

การจำลองการไหลแบบธรรมชาติของอากาศภายในปล่องลมแดดที่ฟลักซ์ความร้อน สม่ำเสมอ

Natural Flow Simulation of Air in Solar Chimney with Uniform Heat Flux

ณัฐพงศ์ ณ น่าน ณัฐ วรยศ ยศธนา คุณาทร เดช ดำรงค์ศักดิ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

E-mail:nut1111@hotmail.com

Nuttapong Na nan, Nat Vorayos, Yottana Khunatorn and Det Damrongsak
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,
239 Huay Kaew Rd., Suthep, Muang, Chiang Mai 50200
E-mail:nut1111@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของ ขนาดความกว้างและขนาดทางเข้าออกของอากาศของผนังทอมบ์ ที่มีผลต่ออัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สภาวะฟลักซ์ความร้อนตามธรรมชาติ ซึ่งมีลักษณะการทำงานเหมือนกับปล่องลมแดด คือเมื่อผนังปล่องได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์แล้ว จะส่งผ่านความร้อนเข้ามาภายในปล่อง จะทำให้อากาศภายในปล่องเกิดแรงลอยตัวเหนี่ยวนำให้อากาศร้อนออกจากปล่อง โดยได้ทำการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) ของปล่องลมแดดสูง 2.5 เมตร โดยสมมติให้ผนังชั้นในมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิห้อง โดยใช้แบบจำลองชนิดการไหลแบบปั่นป่วน (Standard $k-\epsilon$ model) ใน การทำนายผลของอัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของปล่อง โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนความกว้างปล่องต่อความสูงผนังปล่อง (D/L) มีค่าระหว่าง 0.02-0.12 ขนาดทางเข้าและทางออกของอากาศต่อความสูงผนังปล่อง (H/L) มีค่าระหว่าง 0.02-0.06 และฟลักซ์ความร้อนที่ให้เป็นฟลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอที่ 100 ถึง 700 วัตต์ต่อตารางเมตร จากผลการศึกษาพบว่าค่า Re_D และประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะแปรผันตามค่า Gr_L และ H/L แต่ D/L ที่ทำให้ Re_D มากที่สุดจะมีค่าเหมาะสมอยู่ค่าหนึ่งในแต่ละฟลักซ์ความร้อน เช่นเดียวกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Abstract

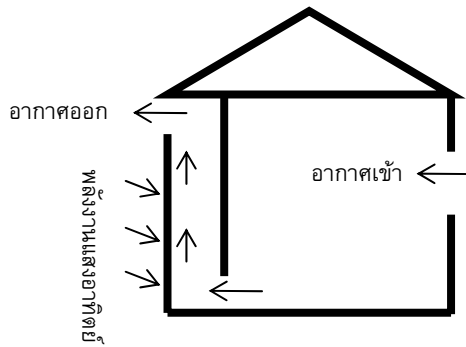
This research work aims at the studying of the influence from the air gap and the inlet/outlet dimensions of the trombe wall to its flow rate and thermal efficiency within the range of ordinary

solar flux. Acted as solar chimney, the wall transfers solar heat to the air within the gap, thus creating the buoyancy force inducing the warm air to the outlet. The computational fluid dynamic simulation is carried out on simulated 2.5 m high solar chimney which has the temperature of inner wall kept constant at approximately room temperature. A standard $k-\epsilon$ model was used to predict air flow rate and determine the thermal efficiency of chimneys at each value of dimensions and heat flux. The investigation is focused on the wall with ratio D/L kept between 0.02-0.12, the ratio H/L kept between 0.02-0.06 and uniform heat flux limited to 100-700 watts/m². It was found that when Gr_L and H/L is increased, they induce more Re_D and thermal efficiency. However, there is the certain D/L which maximize the Re_D and the thermal efficiency at each value of heat flux.

1. บทนำ

ปรากฏการณ์ปล่องลมแดด (Solar chimney) ถูกนำไปประยุกต์ใช้สร้างผนังทอมบ์ที่มีลักษณะเป็นผนัง 2 ชั้น โดยแสงอาทิตย์จากภายนอกเมื่อส่องกระทบผนังด้านนอกจะส่งผ่านความร้อนมาสู่ผนังด้านในและอากาศที่อยู่ระหว่างผนังทั้งสองชั้น หากความร้อนถูกพาไปสู่อากาศมากพอ อากาศจะเคลื่อนที่พาความร้อนออกไปจากปล่อง ผนังทอมบ์จึงถูกนำไปใช้ในการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่จะเข้าสู่บริเวณที่อยู่อาศัยในอาคาร โดยหลักการทำงานของปล่องจะอาศัยพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ทำให้ผนังชั้นนอกร้อน ส่งผลให้อากาศภายในปล่องที่ติดกับผนังชั้นนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ความ

