

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 19-21 ดุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

การจัดวางตำแหน่งท่อน้ำในแผ่นคอนกรีตเพื่อลดความร้อนสะสม Allocation of Cooling Water Tubes in Cement Slab for Reduction of Accumulated Heat

<u>อรรถกร อาสนคำ¹, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์*¹ และ ณัฐ วรยศ*¹</u>

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200 *¹ติดต่อ: โทรศัพท์: 053-944-144, โทรสาร: 053-944-145 E-mail: attakorn_asanakham@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดวางตำแหน่งท่อในผนัง รวมทั้งระยะห่างระหว่างท่อ อุณหภูมิน้ำขาเข้า และ อัตราการไหล ที่มีผลต่อการดึงความร้อนสะสมออกจากผนัง โดยทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในผนังแบบ 2 มิติจากหลักการสมดุลพลังงาน หลักการถ่ายโอนความร้อนและวิธีการผลต่างสืบเนื่อง ผนังเย็นดังกล่าวเป็นผนัง คอนกรีตทาสีดำขนาด กว้าง 1.5 เมตร สูง 2.5 เมตร มีความหนา 0.1 เมตร ฝั่งด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง เท่ากับ 0.0127 เมตร และศึกษาที่สภาวะอากาศเดือน เมษายน ณ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำขาเข้าผนังเย็นเพิ่มขึ้นดำแหน่งที่เหมาะสมของท่อน้ำจะขยับเข้าใกล้ผิวผนังด้านนอกมากขึ้น ซึ่ง จะสามารถลดความร้อนสะสมในผนังได้ดี โดยทำให้อุณหภูมิผนังด้านในมีค่าต่ำสุด เมื่อวางท่อที่ตำแหน่งความลึกที่ กึ่งกลางผนัง และจำนวนท่อ 16 ท่อ สามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังด้านในได้ที่ประมาณ 32 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิผนังด้านในของผนังปกติประมาณ 43 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลและจำนวนท่อ น้ำ จะทำให้สามารถดึงความร้อนสะสมจากผนังได้ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของผิวผนังด้านในลดลง และจากการศึกษานี้ ที่อัตราการไหลดั้งแต่ 6 LPM ขึ้นไป และจำนวนท่อตั้งแต่ 16 ท่อ ขึ้นไป พบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิที ผนังด้านในไม่แตกต่างกันมากนัก

คำหลัก: ผนังเย็น, การจัดวางตำแหน่งท่อ, การลดภาระความเย็น, วิธีผลต่างสืบเนื่อง

Abstract

In this paper, a study of water tubes allocated in a cooling wall was carried out including tube spacing, water inlet temperature and water flow rate. A 2-dimension finite difference method was performed to calculate the temperature distributions in the wall. The studied cooling wall was a black-painted cement slab of which the dimensions were 1.5 m width x 2.5 m height x 0.1 m thickness and the embedded tube diameter was 0.0127 m. The calculations were performed with the weather data of



Chiang Mai on a day in April. It was found that as the inlet water temperature increased, the suitable position of water tube set should be close to the outer wall surface thus the accumulated heat in the wall could be effectively extracted and the inner wall temperature could reach the minimum value. With the tube position at the center of the slab and the tube number of 16, the inner wall temperature was at 32°C compared with that of a normal wall at 43°C. When the water flow rate and the tube number were increased, more heat could be absorbed which resulted in lowest inner wall temperature. From the study, it was found that when the flow rate was over 6 LPM and the tube number was over 16, the improvement on the inner wall temperature was insignificant.

