

การใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นในการคำนวณ
ภาระการทำความเย็นจากการนำความร้อนผ่านผนัง
Probabilistic Approach in Cooling Load Calculation
from Conduction Heat Gain through Wall

เทพฤทธิ์ ทองซูป¹ และ เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์²

¹นิสิตปริญญาเอก

²อาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ ฯ

โทร 0 – 2218 – 6622 โทรสาร 0 – 2252 – 2889 E-mail: chirdpun@hotmail.com²

Taperit Tongshoob¹ and Chirdpun Vitooraporn²

¹PhD Student

²Lecturer at Building Technology and Environment Laboratory, Mechanical Engineering Department,

Chulalongkorn University Phayathai Rd, Patumwan, Bangkok 10330

Tel: 0 – 2218 – 6622 Fax: 0 – 2252 – 2889 E-mail: chirdpun@hotmail.com²

บทคัดย่อ

มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการคำนวณภาระการทำความเย็น เช่น อุณหภูมิอากาศภายนอก, ความชื้นสัมพัทธ์, จำนวนคนและ กิจกรรมภายในพื้นที่ เป็นต้น ปัจจัยต่างๆ นี้สามารถที่จะผันแปรได้และ บ่อยครั้งที่เราไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอนแม้กระทั่งในช่วงเวลาที่ กำหนดสำหรับการคำนวณ ทำให้เกิดความไม่แน่นอนขึ้นในการคำนวณ และเป็นที่ยากที่จะหาคำตอบที่เหมาะสม การกำหนดเงื่อนไขการ ออกแบบที่แตกต่างกันในแต่ละกรณีจะส่งผลให้คำตอบที่ได้ออกมา ต่างกัน ดังนั้นกระบวนการในการตัดสินใจจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการ หาคำตอบที่เหมาะสม

บทความนี้จะแสดงการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น ซึ่งจะ เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมในการคำนวณภาระ การทำความเย็น โดยบทความนี้จะแสดงวิธีการประยุกต์ในการคำนวณ ภาระการทำความเย็นจากการนำความร้อนผ่านผนังภายใต้เงื่อนไขที่ กำหนด ซึ่งจะแสดงการคำนวณความน่าจะเป็นของภาระการทำความ เย็นที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน เมื่อเราทราบข้อมูลความ น่าจะเป็นของภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านผนัง ในแต่ละค่าแล้ว จะช่วยให้การตัดสินใจเลือกใช้ค่าภาระการทำความ เย็นที่เหมาะสมมีความเป็นเหตุเป็นผลมากขึ้น ผลที่ได้คือการจัด

การพลังงานที่มีประสิทธิภาพและความเสี่ยงในการลงทุนในระบบปรับอากาศจะลดลง

Abstract

There are many parameters that affecting the cooling load calculations, for example the outside temperature, the humidity ratio, the number and activity of people and etc. These parameters can be varied and frequently we can not afford to know the exact values of these parameters even at the specific time of calculation. This leads to the uncertainty in the calculation and hence the difficulty in justifying the appropriate results. Moreover different results can be obtained from various design conditions under consideration. Therefore a need for a decision making process is in fact a must in finding out the appropriate answer.

This paper demonstrates how the probability can be used as a decision tool for justifying the appropriate result from the cooling load calculation. The conduction heat gain through wall in specific condition, as one of the cooling load components, is used

to demonstrate the method proposed in this paper. The probability for each amount of heat gain under various design condition is calculated. Using this probability information, one can now logically decide for an appropriate amount of conduction heat gain used and hence the cooling load amount. This will lead to an efficient in energy management as well as a risk reduction in air conditioning system investment.

