนลักษณะนี้ได้แก่ โพลีไอโอโซไซยานูเรต
5. กระจกฉนวน กระจกฉนวนความร้อน มีองค์ประกอบในการพิจารณาความสามารถที่จะเป็นฉนวนกั้นอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างกระจกทั้ง 2 ด้าน ซึ่งถูกคั่นโดยอากาศแห้ง อากาศแห้งเกิดจากการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นในตัวของอลูมิเนียม ปกติแล้วอากาศแห้งซึ่งอยู่ระหว่างกระจกจะทำหน้าที่ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากด้านใดด้านหนึ่งของกระจก

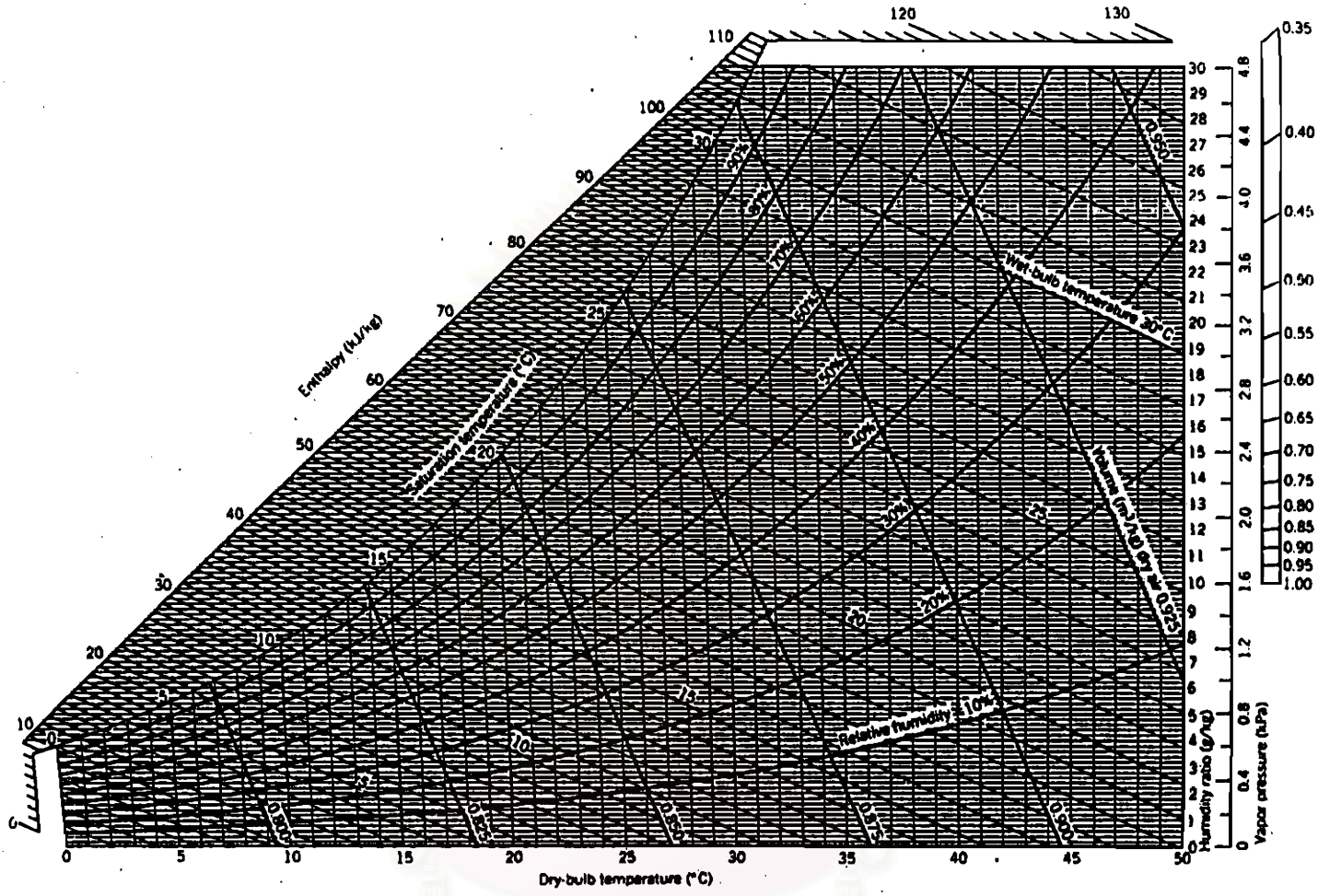
## เปลือกหุ้มกั้นไอน้ำ หรือ แผ่นกั้นไอน้ำ หรือตัวกั้นไอน้ำ (Vapor Barriers)

ข้อสำคัญประการหนึ่งในการที่จะทำหน้าที่อย่างประสิทธิภาพ คือ จะต้องทำให้ฉนวนแห้งอยู่เสมอ จากคุณสมบัติของน้ำซึ่งมีสภาพนำความร้อนที่สูงกว่าฉนวนโดยปกติมากกว่า 10 เท่า เป็นผลให้ฉนวนที่เปียกน้ำจะสูญเสียความสามารถในการทำหน้าที่การถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร และถ้าสภาพภายนอกทำให้ไอน้ำที่ควบแน่นสามารถแข็งตัวเป็นน้ำแข็งภายในตัวฉนวน จะทำให้อัตส่วนการนำความร้อนเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 10-40 เท่า อีกทั้งทำให้ฉนวนแบบเซลล์แตกเสียหายจากการขยายตัวของน้ำที่กำลังแข็งตัว ลักษณะนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับฉนวนที่ใช้หุ้มท่อที่ทำงานต่ำกว่าจุดแข็งตัวของน้ำ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าการคงอยู่ของไอน้ำในสภาพก๊าซภายในฉนวนแล้วจะไม่เป็นปัญหา แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นมาจากไอน้ำในสภาพก๊าซควบแน่นหรือแข็งตัวกลายเป็นน้ำแข็ง

จากหลักการที่ว่าการควบแน่นจะเกิดขึ้นภายในผนังหรือเพดานห้อง ถ้าอุณหภูมิ ณ จุดนั้นมีค่าเท่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่สมนัยกับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นในห้อง (ดูจากแผนภาพไซโครเมตริก) และเมื่อเกิดความชื้นหรือไอน้ำภายในส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรมจะส่งผลเสียหายอย่างมาก เช่น ทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างลดลง รวมถึงสภาพที่ไม่น่าดูของรอยเชื้อรา สามารถส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในห้อง ซึ่งเป็นสาเหตุของการป่วยไข้ของผู้ใช้อาคารหรือที่รู้จักในชื่อของ Sick Building Syndrome

จากเหตุผลนี้เอง โดยปกติจะต้องติดตั้งเปลือกหุ้มกั้นไอน้ำ (ตัวกั้นไอน้ำที่หุ้มอยู่ด้านนอกของผิวฉนวน) หรือแผ่นกั้นไอน้ำ (ตัวกั้นไอน้ำที่อยู่ระหว่างหรือภายในฉนวน ณ จุดที่ออกแบบ) ชิดไปทางผิว

ด้านในของอาคารเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อหน่วงการซึมผ่านของไอน้ำผ่านผิวอาคาร แต่กระนั้นปรากฏการณ์ดังกล่าวมีข้อยกเว้นสำหรับกรณีที่เกิดขึ้นแถบอากาศชื้น เช่น กรณีบริเวณชายฝั่งทะเล หรือแถบภาคใต้ของประเทศไทย โดยความดันไอน้ำภายในอาคารที่เย็นอาจต่ำกว่าความดันไอน้ำด้านนอก ฉะนั้นการติดตั้งแผ่นกั้นไอน้ำ จึงควรติดตั้งใกล้ผิวด้านนอกของอาคาร




**รูปที่ 2.9 แผนภาพไซโครเมตริก**

**ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building (1992), pp131**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


## 2.7 ระบบเปลือกอาคาร (Building Envelope Components)

หมายถึง ส่วนประกอบของอาคารที่เป็นพื้นผิวภายนอก 2 มิติ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางแบ่งกั้นและเชื่อมโยง (Transition Space) สภาพแวดล้อมกับการใช้สอยของพื้นที่ภายในอาคาร

ในIndustrialized Walling Systems สามารถแบ่งระบบ Walling System ออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. Heavy System
2. Light System

หากมีการจัดตามระบบดังกล่าวเบื้องต้นแล้ว Curtain Wall จัดอยู่ใน Light System ซึ่งไม่ได้รับแรงอะไรมากมายนักก็ตาม แต่ในความเป็นจริงแล้ว Curtain Wall ต้องรับน้ำหนักของตัวเอง แต่สิ่งที่ Curtain Wall ต้องทานทนได้ คือ แรงลมกรรโชก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Dynamic Pressure ในส่วนที่เป็น Negative อันมหาศาล และส่วนที่มาพร้อมกับพายุฝน และในบางครั้งก็ต้องทนกับแผ่นดินไหวด้วย สมสิทธิ์ นิตยะ (2542) Curtain Wall คือ ระบบผนังอาคารเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non – Load Bearing Exterior Wall ) นอกจากน้ำหนักของตัวเอง เป็นผนังเบาซึ่งจะแขวนห้อยอยู่กับโครงสร้างหลักโดยถ่ายน้ำหนักผ่านตัวยึดเกาะ (Anchorage) เข้าสู่โครงสร้าง เป็นระบบผนังที่มีทุกชิ้นส่วนองค์ประกอบทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นระบบต่อเนื่องทั้งในแนวด้านข้าง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแนวดิ่ง เพื่อป้องกัน แดด ลม ฝน ที่จะเข้ามาภายในอาคาร โดยมีองค์ประกอบหลักของระบบ ดังนี้

1. Frame **โครงกรอบของผนัง**
   - Mullion โครงตั้ง
   - Transom โครงตัวนอน
2. Insert Panel or Glazing แผ่นลูกฟักทั้งส่วนหน้าคาน Spandrel - และส่วนปิดล้อม Space อาจเป็นแผ่นอลูมิเนียม , กระจก หรือแผ่นหินอ่อน
3. Anchorage อุปกรณ์ยึดเกาะระบบกับโครงสร้าง
4. Joint Sealant ระบบรอยต่อ เป็นวัสดุอุดรอยต่อและช่วยในการยึดจับแผ่นลูกฟักกับโครงกรอบ
   - Solid Sealant
   - Gunnable Sealant

**การเลือกระบบเปลือกอาคารที่ใช้ผนังระบบ Curtain Wall (สมสิทธิ์ นิตยะ ,2537 )**

ปัจจัยที่ต้องนำมาวิเคราะห์ในการเลือกระบบเปลือกอาคารที่ใช้ผนังระบบ Curtain Wall

| | | |
|---|---|---|
| 1. | Comfort | สภาพความสบายของการใช้อาคาร |
| 2. | Energy Consumption | ความประหยัดพลังงาน |
| 3. | Day Light | ความสว่างจากแสงธรรมชาติ |
| 4. | Cost | ราคาของระบบที่เลือกใช้และการลงทุน |
| 5. | Appearance | ความสวยงามและทนทานต่อสภาพแวดล้อม |
| 6. | Impact | ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม |

**การแบ่งประเภทของระบบผนังเบา** Curtain Wall

**แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ชนิด**

1. Custom Type เป็นชนิดออกแบบเฉพาะสำหรับอาคารใดอาคารหนึ่งตามความเหมาะสมกับ Architectural Expression โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่สูงประมาณ 15 ชั้นขึ้นไป
2. Commercial Type เป็นชนิดมาตรฐานจากโรงงาน ซึ่งออกแบบตามที่โรงงานที่อยู่ในคลังสินค้า เป็นการผลิตจำนวนมาก ราคาค่อนข้างถูก มักใช้กับอาคารสูงประมาณ 2 ชั้น
3. Industrial Type เป็นแบบมาตรฐานจากผู้ผลิต ซึ่งมีการใช้งานประสบความสำเร็จต่อเนื่องกันมา มักใช้กับอาคารที่มีมาตรฐานค่อนข้างดี

**แบ่งตามลักษณะของระบบข้อต่อ ได้ 3 ระบบ**

1. Butt Joint (Sealant)
2. Butt Joint (Sealant + Weep System)
3. Rain Screen or Pressure Equalization

**แบ่งตามลักษณะของระบบได้ 3 ระบบ**

1. Grid System (Stick System)
2. Grid System (Panel and Mullion System)
3. Panel Construction System

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. Grid System (Stick System) ระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 4 ชิ้น

- Mullion(2) โครงตัวตั้ง
- Transom(3,5) โครงตัวนอน
- Panel(4,6) แผ่นลูกฟัก อาจจะเป็นโลหะ ,อโลหะ หรือกระจก
- Anchors(1) อุปกรณ์ยึดโครงกับหน้าคาน (พื้น)

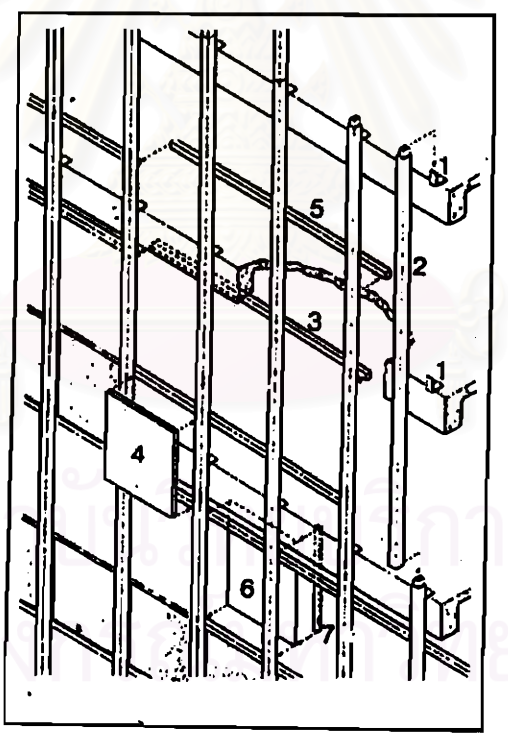
ระบบนี้ชิ้นส่วนอลูมิเนียมจะถูกตัดมาตามขนาดที่ต้องการ และส่งมาประกอบติดตั้งในสถานที่ก่อสร้าง

**ข้อดี** - ชิ้นส่วนของระบบเป็นชิ้นเล็ก การขนส่งสะดวก

- สามารถปรับขนาดและระยะต่าง ๆ ได้ตามสภาพหน้างานจริง

**ข้อเสีย** - การควบคุมคุณภาพทำได้ยาก เนื่องจากการขยายตัวและการขยับตัวของอลูมิเนียม อาจทำให้ระยะอมของกระจกไม่คงที่

- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง , ไม่สามารถควบคุมระยะเวลาได้
- Glazing ในส่วนโครงสร้าง จะต้องไปติดตั้งด้านนอกซึ่งทำให้ไม่สะดวก




**รูปที่ 2.10 แสดง Curtain Wall ระบบ Grid System (Stick System)**

**ที่มา : วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์ , รายงานเรื่องระบบผนัง Curtain Wall (2541) หน้า 3**

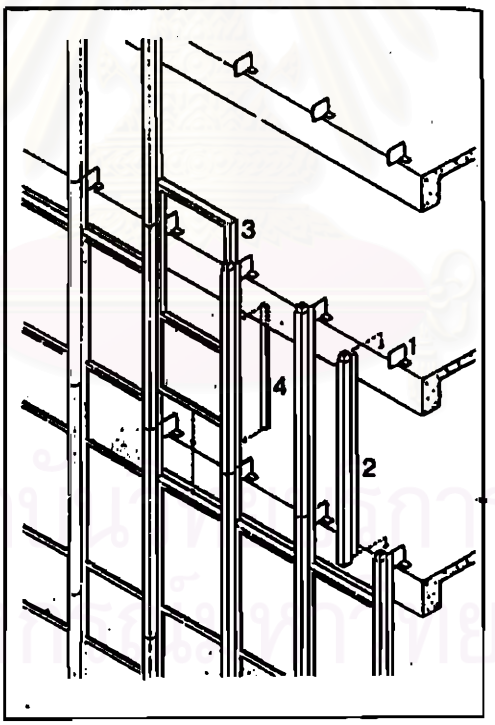
2. Grid System (Panel and Mullion System) ระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วน 3 ชิ้น

- Mullion(2) โครงตั้งตั้ง
- Panel(3) แผ่นลูกฟัก อาจจะเป็นโลหะ ,อโลหะ หรือกระจก
- Anchors(1) อุปกรณ์ยึดโครงกับหน้าคาน (พื้น)

ระบบนี้จะประกอบแผ่นผนังสำเร็จ (Panel) มาจากโรงงานมาประกอบกับ Mullion ในที่ก่อสร้าง ส่วนที่เป็นโครงติดตั้งจะยาวเท่ากับ 1 ชั้นของอาคาร โดยส่วน Panel นั้นอาจเป็น Glazing กับ Spandrel รวมกันใน Unit เดียวกันหรือแยกกันก็ได้

**ข้อดี** - มีความแข็งแรงทางโครงสร้างสูง
- ค่าขนส่งไม่สูงมาก เพราะมีการแยกส่วนขององค์ประกอบของแผ่นผืน
- ควบคุมคุณภาพของระบบได้

**ข้อเสีย** - ราคาแพงกว่าระบบอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบมาก มีJoint ที่ต้อง Field ค่อนข้างมาก




**รูปที่ 2.11 แสดง Curtain Wall ระบบ Grid System (Unit and Mullion System)**
**ที่มา : วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์ , รายงานเรื่องระบบผนัง Curtain Wall (2541) หน้า 4**

3. Panel Construction System ระบบนี้ชิ้นส่วนจะประกอบเป็นแผ่นผนังสำเร็จมีทั้ง Mullion , Transom และ Panel รวมอยู่ในแผ่นเดียวกันนำมาติดตั้งที่สถานที่ก่อสร้างได้เลย มี 2 แบบ

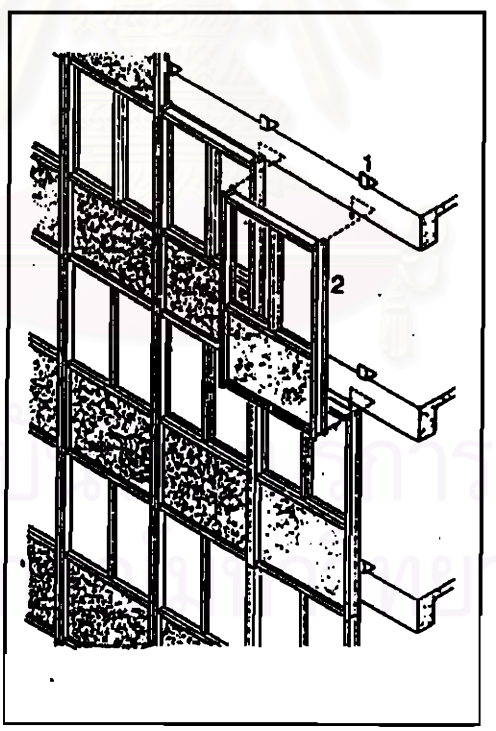
1. ชนิดที่มีการตกแต่งผิวด้านใน
2. ชนิดที่ไม่มีการตกแต่งผิวด้านใน

นอกจากนี้สามารถแบ่งระบบ Panel System ได้อีก 3 แบบ

3.1 Panel Construction System ชนิด Unit System แต่ละ Mullion ของระบบจะมีชิ้นส่วน Mullion, Transom และ Glazing รวมกันเป็น Unit (2) ขนาดใหญ่ตามที่ผู้ออกแบบต้องการ โดย Mullion จะต้องออกแบบให้มีเขี้ยวที่เป็น Interlock หรืออาจทำ Joint ระหว่าง Unit เป็นรูปตัว U (Channel) ก็ได้ ส่วนที่เป็น Spandrel สามารถอยู่ที่ Top หรือ Bottom ได้ทั้ง 2 ส่วน

**ข้อดี** - สามารถควบคุมคุณภาพได้ดีมาก เนื่องจากประกอบ Unit มาจากโรงงาน
- การก่อสร้างทำได้รวดเร็ว ใช้แรงงานน้อย

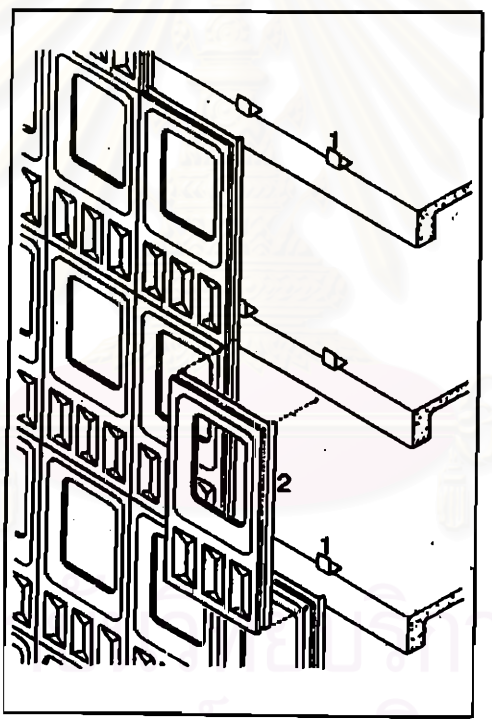
**ข้อเสีย** - ค่าขนส่งแพง เนื่องจากชิ้นส่วนมีน้ำหนักมาก ขนาดใหญ่
- ไม่สามารถปรับเปลี่ยนขนาด ตามสภาพหน้างานจริงได้




**รูปที่ 2.12 แสดง Curtain Wall ระบบ Panel Construction System ชนิด Unit System**
**ที่มา : วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์ , รายงานเรื่องระบบผนัง Curtain Wall (2541) หน้า 5**

