

การเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายอากาศแบบธรรมชาติในอาคาร ด้วยระบบปล่องแดด

Efficiency Enhancement for Natural Ventilation in Building using Solar Chimney System

พรสวรรค์ ทองใบ, และ ทวีช จิตรสมบุญ

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
ผู้ติดต่อ: E-mail: ptongbai@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 0-4422-4410, เบอร์โทรสาร: 0-4422-4613

บทคัดย่อ

ห้องหลังคาและปล่องแดด ถูกใช้เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณการระบายอากาศแบบธรรมชาติในอาคาร แนวคิดคือใช้หลังคาทำจากวัสดุโปร่งใสเพื่อให้รับแสงแดดได้มาก ด้วยปรากฏการณ์เรือนกระจก โดยใช้แผ่นโลหะสีดำเป็นอุปกรณ์ช่วยดูดซับความร้อนจากแสงแดด ระหว่างหลังคาโปร่งใสกับแผ่นโลหะมีช่องว่างเพื่อให้อากาศร้อนไหลผ่านและไหลออกทางช่องเปิดด้านบนของหลังคาด้วยแรงลอยตัว ซึ่งการไหลนี้เหนี่ยวนำอากาศเย็นในอาคารให้เกิดการถ่ายเทและทำความเย็นไปพร้อมกัน งานวิจัยนี้จำลองการไหลในสองมิติผ่านระบบปล่องแดดด้วย โปรแกรม ANSYS CFX ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณการไหล คือ ความเข้มแสงแดด มุมเอียงหลังคา ความยาวหลังคา ความกว้างช่องอากาศ ความสูงของปล่องแดดที่มาต่อกับหลังคา และ การบานตัวของช่องทางไหล โดยเฉพาะผลกระทบจากการบานตัวของช่องทางไหลซึ่งยังไม่เคยปรากฏในงานวิจัยในอดีตมาก่อน พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่ออัตราการระบายอากาศทั้งสิ้น

คำหลัก: การระบายอากาศธรรมชาติ, ห้องหลังคา, ปล่องแดด, ท่อบานตัว, การเพิ่มอัตราการไหล

Abstract

Attic and solar chimney system were used to increase the natural ventilation in building. The main idea is to use a transparent roof to capture solar radiation by the greenhouse effect. A black metal sheet underneath the roof helps in absorbing more heat. The air gap between the roof and the metal sheet allows heated air to flow through and out at the top opening of the roof by buoyancy effect, inducing an airflow to ventilate and cool the building at the same time. The commercial CFD code "ANSYS CFX" was used to simulate the airflow through the solar chimney system. The effects of geometrical parameters were investigated, namely: insolation, roof inclination, roof length, air gap width, chimney height and channel expansion angle. The last parameter seems to have not been studied before in the literature. It was found that all the studied parameters showed strong effects on the ventilation rate.

Keywords: Natural ventilation, Solar attic, Solar chimney, Expanding channel, Increasing air flow rate.

1. บทนำ

แนวคิดเรื่องระบบปล่องแดงเพื่อการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในอาคารมีมาแต่สมัยโบราณ โดยอาจมีรูปแบบ ขนาด หรือตำแหน่งที่ประยุกต์ปล่องแดงเข้ากับอาคารแตกต่างกันออกไป สามารถประยุกต์ระบบปล่องแดงเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตประจำวันได้หลายทาง เช่น เพื่อการระบายอากาศและทำความเย็น หรือเพื่อการผลิตน้ำร้อน และเร็ว ๆ นี้ มีงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบปล่องแดง [1,2,3] สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ปล่องแดงเพื่อการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในอาคาร โดยประยุกต์เข้ากับหลังคา

การไหลในระบบห้องหลังคาและปล่องแดงเกิดจากแรงลอยตัว (buoyancy force) ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศภายในและภายนอกของระบบ ระบบปล่องแดงส่วนใหญ่จึงใช้วัสดุโปร่งใส (transparent roof) มุงด้านนอกเพื่อให้แสงแดดทะลุผ่านเข้ามาภายในช่องอากาศ (air gap) หรือช่องทางไหล และดูดกลืนพลังงานแสงแดดไว้ด้วยแผ่นดูดกลืนแสงแดด (absorber plate) ซึ่งโดยทั่วไปทำจากแผ่นโลหะฉาบด้วยสีดำเพื่อช่วยให้ดูดกลืนแสงแดดได้มาก ความร้อนจะถูกกักให้อยู่ในช่องอากาศโดยพฤติกรรมเรือนกระจก (greenhouse effect) อากาศภายในช่องว่างจะได้รับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนแสงแดด ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นลดลง และลอยตัวสูงขึ้นออกสู่บรรยากาศผ่านช่องทางออกด้านบน หากนำระบบนี้ประยุกต์เข้ากับอาคาร ก็จะสามารถเหนี่ยวนำอากาศเย็นจากด้านนอกเข้าสู่อาคารผ่านช่องเปิดทางด้านล่าง ช่วยระบายอากาศและทำความเย็นไปพร้อม ๆ กัน จะเห็นได้ว่าหลักการทำงานของระบบนี้ค่อนข้างง่าย แต่การออกแบบให้ได้ประสิทธิภาพสูงนั้น มีความยุ่งยากพอสมควร เพราะต้องมีทั้งทฤษฎี การคำนวณ และการทดลองที่ดีเป็นเครื่องมือในการทำงาน

