

การศึกษาและจำลองแบบระบบระบายความร้อนของ เพดานสำหรับบ้านพักอาศัย

A Study and Simulation of Ceiling Cooling Systems for the Residential Homes

ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง* และ ปิยะโรจน์ สมานคงศักดิ์*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา วิเคราะห์ และจำลองแบบระบบระบายความร้อนของเพดานสำหรับบ้านพักอาศัย โดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สำคัญด้วยหลักการสมดุลพลังงาน, หลักการถ่ายโอนความร้อน และวิธีการผลต่างสืบเนื่อง (Finite Different Method) โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบนี้ ใช้ตัวแปรหลัก 2 ตัว ประกอบด้วย อัตราการไหลของน้ำเย็นที่เข้าระบบที่ 4, 5 และ 5.5 L/min และอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าระบบที่ 16, 18 และ 20 °C โดยการกำหนดค่าตัวแปรข้างต้นเป็นไปตามสมรรถนะและข้อกำหนดของปั๊มน้ำและเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ โดยทำการทดลองที่ห้องนั่งเล่นภายในสำนักงานขายของหมู่บ้านนาแลนส์ อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา ผลการวิจัยพิจารณาใน 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าระบบมีค่าคงที่ที่ 16 °C ในกรณีที่ใช้อัตราการไหล 4 L/min มีค่าภาระความร้อนรวมตลอดการทดลอง 11.14 kWh ส่วนกรณีที่ใช้อัตราการไหล 5.5 L/min มีค่าภาระความร้อนรวมตลอดการทดลอง 10.94 kWh ซึ่งการใช้ อัตราการไหลสูงจะช่วยลดค่าภาระความร้อนรวมประมาณ 1.8 % เมื่อเทียบกับการใช้ อัตราการไหลต่ำ และในกรณีที่ 2 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำเย็นที่เข้า

ระบบมีค่าคงที่ที่ 4 L/min ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าระบบที่ 18 °C มีค่าภาระความร้อนรวมตลอดการทดลอง 11.16 kWh ส่วนกรณีที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าระบบที่ 16 °C มีค่าภาระความร้อนรวมตลอดการทดลอง 11.14 kWh ซึ่งการใช้ อุณหภูมิของน้ำเย็นมีค่าต่ำจะช่วยลดค่าภาระความร้อนรวมประมาณ 0.2 % เมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นค่าสูงกว่า สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ จากการจำลองแบบของระบบมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการทดลองจริงประมาณ 2-3%

Abstract

This research is the study, analysis and simulation of Ceiling Cooling Systems for the residential homes. This will be carried on by studying the relations of main parameters upon using the Principal of Energy Equilibrium, Principal of Heat Transfer, and Finite Different Method for the system simulations. There are 2 main variables to be considered. These are the water inlet flow rates of 4, 5, 5.5 L/min, and the water inlet temperatures of 16, 18, 20 °C. These variables are restricted by the specification of pump and chiller. Our field-work

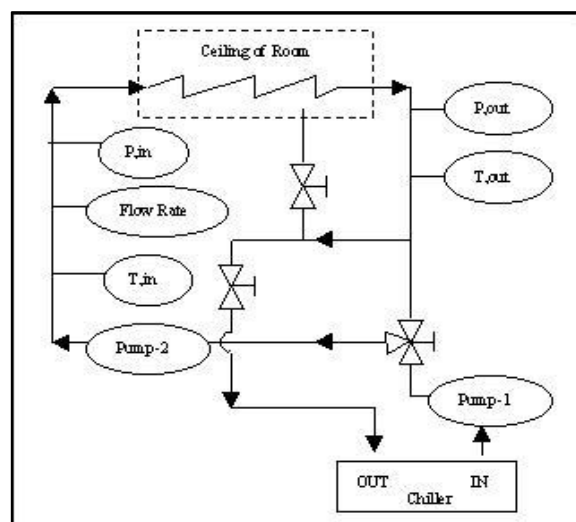
* ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

experiment has been simulated at the Vanaland village, Chacheongsao province, Thailand. From our study, in the first case when keeping the system water inlet temperature constant at 16 °C, with the water flow rate of 4 L/min, we have found the total cooling load of 11.14 kWh, comparing with that of the similar case of using water flow rate of 5.5 L/min, the total cooling load was found to be 10.94 kWh. When using the high water flow rate can reduce the total cooling load of 1.8% over using of low water flow rate and also, in second case when keeping the system inlet flow rate constant at 4 L/min, with the water inlet temperature of 18 °C, we have found the total cooling load of 11.16 kWh, comparing with that of the similar the case of using water inlet temperature of 16 °C, the total cooling load was found to be 11.14 kWh. Showing the using of low water inlet temperature can reduce the total cooling load of 0.2% over using of the high water inlet temperature. The results of simulation have error about 2-3% from the results of test.