3.2 Panel Construction System ชนิด Panel System เป็นระบบแผ่นผนัง ที่เป็นองค์ประกอบของแผ่น Cladding ชิ้นเดียว(2) ทำหน้าที่เป็นตัวปิดล้อมพื้นที่ภายในอาคาร , รับน้ำหนัก และแรงกระทำ ที่เกิดขึ้นพร้อมกันกับส่วนที่เป็นหน้าต่าง Glazing Window การออกแบบระบบนี้ส่วนมากจะเน้นเส้นทางนอน โดยไม่เน้นส่วนของอลูมิเนียมทางแนวตั้ง

**ข้อดี และข้อเสีย** เหมือนกับระบบ Unit แต่มีข้อเสียมากกว่า คือต้องมีการป้องกันจุดที่น้ำจะเข้าได้อย่างแน่นหนา เพราะรอยรั่วจะทำความเสียหายให้กับระบบผนังทั้งแผ่นได้ นอกจากนี้ยังมีราคาค่อนข้างแพง เนื่องจากต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการหล่อ - ผลิตชิ้นส่วนขนาดใหญ่




**รูปที่ 2.13 แสดง Curtain Wall ระบบ Panel Construction System ชนิด Panel System**
**ที่มา : วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์ , รายงานเรื่องระบบผนัง Curtain Wall (2541) หน้า 6**

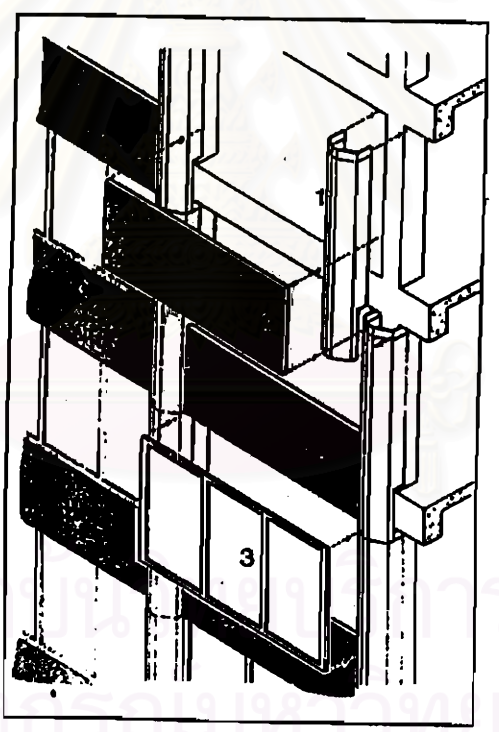
3.3 Panel Construction System ชนิด Column Cover and Spandrel System เป็นระบบที่มีองค์ประกอบ คือ แผ่น Cladding(1) ที่หุ้มเสา แผ่น Spandrel(2) ที่มีความกว้างเท่ากับ Span เสา และส่วน Glazing ที่อาจแยกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประกอบกัน หรือ เป็นแผ่นใหญ่กว้างเท่า Spandrel ก็ได้ โดยองค์ประกอบทั้ง 3 ชิ้นส่วนนี้จะยึดเกาะเข้ากับโครงสร้างหลักโดยตรง ข้อควรคำนึงถึงในการออกแบบ คือ แผ่น Spandrel Panel จะต้องไม่เกิดการโก่งงอ เมื่อมี Deflect ของโครงสร้างและส่วนที่เป็น Window Glazing จะต้องสามารถรับแรงที่กระทำต่อต่อ Mullion และไม่ทำให้กระจกแตก

**ข้อดี** - สามารถออกแบบ Façade ได้หลายแบบ โดยการทำแผ่น Spandrel ให้มีลวดลาย , สีสัน และพื้นผิวต่างกันไปได้

- ควบคุมคุณภาพของระบบได้

**ข้อเสีย** - ราคาค่อนข้างสูง

- ระยะเวลาและค่าดำเนินการค่อนข้างสูง




**รูปที่ 2.14 แสดง Curtain Wall ระบบ Panel Construction System ชนิด Column Cover and Spandrel System**

**ที่มา : วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์ , รายงานเรื่องระบบผนัง Curtain Wall (2541) หน้า 7**

## ระบบการติดตั้งกระจกกับโครงกรอบ (Glass Glazing System)

ชนิดของกระจกที่เลือกใช้ และ วิธีการติดตั้งกระจกกับโครงกรอบของระบบผนัง Curtain Wall จะมีผลต่อรูปร่างหน้าตาของอาคาร จึงต้องพิจารณาเลือกให้เหมาะสมถูกต้อง ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 3 ระบบ 4 แบบ คือ

1. Pressure Bead Glazing System คือระบบที่มีการติดตั้งกระจกทั้งด้านตั้งและด้านบน มี Glass Bead เป็นตัวรับแรงลมและแรงที่เกิดขึ้นโดยตัวมันเอง
2. Two Side Structural Glazing System
   - Horizontal Structural Glazing System ในด้านตั้งจะมี Pressure Bead ในส่วนที่เป็นโครงทางตั้ง และส่วนโครงด้านนอน กระจกจะยึดเกาะอยู่กับโครงโดยการใช้ Structural Silicone Sealant เป็นตัวยึดเกาะ
   - Vertical Structural Glazing System ในด้านนอนจะมี Pressure Bead ในส่วนที่เป็นโครงทางนอน และส่วนโครงตั้ง กระจกจะยึดเกาะอยู่กับโครงโดยการใช้ Structural Silicone Sealant เป็นตัวยึดเกาะ
3. Four Side Structural Glazing System เป็นระบบที่ใช้ Structural Silicone ในการยึดกระจกกับโครงกรอบของ Curtain Wall ทั้ง 4 ด้าน ทำให้มองเมื่อมองจากภายนอกไม่เห็นโครงกรอบที่รับกระจกเลย

**ข้อควรคำนึงในการออกแบบ Curtain Wall**

1. ต้องเป็นระบบที่เหมาะสม และติดตั้งได้โดยที่ Tolerance ไม่เป็นปัญหาในการติดตั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เป็น Full System รอบอาคารทั้ง 4 ด้าน
2. ความแข็งแรงของระบบ
   - พิจารณาทางด้าน Dynamic Load และ Static Load ซึ่งต้องใช้เทศบัญญัติ, ข้อมูลย้อนหลัง รูปทรง-ความสูงและขนาดของอาคาร ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร สภาพแวดล้อมของอาคาร ซึ่งจะเป็นการคำนวณเป็น Criteria เบื้องต้นในการออกแบบ
   - Anchorage System จะต้องกำหนดให้เหมาะสมกับระบบที่เลือกใช้ และมีความสอดคล้องกับ Dynamic Load และ Dead Load ของตัวระบบ
3. การเลือกระบบที่ไม่รั่วฝนและอากาศ
   - ไม่ควรเลือกระบบ Main System ที่เป็น Butt Joint หรือระบบที่ฝากการป้องกันการรั่วไว้กับ Sealant หรือ Gasket แต่เพียงอย่างเดียว
   - ไม่ควรเลือกระบบ Main System ที่รอยต่อตามแนวตั้งกับแนวนอนมาประชุมกันมากที่จุดใดจุดหนึ่ง
4. เลือกระบบที่ Main System ทำงานร่วมกับกระจก โดยไม่เกิด Thermal Breakage

**การขยับตัวของระบบ Curtain Wall**

1. การขยับตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal Expansion and Contraction) เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิภายในกับภายนอกต่างกันมาก นั่นคือ อุณหภูมิที่สูงจะส่งผลให้ผิวภายนอกยืดตัว และอุณหภูมิภายในที่ต่ำเนื่องจากปรับอากาศ ผิววัสดุจะหดตัวทำให้ระบบแผ่นผนังเกิดการโก่งงอได้
2. การเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุเนื่องจากความชื้น (Moisture Expansion and Contraction) จะมีผลต่อ Cladding ที่เป็นวัสดุก่อ เช่น อิฐ,คอนกรีบล็อก

**การป้องกันน้ำและความชื้นเข้าไปยังภายในอาคาร**

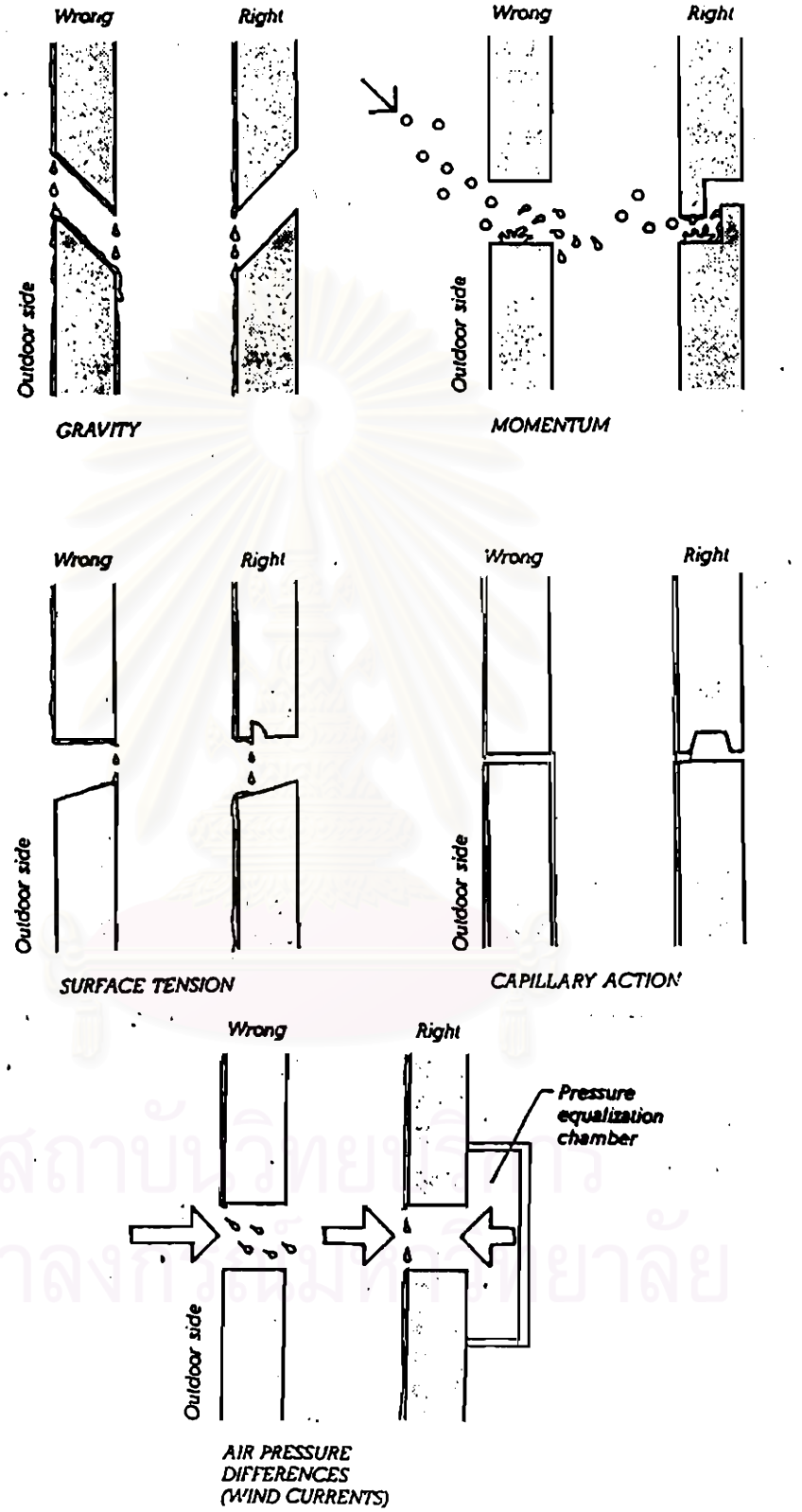
เงื่อนไข 3 ประการที่จะทำให้น้ำเข้าสู่ภายในอาคาร

