

การใช้วิธีการคำนวณ OTTV และ RTTV สำหรับการประมาณการประหยัดพลังงาน

Use of OTTV and RTTV calculation for energy saving estimation

วิรัตน์ ตั้งคุณาพันธุ์¹, สมนึก ชีระกุลพิศุทธิ์², ประพัทธ์ สันติวารการ³
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทร 0-43202845 โทรสาร 0-43202849 E-mail: songleng_t@hotmail.com

Wirat Tangkunapan¹, Somnuk Theerakulpisut², Prapat Suntivarakorn³
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
Khon Kaen, 40002, Thailand
Tel: 0-43202845 Fax: 0-43202849 E-mail:songleng_t@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายนอกของอาคารจากค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และหลังคาอาคาร (RTTV) ที่มีความใกล้เคียงกับภาระการทำความเย็นที่คำนวณด้วยวิธีมาตรฐาน เพื่อใช้ในการคำนวณหาผลการประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงค่า OTTV และ RTTV สำหรับอาคารควบคุม โดยการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกศึกษาการเปรียบเทียบค่าระหว่างภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากค่า OTTV และ RTTV ในงานวิจัยก่อนหน้านี้กับภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี Transfer Function Method (TFM) โดยใช้แบบจำลองอาคารสี่แบบที่กำหนดขึ้น และจากผลการศึกษาพบว่าความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงเมื่อนำค่า OTTV และ RTTV สำหรับหลังคาที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนมาประเมินหาภาระการทำความเย็น ในส่วนขั้นตอนที่สองเกิดขึ้นเพื่อต้องการลดความคลาดเคลื่อนที่มีค่าสูงในขั้นตอนแรกจึงได้ศึกษาหาความสัมพันธ์การถดถอยแบบเชิงเส้นระหว่าง OTTV กับค่าภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายนอกของผนังอาคาร และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำค่า OTTV ไปประเมินหาภาระการทำความเย็นที่ใกล้เคียงกับภาระการทำความเย็นที่คำนวณโดยวิธี TFM โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 7%

Abstract

The objective of this study is to find a method for calculating the cooling load of a building from calculated values of the overall thermal transfer value (OTTV) and the roof thermal transfer value (RTTV) of the building. Some existing work on this subject proposed correlations between the cooling load and the OTTV and RTTV values. To test the validity of the correlations, four

different designs of buildings for calculating the OTTV and the RTTV which were used in the correlations for cooling load calculation. The calculated cooling loads were then compared with the values calculate by the transfer function method (TFM) and it was found that the cooling loads derived from the OTTV and the RTTV deviated substantially from the values obtained from the transfer function method when the window-to-wall ratio (WWR) was large. The existing correlations were therefore studied and modified to yield better correlations for calculating the cooling load with higher accuracy. The new correlations give cooling load values within 7% of the values calculated by the transfer function method.

1.บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารส่วนใหญ่ [3] (ประมาณร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด) ถูกใช้ไปในส่วนของการปรับอากาศภายในอาคาร ดังนั้นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศจึงมีความสำคัญและมีผลอย่างมากต่อการประหยัดพลังงาน อาคารที่มีการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศลงได้ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากแหล่งภายในอาคารนั้นไม่สามารถปรับลดได้มากนัก ส่วนความร้อนจากแหล่งภายนอกที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารเข้ามามีสามารถจำกัดหรือปรับลดได้ จากการปรับปรุงค่า OTTV และ RTTV ให้มีความเหมาะสม

การคำนวณค่าความร้อนและค่าภาระการทำความเย็นจากภายนอกอาคารมีหลายวิธีเช่น วิธี Total Equivalent Temperature Differential หรือ TETD, วิธี Cooling Load Temperature Differential หรือ CLTD และ วิธี Transfer Function Method เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธี

มาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไป สำหรับประเทศไทยได้มีการออกกฎกระทรวง ว่าด้วยกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันสำหรับอาคารในประเทศไทย แต่วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงค่า OTTV และ RTTV ยังไม่มีวิธีการที่แน่นอนที่เชื่อถือได้ วิธีการหนึ่งที่ใช้กันอยู่คือการนำผลต่างของค่า OTTV หรือ RTTV ก่อนและหลังปรับปรุงอาคารคูณด้วยพื้นที่ภายนอกทั้งหมดของผนังหรือหลังคาอาคารแล้วหารด้วยสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ค่า OTTV และ RTTV ที่ได้จากกฎกระทรวง อาจไม่ใช่ตัวแทนของค่าความร้อนที่ไหลเข้าสู่อาคาร ทำให้ผลการประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงค่า OTTV และ RTTV ที่คำนวณได้นั้นยังไม่ถูกต้องเท่าที่ควร

