บทที่ 2
การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

การที่มวลสาร (Thermal Mass) มีความสามารถในการกักเก็บความร้อน และหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้มากน้อยต่างกันนั้น จึงทำให้ยากต่อการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริงๆ ทั้งนี้เพราะอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารจริงมาจากหลายองค์ประกอบด้วยกัน เท่าที่พอจะรวบรวมได้แก่อิทธิพลต่างๆ เหล่านี้

- ความจุความร้อนของผนัง (Thermal Heat Capacity) ผนังที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนที่จะไหลผ่านผนังเป็นไปในอัตราที่ช้าลง
- การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนัง กับ สภาพแวดล้อม (Long Wave Radiation Heat Exchange) เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังกับผิววัสดุอื่นๆ ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น โดยเฉพาะในรูปของการแผ่รังสี
- การถ่ายเทความร้อนของผนังให้กับอากาศโดยตรง โดยการพาความร้อน (Surface Conduction) การถ่ายเทความร้อนของผนังด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิวและลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของ Surface Conduction ที่มีต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังจะมีค่าน้อยมาก ในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลอันนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้นๆ มีค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น
- ความสามารถในการดูดกลืนและกระจายพลังงานความร้อนของผนัง (Surface Absorption และ Surface Emission) โดยปกติแล้ว หากเป็นสีของผนังธรรมดาหรือสีผิวของวัสดุตามธรรมชาติ ค่า Surface Emission จะค่อนข้างสูง คือประมาณ 0.8 - 0.9 เป็นส่วนใหญ่ นอกเสียจากว่าเป็นสีเคลือบผิวพิเศษ (Selective coating) อาจจะมีค่าการดูดความร้อนต่ำ แต่มีค่าสัมประสิทธิการกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิวผนังเย็นกว่าปกติ สำหรับค่าการดูดกลืนความร้อน (Surface Absorption) ส่วนมากจะแปรตามความเข้มของสีผิว คือ เข้มมากก็จะดูดกลืนความร้อนสูง

- <u>การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง</u> (Time Lag) โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ Kwang - Woo Kim (1984) และที่สำคัญคือปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (Fill up the heat Capacity) ก่อนที่จะถ่ายเทไปในชั้นต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงพบว่า ในผนังก่ออิฐฉาบปูนเหมือนกัน แต่ใส่ฉนวนไว้ในตำแหน่งต่างกัน คือ ภายนอกและภายใน ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายนอกจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่า ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายในทั้งนี้เพราะ การที่มีฉนวนอยู่ภายนอก ทำให้ความร้อนผ่านฉนวนเข้ามาได้ยาก ทำให้การ Fill Up Heat Capacity ของผนังเป็นไปได้ช้า จึงให้ Time Lag ของผนังนั้นมีค่ายาวนานขึ้น
- <u>สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ</u> (U) โดยปกติการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมากจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในมักจะใช้ค่า U เป็นหลักในการคำนวณ

2.2 <u>สมการที่ใช้ในการคำนวณ ปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร</u> โดยทั่วๆ ไปมีสองสมการ คือ

$$Q = U * A * \triangle T \qquad \text{_____①}$$

และ

$$Q = U * A * CLTD \qquad \text{_____②}$$

โดยที่ :

U = สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของผนัง (BTU / HR. SF. °F)

A = พื้นที่ของผนังที่ถ่ายเทความร้อน (SF.)

$\triangle T$ = ความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน (°F)

CLTD = ภาระความแตกต่างความร้อนเทียบเท่าหรือ Cooling Load Temperature Difference (°F)

ทั้ง 2 สมการข้างบนนี้ จะพบว่าการคำนวณจะใช้สมการที่ 1 ในกรณีที่ค่าความแตกต่าง ความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน มีค่าคงที่ (Steady State Condition) หรืออิทธิพลจากองค์ประกอบภายนอกไม่มีผลกระทบรุนแรงนัก อีกกรณีหนึ่งที่จะใช้สมการที่ 1 ในการคำนวณก็ คือ เพื่อความสะดวกในกรณีที่มีอัตราเสี่ยงต่ำ ในการคำนวณค่า Heat Load ของอาคารในเมืองหนาว ซึ่งถือว่าอิทธิพลอันเนื่องมาจากมวลสาร การหน่วงเวลาหรืออื่นๆ เป็นเสมือนค่า Safty Factor ในการคำนวณ

ในสมการที่ 2 ค่า $\triangle T$ ถูกเปลี่ยนเป็น CLTD เพื่อปรับให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เพราะในทางปฏิบัติแล้ว ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในอาคารไม่เคยคงที่ แต่

จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้การคำนวณค่า Peak Load ของอาคารจึงใช้ค่า CLTD แทน $\triangle T$ จากการศึกษารายละเอียดในการคำนวณ (American Society of Heating Refrigerating and Air - Conditioning Engineers (ASHRAE), 1989) จะพบว่า ค่า CLTD นั้นเป็นค่าที่ดัดแปลงมาจาก $\triangle T$ หากแต่ว่าปรับให้เข้ากับอิทธิพลจากภายนอกหลายองค์ประกอบ เช่น เวลา, วัน, เดือน และ เขตละติจูดที่เกิด Peak Load, มวลสารของผนัง, สีของผนัง, การหน่วงเวลาของผนังตลอดจนผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม หรือ ถ้าจะมองกันอย่างลึกซึ้ง ก็คือ ค่า CLTD นั้นพยายามจะปรับให้ใกล้กับความเป็นจริงมากที่สุด โดย การคำนวณได้พยายามคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน

2.3 อิทธิพลจากแสงแดดและการจำลองสภาพในห้องทดลอง

แสงแดดจัดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลมาก ต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังเข้าสู่อาคาร ผนังอาคารเมื่อถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น เนื่องจากการดูดรังสีความร้อนจากแสงแดดของผนัง และการที่ผิวผนังร้อนขึ้นนี้เองทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารต้องเปลี่ยนไป และจะใช้ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างข้างนอกกับข้างใน หรือ $\triangle T$ ไม่ได้อีกต่อไป เพราะค่าของ $\triangle T$ จะต่ำกว่าความเป็นจริงมาก แต่จะมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ และเพื่อจะศึกษาถึงอิทธิพลของแสงแดดและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจึงได้มีผู้ประยุกต์อิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้ขึ้น ASHRAE (1989) Sol - Air Temperature โดยสร้างเป็นสมการขึ้นดังนี้

$$\text{Sol - Air Temperature } (T_e) = T_{out} + I * \alpha / h_o - \varepsilon \triangle R / h_o$$

โดยที่

T_e	=	Sol - Air Temperature
T_{out}	=	อุณหภูมิอากาศภายนอก
I	=	รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on the Surface) BTU / HR SF
α	=	สัมประสิทธิการดูดความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)
h_o	=	สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของผิวซึ่งรวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection (BTU / HR. SF)
$\triangle R$	=	อัตราการแลกเปลี่ยน ความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (BTU / HR. SF)

ε = สัมประสิทธิการกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of the Surface)

โดยคำจำกัดความแล้ว Sol - Air Temperature ก็คือ อุณหภูมิสมมุติของอากาศที่ติดกับผิววัสดุ ตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสี ที่จะทำให้เกิดถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าจากสภาพแวดล้อมรอบตัว และจากการถ่ายเทความร้อนกับอากาศ จาก ASHRAE (1989) Sol - air temperature is the outdoor air that, in the absence of all radiation change, gives the same rate of heat entry into the surface as would the combination of incident solar radiation, radiant energy exchange with the sky and other outdoor surroundings, and convective heat exchange with the outdoor air.

ในห้องปฏิบัติการ เมื่อต้องการจะให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนเทียบเท่ากับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงๆ จึงได้มีการจำลองสภาพนี้ขึ้นโดยใช้ Concept ของ Sol - air temperature

อย่างไรก็ตาม Concept ที่ใช้ Sol - air temperature นี้ในทางปฏิบัติแล้วคงทำให้เหมือนสภาพจริงๆ ได้ยาก นอกเสียจากจะจำลองสภาพเพื่อศึกษาใน Typical Condition นั้นๆ

2.4 อิทธิพลจากฉนวนและมวลสาร

โดยปกติวัสดุที่เป็นฉนวน (เท่าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน) มักจะมี น้ำหนักเบา และมีมวลสารน้อยมีความสามารถในการกักเก็บปริมาณความร้อนได้น้อย แต่มีคุณสมบัติในการกีดกันการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในอัตราที่ช้า ในทางตรงข้ามวัสดุที่มีมวลสาร (Thermal Mass) มากจะมีความสามารถในการกักเก็บปริมาณความร้อนไว้ได้มาก เมื่อปริมาณความร้อนที่กักเก็บไว้มีมากขึ้นก็จะส่งผ่านตัวไปเรื่อยๆ ด้วยเหตุนี้ความร้อนที่สะสมไว้จึงค่อยๆ เคลื่อนตัวผ่านเข้าสู่อาคารในเวลาถัดไป ทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าจะเดินทางเข้าสู่ภายในอาคาร อิทธิพลนี้เรียกว่าการหน่วงเหนี่ยว เวลา หรือ Time Lag Effect ถ้าหากในช่วงเวลาที่ผนังนั้นกักเก็บความร้อนอยู่นั้น อุณหภูมิของอากาศภายนอกเย็นลงกว่าอุณหภูมิของผนังแล้ว ในช่วงเวลานั้นก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่อากาศภายนอกด้วย ในกรณีนี้จะเห็นว่า Kwang - Woo Kim (1984) ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังนั้น ส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคารและอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวออกจากผนังสู่อากาศภายนอก ซึ่งถ้าหากผนังมีมวลสารมากและมีการหน่วงเหนี่ยวเวลานาน โอกาสที่ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังจะสูญเสียให้กับอาคารภายนอกก็มีมาก