1. มีน้ำอยู่ที่ผิวด้านนอกของอาคาร
2. มีช่องเปิดที่จะทำให้น้ำผ่านเข้าไปได้
3. มีแรงช่วยพาน้ำเข้าไปภายใน

**แนวทางป้องกันไม่ให้น้ำเข้ามาภายในระบบ** (สมสิทธิ์ นิตยะ , 2537)

1. Weather Tightness ใช้ในการอุดด้วย Sealant ให้ยืดหดตามโดยไม่แข็งตัว หรือใช้ Gasket เป็นตัวยึดและอัดไว้เป็นระบบที่ใช้ในยุคต้น ๆ จนถึงปัจจุบัน
2. Weep System มีร่องระบายน้ำในกรณีที่ Working Joint เกิดการรั่วจะระบายน้ำออกได้
3. ทำให้แรงที่จะพาน้ำผ่านเข้าไปภายในเป็นศูนย์ ซึ่งแรงเหล่านี้ ได้แก่
4. Gravity จะทำให้น้ำเข้าไปได้ก็ต่อเมื่อมีทางไหลของน้ำที่เอียงเข้าภายใน แก้ไขได้โดยการทำ Joint ทุกตัวให้เอียงออกด้านนอก
5. Momentum เป็นแรงส่งของน้ำที่ตกกระทบผิวทางราบของช่องเปิด แล้วหักเหเข้าสู่ภายในอาคาร จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีช่องหรือรูที่มีขนาดพอสมควร เจาะทะลุผนัง ทางแก้ง่าย ๆ คือ ปิดช่องนั้น หรือ ทำเป็นบังใบ
6. Surface Tension ทำให้น้ำไหลไปตามแรงตึงผิว จนกระทั่งสุดทางที่ไปได้ จึงตกลงที่สุดทางนั้น ป้องกันได้โดย ทำร่องให้น้ำหยดก่อนที่จะเข้ามาถึงด้านใน
7. Capillary Action เป็นปรากฏการณ์ที่น้ำ จะไหลตามทางน้ำเข้ามาในช่องแคบ ๆ เนื่องจากแรงดันภายนอก แก้ได้โดยการทำให้ทางเล็ก ๆ นั้นมีช่องว่างอยู่ตรงกลาง ทำให้แรงดันในรูนี้มากขึ้นหมดโอกาสที่น้ำจะเข้ามาได้ หรือบางที่อาจใช้วัสดุบางอย่างดักไว้ (Capillary Break)
8. Wind Current เป็นแรงหนึ่งที่ช่วยพาน้ำเข้าไปได้ แต่สามารถดักได้ด้วยวิธีทำให้แรงดันภายในเท่ากับภายนอกเท่ากัน ก็ไม่มีแรงที่พาน้ำเข้าได้ การทำให้ Wind Pressure ที่แตกต่างกันระหว่างภายในกับภายนอกเท่ากันให้ได้ ระบบนี้เรียกว่า Pressure Equalized นั่นเอง โดยที่แรงลมที่มากระทำต่อพื้นผิวของอาคารแต่ละส่วนไม่เท่ากัน การออกแบบ Joint แต่ละส่วนจึงไม่ควรสูงเกิน 2 ชั้นหรือ 2 ช่วงเสา ถ้าไม่เช่นนั้นบริเวณที่แรงดันมากน้ำจะเข้ามาในส่วนนั้น และแพร่กระจายไปได้ ตัวอย่างการใช้ระบบ Pressure Equalized ใน Metal and Glass Curtain Wall นี้ เช่นการใช้ Gasket เป็นวัสดุอุดรอยต่อที่ด้านนอกอาคารนั้น ถ้าน้ำซึมเข้ามาภายในได้จาก

การรั่วของ Gasket ภายนอก ก็ยังมี Gasket ภายในที่ทำหน้าที่ Air Barrier และช่องว่างภายใน Mullion ก็จะทำหน้าที่เป็น Pressure Equalization Chamber ไปในตัว




**รูปที่ 2.15 แสดงการผ่านเข้ามาภายในอาคารของน้ำลักษณะต่าง ๆ**

**ที่มา : วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์ , รายงานเรื่องระบบผนัง Curtain Wall (2541) หน้า 13**

## การใช้ฉนวนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพของระบบ Curtain Wall

### การใช้พลังงานของระบบ Curtain Wall

เนื่องจากการใช้ Curtain Wall ในประเทศไทยยังไม่กว้างขวางนัก ดังนั้นลักษณะของการใช้จึงมักเป็นอาคารประเภท Office Building เป็นส่วนมาก ซึ่งถ้าหากเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศต่าง ๆ จะพอเปรียบเทียบได้ดังนี้

| อาคารสำนักงาน | ปรับอากาศ | ส่องสว่าง | อื่น ๆ |
|---|---|---|---|
| สิงคโปร์ | 50% | 35% | 15% |
| นิวยอร์ค | 39% | 36% | 25% |
| แอล. เอ. | 34% | 38% | 28% |

ความสิ้นเปลืองส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานในส่วนปรับอากาศ และการส่องสว่าง ซึ่งเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเลือกใช้ Curtain Wall โดยตรง และเนื่องจากสัดส่วนของ Vision Area กับ Opaque Area สำหรับประเทศไทยมีสัดส่วนอยู่ที่ 100% Vision Area เป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่เหลือ (ซึ่งมีไม่ถึง 5%) ที่เป็น Vision Area 80% มีเป็นส่วนน้อย ดังนั้นการใช้พลังงานและความสบายของการใช้อาคาร จึงมาเน้นอยู่ตรงการใช้กระจกเป็นประการสำคัญ เช่น การใช้กระจกใสที่ทำหน้าที่เป็นพื้นผิวทางด้านตะวันตกจะรับพลังงานถึงประมาณ 10 ตรม. ต่อ 1 ตันความเย็น ซึ่งเป็นอัตราที่สูงมาก ดังนั้นกระจกจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นมามากเพื่อป้องกันความร้อน โดยให้กระจกมีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาที่ดีขึ้น จนในปัจจุบันมีกระจก Reflectiveชนิด High Performance

### การป้องกัน Heat Transfer ของส่วน Curtain Wall (สมสิทธิ์ นิตยะ , 2537)

ระบบนี้มักจะพัฒนามาจาก Curtain Wall Mullion ชนิด Monolithic Member เป็นส่วนใหญ่ การป้องกันการถ่ายเทความร้อนใช้วิธีแยกส่วน Pressure Bar ออกจาก Main Mullion และมี Face Cover ครอบปิด Pressure Bar ตามปกติ วัสดุที่ใช้เป็นตัวสกัดการนำความร้อนจากพื้นผิวภายนอกไม่ให้เข้าวัสดุด้านในมักจะเป็น Vinyl Spacer เป็นส่วนใหญ่ และมักจะเป็นระบบที่เป็นการใส่กระจกหรือแผ่นผิวด้านหน้าเป็นส่วนใหญ่ ส่วน Joint ของ Mullion ซึ่งใช้ Sleeve และ Sealant เป็นลักษณะที่ขาดการต่อเนื่องกันอยู่แล้ว มักจะไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากมี Vinyl Spacer เป็นตัวคั่น ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดในการยึดระบบเข้าด้วยกันจึงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะระบบที่มีราง Gondola อยู่ด้านหน้ายิ่งทำให้ต้องมีความระมัดระวังในพื้นที่หน้าตัด และการถ่ายแรงมากเพิ่มขึ้น ระบบนี้มักจะเรียกกันว่า Thermal Break ราคาของระบบจะสูงกว่าราคาระบบปกติพอสมควร

**การป้องกัน Heat Transfer ของส่วนแผ่นผืน (Panel)**

ก. Panel **แบบทึบ** ทำด้วยวัสดุหลายชนิด วัสดุหลักมักจะเป็นแผ่นเหล็กเคลือบ Porcelain Enamel แผ่นอลูมินั่มชุบเคลือบผิว หรือวัสดุสังเคราะห์อื่น ๆ จัดได้เป็น 3 ประเภท

1. Veneer Type มักจะประกอบด้วยเหล็กชุบเคลือบ Porcelain Enamel หรืออลูมินั่มชุบเคลือบ (Anodic Coating) มีไส้ (Core) และมีแผ่นประกับหลัง ซึ่งเคลือบสีสำเร็จ ในบางครั้งเมื่อต้องการผนังที่มีค่าความเป็นฉนวนที่ดีขึ้นอาจจะบุฉนวนที่มีน้ำหนักเบา เช่น ใยแก้ว หรือใยหิน เป็นต้น วัสดุที่บุจะต้องมีความทนทานต่อความร้อนได้สูง ซึ่งจะกล่าวต่อไปใน Insulation As A System

2. Insulation Type แผ่น Panel ชนิดนี้ผิวด้านนอกเป็นเช่นเดียวกับแบบแรก แต่เพิ่ม Core และ Stabilizer ตรงกลางให้มีค่าความเป็นฉนวนดีขึ้น ความหนารวมตั้งแต่ 1 นิ้ว ขึ้นไปจนถึง 4 นิ้ว ค่าR ในการต้านทานความร้อนตั้งแต่ 2.93 ถึง 30.89 หรือประมาณเท่ากับกำแพงอิฐหนา 12 นิ้ว

3. Sheet Type ส่วนมากเป็นแผ่นอลูมิเนียมที่มีความหนา บางครั้งมีการผลิตเป็นลักษณะของ Folded Plat เพื่อลดความหนาและเพิ่มความแข็งมักจะเคลือบแข็งผิว Anodic Coating อย่างประณีต มิฉะนั้นเมื่อใช้จะปรากฏการด่างหรือไม่เสมอของผิว และหากต้องการให้มีค่าความเป็นฉนวนที่ดีมักจะเพิ่มฉนวนพิเศษสำหรับระบบ Curtain Wall เข้าไปแล้วมี Dry Wall หรือ Backing อยู่ด้านในเป็น Finishing ที่เรียบร้อยอีกครั้งหนึ่ง ส่วนมากจะใช้ในบริเวณหน้าดาน (Spandrel Area) เพราะไม่ต้องมี Backing

