



การออกแบบผนังทროมบีโดยใช้คอนกรีตบล็อก

Design of Trombe Wall using Concrete Block

ทัศนีย์ สุนทรธรรม, เดช ดำรงศักดิ์ และ ณัฐ วรยศ

Tadsanee Suntontam, Det Damrongsak and Nat Vorayos

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบผนังทროมบีที่ใช้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุ สำหรับระบายความร้อนแบบธรรมชาติที่ผนังบ้าน โดยในงานวิจัยได้ออกแบบให้คอนกรีตมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดมาตรฐาน คือ มีความสูง 20 cm ความกว้าง 50 cm ส่วนความหนาของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความหนาผนังชั้นนอกที่ออกแบบให้มีค่า 1 cm และ 2 cm โดยคอนกรีตจะมีความกว้างของช่องอากาศเท่ากับ 5 cm และมีความสูงของช่องเปิดผนัง 4-10 cm ซึ่งคอนกรีตที่ออกแบบจะนำมาสร้างเป็นผนังทროมบี 2 แบบ คือ ที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm 1 ผนัง และที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm ซ้อนกัน 2 ผนัง ซึ่งผนังแต่ละชั้นจะมีช่องเปิดผนังเข้าและออก และให้ความร้อนแก่ระบบโดยใช้แหล่งจำลองความร้อนจากชุดหลอดไฟแบบฮาโลเจน ที่ปล่อยความร้อน 400 – 1000 W/m² จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.00184 kg/s และประสิทธิภาพในการระบายความร้อนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 52% ในกรณีที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm ซ้อนกันสองชั้น ปล่อยความร้อน 1000 W/m² ความสูงของช่องเปิดผนัง 10 cm และความหนาผนังชั้นนอก 1 cm สำหรับตัวเลขเรย์โนลด์ส์มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1127 ในกรณีที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm 1 ชั้น ปล่อยความร้อน 1000 W/m² ความสูงของช่องอากาศ 10 cm และความหนาผนังชั้นนอก 1 cm

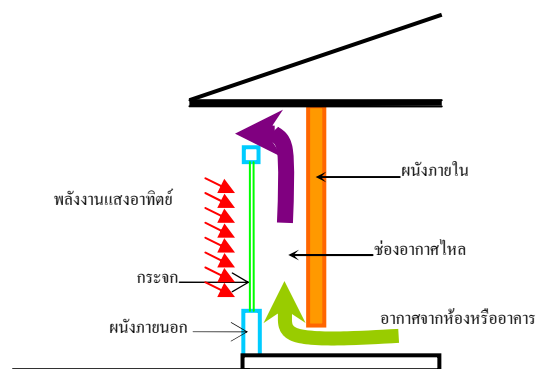
Abstract

This research studies and designs trombe wall by using concrete block as materials for natural heat transfer at home wall. The concrete block designed in this work is kept in comparison with local standard size i.e. 20 cm height and 50 cm width. The thickness depends on the thickness of outside wall which are 1 cm and 2 cm. The concrete block has 5 cm air gap and in channel inlet is in range of 4 to 10 cm. Bounded with wall height, two air channels are set up for the study which are 100 cm height through in entire wall and two 50 cm height composed as a wall. Experiments are conducted under the heat flux of 400 to 1000 W/m² by Halogen lamps. The results shows that the maximum value of mass flow rate is 0.00184 kg/s and the maximum value of heat transfer efficiency is 52% in the case of two 50 cm height composed as a wall, heat flux 1000 W/m², height of inlet channel is 10 cm and thickness of outside wall is 1 cm. The maximum value of Renold number is 1127 in the case of 100 cm height through entire wall, heat flux 1000 W/m², height of inlet channel is 10 cm and thickness of outside wall is 1 cm.

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานทางด้านการปรับอากาศในปริมาณที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา เนื่องจากประเทศไทยมีลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น ดังนั้นจึงนำการพาความร้อนตามธรรมชาติที่ผนังบ้านโดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาช่วยระบายความร้อนที่ผนังบ้านเพื่อประหยัดพลังงานในด้านการปรับอากาศ

การพาความร้อนตามธรรมชาติที่ผนังของบ้าน โดยอาศัยแสงอาทิตย์มาให้ความร้อนแก่อากาศที่อยู่บริเวณช่องว่างภายในปล่องผนัง โดยความร้อนจะทำให้ความหนาแน่นของอากาศภายในปล่องลดลงเพราะมีอุณหภูมิสูงก็จะลอยตัวขึ้น ในขณะที่เดียวกันเมื่ออากาศร้อนภายในปล่องผนังลอยตัวขึ้นไป ส่งผลให้อากาศเย็นด้านล่างปล่องไหลเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการไหลของมวลอากาศขึ้นในระบบ ดังรูปที่ 1 ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Stack Effect ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะนำเอากระบวนการนี้มาใช้ประโยชน์ในการระบายความร้อนออกจากตัวบ้าน เพราะนอกจากไม่สิ้นเปลืองพลังงานแล้วยังนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่มาก



รูปที่ 1 หลักการทำงานของผนังระบายอากาศแบบทรมบ์ (Trombe Wall)

จากหลักการทำงานข้างต้นของปล่องระบายอากาศของผนังแบบทรมบ์ ได้มีคณสนใจที่จะศึกษากันอย่างแพร่หลาย โดย Gan (1997) ได้ศึกษาระบบผนัง