1. บทนำ

การคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling Load) คือ การคำนวณค่าความร้อน (Heat Gain) ที่ต้องขจัดออกไปจากบริเวณที่ต้องการปรับอากาศที่เวลาใดๆ เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ได้ตามที่ต้องการ มีปัจจัยต่างๆมากมายที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ เช่น อุณหภูมิภายนอก, ความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนคนและกิจกรรมในพื้นที่ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ยากที่จะประมาณค่าที่แม่นยำและหาความสัมพันธ์ได้ ทำให้ขนาดของภาระการทำความเย็นสามารถแปรผันได้ในช่วงกว้างตลอด 24 ชั่วโมง บ่อยครั้งที่การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่แน่นอนได้ การวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นจึงมุ่งเน้นไปที่ค่าสูงสุดสำหรับแต่ละพื้นที่ และยังมีผลของการสะสมความร้อนในกระบวนการอีกด้วย ทำให้ต้องมีการใช้สมมติฐานและรูปแบบจำลองต่างๆ ประกอบการคำนวณ ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเป็นแบบการประมาณค่า มิได้เป็นการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นที่แน่นอน ณ เวลาที่คำนวณ

การอ้างอิงหรือใช้ค่าของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการคำนวณที่ต่างกัน ในเวลาเดียวกันย่อมทำให้ได้ผลลัพธ์ในการคำนวณออกมาต่างกัน โดยส่วนใหญ่แล้วการระบุค่าของปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณจะอ้างอิงจากมาตรฐานของ American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ซึ่งได้มาจากการศึกษาค้นคว้า เก็บข้อมูลและทดลองในห้องปฏิบัติการ แต่สิ่งที่มาตรฐานทั่วไปไม่ได้บอกไว้ คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดขึ้นจริงและการเบี่ยงเบนของค่ามาตรฐานนั้นเป็นเท่าใด หรือโอกาสในการเกิดของค่าอื่นๆ ที่ไม่ใช่ค่ามาตรฐาน ณ เวลาที่ทำการคำนวณมีมากน้อยเพียงใด ในมาตรฐานของ ASHRAE ได้กำหนดเงื่อนไขในการออกแบบ (Design Condition) ที่ค่าต่างๆในรูปของอุณหภูมิสูงสุดแบบกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ซึ่งมีได้เป็นการบ่งบอกโอกาสในการเกิดของภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้ เนื่องจากภาระการทำความเย็นนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆด้วยเช่น อัตราการใช้แสงสว่าง หรือ จำนวนคนในอาคาร เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ในบางครั้งมีความไม่แน่นอนและในบางกรณีไม่สามารถหาที่แท้จริงได้ เป็นสาเหตุให้เกิดความไม่แน่นอนขึ้นในผลลัพธ์ของการคำนวณภาระการทำความเย็น ทำให้ต้องมีการกำหนดค่าความปลอดภัยในการคำนวณ (Safety Factor) ไว้ในผลลัพธ์สุดท้ายของการคำนวณ

การคำนวณภาระการทำความเย็นจะมีความแม่นยำหรือไม่ ขึ้นอยู่กับรายละเอียดของค่าในปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการใช้ในการคำนวณ สาเหตุจากความไม่แน่นอนของข้อมูลเหล่านี้ ทำให้ต้องมีการปรับปรุงรูปแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณตลอดเวลา ความไม่แน่นอนจะเป็นตัวจำกัดความสามารถในการคำนวณค่าที่ถูกต้องตามทฤษฎี การใช้รูปแบบจำลองที่ง่ายเกินไปมีแนวโน้มทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มาจากการคำนวณ

มีความผิดพลาดได้มาก แม้ว่าข้อมูลที่ใส่เข้ามาในการคำนวณจะมีความแม่นยำมากก็ตาม ความแตกต่างระหว่างสมมติฐานและสภาวะจริงก็สามารถทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำข้อมูลสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการคำนวณมากขึ้น เพื่อลดสมมติฐานที่ไม่จำเป็นในการคำนวณลง