1. บทนำ

ประเทศไทยอยู่ในบริเวณพื้นที่ร้อนซึ่งมีลักษณะอากาศร้อนชื้น ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานในกระบวนการปรับอากาศในปริมาณที่สูงขึ้นทุกวัน โดยระบบปรับอากาศในปัจจุบันพบว่ามีความต้องการใช้พลังงานสูงมาก มีเสียงรบกวนในขณะทำงาน สารที่ใช้ทำความเย็นเช่น R11, R12 พบว่ามีผลเสียต่อมนุษย์รวมถึงสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบระบายความร้อนและเพื่อทำความเย็นที่บริเวณเพดานสำหรับบ้านพักอาศัยมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบายความร้อนจากภายในบ้านพัก

อาศัยออกสู่ภายนอก และมุ่งเน้นเพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานให้ได้มากขึ้น รวมทั้งจะให้ความรู้สึกสบายมากกว่าระบบเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน ระบบระบายความร้อนสำหรับเพดานบ้านพักอาศัย นำมาใช้เพื่อระบายความร้อนออกจากบ้านพักอาศัย ซึ่งแบ่งประเภทความร้อนหลักๆ เป็นสองประเภทกล่าวคือ ประเภทแรกเป็นการถ่ายโอนความร้อนเกิดจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบสู่หลังคาและผนังอาคาร ในส่วนของหลังคาจะถ่ายโอนผ่านเพดานของบ้านพักอาศัยโดยรวม สำหรับประเทศไทยนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ประเภทที่สองการถ่ายโอนความร้อนออกจากร่างกายของผู้พักอาศัยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายในบ้านพัก ซึ่งการถ่ายโอนความร้อนนี้เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิร่างกายกับสิ่งแวดล้อมรอบๆ รวมทั้งความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆภายในอาคารดังกล่าว สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและจำลองแบบระบบระบายความร้อนของเพดานสำหรับบ้านพักอาศัย โดยมุ่งเน้นในการนำความร้อนจากภายในห้องออกสู่ภายนอก การลดอุณหภูมิของพื้นผิวต่างๆ ภายในห้องซึ่งส่งผลต่อการลดลงของการใช้พลังงาน, ลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศทั่วไป



รูปที่ 1 แผนผังแสดงการทำงานของระบบระบายความร้อนของเพดาน

2. หลักการทำงานของระบบ

ระบบระบายความร้อนของเพดานที่ใช้ในการทดลอง [1] จะทำงานโดยใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ขนาด 5 kW เพื่อทำน้ำเย็นผ่านปั๊มน้ำขนาดใหญ่ไปสู่ปั๊มน้ำขนาดเล็ก ไหลผ่านเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิ ผ่านมิเตอร์น้ำเพื่อวัดอัตราการไหล และผ่านเครื่องวัดความดันของน้ำเย็นที่ไหลเข้าระบบตามลำดับ หลังจากนั้นน้ำเย็นจะถูกส่งต่อเข้าไป เพื่อหมุนเวียนภายในท่อโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ขนาด 10 mm. ซึ่งติดตั้งฝังอยู่ในเพดานของห้องนั่งเล่นขนาด 2.90 m. x 3.90 m. ภายในหมู่บ้านนาแลนด์ อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา เมื่อน้ำเย็นไหลหมุนเวียนบนเพดานจะช่วยให้อุณหภูมิพื้นผิวของเพดานเย็นลง เมื่ออุณหภูมิของพื้นผิวเพดานต่ำกว่าอุณหภูมิของห้อง จะทำให้ความร้อนจากภายในห้องถูกถ่ายโอนสู่เพดานเพื่อระบายความร้อนออกสู่ภายนอกต่อไป ภายหลังจากที่น้ำเย็นไหลหมุนเวียนจนเสร็จก็จะผ่านเครื่องวัดความดัน ผ่านเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออกจากระบบตามลำดับแล้วจึงถูกส่งกลับไปเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อทำให้น้ำเย็นอย่างต่อเนื่องมีอุณหภูมิตามต้องการ เพื่อส่งกลับไปเพดานอีกครั้งการทำงานจะเป็นวัฏจักรเช่นนี้ต่อไปอย่างต่อเนื่อง

