

การศึกษาการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข Investigation of Buoyancy Air Flow inside Solar Chimney by Using CFD Technique

ประพันธ์พงษ์ สมศิลา¹ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ วิระพันธ์ สีหานาม
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190 โทร 0-4535-3309 โทรสาร 0-4535-3308 E-mail: p.somsila@hotmail.com

Praphanpong Somsila¹ Umphisak Teeboonma and Wirapan Seehanam
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University
Warinchumrab, Ubonratchathani 34190 Thailand Tel: 0-4535-3309 Fax: 0-4535-3308 E-mail: p.somsila@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปล่องแสงอาทิตย์เป็นโครงสร้างระบายอากาศสำหรับอาคารที่พักอาศัยโดยใช้หลักการ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและความหนาแน่นของอากาศทำให้เกิดการไหลเวียนระหว่างอาคารร้อนและอากาศเย็น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์ ด้วยการวิเคราะห์จากการทดลองและวิธีเชิงตัวเลขของการจำลองการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นจากแรงลอยตัวพร้อมกับการแผ่รังสีของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ โดยปัจจัยที่ศึกษา คือฟลักซ์ความร้อน 400-800 W/m² และความสูงของปล่องแสงอาทิตย์ อยู่ระหว่าง 1-2 m ผลการศึกษาพบว่า เมื่อฟลักซ์ความร้อนและความสูงของปล่องแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการระบายอากาศและอัตราการไหลของอากาศจะมีความมากขึ้นและยังพบว่าผลการเปรียบเทียบระหว่างผลจาก CFD กับผลการทดลองมีความสอดคล้องกัน

คำสำคัญ: แรงลอยตัว/การแผ่รังสี/ปล่องแสงอาทิตย์/ประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องแสงอาทิตย์

Abstract

A solar chimney is a way of improving the natural ventilation of buildings by using convection of air heated by passive solar energy which the air flows because of the difference of the density varied with vertical direction. Therefore, the objective of this study is to investigate the ventilation efficiency of solar chimney by using experiment and numerical method which is Computation Fluid Dynamics (CFD). In the simulation, models of buoyancy force and radiation heat transfer were applied to compute air flow inside the chimney. The influence of heat flux in a range of 400-800 W/m² and 1 to 2 m height of solar chimney

on the ventilation efficiency was investigated. It is found that the ventilation efficiency and air flow rate are increase with increasing the heat flux and height of solar chimney. In addition, CFD simulation shows good agreement with experimental results.

Key words: Buoyancy force/Radiation/Solar chimney/Solar chimney ventilation performance

1. บทนำ

สภาวะโลกร้อนที่กำลังเผชิญในปัจจุบันและกำลังเพิ่มความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นเหตุให้เกิดการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาทางแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวและถือได้ว่าเป็นปัญหาที่มนุษยทุกคนต้องร่วมมือกันแก้ไขเพื่อให้ยังคงสามารถดำรงชีวิตและเผ่าพันธุ์ได้ต่อไปในอนาคต สำหรับการปรับอากาศหรือการระบายอากาศโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันนั้น ถือว่าเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาโลกร้อนขึ้น เนื่องจากในระบบเครื่องปรับอากาศมีสารบางอย่างที่มีผลกระทบต่อสภาพชั้นบรรยากาศ รวมถึงกระบวนการและวัสดุของการผลิตเครื่องปรับอากาศที่ส่งผลต่อปัญหาโลกร้อนด้วยเช่นกัน สำหรับการแก้ไขปัญหาก็กล่าวมา โดยการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งาน เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการระบายอากาศภายในบ้านหรือที่อยู่อาศัย โดยอาศัยหลักการแรงลอยตัวอันเนื่องมาจากผลต่าง ความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งหลักการดังกล่าวเรียกว่า ปล่องแสงอาทิตย์ (Solar chimney) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งในส่วน ของผนังบ้าน และหลังคาบ้าน ซึ่งหลักการที่กล่าวถึงนี้ จะสามารถระบายอากาศได้โดยไม่ต้องใช้พัดลม อีกทั้งยังสามารถลดภาวะความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารหรือที่พักอาศัย หากมีการใช้เครื่องปรับอากาศ ก็จะช่วยลดภาระการทำมาความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้เช่นกัน ที่ผ่านมามีนักวิจัยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะปล่องแสงอาทิตย์และได้พยายามพัฒนาวิธีการทดลองและ