การศึกษาก่อนหน้านี้ ปฐวิ [1] ได้ทำการศึกษาวิธีการคำนวณหาภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายนอกของอาคาร จากค่า OTTV และ RTTV ที่ได้จากกฎกระทรวง เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปคำนวณหาผลการประหยัดพลังงาน

ในส่วนของการศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จาก [1] กับภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี TFM โดยใช้แบบจำลองอาคารจำนวนสี่แบบที่กำหนดขึ้น และนำผลการเปรียบเทียบที่ได้มาทำการศึกษา หากพบว่ามีความคลาดเคลื่อนต่างกันมาก จะทำการศึกษาวิธีการคำนวณหาภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายนอกของอาคาร จากค่า OTTV และ RTTV ขึ้นใหม่ เพื่อปรับปรุงให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด จึงจะนำค่าภาระการทำความเย็นที่ได้ไปใช้คำนวณหาผลการประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงค่า OTTV และ RTTV สำหรับอาคารควบคุมต่อไป

2.การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารนั้น ประกอบด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) [4] โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอกและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร

หลักการในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมนี้ อาศัยทฤษฎีพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งพิจารณาว่าความร้อนที่ผ่านรอบอาคารเข้าสู่ภายในบริเวณอาคารนั้น ประกอบด้วยความร้อน 3 ส่วนคือ

- (1) ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังที่
- (2) ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกระจก
- (3) ความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านกระจก

ดังนั้นเมื่อนำความร้อนทั้ง 3 ส่วน มาเฉลี่ยค่าตามพื้นที่ก็จะได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV_i) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV_i = \frac{(A_w \times U_w \times TD_{eq}) + (A_f \times U_f \times \Delta T) + (A_i \times SC \times SF)}{A_i} \quad (1)$$

และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคาร (OTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV_i) คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV = \frac{\sum (OTTV_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad (2)$$

สมการ (1) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างไปรับแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR) ได้ดังนี้

$$OTTV_i = (1 - WWR)(TD_{eq})(U_w) + (WWR)(\Delta T)(U_f) + (WWR)(SC)(SF) \quad (3)$$

ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV = (U_r)(1 - RSR)(TD_{eq}) + (U_r)(RSR)(\Delta T) + (SC)(RSR)(SF) \quad (4)$$

3.การคำนวณค่าความร้อนจากภายนอกอาคารโดยวิธี Transfer Function Method

3.1 ค่าความร้อนที่ผ่านผนังและหลังคา

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคา สามารถคำนวณได้โดยใช้ Transfer Function Method (TFM) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคา โดยจะคิดละเอียดถึงส่วนประกอบของผนังและหลังคา โดยการคำนวณจะแบ่งช่วงเวลาเป็นชั่วโมงและคิดผลของความร่อนสะสมจากชั่วโมงที่ผ่านมาด้วย

ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคา โดยวิธี Transfer Function Method (TFM) ได้ใช้ Sol - Air Temperature แทนสภาพภายนอกบริเวณปรับอากาศและได้สมมติว่าอุณหภูมิภายในบริเวณปรับอากาศและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวทั้งภายในและภายนอกมีค่าคงที่

ค่าความร้อนที่ผ่านผนังและหลังคาอาคารสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$q_{e,0} = A \left[\sum_{n=0} b_n (t_{e,0-n\delta}) - \sum_{n=1} d_n \left(\frac{q_{e,0-n\delta}}{A} \right) - T_{rc} \sum_{n=0} c_n \right] \quad (5)$$

3.2 ค่าความร้อนที่ผ่านกระจก

ค่าความร้อนที่ผ่านกระจกนั้นจะประกอบด้วยความร้อน 2 แบบ คือความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนกับความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีอาทิตย์ตามสมการ (6)

$$q_g = U_g A_g (T_o - T_{rc}) + A_g (SC)(SHGF) \quad (6)$$

4. การคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี Transfer Function

Method

การหาค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธี Transfer Function Method เป็นวิธีการหาค่าภาระการทำความเย็น โดยใช้หลักการ Finite Element แบ่งผนังออกเป็นช่วงๆ เพื่อที่จะคิดถึงผลของการเก็บกักความร้อน การหาค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี Transfer Function Method นี้ค่อนข้างจะยุ่งยากซับซ้อนเพราะการคำนวณจะต้องทำการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นชั่วโมงและจะต้องนำความร้อนที่ได้รับและค่าภาระการทำความเย็นในชั่วโมงที่ผ่านมาแล้วมาใช้ในการคำนวณด้วยการหาค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธี Transfer Function Method สามารถคำนวณค่าภาระการทำความเย็นได้ตามสมการที่ 7 ซึ่งค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้นี้จะเป็นฟังก์ชันของค่าความร้อนที่ได้รับและค่าภาระการทำความเย็นที่เวลาก่อนหน้านั้น

$$Q_{\theta} = v_0 q_{\theta} + v_1 q_{\theta-\delta} + v_2 q_{\theta-2\delta} - w_1 Q_{\theta-\delta} \quad (7)$$

จากสมการที่ 7 จะเห็นว่าการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นที่เวลาใดๆจะต้องใช้ค่าความร้อนที่ได้รับและค่าภาระการทำความเย็นของเวลาที่ผ่านมาแล้วในการคำนวณ ถ้ากำหนดให้ Q_{θ} และ q_{θ} คือค่าภาระการทำความเย็นและค่าความร้อนที่ได้รับของเวลาปัจจุบันที่กำลังทำการหาค่าอยู่ ค่า $q_{\theta-\delta}$ คือค่าความร้อนที่ได้รับของเวลาที่ผ่านมา 1 ชั่วโมงของเวลาปัจจุบัน ค่า $q_{\theta-2\delta}$ คือค่าความร้อนที่ได้รับของเวลาที่ผ่านมา 2 ชั่วโมงของเวลาปัจจุบัน และค่า $Q_{\theta-\delta}$ คือค่าภาระการทำความเย็นของเวลาที่ผ่านมา 1 ชั่วโมงของเวลาปัจจุบัน

ค่าความร้อนที่ได้รับที่เวลาต่างๆ สามารถหาได้จากสมการที่ 5 และ 6 แต่สำหรับค่าภาระการทำความเย็นของเวลา 1 ชั่วโมงก่อนหน้า ชั่วโมงที่ 1 ของการคำนวณยังไม่ทราบค่า สมมติให้เป็นชั่วโมงที่ศูนย์ และต้องกำหนดค่านี้ให้เท่ากับศูนย์ก่อน เมื่อทำการคำนวณครบรอบ 1 รอบคือ 24 ชั่วโมงแล้วจะต้องทำการคำนวณซ้ำอีกรอบโดยใช้ผลของการคำนวณในรอบที่ผ่านมา เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับรอบที่แล้ว ถ้าค่าที่ได้ยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ให้ทำการคำนวณซ้ำอีกจนกระทั่งค่าภาระการทำความเย็นที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนค่า v_0 , v_1 , v_2 และ w_1 คือค่า Room Transfer Function ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของความร้อนที่ได้รับ

5. สมการวิเคราะห์การถดถอย

จากผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น [1] ระหว่าง OTTV และ RTTV กับภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายนอกของอาคาร สามารถนำค่า OTTV และ RTTV ไปประเมินหาค่าภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายนอกของอาคาร โดยใช้สมการที่ 8, 10 และ 12

สำหรับผนังด้านทิศ N-E-W-S

$$\text{Cooling load (W/m}^2\text{)} = 0.598 \times \text{OTTV} + k_1 \quad (8)$$

โดยที่ k_1 คือค่าตัดแกน Cooling load ที่ WWR ใดๆ สำหรับทิศ N-E-W-S

$$k_1 = 15.622 \times \text{WWR} + 0.0494 \quad (9)$$

สำหรับผนังด้านทิศ NE-SE-NW-SW

$$\text{Cooling load (W/m}^2\text{)} = 0.602 \times \text{OTTV} + k_2 \quad (10)$$

โดยที่ k_2 คือค่าตัดแกน Cooling load ที่ WWR ใดๆ สำหรับทิศ NE-SE-NW-SW

$$k_2 = 16.814 \times \text{WWR} + 0.0552 \quad (11)$$

สำหรับหลังคาอาคาร

$$\text{Cooling load (W/m}^2\text{)} = 0.7707 \times \text{RTTV} - 3.0781 \quad (12)$$

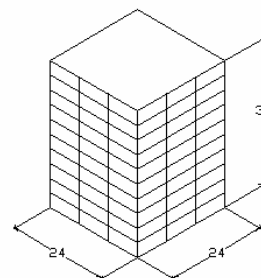
6. การเปรียบเทียบผลการคำนวณ

ในการศึกษานี้จะกำหนดแบบจำลองอาคารขึ้นมาจำนวนสี่แบบเพื่อคำนวณเปรียบเทียบค่าระหว่างภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จาก [1] กับภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี TFM โดยรูปแบบและลักษณะโครงสร้างอาคารทั้งสี่แบบถูกกำหนดขึ้นดังนี้

