

การจำลองแบบสามมิติของการระบายอากาศในอาคารด้วยระบบปล่องแดด

Three Dimensional Simulation of Natural Ventilation in Building using Solar Chimney System

พรสวรรค์ ทองใบ¹, และ ทวีช จิตรสมบุญ^{1,*}

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*ผู้ติดต่อ: E-mail: tabon@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 044 224 414, เบอร์โทรสาร: 044 224 4613

บทคัดย่อ

ระบบปล่องแดด เป็นระบบที่ใช้ในการระบายอากาศจากอาคารโดยวิธีการไหลแบบธรรมชาติ (natural convection) ประกอบด้วยห้องหลังคาใสและปล่องที่วางอยู่ในแนวเฉียงหรือแนวตั้ง ในอดีตได้ทำการศึกษาโดยการจำลองแบบสองมิติพบว่าระบบปล่องแดดสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการระบายอากาศได้ และยังสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ด้วยการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ เช่น ความสูง ความกว้าง และการบานตัวของช่องหลังคา งานวิจัยนี้ศึกษาอัตราการระบายอากาศในสามมิติเมื่อใช้ระบบปล่องแดดลักษณะเดียวกัน ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศที่ได้ เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องและร้อยละของความคลาดเคลื่อนในผลลัพธ์จากการจำลองการไหลในสองมิติ ซึ่งหากค่าคลาดเคลื่อนจากการจำลองทั้งสองแบบไม่สูงมาก นั้นหมายถึงสามารถจำลองการไหลเพียงสองมิติเพื่อประเมินหาอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริงในสามมิติได้ ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษาได้เป็นอย่างมาก

คำหลัก: การเพิ่มอัตราการระบายอากาศ, การระบายอากาศธรรมชาติ, ปล่องแดด, ท่อบานตัว

Abstract

Solar chimney is the system that is employed to ventilate building by natural convection. It consists of the transparent roof and inclined or vertical chimney. The two dimensional study in previous show that the solar chimney can induce flow to ventilation. And we can increase the rate of ventilation by vary the size of geometrical parameters, such as, the height, the width, and the expansion of channel of roof. This research is to study in three dimensional of the ventilation rate is induced by the same of solar chimney system. Compare the results from three and two dimensional simulation to analyze the accuracy and percentage error of two dimensional results. If the percentage error is not large and almost constant, we can simulate flow through building in only two dimensions. It is mean we can more save time and cost of the study.

Keywords: increasing the rate of ventilation, the natural ventilation, solar chimney, the expansion channel.

1. บทนำ

นอกจากจะพบงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบปล่องแดดเพื่อการผลิตไฟฟ้า [1,2,3] แล้ว ยังพบว่ามิงงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ระบบปล่องแดดเพื่อการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน มีนักวิจัยหลายท่านได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบระบบปล่องแดดเพื่อการระบายอากาศ ซึ่งมีรูปแบบ ขนาด หรือตำแหน่งที่ประยุกต์ปล่องแดดเข้ากับอาคารแตกต่างกันออกไป สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ปล่องแดดเพื่อการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในอาคาร โดยประยุกต์เข้ากับหลังคา

การไหลของอากาศในระบบห้องหลังคาและปล่องแดดเกิดจากแรงลอยตัว (buoyancy force) ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศภายในและภายนอกของระบบ ส่วนประกอบหลักของระบบปล่องแดดส่วนใหญ่คือ ด้านนอกส่วนที่ติดกับบรรยากาศทำจากวัสดุโปร่งใส (transparent material) ซึ่งมีค่าการส่งผ่านความร้อนสูงจึงยอมให้แสงแดดทะลุผ่านได้มาก (ดูรูปที่ 1) ถัดมาคือช่องอากาศ (air channel) หรือช่องทางไหล ส่วนสุดท้ายคือแผ่นดูดกลืนแสงแดด (absorber plate) ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงแดดที่ทะลุผ่านวัสดุโปร่งใสเข้ามา เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่อยู่ในช่องอากาศต่อไป โดยทั่วไปแผ่นดูดกลืนแสงแดดจะทำจากแผ่นโลหะที่เคลือบหรือทาดด้วยสีดำเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดกลืนแสงแดด ความร้อนจะถูกกักให้อยู่ในช่องอากาศโดยพฤติกรรมเรือนกระจก (greenhouse effect) อากาศภายในช่องว่างจะได้รับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนแสงแดด ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นลดลง และลอยตัวสูงขึ้นออกสู่บรรยากาศผ่านช่องทางออกด้านบน หากทำการประยุกต์ระบบปล่องแดดนี้เข้ากับอาคาร ก็จะสามารถเห็นยวน้ำอากาศเย็นจากด้านนอกเข้าสู่อาคารผ่านช่องเปิดทางด้านล่าง ช่วยระบายอากาศและทำความเย็นไปพร้อมๆ กัน จะเห็นได้ว่า หลักการทำงานของระบบนี้