ในอดีตมีงานวิจัยที่ศึกษาหาแนวทางการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศแบบธรรมชาติ

ทั้งการศึกษาเชิงทฤษฎี การศึกษาเชิงตัวเลข และการทดลอง ปี ค.ศ. 1993 Bansal และคณะ [4,5] พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการระบายอากาศ แบบธรรมชาติด้วยการใช้ปล่องแดง คำนวณหาปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่อาคาร พบว่าปล่องแดงสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดอัตราการไหลได้ $50 - 165 \text{ m}^3/\text{hr}$ ต่อพื้นที่ปล่องแดง 1 m^2 และพบว่า อัตราการไหลขึ้นอยู่กับ ปัจจัยโครงสร้าง (geometrical parameters) ของปล่องแดง เช่น พื้นที่หน้าตัด การไหลของช่องอากาศ เป็นต้น รวมทั้งขึ้นอยู่กับ ประสิทธิภาพในการดูด กลืนแสง ของปล่องแดงด้วย นอกจากนี้ได้ศึกษา ความเป็นไปได้ในการระบายอากาศด้วยปล่องแดงขนาดเล็ก (ยาว 1 m กว้าง 1 m) พบว่าความเร็วสูงสุดภายในปล่อง มีค่าเท่ากับ 0.24 m/s แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ระบบปล่องแดงขนาดเล็กเพื่อการระบายอากาศ จากรายงานวิจัยของ Afonso และ Oliveira [6] แสดงให้เห็นว่าอัตราการระบายอากาศแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดของ ช่องอากาศเช่นเดียวกัน ส่วน Gan [7] ประยุกต์ ปล่องแดงเข้ากับผนังอาคาร เพื่อศึกษาอัตราการระบายอากาศ พบว่าอัตราการระบายอากาศขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแดด โดยอัตราการระบายอากาศมากเมื่อความเข้มแสงแดดสูง และ อัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ความสูงปล่อง 6 m เมื่อพิจารณาที่ความกว้าง ของช่องอากาศระหว่าง $0.55 - 0.6 \text{ m}$ หากความสูงมากกว่าช่วงดังกล่าวจะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับบริเวณด้านบนของปล่อง ส่วน Bouchair [8] พบว่า อัตราการไหลสูงสุด เกิดขึ้นที่ ความกว้างของปล่องประมาณ $1/10$ ของความสูงปล่อง และงานวิจัยของ Burek และ Habeb [9] พบว่าอัตราการไหลของอากาศภายในปล่องขึ้นอยู่กับความกว้างของปล่องและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (heat gain) นอกจากนี้ Hamdy และ Fikry [10] ยังพบว่าอัตราการไหลขึ้นอยู่กับความสูงระหว่างช่องทางเข้าและออกของปล่องแดง (stack height) การเปลี่ยนความสูงนี้ทำได้โดยเปลี่ยนมุมเอียงของหลังคา (กรณีนี้ประยุกต์ปล่องเข้ากับหลังคาเอียง) ถ้าหลังคาเอียง มากขึ้นย่อม

หมายถึง ความสูงระหว่างช่องทางเข้าและออกของปล่องมากขึ้นด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้เสนอว่า มุมเอียงของหลังคาที่เหมาะสมที่สุด เท่ากับ 60° Zhai และคณะ [11] เปรียบเทียบการใช้ปล่องแดดแบบหนึ่งช่องทางไหลและแบบสองช่องทางไหล พบว่าอัตราการระบายอากาศของปล่องแดดแบบสองช่องทางไหลมีค่าเท่ากับ 20 ACH (Air Change per Hour) เมื่อพิจารณาที่มุมเอียงของหลังคาปล่องแดดเท่ากับ 30° หากต้องการให้ปล่องแดดแบบหนึ่งช่องทางไหลระบายอากาศได้ในปริมาณเท่ากัน ปล่องแดดต้องเอียง 75° ซึ่งยากในทางปฏิบัติ และอาจดูไม่สวยงาม ตลอดจนเพิ่มค่าใช้จ่ายเรื่องวัสดุของหลังคาที่เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องแดดแบบสองช่องทางไหล พบว่าสูงกว่าแบบหนึ่งช่องทางไหลประมาณ 10% นอกจากนี้ Khedari และคณะ [12,13,14,15,16] ศึกษาการระบายอากาศภายในบ้านพักอาศัยที่อยู่ใน พื้นที่ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร เสนอว่าปล่องแดดควรยาว 1 - 2 m ความกว้างของช่องทางอากาศ 10 - 14 cm และมุมเอียงของหลังคาอยู่ระหว่าง $20 - 45^\circ$ (เพื่อความสวยงามประหยัด และง่ายในทางปฏิบัติ) ทำยงานวิจัยเมื่อไม่นานนี้ของ พรสวรรค์ และ ทวีช [17] เสนอวิธีการระบายอากาศด้วยห้องหลังคาและปล่องแดด ซึ่งสามารถเห็นแนวโน้มให้เกิดการระบายอากาศ ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ ของผู้อาศัย นอกจากนี้ยังพบว่าความสูงและขนาดของปล่อง ตลอดจนความเข้มของแสงแดด ต่างส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศ มุมเอียงที่ควรนำไปใช้ในทางปฏิบัติของหลังคาคือ 45°