6.1 แบบจำลองอาคารที่ 1

อาคารสำนักงานสูง 10 ชั้นมีขนาดพื้นที่ 24×24 ตารางเมตร แต่ละชั้นสูง 3.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 มีลักษณะโครงสร้างและสถาปัตยกรรมเหมือนกันทั้ง 4 ด้าน ลักษณะของโครงสร้างถูกกำหนดขึ้นดังนี้

- (1) เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 500 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่เหลี่ยม)
- (2) คานคอนกรีตเสริมเหล็ก 250 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่เหลี่ยม)
- (3) ผนังอิฐฉาบปูนทำจากปูนฉาบหนา 10 มิลลิเมตร+อิฐแห้งหนา 100 มิลลิเมตร+ฉาบปูนหนา 10 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่เหลี่ยม)
- (4) หลังคาทำจากคอนกรีตหนา 100 มิลลิเมตร+ช่องว่างอากาศ 100 มิลลิเมตร+ฉนวนใยแก้วหนา 50 มิลลิเมตร+แผ่นยิปซัม 10 มิลลิเมตร (หลังคาสีคอนกรีต)
- (5) กระเบื้องสีบรอนซ์หนา 10 มิลลิเมตร (สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระเบื้อง, $SC_f=0.57$) และไม่มีอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร

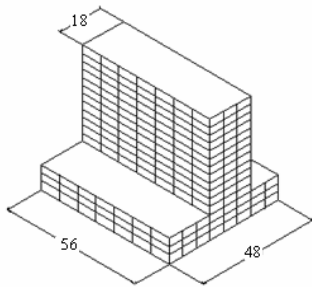


รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองอาคารที่ 1 สำนักงานสูง 10 ชั้น และกำหนดให้เส้นในแนวตั้งแทนจำนวนเสาและเส้นในแนวนอนแทนจำนวนคาน

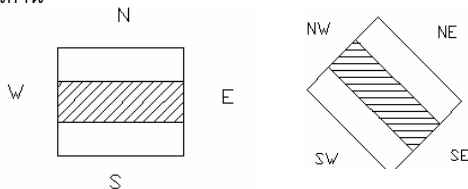
6.2 แบบจำลองอาคารที่ 2

โรงแรมสูง 15 ชั้น ชั้นที่ 1-3 มีขนาดพื้นที่ 18×56 ตารางเมตร ชั้นที่ 4-15 มีขนาดพื้นที่ 48×56 ตารางเมตร ชั้นที่ 1 สูง 3.5 เมตรและชั้นที่ 2-15 สูงชั้นละ 3 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 มีลักษณะโครงสร้างและสถาปัตยกรรมทางด้านทิศเหนือเหมือนทางด้านทิศใต้ และทางด้านทิศตะวันออกเหมือนด้านทิศตะวันตก ลักษณะของโครงสร้างอาคารถูกกำหนดขึ้นดังนี้

- (1) เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 500 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)
- (2) คานคอนกรีตเสริมเหล็ก 250 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)
- (3) ผนังทำจากปูนฉาบหนา 10 มิลลิเมตร+อิฐแห้งหนา 100 มิลลิเมตร+ช่องว่างอากาศ 100 มิลลิเมตร+แผ่นยิปซัมบอร์ด 12 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)
- (4) หลังคาชั้นที่ 15 มีพื้นที่ 1008 ตารางเมตร ทำจากคอนกรีตหนา 100 มิลลิเมตร+ช่องว่างอากาศ 100 มิลลิเมตร+ฉนวนใยแก้วหนา 50 มิลลิเมตร+แผ่นยิปซัม 10 มิลลิเมตร (หลังคามีสีคอนข้างเข้ม)
- (5) หลังคาชั้นที่ 3 มีพื้นที่ 1680 ตารางเมตร ทำจากหินล้าง หนา 15 มิลลิเมตร+คอนกรีตหนา 100 มิลลิเมตร+ช่องว่างอากาศ 100 มิลลิเมตร+ฉนวนใยแก้วหนา 50 มิลลิเมตร+แผ่นยิปซัม 10 มิลลิเมตร
- (6) หน้าต่างเป็นกระจกสีชาหนา 10 มิลลิเมตร ($SC_g=0.52$) โดยที่หน้าต่างทุกบานของอาคารด้านกว้าง 56 เมตรมีอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (ชนิดแนวนอนยื่นและที่บังมีระยะห่าง)



รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองอาคารแบบที่ 2 โรงแรมสูง 15 ชั้น และกำหนดให้เส้นในแนวตั้งของรูปแทนจำนวนเสาและเส้นในแนวนอนแทนจำนวนคาน



รูปที่ 3 แสดงการวางตำแหน่งทิศทางของอาคาร เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็น

6.3 แบบจำลองอาคารที่ 3

อาคารสำนักงานสูง 6 ชั้น มีขนาดพื้นที่ 482.8 ตารางเมตร แต่ละชั้นสูง 3 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 มีลักษณะโครงสร้างและสถาปัตยกรรมเหมือนกันทั้ง 8 ด้าน ลักษณะของโครงสร้างอาคารถูกกำหนดขึ้นดังนี้

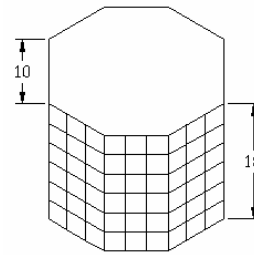
- (1) เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 300 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)

- (2) คานคอนกรีตเสริมเหล็ก 200 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)

- (3) ผนังอิฐฉาบปูน ประกอบด้วยปูนฉาบ Stucco หนา 15 มิลลิเมตร+อิฐแห้งหนา 100 มิลลิเมตร+ปูนฉาบพลาสติก 12 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)

- (4) หลังคาประกอบด้วยชั้นของ พลาสติก 15 มม.+คอนกรีตหนา 100 มิลลิเมตร+ช่องว่างอากาศ +ฉนวนใยแก้วหนา 50 มิลลิเมตร+แผ่นยิปซัม 12 มิลลิเมตร (หลังคามีสีคอนข้างเข้ม)

- (5) กระจกสีชาหนา 10 มิลลิเมตร (สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก, $SC_g=0.52$)

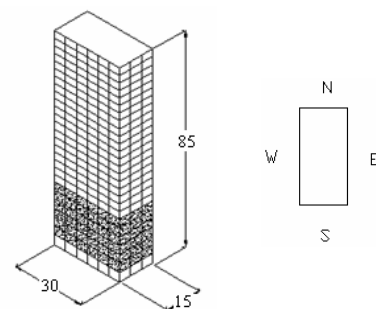


รูปที่ 4 แสดงแบบจำลองอาคารแบบที่ 3 เป็นสำนักงานสูง 6 ชั้น

6.4 แบบจำลองอาคารที่ 4

โรงแรมสูง 27 ชั้น มีขนาดพื้นที่ 15×30 ตารางเมตร โดยชั้นที่ 1 สูง 4 เมตร, ชั้นที่ 2-7 สูงชั้นละ 3.5 เมตรเป็นผนังทึบทั้งหมด และชั้นที่ 8-27 สูงชั้นละ 3 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5 มีลักษณะโครงสร้างและสถาปัตยกรรมทางด้านทิศเหนือเหมือนทางด้านทิศใต้ และทางด้านทิศตะวันออกเหมือนด้านทิศตะวันตก ลักษณะของโครงสร้างอาคารถูกกำหนดขึ้นดังนี้

- (1) เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 500 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)
- (2) คานคอนกรีตเสริมเหล็ก 300 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)
- (3) ผนังตัวอาคารประกอบด้วยชั้นของ ปูนฉาบ Stucco หนา 25 มม.+คอนกรีตหนา 100 มม.+ฉนวนหนา 15 มม.+ปูนฉาบพลาสติก 20 มิลลิเมตร (ทาด้วยสี่อ่อน)
- (4) หลังคาประกอบด้วยชั้นของ คอนกรีต 100 มม.+ช่องว่างอากาศ + ฉนวนใยแก้วหนา 50 มิลลิเมตร+แผ่นยิปซัมหนา 10 มิลลิเมตร (หลังคามีสีคอนข้างเข้ม)
- (5) กระจกสีชาหนา 10 มิลลิเมตร (สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก, $SC_g=0.52$)



รูปที่ 5 แสดงแบบจำลองอาคารที่ 4 เป็นอาคารสูง 27 ชั้น กำหนดให้เส้นในแนวตั้งของรูปแทนจำนวนเสา และเส้นในแนวนอนแทนจำนวนคานของอาคาร

6.5 ผลการเปรียบเทียบค่าระหว่างภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จาก TFM กับภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากสมการวิเคราะห์การถดถอย [1]

ในการเปรียบเทียบได้ทำการปรับเปลี่ยนทิศการวางแบบจำลองอาคารไว้ในทิศเหนือ-ทิศใต้-ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันออกเฉียงใต้-ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งในแต่ละทิศของการวางแบบจำลองอาคารได้คำนวณ และเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นที่อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนัง (WWR) ตั้งแต่ 0% ถึง 100%

และจากผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จาก TFM กับภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากสมการที่ 8, 10 และ 12 [1] ของแบบจำลองอาคารที่กำหนดขึ้นทั้งสี่แบบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมีค่าสูง เมื่อนำค่า OTTV และ RTTV สำหรับหลังคาที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนมาประเมินค่าภาระการทำความเย็น

ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณค่า OTTV, ค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีต่างๆ และผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของแบบจำลองอาคารที่ 1 ในทิศ N-E-W-S และทิศ NE-SE-SW-NW

WWR	N-E-W-S				NE-SE-SW-NW			
	OTTV	CL โดย TFM	CL โดย สมการ ที่ 8	%(a) ความแตกต่าง	OTTV	CL โดย TFM	CL โดย สมการ ที่ 10	%(b) ความแตกต่าง
0	28.66	18.86	17.19	8.86	28.66	19.08	17.31	9.28
0.1	35.42	23.80	22.79	4.21	35.26	24.13	22.96	4.84
0.2	42.16	28.73	28.39	1.18	42.17	29.17	28.80	1.26
0.3	48.92	33.66	33.99	0.96	48.93	34.22	34.56	-0.97
0.4	55.67	38.60	39.59	-2.57	55.68	39.27	40.30	-2.63
0.5	62.42	43.54	45.19	-3.79	62.44	44.32	46.05	-3.91
0.6	69.17	48.46	50.79	-4.79	69.19	49.36	51.80	-4.94
0.7	75.92	53.39	56.39	-5.60	75.94	54.40	57.54	-5.77
0.8	82.67	58.33	61.98	-6.26	82.70	59.45	63.29	-6.46
0.9	89.42	63.26	67.58	-6.83	89.45	64.50	69.04	-7.04
1.0	96.17	68.20	73.18	-7.30	96.21	69.55	74.79	-7.54

ตารางที่ 2 แสดงผลการคำนวณค่า RTTV, ค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีต่างๆ และผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของแบบจำลองอาคารที่ 1

ฉนวนความร้อน	RTTV	HG โดย TFM	CL โดย TFM	CL โดย สมการที่ 12	%(c) ความแตกต่าง
ติดตั้ง	14.40	10.71	10.15	8.02	21
ไม่ติดตั้ง	50.40	37.50	35.53	35.77	-0.66

HG = Heat Gain CL = Cooling load TFM = Transfer Function Method Unit = W/m²

a) %ความแตกต่างระหว่าง Cooling load ที่คำนวณโดย TFM กับ Cooling load ที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 8 [1]

(b) % ความแตกต่างระหว่าง Cooling load ที่คำนวณโดย TFM กับ Cooling load ที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 10 [1]

(c) % ความแตกต่างระหว่าง Cooling load ที่คำนวณโดย TFM กับ Cooling load ที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 12 [1]

ตารางที่ 3 แสดงผลการคำนวณค่า OTTV, ค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีต่างๆ และผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของแบบจำลองอาคารที่ 2 ในทิศ N-E-W-S และทิศ NE-SE-SW-NW

WWR	N-E-W-S				NE-SE-SW-NW			
	OTTV	CL โดย TFM	CL โดย สมการ ที่ 8	%(a) ความแตกต่าง	OTTV	CL โดย TFM	CL โดย สมการ ที่ 10	%(b) ความแตกต่าง
0	21.34	12.41	12.81	-3.21	21.34	12.82	12.90	-0.62
0.1	27.36	16.81	17.97	-6.91	27.58	17.67	18.34	-3.79
0.2	33.38	21.21	23.13	-9.08	33.83	22.52	23.78	-5.62
0.3	39.40	25.61	28.30	-10.5	40.08	27.36	29.23	-6.80
0.4	45.42	30.01	33.46	-11.5	46.32	32.21	34.66	-7.61
0.5	51.44	34.40	38.62	-12.25	52.57	37.06	40.11	-8.22
0.6	57.47	38.80	43.79	-12.85	58.81	41.91	45.55	-8.68
0.7	63.49	43.20	48.95	-13.31	65.06	46.76	50.99	-7.98
0.8	69.51	47.60	54.11	-13.68	71.31	51.60	56.43	-9.36
0.9	75.53	52.00	59.28	-14.00	77.55	56.45	61.87	-9.60
1.0	81.55	56.40	64.44	-14.25	83.80	61.30	67.32	-9.81