หนาแน่นลดลง เกิดแรงลอยตัวทำให้อากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นจนไหลออกจากปล่องด้านบน เพื่อให้มวลภายในปล่องคงที่ตามกฎทรงมวล อากาศเย็นที่ทางเข้าของปล่องจะเข้ามาแทนที่ เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายในอาคารไปสู่ภายนอกอาคารอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการทำงานและระบบการไหลของอากาศในอาคารที่ติดตั้งปล่องลมแดด

จากหลักการงานข้างต้นทำให้มีคนที่สนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับปล่องชนิดนี้กันอย่างแพร่หลาย โดยในปี 1990 Jubran et al.[1] ได้ทำการศึกษาผนังทอรั่ม (ผนังชั้นนอกทำด้วยกระจก-ผนังชั้นในทำจากอิฐก่อ) ด้วยโมเดลคณิตศาสตร์ สมมติให้ผนังอิฐมีอุณหภูมิ $T_w = T_g + Ax^n$ พบว่าค่าตัวเลขนิตเชลท์เฉลี่ย (Nu_m) และอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิผนังเพิ่มขึ้น และถ้าวางกระจกเอียงเข้าหาผนังจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าตั้งกระจกแบบขนานผนัง ปี 1998 Gan [3] ศึกษาการระบายอากาศของผนังบ้าน โดยใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (Computation fluid dynamic) พบว่าเมื่อขนาดของปล่องกว้างขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นด้วย และพบอีกว่าในหน้าร้อนปล่องจะมีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าหน้าหนาว ปี 1999-2003 Khedari et al., [6] และ Hirunlabh et al. [5] ทำการทดสอบผนังทอรั่มโดยที่ผนังชั้นนอกทำจากกระจก และผนังชั้นในทำจากอิฐก่อหุ้มด้วยฉนวนไมโครไฟเบอร์และไม้อัด พบว่าความกว้างปล่อง 14.5 cm มีอัตราการไหลของอากาศดีกว่า 10 cm และยังพบอีกว่าถ้าใช้ผนังทอรั่ม ช่วยในการลดภาระความร้อนในอาคารจะสามารถลดภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทำเย็นได้ 10-20% ต่อวัน ปี 2003 Chen et al. [2] ทำการศึกษาผนังทอรั่มโดยทดลองให้ฟลักซ์สม่ำเสมอที่ความกว้างต่อความสูงปล่อง 1:15-2:5 และเปลี่ยนค่าฟลักซ์และความเอียงของปล่อง พบว่าที่มุมเอียง 45 องศาจะทำให้อัตราการไหลสูงกว่าแบบปล่องในแนวตั้งถึง 45% และในปีเดียวกัน Ong และ Chow[7] ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีโครงข่ายความร้อน (Thermal networks) ร่วมกับการทดลองจริงพบว่าอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศขาออกปล่อง จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดความกว้างของปล่อง ในปี 2005 Gan [4] ทำการศึกษาการไหลเวียนของอากาศของปล่องระบายอากาศหลายชนิด โดยใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (package Fluent) โดยใช้โมเดลการไหลแบบปั่นป่วนในการวิเคราะห์ (Standard $k - \epsilon$ model) พบว่าที่ความสูงของปล่อง 6 เมตร

ความกว้างของปล่องที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการไหลสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.55-0.60 เมตร

จากการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ส่วนมากจะศึกษาระบบปล่องลมแดดแบบกระจก-ผนังทึบ เมื่อนำไปใช้กับอาคารจริงอาจไม่ทนทานและแข็งแรงเท่าที่ควร และมีการวิเคราะห์ระบบโดยโมเดลทางคณิตศาสตร์ซึ่งดูยุ่งยากซับซ้อนทำให้การวิเคราะห์ปัญหาในแต่ละครั้งใช้เวลานาน หรือไม่มีผลการทดลองที่แสดงถึงสมรรถนะเท่านั้น(ผลที่ได้จากการทดลอง) โดยไม่มีการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบขนาดของระบบปล่องลมแดดเลย จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยมีสมมติฐานว่า ควรมีการศึกษาระบบปล่องลมแดดแบบผนังทึบ-ผนังทึบ เมื่อนำเอาไปประยุกต์ใช้จริงน่าจะดีกว่าแบบกระจก-ผนังทึบ (ในด้านความแข็งแรง) สำหรับขนาดของปล่องลมแดด (ความสูงของผนังปล่อง ระยะห่างระหว่างผนังชั้นนอกและชั้นใน และความสูงของช่องทางเข้าและทางออกของอากาศในปล่อง) และความร้อนที่เข้ามาในระบบ ที่ทำให้เกิดแรงลอยตัวของอากาศในปล่องได้นั้น น่าจะมีความสัมพันธ์กันในเชิงตัวแปรไร้มิติ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการจำลองแบบจำลองปล่องลมแดดในทางพลศาสตร์ของไหลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อให้ง่ายและรวดเร็วต่อการวิเคราะห์ผล โดยจะทำการศึกษาระบบที่มีอิทธิพลต่อการไหลของอากาศภายในปล่องและประสิทธิภาพเชิงความร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อน ความกว้างของปล่อง และขนาดทางเข้าออกของอากาศที่ไหลผ่านปล่อง ที่ความสูงผนังปล่อง 2.5 เมตร (เป็นความสูงของผนังบ้านที่สร้างโดยทั่วไปในประเทศไทย) โดยทำการวิเคราะห์ในเชิงตัวแปรไร้มิติ เพื่อลดจำนวนครั้งในการศึกษาวิจัย และการวิเคราะห์เชิงตัวแปรไร้มิตินี้ก็สามารถนำไปวิเคราะห์มิติคล้ายคลึงได้ ในลักษณะ 2 มิติ ร่วมกับแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Standard $k - \epsilon$ model) ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบบ้านในปัจจุบันได้

2. ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

การแก้ปัญหาแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลโดยคอมพิวเตอร์ (CFD) สามารถใช้แก้ปัญหาด้านกลศาสตร์ของไหลที่ซับซ้อน ซึ่งยากเกินกว่าที่จะใช้วิธีคำนวณแบบปกติได้ รวมไปถึงการถ่ายเทความร้อน และปรากฏการณ์อื่น ๆ เช่น การถ่ายเทมวล การเปลี่ยนสถานะ ปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยหลักการของแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล คือการสร้างแบบจำลองการไหลของของไหล โดยใช้วิธีการเชิงตัวเลขในการแก้สมการควบคุม (Governing Equation) ซึ่งประกอบไปด้วยสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) สมการพลังงาน (Energy Equation) และสมการก๊าซในอุดมคติ (The Equation of State) ของการไหลที่อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อย โดยการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศถูกนำเสนอและพัฒนาสมการโดย Yakhot และ Orszag [10] สำหรับการไหลแบบไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างตามความดัน (Incompressible fluid) และเป็นการไหลแบบคงตัวไม่ขึ้นกับเวลา อธิบายได้ดังสมการของเวลาเฉลี่ยของการไหลของอากาศ (The time-averaged air flow equations) เขียนสมการได้ดังนี้

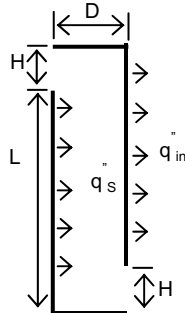
$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i \phi) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i}) = S_\phi \quad (1)$$

เมื่อ ϕ คือค่าความเร็วเฉลี่ยของ U_i ในทิศทาง x_i , Γ_ϕ คือพารามิเตอร์ของการไหลแบบปั่นป่วนและอุณหภูมิเฉลี่ย และ S_ϕ คือแหล่งพลังงานภายนอกสำหรับค่า ϕ ใดๆ

ซึ่งในงานวิจัยนี้ เป็นกรณีการไหลของอากาศแบบการพาโดยธรรมชาติ (Natural convection) บนแผ่นคู่ขนานในแนวตั้งโดยทฤษฎีที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์นี้ร่วมกับสมการควบคุม คือทฤษฎีการไหลแบบปั่นป่วน (Standard $k - \epsilon$ model, Launder and Spalding 1972) [9] และทฤษฎีการประมาณของบัสซิเนส (Boussinesq Approximation)

2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในเชิงตัวแปรไร้มิติ

การวิเคราะห์ตัวแปรไร้มิติเป็นเทคนิคที่ใช้ สำหรับการศึกษากลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระบบที่กำลังสนใจ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ระบบและสามารถนำผลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้กับของจริงโดยมีกลุ่มตัวแปรไร้มิติเป็นตัวเปรียบเทียบ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หากลุ่มตัวแปรไร้มิติ โดยใช้ทฤษฎีของบัคกิงแฮม (Buckingham Pi Theorem) กับระบบปล่องลมแดดดังรูปที่ 2 ได้ผลดังนี้