ข. Panel **แบบใส** วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นกระจก น้อยครั้งที่จะเป็นวัสดุสังเคราะห์ประเภทพลาสติก นอกจากประเภท Skylight ซึ่งต้องการความปลอดภัยกรณีที่กระจกแตก ทั้งนี้เพราะวัสดุสังเคราะห์มีราคาแพงกว่า Laminate Glass มาก เนื่องจากระบบ Curtain Wall ยากแก่การติดตั้งที่กันแดด ทั้งนี้เพราะค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเกิดจากความผิดของผิว ความเร็วลม และรูปทรงของอาคารทำให้ผนังจะต้องรับน้ำหนักมากกว่าปกติ Turbulence ที่เกิดก็ยากแก่การศึกษาและออกแบบ และถ้ามีที่กันแดดก็ไม่สามารถใช้ Gondola ทำความสะอาดระบบ Curtain Wall ได้ นอกจากนี้อาคารสูง มุมของดวงอาทิตย์ในช่วงตอนบ่าย ก็ทำให้การยื่น Overhang ยาวมากและกันได้ไม่เต็มที่ (บางครั้งมุม Profile ของดวงอาทิตย์ถึง 15 องศา) ดังนั้นการพัฒนาทางด้านค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา จึงมุ่งมาที่กระจกเป็นสำคัญ ในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์การบังเงานั้นได้พัฒนาในเรื่องของกระจกตัดแสง โดยมีสีที่ทึบเป็นสีชา สีบรอนซ์ หรือ สีอื่น ๆ เป็นตัวช่วยอีกประการหนึ่ง คือ การพัฒนาโลหะบาง ๆ เคลือบเป็นตัวสะท้อนแสงที่เรียกว่า Reflective Coating ในปัจจุบันกระจกพัฒนา Hard Surface Coating จนมีค่าสัมประสิทธิ์สำหรับกระจก 6 มม. ได้ 0.45 ถึง 0.24 ในขณะที่ Reflective ชนิด Online Process อยู่ประมาณ 0.68 และClear Glass = 0.96 ในขณะเดียวกันได้พัฒนาเนื้อกระจก หรือ Coating บนกระจกให้เป็นHeat Absorption โดยอบความร้อนแล้ว Re-radiate ออกมาทั้งสองด้านทำให้การผ่านของปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารน้อยลง

**การใช้ระบบ Insulation ให้เป็นระบบร่วมกับระบบ Curtain Wall**

การใช้ Insulation ในระบบ Curtain Wall มิใช่ว่าจะใส่เพื่อกัน Heat Transfer แต่เพียงอย่างเดียว เพราะว่าเมื่อใส่เข้าไปต้องร่วมเป็นระบบ ใช้ในตำแหน่งและชนิดให้มีคุณสมบัติถูกต้อง ความต้องการแต่ละระบบไม่เหมือนกัน หรือระบบเดียวกันต้องการคุณสมบัติคนละอย่างกันตามปรดะโยชน์ใช้สอยของส่วนอาคารนั้น ๆ เช่น ต้องการการป้องกันเสียงคนละ Class กันบ้าง ต้องทำหน้าที่เป็น Fire Retarder เมื่ออยู่ในตำแหน่งนั้น ๆ บ้าง เป็นต้น ดังนั้นการใช้จึงเป็นระบบร่วมกัน คือ

การป้องกันความร้อน

การป้องกันไฟ

การป้องกันควัน

การป้องกันเสียงภายนอกหรือเสียงระหว่างชั้น

การป้องกันการควบแน่นเป็นหยดน้ำ

การป้องกันการเกิด Thermal Breakage

การป้องกันเสียงที่เกิดจากการขยับตัวของระบบเอง

การทำหน้าที่ร่วมกับ Flashing

การทำหน้าที่ร่วมกับ Pressure Equalizer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.8 การเลือกใช้กระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

วัสดุโปร่งแสงหรือกระจก นับว่าเป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญมากขึ้นในการก่อสร้างปัจจุบัน โดยเฉพาะในอาคารสูงมีการนำกระจกมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบผนังภายนอกอาคารเนื่องจากคุณสมบัติทางด้านความทนทานและความสวยงาม ผนังโปร่งแสงของอาคารหรือ Fenestration เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดต่อการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงาน เพราะเป็นส่วนที่ความร้อนจากแสงแดดภายนอกจะเข้ามาภายในอาคารได้มากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นส่วนที่อาคารจะได้รับแสงธรรมชาติด้วย ในการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงานที่ดีนั้น ช่องโปร่งแสงจะต้องมีขนาดที่เหมาะสม คือ มีขนาดเล็กพอที่จะไม่ให้ความร้อนเข้ามาในอาคารมากนัก แต่ใหญ่พอที่จะสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอ ข้อควรคำนึงในการพิจารณาเลือกกระจกสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบบ้านเรา อาจจำแนกออกตามคุณสมบัติในแต่ละด้านดังนี้

### คุณสมบัติด้านการประหยัดพลังงานและความร้อน

- มีความสามารถในการกันความร้อนได้ดี (มีค่า R-Valueสูง)
- มีความสามารถในการทนความร้อนสูง
- กันการรั่วซึมของอากาศได้ดี
- กันน้ำและความชื้นได้ดี
- มีค่า Shading Coefficient (SC) ต่ำ
- มีค่า Light Transmission สูง
- มีค่าอัตราส่วนระหว่าง Light Transmission ต่อ Shading Coefficient สูง ซึ่งหมายความว่ายอมให้แสงผ่านเข้าได้มาก แต่ความร้อนเข้ามาได้น้อย (คุณสมบัติเฉพาะสำหรับเมืองร้อน)

### คุณสมบัติในการก่อสร้างและระบบเศรษฐกิจ

- มีความปลอดภัยสูง
- มีน้ำหนักเบา
- มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง
- มีความสามารถด้านทางแรงลมและการสั่นสะเทือน
- หาง่าย และราคาประหยัด
- ค่าบำรุงรักษาต่ำและมีความทนทานสูง

### คุณสมบัติทางด้านที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม

- ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม
- มีความสวยงามและทนทาน
- มีค่าการส่องผ่านกระจกของรังสี UV ต่ำ

### คุณสมบัติด้านการมองเห็น (Visual)

- มีค่าการสะท้อนแสงภายนอกต่ำ ทำให้ไม่รบกวนสภาพแวดล้อม
- มีค่าการสะท้อนแสงภายในอยู่ในระดับที่เหมาะสม คือ ไม่สูงเกินไปจนมองทัศนียภาพภายนอกไม่ชัดเจน หรือ ต่ำเกินไปจนไม่มีความเป็นส่วนตัว
- ให้ภาพสะท้อนที่ไม่บิดเบือนไปจากความเป็นจริง

## อิทธิพลของความร้อนต่อตัวกระจก

ในการออกแบบอาคารทั่วไปที่ใช้กระจกเป็นผนังอาคาร บางครั้งผู้ออกแบบอาจไม่ได้คำนึงถึงการแผ่รังสีความร้อนจากผิวกระจกที่ร้อนไปยังผู้ที่อยู่ในอาคาร และเนื่องจากกระจกเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารผ่านเข้าสู่ภายในอาคารได้มาก จนบางครั้งของวันที่ร้อนจัดอุณหภูมิผิวของกระจกอาจสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ผลกระทบที่เกิดจากปริมาณความร้อนผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคารที่สูงขึ้น อันเนื่องมาจากความแตกต่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน ซึ่งเป็นสาเหตุของการถ่ายเทความร้อนจากภายนอก ทำให้ต้องปรับอากาศภายในให้ลดต่ำลงจากเดิม เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารมีสภาพแวดล้อมในการทำงานที่พอเหมาะ คือ มีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส

ดังนั้นในการออกแบบจึงควรหาวิธีที่จะทำให้ผิวกระจกภายในอาคารเย็นที่สุด โดยการเลือกชนิดของกระจกที่เหมาะสมผนวกกับการออกแบบอย่างเข้าใจ เพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิและสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้กับผู้ใช้อาคาร

## การแบ่งประเภทของกระจก

สามารถแบ่งออกตามกระบวนการผลิต และวัตถุประสงค์ในการนำไปปรุงแต่งสภาพด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันได้ดังนี้

1. Float Glass
   เป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรง ได้แก่ กระจกใส (Clear Glass) และกระจกสี (Tinted Glass)
2. Treated Glass
   เป็นกระจกใส/สี ที่นำไปผ่านกระบวนการปรับแต่งคุณภาพของเนื้อกระจก เพื่อให้มีความแข็งแกร่งมากขึ้น หรือรับแรงกระทำจากภายนอกได้มากขึ้น แบ่งออกเป็นหลายประเภท ได้แก่กระจก Heat Strengthen, กระจก Tempered,กระจก Laminated เป็นต้น
3. Surface Coating Glass
   เป็นกระจกใส/สี ที่นำไปผ่านกระบวนการปรับแต่งผิวให้มีความทนทาน สวยงามมากขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในสภาวะต่าง ๆ กัน โดยแบ่งออกเป็นประเภทของกระจกได้แก่ กระจกเงา (Mirror), กระจก Reflective, กระจก Hard Coated, กระจก Soft Coated, กระจก Low-E, กระจก Patterned เป็นต้น
4. Processed Glass
   เป็นกระจกที่นำมาดัดแปลงปรุงแต่งด้วยกระบวนการ (Process) ต่าง ๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น กระจกฉนวน (Insulated Glass) และกระจก Heat Mirror เพื่อการกันความร้อน

I19233348

5. Application Glass

เป็นกระจกที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงเพื่อการใช้งานเฉพาะอย่าง เช่น Air Flow , Tilted Glass, Sound Proof, Fire Proof, Bullet Proof, Energy Saving, UV-Protection,etc.