แบบจำลองของปล่องแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการศึกษาและทำนายผลต่างๆที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ Gan และ Riffat [1] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปล่องแสงอาทิตย์โดยใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลข และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากการศึกษาพบว่าอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผนัง และยังพบว่าจำนวนชั้นของกระจกมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศ Gan [2] ก็ได้ศึกษาการเพิ่มการระบายอากาศสำหรับอาคารด้วยการใช้ปล่องแสงอาทิตย์กับ Double facades โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้แบบจำลองทาง CFD กับผลการทดลอง พบว่าความกว้างและความสูงของปล่องแสงอาทิตย์ที่ทำให้อัตราการไหลของอากาศมากที่สุดอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.6 m และ 6 m ตามลำดับ และการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศภายใน Double facades ทำได้ด้วยการเพิ่มความกว้างของช่องอากาศ Mathur และคณะ [3] ศึกษาการเพิ่มอัตราการระบายอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก พบว่าอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 55 – 150 m³/h ที่พลั๊กความร้อน 300 – 700 W/m² อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 2 – 5.6 ที่ขนาดห้องเท่ากับ 27 m³ และการเพิ่มพลั๊กความร้อน การเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นดูดซับความร้อนกับกระจกและอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ทางเข้าและทางออก จะทำให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับ Mathur และคณะ [4] ยังได้ศึกษาค่าของมุมเอียงที่เหมาะสมของแผ่นดูดซับความร้อนที่สามารถส่งผลให้ได้ค่าอัตราการไหลของอากาศมากที่สุดใญ่ฤดูร้อนของประเทศอินเดีย พบว่ามุมเอียงที่มีค่าเหมาะสมมากที่สุดอยู่ระหว่าง 45 – 60 องศา ขึ้นอยู่กับละติจูดของแต่ละพื้นที่และผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากการทดลองโดยชุดการทดลอง และหลังจากนั้นได้มี Harris และ Helwig [5] ได้ศึกษาถึงลักษณะของการออกแบบปล่องแสงอาทิตย์เพื่อทำให้อัตราการไหลของอากาศมีค่ามากที่สุด ด้วยวิธีการเปรียบเทียบผลระหว่างผลของการจำลองทาง CFD กับผลจากการทดลอง พบว่ามุมเอียงที่ทำให้อัตราการไหลของอากาศมากที่สุดเท่ากับ 67.5 องศา ซึ่งมีค่ามากกว่าการใช้ปล่องแสงอาทิตย์ชนิดตั้งตรง และยังพบอีกว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดที่มีค่า emissivity ต่ำในปล่องแสงอาทิตย์ชนิดเอียง จะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่าชนิดตรง 10 เปอร์เซ็นต์ Ji และคณะ [6] ได้ศึกษาแรงลอยตัวของการระบายอากาศโดยธรรมชาติในอาคารหนึ่งชั้นที่ติดกับห้องโถง ด้วยการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองทาง CFD ปัจจัยที่ทำการศึกษาในแบบจำลองทาง CFD ประกอบด้วย ค่า Boundary condition, Solution control และการแปรผัน Mesh โดยการใช้ The RNG k-epsilon model ในการจำลองการไหลของอากาศ จากผลการศึกษาพบว่า ผลจากการทำนายลักษณะการไหลของอากาศมีความสอดคล้องกับผลการทดลองเป็นอย่างดี Marti และ Heras [7] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายเกี่ยวกับความร้อนและสมรรถนะทางพลศาสตร์ของปล่องแสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่าเท่ากับ 0.011 kg/s ที่ปริมาตรของพลั๊กความร้อน 450 W/m² และที่ความหนาของคอนกรีต เท่ากับ 24 cm และยังพบอีกว่าในเวลากลางคืนความร้อนที่สะสมอยู่ในคอนกรีตจะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้ในระยะเวลา 2 hr โดยที่มีอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นในเวลากลางคืน Ramada Bassouny และ Koura [8] ได้ศึกษาการระบายอากาศโดยธรรมชาติภายในปล่องแสงอาทิตย์ โดยการทดลองและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พบว่าความกว้างของปล่องแสงอาทิตย์ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงอากาศต่อชั่วโมงมากกว่าผลของการเพิ่มขนาดความกว้างของปล่อง โดยที่การเพิ่มขนาดของช่องทางเข้าและการเพิ่มขนาดความกว้างของปล่องนั้นส่งผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของอัตราการเปลี่ยนแปลงอากาศต่อชั่วโมง เท่ากับ 11 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถหาเทอมไร้มิติ ของอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดซับความร้อน คือ $T_w = 3.51I^{0.461}$ และความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ทางออก คือ $v_{ex} = 0.031I^{0.4}$ Sakonidou และคณะ [9] ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปล่องแสงอาทิตย์เพื่อหามุมเอียงที่ทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์มากที่สุด โดยการใช้แบบจำลองทาง CFD ในการศึกษามุมเอียงระหว่าง 30-90 องศา ที่ความสูงปล่อง 1-12 m โดยใช้ The k-epsilon model จากการศึกษาพบว่ามุมเอียง 76 องศา ทำให้อัตราการไหลมากที่สุดและผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับผลจากการทดลองมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี Koonsrisuk และ Chitsomboon [10] ศึกษาประสิทธิภาพปล่องแสงอาทิตย์โดยการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 5 โมเดลของงานวิจัยที่ผ่านมากับแบบจำลองทาง CFD 5 โมเดลที่ได้สร้างขึ้น จากการศึกษาพบว่าโมเดลของ Schlaich และคณะ กับโมเดลของ Koonsrisuk และ Chitsomboon เป็นโมเดลที่มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับผลของแบบจำลองทาง CFD มากที่สุด