ระบายอากาศแบบทรมบ์ โดยใช้วิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) ทำนายอัตราการระบายอากาศภายในปล่องผนัง Hirunlabh (1999) ได้ศึกษาการระบายอากาศแบบธรรมชาติ โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับ Gan (1997) โดยผนังประกอบด้วยผนังด้านนอกเป็นกระจก ส่วนผนังด้านในมีแผ่นโลหะดำกั้นเพื่อช่วยรับความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปล่องระบายอากาศ ต่อมา Ong และ Chow (2003) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์แบบโครงข่ายทางความร้อนและทำการทดลองควบคู่ไปด้วยโดยมีผนังชั้นนอกทำด้วยกระจก เช่นเดียวกับ Hirunlabh (1999) โดยที่การทดลองจะเน้นการศึกษาความกว้างของช่องอากาศเป็นตัวแปรสำคัญ แต่ Khedari (1999) ได้ศึกษาทั้งผลของช่องอากาศและความสูงของปล่องผนังที่ค่าต่างๆด้วย เพื่อให้ได้ตัวแปรที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้ดี ซึ่งตรงกับการทดลองของ Chen (2003) ซึ่งได้ทำการทดลองเพื่อหาลักษณะการไหลของอากาศภายในปล่องระบายอากาศโดยศึกษาอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างช่องระบายอากาศที่พลังงานความร้อนคงที่ ต่อมา Khedari (2003) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของปล่องลมแดด ซึ่งศึกษาผลของช่องอากาศและความสูงของปล่องผนังที่ค่าต่างๆให้ทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศ Maneewan (2003) ได้ทำการศึกษาระบายความร้อนแบบบังคับ โดยการนำแสงอาทิตย์เทียมมาใช้ในการทดลอง ซึ่งแสงอาทิตย์เทียมจากการทดลองได้มาจากหลอดไฟแบบฮาโลเจน (Halogen Lamp)

จากการวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ได้ให้แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและการออกแบบผนังแบบทรมบ์ให้มีประสิทธิภาพและใช้ได้จริง แนวคิดดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ๆ คือ

1. การสร้างผนังแบบทรมบ์จะต้องเลือกใช้วัสดุที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการระบายอากาศที่ดีเหมาะสมและใช้ได้จริง จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะสังเกตเห็นได้ว่าจะใช้กระจกเป็นวัสดุในการสร้างผนัง

ชั้นนอก แต่เนื่องจากการใช้กระจกเป็นวัสดุจะมีข้อเสีย คือ ไม่คงทนและมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำคอนกรีตบล็อกมาเป็นวัสดุแทนกระจกเนื่องจากสามารถหาได้ง่ายใช้กันอย่างแพร่หลาย คงทน และมีต้นทุนที่ต่ำ

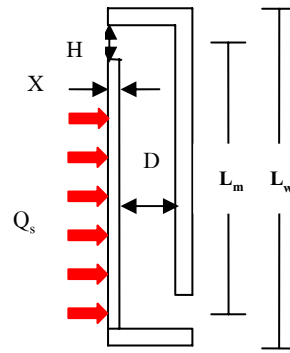
2. ควรมีการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการระบายอากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดี จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่ได้แสดงให้เห็นตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบผนังบ้าน เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนอย่างชัดเจน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อการระบายอากาศซึ่งประกอบไปด้วย ความสูงของช่องระบายอากาศ (L) ความสูงของช่องเปิดผนัง (H) ความหนาผนังชั้นนอก (X) และฟลักซ์ความร้อน (q_s) เพื่อให้ได้ตัวแปรที่เหมาะสมในการระบายความร้อนที่ผนังบ้าน

3. การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผนังที่ทำจากวัสดุในข้อที่ 1 และนำไปเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความแตกต่างของตัวแปร เพื่อให้ได้ตัวแปรที่เหมาะสมและเป็นประโยชน์ในการสร้างผนังแบบทอมบ์

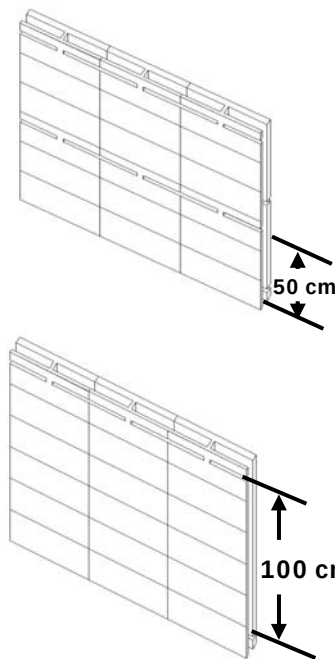
2. วิธีการทดลอง

2.1 ขนาดของชุดทดลอง

การสร้างชุดทดสอบผนังแบบทอมบ์โดยใช้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุจะคำนึงถึงความสูงของช่องระบายอากาศ (L) ความกว้างช่องอากาศ (D) ความสูงของช่องเปิดผนัง (H) และความหนาของผนังชั้นนอก (X) ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการระบายอากาศ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษามัธยัสถ์แบบทอมบ์ 2 แบบ แบบแรกคือ ผนังที่มีความสูงของช่องระบายอากาศ (L_m) 100 cm 1 ชั้น และแบบที่ 2 คือ ผนังที่มีความสูงของช่องระบายอากาศ (L_m) 50 cm วางซ้อนกันสองชั้น โดยแต่ละชั้นจะมีช่องเปิดผนังให้อากาศเข้าและออก ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3 โดยออกแบบให้ความกว้างของช่องอากาศ (D) เท่ากับ 5 cm ความสูงของช่องเปิดผนัง (H) เท่ากับ 4, 6, 8 และ 10 cm และความหนาของผนังชั้นนอกที่ 1 และ 2 cm