## 1. Float Glass

**1.1กระจกใส** (Clear Glass) คือกระจกโปร่งแสงที่สามารถมองผ่านได้อย่างชัดเจน และให้ภาพสะท้อนที่สมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยว กระจกชนิดนี้จะปล่อยให้แสงผ่านประมาณ 75-92 % ซึ่งขึ้นกับความหนา นอกจากนี้กระจกใสยังเป็นกระจกพื้นฐานสำหรับนำไปผลิตเป็นกระจกชนิดพิเศษต่าง ๆ เช่น กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered Glass) กระจกนิรภัยลามิเนต (Laminated Glass) กระจกฉนวนความร้อนอินซูเลต (Insulated Glass) และกระจกเคลือบโลหะ (Coated Glass) เป็นต้น ทั้งนี้คุณภาพของกระจกชนิดพิเศษเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของกระจกใสที่นำมาผลิตด้วย

**<u>คุณสมบัติของกระจกใส</u>**

1. ราคาถูก
2. การมองเห็นจากภายนอกเข้ามาภายในสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน
3. มีค่าการดัดพลังงานแสงสว่างเพียง 8 % (สำหรับกระจกหนา 12 มิลลิเมตร)
4. มีค่าการสะท้อนแสงต่ำเพียงประมาณ 7%
5. ผิวกระจกไม่ร้อน และหากกระจกใสมาก ๆ จะไม่เก็บความร้อน (เหมาะกับเขตร้อน)

**<u>ข้อควรระวัง</u>**

1. ยอมให้แสงผ่านเข้ามาได้มาก ทำให้ความร้อนมากด้วย
2. ไม่เหมาะที่จะใช้ในบริเวณที่ต้องการความเป็นส่วนตัว

**1.2กระจกโฟลทสีตัดแสง** (Tinted Glass or Heat Absorbing Glass)

ผลิตขึ้นโดยการผสมออกไซด์ของโลหะเข้าไปในส่วนผสม (Batch Mix) ในขั้นตอนการผลิตกระจก ทำให้กระจกมีสีสัน รวมถึงคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ และลดปริมาณแสงที่ผ่านกระจก ปริมาณแสงที่จะทะลุผ่านกระจกโฟรทสีตัดแสงขึ้นอยู่กับความเข้มของสี และความหนาของกระจก

**หมายเหตุ** : American Society for Testing and Material หรือ ASTM ได้แยก Tinted Glass และHeat Absorbing Glass ออกจากกันเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งโดยความเป็นจริงแล้ว Tinted Glass มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนในตัวของมันเองอยู่แล้ว

**<u>คุณสมบัติของกระจกโฟลทสีตัดแสง</u>**

1. ผิวกระจกร้อน เนื่องจากสีของเนื้อกระจกที่เกิดจากการเติมออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ เป็นตัวดูดซับความร้อน ทำให้ความร้อนของผิวกระจกแผ่เข้าหาตัวเรา
2. ตัดแสงไม่ให้เข้ามาในอาคารมาก Tinted Glass มีค่า SC หรือสัมประสิทธิ์เปรียบเทียบปริมาณการส่องผ่าน ต่ำกว่ากระจกใสมาก เมื่อค่า SC ต่ำมาก ๆ แสงเข้าน้อยทำให้ความร้อนเข้ามาน้อยด้วย
3. สามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบกระจกได้ถึง 35 – 50% ขึ้นอยู่กับชนิดของสี , ความเข้ม และความหนาของกระจก

4. ช่วยลดความจ้าของแสงที่ผ่านกระจก และไม่มีผลทำให้การมองเห็นวัตถุที่อยู่ด้านหลังกระจกผิดไปจากเดิม ทั้งรูปร่างและสีสัน

**ข้อควรระวัง**

เมื่อกระจกโฟลทสีตัดแสงมีความหนาเพิ่มขึ้น ความเข้มของสีก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มีการสะสมความร้อนในเนื้อกระจกเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่กระจกสะสมความร้อนในอุณหภูมิที่สูงขึ้น โอกาสที่จะกระจกจะแตกเนื่องจากการสะสมความร้อน (Thermal Breakage) ก็จะมีมากกว่ากระจกโฟลทใส ดังนั้น ข้อควรคำนึงในการติดตั้งและใช้งานกระจกโฟลทสีตัดแสง เพื่อป้องกันการแตกร้าวของกระจกจากการสะสมความร้อนมีดังนี้

1. ไม่ควรเป่าลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศกระทบผิวหน้ากระจกโดยตรง เพราะจะทำให้สูญเสียพลังงานมาก
2. ไม่ควรติดผ้าม่านที่มีความหนาทึบ หรือวัสดุใด ๆ ชิดกับกระจกโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อน เพราะอาจจะทำให้กระจกสะสมความร้อนเพิ่มขึ้นและเป็นสาเหตุให้กระจกแตกได้
3. ควรจะต้องมีการตัดและฝนขอบกระจกให้เรียบเพื่อให้มีความทนทานต่อการแตกร้าวของแรงดึง เพื่อป้องกันการแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากแรงดึงระหว่างผิวของกระจก และอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างขอบกระจกและบริเวณกลางแผ่นกระจก

## 2.Treated Glass

### 2.1กระจกเทมเปอร์ (Tempered Glass)

เป็นการนำกระจกไปผ่านกระบวนการ Tempering เพื่อเพิ่มความแข็งแรงต่อการแตกหักประมาณ 4 เท่า โดยใช้หลักการเดียวกับการทำ Prestressed Concrete กล่าวคือ สร้างชั้น Compressive Stress ขึ้นที่ผิวแก้ว เพื่อต้านแรงแตกหักจาก Tensile Stress ภายนอก

**คุณสมบัติของกระจกนิรภัยเทมเปอร์**

1. มีความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงที่ทำให้หักงอ (Bending Strength) มากขึ้นกว่ากระจกธรรมดาที่ความหนา 5 มิลลิเมตร
2. มีความทนต่อแรงดันและแรงกระแทก (Loading Resistance) โดยแบ่งออกเป็น
   - Static Load Resistance คือ แรงที่มากระทบกระจก ซึ่งเกิดจากแรงลม ,แรงกดดันของร่างกายมนุษย์ หรือแรงดันของน้ำ กระจกเทมเปอร์สามารถทนต่อแรงกระแทกเหล่านี้ได้มากกว่ากระจกโฟลทที่ความหนาเดียวกัน 3-5 เท่า
   - Impact Load Resistance คือแรงที่กระแทกลงบนกระจก หรือโดยการกระแทกของร่างกายมนุษย์ที่เรียกว่า Shock Resistance โดยทั่วไปกระจกเทมเปอร์สามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่ากระจกธรรมดาประมาณ 4 เท่า
3. มีความปลอดภัยเมื่อแตก เพราะกระจกเทมเปอร์จะแตกออกเป็นเม็ดเล็ก ๆ ไม่มีคม
4. มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างทันทีทันใด (Thermal Impact)ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงถึง 170 องศาเซลเซียส (กระจกธรรมดาทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เพียง 60 องศาเซลเซียส)

**ข้อควรระวัง**

1. จะต้องหลีกเลี่ยงการกระแทกโดยวัตถุที่มีมุมแหลม (Point Load) ซึ่งทำให้เกิดการตัดลึกเข้าไปภายในผิวกระจก ทำให้ชั้น Compressed Layer ถูกทำลาย ความสมดุลย์ของแรงภายในเนื้อกระจกก็จะถูกทำลายลง และอาจเป็นสาเหตุให้กระจกแตกได้
2. กระจกเทมเปอร์สามารถคงรูปร่างได้ด้วยความสมดุลย์ของแรงอัดและแรงดึง ดังนั้นจะต้องไม่มีการเจาะรู บาก หรือตัดแต่งในภายหลัง เพราะจำทำให้กระจกแตกได้
3. กระจกเสริมลวด และกระจกสะท้อนแสง Soft Coating ไม่สามารถนำมาทำกระจกเทมเปอร์ได้
4. ไม่ควรยึดกระจกกับโลหะโดยตรง ควรมียางหรือวัตถุอื่นมารองรับ
5. จะต้องพิจารณาความเป็นคลื่น (Wavepage) ที่ผิวกระจก ในการกำหนด Face Clearance

2.2 **กระจกลามิเนต** (Laminated Glass)

เป็นกระจกที่ผลิตขึ้นด้วยวัตถุประสงค์เพื่อให้ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ โดยการนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาอัดติดกัน โดยมีแผ่นฟิลม์ PVB (POLY VINYL BUTYRATE) ที่เหนียวและแข็งแรงซ้อนอยู่ตรงกลาง ทำหน้าที่ยึดกระจก 2 แผ่นให้ติดกัน เมื่อกระจกชนิดนี้ถูกกระแทกจนแตกแผ่น PVC จะช่วยยึดไม่ให้เศษกระจกไม่ให้เศษกระจกหลุดออกมา

**คุณสมบัติพิเศษของกระจกนิรภัยลามิเนต**

1. สามารถป้องกันอุบัติเหตุจากการแตก
2. ช่วยลดเสียงรบกวน ในกระจกลามิเนตค่าความยืดหยุ่นของแผ่นฟิลม์ PVB จะทำให้เสียงสามารถลดลงได้
3. ช่วยในการประหยัดพลังงาน โดยลดความร้อนจากแสงแดดที่จะผ่านเข้ามาในอาคาร
4. ช่วยในการลดแสงอุลตร้าไวโอเลต (UV) ซึ่งเป็นตัวแทนในการทำให้ผ้าม่าน พรม หรือวัสดุภายในมีขีดจาง โดยแผ่นฟิลม์สามารถกรองแสง UV ได้มากถึง 99%

**ข้อควรระวัง**

1.เนื่องจากฟิลม์ PVB มีคุณสมบัติในการอมความร้อน ดังนั้นกระจกที่จะนำมาลามิเนตควรพิจารณาหลีกเลี่ยงการเกิด Thermal Breakage เช่น

- กระจกสีตัดแสง + กระจกสีตัดแสง
- กระจกสีตัดแสงเสริมลวด + กระจกแผ่นเรียบ
- กระจกสะท้อนแสง + กระจกเสริมลวด เป็นต้น

2.กระจกนิรภัยหลายชั้นลามิเนตจะมีความแข็งแรงอัดของลมของลมน้อยกว่ากระจกโฟลทธรรมดาที่ความหนาที่เท่ากัน

3.ควรมีการทำ Water – Proof Treatment บริเวณขอบกระจก เพื่อป้องกันการทำลายแผ่นฟิลม์ชั้นกลาง

3.1Reflective Glass

เป็นการเคลือบผิวกระจกโฟลทด้วยแผ่นออกไซด์ของโลหะ ซึ่งมีคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสง ทำให้สามารถสะท้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีได้บางส่วน กรรมวิธีในการเคลือบออกไซด์ของโลหะสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 วิธี คือ

1. การเคลือบผิวแบบแวคุม (Vacuum Deposition หรือ Soft Coating) โดยการพ่นสารโลหะบางชนิดบนผิวด้านใดด้านหนึ่งของกระจก กระแสไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยาทำให้โลหะแทรกตัวลงบนผิวกระจก
2. การเคลือบแบบไพโรลิทิค (Pyrolitic Deposition หรือ Hard Coating) กรรมวิธีนี้กระจกจะถูกเคลือบในขณะที่ยังอยู่ในลักษณะที่เป็นของเหลวอยู่ ออกไซด์ของโลหะจะถูกเคลือบลงบนผิวของเหลวของกระจก จากนั้นก็จะกระจายแทรกซึมลงในเนื้อกระจก

**กระจกสะท้อนแสงสามารถผลิตเป็นกระจกชนิดต่าง ๆ ได้คือ**

1. กระจกสะท้อนแสงชนิดกึ่งนิรภัย (Heat Strengthened Reflective Glass)
2. กระจกสะท้อนแสงชนิดนิรภัย (Tempered Reflective Glass)
3. กระจกสะท้อนแสงชนิดนิรภัยหลายชั้น (Laminated Reflective Glass)
4. กระจกสะท้อนแสงชนิดฉนวนความร้อน (Insulated Reflective Glass)

**<u>คุณสมบัติของกระจกสะท้อนแสง</u>**

1. ทำให้แสงอาทิตย์และรังสีความร้อนผ่านเข้ามาภายในอาคารได้น้อย ซึ่งจะช่วยลดภาระปรับอากาศ
2. ช่วยลดปริมาณแสงที่เข้ามาภายในอาคาร ทำให้เกิดความสบายตา
3. สร้างความเป็นส่วนตัวให้แก่คนภายในอาคาร เนื่องจากมองทะลุเข้ามาในตัวอาคารได้ยาก

**คุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่างกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบ 2 ระบบ**

| Magnetic Sputtering Process (Soft Coating) | Pyrolytic Deposition Process (Hard Coating) |
|---|---|
| • เป็นกระบวนการเคลือบกระจกแบบ Off - Line แยกจากกระบวนการผลิตกระจกแผ่น (Float Process) | • เป็นกระบวนการเคลือบกระจกแบบ On - Line ทำการเคลือบกระจกอยู่ในกระบวนการผลิตกระจกแผ่น (Float Process) |
| • ในกรณีที่ต้องการทำเป็น Tempered หรือ Heat Strengthened ต้องทำก่อนที่จะนำกระจกไปเคลือบ | • สามารถนำกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบแล้วไปผ่านกระบวนการผลิตกระจก Tempered หรือ Heat Strengthened ได้ |
| • สีของกระจกมีให้เลือกมากมาย เนื่องจากโลหะออกไซด์ที่ใช้เคลือบมีมากชนิด | • สีของกระจกมีให้เลือกน้อย เนื่องจากโลหะออกไซด์ที่ใช้มีจำกัด |
| • การติดตั้งจำเป็นต้องนำด้านที่เคลือบไว้ภายในอาคารทั้งหมด | • การติดตั้งสามารถนำด้านที่เคลือบออกภายนอกหรือหันเข้าด้านในอาคารก็ได้ |
| • ความคงทนต่อรอยขีดข่วนน้อยกว่า | • ความคงทนต่อรอยขีดข่วนมากกว่า |
| • การประหยัดพลังงานมากกว่า | • การประหยัดพลังงานน้อยกว่า |
| • ราคาจำหน่ายแพงกว่า | • ราคาจำหน่ายถูกกว่า |

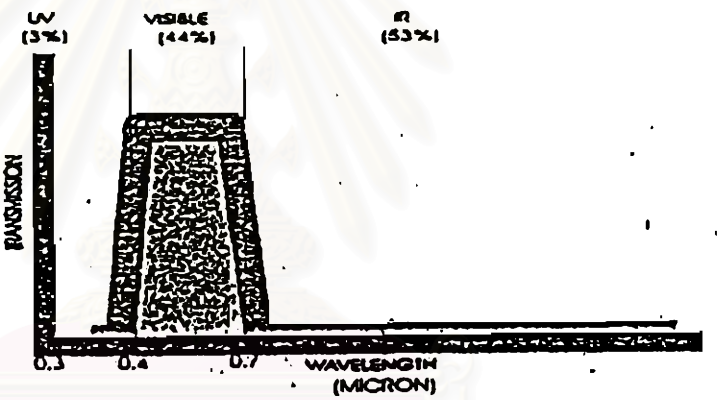
**ข้อควรระวังของกระจกสะท้อนแสง**

1. ในการตัดกระจกควรมีการป้องกันผิวด้านที่ coating ไว้เพื่อป้องกันรอยขีดข่วน
2. ด้านที่ coating ควรอยู่ด้านในของอาคารเสมอ เพื่อให้ได้เห็นสีของกระจก และเป็นการป้องกันมลภาวะจากภายนอก
3. อย่าเป่าลมเย็น หรือวางวัตถุสิ่งของใกล้กระจกเพราะจะทำให้เกิด Thermal Breakage ได้
4. ควรจะอบฮีทเสตรงค์ หรือ เทมเปอร์ เพื่อป้องกันปัญหา Thermal Breakage

**กระจกสะท้อนแสงกับการประหยัดพลังงาน**

**กระจกในอุดมคติ** (Ideal Window)

คุณสมบัติของกระจกในอุดมคติ คือ สามารถสกัดกั้นรังสีอุลตราไวโอเล็ท (Ultraviolet) ที่เป็นอันตรายต่อผิว และสกัดกั้นรังสีอินฟราเรด (Infrared)ที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อน ให้ผ่านเข้ามาภายในอาคารให้น้อยที่สุด แต่ให้ปริมาณแสงที่ตามองเห็นมีค่ามากที่สุด




**รูปที่ 2.16 แสดงกระจกในอุดมคติ (Ideal Window)**

**ที่มา : วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์ , รายงานเรื่องระบบผนัง Curtain Wall (2541) หน้า 29**

จากรูป ค่ารังสีอุลตราไวโอเล็ท คือ ช่วงความยาวคลื่น 0.03-0.38 Micron มีค่าประมาณ 3 %
ค่าแสงที่ตามองเห็น คือ ช่วงความยาวคลื่น 0.38-0.70 Micron มีค่าประมาณ 44 %
ค่ารังสีอินฟราเรด คือ ช่วงความยาวคลื่น 0.70-2.10 Micron มีค่าประมาณ 53 %

กราฟของหน้าต่างในอุดมคติ คือการขจัดรังสีอุลตราไวโอเล็ท และรังสีอินฟราเรด ให้มีค่าต่ำใกล้ 0 % แต่ในความเป็นจริงเราไม่สามารถผลิตกระจกตามคุณสมบัตินี้ได้ หากแต่สามารถพิจารณาเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน และตามคุณสมบัติของกระจกแต่ละชนิดได้

หมายเหตุ : รังสี UV หรือ Infrared เป็นพลังงานความร้อนส่วนที่ตามนุษย์มองไม่เห็น

กระจกสะท้อนแสง จะสกัดกั้นพลังงานความร้อนมากกว่า กระจกโฟลทสี

กระจกโฟลทสี จะสกัดกั้นพลังงานความร้อนมากกว่า กระจกโฟลทใส

การพิจารณาคุณสมบัติกระจกสะท้อนแสง เพื่อการประหยัดพลังงาน

- กระจกที่จะเลือกใช้ ควรให้มีค่า U-Value และ Relative Heatgain และค่า Shading Coefficient ที่น้อยที่สุด ที่สามารถยอมรับได้
- กระจกสะท้อนแสงที่ผลิตโดยระบบ (Magnetic Sputtering) เมื่อใช้สารเคลือบชนิดเดียวกันและความหนาเดียวกัน กระจกสะท้อนแสงที่ทำการเคลือบบนกระจกโฟลทใส จะมีความสามารถในการประหยัดพลังงาน ได้ดีกว่ากระจกสะท้อนแสงที่ทำการเคลือบบนกระจกโฟลทสี (เพราะกระจกโฟลทใสดูดซับความร้อนน้อยกว่ากระจกโฟลทสี)
- กระจกสะท้อนแสง ที่เคลือบบนกระจกชนิดเดียวกัน หากให้ปริมาณการสะท้อนแสงที่สูงกว่า มักจะสามารถประหยัดพลังงานความร้อนได้ดีกว่ากระจกที่ให้ปริมาณการสะท้อนแสงน้อยกว่า (ค่าสะท้อนแสงมาก ความร้อนที่ผ่านเข้าไปภายในก็จะน้อย)

**กระจก Low - E (Low Emissivity Glass)**

คือ กระจกสะท้อนแสงซึ่งยอมให้แสงผ่านกระจกได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับกระจกโฟลทในขณะเดียวกันก็สามารถสะท้อนคลื่นความร้อน และมีการสะท้อนแสงน้อย กระจก Low – E สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูง โดยยอมให้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Short Wave Radiation) ผ่านเข้ามาภายในตัวอาคาร ในขณะที่สะท้อนรังสีความร้อน (Long Wave Radiation) ออกพอสมควร ซึ่งทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนปรับอากาศได้ ในการเคลือบกระจก Low – E สามารถเคลือบได้ทั้งกรรมวิธี (Soft Coating) หรือ (Hard Coating)

<u>คุณสมบัติของกระจก Low - E</u>

1. ป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี
2. ยอมให้แสงผ่านกระจกได้มากกว่ากระจกสะท้อนแสง
3. ช่วยสะท้อนรังสีอุลตร้าไวโอเลท (UV)
4. ช่วยลดความจ้าของแสง

<u>ข้อควรระวัง</u>

1. ควรฉาบสาร Low – E อยู่ในช่องว่างระหว่างกระจก
2. การบรรจุ "ก๊าซเฉื่อย" ในช่องว่างระหว่างกระจกของกระจกรุ่นใหม่ ๆ แทนการใช้อากาศแห้ง (Dry Air ) จะช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนให้กับกระจกได้ดี

4. Processed Glass

**4.1กระจกฉนวนความร้อน** (Insulation Glass)

**คือ** การนำกระจกมาปรุงแต่งด้วยกระบวนการต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นกระจกฉนวนความร้อน มีองค์ประกอบในการพิจารณา คือความสามารถที่จะเป็นฉนวนกั้นอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างกระจกทั้ง 2 ด้าน ซึ่งถูกคั่นโดยอากาศแห้งที่บรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างกระจก (อากาศแห้งทำหน้าที่ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน) ซึ่งมีวิธีผลิตได้ 2 วิธี คือ

1.การใช้กระจก Cavity Glass

2. การใช้กระจก Insulated Glass

**1.การใช้กระจก** Cavity Glass คือการทำกระจก 2 ชั้นที่มีการระบายอากาศตรงกลาง ชั้นนอกและชั้นในแยกออกจากกันให้อากาศร้อนระหว่างกระจกลอยตัวขึ้นสูง เกิด Suction ดูดลมเย็นเข้ามาและระบายความร้อนออกไปกับลมตอนบน หรือใช้พัดลมดูดออกเป็น Force Ventilation

ข้อควรระวัง

- Section ของระบบ คือ โครงกรอบเป็นตัวเดียวกันไม่ได้ เพราะต้องระบายลมออกทาง Head ของ Transom ซึ่งก็จะไปติด Pressure Chamber ทำให้ต้องแยกเป็นระบบผนัง 2 ชุด ระบบการยึดแขวน (Anchorage System) ก็ต้องแยกกัน ทำให้ราคาของระบบเพิ่มสูงขึ้น
- ปัญหาด้านความสกปรกที่เกิดขึ้นที่ผิวกระจกชั้นใน ได้แก่ คราบฝุ่นและเขม่า ที่ไม่สามารถเช็ดล้างทำความสะอาดได้

**2. การใช้กระจก** Insulated Glass คือ การนำกระจก 2 แผ่น มาประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีเฟรมอลูมิเนียมซึ่งบรรจุสารดูดความชื้นคั่นกลางเป็นตัวประสาน ก๊าซที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกระจกควรเป็นก๊าซเฉื่อย ผลก็คืออากาศภายในช่องระหว่างกระจกจะกลายเป็นอากาศที่แห้ง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการกันความร้อน

**กระจกที่ประกอบกันเป็นกระจกฉนวน มีทางเลือก 5 ชนิด**

1. กระจก Tinted 2 ชั้น
2. กระจก Reflective + Tinted
3. กระจก Reflective +Clear
4. กระจก Low - E
5. กระจก Insulated Glass with Blind

