ผลของปล่องความร้อนที่มีต่อการปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในฤดูหนาว

Effect of solar chimney on dwelling air conditioning in winter season

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา[1*], ประพันธ์พงษ์ สมศิลา[2]

Umphisak Teeboonma[1*], Praphanpong Somsila[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปล่องความร้อนที่มีต่อการปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในฤดูหนาว โดยได้ออกแบบและสร้างบ้านพักจำลอง 2 แบบ คือ แบบที่มีการติดตั้งปล่องความร้อนและแบบที่ไม่มีการติดตั้งปล่องความร้อน ซึ่งบ้านจำลองและปล่องความร้อนมีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 1.0 x 1.5 x 1.2 m^3 และ 0.8 x 0.5 x 0.1 m^3 ตามลำดับ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาผลของปล่องความร้อนที่มีต่อบ้านพักอาศัยจำลอง ประกอบด้วย อุณหภูมิและความเร็วลมอากาศภายในบ้าน ผลจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิอากาศของบ้านพักอาศัยที่มีการติดตั้งปล่องความร้อนสูงกว่าบ้านพักที่ไม่มีปล่องความร้อนประมาณ 14.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้น จากการศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่า ปล่องความร้อนมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเร็วลมหรือการระบายอากาศภายในบ้านพักอาศัย

คำสำคัญ: ปล่องความร้อน, บ้านพักอาศัย, การระบายอากาศ

Abstract

The objective of this research was to study the effect of solar chimney on dwelling air conditioning in winter season. To achieve this purpose, two dwelling models installed solar chimney and non solar chimney were designed and constructed. The dimension of dwelling models and solar chimney used in this work were 1.0 x 1.5 x 1.2 m^3 and 0.8 x 0.5 x 0.1 m^3, respectively. The parameters used to evaluating the effect of solar chimney on dwelling models were air temperature and air velocity. It was found from the experimental results that air temperature of the dwelling model with solar chimney was 14.5% higher than that of the dwelling model without solar chimney. Furthermore, it was pointed out that solar chimney affects significantly on air velocity or air ventilation in dwelling.

Keyword: Solar chimney, dwelling, air ventilation

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โทรศัพท์ 045-353309 Email: umphisak@hotmail.com

[1] Mechanical engineering department, Faculty of engineering, Ubonratchathani university Tel. 045-353309 Email: umphisak@hotmail.com

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ โทรศัพท์ 086-2657854 Email: p.somsila@hotmail.com

[2] Mechanical engineering department, Faculty of agriculture and technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin campus Tel. 044-153090 Email: p.somsila@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานถือเป็นเรื่องสำคัญที่มีการกล่าวถึงกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากปริมาณของพลังงานเชิงพาณิชย์ที่มีอยู่กำลังจะหมดไปในอีกไม่นาน ประกอบกับปัจจัยที่ทำให้ปริมาณพลังงานเชิงพาณิชย์หมดเร็วยิ่งขึ้นนั่นคือ ความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์ที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสาเหตุหลักเกิดจากการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย ไม่ใส่ใจในการใช้พลังงาน และขาดความตระหนักในการประหยัดพลังงาน สำหรับวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือ การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์เท่าที่จำเป็นและการนำพลังงานทดแทนมาใช้ หากกล่าวถึงวิธีแก้ไขในส่วนที่สองนั้น ประเทศไทยถือเป็นประเทศที่มีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง เนื่องจากมีปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 18 $MJ/m^2.day$ ดังนั้นหากสามารถประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ในงานหลายด้านก็จะถือว่าเป็นการใช้พลังงานอย่างประหยัด และเป็นการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน

ปล่องความร้อน (Solar chimney) เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากหลักการพาความร้อนแบบอิสระ (Free convention) โดยได้รับฟลักซ์ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้อากาศในปล่องความร้อนมีอุณหภูมิและความหนาแน่นที่แตกต่างกัน โดยส่วนปลายของปล่องจะมีอุณหภูมิสูงและมีความหนาแน่นของอากาศต่ำกว่าส่วนต้นของปล่อง เมื่ออากาศภายในปล่องได้รับความร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นจนพ้นปล่อง ซึ่งจะเหนี่ยวนำอากาศใหม่เข้ามา และทำให้เกิดการไหลของอากาศอย่างต่อเนื่อง

การประยุกต์ใช้งานปล่องความร้อนมีด้วยกันหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า การเพิ่มการไหลเวียนอากาศในระบบอบแห้ง การระบายอากาศบ้านพักอาศัยในฤดูร้อน และสำหรับการประยุกต์ใช้งานอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การปรับอากาศภายในบ้านพักอาศัยในฤดูหนาว เนื่องจากหลายพื้นที่ของประเทศไทยได้รับผลกระทบจากความหนาวที่เกิดขึ้นในฤดูหนาว ดังนั้น หากสามารถนำหลักการปล่องความร้อนดังกล่าวมาใช้ก็จะทำให้สามารถแก้ปัญหาในเรื่องความหนาว และเพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนอีกด้วยเช่นกัน

ที่ผ่านมามีนักวิจัยได้ทำการศึกษาและค้นคว้างานวิจัยด้านนี้ดังต่อไปนี้ Guohui Gan[1] ได้ศึกษาการเพิ่มการระบายอากาศภายในอาคารด้วยการสร้างแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลภายในปล่องความร้อนและเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ผลการศึกษาพบว่า อัตราการไหลของอากาศภายในปล่องความร้อนมีค่ามากที่สุดภายใต้เงื่อนไข ความกว้างปล่องความร้อนอยู่ระหว่าง 0.55 -0.6 เมตร และความสูง 6 เมตร สำหรับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศสำหรับปล่องความร้อนที่มีการใช้ผนังสองชั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างของปล่องเพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่อความสูงของปล่องความร้อนลดลง Hirunlabh, et al.[2] ได้ศึกษาการใช้ Metallic Solar Wall (MSW) เพื่อใช้ในการระบายอากาศโดยวิธีทางธรรมชาติภายในบ้าน โดยทำการติดตั้ง MSW เข้ากับผนังด้านทิศใต้ของบ้านจำลองขนาดเล็ก ซึ่งบ้านมีความสูง 2.68 m และขนาดของพื้น 3.35 x 3.45 m^2 มีหน้าต่าง 1 บานและประตู 1 บาน และมีตะแกรงระบายอากาศในทิศเหนือของบ้าน จากการศึกษาพบว่า MSW สามารถทำให้เกิดอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศในปล่องความร้อนเท่ากับ 0.01-0.02 kg/s Khedari, et al.[3] ได้ศึกษาการระบายอากาศโดยวิธีทางธรรมชาติภายในบ้านและผลกระทบของการเปิดประตู หน้าต่าง ผลจากการศึกษาพบว่า ปล่องความร้อนสามารถช่วยลดปริมาณความร้อนและเพิ่มความสบายภายในห้องโดยที่อัตราการเปลี่ยนอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 8 ถึง 15 และพบว่าประสิทธิภาพการระบายอากาศโดยการเปิดประตูและหน้าต่างมีค่าน้อยกว่าการใช้ปล่องความร้อน Ong and Chow[4] ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปล่องความร้อนเพื่อทำนายประสิทธิภาพปล่องความร้อนภายใต้การแปรผันของสิ่งแวดล้อมและรูปร่างของปล่องความร้อน โดยได้สร้างชุดทดลองปล่องความร้อนมีลักษณะเป็นกล่อง