Keywords: Cooling wall, Tubes allocation, Cooling load reduction, Finite difference method

1. บทนำ

ผนังเย็นเป็นผนังคอนกรีตมีการนำท่อน้ำมาฝงไว้ ด้านในของผนัง น้ำที่ไหลเวียนในท่อจะถูกป[ั]้มจากถัง เก็บน้ำเพื่อดึงความร้อนที่ที่สะสมในผนัง ที่เกิดจาก รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบและถูกดูดกลืนและสะสมใน ผนัง ทำให้ความร้อนที่ผ่านผนังเข้าสู่อาคารลดน้อยลง น้ำที่ไหลผ่านผนังเย็นออกมาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และ ไหลกลับเข้าไปยังถังเก็บน้ำอีกครั้งดังรูปที่ 1 เมื่อเวลา ผ่านไปน้ำในถังเก็บน้ำก็จะมีอุณหภูมิค่อย ๆสูงขึ้น ผล ที่ได้คือ สามารถนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้



ร**ูปที่ 1** ผนังเย็น (Cooling Wall) และระบบไหลเวียน ของน้ำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผนังเย็นเพื่อลดภาระ ความเย็นให้แก่ห้องปรับอากาศและการฝ[ั]่งท่อน้ำ ภายในแผ่นวัสดุเพื่อทำความร้อนและความเย็นแก่พื้น ห้องหรือเพดานห้อง มีดังต่อไปนี้ มาณพ วีเกษ [1]

และ พิชาญ โกมลกุญชร [2] ศึกษาการใช้ผนังเย็นเพื่อ ลดภาระความเย็นของอาคารปรับอากาศ รวมถึงการ ้นำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ ซึ่งพบว่าระบบจะใช้ ระยะเวลาคืนทุนภายในประมาณ 1 ปี และสามารถลด อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในโดยการเปลี่ยนน้ำภายใน ระบบในตอนเย็น นอกจากนี้มีงานวิจัยในลักษณะที่ ้คล้ายคลึงกัน โดยมีการใช้แผ่นทำความเย็น ที่มีการ ป้อนน้ำเย็น มาทำความเย็นในอาคาร ธนาคม สุนทร ชัยนาคแสง, ปียะโรชน์ สมานคงศักดิ์ [3] และ Xing Jin et al. [4] ศึกษาผลจากอัตราการไหล อุณหภูมิของ น้ำที่เข้าเพดานแผ่นทำความเย็นที่มีการติดตั้งที่ เพดาน และความต้านทานความร้อนของท่อน้ำและ ้ความเร็วของน้ำแบบราบเรียบ โดยสร้างแบบ จำลอง และคำนวณด้วยวิธี Finite difference และวิธี Finite volume พบว่าความต้านทานความร้อนขึ้นอยู่กับค่า การนำความร้อนของชนิดท่อน้ำ สำหรับความเร็วน้ำ แบบราบเรียบมีผลกระทบน้อยมากต่ออุณหภูมิที่ผิว ี่ผนัง Antonopoulos et al. [5] ศึกษาผลระยะห่าง ระหว่างท่อน้ำ ความลึกจากผิวผนัง และอุณหภูมิของ น้ำขาเข้าและอุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อมที่มีต่อ เพดานโลหะที่มีการฝ**ั่งท่อน้ำอยู่ภายใน Ho et al.** [6] และ Sattari and B. Farhanieh [7] ศึกษาพื้นทำฝง้ท่อ โดยสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Finite ความร้อน difference และ วิธี Finite element โดยศึกษาผลของ ขนาดท่อ ประเภทของวัสดุท่อ และแผ่นทับด้านบน