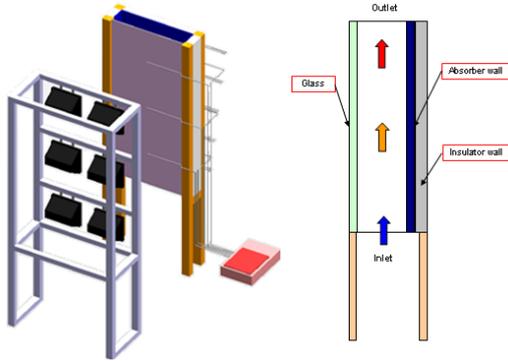
จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงใช้ Turbulent model เป็นหลักในการจำลอง โดยที่ไม่ได้นำผลของการแผ่รังสีมารวมพิจารณา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องแสงอาทิตย์ ด้วยการทดลองและวิธีเชิงตัวเลขที่มีการใช้ Radiation model มาร่วมพิจารณา

2. อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้สร้างชุดทดลองปล่องแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์ ด้วยการวิเคราะห์จากผลการทดลองและระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการไหลของอากาศ ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์วิธีการทดลองและการจำลองการไหลดังนี้

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ชุดปล่องแสงอาทิตย์ ชุดแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์ และชุดอุปกรณ์การวัดความเร็วและอุณหภูมิของอากาศ สำหรับชุดปล่องแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดกว้าง 0.1 m ยาว 0.5 m สูง 1.5 m ส่วนประกอบสำคัญของชุดปล่องแสงอาทิตย์คือ ตัวโครงสร้างทำมาจากไม้ ด้านหน้าของปล่องแสงอาทิตย์ติดกระจก หนา 4 mm ส่วนผนังด้านซ้าย ด้านขวาและด้านหลังมีการติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนที่ทำมาจากแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด พร้อมทั้งหุ้มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศภายนอก ส่วนชุดแหล่งกำเนิดแสงเป็นชุดอุปกรณ์เพื่อทำให้เกิดปริมาณพลั๊กความร้อนแทนการรับแสงจากดวงอาทิตย์ โดยใช้หลอดสปอร์ตไลท์ ซึ่งสามารถปรับพลั๊กความร้อนได้