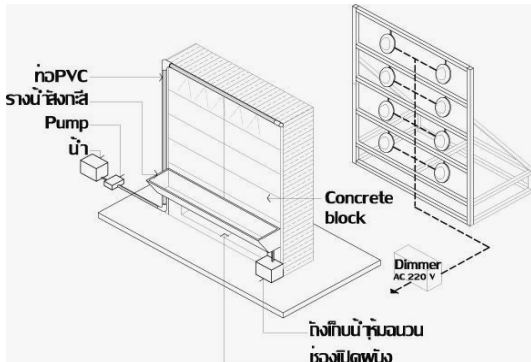
รูปที่ 2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ของผนังทอมบ์



รูปที่ 3 ลักษณะผนังทอมบ์ที่ทำจากคอนกรีตบล็อก

นอกจากผนังที่ทำจากคอนกรีตแล้วชุดทดสอบจะประกอบด้วยชุดจำลองความร้อนที่ให้แก่ระบบโดยใช้สปอร์ต์ไลท์แบบฮาโลเจน (Halogen Lamp) จำนวน 8 หลอด เป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งจะแตกต่างจากความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ คือความร้อนที่ได้จากแหล่งจำลองความร้อนสามารถควบคุมฟลักซ์ความร้อนตามต้องการได้ โดยต่อเข้ากับเครื่องปรับกำลังไฟฟ้า (Dimmer) ซึ่งเป็นตัวกำหนดฟลักซ์ความร้อน โดยงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ฟลักซ์ความร้อนที่ให้กับระบบมีค่าเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 W/m^2 ส่วนด้านหลังของผนังด้านในจะใช้น้ำหล่อผนังไว้ตลอดเวลาเพื่อให้อุณหภูมิของผนังด้านใน

คงที่และมีสภาวะใกล้เคียงกับอุณหภูมิของผนังบ้านจริง ส่วนด้านข้างทั้งสอง และด้านบนของผนังก็จะทำการหุ้มฉนวนซึ่งจะทำการติดตั้งชุดทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชุดทดสอบผนังแบบทออมป์

2.2 ขั้นตอนการทดลองและการบันทึกผล

ก่อนทำการทดลองต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิ Thermocouples Type K ในแต่ละจุดของระบบปล่องผนังแบบทออมป์โดยจะเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกแสดงผลของอุณหภูมิ (Data Logger) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งอุณหภูมิที่ทำการวัดมี 2 ชนิดคือ การวัดอุณหภูมิคอนกรีตและอุณหภูมิอากาศ ซึ่งทำการวัดทุกๆ 10 นาที จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว และวัดความเร็วอากาศเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวทุกๆ 20 นาที

3. ทฤษฎี

จากการทดลองจะได้ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ คือ อุณหภูมิด้านนอกของผนังชั้นนอก (T_{w1}) อุณหภูมิด้านในของผนังชั้นนอก (T_{w2}) อุณหภูมิอากาศ (T_m) อุณหภูมิด้านในของผนังชั้นใน (T_{w3}) อุณหภูมิด้านนอกของผนังชั้นใน (T_{w4}) อุณหภูมิอากาศทางเข้า (T_{min}) อุณหภูมิอากาศทางออก (T_{mout}) และความเร็วอากาศ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสมรรถนะการระบายอากาศของผนังทออมป์ที่ทำจากคอนกรีตในงานวิจัยนี้ คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ส

(Re) ประสิทธิภาพ (η) ตัวเลขนัสเซลส์ (Nu) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

การหาตัวเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number)

ซึ่งตัวเลขเรย์โนลด์สเป็นกลุ่มตัวแปรที่บอกถึงตัวแปรตามคือความเร็วอากาศเฉลี่ย

$$Re_D = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (1)$$

การหาตัวเลขนัสเซลส์ (Nusselt number)

ซึ่งตัวเลขนัสเซลส์เป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่บอกถึงอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศตลอดทั้งความสูงช่องอากาศต่อการนำความร้อนอากาศ

$$Nu_{AVG} = \frac{\bar{h}_{AVG} L}{k_m} \quad (2)$$

การหาตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Modified Grashof Number)

ตัวเลขโมดิฟายกราชอฟเป็นกลุ่มตัวแปรที่บ่งบอกถึงตัวแปรต้นที่สามารถควบคุมได้ก็คือพลักซ์ความร้อนที่ให้แก่ระบบและความสูงของช่องระบายอากาศ

$$G^* r = \frac{\rho^2 L^4 q_s'' \beta g}{k \mu^2} \quad (3)$$

การหาค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพ คือ ความร้อนที่ระบบสามารถระบายออกไปได้ต่อความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบ

$$\eta = \frac{m \dot{C}_p (T_{mout} - T_{min})}{q_s'' A} \quad (4)$$

เมื่อ

$$m \dot{C}_p = \rho_{av} A v_{av} \quad (5)$$

และ

$$v_{av} = \frac{1}{A} \int_A \frac{\rho}{\rho_{av}} \cdot v \cdot dA \quad (6)$$