จากงานวิจัยในอดีต จะเห็นว่า ปริมาณการระบายอากาศ ขึ้นอยู่กับ ความ เข้มของแสงแดด และ ปัจจัยโครงสร้างของระบบปล่องแดด ได้แก่ ความสูงระหว่างช่องทางเข้าและออกของ ปล่องแดด ขนาดของช่องทางเข้าและออกของอากาศ ความกว้างของช่องทางอากาศ ตลอดจนความยาวของปล่องแดด (ซึ่งอาจหมายถึงความยาวของหลังคาหากประยุกต์ปล่องแดดเข้ากับหลังคา) อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้ยัง มีความ

แตกต่างในเชิงปริมาณ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าวิธีการศึกษาของแต่ละงานวิจัยแตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์การไหลผ่านอาคารด้วยระบบห้องหลังคาและปล่องแดด เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ทั้งหมดตั้งได้กล่าวมา โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลสำเร็จรูป ANSYS CFX และศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบจากการกระจาย พื้นที่หน้าตัด การไหลด้วยการ ทำให้มีมุมบานตัวของช่องทางอากาศ (พื้นที่หน้าตัดการไหลใหญ่ขึ้นตามทิศทางของการไหล) ซึ่งยังไม่พบการศึกษาปัจจัยนี้มาก่อนในอดีต นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบจากการใช้หลังคาแบบราบที่มีปล่องแนวตั้งต่อเข้ากับหลังคา และหลังคาแบบเอียงโดยให้หลังคาทั้งสองรูปแบบมีความสูงรวมระหว่างช่องทางเข้าและออกของระบบเท่ากัน เมื่อกำหนดให้มีพื้นที่รับแดดของหลังคาเท่ากัน

แรงจูงใจในการศึกษาผลกระทบจากการกระจายพื้นที่หน้าตัดการไหลของปล่องแดด เกิดจากผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยของ Chitsomboon T. [3] ซึ่งทำนายการไหลในระบบปล่องแดดเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (ประกอบด้วยหลังคารับแดดแบบโปร่งใสสูงจากระดับพื้นดินเล็กน้อย และมีปล่องแนวตั้งอยู่ตรงกลางของหลังคา) เป็นสมการคือ

$$\frac{1}{2} m V_1^2 \left[\rho_1 - 2\rho_1 A_1^2 \int_1^3 \frac{dA_r}{A^2} + \frac{2\rho_1 A_1^2 g h_c}{\gamma R T_1} \int_1^3 \frac{dA}{A^3} \right] = \frac{\rho_1 g h_c q''}{c_p T_3} \int_1^3 dA_r \quad (1)$$

สมการนี้ได้จากการสังเคราะห์สมการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงานเข้าด้วยกัน ผลการทำนายของสมการสอดคล้องกับการทำนายของการคำนวณเชิงตัวเลขเป็นอย่างดี จากการวิเคราะห์สมการเชิงลึกพบว่าถ้าให้ช่องทางออก ใหญ่กว่า ช่องทางเข้า ของระบบ ($A_3 / A_1 > 1$ เมื่อ A_3 คือ พื้นที่หน้าตัดการไหลที่ทางออกของปล่อง และ A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดการไหลที่ช่องทางเข้าของหลังคารับแดด) สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ซึ่งผลลัพธ์นี้ได้รับการยืนยันอีกครั้งจากงานวิจัยของ Koonsrisuk and Chitsomboon [18] ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้แนวคิดเดียวกันนี้กับระบบห้อง

หลังคาและปล่องแดดเพื่อการระบายอากาศ [19, 20] โดยการทำให้ ช่องอากาศ บานตัวออก (ดังแสดงในรูปที่ 2) ซึ่งพบว่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเกือบจะเป็นเชิงเส้นที่มุมบานตัวของหลังคาในช่วง $1 - 5^\circ$ พิจารณาที่มุมบานตัว 6° สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ 30% (เทียบกับกรณีไม่มีมุมบานตัว) เมื่อเพิ่มมุมบานตัวไปจนถึง 12° อัตราการไหลยังคงเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มด้วยอัตราที่ลดลง จากนั้นศึกษาอัตราการเพิ่มขึ้นของการระบายอากาศเมื่อต่อปล่องแนวตั้งเข้ากับทางออกของห้องหลังคา โดยปล่องนี้เป็นปล่องแบบธรรมดาที่ช่วยเพิ่มความสูงระหว่างช่องทางเข้าและออกของระบบเท่านั้น (ไม่ได้มีหน้าที่รับแสงแดดแต่อย่างใด) ส่วนการเพิ่มปล่องแนวตั้งเข้ากับระบบนั้น ช่วยเพิ่มอัตราการไหลได้ถึง 38 % ที่ความสูงปล่อง 0.75 m