3. การจำลองแบบของระบบ

การศึกษาและจำลองแบบระบบระบายความร้อนของเพดานสำหรับบ้านพักอาศัย ในเบื้องต้นจะทำการพิจารณาพื้นผิวแต่ละส่วนของห้องนั่งเล่น และคำนวณหาภาระความร้อนรวม (Total Cooling Load) ที่ห้องได้รับ ซึ่งจะประกอบด้วยภาระความร้อน 2 ส่วนคือ

3.1 ภาระความร้อนจากภายนอก ซึ่งประกอบด้วยภาระความร้อนจากเพดาน ภาระความร้อนจากผนัง และภาระความร้อนจากกระจก

3.1.1 ภาระความร้อนจากเพดาน ในเบื้องต้นจะทำการพิจารณาถึงอัตราการถ่ายโอนรังสีความร้อนสุทธิที่ผิววัตถุซึ่งเกิดจากแสงอาทิตย์ โดยมีสมมติฐานที่สำคัญคือ ความร้อนจากดวงอาทิตย์และบรรยากาศโลก

คิดเฉพาะรังสีตรงเท่านั้น ซึ่งจากกฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q''_{net,rad} = \alpha_s G_{solar} + \epsilon \sigma T_{sky}^4 - \epsilon \sigma T_s^4 \quad (1)$$

โดย α_s = ค่าการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของวัตถุที่อุณหภูมิห้อง

G_{solar} = พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบพื้นที่ของผิวราบ หนึ่งหน่วยบนผิวโลก

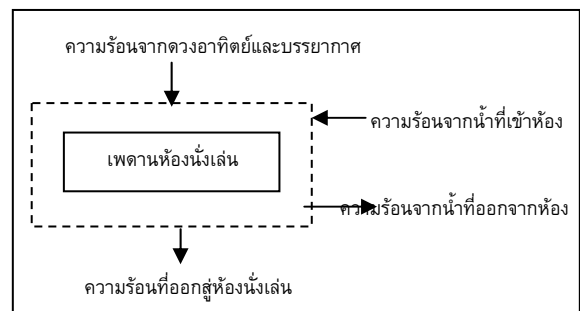
ϵ = ค่าการเปล่งรังสีของวัตถุที่อุณหภูมิห้อง

σ = ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann
= $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T_{sky} = อุณหภูมิท้องฟ้าประสิทธิภาพ มีค่าประมาณ 230 K ในวันที่อากาศเย็นและท้องฟ้าโปร่ง จนถึง 285 K ในวันที่อากาศอบอุ่น

T_s = อุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุ (K)

การพิจารณาแบบจำลองของระบบควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาพร้อมกับสมการ (1) และจากกฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่าในการหาค่าอุณหภูมิของพื้นผิวเพดานด้านใน (T_{ci}) จะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้



รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองของระบบเพดานห้องนั่งเล่น

$$T_{ci} = \left[\left(G_{solar} \alpha_s + \epsilon \sigma (T_{sky}^4 - T_s^4) \right) + h_o (T_{amb} - T_{co}) + \frac{\dot{m} c_{pw}}{A} (T_{wi} - T_{wo}) + h_i T_{room} - \frac{k T_{co}}{\Delta x} \right] \cdot \left[\frac{1}{h_i - \frac{k}{\Delta x}} \right] \quad (2)$$

- โดย A = พื้นที่ผิวด้านบนของเพดาน (m^2)
 h_i, h_o = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านใน/ด้านนอก
 ($W/m^2.K$)
 \dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)
 = 4.19 kJ/kg.K
 c_{pw} = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ($kJ/kg.K$)
 T_{wi} = อุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าสู่เพดาน (K)
 T_{wo} = อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเพดาน (K)
 k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเพดาน
 ($W/m.K$)
 T_{co} = อุณหภูมิของพื้นผิวเพดานด้านนอก (K)
 T_{ci} = อุณหภูมิของพื้นผิวเพดานด้านใน (K)
 T_{room} = อุณหภูมิห้อง (K)
 T_{amb} = อุณหภูมิบรรยากาศด้านนอก (K)
 Δx = ความหนาของเพดาน (m)