ความเข้าใจในเรื่องนี้ Catani (1978) ศึกษาหาตัวคูณควบเพื่อปรับค่าอิทธิพลของมวลสารในเขตภูมิอากาศต่างๆ กัน โดยเรียกตัวคูณควบนั้นว่า The "M" Factor การศึกษาของเขาเน้นในเรื่องของอิทธิพลจากมวลสารในการประเมินค่า Heat Loss จากอาคาร (Heating Load) โดยเขาปรับปรุงสมการสำหรับคำนวณ Heat Loss ให้ดังนี้

$$Q = (U * A * \triangle T)\ M$$

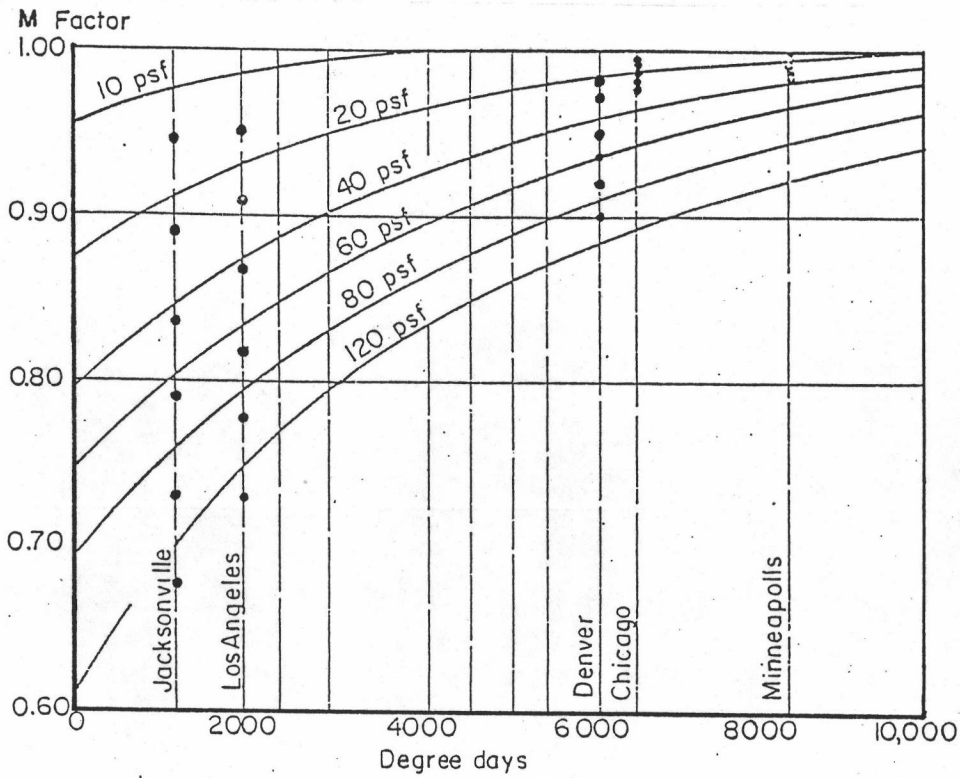
เมื่อ U = สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน (BTU / HR. SF. F.)

A = พื้นที่ผิวอาคาร (SF)

$\triangle T$ = ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายใน

M = ตัวคูณควบของค่าที่คำนวณได้

ในกรณีนี้มีข้อสรุปว่า ค่าของ "M" Factor จะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของมวลสารซึ่งเขาวัดเป็นปอนด์ต่อตารางฟุต (psf) และสภาพความหนาวเย็นของภูมิอากาศ ซึ่งคำนวณออกมาในรูปของ Degree days



ภาพประกอบที่ 1 ตารางสำหรับหาค่า M Factor เมื่อทราบค่าของสภาพหนาวเย็นของภูมิอากาศและขนาดของมวลสารวัดเป็น psf

ที่มา : Technology Research for Design หนังสือ ASHRAE, Winter 1988

ในกรณีนี้ ค่า Degree days จะมีค่าน้อยในที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า และ ค่า Degree days จะมีค่ามากในที่ที่หนาวเย็นกว่า (ดูภาพประกอบ 1) โดยเขาใช้สูตรการคำนวณว่า

Degree days	=	65 - (MAX + MIN) / 2
MAX	=	อุณหภูมิสูงสุดของวัน (°F)
MIN	=	อุณหภูมิต่ำสุดของวัน (°F)

สูตรนี้ได้มีผู้เชี่ยวชาญอธิบายว่า ในประเทศหนาวนั้นถ้าอุณหภูมิ ประมาณ 65 F หรือ ประมาณ (17.2 C) อาคารในประเทศหนาวจะไม่ต้องใช้ Heater หรือเครื่องปรับอากาศ หรืออีกนัยหนึ่ง คือ Degree days เป็น ศูนย์

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Catani นี้ทำให้เกิดข้อสงสัยว่า ถ้าอากาศอุ่นกว่านี้อิทธิพลของมวลสารจะเป็นอย่างไร โดยเฉพาะในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งเรามักจะเห็นผนังหนาๆ ของโบสถ์ไทยโบราณอาจจะเป็นเพราะอิทธิพลของมวลสารก็ได้ เรื่องของมวลสารถ้ามองในแง่นี้ จึงเป็นเรื่องที่น่าจะศึกษา และทำความเข้าใจให้ลึกซึ้งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารไม่ปรับอากาศ