รูปที่ 1 ชุดทดลองปล่องแสงอาทิตย์

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละกรณีของการทดลอง จากนั้นทำการเปิดหลอดสปอร์ตไลท์และปรับค่าฟลักซ์ความร้อน ในการทดลองจะทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ทุกๆ 30 วินาที นาน 4 ชั่วโมง ด้วย Data logger ที่มีค่าความถูกต้อง ± 1 °C ต่อเข้ากับสาย Thermo couple Type K ทำการวัดความเร็วของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ด้วย Hot wire anemometer ที่มีค่าความถูกต้อง ± 0.01 m/s ทุกๆ 10 นาที จนครบ 4 ชั่วโมง เช่นเดียวกับกับอุณหภูมิ สำหรับอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลจะใช้ค่าที่บันทึกหลังจากชั่วโมงที่ 2 จนถึง ชั่วโมงที่ 4 เนื่องจากเป็นช่วงที่ค่าของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Steady state)

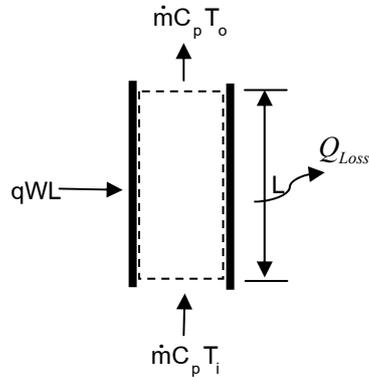
2.3 การจำลองระบบ

การจำลองการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Computation Fluid Dynamics) ของงานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรม Fluent ในการจำลองลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ ระเบียบวิธีคำนวณ Density Base แบบ Implicit แบบจำลองความปั่นป่วน Viscous model กำหนดให้เป็น The RNG k-epsilon model ซึ่งการศึกษาของ Gan [2] แสดงให้เห็นว่ามีความเหมาะสมกับกรณีศึกษาที่ศึกษา การลอยตัวของอากาศ (Buoyancy force) กำหนดให้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของอากาศตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังพิจารณาการแผ่รังสี (Radiation heat transfer) ภายในปล่องแสงอาทิตย์ โดยใช้แบบจำลอง Discrete Ordinates (DO) สำหรับ Operation Condition มีการกำหนดค่า Gravity ในแกน Y เท่ากับ -9.8 m/s² กำหนดให้อุณหภูมิทำการ (Operating temperature) เท่ากับ 40 °C (313 K) เนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบรวมถึงทางเข้าและทางออกของปล่องแสงอาทิตย์ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 40 °C สำหรับทุกฟลักซ์ความร้อนที่ทำการศึกษาซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีการถ่ายเทความร้อนสู่บริเวณโดยรอบปล่องแสงอาทิตย์เช่นกัน ในส่วนของการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการคำนวณ การกำหนดคุณลักษณะผนังหนึ่งด้านให้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์และอีกด้านไม่มีการถ่ายเทความร้อน

ทางเข้าและออกของปล่องแสงอาทิตย์กำหนดให้มีความดันเท่ากับ ความดันบรรยากาศ

2.4 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของปล่องแสงอาทิตย์สามารถพิจารณาจากหลักการสมดุลพลังงาน คือ พลังงานที่ให้แก่ระบบมีค่าเท่ากับพลังงานที่ออกจากระบบ โดยตั้งสมมติฐานให้ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ซึ่งสามารถเขียนรูปประกอบการพิจารณาได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สมดุลพลังงานของการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2 สามารถพิจารณาสมดุลพลังงานได้ดังสมการที่ 1

$$qWL = \dot{m}C_p(T_o - T_i) + Q_{Loss} \quad (1)$$

เมื่อ q คือ ฟลักซ์ความร้อน, W/m²

W คือ ความกว้างของปล่องแสงอาทิตย์, m

L คือ ความสูงของกระจก, m

T_i คือ อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า, °C

T_o คือ อุณหภูมิของอากาศที่ทางออก, °C

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, kJ/kg.K

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s

Q_{Loss} คือ ความร้อนที่มีการสูญเสีย, kJ

สำหรับการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (\dot{m}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\dot{m} = \rho_o A_o \overline{v_{av}} \quad (2)$$