ในการแก้ไขปัญหาความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในการคำนวณภาระการทำความเย็น ก่อนอื่นเราจะต้องทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการคำนวณภาระการทำความเย็น ซึ่งเราสามารถแบ่งปัจจัยเหล่านั้นได้เป็นสองประเภท คือ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เช่น อุณหภูมิภายนอก ซึ่งจะส่งผลต่อความน่าจะเป็นของค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ประเภทที่สอง คือ ปัจจัยที่ควบคุมได้ เช่น ชนิดของผนังและสัมประสิทธิ์การกันแดดของกระจก ปัจจัยประเภทนี้จะไม่มีผลต่อความน่าจะเป็นของค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ค่ามาตรฐานของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้เนื่องจากสภาพภูมิอากาศภายนอก เช่น อุณหภูมิภายนอก ได้มาจากการเก็บข้อมูลและใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ ส่วนค่าของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ เช่น จำนวนคนหรือแสงสว่าง ได้มาจากการทดลองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ดังนั้นในแต่ละกรณีเราจึงมีค่าที่เป็นมาตรฐานเพียงค่าเดียวที่จะนำไปใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่ามาตรฐานนั้นอาจจะไม่เกิดขึ้นจริงก็ได้ ณ เวลาที่คำนวณ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในการคำนวณ ด้วยเหตุนี้ จึงเกิดแนวความคิดในการใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function; PDF) เข้ามาช่วยในการคำนวณภาระการทำความเย็น ภายใต้หลักการ “ค่าของปัจจัยไม่คงที่ที่ใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นนั้นควรใช้ค่าทุกค่าที่เป็นไปได้ของปัจจัยเหล่านั้น มิใช่ใช้เฉพาะค่าที่เป็นมาตรฐานค่าเดียว โดยจะมีฟังก์ชันความน่าจะเป็น เป็นตัวบ่งบอกโอกาสในการเกิดของค่าทุกค่าที่เป็นไปได้” ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจเลือกใช้ค่าภาระการทำความเย็นที่เหมาะสมมีความเป็นเหตุเป็นผลมากขึ้น และทำให้ความเสี่ยงในการลงทุนในระบบปรับอากาศลดลง

ความร้อนที่ต้องขจัดออกจากระบบในการคำนวณภาระการทำความเย็นมาจาก 3 ส่วน คือ ความร้อนจากภายนอก, ความร้อนจากภายใน และความร้อนจากการระบายอากาศทั้งนี้ความร้อนแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณที่ค่อนข้างมาก และจะขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมไม่ได้ที่แตกต่างกันหลายประการ ในบทความนี้จะขอยกกล่าวถึงเฉพาะความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังที่บ่งชี้ เพื่อแสดงเป็นตัวอย่างในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นในการคำนวณภาระการทำความเย็น

ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังที่บ่งชี้จากภายนอกเกิดจากปัจจัยหลายประการ แต่ปัจจัยที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อขนาดของภาระการทำความเย็นอย่างมากก็คือ อุณหภูมิภายนอก และค่าความร้อนจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นปัจจัยควบคุมไม่ได้ที่จะพิจารณาในบทความนี้ การแก้ปัญหานำความร้อนผ่านผนังที่บ่งชี้สามารถทำได้ โดยใช้วิธีสมมูลความร้อน แต่เนื่องจากผลของการสะสมความร้อนในผนังจะทำให้สมการมีความซับซ้อนขึ้น ดังนั้น เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจถึงวิธีการที่นำเสนอในบทความนี้ จึงสมมติว่าผนังที่ใช้มีค่าความจุความร้อนน้อยมากและไม่คิดถึงผลของการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิ

จากสมมุติฐานที่กำหนดขึ้นทำให้การกระทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านผนังที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมไม่ได้ 2 ประการ คือ อุณหภูมิภายนอก และค่าความร้อนจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ การคำนวณโดยทั่วไปนั้น มักจะกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบไว้ที่อุณหภูมิสูงสุดที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ค่าที่ได้จากการคำนวณจะไม่ใช้ค่าสูงสุดภายใต้เงื่อนไขในการออกแบบที่กำหนดไว้ เนื่องจากยังมีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้อีกปัจจัยก็คือ ค่าความร้อนจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ ที่มีผลต่อขนาดของภาระการทำความเย็น ดังนั้นการคำนวณภาระการทำความเย็นภายใต้เงื่อนไขในการออกแบบที่กำหนดจะต้องพิจารณาทั้งสองปัจจัยไปด้วยพร้อมๆ กัน จึงจะได้ค่าภาระการทำความเย็นภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจเลือกใช้ค่าภาระการทำความเย็นที่เหมาะสมมีความเป็นเหตุเป็นผลมากขึ้น