สี่เหลี่ยมขนาด 0.48 x 1.02 x 2 m^3 ผลจากการศึกษาพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกันกับผลการทดลอง และยังพบว่า ขนาดของช่องอากาศ 0.3 m ฟลักซ์ความร้อน 650 W/m^2 จะทำให้ดกิดความเร็วของอากาศภายในปล่องความร้อน 0.25 - 0.39 m/s Raman, et al[5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ Solar passive system เพื่อช่วยในการระบายอากาศภายในอาคารของประเทศอินเดีย โดยสร้างห้องทดลองขนาด 5 x 4 x 2 m^3 จำนวน 2 รูปแบบ แบบแรก มีการใช้แผ่นกระจกและมีการหุ้มฉนวนสำหรับทางเข้าปล่องความร้อน ส่วนในแบบที่ 2 ใช้แผ่นไม้ น้ำและฉนวน ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่า รูปแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบแรก

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การศึกษาการปรับอากาศภายในบ้านพักอาศัยโดยใช้ปล่องความร้อนสำหรับฤดูหนาวยังไม่มี ซึ่งส่วนมากจะเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศโดยใช้ปล่องความร้อนเพียงเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการปรับอากาศภายในบ้านพักอาศัยกรณีของการไม่ใช้และใช้ปล่องความร้อนที่ติดตั้งตำแหน่งหลังคาบ้านสำหรับฤดูหนาว

ทฤษฎี

สำหรับการวิเคราะห์สมดุลพลังงานของปล่องความร้อน สามารถเขียนรูปประกอบการพิจารณาได้ดัง Figure 1 ซึ่งความร้อนที่ถ่ายเทผ่านปล่องความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$qWL = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \qquad (1)$$

เมื่อ q = ฟลักซ์ความร้อน, W/m^2
W = ความกว้างของปล่อง, m
L = ความสูงของปล่อง, m
T_i = อุณหภูมิทางเข้า, ^oC
T_o = อุณหภูมิทางออก, ^oC
Cp = ค่าความจุความร้อนของอากาศ, kJ/kg.K
$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s

โดยที่ $\dot{m}$ หาได้จากการทดลอง ด้วยวิธีการวัดความเร็วลม หลังจากนั้นจึงคำนวณหา $\dot{m}$ โดยใช้สมการที่ 2

$$\dot{m} = \rho_o A_o \bar{v}_{av} \qquad (2)$$

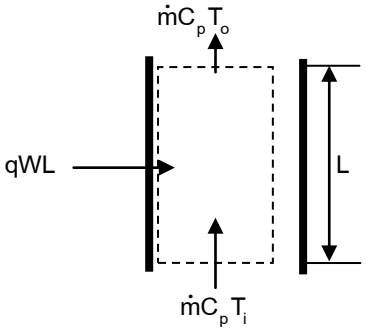

Figure 1 Energy balance of solar chimney system.

สำหรับการหาประสิทธิภาพของปล่องความร้อนสามารถวิเคราะห์ได้จากสัดส่วนของพลังงานที่ถ่ายเทให้กับอากาศต่อพลังงานที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3

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

ในสมการที่ 3 ค่า q คือ ฟลักซ์ความร้อนของแสงอาทิตย์ สำหรับงานวิจัยนี้หาได้จากการวัดปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่ให้แก่ระบบของปล่องความร้อน โดยใช้เครื่องมือวัดฟลักซ์ความร้อนแสงอาทิตย์ และการคำนวณในสมการต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถคำนวณหาคุณสมบัติของอากาศได้จากความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

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

$$C_p = [1.007 + 0.00004(T - 300)]x10^3 \quad (5)$$

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

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ ณ อุณหภูมิต่างๆ

T = ค่าอุณหภูมิของอากาศ, K

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาในงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดทดลองจำนวน 2 ชุด และติดตั้งเพื่อทดลองในตำแหน่งพิกัด 14°52′54″N 104°29′36″E ซึ่งชุดที่ 1 เป็นชุดทดลองบ้านพักที่ไม่ได้มีการติดตั้งปล่องความร้อนดังแสดงใน Figure 2 และชุดที่ 2 เป็นชุดทดลองที่มีการติดตั้งปล่องความร้อนที่ตำแหน่งหลังคาของบ้านพัก ดังแสดงใน Figure 3