เมื่อ ρ_o คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดของปล่อง, m²

$\overline{v_{av}}$ คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ทางออก, m/s

การหาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์ สามารถวิเคราะห์ได้จากสัดส่วนของพลังงานที่ถ่ายเทออกจากระบบต่อพลังงานที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{qWL} \quad (3)$$

ในส่วนของ การคำนวณหาคุณสมบัติของอากาศได้ใช้สมการต่าง ๆ ดังนี้ [11]

$$\rho = 1.1614 - 0.00353(T - 300) \quad (4)$$

$$C_p = [1.007 + 0.00004(T - 300)] \times 10^3 \quad (5)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ ณ อุณหภูมิต่างๆ, kg/m^3

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ ณ อุณหภูมิต่างๆ, kJ/kg.K

T คือ อุณหภูมิของอากาศ, K

3. ผลและการวิจารณ์

จากศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องแสงอาทิตย์ ด้วยการวิเคราะห์จากผลการทดลองและระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) พบว่าลักษณะของ อุณหภูมิบริเวณทางออกปล่องแสงอาทิตย์ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออก ความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์มีความสอดคล้องกับผลของการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปที่ 3 แสดงลักษณะของอุณหภูมิบริเวณทางออกปล่องแสงอาทิตย์ พบว่าลักษณะของอุณหภูมิบริเวณทางออกจากการทดลองในแต่ละตำแหน่งมีความสอดคล้องกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งเห็นได้จากอุณหภูมิบริเวณใกล้กับกระจกมากกว่าอุณหภูมิจากบริเวณตรงกลางปล่องแสงอาทิตย์เนื่องจากแผ่นกระจกได้รับพลังความร้อนทำให้แผ่นกระจกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและจากการนำความร้อนจึงทำให้อากาศบริเวณใกล้กับแผ่นกระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และในทำนองเดียวกันที่แสดงถึงความสอดคล้องกันระหว่างผลจากการทดลองกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนั้นคือ อุณหภูมิของอากาศบริเวณใกล้กับแผ่นดูดซับความร้อนมีค่ามากกว่าอุณหภูมิจากบริเวณตรงกลางปล่องแสงอาทิตย์เนื่องจากการสะสมความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อนจนทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนและการนำความร้อนไปสู่บริเวณโดยรอบ

รูปที่ 4 แสดงผลต่างของอุณหภูมิบริเวณทางเข้าและทางออกปล่องแสงอาทิตย์ พบว่าลักษณะแนวโน้มเส้นกราฟของผลต่างของอากาศบริเวณทางเข้าและทางออกของปล่องแสงอาทิตย์ระหว่างผลจากการทดลองกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีความสอดคล้องกัน และยังพบอีกว่าค่าความแตกต่างระหว่างผลจากการทดลองกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ความสูงกระจก 1 m เท่ากับ $0.40 \text{ } ^\circ\text{C}$ และความสูงกระจก 2 m เท่ากับ $0.90 \text{ } ^\circ\text{C}$ ซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน และพบอีกว่าผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีค่ามากกว่าผลจากการทดลองที่ความสูงกระจก 2 m ซึ่งตรงกันข้ามกับผลที่ความสูงกระจก 1 m ซึ่งผลจากระเบียบวิธี

เชิงตัวเลขมีค่าน้อยกว่าผลจากการทดลอง สาเหตุที่ทำให้เกิดผลทั้งสองกรณีข้างต้นเนื่องจากการจำลองการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนั้นไม่สามารถระบุสภาวะที่เกิดขึ้นจริงเหมือนกับการทดลองได้ทั้งหมด เช่น การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานต่างๆ ซึ่งพบว่า การเพิ่มความสูงของปล่องแสงอาทิตย์ในการทดลองเป็นผลทำให้การสูญเสียเนื่องจากการเสียดทานเพิ่มมากขึ้นด้วยเหตุนี้ทำค่าความแตกต่างระหว่างผลจากการทดลองกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ความสูงกระจก 1 m และ 2 m มีค่าไม่เท่ากัน และผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีค่าน้อยกว่าผลจากการทดลองที่ความสูงกระจก 2 m ซึ่งตรงกันข้ามกับผลที่ความสูงกระจก 1 m ที่ผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีค่ามากกว่าผลจากการทดลองเกิดขึ้น สำหรับค่าผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกปล่องแสงอาทิตย์นั้น ถือว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์มากเช่นกัน