การหาคุณสมบัติทางกายภาพ

การหาคุณสมบัติทางกายภาพจะหาได้จากสมการเอมไพริคัลที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิแสดงดังต่อไปนี้ (Incropera and Dewitt, 1996)

$$\rho = 1.1614 - 0.00353(T_m - 300) \quad (7)$$

$$\mu = (1.846 + 0.0047(T_m - 300)) \times 10^{-5} \quad (8)$$

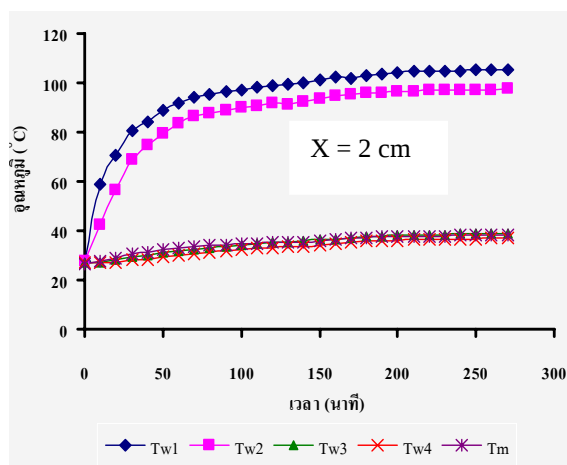
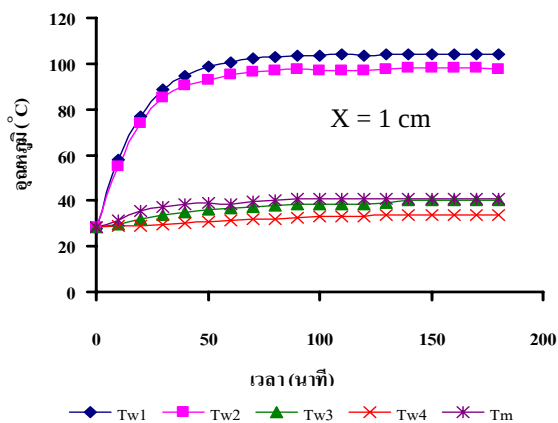
$$k = 0.0263 + 0.000074(T_m - 300) \quad (9)$$

$$\beta = \frac{1}{T_m} \quad (10)$$

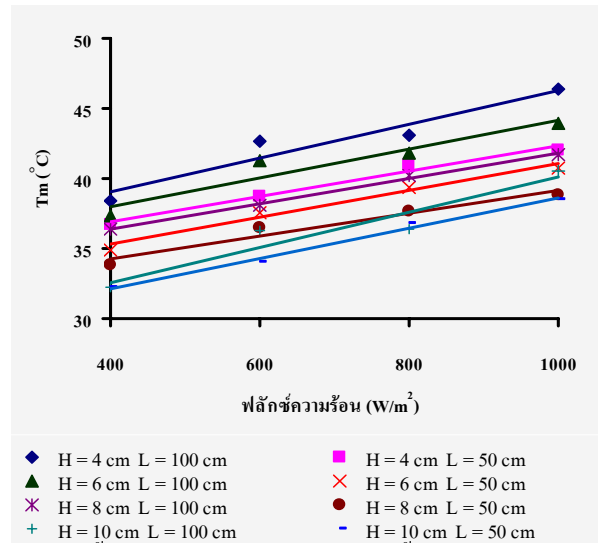
4. ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองในครั้งนี้จะแสดงผลตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ความเร็วอากาศที่ส่งผลต่ออัตราการไหลเชิงมวล เพื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่า Re Nu η ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงสมรรถนะในการระบายอากาศของผนังแบบทอรั่ม

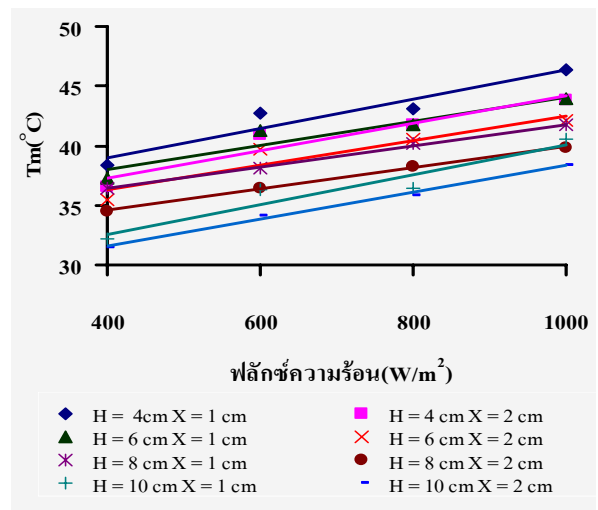
4.1 การแสดงผลผลตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิในระบบปล่องผนังแบบทอรั่มโดยใช้คอนกรีตบล็อก



ก.อุณหภูมิต่างๆของผนังเมื่อเทียบกับเวลาที่ $L=100$ cm
 $H = 10$ cm และ $q_s = 1000$ W/m²



ข. ผลของการเปลี่ยน q_s , H และ L



ค. ผลการเปลี่ยน X

รูปที่ 5 ลักษณะอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆเมื่อเปลี่ยนตัวแปรที่กำหนด

จากการทดลองดังรูปที่ 5 ก. กำหนดให้ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm ความสูงของช่องเปิดผนัง 10 cm ความหนาของผนังชั้นนอก 1 cm และ 2 cm เมื่อให้ฟลักซ์ความร้อนแก่ระบบ 1000 W/m² พบว่าการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบ (อุณหภูมิในทุกๆ ตำแหน่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาไม่เกิน 2%) จะขึ้นอยู่กับความหนาของผนังชั้นนอก คือที่ความหนาผนังชั้นนอกเท่ากับ 1 cm