2. การใช้ความน่าจะเป็นในการคำนวณภาระการทำความเย็น

ค่าภาระการทำความเย็น Q_{cl} เกิดจากค่าความร้อนจากหลายส่วนด้วยกัน และแต่ละส่วนก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมไม่ได้ที่อาจจะแตกต่างกันหรือเหมือนกันก็ได้

ถ้ากำหนดให้ Q_1 และ Q_2 คือค่าความร้อนจากสองส่วน โดยที่ Q_1 ขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมไม่ได้ X_1, X_3 และ Q_2 ขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมไม่ได้ X_2, X_3 จะได้ว่าภาระการทำความเย็นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมไม่ได้สามปัจจัยคือ X_1, X_2, X_3 โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$Q_{cl}(X_1, X_2, X_3) = Q_1(X_1, X_3) + Q_2(X_2, X_3) \quad (1)$$

ถ้ากำหนดให้

$$Q_1(X_1, X_3) = f_1(X_1) + f_{13}(X_3) \quad (2)$$

$$Q_2(X_1, X_3) = f_2(X_2) + f_{23}(X_3) \quad (3)$$

โดย f_i หรือ f_{ij} เป็นฟังก์ชันของปัจจัยแต่ละตัว จะได้

$$Q_{cl}(X_1, X_2, X_3) = f_1(X_1) + f_2(X_2) + (f_{13}(X_3) + f_{23}(X_3)) \quad (4)$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่า ความน่าจะเป็นของการเกิดภาระความร้อน Q_{cl} จะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของทั้ง 3 ฟังก์ชัน คือ $f_1(X_1), f_2(X_2)$ และ $f_{13}(X_3) + f_{23}(X_3)$ ดังนั้นขั้นแรกก็ต้องหาความน่าจะเป็นของทั้ง 3 ฟังก์ชันนี้ก่อน

ถ้ากำหนดให้

$$X_1 \text{ มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น} = f_{px1}(X_1)$$

$$X_2 \text{ มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น} = f_{px2}(X_2)$$

$$X_3 \text{ มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น} = f_{px3}(X_3)$$

จากคณิตศาสตร์ความน่าจะเป็นเรื่องการเท่ากันของฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม (Cumulative Density function; CDF) บน ช่วง $f_1(X_1)$ และ บนโดเมน X_1 จะได้ PDF ของ $f_1(X_1)$ คือ

$$f_{pf1}(f_1(X_1)) = \frac{df_1^{-1}(X_1)}{df_1(X_1)} f_{px1}(f_1^{-1}(X_1)) \quad (5)$$

บนช่วงของ $f_2(X_2)$ และ บนโดเมนของ X_2 จะได้ PDF ของ $f_2(X_2)$ คือ

$$f_{pf2}(f_2(X_2)) = \frac{df_2^{-1}(X_2)}{df_2(X_2)} f_{px2}(f_2^{-1}(X_2)) \quad (6)$$

บนช่วงของ $f_3(X_3)$ และ บนโดเมนของ X_3 จะได้ PDF ของ $f_3(X_3)$ คือ

$$f_{pf3}(f_3(X_3)) = \frac{df_3^{-1}(X_3)}{df_3(X_3)} f_{px3}(f_3^{-1}(X_3)) \quad (7)$$

$$\text{เมื่อ } f_3(X_3) = f_{13}(X_3) + f_{23}(X_3) \quad (8)$$

การหาความน่าจะเป็นของ Q_{cl} นั้นจะต้องดูว่า ปัจจัยควบคุมไม่ได้ทั้ง 3 ปัจจัยนั้นเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ ถ้าทั้ง 3 ปัจจัย ไม่เป็นอิสระต่อกันโดยมี PDF ของความสัมพันธ์คือ $f_{px123}(X_1, X_2, X_3)$ การหาความน่าจะเป็นของ Q_{cl} ในกรณีนี้ ก็จะต้องทราบ PDF ของความสัมพันธ์ระหว่าง $f_1(X_1), f_2(X_2)$ และ $f_3(X_3)$ ก่อน โดยสามารถหาได้จาก

$$f_{pf123}(f_1(X_1), f_2(X_2), f_3(X_3)) = \frac{d(f_1^{-1}(X_1), f_2^{-1}(X_2), f_3^{-1}(X_3))}{d(f_1(X_1), f_2(X_2), f_3(X_3))} f_{px123}(f_1^{-1}(X_1), f_2^{-1}(X_2), f_3^{-1}(X_3)) \quad (9)$$