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษา เพิ่มเติมจากพรสวรรค์ และ ทวิช [20] โดยเลือกใช้ระบบเมชแบบ Extruded 2D mesh ศึกษาผลกระทบจากการกระจายพื้นที่หน้าตัด การไหล การเพิ่มความสูงของระบบด้วยการต่อปล่องเข้ากับห้องหลังคา ตลอดจนผลของการใช้หลังคาเอียง และหลังคาแบบราบที่มีปล่องแนวตั้ง เมื่อให้ความสูงรวมของระบบเท่ากัน (ดังแสดงในรูปที่ 4) ซึ่งพบว่าที่ความสูงของระบบเท่ากัน ควรเลือกใช้หลังคาเอียงที่ไม่มีปล่อง เพราะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศสูงกว่าและหากติดตั้งปล่องธรรมดาเข้ากับหลังคาเอียง (เพิ่ม stack height) สามารถช่วยเพิ่มอัตราการไหลของอากาศได้

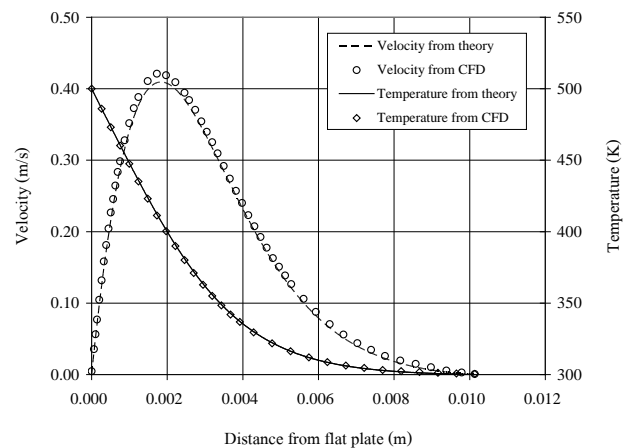
2. แนวทางการดำเนินการวิจัย

2.1 การทดสอบโปรแกรม

สำหรับ การศึกษาเชิงตัวเลขด้วยกรรมวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหล ANSYS CFX [21] ทำการทดสอบโปรแกรมด้วยปัญหาการไหลแบบการพาอิสระ (free convection) ผ่านแผ่นร้อนแนวตั้ง ใน 2 มิติ เปรียบเทียบผลลัพธ์กับผลเฉลยแม่นยำ ที่คำนวณจาก กรรมวิธีความเสมือน (similarity method) [22] ซึ่งใช้

Boussinesq model ในการจัดจำลองความหนาแน่นของอากาศ

การจำลองปัญหาการไหลที่ขับเคลื่อนด้วยแรงลอยตัวของโปรแกรม ANSYS CFX จะต้องจำลองด้วย Transient model เท่านั้น ผู้วิจัยได้ลองเปลี่ยนรูปแบบของเงื่อนไขขอบเขตจนกระทั่งได้รูปแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นยำ โดยเลือกใช้ Advection scheme เป็นแบบ Specified Blend Factor เท่ากับ 1.0 เทียบเท่ากับ second order ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีความถูกต้องค่อนข้างสูง และใช้ Transient scheme เป็นแบบ Second Order Backward Euler ผลลัพธ์แสดงในรูปของความเร็วและอุณหภูมิสัมบูรณ์ในทิศทางตามความสูงของแผ่นร้อนดังแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นได้จากกราฟว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง (CFD) มีความสอดคล้องดีกับผลเฉลยแม่นยำ (ทฤษฎี) ค่าผิดพลาดสูงสุดเพียง 3.1% อนึ่ง พึงเข้าใจว่าผลเฉลยแม่นยำนี้เป็นผลเฉลยของสมการในชั้นขีดผิวซึ่งเป็นสมการประมาณการของสมการเต็มรูป จึงมีความผิดพลาดในตัวเองอยู่ระดับหนึ่ง (แม้จะเรียกว่าผลเฉลยแม่นยำก็ตาม)



รูปที่ 1 ความเร็วและอุณหภูมิสัมบูรณ์เทียบกับระยะห่างจากแผ่นร้อน

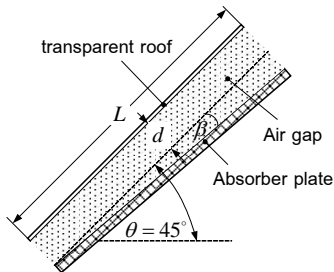
2.2 ลักษณะของระบบปล่องแดดที่ทำการศึกษา

ระบบปล่องแดดพื้นฐานที่ศึกษามีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2, 3 และ 4 โดยรูปที่ 2 เป็นระบบปล่องแดดที่มีเฉพาะห้องหลังคา ส่วนรูปที่ 3 เป็นระบบปล่องแดดที่ประกอบด้วยห้องหลังคาและปล่อง และรูปที่ 4 แสดงรูปแบบของปล่องแดดที่ใช้ในการศึกษาผลของการใช้

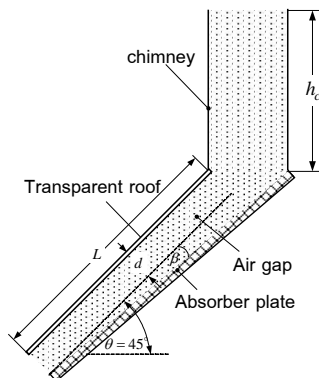
หลังคาแบบราบที่มีปล่องกับหลังคาเอียง (ไม่มีปล่อง)
เมื่อกำหนดให้ความสูงรวมของระบบทั้งสองมีค่า
เท่ากัน