การวิเคราะห์พบว่าเพดานของห้องนั่งเล่นซึ่งอยู่ชั้นล่างของบ้านมี ส่วนประกอบที่สำคัญคือ ชั้นโพลีโพลีสไตรีนหนา 7 cm. ติดตั้งอยู่ในเพดานซึ่งโพลีโพลีสไตรีนคุณสมบัติเป็นฉนวน ดังนั้นจึงพิจารณาความร้อนด้านบนของเพดานจัดอยู่ในรูปแบบของกระบวนการที่ไม่มีมีการถ่ายโอนความร้อน (Adiabatic Process) ซึ่งสามารถตัดผลของความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และบรรยากาศโลกได้ โดยการแผ่รังสีและการพาจะได้อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่แสดงดังต่อไปนี้

$$T_{ci} = \frac{1}{h_i - \left(\frac{k}{\Delta x}\right)_{total}} * \left[\frac{\dot{m} c_{pw} (T_{wi} - T_{wo})}{A} + h_i T_{room} + h_o (T_{amb} - T_{room}) - \left(\frac{k}{\Delta x}\right)_{total} T_{co} \right] \quad (3)$$

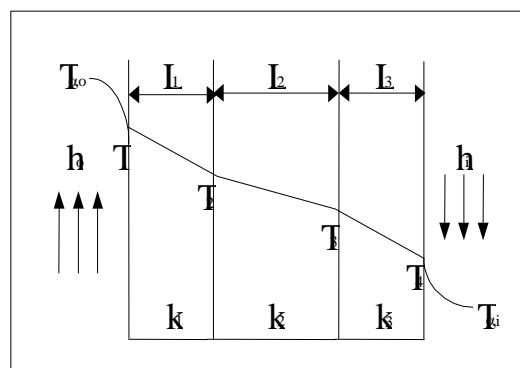
การพิจารณากระบวนการพาความร้อนของเพดาน จะพิจารณาการทำงานเปรียบเสมือนการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีค่าความแตกต่างอุณหภูมิแบบล็กกิ้น (LMTD Method) [2] โดยพิจารณาการวางท่อเป็นแบบท่อซ้อนท่อ

นำมาประยุกต์ใช้หาอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากเพดาน โดยใช้หลักการถ่ายโอนความร้อนในอีแวปอเรเตอร์ กล่าวคือให้อุณหภูมิในกระแสไหลลงที่ซึ่งเป็นกระแสน้ำเย็นเป็นค่าอุณหภูมิของเพดาน อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเวียนผ่านเพดานจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสามารถเขียนรูปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$T_{wo} = T_{wi} + (T_{Ceiling} - T_{wi}) \left[1 - e^{\frac{-UA_n}{\dot{m} c_{pw}}} \right] \quad (4)$$

- โดย $T_{Ceiling}$ = อุณหภูมิภายในเพดาน (K)
 \dot{m} = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเพดาน
 (L/min)
 n_p = จำนวนท่อโพลีเอทีลีน (HDPE) ที่ฝังอยู่ในเพดาน
 A = พื้นที่ผิวของท่อโพลีเอทีลีน 1 ท่อ

3.1.2 ภาวะความร้อนจากผนัง ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านทางผนัง พิจารณาหลักการถ่ายโอนความร้อนประกอบด้วย การพาความร้อนและการนำความร้อน [3-5] ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงอัตราการถ่ายโอนความร้อนหนึ่งมิติของผนังหลายชั้น

ในการพิจารณาหาอัตราการถ่ายโอนความร้อนหนึ่งมิติของผนังหลายชั้น มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q = UA(T_1 - T_4) \quad (W) \quad (5)$$

การวิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนผ่านผนัง โดยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Difference Method) หลักการที่สำคัญของวิธีการผลต่างสี่เหลี่ยมก็คือ การหาผลเฉลยโดยประมาณ โดยเริ่มจากการเขียนสมการเชิงอนุพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบของระบบสมการผลต่างสี่เหลี่ยม (System of Difference Equations) โดยข้อดีของวิธีการผลต่างสี่เหลี่ยมคือ เป็นวิธีการที่ง่ายแก่การศึกษาเหมาะสำหรับการออกแบบสิ่งที่ไม่ซับซ้อนรวมถึงสะดวกในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้คำนวณผลเฉลยของปัญหานั้นๆ โดยการคำนวณค่าการนำความร้อนโดยวิธีนี้จะได้อัตราค่าที่ใกล้เคียงกับวิธีแบบแม่นยำตรง แต่จะใช้การวิเคราะห์ที่ง่ายกว่ามา งานวิจัยนี้จะทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผนังโดยแบ่งผนังเป็นหลายๆ ชั้น ซึ่งพิจารณาผนังแยกเป็นส่วนเล็กๆ มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ A โดยที่ผิวผนังด้านนอกสุดกำหนดให้เป็น Node 1 ทำการแบ่งผนังเป็น 3 ชั้นประกอบด้วย ชั้นของยิบซัม ชั้นของโฟมโพลีสไตรีน และชั้นของอิฐก่อฉาบปูนตามลำดับ ทำการพิจารณาโดยใช้สมการสมดุลพลังงานที่ผนังด้านนอก (Node 1) ซึ่งจากหลักการสมดุลพลังงานและหลักการนำความร้อนใน 1 มิติซึ่งมีสมการความสัมพันธ์คือ

$$-kA \frac{\partial T}{\partial x} + q \cdot A dx = \rho c A \frac{\partial T}{\partial t} - A \left[k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] \quad (6)$$

ในการพิจารณาจะมีข้อสมมติฐานที่สำคัญ คือ ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านผนังจะคิดในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวเท่านั้น ไม่คิดผลของพลังงานที่เกิดขึ้นภายในผนัง ซึ่งจากสมการที่ (8) สามารถเขียนความสัมพันธ์ใหม่ได้ว่า

$$\rho c \frac{\Delta T_1}{\Delta t} \Delta x_1 A = G_1 \alpha A - h_o A (T_1 - T_{amb}) - k_1 A \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x_1} \quad (7)$$

โดย $\rho c \frac{\Delta T_1}{\Delta t} \Delta x_1 A$ = ความร้อนที่สะสมในผนังซึ่งร้อนขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

$G_1 \alpha A$ = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ของผนัง

$h_o A (T_1 - T_{amb})$ = ความร้อนที่ระบายสู่บรรยากาศด้านนอกโดยการพาและแผ่รังสีความร้อน

$k_1 A \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x_1}$ = ความร้อนที่ถ่ายโอนเข้าสู่ผนังด้านใน

จัดรูปสมการใหม่ได้สมการสมดุลพลังงานและอุณหภูมิที่ Node 1 ดังนี้

$$T_1^{t+\Delta t} = T_1^t + \frac{\Delta t}{\rho c \Delta x_1} \left[G_1 \alpha - h_o (T_1 - T_{amb}) - k_1 \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x_1} \right] \quad (8)$$

พิจารณาผนังชั้นที่ 2 จะมีค่าสมการสมดุลที่ตำแหน่ง Node 2 คือ

$$T_2^{t+\Delta t} = T_2^t + \frac{\Delta t}{\rho c \Delta x_2} \left[k_1 \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x_1} - k_2 \frac{(T_2 - T_3)}{\Delta x_2} \right] \quad (9)$$

สำหรับ Node 3 สามารถเขียนสมการสมดุลได้เช่นเดียวกัน ดังนี้

$$T_3^{t+\Delta t} = T_3^t + \frac{\Delta t}{\rho c \Delta x_3} \left[k_2 \frac{(T_2 - T_3)}{\Delta x_2} - k_3 \frac{(T_3 - T_4)}{\Delta x_3} \right] \quad (10)$$

สำหรับ Node 4 ซึ่งเป็นตำแหน่งของพื้นผิวผนังภายในอาคารซึ่งผนังจะมีการถ่ายโอนความร้อนสู่ภายในห้องสามารถเขียนสมการสมดุลพลังงานได้ดังนี้

$$T_4^{t+\Delta t} = T_4^t + \frac{\Delta t}{\rho c \Delta x_3} \left[k_3 \frac{(T_3 - T_4)}{\Delta x_3} - h_i (T_4 - T_{room}) \right] \quad (11)$$

3.1.3 ภาวะความร้อนจากกระจก ประกอบด้วย อัตราความร้อนผ่านกระจกโดยวิธีการนำความร้อนรวมกับอัตราความร้อนผ่านกระจกโดยวิธีการส่งผ่านความร้อน [6-7] ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์รวมดังนี้

$$Q = Q_c + Q_T = (UA \Delta T)_{avg} + (A x S C x S F) \quad (W) \quad (12)$$

3.2 ภาวะความร้อนจากภายใน ประกอบด้วย ภาวะความร้อนจากแสงสว่าง แบ่งเป็น หลอดไฟธรรมดา และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ภาวะความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ภาวะความร้อนจากคน ประกอบด้วย ภาวะความร้อนของคนจากความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง และ ภาวะความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศและการรั่วซึม หากค่าได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q = \dot{V} \rho c_p (T_{amb} - T_{room})_{avg} \quad (W) \quad (13)$$