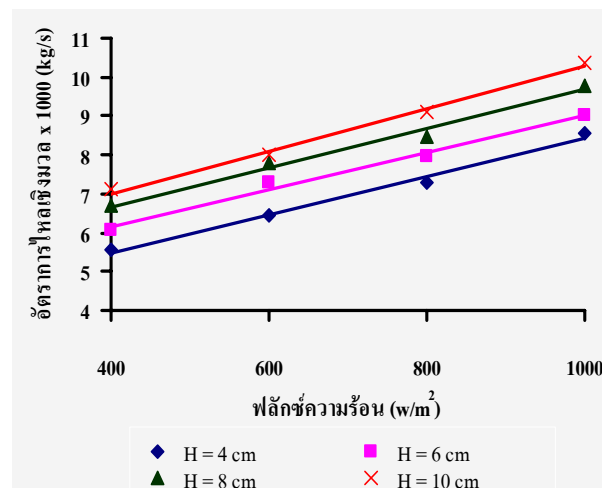
อุณหภูมิที่ผิวด้านนอก (T_{w1}) มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันกับผนังด้านในของผนังชั้นนอก (T_{w2}) มาก เนื่องจากคอนกรีตบล็อกมีสภาพการนำความร้อนสูงบวกกับมีความหนาผนังชั้นนอกที่มีค่าน้อย จึงยอมให้ความร้อนผ่านเข้าสู่ผนังด้านในของผนังชั้นนอกได้ดี ส่งผลให้อุณหภูมิของเฉลี่ยอากาศ (T_m) มีค่ามากตามไปด้วย ซึ่งระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 80 นาที เมื่อเปลี่ยนความหนาของผนังชั้นนอกเป็น 2 cm พบว่าอุณหภูมิด้านในของผนังชั้นนอก (T_{w2}) มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิผนังด้านนอก (T_{w1}) มาก เนื่องจากความหนาผนังชั้นนอกมาก จะยอมให้ความร้อนเข้าสู่ผนังชั้นในได้น้อย จึงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศ (T_m) มีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับที่ความหนา 1 cm และระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวอยู่ในช่วงเวลา 170 นาที ซึ่งเป็นเช่นนี้ในทุกๆกรณี

จากรูปที่ 5 ข. กำหนดให้ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm ที่ความหนาผนังชั้นนอก 1 cm ความสูงของช่องเปิดผนัง 4 cm พบว่าอุณหภูมิอากาศ (T_m) จะแปรผันตรงกับ พลักซ์ความร้อนและความสูงของช่องระบายอากาศเนื่องจากเมื่อให้พลักซ์ความร้อนมีปริมาณมาก ส่งผลให้ความร้อนที่เข้าสู่ปล่องระบายอากาศมีมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้อุณหภูมิอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นและที่ความสูงของช่องระบายอากาศหลายๆค่าทำให้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผนังกับอากาศภายในปล่องมีมากจึงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในปล่องมีค่ามากขึ้นด้วย แต่อุณหภูมิอากาศ (T_m) จะแปรผกผันกับความสูงของช่องเปิดผนัง (H) คือเมื่อความสูงของช่องเปิดผนังเพิ่มขึ้นอุณหภูมิอากาศ (T_m) จะลดลง จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันในทุกๆค่าพลักซ์ความร้อน ทั้งนี้เนื่องมาจากช่องเปิดผนังที่มีค่ามากจะมีพื้นที่ที่สามารถยอมให้อากาศระบายออกจากปล่องได้มากกว่าส่งผลให้มีอุณหภูมิอากาศภายในปล่องมีค่าน้อย

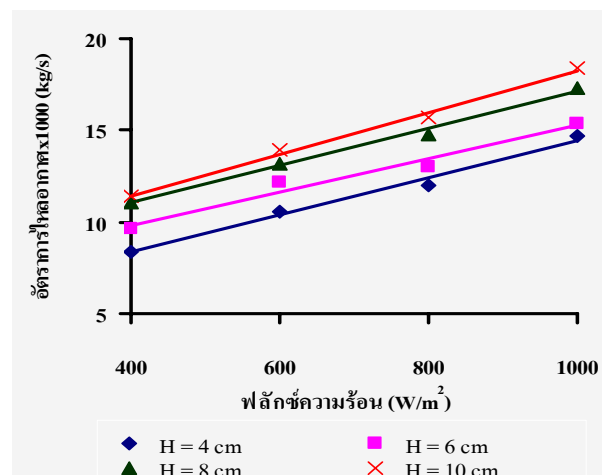
เมื่อทำการเปลี่ยนความหนาของผนังชั้นนอกจาก 1 cm เป็น 2 cm ที่แต่ละพลักซ์ความร้อน และแต่ละความสูงของช่องเปิดผนัง ดังรูป 5 ก. พบว่าอุณหภูมิอากาศจะน้อยลงเมื่อเพิ่มความหนาของผนังชั้นนอกในทุกๆกรณี

เนื่องจากความหนาของผนังชั้นนอกมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ปล่องผนัง เมื่อผนังชั้นนอกหนามากๆก็จะทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ปล่องผนังได้น้อย ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในปล่องผนังมีค่าน้อย

4.2 การแสดงผลตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศของผนังแบบทอรั่ม



ก. ผลของการเปลี่ยน q_s , H และ $L = 100$ cm



ข. ผลของการเปลี่ยน q_s , H และ $L = 50$ cm ซ้อนกันสองชั้น

จากรูปที่ 6 ก. กำหนดให้ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm ความหนาของผนังชั้นนอก 1 cm และความสูงของช่องเปิดผนัง 4 cm พบว่าอัตราการไหลเชิง

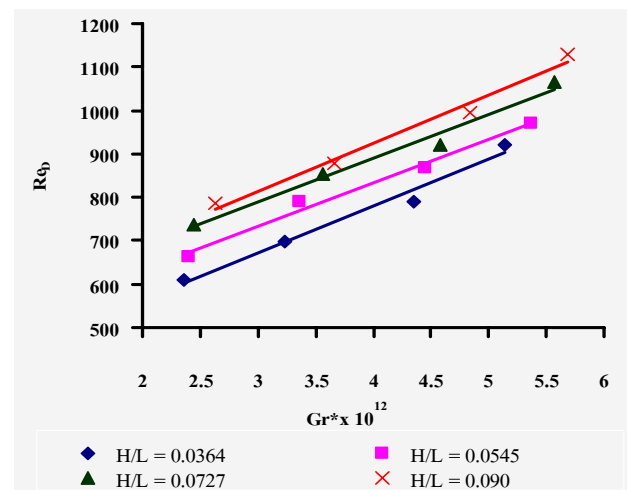
มวลอากาศจะแปรผันตรงกับพลังความร้อนและความสูงของช่องเปิดผนัง เนื่องมาจากหลักการของ Stack Effect คือเมื่ออากาศได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลงส่งผลให้เกิดการลอยตัวขึ้น ดังนั้นถ้าอากาศที่ได้รับความร้อนในปริมาณมากก็จะลอยตัวได้เร็วกว่าหรือเกิดความเร็วอากาศมากส่งผลให้อัตราการไหลเชิงมวลมากตามไปด้วย และ ความสูงของช่องเปิดผนังที่มีค่ามากจะมีพื้นที่ที่สามารถยอมให้ระบายอากาศออกไปได้มากเช่นกันทำให้มีความเร็วอากาศมากส่งผลให้อัตราการไหลเชิงมวลมากตามไปด้วย ดังนั้นพลังความร้อนที่ให้แก่ระบบและความสูงของช่องเปิดผนังซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความเร็วอากาศเฉลี่ยแล้วยังส่งผลต่ออัตราการไหลของอากาศด้วย

ต่อมาได้ทำการทดลองเปลี่ยนความสูงของช่องระบายอากาศจาก 100 cm 1 ชั้น เป็น 50 cm ซ้อนกันสองชั้น ในแต่ละพลังความร้อนและแต่ละความสูงของช่องเปิดผนัง จากรูปที่ 6 ข. พบว่าอัตราการไหลเชิงมวลจะเพิ่มขึ้นตามพลังความร้อนและความสูงช่องเปิดผนัง เช่นเดียวกับที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm แต่ที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm วางซ้อนกันสองชั้น จะมีอัตราการไหลเชิงมวลมากกว่าที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm ในทุกๆกรณีศึกษา เนื่องมาจากที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm ซ้อนกันสองชั้น มีปริมาตรของอากาศภายในช่องอากาศน้อยทำให้เกิดการกระจายความร้อนได้ดีและทั่วถึงมากกว่ารวมไปถึงที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm ซ้อนกัน 2 ชั้น มีช่องเปิดให้อากาศเข้าและออกมากกว่า ส่งผลให้มีการระบายอากาศมากกว่า ทำให้มีความเร็วอากาศมากกว่า อัตราการไหลของอากาศจึงมีค่ามากตามไปด้วย

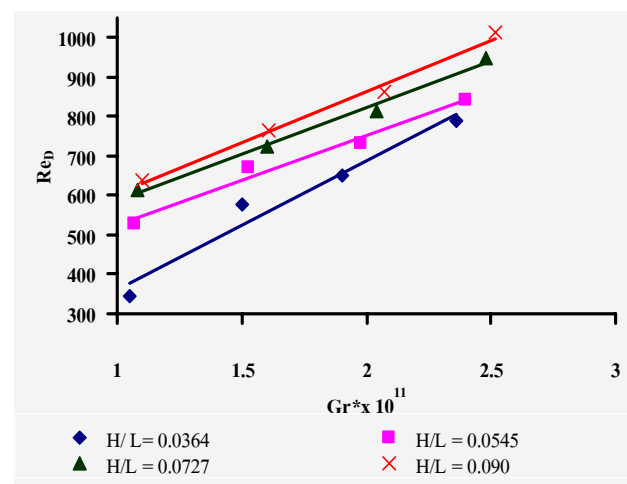
จากการทดลองสรุปได้ว่า ที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm วางซ้อนกันสองชั้น ความสูงของช่องเปิดผนังที่ 10 cm และพลังความร้อนที่มากที่สุดคือ $1,000 \text{ W/m}^2$ ความหนาผนังชั้นนอก 1 cm เป็นตัวแปรที่มีค่าอัตราการไหลเชิงมวลมากที่สุด

4.3 การแสดงปัจจัยที่มีผลต่อการการถ่ายเทความร้อนของปล่องผนังแบบทอรั่ม โดยแสดงความสัมพันธ์ในรูปของตัวแปรไร้มิติ

4.3.1 ความสัมพันธ์ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติของ Gr^* , H/L , D/L ที่มีต่อ Re_D



ก. $D/L = 0.05$



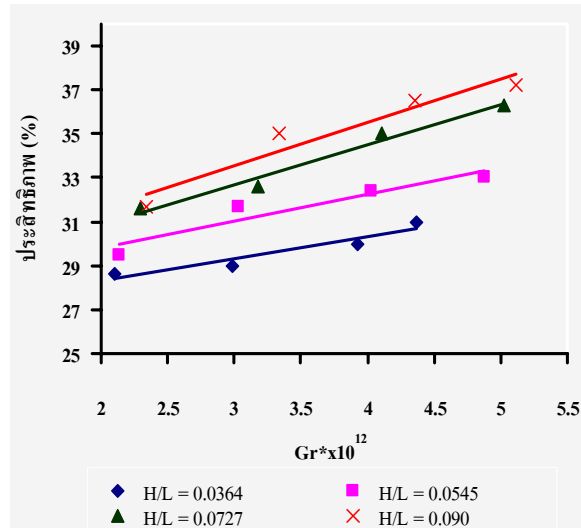
ข. $D/L = 0.1$

รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ในรูปตัวแปรไร้มิติของตัวเลขเรย์โนลด์ส์