กรณีอ้างอิง (reference case) ของระบบที่
ทำการศึกษาคั้งนี้กำหนดให้เป็นกรณีหลังคาเอียง
 45° ไม่มีมุมบานตัว ($\beta = 0^\circ$) ความกว้างของช่อง
อากาศเท่ากับ 14 cm ผลลัพธ์ของกรณีอื่นจะ
เปรียบเทียบกับกรณีอ้างอิงนี้เสมอ ทำการ ศึกษา
ผลกระทบต่อปริมาณอัตราไหลมวลของอากาศเมื่อ
เปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

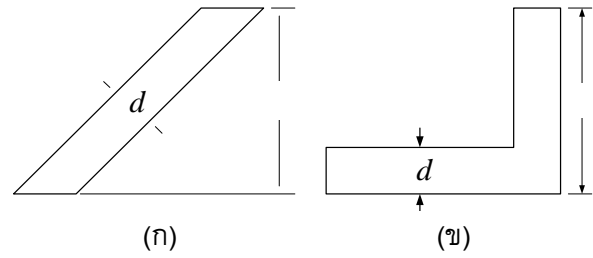
1. มุมบาน (β): $0 - 12^\circ$ เพิ่มขึ้นครั้งละ 1°
2. ความกว้างของช่องอากาศ (d): 12 – 60 cm
3. ความยาวของหลังคา (L): 1 - 4 m เพิ่มขึ้นครั้งละ
0.5 m
4. ความสูงของปล่องแดง (h_c): 0 – 1.25 m เพิ่มขึ้น
ครั้งละ 0.25 m
5. ความเข้มของแสงแดด: 500, 650, 800 และ 900
 W/m^2



รูปที่ 2 ระบบปล่องแดงที่มีเฉพาะห้องหลังคา



รูปที่ 3 ระบบปล่องแดงที่มีทั้งห้องหลังคาและปล่อง



รูปที่ 4 (ก) หลังคาแบบเอียงและ (ข) หลังคาแบบราบ
มีปล่อง ที่ความสูงรวมเท่ากัน

ทำการจำลองการไหลด้วยโปรแกรม ANSYS CFX
ภายใต้สมมุติฐานดังนี้

1. เป็นการไหลในระบบพิกัด 2 มิติ
2. อากาศภายในช่องอากาศของปล่องแดงได้รับความร้อนจากแสงแดดเป็นความร้อนต่อหน่วยปริมาตรแบบเอกรูป (uniform heat source)
3. เป็นการไหลแบบมีความหนืดในช่วงราบเรียบ (laminar) เพราะเป็นการไหลที่ขับเคลื่อนโดยแรงลอยตัวในระยะทางสั้นๆ ที่ค่าเลขกราชอฟ (Grashof number) ต่ำ
4. ใช้ Boussinesq model เพื่อประมาณการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศที่ได้รับความร้อน

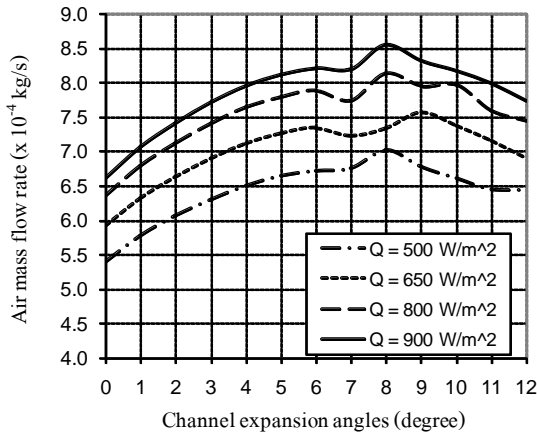
ความมั่นใจใน ความถูกต้องของ ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมฯ พิจารณาจาก 2 ปัจจัย หนึ่งคือ ค่าเศษตกค้าง (residual) ของสมการนาเวียร์-สโตค ตรวจสอบได้จากลักษณะของเส้นกราฟที่โปรแกรมแสดงผลซึ่งต้องลู่เข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่ง และมีค่าต่ำเพียงพอ ต่อการยอมรับ และสองคือ อัตราการไหลเชิงมวลที่แต่ละหน้าตัดต้องมีค่าเท่ากันตามกฎการอนุรักษ์มวล (conservation of mass) เนื่องจากเป็นการไหลในช่องทาง ดังนั้นจึงตรวจสอบโดยการคำนวณค่าอัตราการไหลบริเวณทางเข้ากับทางออกซึ่งต้องได้ค่าเท่ากัน

3. ผลลัพธ์และการอภิปรายผล

3.1 ผลกระทบจากการบานตัวของช่องอากาศ

การบานตัวของช่องอากาศสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ดังแสดงในรูปที่ 5 การเพิ่มของอัตราการไหลมีค่ามากในช่วงแรก ($1-6^\circ$) ที่มุมบาน 6° สามารถเพิ่ม