โดย \dot{V} = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศภายในห้อง (m^3/h)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ = 1.2 kg/m^3

c_p = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ
= 1.005 kJ/kg.K

T_{amb} = อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (K)

T_{room} = อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (K)

4. หลักการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

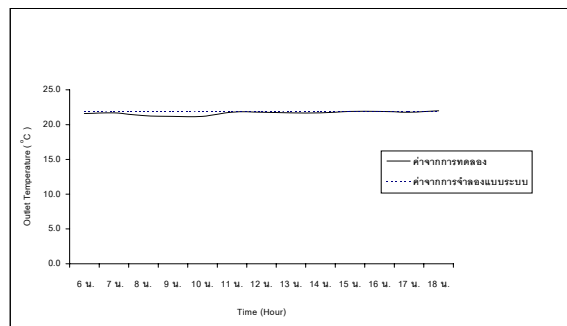
สำหรับโปรแกรมจำลองแบบระบบระบายความร้อนของผนังและเพดานสำหรับบ้านพักอาศัย (Surface Cooling Simulation System; SCSS) นี้จะทำการเลือกใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยใช้ภาษาเบสิก และมีรูปแบบเป็นฟอร์มต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้เลือกและป้อนค่าต่างๆ ได้ง่ายและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีความสวยงามอีกด้วย โดยหลักการทำงานของโปรแกรมมีดังต่อไปนี้ เมื่อเริ่มต้นโปรแกรมจะต้องทำการกำหนดตัวแปร ค่าคงที่ ฟังก์ชัน ป้อนค่าอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบ หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างๆ เช่น ค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเพดาน, ค่าอุณหภูมิของพื้นผิวเพดานด้านใน ค่าอุณหภูมิของผนังทุกด้าน ค่าภาระความร้อนรวมทั้งหมดตลอด 1 ชม. เป็นต้น จากนั้นโปรแกรมจะแสดงค่าผลลัพธ์ทั้งหมดและสามารถบันทึกค่าที่คำนวณได้

5. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

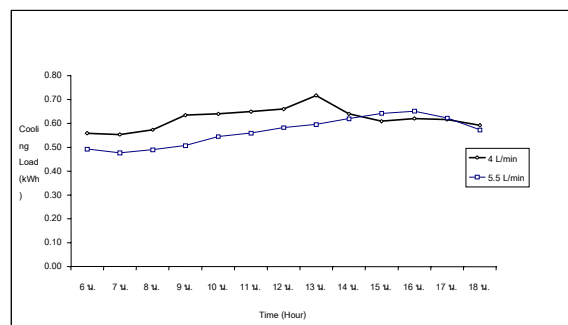
ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.1 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ

5.1.1 ผลกระทบของอัตราการไหลของน้ำเย็นที่เข้าระบบ จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ระบบที่มีอัตราการไหลสูงจะส่งผลกระทบต่อการลดลงของค่าภาระความร้อนรวมตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง ซึ่งรวมถึงการช่วยลดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าระบบที่ใช้อัตราการไหลต่ำ เพราะที่อัตราการไหลสูง น้ำจะสามารถดูดซับความร้อนได้มาก ทำให้ค่าภาระความร้อนรวมมีค่าลดลงมาก



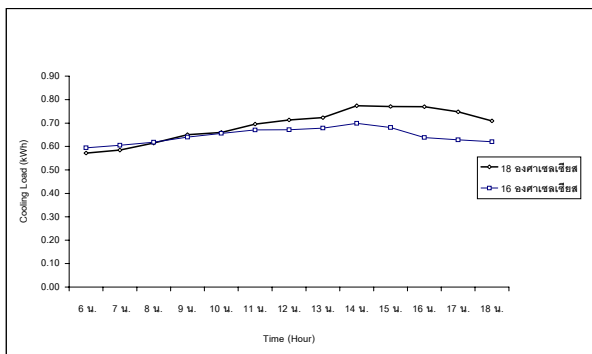
รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบผลของภาระความร้อนรวม ด้วยอุณหภูมิ น้ำเย็นเข้าระบบคงที่ที่ 18°C อัตราการไหล 4 L/min และ 5.5 L/min



รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบผลของภาระความร้อนรวมด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 5.5 L/min อุณหภูมิ น้ำเย็นเข้าระบบที่ 18°C และ 16°C

5.1.2 ผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าระบบจากการทดลอง พบว่าเมื่อใช้ระบบที่มีอุณหภูมิของน้ำเย็นมีค่าต่ำจะส่งผลกระทบต่อลดลงของค่าภาระความร้อน

รวมตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง ซึ่งรวมถึงการช่วยลดค่าความสิ้นเปลืองของพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าระบบที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าระบบที่มีค่าสูงเพราะที่อุณหภูมิของน้ำเย็นมีค่าต่ำ จะส่งผลให้อุณหภูมิของพื้นผิวเพดานด้านในเริ่มลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจะทำให้ความร้อนภายในห้องทดลองถูกถ่ายโอนเข้าสู่เพดานได้ดีกว่า ทำให้ค่าภาระความร้อนรวมมีค่าลดลงมากกว่า เพราะยังอุณหภูมิของพื้นผิวเพดานด้านในมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องมากเท่าไร ความร้อนภายในห้องก็จะถูกถ่ายโอนได้เร็วมากขึ้นเท่านั้น



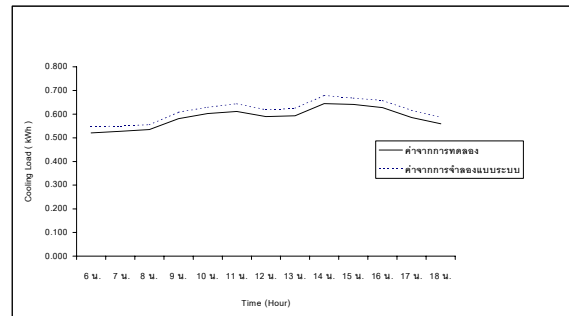
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่ได้จากการจำลอง แบบของระบบของอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเพดาน

5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลจากการทดลองและผลจากการจำลองแบบของระบบ โดยพิจารณาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.2.1 อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบ จากการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบทำความเย็นบนเพดานระหว่างค่าจากการจำลองแบบของระบบกับค่าจริงจากการทดลอง พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตลอดช่วงเวลากการทดลองประมาณ 1-2%

5.2.2 ค่าภาระความร้อนรวมตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง จากการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าภาระความร้อนรวมตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง ระหว่างค่าจากการจำลองแบบของระบบกับค่าจริงจากการทดลอง พบว่ามีค่า

ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองประมาณ 2-3%



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่ได้จากการจำลองแบบของระบบของค่าภาระความร้อนรวมตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 การใช้ระบบทำความเย็นบนเพดานโดยที่ใช้อัตรการไหลของน้ำเย็นที่เข้าระบบมีค่าสูง จะส่งผลต่อการลดลงของค่าภาระความร้อนรวมตลอดช่วงเวลากการทดลองได้ดีกว่า ระบบที่ใช้อัตรการไหลที่มีค่าต่ำ เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าระบบมีค่าคงที่ เนื่องจากการใช้อัตรการไหลของน้ำเย็นเข้าระบบมีค่าสูงขึ้น จะทำให้น้ำสามารถดูดซับความร้อนได้มากขึ้น ส่งผลต่อการลดลงของค่าภาระความร้อนรวมประมาณ 2-3%

6.2 การใช้ระบบทำความเย็นบนเพดานโดยที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าระบบมีค่าต่ำ จะส่งผลต่อการลดลงของค่าภาระความร้อนรวมตลอดช่วงเวลาที่ทดลองได้ดีกว่าระบบที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่สูงกว่า ประมาณ 2-3% เมื่อกำหนดให้อัตรการไหลของน้ำเย็นที่เข้าระบบมีค่าคงที่ เนื่องจากการเลือกใช้ค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ต่ำลง จะทำให้พื้นผิวของเพดานเย็นตัวลงได้เร็ว ส่งผลให้ความร้อนภายในห้องถูกถ่ายโอนสู่เพดานเพื่อระบายออกสู่ภายนอกได้เร็วขึ้น แต่ระบบที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นต่ำนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาเกี่ยวกับการควบแน่นของไอน้ำบริเวณรอบๆ ท่อ (Condensation) ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการหุ้มฉนวนบริเวณท่อให้ดีขึ้น การทำให้ระบบเพดานด้านบนเปรียบเสมือนระบบปิด

เพื่อให้อากาศที่อยู่ด้านบนมีลักษณะแห้ง โดยการใช้พัดลมเป่า การใช้ระบบทำความเย็นร่วมกับอุปกรณ์จับความชื้นเพื่อทำให้อากาศเกิดการควบแน่นที่อุปกรณ์จับความชื้นแทนที่บริเวณเพดาน