ค่อนข้างง่าย แต่การออกแบบให้ได้ประสิทธิภาพสูงนั้นมีความยุ่งยากพอสมควร เพราะต้องมีทั้งทฤษฎี การคำนวณ และการทดลองที่ดีเป็นเครื่องมือในการทำงาน

จากการศึกษาและรวบรวมผลลัพธ์ของงานวิจัยในอดีตพบว่าปริมาณการระบายอากาศที่เกิดจากการใช้ระบบปล่องแดดแปรผันตรงกับค่าความเข้มของแสงแดด และขึ้นอยู่กับปัจจัยทางโครงสร้างของปล่องแดด (geometrical parameters) เช่น ความสูงระหว่างช่องทางเข้าและออกของ ปล่องแดด (stack height) ขนาดของช่อง เปิด ความกว้างของช่องอากาศ ตลอดจนความยาว หรือความสูง ของปล่อง (ซึ่งอาจหมายถึงความยาวของหลังคาหากประยุกต์ปล่องแดดเข้ากับ หลังคา) และความเอียงของหลังคา เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถหาข้อสรุปจากผลลัพธ์ที่ได้จากนักวิจัยแต่ละท่านได้ว่า ค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อการระบายอากาศของแต่ละปัจจัยทางโครงสร้างคือค่าใด หรือมีแนวทางออกแบบใดบ้างที่สามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการออกแบบเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ และเสนอค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศสำหรับการประยุกต์ใช้ปล่องแดดเพื่อการระบายอากาศโดยติดตั้งเข้ากับหลังคาบ้านหรืออาคาร โดยเรียกระบบนี้ว่า ระบบห้องหลังคาและปล่องแดด (solar attic and solar chimney system)

ที่ผ่านมามิงงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับ การระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในอาคาร ทั้งการศึกษาเชิงทฤษฎี การศึกษาเชิงตัวเลข และการทดลอง เช่น ในปี ค.ศ. 1993 Bansal และ คณะ [4,5] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการระบายอากาศ แบบธรรมชาติด้วยการใช้ปล่องแดด คำนวณหาปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่อาคาร พบว่าปล่องแดดสามารถเห็นยวน้ำให้เกิดอัตราการไหลได้ 50 - 165 m³/hr ต่อพื้นที่ปล่องแดด 1 m² และพบว่า อัตราการไหล ของอากาศขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด การไหล ของช่อง อากาศ และ