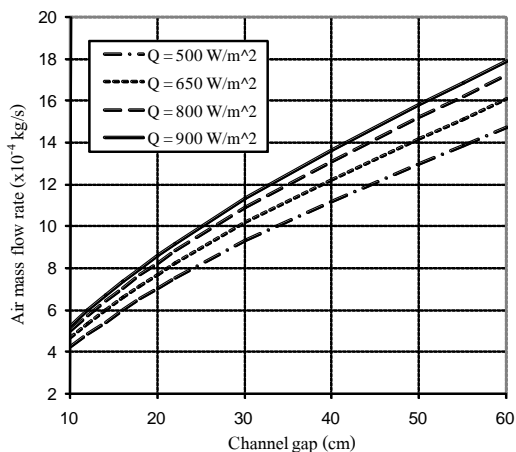
อัตราการไหลได้สูงถึง 24% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอ้างอิง อย่างไรก็ตามหลังจาก 8° เป็นต้นไป อัตราการไหลเริ่มลดลง ซึ่งได้ตรวจดูผลลัพธ์แล้วไม่ปรากฏว่าเป็นเพราะการเกิดการไหลแยก (separated flow) ดังนั้นจะต้องวิเคราะห์หาสาเหตุของพฤติกรรมนี้ต่อไป



รูปที่ 5 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับมุมบานตัวของช่องอากาศที่ความเข้มแสงต่างๆ

3.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนความกว้างของช่องอากาศ

ผลลัพธ์จากการเปลี่ยนความกว้างของช่องอากาศเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยในอดีต นั่นคือเมื่อให้ความกว้างของช่องอากาศมากขึ้น (แสดงถึงพื้นที่หน้าตัดการไหลที่มากขึ้น) สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ดังแสดงในรูปที่ 6 แต่เป็นที่น่าแปลกใจที่อัตราการไหลยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความกว้างของช่องอากาศไปจนถึง 60 cm และดูเหมือนว่าการเพิ่มขึ้นเกือบจะเป็นเชิงเส้น

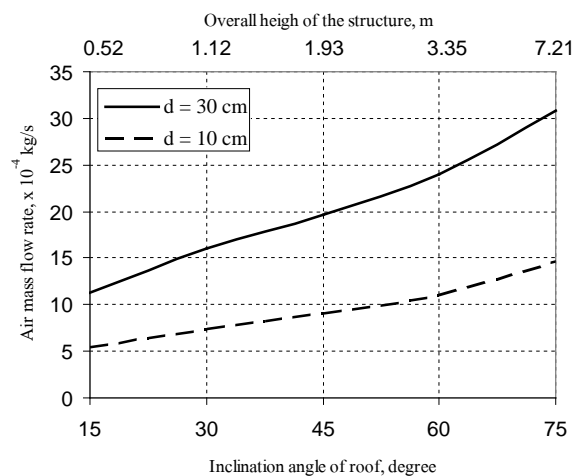


รูปที่ 6 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับความกว้างของช่องอากาศที่ความเข้มแสงต่างๆ

ผลลัพธ์นี้แตกต่างจากผลลัพธ์ที่ Khedari [12] เสนอไว้ว่าควรใช้ความกว้างของช่องอากาศ 14 - 16 cm เมื่อพิจารณาที่ความยาวของปล่อง 1 m เท่ากัน หากพิจารณาโดยหลักการ เมื่อปริมาตรของอากาศภายในช่องว่างมากขึ้นจะทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศลดลง ทำให้แรงลอยตัวลดลง และความเร็วลดลงด้วย แต่พื้นที่หน้าตัดการไหลมากขึ้น อาจเป็นไปได้ที่การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดการไหลมีผลต่ออัตราการไหลมากกว่าการลดลงของความเร็ว

3.3 ผลกระทบจากมุมเอียงของหลังคา

หากเปลี่ยนมุมเอียงของหลังคาโดยให้ระยะในแนวอนคงที่ (ให้พื้นที่รับแดดของหลังคาคงที่ เมื่อคิดว่าดวงอาทิตย์อยู่ตรงหัว พอดี) สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งไม่ใช่เรื่องแปลกแต่อย่างใด เพราะวาระยะ แนวตั้ง ระหว่างทางเข้ากับทางออก (stack height) มากขึ้น จึงทำให้เกิด stack effect มากขึ้นตามไปด้วย



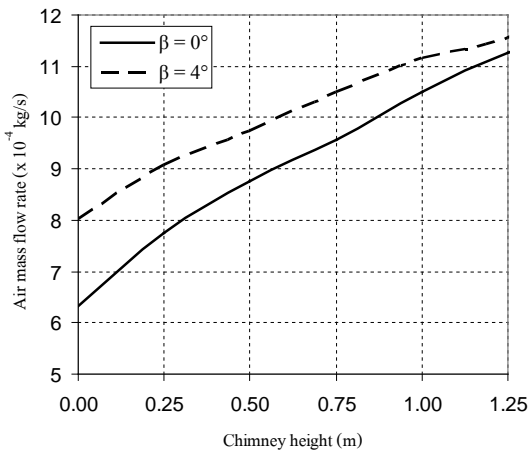
รูปที่ 7 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับมุมเอียงของหลังคา

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นเกือบจะเป็นเชิงเส้น อย่างไรก็ตามมุมเอียงของหลังคาที่เหมาะสมควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นด้วย อาทิเช่น ค่าใช้จ่าย ความสวยงาม ตลอดจนความยากง่ายในทางปฏิบัติ เป็นต้น

3.4 ผลกระทบจากการต่อปล่องเข้ากับหลังคา

งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่ใช้ปล่องเพื่อการดูดซับความร้อนจากแสงแดด (เหมาะสำหรับเมืองหนาว) ซึ่งมีทั้งการใช้ปล่องแนวตั้งหรือปล่องเอียงที่ประยุกต์