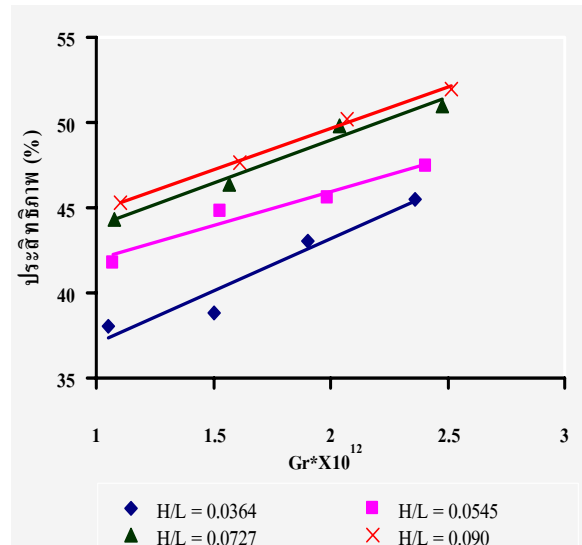
จากรูปที่ 7 ก. เมื่อกำหนดให้ $D/L = 0.05$ ก็คือให้ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm และความกว้างของช่องอากาศ 5 cm พบว่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์จะแปรผันตรงกับตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ และความสูงของช่องเปิด

ผนัง ซึ่งอยู่ในรูปของ H/L เนื่องจากตัวเลขโมดิฟายกราชอฟเป็นตัวแทนของฟลักซ์ความร้อน และตัวเลขเรย์โนลด์ส์เป็นตัวแทนของอัตราการไหลของอากาศ จึงสามารถบอกได้ว่า เมื่อค่าฟลักซ์ความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนความสูงของช่องระบายอากาศ $D/L = 0.1$ คือ ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm ความกว้างของช่องอากาศ 5 cm พบว่าเมื่อค่าตัวเลขโมดิฟายกราชอฟและ H/L เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้นตามไปด้วยแต่จะมีค่าน้อยกว่า $D/L = 0.05$ ในทุกกรณีศึกษา ดังรูป 7 ข. จากการศึกษาตัวเลขเรย์โนลด์ส์ (Re_D) มีค่าสูงสุดคือ 1127 ในกรณีศึกษาที่สัดส่วน $H/L = 0.09$ $D/L = 0.05$ ฟลักซ์ความร้อน 1000 W/m^2 ตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) = 5.69×10^{12}

4.3.2 ความสัมพันธ์ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติของ Gr^* , H/L , D/L และ ที่มีต่อ η



ก. $D/L = 0.05$

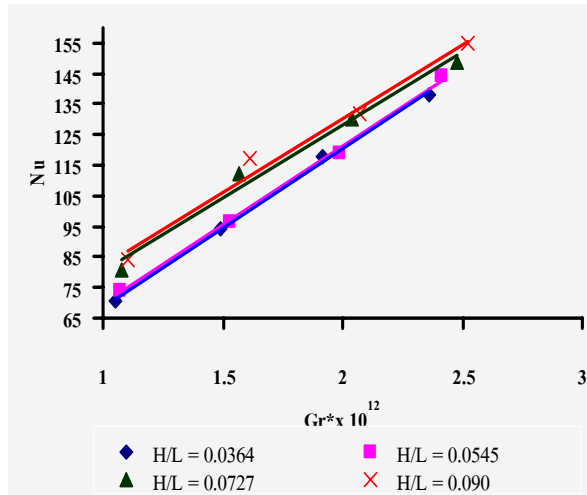


ข. $D/L = 0.1$

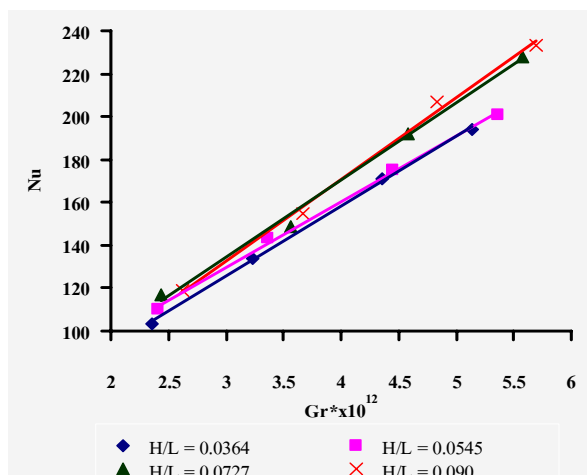
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติของประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 8 ก. กำหนดให้ $D/L = 0.05$ คือทำให้ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm ความกว้างของช่องอากาศ 5 cm พบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะแปรผันตรงกับตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) และความสูงของช่องเปิดผนังซึ่งอยู่ในรูป H/L เนื่องจากตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) เป็นตัวแทนของฟลักซ์ความร้อนจึงสามารถบอกได้ว่าเมื่อค่าฟลักซ์ความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย จากนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนความสูงของช่องระบายอากาศที่ $D/L = 0.10$ คือ ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm ความกว้างของช่องอากาศ 5 cm พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับที่ $D/L = 0.05$ คือเมื่อค่าตัวเลขโมดิฟายกราชอฟและ H/L เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังรูป 8 ข. แต่จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าที่ $D/L = 0.05$ โดยค่าประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 52% ที่สัดส่วน $D/L = 0.1$ $H/L = 0.09$ ตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) = 2.51×10^{11}

4.3.3 ความสัมพันธ์ในรูปตัวแปรไร้มิติของ Gr^* , H/L และ D/L ที่มีผลต่อ Nu



ก. $D/L = 0.05$



ข. $D/L = 0.1$

รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ในรูปตัวแปรไร้มิติของตัวเลขนัสเซล