ประสิทธิภาพในการดูด กลิ่นแฉะ ของปล่องแดง นอกจากนี้ได้ศึกษา ความเป็นไปได้ในการระบายอากาศด้วยปล่องแดงขนาดเล็ก (ยาว 1 m กว้าง 1 m) พบว่าความเร็วสูงสุดภายในปล่อง มีค่าเท่ากับ 0.24 m/s แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ระบบปล่องแดงขนาดเล็กเพื่อการระบายอากาศในอาคาร ผลลัพธ์จากงานวิจัยของ Afonso และ Oliveira [6] พบว่าอัตราการระบายอากาศแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดของ ช่องอากาศเช่นเดียวกัน ส่วน Gan [7] ประยุกต์ ปล่องแดงเข้ากับผนังอาคาร เพื่อศึกษาอัตราการระบายอากาศ พบว่าอัตราการระบายอากาศขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแดด โดยอัตราการระบายอากาศมากเมื่อความเข้มแสงแดดสูง และ อัตราการระบายอากาศ มีค่าสูงสุดที่ความสูงปล่อง 6 m เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของช่องอากาศระหว่าง 0.55 – 0.6 m หากความสูง มากกว่าช่วงดังกล่าวจะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับบริเวณด้านบนของปล่อง ส่วน Bouchair [8] พบว่าอัตราการไหลสูงสุดเกิดขึ้นที่ความกว้างของปล่องประมาณ 1/10 ของความสูงปล่อง และงานวิจัยของ Burek และ Habeb [9] พบว่าอัตราการไหลของอากาศภายในปล่องขึ้นอยู่กับความกว้างของปล่องและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (heat gain) นอกจากนี้ Hamdy และ Fikry [10] ยังพบว่าอัตราการไหลขึ้นอยู่กับความสูงระหว่างช่องทางเข้าและออกของปล่องแดง การเปลี่ยนความสูงนี้ทำได้โดยเปลี่ยนมุมเอียงของหลังคา (กรณีนี้ประยุกต์ปล่องเข้ากับหลังคาเอียง) ถ้าหลังคาเอียง มากขึ้นย่อมหมายถึง ความสูงระหว่างช่องทางเข้าและออกของปล่อง มากขึ้นด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้เสนอว่า มุมเอียงของหลังคาที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 60° ส่วน Zhai และ คณะ [11] เปรียบเทียบการใช้ปล่องแดงแบบหนึ่งช่องทางไหลและแบบสองช่องทางไหล เมื่อติดตั้งปล่องแดงเข้ากับหลังคาเอียง พบว่าอัตราการระบายอากาศของปล่องแดงแบบสองช่องทางไหลมีค่าเท่ากับ 20 ACH (Air Change per Hour) เมื่อพิจารณาที่มุมเอียงของหลังคาปล่องแดงเท่ากับ 30° หากต้องการให้ปล่องแดงแบบหนึ่งช่องทางไหลระบายอากาศได้ในปริมาณเท่ากับ ปล่อง

แดงต้องเอียง 75° ซึ่งยากในทางปฏิบัติ และอาจดูไม่สวยงาม ตลอดจนเพิ่มค่าใช้จ่ายเรื่องวัสดุผนังหลังคาที่เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อคำนวณ ประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องแดงแบบสองช่องทางไหล พบว่าสูงกว่าแบบหนึ่งช่องทางไหล ประมาณ 10% นอกจากนี้ Khedari และ คณะ [12,13,14,15,16] ได้ศึกษาการระบายอากาศภายในบ้านพักอาศัยที่อยู่ใน พื้นที่ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร เสนอว่าปล่องแดงควรยาว 1 - 2 m ความกว้างของช่องอากาศ 10 - 14 cm และมุมเอียงของหลังคา อยู่ระหว่าง $20 - 45^{\circ}$ (เพื่อความสวยงาม ประหยัด และง่ายในทางปฏิบัติ) งานวิจัยเร็วๆ นี้ของ พรสวรรค์ และ ทวีช [17] เสนอวิธีการระบายอากาศด้วยห้องหลังคาและปล่องแดง ซึ่งสามารถเห็นยวนำให้เกิดการระบายอากาศ ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ ของผู้อยู่อาศัย นอกจากนี้ยังพบว่าความสูงและขนาดของปล่อง ตลอดจนความเข้มของแสงแดด ต่างส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศ มุมเอียงที่ควรนำไปใช้ในทางปฏิบัติของหลังคาคือ 45°