แผ่นฝ**ั่งท่อ จำนวนท่อ และความหนาของแผ่นทับ** ้ด้านบนแผ่นฝ[ั]้งท่อ พบว่า ขนาดท่อน้ำและชนิดของท่อ ้น้ำไม่มีผลต่อการทำความร้อน แต่ความหนาและชนิด ของแผ่นทับด้านบนแผ่นฝ[ั]้งท่อจะผลกระทบอย่างมาก งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังมีการศึกษาเกี่ยวกับ ผนังเย็นอยู่น้อย โดยส่วนใหญ่จะเน้นศึกษาผลจาก พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำความร้อนและ ทำความเย็นพื้นและเพดาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึง ้ต้องการที่จะทำการศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆที่มี ผลต่ออุณหภูมิเช่น ตำแหน่งของท่อจากผนังด้านนอก ระยะห่างของท่อ อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำขา เข้า เป็นต้น ในการดึงความร้อนสะสมในผนัง ช่วยใน การลดภาระความเย็น สำหรับห้องปรับอากาศ โดยทำ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากหลักการ สมดุลพลังงาน หลักการถ่ายเทความร้อน และวิธี ผลต่างสืบเนื่อง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากรูปที่ 2 (ก) ผนังที่ทำการพิจารณาจะถูกแบ่ง ออกเป็นส่วนย่อย ๆ และจากหลักการสมดุลพลังงาน หลักการถ่ายโอนความร้อน และวิธีการผลต่างสืบเนื่อง ในรูปแบบ 2 มิติ ในแนวแกน x และ y โดยสมมุติให้มี การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวแกน z น้อยมาก ส่วนย่อยดังกล่าวจะมีพื้นที่รับแสงอาทิตย์(A) มีด้าน ยาวเท่ากับความยาวของท่อ (L) และด้านกว้างเท่ากับ ระยะระหว่างท่อ ท่อน้ำเป็นท่อทองแดงฝั่งอยู่ในผนัง โดยท่อทองแดงจะกำหนดให้เป็นแหล่งรับความร้อน แบบ Line heat sink และการกำหนด Nodes เพื่อ วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2 (ข) และจะมีการวาง ตำแหน่งท่อตามความลึกของผนัง



ร**ูปที่ 2** ผนังคอนกรีตแบบ 3 มิติ (ก) และการวิเคราะห์ การถ่ายเทความร้อนในผนังคอนกรีตแบบ 2 มิติ (ข)

การคำนวณหาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายใน ผนังเย็น สามารถเริ่มจากแบบสมการของ Explicit finite difference และการใช้สมดุลพลังงานจะได้ สมการหลักของแต่ Nodes ดังนี้

$$\frac{\rho C \Delta x \Delta y}{\Delta t} \left(T_{m,n}^{P+1} - T_{m,n}^{P} \right) = k \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{m,n-1}^{P} - T_{m,n}^{P} \right) + k \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{m,n+1}^{P} - T_{m,n}^{P} \right) + k \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{m-1,n}^{P} - T_{m,n}^{P} \right) + k \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{m+1,n}^{P} - T_{m,n}^{P} \right) + \dot{q} A \Delta x$$
(1)



3.1 ผนังด้านนอก





จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 3,1 จะได้สมการดังนี้ Node 3,1:

$$T_{3,1}^{P+1} = T_{3,1}^{P} + F \left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} (T_{3,2}^{P} - T_{3,1}^{P}) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{2,1}^{P} - T_{3,1}^{P}) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (T_{4,1}^{P} - T_{3,1}^{P}) + 2N_{o} (T_{amb}^{P} - T_{3,1}^{P}) + 2G_{T} \alpha \frac{\Delta y}{k} \right]$$
(2)

กำหนดให้

$$F = \left(\frac{k}{\rho C}\right) \frac{\Delta t}{\Delta x \Delta y} = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x \Delta y}$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวผนังด้านที่ รับรังสีอาทิตย์[8] สามารถหาได้จาก

 $h_o = 5.7 + 3.8V \tag{3}$

 $T^{P+1}_{m,n}$ คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ Node m,n ที่ โดยที เวลาเปลี่ยนไป $T_{m,n}^P$ คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ Node $T^{P}_{m+1,n}$ คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ ตำแหน่ง m,n T^P_{m-1,n} คือ อุณหภูมิผนัง ด้านล่างของ Node m,n (*K*) ณ ตำแหน่งด้านบนของ Node m,n $T^P_{m,n+1}$ คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ ตำแหน่งด้านขวาของ Node m,n T^P_{m,n-1} คือ อุณหภูมิผนัง(K) ณ ตำแหน่งด้านซ้ายของ T^{P}_{amb} คือ อุณหภูมิอากาศ(K) *k* คือ Node m,n การนำความร้อน(W/mK) ของคอนกรีต ρ คือความ หนาแน่น(kg/m³) ของคอนกรีต *c* คือความจ ความร้อน(J/kgK) ของคอนกรีต Δt คือเวลา เปลี่ยนแปลงไป (s) α คือค่าการดูดกลืนรังสีของผิว ผนัง V คือความเร็ว(m/s) ของอากาศ G_T คือรังสึ อาทิตย์ที่ตกกระทบผนังอาคาร (W/m²)