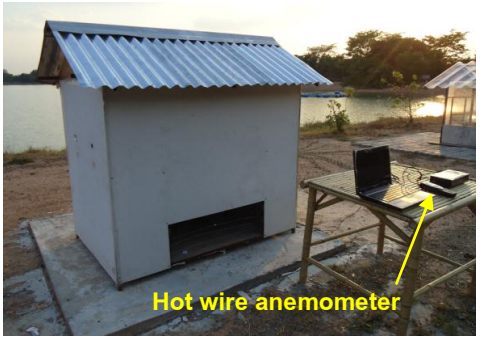

Figure 2 Experimental set up in case of non solar chimney.

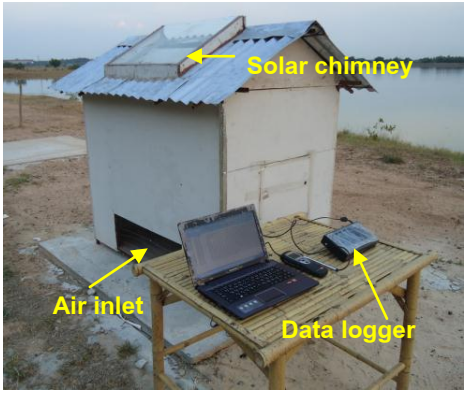

Figure 3 Experimental set up in case of using solar chimney.

บ้านจำลองที่ใช้ศึกษามีขนาด 1.0 x 1.5 x 1.2 m^3 ประกอบด้วยตัวบ้านพร้อมหลังคาสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ซึ่งผนังของบ้านหุ้มด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด และหลังคาทำมาจากเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี สำหรับปล่องความร้อนที่ใช้ติดตั้งที่ตำแหน่งหลังคามีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ผนังด้านหน้าทำมาจากแผ่นกระจกใส หนา 4 mm แผ่นดูดซับความร้อนซึ่งเป็นผนังด้านล่าง ผนังด้านซ้าย และผนังด้านขวา ทำมาจากแผ่นยิบซัมบอร์ด ซึ่งปล่องความร้อนมีขนาด 0.8 x 0.5 x 0.1 m^3 และวางทำมุมเอียงกับแนวระดับ 20 องศา ตามมุมเอียงของหลังคาบ้าน

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิและความเร็วของอากาศในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ที่มีค่าความถูกต้อง ±1°C มีช่องสัญญาณที่ใช้เพื่อติดตั้ง Thermocouple type K จำนวน 20 ช่องสัญญาณ ใช้ในการวัดอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ของบ้านจำลอง และ Hot wire anemometer ที่มีค่าความถูกต้อง ±0.01 m/s ใช้ในการวัดความเร็วของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในบ้าน นอกจากนั้นยังมีการใช้ Solar Integrator ในการวัดฟลักซ์ความร้อนของพลังงานแสงอาทิตย์

ลักษณะของการปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในฤดูหนาวโดยการใช้ปล่องความร้อนติดตั้งที่ตำแหน่งหลังคา สามารถแสดงได้ Figure 4 ซึ่งมีหลักการคือ อากาศที่อยู่ภายในปล่องความร้อนที่ติดตั้งตำแหน่งหลังคาจะได้รับฟลักซ์ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำให้อากาศบริเวณดังกล่าวมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศที่บริเวณทางเข้าปล่องความมร้อน ทำให้มีแรงลอยตัวเพิ่มขึ้นและสามารถไหลออกที่ทางออกปล่องความร้อน ในขณะเดียวกันจะมีการเหนี่ยวนำอากาศที่บริเวณทางเข้าปล่องความร้อนให้ไหลเข้าสู่ปล่องความร้อนด้วยเช่นกัน สำหรับการปรับอากาศในฤดูหนาวนั้น จะต้องมีการปรับทิศทางของอากาศที่ตำแหน่งทางออกปล่องความร้อนให้ไหลเข้าสู่ตัวบ้านอีกครั้ง ก็จะเป็นผลทำให้อากาศภายในบ้านมีความอบอุ่นและสบายเหมาะกับการอยู่อาศัยในฤดูหนาว

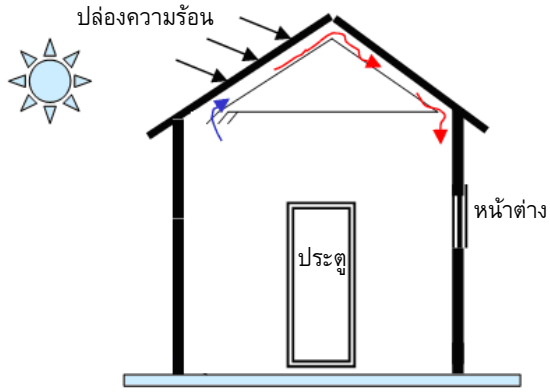

Figure 4 Principle of air conditioning in dwelling by using solar chimney.

ผลของการวิจัย

ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบการปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในฤดูหนาวกรณีใช้และไม่ใช้ปล่องความร้อนติดตั้งที่ตำแหน่งหลังคา สามารถแสดงผลได้ดัง Figure 5-8 โดยที่ Figure 5 และ 6 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของชุดทดลองกรณีไม่ใช้และใช้ปล่องความร้อนในการปรับอากาศ ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการทดลองวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2556 จากการทดลองพบว่า ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินั้นมีความคล้ายคลึงกัน แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่อุณหภูมิภายในบ้านกรณีติดตั้งปล่องความร้อนที่ตำแหน่งหลังคาเพื่อใช้ในการปรับอากาศในฤดูหนาวนั้นจะมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีของบ้านที่ไม่ได้ใช้ปล่องความร้อน

สำหรับอุณหภูมิดังกล่าว มีรายละเอียดดังนี้ กรณีใช้ปล่องความร้อนจะมีอุณหภูมิภายในบ้านเฉลี่ยเท่ากับ 37.6°C และอุณหภูมิใต้หลังคาบ้านเฉลี่ยเท่ากับ 41.1°C สำหรับกรณีไม่ใช้ปล่องความร้อนจะมีอุณหภูมิภายในบ้านเฉลี่ยเท่ากับ 32.9°C และอุณหภูมิใต้หลังคาบ้านเฉลี่ยเท่ากับ 36.7°C ซึ่งหากเปรียบเทียบอุณหภูมิแล้วจะพบว่า บ้านที่ใช้ปล่องความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบ้านที่ไม่ใช้ปล่องอากาศประมาณ 14.5 เปอร์เซ็นต์

ผลจากการทดลองดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงผลของการติดตั้งปล่องความร้อนที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศภายในบ้าน ซึ่งเกิดจากการไหลเวียนอากาศร้อนที่เป็นผลมาจากความหนาแน่นของอากาศที่แตกต่างกัน ผลจากการศึกษายังพบว่าอุณหภูมิของบ้านในแต่ละกรณีมีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งไม่เหมาะกับการอยู่อาศัย (สภาวะสบายในการพักอาศัย ความชื้นสัมพัทธ์อากาศอยู่ในช่วง 30-70% และอุณหภูมิกระเปาะแห้งอยู่ระหว่าง 23-25 °C) ทั้งนี้เนื่องจากวันที่ดำเนินการทดลองเป็นวันที่มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูง จึงได้ผลการทดลองดังที่เห็น อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงความสามารถของปล่องความร้อนที่สามารถปรับอากาศในฤดูหนาวได้เป็นอย่างดี

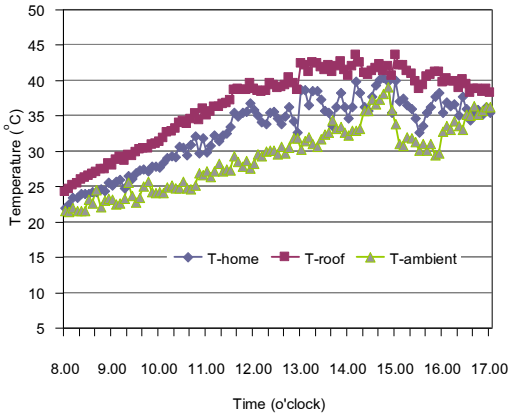

Figure 5 Temperatures at each position in home in case of no solar chimney.