จากผลลัพธ์งานวิจัยของ Chitsomboon T. [3] และ Koonsrisuk และ Chitsomboon [18] ซึ่งศึกษาการไหลของอากาศผ่านปล่องแดงเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่าการทำให้ช่องทางไหลของอากาศบานตัวออก สามารถเพิ่มอัตราการไหลของอากาศในปล่องได้ ซึ่งแนวคิดนี้ได้ถูกนำไปใช้กับปล่องแดงเพื่อการระบายอากาศโดย Tongbai และ Chitsomboon [19, 20] ซึ่งพบว่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเกือบจะเป็นเชิงเส้นที่มุมบานตัวของหลังคาในช่วง $1 - 5^{\circ}$ พิจารณาที่มุมบานตัว 6° สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ 30% (เทียบกับกรณีไม่มีมุมบานตัว) เมื่อเพิ่มมุมบานตัวไปจนถึง 12° อัตราการไหลยังคงเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มด้วยอัตราที่ลดลง จากนั้นศึกษาอัตราการเพิ่มขึ้นของการระบายอากาศเมื่อต่อปล่องแนวตั้งเข้ากับทางออกของห้องหลังคา โดยปล่องนี้เป็นปล่องแบบธรรมดาที่ช่วยเพิ่มความสูงระหว่างช่องทางเข้าและออกของระบบเท่านั้น (ไม่ได้มีหน้าที่รับแสงแดดแต่อย่างใด) ส่วนการเพิ่มปล่องแนวตั้งเข้ากับระบบนั้น

ช่วยเพิ่มอัตราการไหลได้ถึง 38 % ที่ความสูงปล่อง 0.75 m อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวนี้เป็นการศึกษาเชิงตัวเลขแบบ 2 มิติ นอกจากนี้ Tongbai และ Chitsomboon [21] ยังศึกษาเปรียบเทียบผลของลักษณะของหลังคาเอียงกับหลังคาแบบราบที่ต่อปล่องให้มีความสูงในแนวตั้งเท่ากัน ซึ่งพบว่าหลังคาแบบเอียงให้ค่าอัตราการไหลสูงกว่าหลังคาแบบราบที่มีปล่อง นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถนำไปช่วยตัดสินใจในการสร้างอาคารเพื่ออยู่อาศัยต่อไป

การศึกษาในระบบ 2 มิติอาจเกิดการผิดพลาดของผลลัพธ์ได้มาก ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงตัวเลขใน 3 มิติ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลสำเร็จรูป ANSYS CFX เพื่อศึกษาอัตราการระบายอากาศแบบธรรมชาติที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ปล่องแดด โดยได้ทำการศึกษาผลกระทบต่ออัตราการไหลของอากาศอันเกิดจากความเอียงของหลังคา ความสูงของปล่อง ตลอดจนตำแหน่งการติดตั้งของปล่อง พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบผลกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองใน 2 มิติ เพื่อวิเคราะห์ร้อยละของความคลาดเคลื่อนในผลลัพธ์จากการจำลองการไหลในสองมิติ หากสามารถประเมินขนาดความแตกต่างในผลลัพธ์ได้ โดยเฉพาะหากค่าคลาดเคลื่อนจากการจำลองทั้งสองแบบไม่สูงมาก นั่นหมายถึงสามารถจำลองการไหลเพียงสองมิติเพื่อประเมินหาอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริงในสามมิติได้ ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษาได้เป็นอย่างมาก

2. แนวทางการดำเนินการวิจัย

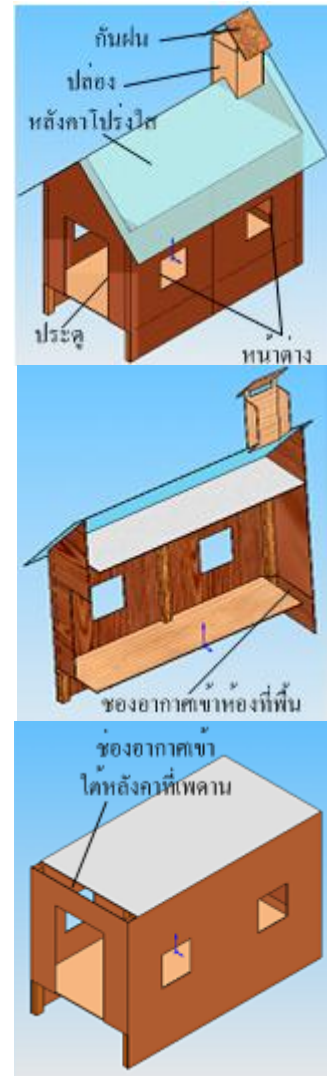
2.1 การสอบเทียบโปรแกรมฯ

ในเอกสารอ้างอิง [21] ได้ทำการสอบเทียบโปรแกรมไว้แล้ว โดยทำการคำนวณการไหลธรรมชาติผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง ผลปรากฏว่าการกระจายของความเร็วและอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลเฉลยเชิงทฤษฎีแบบ similarity ได้เป็นอย่างดีเยี่ยม

2.2. ลักษณะของอาคารอาคารต้นแบบ

สำหรับการจำลองปัญหาการไหลใน 3 มิติ เพื่อศึกษาผลกระทบ (แบบสมจริงมากขึ้น) สำหรับงานวิจัย

นี้ได้ออกแบบบ้านต้นแบบ อย่างง่ายขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น มุมเอียงของหลังคา ขนาดและความสูง ตลอดจนตำแหน่งของปล่อง ขนาดของช่องเปิดบริเวณต่าง ๆ ของอาคาร เป็นต้น และจะขยายผลการศึกษาเพื่อบ้านหรืออาคารเพื่อการอยู่อาศัยจริงต่อไป ลักษณะของบ้านต้นแบบเป็นบ้านชั้นเดียว ห้องเดี่ยว ยกพื้นสูงจากพื้น 1 m ขนาดหน้าตัดของบ้านเท่ากับ 8 m × 10 m หลังคาบ้านเป็นแบบหลังคาหน้าจั่ว (หลังคาเอียง) มีปล่องอยู่ด้านบนของหลังคา ตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 บ้านต้นแบบสามมิติ

ทำการจำลองการไหลผ่านบ้านต้นแบบ (กรณีอ้างอิง) เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ในสามมิติ เช่น มุมเอียงของหลังคา ขนาดและความสูง

ตลอดจนตำแหน่งของปล่อง ขนาดของช่องเปิดบริเวณต่าง ๆ ของอาคาร เป็นต้น ได้เปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยต่าง ๆ เพื่อจำลองการไหลดังนี้

1. ความเข้มของแสงแดด: 500, 650 และ 800 W/m²
2. มุมเอียงหลังคา: 15, 30, 45 และ 60°
3. ความสูงปล่อง: 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 m
4. ตำแหน่งของปล่อง : ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน, ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน, ตรงกลางของหลังคา

ทำการจำลองการไหลด้วยโปรแกรม ANSYS CFX ภายใต้สมมุติฐานดังนี้

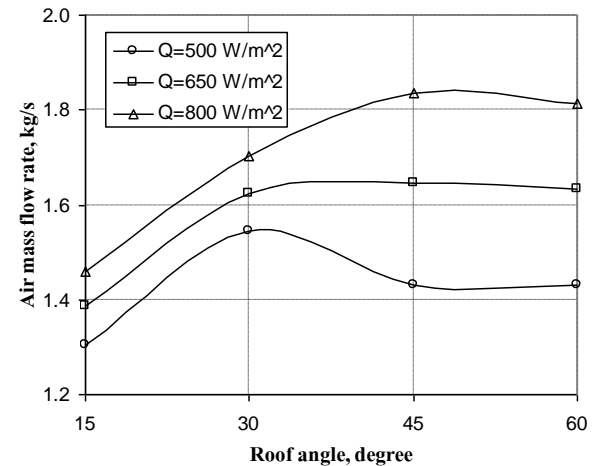
1. เป็นการไหลในสามมิติ
2. หลังการรับความร้อนจากแสงแดดเป็นเวลานานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว
3. ความร้อนที่ได้รับจัดเป็น ความร้อนต่อหน่วยปริมาตรแบบเอกรูป (uniform heat source) ให้กับปริมาตรอากาศที่อยู่ในห้องหลังคา
4. เป็นการไหลแบบราบเรียบ (laminar) เพราะเป็นการไหลที่ขับเคลื่อนโดยแรงลอยตัวในระยะทางสั้น ๆ ที่ค่าเลขกราชอฟต่ำ
5. พื้นที่รับแดดของหลังคาทั้งสองมีขนาดเท่ากัน โดยใช้พื้นที่แนวระนาบ (projected area) เสมือนว่าเป็นการรับแดดเมื่อตะวันตรงศีรษะพอดี
6. ใช้ Buossinesq 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 ผลกระทบจากมุมเอียงของหลังคา

ผลลัพธ์จากการ จำลองการไหลผ่านบ้านต้นแบบ โดยให้ความสูงของปล่องเป็น 0.5 m (วัดจากยอดแหลมของหลังคาเอียง) เมื่อเปลี่ยนค่า มุมเอียงของหลังคาเป็น 15°, 30°, 45° และ 60° ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 2

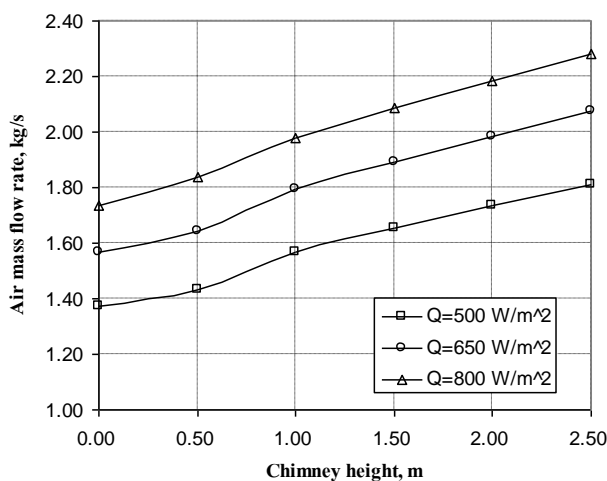


รูปที่ 2 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับมุมเอียง

ของหลังคาที่ความเข้มของแสงแดดต่าง ๆ พบว่าอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มมุมเอียงของหลังคา จนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่มุมเอียงประมาณ 45 ° จากนั้นค่อนข้างคงที่หรือมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากกระแสอากาศเกิดการหมุนวน (separation) การเสียดสีระหว่างอากาศที่หมุนวนอาจก่อให้เกิดการสูญเสีย เป็นเหตุผลให้อัตราการไหลของอากาศลดลงได้ ยกเว้นกรณีความเข้มของแสงแดด 500 W/m² ซึ่งพบว่าอัตราการไหลสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมเอียง 30° และลดลงอย่างรวดเร็วที่ มุมเอียง 45 ° จากนั้นค่อนข้างคงที่ พิจารณาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการไหลที่ค่ามุมเอียงของหลังคาต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกรณีหลังคาเอียง 15 ° กรณีหลังคาเอียง 30° สามารถเพิ่ม อัตราการไหลได้ 16.5% เมื่อเทียบกับกรณีหลังคาเอียง 15° และกรณีหลังคาเอียง 45° สามารถเพิ่มค่าอัตราการไหลได้ 7.9% เมื่อเทียบกับกรณีหลังคาเอียง 30° จะเห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นลดลงน้อยกว่าช่วงการเพิ่มครั้งแรก

3.2 ผลกระทบจากความสูงปล่อง

เพื่อศึกษาผลกระทบจากความสูงของปล่องต่ออัตราการระบายอากาศได้เปลี่ยนความสูงของปล่องของบ้านต้นแบบ ที่มีหลังคาเอียงเท่ากับ 45° โดยกำหนดความสูงปล่องกรณีอ้างอิงเป็นศูนย์ (วัดจากยอดแหลมของหลังคาเอียง) จนถึง 2.5 m พบว่าการเพิ่มความสูงของปล่องสามารถเพิ่มอัตราการไหลของอากาศได้ดังแสดงในรูปที่ 3 การเพิ่มความสูงของปล่องสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ด้วยผลของ stack effect เพราะอัตราการไหลของอากาศแปรผันตรงกับระยะทางในแนวตั้งระหว่างช่องเปิดทางเข้า - ออกของอากาศในอาคาร (stack height) นั้นเอง โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศเมื่อเทียบกับกรณีอ้างอิงพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ถึงประมาณ 32 % ที่ความสูงปล่อง 2.5 m การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลเมื่อเพิ่มความสูงปล่องนี้เกือบจะเป็นเส้นตรง นั่นคือหากเพิ่มความสูงมากกว่า 2.5 m ก็คาดว่าอัตราการไหลของอากาศก็ยังคงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการออกแบบก็คือ หากปล่องสูงเกินไปอาจดูไม่สวยงาม และสิ้นเปลืองมากขึ้น การนำไปใช้จริงจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้ด้วย



รูปที่ 3 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับความสูงของปล่องที่ความเข้มของแสงแดดต่างๆ

3.3 ผลกระทบจากตำแหน่งของปล่องบนหลังคา

ตำแหน่งของปล่องของบ้านต้นแบบจะอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดานเพราะเป็นตำแหน่งที่ผู้วิจัยคาดว่าน่าจะก่อให้เกิดอัตราการไหลของอากาศ

ได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามเพื่อพิสูจน์แนวคิดนี้ผู้วิจัยลองเปลี่ยนตำแหน่งของปล่องสองแบบด้วยกัน หนึ่งให้ปล่องอยู่ตรงกลางของหลังคาพอดี และสองคือให้ปล่องอยู่ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน โดยเลือกบ้านต้นแบบกรณีมีมุมเอียงของหลังคาเท่ากับ 45° ความสูงของปล่อง 3 m จากนั้นเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้แต่ละกรณี พบว่าตำแหน่งของปล่องที่ดีที่สุดคือให้อยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน ดังข้อมูลที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 อย่างไรก็ตามตำแหน่งของปล่องไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าอัตราการไหลของอากาศอย่างมีนัยสำคัญ เพราะค่าตัวเลขไม่ต่างกันมาก เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลในกรณีปล่องอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดานเปรียบเทียบกับกรณีปล่องอยู่ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน พบว่ามีค่าเพียงประมาณ 0.4% เท่านั้น ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก

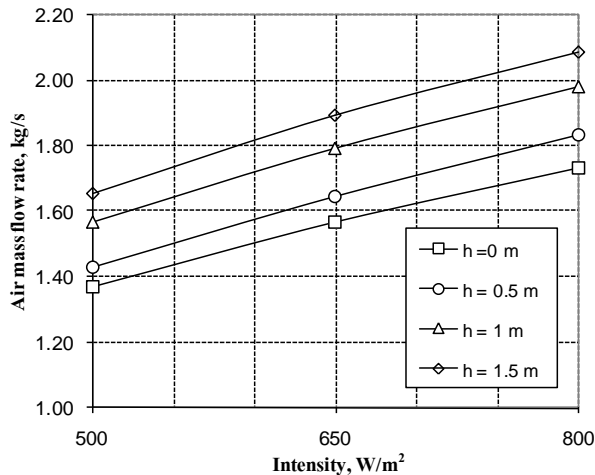
ตารางที่ 1 ผลลัพธ์ที่ตำแหน่งของปล่องต่างๆ

ตำแหน่งของปล่องบนหลังคา	ค่าอัตราการไหลของอากาศ (kg/s)
อยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน	2.2786
อยู่ตรงกลาง	2.2757
อยู่ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน	2.2703

3.4 ผลกระทบจากความเข้มของแสงแดด

เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากความเข้มของแสงแดดต่ออัตราการไหล ได้เลือกชุดข้อมูลกรณีที่บ้านต้นแบบมีหลังคาเอียง 45° และปล่องอยู่ฝั่งตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน ที่ค่าความสูงต่างๆ กันสี่ค่าด้วยกัน ผลกระทบของค่าความเข้มของแสงแดดต่ออัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่อาคารในสามมิติให้ผลเช่นเดียวกับผลลัพธ์จากการจำลองในสองมิติ นั่นคือเมื่อความเข้มของแสงแดดเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของอากาศผ่านอาคารยิ่งมาก ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งหมายถึงอัตราการระบายอากาศที่มากขึ้นด้วย นับเป็นผลลัพธ์เชิงบวกที่ดีมากต่อประเทศไทย เพราะมีแสงแดดที่มากเกือบตลอดทั้งปี และความเข้มของแสงแดดค่อนข้างสูง นั้นหมายความว่าระบบห้องหลังคาและปล่องแดดนี้เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งต่อการ

ระบายอากาศอาคารที่อยู่ในประเทศไทยหรือประเทศ
ในเขตร้อน



รูปที่ 4 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับ
ความเข้มของแสงแดด

3.5 ผลลัพธ์จากการจำลองการไหลผ่านบ้าน

ต้นแบบใน 2 มิติ และ 3 มิติ

เพื่อศึกษาผลกระทบของ 3 มิติ ได้จำลองการไหล
ผ่านบ้านต้นแบบใน 3 มิติ และใน 2 มิติ เพื่อ
เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าอัตราการไหล
ผลลัพธ์จากการจำลองการไหลใน 2 มิติ พบว่าอัตรา
การไหลมีค่าประมาณ 0.08584 kg/s ผ่านพื้นที่ช่อง
เปิดขนาด 0.125 m² และเท่ากับ 1.6955 kg/s ใน 3
มิติ ผ่านพื้นที่ช่องเปิดขนาด 2.5 m² ซึ่งมากกว่าพื้นที่
ใน 2 มิติ 20 เท่า ดังนั้นอัตราการไหลผ่านพื้นที่ขนาด
2.5 m² ในระบบสองมิติ ควรจะมีค่าเท่ากับ 0.08584
kg/s × 20 = 1.72 kg/s นั้นแสดงว่าค่าความ
คลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองใน 3 มิติ
เทียบกับจาก 2 มิติ คือ $(1.72 - 1.69) \times 100 / 1.72 =$
1.74% ซึ่งถือว่าเป็นค่าน้อยมาก

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลลัพธ์ที่ได้สามารถสรุปได้ว่า

1. อัตราการไหลของอากาศเป็นฟังก์ชันของ
ความเข้มของแสงแดด และปัจจัยโครงสร้างของระบบ
ห้องหลังคาและปล่องแดด ได้แก่ ความสูง ตลอดจน
ตำแหน่งของปล่องบนหลังคา และมุมเอียงของหลังคา
ซึ่งหากพิจารณาเหตุผลทั้งในด้านประสิทธิภาพในการ
ระบายอากาศ เศรษฐศาสตร์ และความสวยงาม ควร

ใช้ที่ 30° ส่วนความสูงของปล่อง หากใช้ปล่องสูงย่อม
เสียค่าใช้จ่าย ด้านวัสดุมาก ขึ้น อีกทั้งอาจมองว่าไม่
สวยงาม ดังนั้นในการตัดสินใจว่าจะใช้ปล่องสูงเท่าไร
ขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของผู้นาไปใช้เป็นสิ่งสำคัญ

2. ตำแหน่งของปล่องไม่มีผลต่อค่าอัตราการไหล
ของอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถให้ปล่องอยู่
ตรงไหนก็ได้บนหลังคา ซึ่งนับเป็นข้อดีเพราะเป็นการ
ลดข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริง

3. ความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากการ
จำลองใน 3 มิติ เทียบกับจาก 2 มิติ มีค่าเพียง 1.74%
ซึ่งถือว่าเป็นค่าน้อยมาก นั้นหมายความว่า สามารถ
ทำการจำลองการไหลเพื่อศึกษาอัตราการระบาย
อากาศผ่านอาคารใน 2 มิติได้ ทำให้ลดเวลาและ
ค่าใช้จ่ายในการศึกษาได้เป็นอย่างมาก

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] Bouchair 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] Tongbai, P. and Chitsomboon, T. (2008). Efficiency Enhancement for Natural Ventilation in Building Using Solar Chimney System, *Proceedings of the 23th National Mechanical Engineering Conference*, Chaingmai, Thailand.
- [22] ANSYS CFX, Release 11.0. ANSYS, Inc.
- [23] Kays, W.M. and Crawford M.E. (1993). *Convective heat and mass transfer*. (3rd ed.) Singapore: McGraw-Hill.