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่

1 ณ ตำแหน่ง Node 1,1 ที่บริเวณระยะกึ่งกลาง ระหว่างท่อ จะได้สมการดังนี้

Node 1,1:

$$T_{1,1}^{P+1} = T_{1,1}^{P} + F \left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{1,2}^{P} - T_{1,1}^{P} \right) + 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{2,1}^{P} - T_{1,1}^{P} \right) + 2 N_{o} \left(T_{amb}^{P} - T_{1,1}^{P} \right) + 2 G_{T} \alpha \frac{\Delta y}{k} \right]$$
(4)

3.2 ด้านในผนัง

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 2,2 จะได้สมการดังนี้

Node 2,2:

$$T_{2,2}^{P+1} = T_{2,2}^{P} + F \left[\frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{2,1}^{P} - T_{2,2}^{P} \right) + \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{2,3}^{P} - T_{2,2}^{P} \right) + \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{1,3}^{P} - T_{2,2}^{P} \right) \right]$$
(5)

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 5,2 ที่บริเวณระยะกึ่งกลาง ระหว่างท่อ จะได้สมการดังนี้

Node 5,2:

$$T_{5,2}^{P+1} = T_{5,2}^{P} + F \left[\frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{5,1}^{P} - T_{5,2}^{P} \right) + \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{5,3}^{P} - T_{5,2}^{P} \right) + 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{4,2}^{P} - T_{5,2}^{P} \right) \right]$$
(6)

3.3 ด้านในผนัง ณ จุดที่มีท่อทองแดง

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 3,4 จะได้สมการดังนี้ Node 3,4:

$$T_{3,4}^{P+1} = T_{3,4}^{P} + F \left[\frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{3,3}^{P} - T_{3,4}^{P} \right) + \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{3,5}^{P} - T_{3,4}^{P} \right) + \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{2,4}^{P} - T_{3,4}^{P} \right) + \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{4,4}^{P} - T_{3,4}^{P} \right) - \frac{\dot{m}}{nLk} C_{pW} (T_{FO} - T_{FI}) \right]$$
(7)

สมการคำนวณหาค่าอุณหภูมิขาออกจากผนัง [1] สามารถหาได้จาก

$$T_{FO}^{p+1} = T_{FI}^{p} + (T_{WALL}^{p} - T_{FI}^{p}) \left(1 - e^{-\frac{UAn}{mC_{pw}}}\right)$$
(8)

โดยที่ T_{FO} คืออุณหภูมิ(K) ของน้ำที่ออกจากผนัง T_{FI} คืออุณหภูมิ(K) ของน้ำที่ไหลเข้าสู่ผนัง T_{WALL} คือ อุณหภูมิ(K) ของผนังอาคาร ณ ตำแหน่งที่วางท่อน้ำ U คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(W/m²K) ของท่อน้ำ m คืออัตราการไหล(kg/s) ของน้ำที่ไหล ผ่านผนัง n คือจำนวนท่อทองแดงที่ฝั่งในผนังด้าน



นั้น ๆ c_{pw} คือความจุความร้อนจำเพาะ(J/kgK) ของ น้ำ A คือพื้นผิว (m^2) ของท่อทองแดง 1 ท่อ

3.3 ผนังด้านใน

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 3,7 จะได้สมการดังนี้ Node 3.7:

$$T_{3,7}^{P+1} = T_{3,7}^{P} + F \left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{3,6}^{P} - T_{3,7}^{P} \right) + \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{2,7}^{P} - T_{3,7}^{P} \right) + \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{4,7}^{P} - T_{3,7}^{P} \right) + 2N_{i} (T_{room} - T_{3,7}^{P}) \right]$$
(9)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวผนังด้านใน [9] สามารถหาได้จาก

$$h_i = 8.33 \qquad W/m^2 K$$
 (10)

จากรูปที่ 3 เมื่อทำการสมดุลพลังงานในสมการที่ 1 ณ ตำแหน่ง Node 1,7 ที่บริเวณระยะกึ่งกลาง ระหว่างท่อ จะได้สมการดังนี้