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การใช้กระจก Tinted 2 ชั้น มีข้อดีในแง่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะค่าการสะท้อนมีน้อย แต่มีผลกระทบภายในอาคาร คือ ถ้าสีจัดเกินไป ผู้ใช้อาคารจะเกิดอาการ Building Syndrome คือมองอะไรก็เห็นเป็นสีกระจก และทำให้การใช้ไฟฟ้าในส่วนแสงประดิษฐ์สิ้นเปลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณ Internal Zone
2. การใช้กระจก Reflective + Tinted เหมือนกับข้อ 1 แต่ค่าการสะท้อนมีมากกว่า ดังนั้นควรเลือกกระจกที่มีค่าการสะท้อนแสงส่วนที่มองเข้า (T. Vis) ให้มีค่าน้อย ๆ
3. การใช้กระจก Reflective +Clear กระจกแบบนี้จะให้ Coolness Index ที่ดี Daylight หรือ Visible Spectrum เข้าสู่อาคารได้มาก ในขณะที่กระจกแผ่นในเป็น Clear Glass ทำให้แสงสว่างผ่านเข้าได้ดีกว่าระบบอื่น ๆ และกระจกแผ่นในไม่มี Thermal Stress จึงสามารถใช้กระจก Anneal ควบคุมCost ได้ดีขึ้น ในแง่ของสภาวะน่าสบาย MRT ของกระจกที่แผ่รังสีความร้อนก็จะลดลง
4. การใช้กระจก Low – E การใช้กระจกชนิดนี้โดยปรกติมีจุดมุ่งหมายในการรับแสงสว่างให้มากที่สุด และควบคุมความร้อนภายในอาคารให้คงอยู่ โดยไม่มีความผิดเพี้ยนในเรื่อง Spectrum ของแสงแต่ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (SC) จะมีค่าสูงกว่า Reflective High Performance ตัวอื่น ค่าการสะท้อนภายในก็สูงทำให้มีคุณสมบัติคล้ายกระจกเงาในเวลากลางคืน
5. การใช้กระจก Insulated Glass with Blind กระจกชนิดนี้มีแง่พิจารณาในเรื่องสัมประสิทธิ์บังเงาจาก Blind ที่อยู่ในส่วน Air Space ตรงกลางทำให้สามารถใช้ Clear Glass ได้ทั้งภายนอกและภายใน กระจกจะมีค่า Absorbtion น้อยทำให้ค่า MRT ต่ำมาก แต่ต้นทุนในการลงทุนสูง เช่นในกรณี Hongkong Shanghai Bank ที่ประกอบด้วยม่านอัตโนมัติ ขึ้นลงด้วยระบบคอมพิวเตอร์ Building Automation System (สมสิทธิ์ นิตยะ : 2537)

4.2 กระจก Heat Mirror

เป็นระบบของกระจก Double Glazing ที่เคลือบสาร Low – E ทั้งสองด้านของฟิลม์ที่อยู่ระหว่างช่องว่างอากาศ โดยที่ช่องว่างอากาศทั้งสองข้างจะกลายเป็น Reflective Air Space ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกชนิดนี้ (U-Value) อาจมีค่าต่ำกว่าถึง 0.25 Btu/hr.ft$^2$

<u>คุณสมบัติของกระจก Heat Mirror</u>

1.สามารถสะท้อนความร้อน (Reflect)ออกไปจากกระจกได้ถึง 80% คือยอมให้ความร้อนส่งผ่าน (Transmits) 10% ที่เหลืออีก 10%จะถูกดูดกลืน (Absorb) เข้าไปในกระจก ทำให้ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคารมีน้อยมาก และอุณหภูมิที่ผิวกระจกก็จะไม่สูงมาก

2.กระจก Heat Mirror ยอมให้แสงสว่าง (Daylight) เข้ามามากถึง 50% ทำให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างในช่วงเวลาที่มีแสงธรรมชาติได้

3.ป้องกันรังสี UV ได้ดี โดยสามารถสะท้อน (Reflect) รังสี UV ได้ 98% และยอมให้มีการส่งผ่าน (Transmits) เข้ามาได้เพียง 2%

4.3กระจก Heat Stop

เป็นกระจกที่ผลิตขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการบำรุงรักษายากของกระจก Heat Mirror รวมทั้งสามารถป้องกันรังสีความร้อน (Long Wave)ได้ดีกว่า กระจก Heat Stop มีลักษณะเป็นกระจก Double Glazing ประกอบขึ้นด้วยกระจก Heat Reflective ที่เคลือบด้วยสาร Low – E เป็นกระจกด้านนอก และกระจกด้านในใช้กระจกใส สารที่เคลือบนั้นสามารถป้องกันรังสี Infrared ให้ผ่านเข้ามาประมาณ 5 % ช่องว่างตรงกลางใส่ก๊าซอาร์กอน ซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อย มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ ทำให้กระจกชนิดนี้มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำด้วย ปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้ามาประมาณ 60%

**คุณสมบัติของกระจก** Heat Stop

1.ป้องกันรังสีความร้อนได้ดีกว่ากระจก Heat Mirror

2.ปริมาณแสงที่ผ่านกระจก Heat Stop จะน้อยกว่ากระจก Heat Mirror (ประมาณ 60%) ซึ่งก็ถือว่าเป็นปริมาณที่พอเพียงสำหรับการทำงานในสำนักงาน

3.การดูแลรักษาง่ายกว่ากระจก Heat Mirror

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.9 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้าสู่อาคาร

(Overall Thermal Transfer Value Calculation ,OTTV)

คือค่าเฉลี่ยต่อตารางเมตรของปริมาณความร้อนจากภายนอกที่ถ่ายเทผ่านผนังและและหน้าต่างเข้าสู่อาคาร โดยรวมปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทุก ๆ ด้าน แล้วนำมาหารด้วยพื้นที่ผนังทั้งหมด

OTTV ใช้สำหรับอาคารปรับอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปภาระในการปรับอากาศจะประกอบด้วยความร้อนจากแหล่งที่มา 2 แหล่ง คือ

1. **ความร้อนที่ได้รับจากภายนอกอาคาร** (Heat Gain from External Sources) เป็นแหล่งความร้อนที่สำคัญที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีความร้อนมายังโลก นอกจากนี้องค์ประกอบทางด้านภูมิอากาศอื่น ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง ประกอบด้วย
   - อุณหภูมิ (Temperature)
   - ความชื้น (Humidity)
   - ดวงอาทิตย์ (Sun)
   - ลม (Wind)
2. **ความร้อนที่ได้รับจากภายในอาคาร** (Heat Gain from Internal Sources) คือความร้อนจากผู้อยู่อาศัย แสงสว่าง อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ

จากการศึกษาพบว่า การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารมีผลมากต่อการออกแบบระบบปรับอากาศ และการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศ

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางระบบผนัง ประกอบด้วย

1. **การนำความร้อนผ่านผนังทึบ**
2. **การนำความร้อนผ่านกระจก หรือ ผนังโปร่งแสง**
3. **การแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก หรือ ผนังโปร่งแสง**

พระราชกฤษฎีกา กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของอาคารดังนี้

1. ค่า OTTV สำหรับผนังของอาคารใหม่ต้องไม่เกิน 45 วัตต์/ตรม.
2. ค่า OTTV สำหรับผนังของอาคารเก่าต้องไม่เกิน 55 วัตต์/ตรม.
3. ค่า OTTV สำหรับหลังคาของอาคารทั้งใหม่และเก่าต้องไม่เกิน 25 วัตต์/ตรม.

กฎหมายส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน • กำหนดอาคารที่อยู่ในข่ายอาคารควบคุม เป็นอาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงแรม อาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และอาคารอื่นที่ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 1000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือใช้ไฟฟ้าและพลังงานสิ้นเปลืองรวมกัน คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่เทียบเท่า 20 ล้านเมกะจูลขึ้นไป

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านหนึ่งด้านใด คำนวณได้จาก

$$OTTV = U_w (1-WWR)(TDeq)+(SC)(WWR)(SF)+U_f(WWR)\ \Delta T$$

เมื่อ $U_w$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (วัตต์/ตรม.องศาเซลเซียส)

TDeq = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอก และภายในอาคารซึ่งรวมถึง

ผลการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของผนังทึบ

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

$U_f$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (วัตต์/ตรม. องศาเซลเซียส)

$\Delta T$ = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคาร สำหรับประเทศไทย คือ 5 องศาเซลเซียส

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ (วัตต์/ตรม.)

นำเอาค่า OTTV ของทุกด้านมาหาค่าเฉลี่ย จะได้

$$OTTV = [A_i(OTTVi)] / A_i \qquad W/m^2$$

เมื่อ $A_i$ = พื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่ i ตรม.

OTTVi = ค่า OTTV ของผนังด้านที่ i

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารดังกล่าว สำหรับอาคารใน กทม. จากการศึกษาของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พบว่า

โรงแรม มีค่า OTTV อยู่ระหว่าง 39.5-81.0 $W/m^2$ เฉลี่ย 55.0 $W/m^2$

สำนักงาน มีค่า OTTV อยู่ระหว่าง 32.4-87.2 $W/m^2$ เฉลี่ย 57.7 $W/m^2$

โรงแรม มีค่า OTTV อยู่ระหว่าง 32.0-55.8 $W/m^2$ เฉลี่ย 44.9 $W/m^2$

อาคารต่าง ๆ ดังกล่าวมีจำนวนมากที่สามารถปรับปรุงให้มีค่า OTTV ต่ำลงได้ โดยสามารถแก้ไขได้หลายวิธี เช่น เพิ่มฉนวนกันความร้อน เพิ่มอุปกรณ์กันแดดให้กับกระจก อาจลดพื้นที่กระจกหรือเปลี่ยนวัสดุที่เป็นผนังทึบ

สำหรับผนัง ค่าพลังงานความร้อนดังกล่าวจะแปรไปกับ คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุผนัง (ความเป็นฉนวนความร้อนของผนัง) สีและความหนาแน่นของมวลผนัง กล่าวคือ หากวัสดุมีค่าความต้านทานความร้อนที่ดี ก็จะสามารถต้านทานพลังงานความร้อนที่จะผ่านเข้ามาในอาคารได้ดี

## ความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางกระจก

พลังงานความร้อนที่ผ่านกระจกเข้าสู่อาคารนั้นมี 2 ลักษณะ คือ

1. ด้วยวิธีนำความร้อน ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารในส่วนนี้ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อนของกระจก และค่าอุณหภูมิแตกต่างภายในและภายนอกของอาคาร
2. ด้วยวิธีส่งผ่านความร้อนรังสีอาทิตย์เข้าสู่อาคาร ซึ่งปริมาณความร้อนส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ของกระจก อุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร และค่ารังสีอาทิตย์ในแต่ละทิศทางที่กระจกรับรังสีอาทิตย์

สำหรับกระจกที่ใช้กันทั่วไป จะมีระดับของพลังงานความร้อนที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคารแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกระจกที่ใช้ ทิศทางการรับแสงอาทิตย์ของกระจก และอัตราส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย