

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อน ของผนังโครงคร่าวไม้และเหล็ก

Methods for Determining Thermal Resistance Values of Wood Frame Walls and Steel Frame Walls

อาจารย์ ดร. ปรีชญา มหัทธนท์วิ และ
รองศาสตราจารย์ จริญญาพัฒน์ ภูวนันท์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของระบบผนังที่ประกอบด้วยโครงคร่าวไม้และโครงคร่าวเหล็ก และวิธีการที่นำมาใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของระบบผนังดังกล่าว ผลการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่าวิธีที่นำมาใช้นั้น มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่หาได้แตกต่างกันไป การทราบข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธีเป็นประโยชน์ ในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของระบบผนังดังกล่าวให้เหมาะสม

คำสำคัญ : ค่าความต้านทานความร้อน ผนังโครงคร่าวไม้ ผนังโครงคร่าวเหล็ก

Abstract

This article looks at the heat transfer behaviors of wood and steel frame walls and methods used for determining the thermal resistance values of these walls. Several research studies reveal that using different methods results in different thermal resistance values of the walls. Understanding the strengths and the limitations of each method will help in choosing an appropriate method for determining the thermal resistance values of both the wood and steel frame walls.

Keywords: Thermal resistance value, Wood frame wall, Steel frame wall

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งจากการศึกษาวิจัยเรื่องเรื่อง "ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็ก (Steel framing) และบ้านโครงสร้างไม้ (Wood framing) ที่ได้พัฒนาขึ้นในประเทศไทย" โดยได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

บทนำ

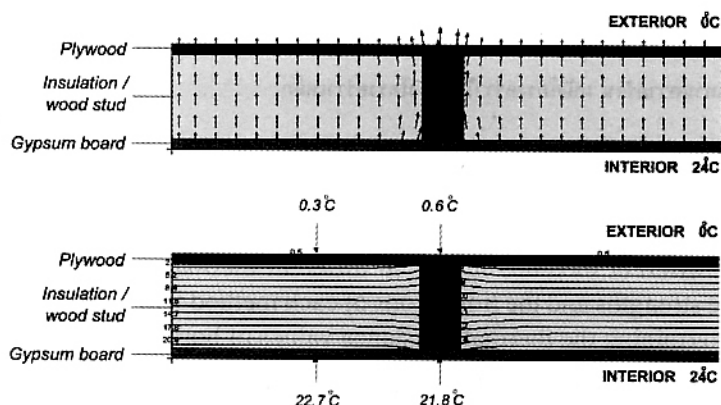
การก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างไม้ (wood framing) หรือโครงสร้างเหล็ก (steel framing) เป็นที่นิยมแพร่หลายกันมานานในต่างประเทศ โดยระบบโครงสร้างนี้มีข้อดี ในแง่ที่ก่อสร้างได้รวดเร็ว มีน้ำหนักเบา ช่วยลดโครงสร้าง ของฐานราก แต่เนื่องจากในส่วนของผนัง พื้น โครงหลังคา จะประกอบด้วยโครงคร่าวที่ทำด้วยวัสดุไม้ หรือเหล็ก ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ที่สูงกว่าวัสดุส่วนอื่น ทำให้บริเวณ โครงคร่าว มีอัตราการส่งผ่านความร้อนสูงกว่าบริเวณ โดยรอบ เป็นผลให้ค่าความต้านทานความร้อนโดยรวมของผนังลดลง อันมีผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคารที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งบริเวณโครงคร่าวจะมีอุณหภูมิพื้นผิวที่ต่างจากบริเวณโดยรอบ ซึ่งถ้าพื้นผิวมีอุณหภูมิที่ต่ำอาจก่อให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศหรือเกิดการสะสมของฝุ่นได้ง่าย การทราบค่าความต้านทาน ความร้อนของผนังอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการพิจารณาเลือก ใช้วัสดุประกอบของผนังระบบนี้ ให้มีค่าความต้านทานความร้อนในระดับที่เหมาะสมและให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดควบคุม ตามกฎหมายที่มีในบางประเทศ

เนื่องจากผนังที่ประกอบด้วยโครงคร่าวเหล็กหรือไม้ จะมีส่วนของโครงคร่าวแทรกอยู่ในชั้นเดียวกับวัสดุฉนวนกันความร้อน(หรือช่องอากาศ) ซึ่งทำให้ลักษณะการถ่ายเทความร้อนมีความแตกต่างไปจากระบบผนังอาคารทั่วไปที่ในแต่ละชั้น (layer) มีเพียงวัสดุแบบเดียว ได้มีการศึกษาพัฒนาวิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังระบบนี้อยู่หลายวิธี การทราบถึงหลักการ วิธีการคำนวณความถูกต้อง ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธี จะช่วยในการตัดสินใจเลือกวิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนัง

ที่เหมาะสม ซึ่งค่าความต้านทานความร้อนของผนังนี้เป็นข้อมูลที่สำคัญส่วนหนึ่งที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารการใช้ค่าที่เหมาะสม จะช่วยให้ผลการคำนวณการใช้พลังงานของอาคารมีความถูกต้องยิ่งขึ้น

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังที่ประกอบด้วย โครงคร่าว

ผนังที่ประกอบด้วยโครงคร่าวนั้น การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังในบริเวณที่อยู่ห่างออกไปจากโครงคร่าวจะเป็นแบบหนึ่งมิติ (One-dimensional heat transfer) คือลักษณะที่ความร้อนไหลในทิศทางเดียวจากภายในสู่ภายนอก (กรณีที่มีอุณหภูมิในห้องสูงกว่าข้างนอก) ส่วนบริเวณที่ใกล้กับโครงคร่าวการถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบสองมิติ (Two-dimensional Heat Transfer) คือ นอกเหนือจากมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายนอกและภายในอาคารในลักษณะหนึ่งมิติที่กล่าวแล้ว ยังมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างโครงคร่าวกับวัสดุปิดผิวโครงคร่าวและโครงคร่าวกับฉนวนที่อยู่ระหว่างช่องโครงคร่าวเกิดขึ้นด้วย (Childs, 1988: 1777) (ภาพที่ 1) ในกรณีที่อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร อุณหภูมิที่ผิวของผนังบริเวณโครงคร่าวทางด้านที่อยู่ภายในอาคารจะต่ำกว่าผนังบริเวณรอบๆ การไหลของความร้อนจึงมีทิศทางจากผนังโดยรอบไปสู่โครงคร่าว ในขณะที่ภายนอกอาคารอุณหภูมิบริเวณโครงคร่าวจะสูงกว่าผนังโดยรอบการไหลของความร้อนจึงมีทิศทางจากบริเวณโครงคร่าวไปยังผนังโดยรอบอัตราการส่งผ่านความร้อนทางด้านข้างนี้จะสูงขึ้นถ้าความแตกต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของโครงคร่าวและวัสดุที่อยู่ติดกับโครงคร่าวมีค่าที่สูงขึ้น เช่น ผนังโครงคร่าวเหล็กจะมีการส่งผ่านความร้อนทางด้านข้างที่สูงกว่าผนังโครงคร่าวไม้ (ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของวัสดุ



ภาพที่ 1 (บน) แสดงทิศทางการไหลของความร้อนของผนังโครงคร่าวไม้ โดยใช้โปรแกรม Therm 5.2

(ล่าง) แสดงเส้นระดับอุณหภูมิ (isotherm) และอุณหภูมิของผิวผนังด้านนอกและด้านใน ณ ตำแหน่งที่มีโครงคร่าวและบริเวณที่อยู่ถัดไป

ไม้ประมาณ 0.120, เหล็ก 47.6 W/m·K) นอกจากนี้บริเวณรอยต่อของผนังโครงคร่าวกับส่วนอื่นๆ เช่น บริเวณมุมผนัง อาจก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในลักษณะสามมิติ (Three-Dimensional Heat Transfer) ได้

การจำแนกประเภทค่าความต้านทานความร้อนของผนัง

ค่าความต้านทานความร้อน (R-value) ของผนังสามารถ จำแนกได้ตามบริเวณพื้นที่ของผนังที่ถูกนำมาคิดคำนวณ ในการหาค่าความต้านทานความร้อน ซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภท หลักคือ (Christian and Kosny, 1996: 57)

1. **Center-of-Cavity R-value** คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่คิดตรงช่องระหว่างโครงคร่าว ซึ่งโดยทั่วไปเป็นบริเวณที่มีฉนวนกันความร้อนอยู่มากที่สุด
2. **Clear wall R-value** คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่คิดเฉพาะบริเวณที่มีฉนวนกันความร้อนและโครงคร่าวหลักของผนัง แต่ไม่ได้รวมผนังบริเวณรอยต่อกับส่วนอื่นๆ ของอาคาร
3. **Whole wall R-value** คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม ซึ่งคิดรวมทั้งส่วนผนังทึบและผนังบริเวณ รอยต่อกับส่วนอื่นๆ ของอาคาร อันได้แก่ ผนัง/ผนัง (มุมผนัง), ผนัง/หลังคา, ผนัง/พื้น, ผนัง/ประตู, และผนัง/หน้าต่าง

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่ประกอบด้วยโครงคร่าวไม้และโครงคร่าวเหล็ก

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่ประกอบด้วย โครงคร่าวไม้และโครงคร่าวเหล็ก มีวิธีการหลักอยู่ด้วยกัน 6 วิธี ซึ่งแต่ละวิธีการมีหลักการ ความยากง่าย ตลอดจนผล ที่มีต่อค่าความต้านทานความร้อนที่หาได้แตกต่างกันไป โดย 4 วิธีแรก เป็นวิธีการคำนวณที่สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังเช่นวิธีที่ 5 ส่วนวิธีที่ 6 เป็นการหาค่าความต้านทานความร้อนโดยการทดสอบจากผนังจริง วิธีดังกล่าวสามารถนำมาใช้หาค่าความต้านทานความร้อน ของทั้งผนังโครงคร่าวไม้และโครงคร่าวเหล็ก ยกเว้นวิธีที่ 3 และ 4 (Zone Method และ Modified Zone Method) เป็นวิธีที่ใช้กับผนังโครงคร่าวเหล็กเท่านั้น โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

1. Parallel Path Method การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้ จะคิดเสมือนว่าความร้อนที่ผ่านตัวผนังนั้นเป็นในลักษณะหนึ่งมิติ (one-dimensional heat transfer) โดยความร้อนจะผ่านผนังส่วนที่มีโครงคร่าว และส่วนที่ไม่มีโครงคร่าวในลักษณะที่ขนานกันไป โดยไม่มีการเปลี่ยนทิศทางไปยังบริเวณที่การส่งผ่านความร้อน ทำได้

สะดวกกว่า (บริเวณที่มีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะไม่เป็นเช่นนั้น ดังนั้นจึงทำให้ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่คำนวณได้โดยวิธีนี้มีค่าสูงกว่า ความเป็นจริง (Carpenter, 2001: 1) ค่าที่ได้จากการ คำนวณวิธีนี้จะเป็นค่าความต้านทานความร้อนที่มีค่าสูงสุด (maximum R-value) (Tuluca, Lahiri and Zaidi, 1997: 551)

การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังแต่ละส่วน คือ ผนังส่วนที่ไม่มีโครงคร่าว และผนังส่วนที่มีโครงคร่าว หลังจากนั้นจึงหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทั้งสองส่วน ซึ่งทำได้โดยแปลงค่าความต้านทานความร้อนของผนัง แต่ละส่วนที่ได้ดังกล่าวให้เป็นค่าการส่งผ่านความร้อน ($U=1/R$) และหาค่าการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ยของผนัง ทั้งสองส่วนโดยให้ค่าน้ำหนักตามสัดส่วนพื้นที่ (area-weight) ของส่วนที่เป็นโครงคร่าวและส่วนที่ไม่มีโครงคร่าว จากนั้นจึงแปลงค่าที่ได้ให้เป็นค่าความต้านทานความร้อน ($R=1/U$) ขั้นตอนที่กล่าวมา แสดงด้วยสมการที่ 1 (รูปที่ 2)

$$R = \frac{1}{\frac{F_f}{R_f} + \frac{F_{nf}}{R_{nf}}} \dots\dots[1]$$

R = ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]
 F_f = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ส่วนที่เป็นโครงคร่าวต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]

F_{nf} = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ส่วนที่ไม่มีโครงคร่าวต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]

R_f = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังบริเวณที่มีโครงคร่าว [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]

R_{nf} = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังบริเวณที่ไม่มีโครงคร่าว [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]

2. Isothermal Planes Method การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้จะคิดเสมือนว่าในส่วนของผนังชั้น (layer) ที่ประกอบด้วยโครงคร่าวและวัสดุอื่น (เช่น ฉนวน) จะมีการถ่ายเทความร้อนทางด้านข้างระหว่างกัน และมีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนที่เท่ากันตลอด ซึ่งเท่ากับ ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่อยู่ในชั้นนี้ (California Energy Commission, 1994: 5) ค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยวิธีนี้จะเป็นค่าความต้านทาน ความร้อนที่มีค่าต่ำสุด (minimum R-value) (Tuluca, Lahiri and Zaidi, 1997: 551)

การหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการหาค่าเฉลี่ยการส่งผ่านความร้อน ในส่วนของชั้นที่มีโครง

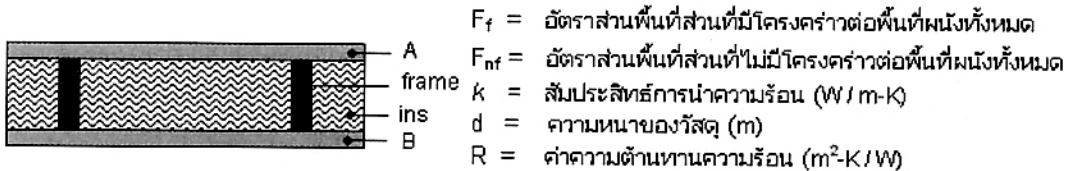
คร่าวและวัสดุอื่น โดยคิดเฉลี่ยตามสัดส่วนของพื้นที่ในส่วนที่เป็นโครงคร่าวและส่วนที่ไม่เป็นโครงคร่าว จากนั้นจึงแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นค่าความต้านทานความร้อน โดยค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานความร้อนของชั้นที่มีโครงคร่าวนี้ บวกกับค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุปิดผิวทั้งสองด้านของโครงคร่าว (สมการที่ 2, ภาพที่ 2)

$$R = R_A + R_{f:nf} + R_B \quad \dots\dots[2]$$

$$R_{f:nf} = \frac{1}{\frac{F_f}{R_f} + \frac{F_{nf}}{R_{nf}}}$$

โดยที่

- R = ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 R_A = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุปิดโครงคร่าวที่อยู่ทางด้านนอก [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 $R_{f:nf}$ = ค่าความต้านทานความร้อนรวมของชั้นที่มีโครงคร่าวและวัสดุอื่น [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 R_B = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุปิดโครงคร่าวที่อยู่ทางด้านใน [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 F_f = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ส่วนที่เป็นโครงคร่าวต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]
 F_{nf} = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ส่วนที่ไม่ใช่โครงคร่าวต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]
 R_f = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุโครงคร่าว [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 R_{nf} = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุอื่นที่อยู่ชั้นเดียวกับโครงคร่าว [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]



PARALLEL PATH METHOD	ISOTHERMAL PLANES METHOD
1. หาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุในแต่ละส่วน ($R_A, R_{frame}, R_{ins}, R_B$) $R_i = \frac{d_i}{k_i}$	1. หาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุในแต่ละส่วน ($R_A, R_{frame}, R_{ins}, R_B$) $R_i = \frac{d_i}{k_i}$
2. หาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังส่วนที่ไม่มีโครงคร่าว (R_{NF}) และ ส่วนที่มีโครงคร่าว (R_F) $R_{NF} = R_A + R_{ins} + R_B$ $R_F = R_A + R_{frame} + R_B$	2. หาค่าความต้านทานความร้อนของผนังชั้นที่ประกอบด้วยโครงคร่าวและวัสดุอื่น ($R_{f:nf}$) $R_{f:nf} = \frac{1}{\frac{F_f}{R_f} + \frac{F_{nf}}{R_{nf}}}$
3. หาค่าการต้านทานความร้อนรวมของผนังทั้งหมด $R = \frac{1}{\frac{F_f}{R_f} + \frac{F_{nf}}{R_{NF}}}$	3. หาค่าการต้านทานความร้อนรวมของผนังทั้งหมด $R = R_A + R_{f:nf} + R_B$

ภาพที่ 2 วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังแบบ Parallel Path Method และ Isothermal Planes Method

3. Zone Method วิธีนี้จะใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวเหล็กเท่านั้นวิธีการนี้จะคล้ายคลึงกับ Parallel Path Method โดยแบ่งผนังออกเป็นสองโซน คือ โซนที่ไม่มีโครงคร่าว (cavity zone) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ได้รับผลกระทบจากสะพานความร้อน (thermal bridge) และโซนที่มีโครงคร่าว (framing zone) ซึ่งเป็นส่วนที่ได้รับผลกระทบจากสะพานความร้อน โดยถือว่าความร้อนจะส่งผ่านผนังทั้งสองโซน ในลักษณะคู่ขนานกันไป (parallel) การกำหนด ความกว้างของโซนที่มีโครงคราวนั้นถือว่าการนำความร้อนที่เกิดขึ้นในโซนที่มีสองทิศทาง คือ ทิศทางที่ตั้งฉากกับผิววัสดุและทิศทางที่ขนานกับผิวของวัสดุ โดยมีอัตราการส่งผ่านความร้อนที่เท่ากันทั้งสองทิศทาง

ดังนั้นการกำหนดขอบเขตของโซนที่มีโครงคร่าวจึงได้มาจากการลากเส้นตรงทำมุม 45 องศา กับพื้นผิวของโครงคร่าวบริเวณ flange อย่างไรก็ตามการกำหนดเช่นนี้ค่อนข้างถูกต้องถ้าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) ของวัสดุแต่ละชั้น (layer) ที่นำมาประกอบเป็นผนังนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าแต่ละชั้นที่นำมาประกอบกัน มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่แตกต่างกันมาก เช่น เป็นแผ่นโลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนสูงและแผ่นฉนวนกันความร้อน (insulative sheathing) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนต่ำ การใช้แนวเส้น 45 องศา เพื่อกำหนดขอบเขตของโซนจะได้ผลซึ่งไม่ถูกต้องมากนัก (California Energy Commission, 1994: 6) วิธีการนี้จะใช้ได้เฉพาะกับ ผนังโครงคร่าวเหล็ก ที่ไม่ได้บุด้วยวัสดุที่ทำจากโลหะ (Tuluca, Lahiri and Zaidi, 1997: 552)

การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้ขั้นแรก จะต้องหาขนาดความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงคร่าว ซึ่งเท่ากับความกว้างของโครงคร่าวบวกกับ

สองเท่าของความหนาแน่นของวัสดุทั้งหมดที่อยู่ติดออกไปจากโครงคร่าว (สมการที่ 3, ภาพที่ 3) เมื่อทราบขอบเขตของแต่ละโซนแล้ว จึงคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังในแต่ละโซน จากนั้นจึงหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของทั้งสองโซน

$$W = L + 2d \quad \dots\dots\dots[3]$$

W = ความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงคร่าว [m]

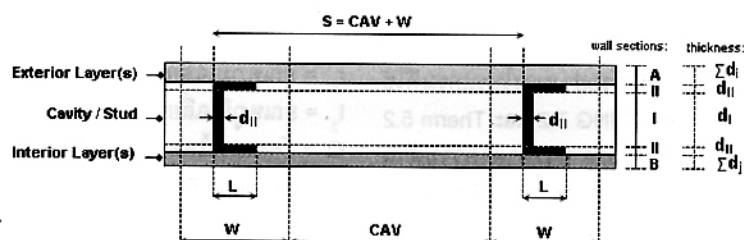
L = ความกว้างของโครงคร่าว (stud flange size) [m]

d = ระยะความหนาแน่นของวัสดุทั้งหมดที่อยู่ติดออกไปจากผิวของโครงคร่าว [m]

(ในกรณีที่มีความหนาแน่นของวัสดุแต่ละด้านที่อยู่ติดออกไปจากโครงคร่าวไม่เท่ากันให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า)

4. Modified Zone Method วิธีนี้จะใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวเหล็กเท่านั้นการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้จะคล้ายกับแบบ Zone Method ยกเว้นวิธีการหาความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงคร่าวจะแตกต่างกันสำหรับ Zone Method นั้น ความกว้างของโซน (W) จะขึ้นกับขนาดความกว้างของโครงคร่าว (stud flange size) และ ความหนาแน่นของวัสดุส่วนที่อยู่ติดออกไปจากตัวโครงคร่าวเท่านั้น แต่สำหรับ Modified Zone Method ความกว้างของโซน นอกจากจะขึ้นกับปัจจัยดังกล่าวแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ (Kosny and Christian, 1995: 785)

- อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อน (Thermal Resistivities) ของวัสดุที่นำมาปิดโครงคร่าว และค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของฉนวนกันความร้อน
- ขนาดความลึกของโครงคร่าว



เปรียบเทียบขนาดความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงคร่าว

Parallel Path Method:	$W = L$
ASHRAE Zone Method:	$W = L + 2 \sum d_i$
Modified Zone Method:	$W = L + Z_i \sum d_i$
	if $d_i > d_j$

ภาพที่ 3 เปรียบเทียบวิธีการหาความกว้างของโซนบริเวณที่มี โครงคร่าวของทั้งสามวิธี
ที่มา: ดัดแปลงจาก (Kosny and Christian, 1995: 782)

โดยความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงคร่าว สามารถคำนวณได้ดังนี้ (รูปที่ 3)

$$W = L + Z_f d \quad \dots\dots[4]$$

W = ความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงคร่าว [m]
L = ความกว้างของโครงคร่าว (stud flange size) [m]
d = ระยะความหนาของวัสดุทั้งหมดที่อยู่ติดออกไปจากผิวของโครงคร่าว[m](ในกรณีที่ความหนาของวัสดุแต่ละด้านที่อยู่ติดออกไปจากโครงคร่าวไม่เท่ากัน ให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า)
 Z_f = zone factor ซึ่งทราบค่าได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Z_f กับ ค่าความลึกของโครงคร่าว (web) และ ค่าอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อน (Thermal Resistivities) ของวัสดุที่นำมาปิดโครงคร่าวและค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของฉนวนกันความร้อนที่อยู่ระหว่างโครงคร่าว กราฟดังกล่าวแสดงไว้ใน (Kosny and Christian, 1995, : 786; ASHRAE, 2001: 25.12)

การคำนวณด้วยวิธีนี้จะมีขั้นตอนที่เพิ่มมากขึ้นจากวิธีทั้งสามที่ได้กล่าวมา จึงได้มีการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณโดยใช้ Modified Zone Method ให้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก

5. โปรแกรมคำนวณการถ่ายเทความร้อนแบบสองหรือสามมิติ (Two or Three dimensional Heat Transfer)

เนื่องจากผนังที่ประกอบด้วยโครงคร่าวจะมีการส่งผ่านความร้อนในลักษณะ 2 หรือ 3 มิติ การหาค่าความต้านทานความร้อน ในลักษณะนี้โดยละเอียดและแม่นยำขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณวิธีการที่ใช้ในโปรแกรมเหล่านี้ได้แก่ Finite Different Method หรือ Finite Element Method ตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้การคำนวณด้วยวิธีนี้ได้แก่ HEATING 7.2 และ Therm 5.2 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ภาคผนวก) การหาค่าความต้านทานความร้อน ของผนังด้วยวิธีการนี้ถึงแม้จะให้ผลที่ถูกต้องกว่าวิธีทั้ง 4 ที่ได้กล่าวมา แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในแง่ที่ผู้ใช้งานต้องมีพื้นฐานความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ในระดับหนึ่ง เพื่อที่จะสามารถใส่ข้อมูลและวิเคราะห์ผลที่ได้ จากโปรแกรมได้ถูกต้อง

6. การทดสอบหาค่าความต้านทานความร้อนจากตัวอย่างผนังจริง โดยใช้ “Guarded Hot Box” ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาคุณสมบัติทางความร้อน ในสภาวะ

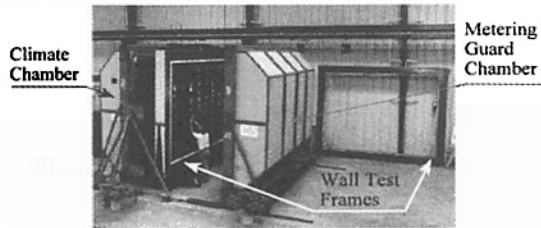
คงตัว (steady state) ขององค์ประกอบอาคารที่นำมาทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยวัสดุที่มากกว่าหนึ่งอย่าง (nonhomogeneous specimens) เช่น ผนังทดสอบที่ประกอบด้วยแผ่นยิปซัม ฉนวน และโครงคร่าว โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C236 (Standard Test Method for Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box) (ASTM, 1993: 1) ผนังที่ต้องการทดสอบหาค่าความต้านทานความร้อน จะถูกนำมาติดตั้งตรงกลางระหว่างส่วนที่เรียกว่า Climate Box และ Metering Box โดยภายใน Climate Box จะควบคุมให้มีอุณหภูมิตามสภาวะภายนอกอาคารที่ต้องการทดสอบ ในส่วนของ Metering Box จะควบคุมให้มีอุณหภูมิตามสภาวะภายในอาคารที่ต้องการทดสอบ โดย Metering box จะติดตั้งอยู่ใน Guard Box อีกชั้นหนึ่ง (รูปที่ 4) ซึ่งจะต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างส่วนของ Metering Box ไปยัง Guard Box หรือมีให้น้อยที่สุด Metering Box จะต้องมีความหนาที่เพียงพอที่จะครอบคลุมส่วนของผนังที่สามารถใช้ เป็นตัวแทนของผนังชนิดนั้นๆ ได้ เมื่อระบบอยู่ในสภาวะ คงตัว (steady state) คืออยู่ในสภาวะที่ระดับอุณหภูมิระหว่าง ผิวผนังทั้งสองด้านที่ความร้อนไหลผ่านคงที่ จึงทำการวัดค่าต่างๆที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทาน ความร้อนของผนัง เช่น อุณหภูมิที่ผิวของผนังทั้งสองด้าน อุณหภูมิของอากาศภายใน Climate Box และ Metering Box และ พลังงานที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิและความเร็วลม ในส่วนของ Metering Box โดยค่าความต้านทานความร้อนของผนังจะคำนวณได้จาก

$$R = \frac{A(t_1 - t_2)}{Q} \quad \dots\dots[5]$$

R = ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง (ไม่รวมส่วนของฟิล์มอากาศ) [m²·K/W]
A = พื้นที่ของผนังส่วนที่ทำกรวัดค่า [m²]
 t_1 = อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังด้านที่มีอุณหภูมิสูง [K]
 t_2 = อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ [K]
Q = อัตราการไหลของความร้อนทั้งหมด ซึ่งให้กับส่วนของ Metering Box [W]

จากผลการศึกษาเพื่อหาค่าความเที่ยงตรงของวิธีการนี้ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากหลายๆ หน่วยงาน ซึ่งทำการทดสอบกับวัสดุที่ได้มาจากชุดการผลิตเดียวกัน พบว่าค่าความต้านทานความร้อนที่หาได้จากแต่ละแห่งจะมีความคลาดเคลื่อนที่ต่างกันอย่างน้อยในช่วงประมาณ 7.8% ณ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 24 °C (ASTM, 1993: 8) วิธีการนี้ถือว่าเป็นวิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่มีความ

ความถูกต้องมากที่สุด (ASHRAE, 2001: 25.1) แต่การหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้อาจไม่สะดวกในทางปฏิบัติ และในด้านค่าใช้จ่ายในการทดสอบ



รูปที่ 4 Guarded Hot Box ที่ Oak Ridge National Laboratory, USA. ที่มา: http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/research/detailed_papers/whole_bldg/pdf_files/heating7-2.pdf

เปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนที่หาได้ของแต่ละวิธี

ในการศึกษาเปรียบเทียบว่าวิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังแต่ละวิธีมีความถูกต้องมากน้อยอย่างไร โดยทั่วไป จะเปรียบเทียบกับวิธีการที่ถือว่ามีความถูกต้องสูงกว่า โดยถือว่าค่าที่ได้จากการทดสอบจากผนังจริงโดยใช้ Guarded Hot Box และทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 236 มีความถูกต้องที่สูง ซึ่งจะนำผลที่ได้จากวิธีการนี้มาใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแบบ 2-D และ 3-D Heat Transfer หรือ วิธีการคำนวณด้วยมือ (Parallel Path, Isothermal Planes, Zone, Modified Zone) ในกรณีที่ไม่มีผลจากการ ทดสอบจริงมาใช้ในการเปรียบเทียบ ก็จะเปรียบเทียบวิธีการคำนวณด้วยมือกับโปรแกรม

คำนวณแบบ 2-D หรือ 3-D Heat Transfer แทนผลการ ศึกษาเปรียบเทียบมีดังนี้ (ตารางที่ 1)

1. Kosny และ Christian (1995: 780-781) เปรียบเทียบผล ที่ได้จากการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยใช้โปรแกรมคำนวณแบบ 3-D Heat Transfer กับผลที่ได้จากการทดสอบกับผนังจริง พบว่าในส่วนของผนังโครงคร่าวไม้ มีค่าความแตกต่างไม่เกิน $\pm 2\%$ ส่วนผนังโครงคร่าวเหล็กมีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ย 4.74%

2. Carpenter (2001: 2) เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยใช้วิธี Parallel Path กับโปรแกรมคำนวณที่ใช้วิธี 2-D Heat Transfer พบว่า ค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวไม้ ที่คำนวณโดยวิธี Parallel Path จะมีค่าที่สูงกว่าการใช้โปรแกรมคำนวณโดยเฉลี่ยประมาณ 2.2 % ส่วนผนังโครงคร่าวเหล็กนั้นจะมีค่าสูงกว่าโดยเฉลี่ย 70%

3. Kosny และ Desjarlais (1994: 8) เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหาค่าความต้านทานความร้อนโดยใช้วิธี Isothermal Planes Method กับโปรแกรมคำนวณที่ใช้วิธี 2-D Heat Transfer พบว่าค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวไม้ ที่คำนวณโดยวิธี Isothermal Plane Method จะมีค่าที่ต่ำกว่า การใช้โปรแกรมคำนวณประมาณ 2.83%

4. Tuluca, Lahiri, และ Zaidi (1997: 553) เปรียบเทียบค่า ความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวเหล็ก ที่ได้จาก การคำนวณด้วยวิธี Parallel Path Method, Isothermal Method, Zone Method, และ Modified Zone Method กับโปรแกรมคำนวณที่ใช้วิธี 2-D Heat Transfer พบว่าวิธีการคำนวณที่มีผลใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรมคำนวณ มากที่สุดคือ Modified Zone Method โดยมีค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างที่ได้จากการหาค่าความต้านทานความร้อนของแต่ละวิธี

ชนิดของผนัง	ค่าความแตกต่างที่ได้จากการหาค่าความต้านทานความร้อน (%)						อ้างอิง
	Parallel	Iso-thermal	Zone	Modified Zone	2 or 3-D Heat Transfer	TEST	
ผนังโครงคร่าวไม้	2.2				●		Carpenter, 2001
		2.83			●		Kosny & Desjarlais, 1994
					2	●	Kosny & Christian, 1995
ผนังโครงคร่าวเหล็ก	70				●		Carpenter, 2001
	33	42	46	6	●		Tuluca, Lahiri, Zaidi, 1997
				2	●		Kosny & Christian, 1995
			13.5	6.5		●	Kosny & Christian, 1995
					4.74	●	Kosny & Christian, 1995

หมายเหตุ: ● คือวิธีการหลัก (A) ที่นำมาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ (B) ที่มีค่าตัวเลขระบุไว้ ซึ่งคำนวณหาค่าความแตกต่างได้จากสูตร $(R_A - R_B / R_A) \times 100\%$ กรณีที่มีจำนวนผนังที่ทำการศึกษามากกว่า 1 แบบ จะใช้ค่าเฉลี่ย

เฉลี่ยของความแตกต่างเท่ากับ 6% ในขณะที่วิธีการอื่นๆ มีค่าความแตกต่างที่สูงกว่าดังนี้คือ Parallel Path Method (33%), Isothermal Method (42%), และ Zone Method (46%)

5. Kosny และ Christian (1995: 787-788) เปรียบเทียบค่า ความต้านทานความร้อนของผนังที่คำนวณโดยวิธี Zone Method และ Modified Zone Method กับค่าความต้านทาน ความร้อนของผนังที่ได้จากการทดสอบผนังจริง ซึ่งเป็นผนังโครงสร้างโลหะที่มีฉนวนบุระหว่างโครงสร้าง จำนวน 15 ตัวอย่าง พบว่า Zone Method มีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ย 13.5% ส่วน Modified Zone Method มีค่าความแตกต่าง โดยเฉลี่ย 6.5% นอกจากนี้ ยังได้เปรียบเทียบค่าความต้านทาน ความร้อนของผนัง ซึ่งคำนวณด้วยวิธี Modified Zone Method กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้วิธีการคำนวณแบบ Finite Difference โดยศึกษาจากผนังโครงสร้างเหล็ก จำนวน 200 ชนิด พบว่ามีค่าความแตกต่างอยู่ที่ประมาณ $\pm 2\%$

จากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่าสำหรับ ผนังโครงสร้างไม้ วิธีการคำนวณโดยใช้วิธี Parallel Path หรือ Isothermal Planes Methods จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (2-D or 3-D Heat Transfer) แต่วิธีทั้งสองเมื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า R ของผนังโครงสร้างเหล็ก ค่าที่ได้จะมีความแตกต่างค่อนข้างสูง สำหรับผนังโครงสร้างเหล็ก วิธี Modified Zone Method จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือจากการทดสอบจากผนังจริงมากกว่าวิธีอื่นๆ โดยที่การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจากผนังจริงทั้งในส่วน ของผนังโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก

ค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม (Whole Wall R-Value)

การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยทั่วไป จะคิดเฉพาะในส่วนของผนังที่บดและโครงสร้างหลัก (Clear-Wall) แต่ไม่ได้พิจารณาถึงผนังบริเวณรอยต่อกับส่วนอื่นๆ ของอาคาร ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนัง โดยรวม (Whole wall R-value) ซึ่งคิดรวมผนังบริเวณรอยต่อ ต่างๆ ด้วยนั้น วิธีที่ใช้ในการคำนวณจำเป็นต้องใช้โปรแกรม ที่สามารถคำนวณการส่งผ่านความร้อนบริเวณรอยต่อที่เป็น ลักษณะ 3 มิติ (Three Dimensional Heat Transfer) ได้ โดยใช้วิธีการคำนวณ เช่น 3-D Finite Different โปรแกรม ที่ใช้มักจะมีการทดสอบผลที่ได้จากการคำนวณเปรียบ เทียบกับค่าที่วัดได้จริงให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้ จากการ วัดจริงก่อนที่จะนำมาใช้ การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม (Whole wall R-value) นั้น ทำได้

โดยการใช้โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานความร้อน ของผนังแต่ละส่วน อันได้แก่ Clear Wall และ ผนังบริเวณ รอยต่อกับส่วนอื่นๆ ของอาคารจากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย ตามสัดส่วนของพื้นที่ในแต่ละส่วนที่มีผลต่อสภาพการ นำความร้อนที่แตกต่างกัน ดังสมการที่ [6] (Kosny and Desjarlais, 1994: 5)

$$R_{ws} = \left[\frac{A_{cw}}{R_{cw}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_i} \right]^{-1} \dots\dots\dots [6]$$

- R_{ws} = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม [$m^2 \cdot K/W$]
- A_{cw} = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของผนังส่วนที่เป็น clear wall ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]
- A_i = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของผนังส่วนที่เป็นรอยต่อ แบบที่ i ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]
- R_{cw} = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังส่วนที่เป็น clear wall [$m^2 \cdot K/W$]
- R_i = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังส่วนที่มีรอยต่อ แบบที่ i [$m^2 \cdot K/W$]

จากผลการศึกษาของ Christian และ Kosny (1996: 60-62) พบว่าส่วนของผนังที่นำมาพิจารณาในการหาค่า ความต้านทานความร้อนของผนังนั้นจะมีผลต่อค่าความ ต้านทานความร้อนของผนังที่หาได้แตกต่างกัน สำหรับ ผนังโครงสร้างไม้ ที่ทำการศึกษารวม 3 ชนิด ค่า Whole wall R-value จะมีค่าที่ต่ำกว่า Clear wall R-value 9.1 ถึง 16.3 % ส่วนผนังโครงสร้างเหล็กที่ทำการศึกษารวม 7 ชนิด พบว่า ค่า Whole Wall R-value จะมีค่าที่ต่ำกว่าค่า Clear wall R-value 17.4 ถึง 26.5 % ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็น ถึงความจำเป็นในการวัดประสิทธิภาพของผนังโดย พิจารณาจากค่า Whole wall R-value แทน เนื่องจากเป็นค่า ความต้านทานความร้อนโดยรวมที่พิจารณาถึงส่วนต่างๆ ของ ผนังที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง

การพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนโดยดูจากค่า Center-of-Cavity R-value หรือ Clear wall R-value อาจ ทำให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนของผนัง แต่ละประเภทคลาดเคลื่อนจากความเป็น จริงได้ จากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบผนังโครงสร้างไม้ (ผนังที่ 1) และผนังโครงสร้างเหล็ก (ผนังที่ 3) จะเห็นว่าผนัง ที่ 3 มีค่า Cavity wall R-value ที่สูงกว่าผนังที่ 1 (14.6 : 13.6) แต่เมื่อพิจารณา ผนังโดยรวมแล้ว ผนังที่ 3 กลับมีค่า Whole wall R-value ที่ต่ำกว่าผนังที่ 1 (6.1 : 9.6) หรือ การเปรียบเทียบผนังโครงสร้างไม้ (ผนังที่ 2) และผนังโครง กรสร้างเหล็ก (ผนังที่ 4) ผนังที่ 4 จะมีค่า Clear wall R-value

ที่สูงกว่าผนังที่ 2 (11.8 : 10.8) แต่ผนังที่ 4 กลับมีค่า Whole wall R-value ที่ต่ำกว่าผนังที่ 2 (9.5 : 9.9) เป็นต้น นอกจากนี้ ผนังอาคารสองชนิดที่มีลักษณะ Clear wall แบบเดียวกัน และมีค่า Clear wall R-value ที่เท่ากัน อาจมีค่า Whole wall R-value ที่แตกต่างกันได้ ถ้าผนังดังกล่าว มีสัดส่วน ของช่องเปิด (ประตู หน้าต่าง) และลักษณะ ของรอยต่อ บริเวณต่างๆ เช่น ผนังกับพื้น ผนังกับผนัง ผนังกับหน้าต่างหรือประตูที่ต่างกัน (Kosny, 2004: 4)

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม (Whole wall R-value) นั้นค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากต้อง คำนวณค่าความต้านทานความร้อนของผนังหลายๆ ส่วน มาประกอบกัน อีกทั้งจำเป็นต้องใช้โปรแกรมการคำนวณ ประเภท 2D หรือ 3D Heat Transfer ซึ่งผู้ใช้งานจำเป็นต้องมี พื้นฐานความรู้ที่เพียงพอ ได้มีการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ ในการคำนวณ Whole wall R-value ที่สะดวกขึ้น แต่โปรแกรมดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในเรื่องของลักษณะอาคาร ที่นำมาใช้เป็นต้นแบบในการคำนวณ ซึ่งเป็นเพียงอาคาร ชั้นเดียว อีกทั้งวัสดุที่ใช้และลักษณะของรอยต่อที่มีให้เลือก ยังมีไม่มากนัก จึงอาจไม่ตรงกับลักษณะอาคารที่ผู้ใช้ โปรแกรมต้องการศึกษา (ดูรายละเอียดโปรแกรมเพิ่มเติม ที่ภาคผนวก)

บทสรุป

การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้าง ไม้มีด้วยกันหลายวิธี ตั้งแต่วิธีการที่สามารถคำนวณ ได้ด้วยมือ เช่น Parallel Path Method, Isothermal Method, Zone Method, Modified Zone Method หรือวิธีการ คำนวณที่ซับซ้อนขึ้น เช่น 2-D หรือ 3-D Heat Transfer ซึ่งจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ และวิธีการทดสอบจากผนังจริงโดยใช้ Guarded Hot Box ซึ่งเป็นวิธีที่ยากและมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นแต่ถือว่ามีความ ถูกต้องสูง

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังนั้น มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่หาได้ที่ แตกต่างกันไป เมื่อนำไปใช้ในการคำนวณผนังโครงสร้าง ไม้หรือผนังโครงสร้างเหล็ก จากการเปรียบเทียบค่าความ ต้านทานความร้อนที่คำนวณได้ของแต่ละวิธีพบว่า สำหรับ ผนังโครงสร้างไม้ ผลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Parallel Path หรือ Isothermal Planes Method จะมีค่าที่ไม่แตกต่าง กันมากนักกับการใช้โปรแกรมคำนวณแบบ 2-D Heat Transfer แต่สำหรับผนังโครงสร้างเหล็กค่าที่ได้จากวิธีทั้งสองจะแตกต่างกันค่อนข้างมาก วิธีดังกล่าวจึงไม่เหมาะที่จะ

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของผนังแต่ละประเภท

	ชนิดของผนัง	Cavity Wall R-value hft ² F/Btu	Clear Wall R-value hft ² F/Btu	Whole Wall R-value hft ² F/Btu
1	2x4 wood stud wall 16-in. (40 cm.) o.c. R-11 batts ½-in. (1.3 cm.) plywood (exterior) ½-in. (1.3 cm.) gypsum board (interior)	13.6	10.6	9.6
2	2x4 wood stud wall 24-in. (60 cm.) o.c. R-11 batts ½-in. (1.3 cm.) plywood (exterior) ½-in. (1.3 cm.) gypsum board (interior)	13.6	10.8	9.9
3	3-½ -in. (8.9-cm.) Metal stud wall, 16-in. (40-cm.) o.c. R-11 batts ½-in. (1.3 cm.) plywood (exterior) ½-in. (1.3 cm.) wood siding ½-in. (1.3 cm.) gypsum board (interior)	14.6	7.4	6.1
4	3-½ -in. (8.9-cm.) Metal stud wall, 16-in. (40-cm.) o.c. R-11 batts ½-in. (1.3 cm.) plywood (exterior) 1-in. (2.5 cm.) EPS sheathing ½-in. (1.3 cm.) wood siding ½-in. (1.3 cm.) gypsum board (interior)	18.6	11.8	9.5

ที่มา: Christian and Kosny, 1996: 61-62

นำมาใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวเหล็ก ในขณะที่วิธี Modified Zone Method จะให้ผลใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรมคำนวณหรือการทดสอบจากผนังจริงมากกว่าวิธีอื่น โดยวิธี 2-D Heat Transfer เองนั้นก็มีความแตกต่างกับผลที่ได้จากการทดสอบจากผนังจริงประมาณ 2-5% ในขณะที่การทดสอบกับผนังจริงโดยใช้ Guarded Hot Box นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงประมาณ 8%

การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังนอกจากจะต้องคำนึงถึงวิธีการที่ใช้ในการหาค่าแล้ว ยังต้องคำนึงถึงส่วนของผนัง ที่นำมาพิจารณาหาค่าความต้านทานความร้อน ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่คำนวณมาจากผนังโดยรวม (Whole wall R-value) โดยทั่วไปจะมีค่าที่ต่ำกว่าการคิดเฉพาะผนังบางส่วน เช่น Center of Cavity R-value หรือ Clear Wall R-value การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม แม้ว่าจะมีข้อดีในแง่ที่ได้ค่าความต้านทาน ความร้อนของผนังที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง แต่ก็มีข้อจำกัดในแง่ของวิธีการคำนวณที่ละเอียดและค่อนข้างยาก ดังนั้นการเลือกใช้วิธีใดในการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวไม้หรือเหล็ก จึงควรต้องพิจารณาร่วมกันไปทั้งในเรื่องของระดับความถูกต้องแม่นยำที่จำเป็นสำหรับงานนั้นๆ ประกอบกับความยากง่ายในการหาดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

- สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ซึ่งให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัย ที่ผู้เขียนได้นำผลการศึกษาบางส่วนมานำเสนอในบทความนี้
- อาจารย์ดร.ณี มงคลสวัสดิ์ ผู้ร่วมวิจัยในโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta.
- ASTM. 1993. Standard Test Method for Steady-state Thermal Performance of Building Assemblies by Means of Guarded Hot Box, C236-89.
- California Energy Commission. 1994. EZFRAME 2.0 User's Manual.
- Carpenter, S. C. 2001. "Advances in Modeling Thermal Bridges in Building Envelopes" [Online]. Accessed 23 September, 2004, Available from <http://www.esim.ca/2001/documents/proceedings/Session7-1.pdf>
- Childs, K. W. 1988. "Analysis of Seven Thermal Bridges Identified in a Commercial Building." ASHRAE Transactions. 94: 1776-1792.
- Christian, J. E. and Kosny, J. 1996. "Thermal Performance and Wall Ratings." ASHRAE Journal. March: 56-65.
- Kosny, J., 2004. "A New Whole Wall-R-value Calculator: An Integral Part of the Interactive Internet-based Building Envelope Materials Database for Whole-building Energy Simulation Programs" [Online]. Accessed 11 October 2004, Available from <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/NewRValue.pdf>
- Kosny, J. and Christian, J. E. 1995. "Reducing the Uncertainties Associated with Using the ASHRAE Zone Method for R-value Calculations of Metal Frame Walls." ASHRAE Transactions. 102(2): 779-788.
- Kosny, J. and Desjarlais, A. O. 1994. Impacts of Architectural Details on the Whole Wall Thermal Performance in Residential Buildings [Online]. Accessed 1 July, 2004, Available from http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/research/detailed_papers/wall_pap/content.html
- Tuluca, A. N., Lahiri, D. and Zaidi, J. H. 1997. "Calculation Methods and Insulation Techniques for Steel Stud Walls in Low-rise Multifamily Housing." ASHRAE Transactions. 103(1): 550-562.

ภาคผนวก

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน

1.EZframe Version 2 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวไม้หรือเหล็ก ซึ่งใช้วิธีการคำนวณแบบ *Zone Method* และ *Isothermal Planes Method* ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง เช่น ขนาดและระยะห่างของโครงคร่าว (ระบุได้เฉพาะลักษณะโครงคร่าวแบบรูปตัว C) ฉนวนกันความร้อนที่อยู่ในช่องโครงคร่าว และวัสดุปิดโครงคร่าว ซึ่งสามารถเลือกได้จากรายการวัสดุที่มีอยู่ในโปรแกรมหรือใส่ค่าโดยตรงวัสดุปิดโครงคร่าว ภายนอกกระเบื้องได้มากที่สุด 5 layer ส่วนภายในระบุได้มากที่สุด 3 layer โปรแกรมจะคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังและแสดงผลที่ได้ทั้งค่า *R-value* และ *U-value* โปรแกรมนี้จัดทำโดย *California Energy Commission* ในสหรัฐอเมริกา โปรแกรมมีราคาประมาณ 14 USD ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ http://www.energy.ca.gov/efficiency/computer_prog_list.html

2.Modified Zone Method Calculator เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวเหล็ก โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ *Modified Zone Method* ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง เช่น ขนาดและระยะห่างของโครงคร่าว (ระบุได้เฉพาะลักษณะโครงคร่าวแบบรูปตัว C) ฉนวนกันความร้อนที่อยู่ในช่องโครงคร่าว และวัสดุปิดโครงคร่าว (ผนังภายนอกกระเบื้องได้มากที่สุด 3 layer ส่วนผนังภายในระบุได้มากที่สุด 2 layer) โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังและแสดงผลที่ได้ทางจอคอมพิวเตอร์ ค่าที่แสดงได้แก่ ความกว้างของโซนบริเวณโครงคร่าว ค่าความต้านทานความร้อนที่คิดตรงบริเวณโครงคร่าว ระหว่างโครงคร่าว (*Center of Cavity R-value*) และค่ารวม (*Clear Wall R-value*) โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ *Oak Ridge National Labs* ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโปรแกรมฟรีที่สามารถใช้ได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/calculators/modzone>

3. Therm 5.2 เป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าว ในลักษณะการจำลองการส่งผ่านความร้อนแบบ 2 มิติ (Two Dimensional Heat Transfer) โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Finite Element Method ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนังโดยการเขียนรูปของโครงคร่าวและวัสดุปิดผิว และเลือกประเภทของวัสดุที่ใช้ ซึ่งสามารถสร้างวัสดุใหม่ขึ้นเองได้ตามความต้องการ สามารถใช้จำลองโครงคร่าวในรูปลักษณะต่างๆ ได้ และไม่จำกัดจำนวนชั้นของวัสดุปิดโครงคร่าว โปรแกรมแสดงผลการคำนวณที่ได้ในหลายลักษณะ เช่น เส้นแสดงทิศทางการไหลของความร้อน ระดับอุณหภูมิ และค่า U-factor ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังได้ โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>

4. Whole Wall R-value Calculator เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานของผนังโดยรวม (Whole wall R-value) โดยใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3-D Heat Transfer ซึ่งคำนวณจากแบบบ้านพักอาศัยชั้นเดียว ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง เช่น โครงคร่าวไม้หรือเหล็ก ขนาดและระยะห่างของโครงคร่าว (ระบุได้เฉพาะโครงคร่าวรูปตัว C) ประเภทของฉนวนกันความร้อนที่อยู่ในช่องโครงคร่าว วัสดุปิดโครงคร่าว (ระบุได้เพียงชนิดเดียวในแต่ละด้าน) โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนและแสดงผลที่ได้ทางจอคอมพิวเตอร์ โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ Oak Ridge National Labs ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโปรแกรมฟรีที่สามารถใช้ได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/AWT/InteractiveCalculators/Online/index.htm>