จากรูปที่ 9 ก. เมื่อกำหนดให้ $D/L = 0.05$ คือ ให้ความสูงของช่องระบายอากาศ 100 cm และความกว้างของช่องอากาศ 5 cm พบว่าตัวเลขนัสเซลจะแปรผันตรงกับตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) และความสูงของช่องเปิดผนัง ซึ่งอยู่ในรูป H/L เนื่องจากตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) เป็นตัวแทนของฟลักซ์ความร้อน

จึงสามารถบอกได้ว่าเมื่อค่าฟลักซ์ความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวเลขนัสเซลเพิ่มขึ้นด้วย จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนความสูงของช่องระบายอากาศที่ $D/L = 0.1$ คือ ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm ความกว้างของช่องอากาศ 5 cm พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับที่ $D/L = 0.05$ คือเมื่อค่าตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ และ H/L เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าตัวเลขนัสเซลเพิ่มขึ้นตามไปด้วยแต่จะมีค่าน้อยกว่า $D/L = 0.05$ ในทุกๆกรณีศึกษา ดังรูป 9 ข. ซึ่งค่าตัวเลขนัสเซลที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 233 อยู่ที่สัดส่วน $D/L = 0.05$ $H/L = 0.090$ และตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) = 5.69×10^{12}

5. สรุป

4.1 การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบจะขึ้นอยู่กับความหนาของผนังชั้นนอก คือที่ความหนาผนังชั้นนอก 1 cm ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่าใช้ช่วงเวลา 80 นาที ส่วนที่ความหนาผนังชั้นนอกเท่ากับ 2 cm จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 170 นาที

4.2 อัตราการไหลเชิงมวลของผนังแบบทอรั่มบ์จะมีค่าสูงที่สุดที่ความสูงของช่องระบายอากาศ 50 cm วางซ้อนกันสองชั้น ช่องเปิดผนังที่ 10 cm และฟลักซ์ความร้อนที่มากที่สุด 1000 W/m^2 ความหนาผนังชั้นนอก 1 cm เป็นตัวแปรที่มีค่าอัตราการไหลเชิงมวลมากที่สุด

4.3 ตัวเลขเรย์โนลด์สจะแปรผันตรงกับตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ สัดส่วนความกว้างของช่องอากาศต่อความสูงของช่องระบายอากาศ (D/L) และสัดส่วนความสูงของช่องเปิดผนังต่อความสูงของช่องระบายอากาศ (H/L) โดยค่าตัวเลขเรย์โนลด์สจะมีค่าสูงสุด 1127 $D/L = 0.05$ ($H/L = 0.09$) และตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) = 5.69×10^{12}

4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะแปรผันตรงกับตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ สัดส่วนความกว้างของช่องอากาศต่อความสูงของช่องระบายอากาศ (D/L) และสัดส่วนความสูงของช่องเปิดผนังต่อความสูงของช่อง

ระบายอากาศ (H/L) โดยพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าสูงสุด 52% ที่ $D/L = 0.1$ $H/L = 0.09$ ตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) = 2.51×10^{11}

4.5 ตัวเลขนัสเซิลต์ (Nu) จะแปรผันตรงกับ ตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ สัดส่วนความกว้างของช่องอากาศต่อความสูงของช่องระบายอากาศ (D/L) และ

สัดส่วนความกว้างของช่องเปิดผนังต่อความสูงของช่องระบายอากาศ (H/L) โดยค่าตัวเลขนัสเซิลต์ (Nu) จะมีค่าสูงสุด 233 ที่ $D/L = 0.05$ $H/L = 0.09$ ตัวเลขโมดิฟายกราชอฟ (Gr^*) = 5.69×10^{12}

เอกสารอ้างอิง

- [1] ตระการ ก้าวกลกรม. “คู่มือฉนวนความร้อน”. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี, 2537.
- [2] นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย. “การถ่ายเทความร้อน”. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซนเตอร์, 2533.
- [3] สุนันท์ ศรีชัยพิตร. “การถ่ายเทความร้อน”. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย – ญี่ปุ่น), 2545
- [4] Hirunlavh, J.,Kongduang, W., Namprakai, P., and Khedari, J.,1999 “Study of natural Ventilation of Houses by a Metallic Soiar Wall under Tropical Climate,” Renewable Energy 18,pp:109-119.
- [5] Gun, G.,1998 “A Parametric Study of Trombe Walls for Passive Cooling of Buildings” Energy and Buildings27,pp:37-43
- [6] Khedari, J., Rachapradit, N., and Hiranlabh,J.,2003 “Field Study of Performance of Solar Chimney with Air Conditioned Building,” Energy 28, pp:1099-1114
- [7] Ong, K.S. and Chow,C.C.,2003 “Performance of a Solar Chimney,” Solar Energy 74, pp:1-17
- [8] Ong,K.S.,2003 “AMathematical Model of a Solar Chimney,” Renewable Energy 28, pp:1047-1060
- [9] Khedari,J.,Kaewruang,S., Pratinhong,N., and Hiranlabh,J.,1999 “Natural Ventilation of House by a Trombe Wall under the Climatic Condition in Thailand” International Journal of Ambient Energy 20 (2),PP:85-94
- [10] R. Priyadarsini, K.W. cheong,N.H. Wonng.(2004) “Enhancement of natural ventilation in high-rise residential buildings using stack system” Energy and buildings36,pp:61-71
- [11] Lee K.T.(1994). “natural convection in Vertical Parallel Plates with an Unheated Entry or Unheated Exit” Numerical heat Transfr 25,pp:477-493