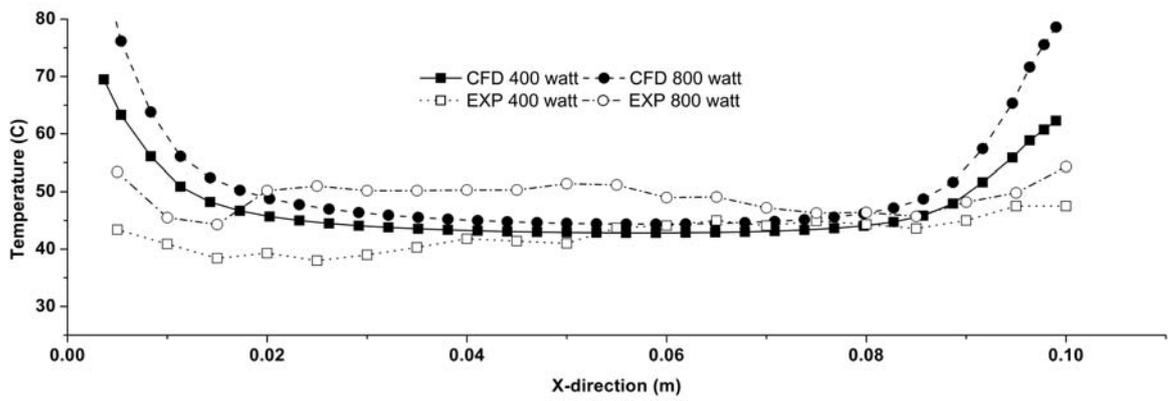
รูปที่ 5 แสดงความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ พบว่าความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์จากการทดลองมีความสอดคล้องกันกับผลที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยที่ค่าความแตกต่างระหว่างผลจากการทดลองกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ความสูงกระจก 1 m และ 2 m เท่ากับ 0.01 และ 0.03 m/s ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองและผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขยังพบอีกว่า การเพิ่มพลังความร้อนและความสูงของปล่องแสงอาทิตย์มีผลทำให้ความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์มากที่สุดโดยประมาณเท่ากับ 0.44 และ 0.70 m/s ที่พลังความร้อน 800 W/m^2 และความสูงกระจก 1 และ 2 m ตามลำดับ

รูปที่ 6 แสดงอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ เนื่องจากค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศคำนวณจากความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ ดังนั้นลักษณะแนวโน้มที่เกิดขึ้นคล้ายกับผลของความเร็วการไหลของอากาศเช่นกัน ซึ่งพบว่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมากที่สุดประมาณ 0.024 และ 0.039 kg/s ที่พลังความร้อน 800 W/m^2 และความสูงกระจก 1 และ 2 m ตามลำดับ สำหรับค่าความแตกต่างระหว่างผลจากการทดลองกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์เท่ากับ 0.0004 และ 0.0018 kg/s ที่ความสูงกระจก 1 และ 2 m ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความน้อยและจะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงปล่องแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นค่าความแตกต่างระหว่างผลจากการทดลองกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เป็นผลมาจากปริมาณค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานต่างๆ ที่เพิ่มขึ้น