รูปที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพของปล่องลมแดด

$$Re_D = f(Gr_L^*, D/L, H/L) \quad (2)$$

เมื่อ $Re_D (\rho V D / \mu)$ คือตัวเลขเรโนลด์, $Gr_L^* (g \beta L^4 q_s / k V^2)$ คือตัวเลขกราชอฟฟ์ที่ดัดแปลง, D/L คืออัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของปล่อง, H/L คืออัตราขนาดทางเข้าออกของอากาศต่อความสูงของปล่อง

2.2 ประสิทธิภาพของปล่องลมแดด

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของปล่องลมแดด (η_T) จากรูปที่ 2 สามารถหาได้จาก

$$\eta_T = (q_s - q_{in}) / q_s \quad (3)$$

เมื่อ q_s คือฟลักซ์ความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนผ่านผนังชั้นนอกเข้ามาภายในปล่อง, q_{in} คือฟลักซ์ความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนผ่านผนังชั้นในเข้ามาภายในอาคาร

ซึ่งถ้า η_T มากก็หมายความว่ามีความร้อนผ่านผนังชั้นในเข้ามาในอาคารได้น้อยแสดงว่ามีการพาความร้อนออกจากปล่องได้มากนั่นเอง โดยความร้อนที่ถูกพาออกจากปล่องมีค่าเท่ากับ

$$(q_s - q_{in}) = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

เมื่อ $\dot{m}$ คืออัตราการไหลของอากาศออกจากปล่อง, C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะ, T_{out} คืออุณหภูมิอากาศขาออกจากปล่อง, T_{in} คืออุณหภูมิอากาศขาเข้าปล่อง

ฉะนั้นก็สามารถสรุปได้ว่าการพาความร้อนออกจากปล่องขึ้นอยู่กับค่า $\dot{m}$ และ $(T_{out} - T_{in})$ สมมุติ C_p เปลี่ยนแปลงน้อยมาก

3. วิธีการศึกษาวิจัย

สร้างแบบจำลองของปล่องลมแดดในลักษณะ 2 มิติดังรูปที่ 3 โดยให้ความสูงผนังปล่อง (L) คงที่ที่ 2.5 เมตร แต่เปลี่ยนขนาดทางเข้าและทางออกของอากาศ (H) เป็น 0.05, 0.10 และ 0.15 เมตร ค่าความกว้างของปล่อง (D) เป็น 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 เมตร ตามลำดับ เมื่อฟลักซ์ความร้อน (q_s) มีค่า 100-700 วัตต์ต่อตารางเมตร (เนื่องจากฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ยในประเทศไทยมีค่าประมาณ 500 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังนั้นจึงต้องการศึกษาให้ครอบคลุมค่าฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ย) ขนาดกริดที่ใช้ในแบบจำลองของปล่องคือ กว้าง x สูง เท่ากับ 0.5x2.5 เซนติเมตร สาเหตุที่ด้านกว้างมีความละเอียดของกริดมากกว่าด้านสูง ก็เพราะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วตามความยาวในแนวแกน Y และจำนวนกริดในแต่ละกรณีจะไม่เท่ากันถ้าขนาดของปล่องที่ทำการศึกษาไม่เท่ากัน

โดยมีเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ดังนี้

1. ฟลักซ์ความร้อนที่ผนังปล่องชั้นนอก (16) คงที่
2. ผนังด้านบน (54) และด้านล่างของปล่อง (12) ไม่มีความร้อนไหลผ่าน (Adiabatic wall)
3. ผนังชั้นใน (34) มีอุณหภูมิคงที่ที่ 300 °K
4. ด้านขาเข้าอากาศ (23) และด้านขาออกอากาศ (56) สมมุติให้อุณหภูมิคงที่ที่ 300 °K และความดันคงที่ที่ความดันบรรยากาศ และมีขนาดเท่ากันในแต่ละกรณีที่จะพิจารณา