6.3 กรณีที่ใช้ระบบทำความเย็นบนเพดานร่วมกับอุปกรณ์จับความชื้น และพัดลม จะทำให้เกิดภาวะความสบายของผู้พักอาศัยมากที่สุด เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ระบบทำความเย็นบนเพดานเพียงอย่างเดียว แต่การใช้ระบบทำความเย็นบนเพดานร่วมกับอุปกรณ์ทั้งสองจะส่งผลให้ค่าภาระความร้อนรวมมีค่าสูงมากกว่าประมาณ 3-5 % เป็นผลเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าภาระความร้อนจากอุปกรณ์ดังกล่าว

6.4 เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผลของการทดลองกับผลจากการจำลองแบบของระบบ มีดังนี้ กรณีผลของอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบจะมีค่าจากการจำลองแบบของระบบคลาดเคลื่อนจากค่าจริงของการทดลองประมาณ 1-2% กรณีผลของอุณหภูมิของพื้นผิวเพดานด้านในจะมีค่าจากการจำลองแบบของระบบคลาดเคลื่อนจากค่าจริงของการทดลองประมาณ 2-3% กรณีผลของอุณหภูมิของพื้นผิวผนังด้านนอกจะมีค่าจากการจำลองแบบของระบบคลาดเคลื่อนจากค่าจริงของการทดลองประมาณ 1-2% และกรณีผลของค่าภาระความร้อนรวมตลอดช่วงเวลาการทดลองจะมีค่าจากการจำลองแบบของระบบคลาดเคลื่อนจากค่าจริงประมาณ 2-3%

6.5 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการจำลองแบบระบบ มีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่น ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนที่ใช้ในการคำนวณ มาจากค่าทางสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยาเมื่อปีที่ผ่านมามีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จริงขณะนั้น กรณีที่มีฝนตกลงมาจะทำให้ลักษณะอากาศภายนอกมีการเปลี่ยนแปลงคือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงขึ้น อุณหภูมิจะมีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของพื้นผิวด้านนอกที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไปโดยประมาณ 2-3%

6.6 ระบบทำความเย็นบนเพดานนี้จะเหมาะสมกับฤดูร้อนมากที่สุด แต่ไม่ค่อยเหมาะกับฤดูฝนและฤดู

หนาวนัก เนื่องจากในกรณีฤดูฝนค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงมาก ทำให้เกิดปัญหาการควบแน่นของไอน้ำ (Condensation) ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะเวลาที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าระบบมีค่าต่ำลง ส่วนกรณีฤดูหนาวซึ่งมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะไม่ค่อยมีปัญหาเกี่ยวกับการควบแน่นของไอน้ำ แต่การควบคุมอุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าระบบจะทำให้ได้ยากมาก อุณหภูมิจะไม่คงที่เนื่องจากความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้ากับออกจากระบบมีค่าต่างกันน้อยมาก ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สถาบัน Handwerkskammer Hamburg Germany ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย, ดร.จักรกฤษณ์ บุรณะสัมฤทธิ์ ประธานมูลนิธิประสิทธิภาพพลังงาน (ประเทศไทย) และผู้อำนวยการศูนย์อนุรักษ์พลังงาน (ประเทศไทย) ในการติดต่อประสานงาน คุณวัฒนา รุ่งรุจีเมฆ และเจ้าหน้าที่ประจำสำนักงานขายหมู่บ้านวานาแลนด์ อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่อำนวยความสะดวกในการทดลอง กรมอุตุนิยมวิทยาที่ได้ให้ข้อมูลสนับสนุนในงานวิจัยเกี่ยวกับสถิติภูมิอากาศของจังหวัดฉะเชิงเทรา

เอกสารอ้างอิง

1. Dr. Ankara, Ustun and Seils, Axel, "Realization of an Energy – Sparing System for Room Conditioning by Mean of Wall, Ceiling and Floor in Tropical Regions." Hamburg, 1997.
2. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ. "รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาผนังเย็นเพื่อลดภาระความเย็นของอาคาร." มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
3. ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. "การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer) ทฤษฎีและตัวอย่างการคำนวณการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการถ่ายโอนมวล." สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.

4. Frank Kreith and Mark S. Bohn, "Principles of Heat Transfer." Fifth Edition. West Publishing Company, 1958.
5. Frank P. Incropera and David P. De Witt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer." Third Edition. John Wiley&Sons, 1990.
6. Jan F. Kreider and Ari Rabl, "Heating and Cooling of Building Design for Efficiency." McGraw-Hill, Inc 1958.
7. Faye C. McQuiston and Jerald D. Parker, "Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design." Fourth Edition. John Wiley&Sons, 1994.