จะได้ความน่าจะเป็นของ Q_{cl} คือ

$$p(Q_{cl}) = \iiint f_{pf123}(f_1(X_1), f_2(X_2), f_3(X_3)) d(f_1(X_1), f_2(X_2), f_3(X_3)) \quad (10)$$

ในกรณีที่ปัจจัยควบคุมไม่ได้ทั้ง 3 ปัจจัยนั้นเป็นอิสระต่อกันจะสามารถหาความน่าจะเป็นของ Q_{cl} ได้จาก

$$p(Q_{cl}) = \iiint f_{pf1}(f_1(X_1)) \cdot f_{pf2}(f_2(X_2)) \cdot f_{pf3}(f_3(X_3)) df_1(X_1) df_2(X_2) df_3(X_3) \quad (11)$$

ในกรณีที่ปัจจัยควบคุมไม่ได้ 2 ปัจจัย (X_1, X_2) นั้นไม่เป็นอิสระต่อกันโดยมี PDF ของความสัมพันธ์คือ $f_{px12}(X_1, X_2)$ และอีกหนึ่งปัจจัย

X_3 เป็นอิสระ จากหลักการเดียวกันทั้งสองกรณีแรก จะสามารถหาความน่าจะเป็นของ Q_{cl} ได้จาก

$$p(Q_{cl}) = \iiint f_{pf12}(f_1(X_1), f_2(X_2)) \cdot f_{pf3}(f_3(X_3)) d(f_1(X_1), f_2(X_2)) df_3(X_3) \quad (12)$$

3. กรณีศึกษา

พิจารณาภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านผนังไม้ฉนวนหนา 3/8 นิ้ว พื้นที่ 10 ตร.เมตร ในเวลา 6:00 น ถึง 18:00 น. โดยมีค่าต่างๆ ดังนี้

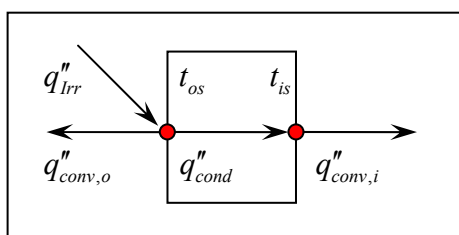
ความต้านทานความร้อนของผนัง $R = 1/115 m^2 K / W$
 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอก $h_o = 6.72 W / m^2 K$
 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายใน $h_i = 3.18 W / m^2 K$
 อุณหภูมิภายในมีค่าคงที่ $T_i = 24 ^\circ C$
 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผนัง $\alpha = 0.5$
 ข้อมูลสภาพอากาศภายนอกแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ข้อมูลสภาพอากาศจาก กรมอุตุนิยมวิทยา ณ สถานีกรุงเทพ ในปี 2003

	ค่าเฉลี่ย (E)	98%	Variance (σ)
อุณหภูมิ (T_{db})	$29.9 ^\circ C$	$36.1 ^\circ C$	$8.9 ^\circ C^2$
ความร้อนจาก แสงอาทิตย์ (I_G)	$392 W^2 / m^4$	$921 W^2 / m^4$	$8585 W^2 / m^4$

สมมติฐาน

- สมมติให้ผนังมีความจุความร้อนน้อยมาก การนำความร้อนผ่านผนัง จึงไม่คิดผลการสะสมของความร้อนในผนัง
- กำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวภายในผนัง หลังคา และพื้นทุกด้านมีค่าเท่ากัน จึงไม่มีผลของการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิ
- กำหนดให้อุณหภูมิภายนอกและค่าความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นอิสระต่อกัน และมีการกระจายข้อมูลแบบปกติ



รูปที่ 1: สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังจากสมมติฐานที่ตั้งขึ้น