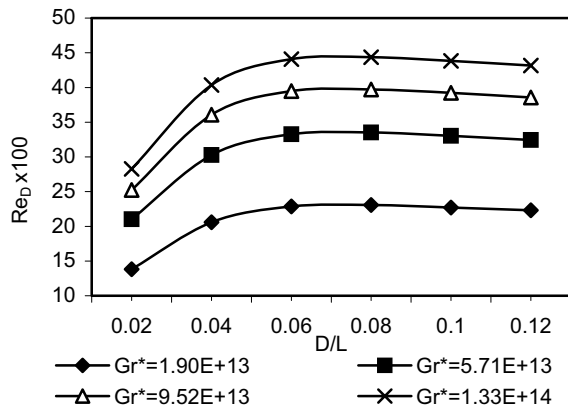
รูปที่ 3 รูปแบบกริดที่ใช้ในการจำลองปล่องลมแดดในลักษณะ 2 มิติ

โดยมีสภาวะเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ดังนี้

1. ที่ 23 สมมุติให้ ความเร็วเริ่มต้นของอากาศในแนวแกน X และแกน Y (u และ v) มีค่าเป็นศูนย์
2. อากาศภายในปล่องมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 300 °K และความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ

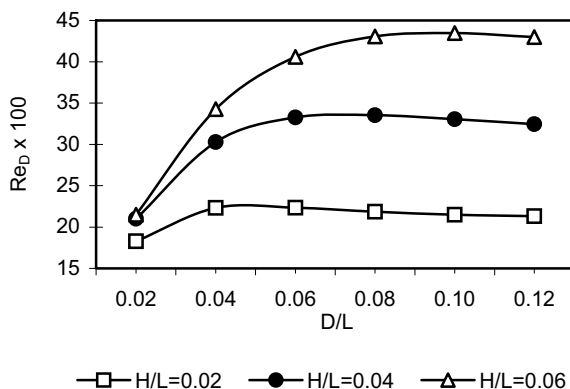
4. ผลการศึกษาวิจัย

จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เมื่อกำหนดให้ H/L และ D/L มีค่าคงที่พบว่า การเพิ่มค่า Gr_L^* จะทำให้ค่า Re_D สูงขึ้น หมายความว่า การเพิ่มฟลักซ์ความร้อนให้กับอากาศภายในปล่อง จะทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากปล่องมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนกรณีที่กำหนดให้ค่า Gr_L^* และ H/L คงที่พบว่า การเพิ่มค่า D/L นั้นค่า Re_D จะสูงขึ้นตาม D/L จนถึงค่า D/L ที่เหมาะสมค่าหนึ่งที่ทำให้ Re_D มีค่าสูงสุด ต่อจากนั้นถึงแม้จะเพิ่มค่า D/L อีกก็จะมีค่า Re_D เพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้ Re_D มีค่าลดลงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อิทธิพลของ Gr_L^* และ D/L ที่มีต่อ Re_D เมื่อ $H/L=0.04$

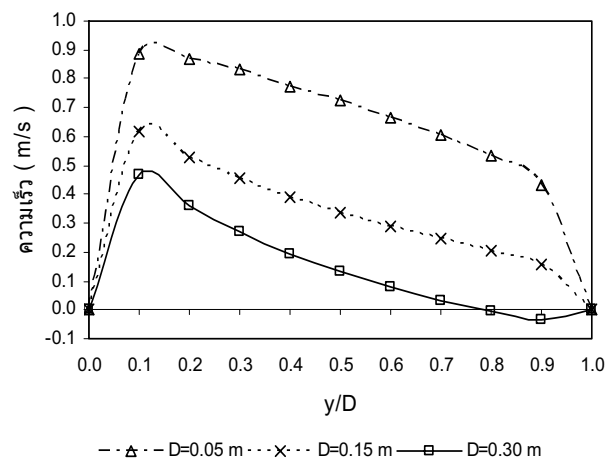
เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดความสูงทางเข้าและทางออกของอากาศ จากรูปที่ 5 พบว่า อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากปล่องจะมีค่าแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงขนาด เมื่อฟลักซ์ความร้อนและความกว้างปล่องมีค่าคงที่ และยังพบอีกว่าค่าความกว้างที่เหมาะสมของปล่อง (Re_D มีค่าสูงสุด) จะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของขนาดความสูง



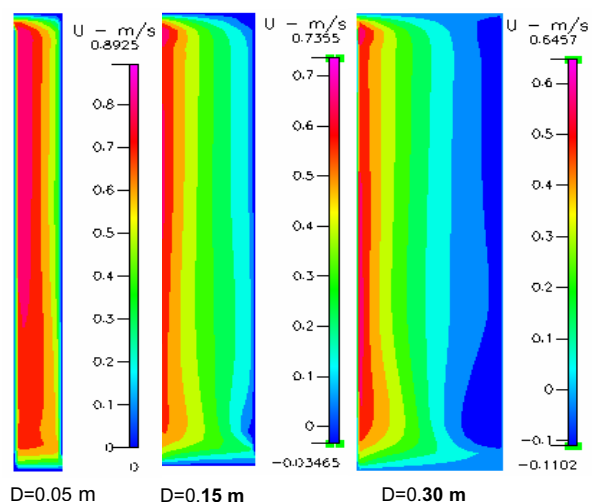
รูปที่ 5 อิทธิพลของ H/L และ D/L ที่มีต่อ Re_D เมื่อ $Gr_L^*=5.71E+13$

ทางเข้าและทางออกของอากาศด้วย อธิบายจากกราฟก็คือเมื่อเพิ่ม H/L ณ ที่ Gr_L^* และ D/L ค่าเดียวกันจะทำให้ค่า Re_D และ D/L ที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากผลที่ได้แสดงในกราฟรูปที่ 4 และ 5 เหตุผลที่ทำให้ค่า D/L มีค่าที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่ง สามารถอธิบายได้จากรูปที่ 6 และ 7 คือการที่ค่าความกว้างของปล่องมากเกินไป (ไม่เหมาะสมกับขนาดทางเข้าออกของอากาศ) จะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของอากาศในปล่องด้านที่ติดกับผนังอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของอากาศที่ออกจากปล่องมีค่าลดลงจากจุดที่มีค่าสูงสุด จากการยังสามารถอธิบายเกี่ยวกับการกระจายตัวของความเร็วอากาศในปล่องได้อีกว่า เมื่อเพิ่มความกว้างของปล่องความเร็วอากาศ ณ จุดต่าง ๆ ต่อความกว้างของปล่องจะลดลง และความเร็วจะมากที่สุดที่ตำแหน่งใกล้ผนังที่ให้ฟลักซ์ความร้อน



รูปที่ 6 การกระจายตัวของความเร็วอากาศในปล่องที่อัตราส่วนระยะห่างจากผนังร้อนต่อความกว้างปล่องที่ความสูงปล่อง 1.5 m



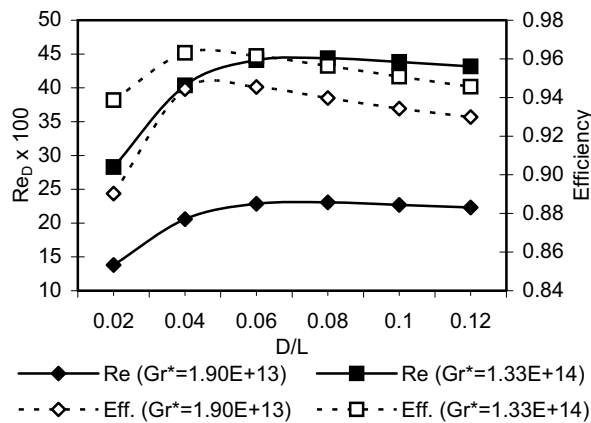
รูปที่ 7 การกระจายตัวของความเร็วอากาศในปล่องเมื่อ $q''_s=300$ w/m² และ $H=0.10$ m โดยด้านซ้ายของปล่องคือผนังร้อน

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพล D/L , Gr_L^* และ H/L ที่มีต่อ Re_D สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

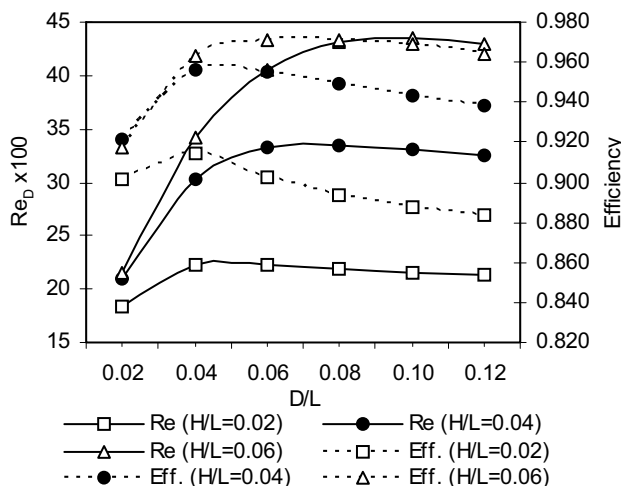
ตารางที่ 1 สรุปค่า D/L ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า Re_D ของปล่องมากที่สุด

H/L	Gr_L^*	D/L ที่เหมาะสม
0.02	1.9E+13-1.33E+14	0.04-0.08
0.04		0.06-0.10
0.06		0.08-0.12

จากรูปที่ 8 เมื่อ H/L และ D/L มีค่าคงที่พบว่า การเพิ่มค่า Gr_L^* จะทำให้ค่า Re_D และ η_T เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อสังเกตค่า D/L ที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบมากที่สุดแล้ว พบว่าไม่ใช่ค่าเดียวกับ D/L ที่ทำให้ค่า Re_D มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่ค่า Gr_L^* และ H/L เดียวกัน ซึ่งค่า D/L ที่ทำให้ปล่องมีประสิทธิภาพมากที่สุดจะขึ้นอยู่กับค่า H/L คือ ถ้า H/L มีค่ามากขึ้น D/L ก็จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วยดังรูปที่ 9 เมื่อพิจารณาที่ค่า Gr_L^* คงที่



รูปที่ 8 อิทธิพลของ Gr_L^* และ D/L ที่มีต่อ Re_D และ η_T เมื่อ H/L=0.04

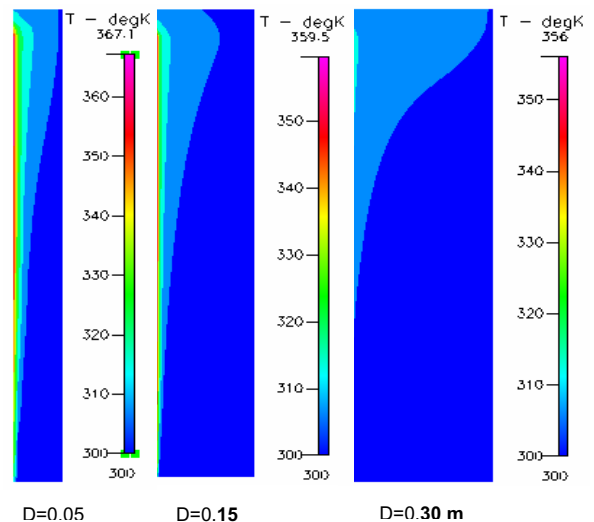


รูปที่ 9 อิทธิพลของ H/L และ D/L ที่มีต่อ Re_D และ η_T เมื่อ $Gr_L^*=5.71E+13$

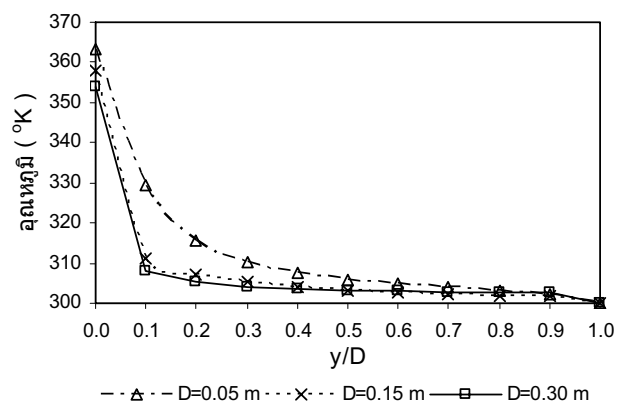
สาเหตุที่ค่า D/L เหมาะสมของ η_T และ Re_D นั้นไม่ใช่ค่าเดียวกัน

ก็เป็นเพราะ η_T ไม่ได้ขึ้นกับค่าอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากปล่องเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้าและขาออกปล่องของอากาศด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 10 แล้วพบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศเข้าและขาออกปล่องของอากาศ จะมากเมื่อปล่องมีขนาดเล็ก และความต่างของอุณหภูมินี้เองที่มีผลทำให้ค่า D/L ที่เหมาะสมของ η_T มีค่าน้อยกว่าของ Re_D หรือพูดให้ฟังง่าย ๆ ก็คือ ที่อัตราการไหลของอากาศออกจากปล่องสูงๆ ไม่ได้หมายความว่าปล่องจะมีการถ่ายเทความร้อนออกจากปล่องได้ดีเสมอไป เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของอากาศออกจากปล่องที่มีค่าไม่สูงและไม่ต่ำจนเกินไป