ตารางที่ 4 แสดงผลการคำนวณค่า RTTV, ค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีต่างๆ และผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของแบบจำลองอาคารที่ 2

ฉนวนความร้อน	RTTV	HG โดย TFM	CL โดย TFM	CL โดย สมการที่ 12	%(c) ความแตกต่าง
ติดตั้ง	14.40	10.71	10.15	8.02	21
ไม่ติดตั้ง	50.40	37.50	35.53	35.76	-0.66

ตารางที่ 5 แสดงผลการคำนวณค่า OTTV, ค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีต่างๆ และผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของแบบจำลองอาคารที่ 3 ในทิศ N-E-W-S และทิศ NE-SE-SW-NW

WWR	N-E-W-S				NE-SE-SW-NW			
	OTTV	CL โดย TFM	CL โดย สมการ ที่ 8	%(a) ความแตกต่าง	OTTV	CL โดย TFM	CL โดย สมการ ที่ 10	%(b) ความแตกต่าง
0	29.06	16.61	17.43	-4.90	29.06	16.70	17.55	-5.09
0.1	34.83	21.11	22.44	-6.30	34.83	21.29	22.70	-6.62
0.2	40.60	25.61	27.45	-7.21	40.61	25.89	27.87	-7.64
0.3	46.37	30.10	32.47	-7.85	46.38	30.48	33.02	-8.33
0.4	52.14	34.60	37.48	-8.33	52.15	35.07	38.18	-8.84
0.5	57.89	39.05	42.48	-8.78	57.91	39.62	43.32	-9.34
0.6	63.64	43.55	47.48	-9.01	63.65	44.10	48.46	-9.90
0.7	69.14	48.05	52.49	-9.24	69.43	48.82	53.62	-9.84
0.8	75.18	52.55	57.50	-9.44	75.20	53.41	58.78	-10.05
0.9	80.95	57.04	62.52	-9.60	80.97	58.00	63.93	-10.22
1.0	86.72	61.54	67.53	-9.74	86.75	62.60	69.09	-10.38

ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณค่า RTTV, ค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีต่างๆ และผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของแบบจำลองอาคารที่ 3

จำนวน ความ ร้อน	RTTV	HG โดย TFM	CL โดย TFM	CL โดย สมการที่ 12	%(c) ความ แตกต่าง
ติดตั้ง	19.20	7.32	7.15	11.72	-63.99
ไม่ติดตั้ง	48.00	24.64	23.82	33.92	-42.38

ตารางที่ 7 แสดงผลการคำนวณค่า OTTV, ค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีต่างๆ และผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของแบบจำลองอาคารที่ 4 ในทิศ N-E-W-S

WWR	N-E-W-S				N-E-W-S			
	ไม่มีอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร				มีอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร			
	OTTV	CL โดย TFM	CL โดย สมการ ที่ 8	%(a) ความ ต่าง	OTTV	CL โดย TFM	CL โดย สมการ ที่ 10	%(b) ความ ต่าง
0	17.90	10.85	10.75	0.91	17.90	10.85	10.75	0.91
0.1	23.08	14.84	15.41	-3.84	22.38	14.37	14.99	-4.38
0.2	28.27	18.84	20.08	-6.60	26.87	17.88	19.24	-7.63
0.3	33.45	22.83	24.74	-8.39	31.35	21.39	23.48	-9.79
0.4	38.63	26.82	29.40	-9.63	35.84	24.90	27.73	-11.36
0.5	43.82	30.81	34.06	-10.57	40.32	28.42	31.97	-12.51
0.6	49.00	34.80	38.72	-11.28	44.80	31.93	36.21	-13.42
0.7	54.18	38.79	43.38	-11.84	49.29	35.44	40.46	-14.16
0.8	59.37	42.78	48.05	-12.32	53.77	38.95	44.70	-14.76
0.9	64.55	46.77	52.71	-12.70	58.26	42.46	48.95	-15.27
1.0	69.73	50.76	57.37	-13.01	62.74	45.98	53.19	-15.69

ตารางที่ 8 แสดงผลการคำนวณค่า RTTV, ค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีต่างๆ และผลการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของแบบจำลองอาคารที่ 4

จำนวน ความ ร้อน	RTTV	HG โดย TFM	CL โดย TFM	CL โดย สมการที่ 12	%(c) ความ แตกต่าง
ติดตั้ง	14.40	10.71	10.15	8.02	21
ไม่ติดตั้ง	50.40	37.50	35.53	35.77	-0.66

7. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV กับค่าภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายนอกของผนังอาคาร

จากผลการเปรียบเทียบค่าระหว่างภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จาก TFM กับภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากสมการที่ 8, 10 และ 12 [1] พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมีค่าสูง จึงได้หาความสัมพันธ์ใหม่ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่า OTTV กับภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายนอกของผนังอาคารที่ทุกๆ ค่าของ WWR ในทิศ N-E-W-S ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นและมีระดับค่าความเชื่อมั่น R^2 เท่ากับ 0.97 นอกจากนี้การหาความสัมพันธ์ยังได้พิจารณาค่า OTTV และภาระการทำความเย็นของ

เสากับคานด้วย ซึ่งต่างจาก [1] ที่พิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV กับภาระการทำความเย็นของผนังกำแพงเพียงอย่างเดียว

ผลจากการหาความสัมพันธ์ใหม่ สามารถแสดงเป็นสมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\text{Cooling load (W/m}^2\text{)} = 0.59729 \times \text{OTTV} + k_1 \quad (13)$$

โดยที่ k_1 คือค่าตัดแกน Cooling load ที่ WWR ใดๆ สำหรับทิศ N-E-W-S

$$k_1 = 10.69451 \times \text{WWR} - 0.08974 \quad (14)$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับทิศ NE-SE-NW-SW ความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV กับภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผนังภายนอกของอาคารมีลักษณะเหมือนกันกับความสัมพันธ์ในทิศ N-E-W-S

$$\text{Cooling load (W/m}^2\text{)} = 0.60137 \times \text{OTTV} + k_2 \quad (15)$$

โดยที่ k_2 คือค่าตัดแกน Cooling load ที่ WWR ใดๆ สำหรับทิศ NE-SE-NW-SW

$$k_2 = 11.50193 \times \text{WWR} + 0.00566 \quad (16)$$

8. สรุป

จากการศึกษาผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากสมการวิเคราะห์การถดถอย [1] (สมการที่ 8, 10 และ 12) กับค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี TFM โดยใช้แบบจำลองอาคารทั้งสี่แบบ พบว่าความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงเมื่อนำค่า OTTV และ RTTV สำหรับหลังคาที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนมาประเมินหาภาระการทำความเย็น จึงได้หาความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่า OTTV กับค่าภาระการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผนังภายนอกของอาคารได้ความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นและมีระดับค่าความเชื่อมั่น R^2 เท่ากับ 0.97 และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถหาค่า OTTV ไปประเมินหาภาระการทำความเย็นที่ใกล้เคียงกับภาระการทำความเย็นที่คำนวณโดยวิธี TFM โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 7% ในส่วนของภาระการทำความเย็นที่ประเมินได้จากค่า RTTV สำหรับหลังคาที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนต้องทำการหาความสัมพันธ์ใหม่เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปฐวี ประคองใจ. การศึกษาเพื่อการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร และหลังคา กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีมาตรฐาน [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2547
- [2] พงศกร ธัญญาธาดา. การหาค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณค่าโอทีทีวี [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2541

[3] พัฒนะ รักความสุข. การทำบัญชีพลังงานและการประเมินความร้อนเข้าสู่อาคารของโรงแรมขนาดใหญ่ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2530

[4] พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2538

[5] ASHRAE. "ASHRAE Handbook-Fundamental" Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers; 1997

สัญลักษณ์

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

TD_{eq} = ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ($^\circ C$)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ($^\circ C$)

A_w = พื้นที่ของผนังทึบ (m^2)

A_f = พื้นที่ของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (m^2)

A_i = พื้นที่ทั้งหมดของด้านที่พิจารณา = $A_w + A_f$

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (solar factor)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

RSR = อัตราส่วนพื้นที่ของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคาต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

$q_{e,\theta}$ = ความร้อนที่ผ่านผนังหรือหลังคาที่เวลา θ ใดๆ (W)

A = พื้นที่ (m^2)

θ = เวลา (ชั่วโมง)

δ = ช่วงเวลา

n = ดัชนี

$t_{e,\theta-n\delta}$ = Sol – Air Temperature ที่เวลา $\theta-n\delta$ ($^\circ C$)

t_c = อุณหภูมิคงที่ของอากาศภายใน ($^\circ C$)

b_n, c_n, d_n = สัมประสิทธิ์ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function Coefficients)

q_g = ค่าความร้อนที่ผ่านกระจก (W)

N = ทิศเหนือ

E = ทิศตะวันออก

W = ทิศตะวันตก

S = ทิศใต้

NE = ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

SE = ทิศตะวันออกเฉียงใต้

NW = ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

SW = ทิศตะวันตกเฉียงใต้