เข้ากับส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคาร เช่น หลังคาหรือผนัง แต่สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ปล่องเพื่อเพิ่มอัตราการไหลโดยปล่องไม่ได้มีหน้าที่รับแสงแดดแต่อย่างใด ซึ่งพบว่าที่ความสูงปล่องเพียง 0.5 m สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้มากขึ้นถึง 38% ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเป็น การต่อปล่องเข้ากับกรณีอ้างอิง วิธีการนี้จึงเป็นอีก หนึ่งทางเลือกที่ให้ประสิทธิผลสูงและสามารถนำไปปฏิบัติได้ไม่ยากนัก

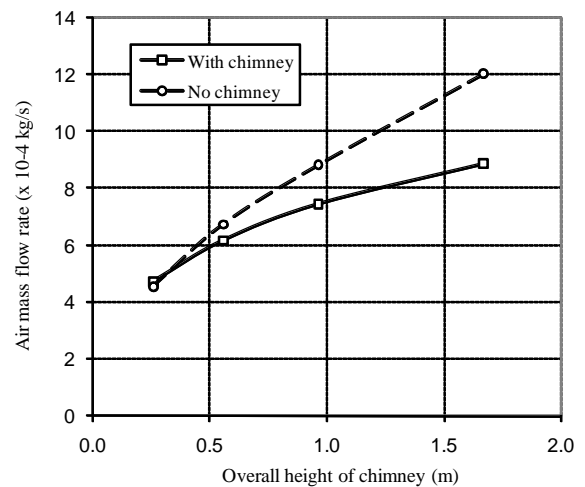


รูปที่ 8 อัตราการไหลของอากาศเมื่อมีการต่อปล่อง ได้ศึกษาผลของการต่อปล่องแดดเข้ากับช่องทางออกที่มีการบานตัวเท่ากับ 4° พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการบานตัว (ดังรูปที่ 8) ดังนั้นการต่อปล่องเข้ากับช่องทางอากาศที่มีการบานตัวจึงอาจไม่คุ้มค่าเมื่อปล่องที่ต่อมีความสูงถึงระดับหนึ่ง

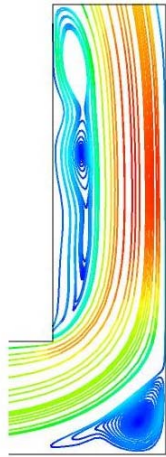
3.5 ผลกระทบของความสูงรวม

จากการศึกษาที่ผ่านมาเห็นได้ว่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงหลังคามากขึ้นหรือมีการต่อปล่องแดดให้สูงขึ้น จึงเกิดแนวคิดว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราไหลนี้จะเท่ากันหรือไม่ถ้าคงพื้นที่รับแดดไว้เท่าเดิม โดยให้ความสูงรวมเท่ากัน ทั้งนี้ไม่ว่าความสูงรวมนี้จะ ได้มาจากการเอียงหลังคาและหรือการต่อปล่องเพิ่มใน ลักษณะใดก็ตาม ข้อมูลนี้จะ เป็นประโยชน์ในการทำให้สามารถออกแบบหลังคาที่หลากหลายมากขึ้นได้ตาม ข้อจำกัดหรือความนิยมของผู้ใช้ เช่น อาจใช้หลังคาลาดเอียงต่ำผสมกับปล่องแดดแทนการใช้หลังคาที่ลาดเอียงมากแต่เพียงอย่างเดียว

เพื่อการศึกษาดังกล่าวจึงเปรียบเทียบกรณีหลังคาเอียงกับกรณีหลังคาราบ (ไม่มีมุมเอียง) แต่ต่อปล่องแดดให้มีความสูงรวมเท่ากับกรณีหลังคาเอียง ซึ่งในที่นี้เลือกจำลองมุมเอียง 15, 30, 45 และ 60° (คิดเป็นความสูงแนวตั้งได้เท่ากับ 0.26, 0.56, 0.97 และ 1.67 m ตามลำดับ) ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 9 พบว่ากรณีอ้างอิงให้อัตราการไหลมากกว่ากรณีหลังคาราบ และความแตกต่างของอัตราการไหลยิ่งมากขึ้นที่ความสูงรวมปล่องมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟที่ฉีกตัวห่างออกจากกัน เนื่องจากการสูญเสียเกิดขึ้น เช่นเดียวกับการสูญเสียบริเวณข้อต่อของการไหลในท่อ การต่อปล่องเข้ากับหลังคาราบในที่นี้เป็นการต่อแบบมุมฉาก จึงก่อให้เกิดการสูญเสียบริเวณนี้ด้วยการเกิดก่อนหมุนวนด้านหลังของมุมฉาก ดังแสดงในรูปที่ 10 ดังนั้นหากมีการเข้ามุมโดยใช้การกลมมุมแบบผิวโค้งอาจจะช่วยลดการสูญเสียได้ จนอาจมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับหลังคาเอียงก็เป็นได้



รูปที่ 9 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับความสูงรวมของปล่องของหลังคาที่มีปล่องและไม่ มีปล่อง