สำหรับรูปที่ 11 นั้นเป็นรูปการกระจายตัวของอุณหภูมิปล่องที่ระดับเดียวกัน จากรูปเมื่อนำกราฟอุณหภูมิไปอินทิเกรตหาอุณหภูมิเฉลี่ยพบว่าปล่องที่มีความกว้างน้อย จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าปล่องที่มีความกว้างมากซึ่งสนับสนุนกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และจะสังเกตเห็นอีกว่าบริเวณที่ใกล้ผนังที่ให้ฟลักซ์ความร้อน จะมีอุณหภูมิอากาศสูง เหตุผลนี้เองที่ทำให้ บริเวณใกล้ผนังที่ให้ฟลักซ์ความร้อนมีความเร็วของอากาศที่สูงดังรูปที่ 6



รูปที่ 10 การกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศในปล่องเมื่อ $q_s=300 \text{ w/m}^2$ และ H=0.10 m โดยด้านซ้ายของปล่องคือผนังร้อน



รูปที่ 11 การกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศในปล่องที่อัตราส่วนระยะห่างจากผนังร้อนต่อความกว้างปล่องที่ความสูงปล่อง 1.5 m

จากผลการวิเคราะห์หัตถิพล D/L, Gr_L* และ H/L ที่มีต่อ η_T สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปค่า D/L ที่เหมาะสมที่ทำให้ η_T ของปล่องมากที่สุด

H/L	Gr _L	D/L ที่เหมาะสม
0.02	1.9E+13-1.33E+14	0.02-0.06
0.04		0.02-0.06
0.06		0.04-0.08

5. สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย

การจำลองแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล ของปล่องลมแดด โดยโปรแกรมสำเร็จรูป ที่ความสูงผนังปล่อง 2.5 เมตร โดยทำการวิเคราะห์ในเชิงตัวแปรไร้มิติในลักษณะ 2 มิติ ร่วมกับการไหลแบบปั่นป่วน สามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่า Re_D คือค่า Gr_L, D/L และ H/L โดยค่า Re_D จะแปรผันตามค่า Gr_L และ H/L ที่เพิ่มขึ้น แต่ค่า D/L จะมีค่าที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่ง ที่ทำให้ Re_D มีค่ามากที่สุดซึ่งไม่ใช่ค่า D/L ที่มากที่สุด และ D/L ที่เหมาะสมนั้นจะแปรผันตามค่า H/L โดยจะเพิ่มขึ้นอยู่กับค่า Gr_L ในส่วนแนวโน้มของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของปล่องลมแดดนั้น ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพจะมีลักษณะเหมือนกับ Re_D แต่จะต่างกันที่ค่า D/L ที่เหมาะสม คือ D/L ที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดจะมีค่าน้อยกว่าค่า D/L ที่ทำให้ Re_D มีค่าสูงสุด แต่ในการออกแบบปล่องลมแดดเพื่อนำไปใช้งานจริงนั้นควรเลือกค่าตัวแปรที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของปล่องลมแดดมีค่าสูงสุด เนื่องจากว่าถ้าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงก็จะสามารถลดความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคารได้มาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณพ่อแม่ที่เป็นกำลังใจในการทำงาน อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] B.A. Jubran et al, "Modelling Free Convection in A Trombe Wall", Renewable Energy, Vol. 1, No 3/4, 1991, pp. 351-360
- [2] Chen, Z.D. et al, "An Experimental Investigation of a Solar Chimney with Uniform Heat Flux", Energy and Buildings, Vol. 38, 2003. pp. 893-609.
- [3] G. Gan, "A Parametric study of Trombe walls for passive cooling of building", Energy and Buildings, Vol. 27, 1998, pp. 37-43
- [4] G. Gan, "Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation", Energy and Buildings, 2005
- [5] Hirralabh, J., Kongduang, W., Namprakai, P., and Khedari, J., "Study of Natural Ventilation of Houses by a Metallic Solar Wall under Tropical Climate", Renewable Energy 18, 1999, pp: 109-119

- [6] Khedari, J., Kaewruang, S., Pratinthong, N., and Hirralabh, J., "Natural Ventilation of House by a Trombe Wall under the Climatic Conditions in Thailand". International Journal of Ambient Energy 20(2), 1999, pp: 85-94.
- [7] K.S. Ong, and C.C. Chow, "Performance of a solar chimney", Solar Energy, Vol. 73, 2003, pp. 1-17.
- [8] Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Fundamental of Heat and Mass Transfer, 4 th Edition John Wiley, New York, 1996
- [9] B. E. Launder and D. B. Spalding. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press, London, England, 1972.
- [10] V. Yakhot and S.A. Orszag, Renormalization group analysis of turbulence, J. scientific Computing, 1986