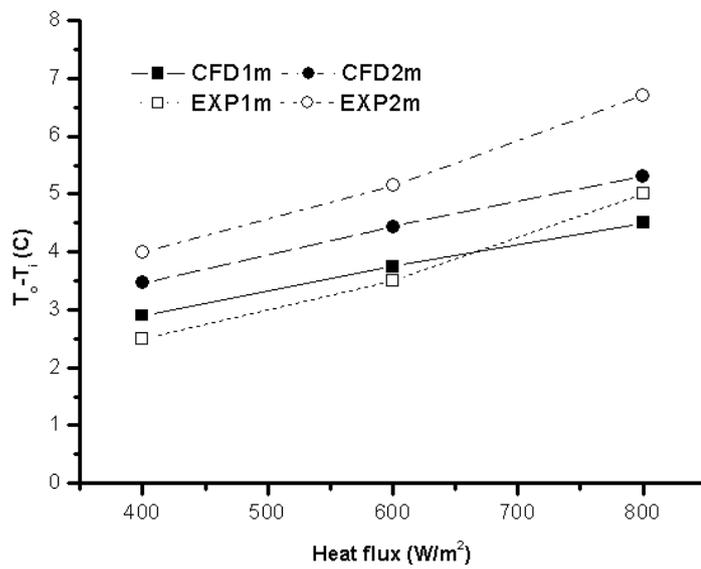
รูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์ พบว่าผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีแนวโน้มที่มีความสอดคล้องกันและจากผลดังกล่าวพบว่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุดประมาณ 33 และ 38 เปอร์เซ็นต์ ที่พลังความร้อน 800 W/m^2 และความสูงกระจก 1 และ 2 m ตามลำดับ และมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 28 และ 33 เปอร์เซ็นต์ ที่พลังความร้อน 400 W/m^2 และความสูงกระจก

1 และ 2 m ตามลำดับ จากผลดังกล่าวทำให้ทราบว่า การเพิ่มขึ้นของ ปริมาณฟลักซ์ความร้อนและความสูงของปล่องแสงอาทิตย์มีผลต่อการ

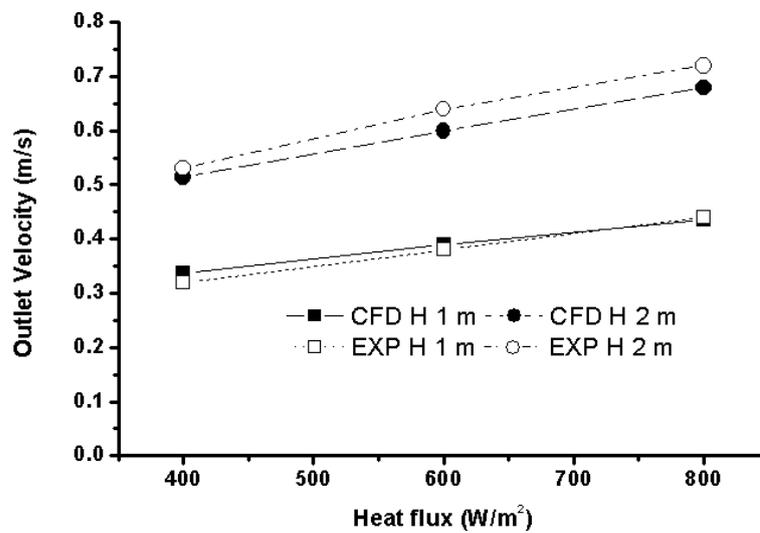
เพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์ เช่นกัน



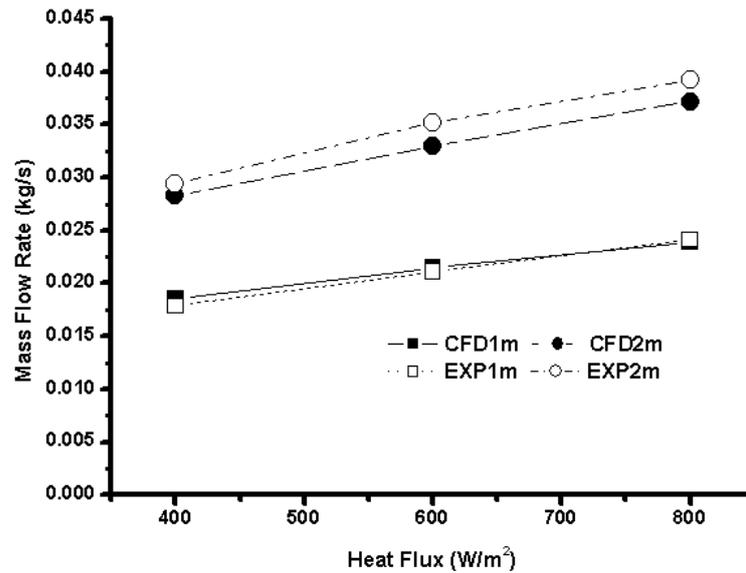
รูปที่ 3 อุณหภูมิบริเวณทางออกของปล่องแสงอาทิตย์



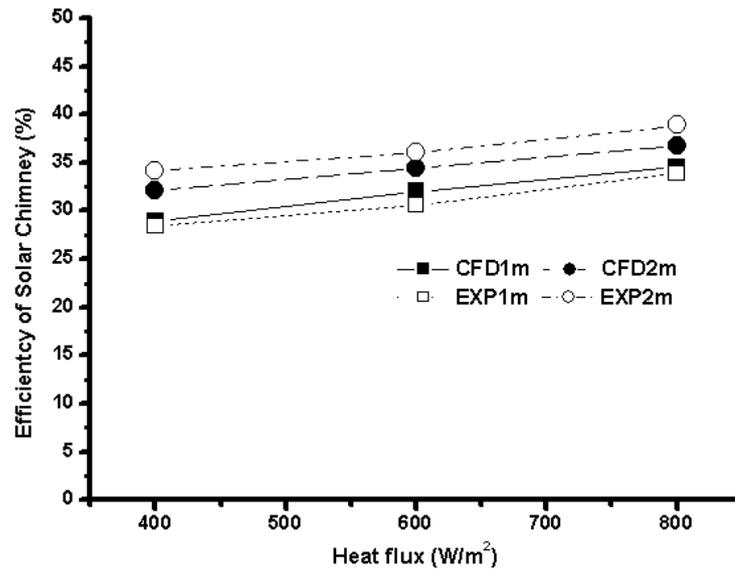
รูปที่ 4 ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออกปล่องแสงอาทิตย์



รูปที่ 5 ความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์



รูปที่ 6 อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์

4. บทสรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์ ด้วยการวิเคราะห์จากผลการทดลองและระเบียบวิธีเชิงตัวเลข พบว่าผลที่ได้จากการทดลองกับผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีลักษณะแนวโน้มที่มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ประกอบด้วยลักษณะของอุณหภูมิบริเวณทางออกปล่องแสงอาทิตย์ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออก ความเร็วการไหลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศภายในปล่องแสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์ และยังพบอีกว่าการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนและความสูงของปล่องมีผลทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเช่นกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Gan, G. and Riffat S.B, "A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery," Applied Thermal Engineering, Vol. 18, pp. 1171-1187, 1998.
2. Gan, G., "Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation" Energy and Building, Vol. 38, pp. 410-420, 2006.

3. Mathur, J., Bansal, N.K., Mathur, S., Jain, M. and Anupma., "Experimental investigations on solar chimney for room ventilation" *Solar Energy*, Vol. 80, pp. 927–935, 2006.
4. Mathur, J., Mathur, S. and Anupma., "Summer-performance inclined roof solar chimney for natural ventilation" *Energy and Buildings*, Vol. 38, pp. 1156–1163, 2006.
5. Harris, D.J. and Helwig, N., "Solar chimney and building ventilation" *Applied Energy*, Vol. 84, pp. 135-146, 2007.
6. Ji, Y., Cook, M.J. and Hanby, V., "CFD modelling of natural displacement ventilation in an enclosure connected to an atrium" *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 1158-1172, 2007.
7. Marti – Herrero, J., and Heras – Celemin, M.R., "Dynamic physical model for solar chimney" *Solar Energy*, Vol. 81, pp. 614–622, 2007.
8. Bassiouny, R. and Koura, Nader S.A., "An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation" *Energy and Buildings*, Vol. 40, pp. 865–873. 2008.
9. Sakonidou, E.P., Karapantsios, T.D., Balouktsis, A.I. and Chassapis, D., "Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow" *Solar Energy*, Vol. 82, pp. 80-94, 2008.
10. Koonsrisuk, A. and Chitsomboon, T., "Accuracy of theoretical models in the prediction of solar chimney performance" *Solar Energy*, Vol. 83, pp. 1764-1771, 2009.
11. Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., 1996, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 4th ed. John Wiley