การแก้ปัญหา

จากรูปที่ 1 พิจารณาสมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังภายนอก

$$\frac{(T_{os} - T_{is})}{R} = \alpha I_G + h_{co}(T_{os} - T_o) \quad (13)$$

สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังภายใน

$$\frac{(T_{os} - T_{is})}{R} = h_{ci}(T_{is} - T_i) \quad (14)$$

ค่าภาระการทำความเย็นจะเท่ากับค่าความร้อนจากกระบวนการพาความร้อนที่พื้นผิวผนังภายใน จากสมการ (E1) และ (E2) สามารถหาค่าภาระการทำความเย็น Q_{cl} ได้ดังนี้

$$Q_{cl} = \frac{Uh_i h_o A}{U(h_i + h_o) + h_i h_o} t_o + \frac{Uh_i \alpha A}{U(h_i + h_o) + h_i h_o} I_G + \frac{Uh_i h_o A}{U(h_i + h_o) + h_i h_o} t_i \quad (15)$$

ถ้าพิจารณาค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ 98 %

กรณีที่ 1 ใช้ค่า T_{db} ที่ 98 % และค่าเฉลี่ยของ I_G ในการคำนวณจะได้

$$Q_{cl} = 884 \text{ Watt}$$

กรณีที่ 2 ใช้ค่า I_G ที่ 98 % และค่าเฉลี่ยของ T_{db} ในการคำนวณจะได้

$$Q_{cl} = 1598 \text{ Watt}$$

กรณีที่ 3 ใช้ค่า T_{db} และ I_G ที่ 98 % ในการคำนวณจะได้

$$Q_{cl} = 1730 \text{ Watt}$$

จะเห็นว่าคำตอบที่ได้มีค่าตั้งแต่ $884 - 1730 W / m^2$ ซึ่งมีความผันแปรสูงมาก การหาค่าผลลัพธ์ที่เหมาะสมสามารถทำได้ตามหลักการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งสามารถหาค่า PDF ของ Q_{cl} ได้ดังสมการ (แสดงกราฟดังรูปที่ 2)

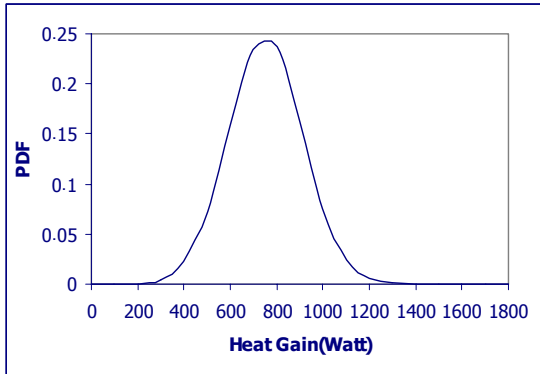
$$f_p(Q_{cl}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_q} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(Q_{cl} - E_q)}{\sigma_q}\right)^2\right) \quad (16)$$

เมื่อ

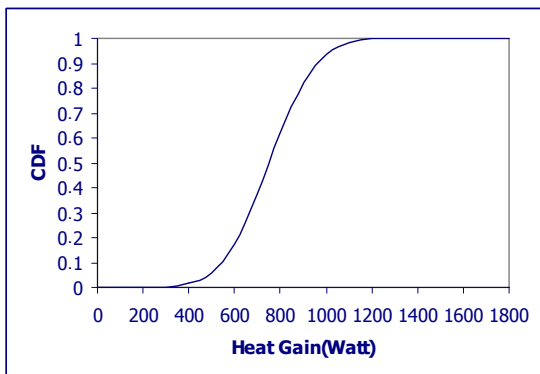
$$E_q = \frac{U h_i h_o}{U(h_i + h_o) + h_i h_o} E_t + \frac{U h_i \alpha}{U(h_i + h_o) + h_i h_o} E_i \quad (17)$$

$$\sigma_q = \sqrt{\left(\frac{U h_i h_o}{U(h_i + h_o) + h_i h_o} \right)^2 \sigma_t^2 + \left(\frac{U h_i \alpha}{U(h_i + h_o) + h_i h_o} \right)^2 \sigma_i^2} \quad (18)$$

สำหรับค่าความน่าจะเป็นของ Q_{cl} สามารถทำได้โดยการ
อินทิเกรตสมการ (E4) ซึ่งจะแสดงในกราฟดังรูปที่ 3