รูปที่ 10 Separation bubble บริเวณรอยต่อระหว่าง
หลังคา กับปล่อง

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาเชิงตัวเลขด้วยกรรมวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของของไหลในงานวิจัยนี้โดยรวมสอดคล้องกับผลลัพธ์จากงานวิจัยในอดีต นั่นคือ อัตราการไหลของอากาศขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแดด และปัจจัยโครงสร้าง ได้แก่ ความกว้างของช่องอากาศ มุมเอียงของหลังคา (ซึ่งหมายถึงความยาวและความสูงของหลังคา) ความสูงของปล่อง นอกจากนี้การศึกษานี้ยังพบว่า การกระจายพื้นที่หน้าตัดการไหลด้วยมุมบานตัวของหลังคาเพียงเล็กน้อยสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้มาก นับเป็นทางเลือกใหม่เพื่อนำไปปฏิบัติจริงต่อไป และการใช้ปล่องธรรมชาติต่อเข้ากับหลังคา รับแดดสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ โดยเพิ่มขึ้นถึง 38% ที่ความสูงปล่องเพียง 0.5 m เมื่อเทียบกับกรณีหลังคาไม่มีปล่อง อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาที่ความสูงรวมเท่ากัน จากผลลัพธ์ที่ได้ควรเลือกใช้หลังคาเอียงแทนหลังคาราบที่มีปล่อง จนกว่าจะได้รับการพิสูจน์ถึงผลกระทบจากการต่อปล่องแบบลมมุมโค้งต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Schlaich, J. (1995). The Solar Chimney: Electricity from the Sun. *Edition Axel Menges*, Stuttgart, Germany.

[2] Padki, M. M., and Sherif, S. A. (1999). On a simple analytical model for solar chimneys.

International Journal of Energy Research, Vol. (23), pp. 289-294.

[3] Chitsomboon, T. (2001). A Validated Analytical Model for Flow in Solar Chimney. *International Journal of Renewable Energy Engineering*, Vol. 3(2), pp. 339-346.

[4] Bansal N.K., Methur R. and Bhandari M.S. (1993). Solar chimney stack ventilation. *Building and Environment*, Vol. 28(3), pp. 373-377.

[5] Bansal N.K., Methur J., Methur S. and Jane M. (2005). Modeling of window-sized solar chimneys for ventilation. *Building and Environment*, Vol. 40, pp. 373-377.

[6] Afonso C. and Oliveira A. (2000). Solar chimneys: simulation and experiment. *Energy and Buildings*, Vol. 32, pp. 71-79.

[7] Gan G. (1998). A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 27, pp. 37-43.

[8] Bouchar A. Solar chimney for promoting cooling ventilation in southern Algeria.

[9] Burek S. A.M. and Habeb A. (2007). Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls. *Energy and Buildings*, Vol. 39, pp. 128-135.

[10] Hamdy L.F. and Fikry M.A. (1998). PASSIVE SOLAR VENTILATION. *Renewable Energy*, Vol. 14(1-4), pp. 381-386.

[11] Zhai X.Q., Dai Y.J. and Wang R.Z. (2005). Comparison of heating and natural ventilation in a solar house induced by two roof solar collectors, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 25, pp. 741-757.

[12] Hirunlabh, J., Washirapuwadon, S., Pratinthong, N. and Khedary, J. (2001). New

configurations of a roof solar collector maximizing natural ventilation. *Building and Environment*, Vol. 36(3), pp. 383-391.

[13] Khedary, J., Hirunlabh, J. and Bunnag, T. (1997). Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses, *Energy and Buildings*, Vol. 26(2), pp. 159-164.

[14] Khedary, J., Mansirisub, W., Chaima, S., Pratinthong, N. and Hirunlabh, J. (2000). Field measurements of performance of roof solar collector, *Energy and Buildings*, Vol. 31(3), pp. 171-178.

[15] Khedary, J., Ingkawanich, S., Waewsak, J. and Hirunlabh, J. (2002). A PV system enhanced the performance of roof solar collector, *Building and Environment*, Vol. 37(12), pp. 1317-1320.

[16] Khedary, J., Yimsamerjit, P. and Hirunlabh, J. (2002). Experimental investigation of free convection in roof solar collector, *Building and Environment*, Vol. 37(5), pp. 455-459.

[17] Tongbai, P. and Chitsomboon, T. (2004). The Use of Attic and Chimney to Enhance Air Ventilation : A Numerical Analysis, *Proceedings of the 18th National Mechanical Engineering Conference*, Khonkaen, Thailand, pp. 263-268.

[18] Koonsrisuk A. and Chitsomboon, T. (2006). Effect of Tower Area Change on the Potential of Solar Tower. *The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment"*, Bangkok, Thailand.

[19] Tongbai, P. and Chitsomboon, T. (2008). Enhancements of solar chimney for building ventilation, *The 4th Conference on Energy Network of Thailand*, Nakhon Pathom, Thailand.

[20] Tongbai, P. and Chitsomboon, T. (2008). Parameters Affecting Ventilation in Building using Solar Chimney, *Proceedings of the 22th National Mechanical Engineering Conference*, Thailand.

[21] ANSYS CFX, Release 11.0. ANSYS, Inc.

[22] Kays, W.M. and Crawford M.E. (1993). Convective heat and mass transfer. (3rd ed.) Singapore: McGraw-Hill.