Node 1,7:

$$T_{1,7}^{P+1} = T_{1,7}^{P} + F \left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} \left(T_{1,6}^{P} - T_{1,7}^{P} \right) + 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} \left(T_{2,7}^{P} - T_{1,7}^{P} \right) + 2N_{i} (T_{room} - T_{1,7}^{P}) \right]$$
(11)

โดยที่ T_{room} คืออุณหภูมิอากาศภายในห้อง (K)

3. คุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไข

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสมมุติให้เป็นแบบ ผนังสำเร็จรูป โดยกำหนดให้มีสีของผนังเป็นสีดำเพื่อ ช่วยให้เห็นความแตกต่างของผลการคำนวณมากขึ้น ผนังเย็นจะถูกแบ่งออกช่วงๆตามระยะห่างของท่อน้ำ ช่วงท่อที่ถูกแบ่งจะมีลักษณะสมมาตรกัน ดังนั้นจะ ทำการศึกษาแค่ส่วนของช่วงท่อท่อเดียว คุณสมบัติ และสภาวะเงื่อนไขต่างๆกำหนดไว้ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 คุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขในการ คำนวณ

| รายการ | ขนาด |
|--------------------------------|------------------|
| ขนาดผนังเย็น | 1.5 m x 2.5 m |
| ความหนาผนัง | 10 cm |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทองแดง | 1.27 cm |
| (ส่วนที่ต่อกับ Header) | |
| ปริมาตรถังน้ำหุ้มฉนวน | 150 Liter |
| ตำแหน่งการวางท่อตามความลึก | 1.67 cm(1), 3.33 |

| ของผนัง นับจากผนังด้านนอก | cm(2), 5 cm(3), |
|------------------------------------|-------------------------|
| | 6.67 cm(4) และ |
| | 8.34 cm(5) |
| อัตราการไหล | 2-8 LPM |
| จำนวนท่อที่ทำการศึกษา ต่อพื้นที่ | 4-20 ท่อ |
| ผนังขนาด 1.5 m x 2.5 m | |
| ค่าแสงแจดและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม | เดือนเมษายน |
| ค่าการดูดกลื่นของผิวผนัง (ผิวสีดำ) | 0.9 |
| ช่วงเวลาในการคำนวณแต่ละรอบ | 60 sec |
| ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ | 4180 J/kg-K |
| ความหนาแน่นของน้ำ | 1,000 kg/m ³ |
| ค่าความจุความร้อนจำเพาะของ | 880 J/kg-K |
| คอนกรีต | |
| ความหนาแน่นของคอนกรีต | 2,300 kg/m ³ |
| ค่าการนำความร้อนของคอนกรีต | 1.4 W/m-K |

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

จากผลการคำนวณอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสามารถ แยกผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิผนังปกติกับ ผนังเย็น

รูปที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนัง ด้านในของผนังปกติและผนังเย็น กรณีอุณหภูมิของน้ำ ขาเข้าผนังเย็นคงที่ ที่ 25°C หรือ 298 K ตำแหน่งท่อ วางอยู่กลางผนัง ระยะห่างระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร และอัตราการไหลของน้ำ 6 LPM



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของ ผนังปกติและผนังเย็น อุณหภูมิน้ำขาเข้าผนังเย็นคงที่ ที่ 25°C ท่อวางอยู่กลางผนัง ระยะระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร อัตราการไหล 6 LPM

TSF 72





รูปที่ 7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของ ผนังเย็นตามตำแหน่งท่อน้ำ1-5 ที่อุณหภูมิน้ำขาเข้า 35°C อัตราการไหลที่ 6 LPM ระยะห่างระหว่างท่อ เท่ากับ 10 เซนติเมตร

ในกรณีที่อุณหภูมิน้ำเข้า มีค่าต่ำ การวางท่อน้ำที่ ความลึกต่าง ๆ ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิผิวด้านในมากนัก แต่เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าสูงขึ้น การดึงความร้อนที่สะสม ในผนังจะยากขึ้น และจากรูป 5-7 พบว่าเมื่อเพิ่ม อุณหภูมิน้ำขาเข้าผนังเย็น จะทำให้ตำแหน่งท่อน้ำที่ดี ที่สุดที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านในมีค่าต่ำสุด จะค่อย ๆ เคลื่อนเข้าใกล้ผิวผนังด้านนอกมากขึ้น ในกรณีที่ อุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าสูงขึ้น ถ้าท่ออยู่ใกล้ผนังด้านใน ท่อน้ำอาจจะเป็นแหล่งจ่ายความร้อนให้กับผนังด้านใน ดังนั้นตำแหน่งของท่อควรเลื่อนเข้ามายังผนังด้านนอก ซึ่งมีอุณหภูมิสูง เพื่อให้น้ำในท่อยังสามารถรับความ ร้อนจากบริเวณดังกล่าวได้

จากรูปที่ 5 เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าอยู่ที่ 25°C ค่า อุณหภูมิต่ำสุดของผนังด้านในอยู่ที่การวางท่อที่ ดำแหน่งที่ 4 โดยมีค่าประมาณ 31°C และในรูปที่ 7 เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าอยู่ที่ 35°C ค่าอุณหภูมิต่ำสุดของ ผนังด้านในอยู่ที่การวางท่อที่ตำแหน่งที่ 1 โดยมี ค่าประมาณ 37°C เทียบกับอุณหภูมิสูงสุดของผนัง ปกติที่ 43°C

4.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำขาเข้า ผนังเย็น

รูปที่ 8 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ของน้ำขาเข้าตั้งแต่ 2-8 LPM การทดสอบจะวาง ตำแหน่งท่อน้ำไว้ที่กึ่งกลางผนัง โดยให้อุณหภูมิของ น้ำขาเข้าคงที่ที่ 25°C และระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 10 เซนติเมตร

จากรูป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ผนังจะสะสม ความร้อนทำให้อุณหภูมิผนังด้านในของผนังมีค่า เพิ่มขึ้น ช่วงบ่ายจะมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าในช่วงเช้า สำหรับผนังเย็น สามารถลดอุณหภูมิผิวผนังด้านในได้ มากกว่าผนังปกติ (อุณหภูมิผนังด้านในสูงสุดอยู่ที่ ประมาณ 43°C) โดยมีค่าแตกต่างสูงสุดถึง 12°C

4.2 การเปลี่ย[ุ]่นตำแหน่งท่อน้ำตามความลึกของ ผนังเย็น

รูปที่ 5-7 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิว ผนังด้านในของผนังเย็น ตามการเปลี่ยนแปลง ตำแหน่งท่อน้ำที่ความลึกของผนัง 5 ตำแหน่ง โดย อุณหภูมิของน้ำที่เข้าผนังอยู่ที่ 25-35°C ระยะห่าง ระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร และอัตราการไหลของน้ำ 6 LPM



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของ ผนังเย็นตามตำแหน่งท่อน้ำ1-5 ที่อุณหภูมิน้ำขาเข้า 25[°]C อัตราการไหล 6 LPM ระยะห่างระหว่างท่อ เท่ากับ 10 เซนติเมตร



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของ ผนังเย็นตามตำแหน่งท่อน้ำ1-5 ที่อุณหภูมิน้ำขาเข้า 30°C อัตราการไหล 6 LPM ระยะห่างระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร

TSF 72





รูปที่ 8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของ ผนังเย็นตามอัตราการไหลของน้ำต่างๆ อุณหภูมิน้ำขา เข้าผนังเย็นคงที่ที่ 25°C ระยะห่างระหว่างท่อ 10 เซนติเมตร

จากรูป พบว่าเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นจะทำ สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในได้ดีขึ้น เนื่องจาก เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหล ความเร็วภายในท่อจะ สูงขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ สูงขึ้น สามารถดึงความร้อนออกจากผนังได้ดีขึ้น 4.4 การเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างท่อน้ำ

รูปที่ 9 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระห่าง ท่อน้ำ การเพิ่มหรือลดระยะห่างระหว่างท่อน้ำจะเป็น การเปลี่ยนแปลงจำนวนท่อน้ำภายในผนังเย็น โดย ระยะห่างมากขึ้นจำนวนท่อก็จะน้อยลง ในรูปอุณหภูมิ น้ำขาเข้าคงที่ที่ 25°C ท่อวางอยู่ที่ความลึกกึ่งกลาง ผนัง อัตราการไหลของน้ำ 6 LPM