รูปที่ 2: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นผ่านผนังและค่า PDF



รูปที่ 3: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นผ่านผนังและค่า CDF

จากกราฟจะพบว่าค่าภาระการทำความเย็นแต่ละค่าจะมีค่า CDF (ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าภาระการทำความเย็นดังกล่าวจะไม่เกินค่านั้น) เฉพาะตัว เช่น ถ้าเรากำหนดเงื่อนไขการออกแบบไว้เท่ากับ 98 % จะได้ค่าภาระการทำความเย็นเท่ากับ 1083.6 Watt แสดงว่ามีโอกาสเพียง 2 % เท่านั้นที่ค่าภาระการทำความเย็นจะเกินค่าที่กำหนดไว้

ผลลัพธ์ของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นภายใต้เงื่อนไขการออกแบบต่างๆ ในแต่ละกรณีที่ได้กล่าวมาสามารถแทนลงไป ในกราฟดังรูปที่ 3 เพื่อหาค่า CDF ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ค่า CDF ที่ภาระการทำความเย็นต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

เงื่อนไขการออกแบบ	ค่าภาระการทำความเย็น	ค่า CDF
98 % T_{db} และ ค่าเฉลี่ย I_G	884	79.36 %
98 % I_G และ ค่าเฉลี่ย T_{db}	1598	99.99 %
98 % T_{db} และ 98 % I_G	1730	99.99 %
98 % Q_{cl}	1083.1	98.00 %

จากข้อมูลในตารางที่ 2 ทำให้เราสามารถตัดสินใจเลือกค่าภาระการทำความเย็นที่เหมาะสมได้ ภายใต้เงื่อนไขการออกแบบที่กำหนด เช่น ในกรณีที่เงื่อนไขการออกแบบเป็น 98 % ค่าภาระการทำความเย็นที่เหมาะสม คือ 1083.1 Watt

4. สรุป

แนวความคิดในการใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการคำนวณภาระการทำความเย็นถูกนำเสนอโดยผ่านตัวอย่างการนำความร้อนผ่านผนัง ภายใต้วิธีการดังกล่าวจะสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้ค่าภาระการทำความเย็นที่เหมาะสมและมีความเป็นเหตุเป็นผลมากขึ้น ภายใต้เงื่อนไขการออกแบบที่กำหนด ซึ่งทำให้เราทราบค่าโอกาสในการเกิดของภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้ และจะช่วยทำให้ความเสี่ยงในการลงทุนในระบบปรับอากาศลดลง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เทพฤทธิ์ ทองซุบ และ เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์, ปัญหาความไม่แน่นอนในการคำนวณภาระการทำความเย็น, บทความการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 2003
- [2] กรมอุตุนิยมวิทยา, ข้อมูลสภาพอากาศ ณ สถานีกรุงเทพ, 2003
- [3] ASHRAE, 2001 ASHRAE Handbooks Fundamental (SI), Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2001.
- [4] McQuiston, Faye C. and Spitler, Jeffery D., Cooling and Heating Load Calculation Manual, 2nd ed., American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1994.
- [5] McQuiston, Faye C., Parker, Jerald D. and Spitler, Jeffery D., Heating, Ventilating and Air-Conditioning; Analysis and Design, 5th ed., John Wiley & Son, 2000.
- [6] Stoecker, W.F., Design of Thermal System, 3rd ed., McGraw-Hill, 1989.

- [7] A. H-S Ang and W.H. Tang, Probability Concepts in Engineering Planning and Design, John Wiley, New York, 1975.
- [8] Jim Pitman, Probability, Springer Verlag, 1993.
- [9] S.C. Gupta, V.K. Kapoor, Fundamentals of Mathematical Statistics, Sultan Chand & Son, Delhi, 1973.
- [10] Pederson C.O., Development of Heat Balance for Cooling Load, ASHRAE Transaction, 1997.
- [11] Pederson C.O., Richard J. Liesen, An Evaluation of Inside Surface Heat Balance Model for Cooling Load Calculations, ASHRAE Transaction, 1997.
- [12] Pederson C.O., Todd M. McClellan, Investigation of Outside Heat Balance Models for Used in a Heat Balance, ASHRAE Transaction, 1997.