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของ ผนังเย็นตามอัตราการไหลของน้ำ 2-8 LPM อุณหภูมิ น้ำขาเข้าผนังเย็นคงที่ที่ 25°C ท่อว่างอยู่ที่กึ่งกลาง ผนัง อัตราการไหล 6 LPM

จากรูป พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนท่อมากขึ้น พื้นที่ใน การดึงความร้อนจากผนังจะมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในได้ดีขึ้น นอกจาก นี้ยังพบว่า เมื่อจำนวนท่อมากกว่า 16 ท่อ พบว่าความ สามารถในการลดอุณหภูมิผนังด้านในไม่แตกต่างกัน มากนัก

5. สรุปผล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษาผนังเย็น โดยใช้วิธีหลักการสมดุลพลังงาน หลักการถ่ายโอน ความร้อนและวิธีการผลต่างสืบเนื่อง เพื่อวิเคราะห์ผล จากพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- (1) เมื่ออุณหภูมิของน้ำขาเข้าผนังเย็นเพิ่มขึ้น ดำแหน่งที่เหมาะสมของท่อน้ำจะขยับเข้าใกล้ผิว ผนังด้านนอกมากขึ้น ซึ่งจะสามารถลดความร้อน สะสมในผนังได้ดี โดยทำให้อุณหภูมิผนังด้านใน มีค่าต่ำสุด
- (2) เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลและจำนวนท่อน้ำ จะทำให้สามารถดึงความร้อนสะสมจากผนังได้ดี ขึ้น ทำให้อุณหภูมิของผิวผนังด้านในลดลง และ จากการศึกษานี้ ที่อัตราการไหลตั้งแต่ 6 LPM ขึ้นไป และจำนวนท่อตั้งแต่ 16 ท่อ ขึ้นไป พบว่า ความสามารถในการลดอุณหภูมิที่ผนังด้านในไม่ แตกต่างกันมากนักที่

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเซียงใหม่ ที่ได้เอื้อเฟื้อ สถานที่และอุปกรณ์ในการศึกษา และขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเซียงใหม่ ในการ สนับสนุนงานวิจัยนี้



7. เอกสารอ้างอิง

[1] มาณพ วีเกษ (2543). การใช้ผนังเย็นเพื่อลดภาระ
 ความเย็นในอาคารปรับอากาศ วิทยานิพนธ์
 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต(เครื่องกล) มหาวิทยาลัย
 เชียงใหม่.

[2] พิชาญ โกมลกุญชร (2541). การลดภาระความเย็น โดยใช้กำแพงเย็น วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี 2541.

[3] ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง และปียะโรชน์ สมานคง ศักดิ์ (2547). การศึกษาและจำลองแบบระบายความ ร้อนของเพดานสำหรับบ้านพักอาศัย, วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระจอมเกล้าพระนคร เหนือ, ปีที่14, ฉบับที่ 3, (ก.ค.-ก.ย. 2547).

[4] Xing Jin., et al. (2010). *Numerical Simulation* of Radiant Floor Cooling System: The Effects of Thermal Resistance of Pipe and Water Velocity on the Performance, Southeast University.

[5] Antonopoulos, K.A., et al. (1996). *Experiment and Theoretical Studies of Space Cooling Using Ceiling-Embedded Piping*, National Technical University. [6] Ho, S.Y., et al. (1994). Simulation of the Dynamic Behaviour of a Hydronic Floor Heating System, University of Alberta.

[7] Sattari, S. and Farhanieh, B. (2005). *A Parametric Study on Radiant Floor Heating System Performance*, Sharif University of Technology.

[8] Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Process*: John Wiley &Sons, Inc.

[9] พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม, กฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติการ ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535, สำนักกำกับ และอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับกฤษฎีกา เล่ม 112 ตอนที่ 33 ก ลงวันที่ 14 สิงหาคม 2538.