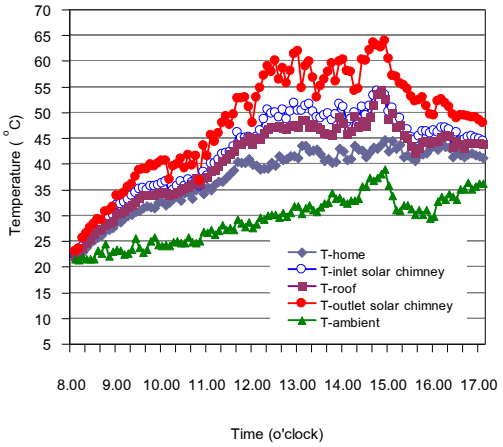

Figure 6 Temperatures at each position in home in case of using solar chimney.

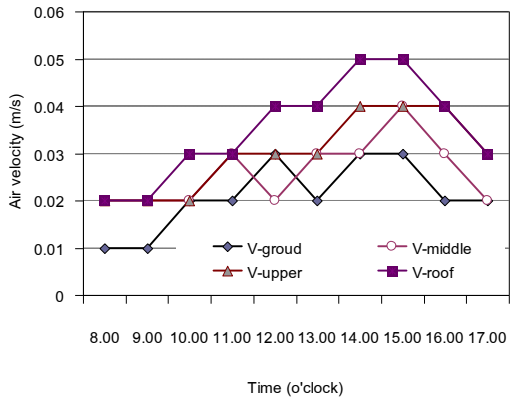

Figure 7 Air velocities at each position in home in case of non solar chimney.

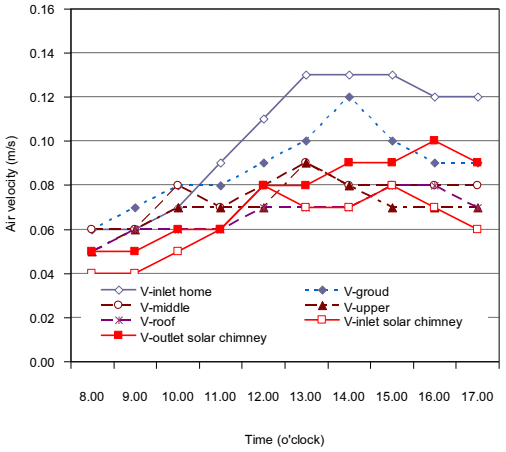

Figure 8 Air Velocities at each position in home in case of using solar chimney.

Figure 7 และ 8 แสดงความเร็วของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ของชุดทดลองกรณีไม่ใช้และใช้ปล่องความร้อนในการปรับอากาศ ตามลำดับ ผลจากการทดลองพบว่า ความเร็วของอากาศภายในบ้านสำหรับกรณีใช้และไม่ใช้ปล่องความร้อนค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นการศึกษาการปรับอากาศในฤดูหนาว ซึ่งต้องการเพิ่มความอบอุ่นภายในบ้านโดยจะมีอากาศเพียงเล็กน้อยที่ไหลออกสู่ภายนอกบ้าน อย่างไรก็ตาม ยังพบว่า ความเร็วของอากาศที่ไหลภายในบ้านกรณีใช้ปล่องความร้อนจะมีค่ามากกว่ากรณีไม่ใช้ปล่องความร้อน ซึ่งเกิดจากผลของปล่องความร้อนที่ทำให้เกิดการไหลเวียนอากาศด้วยความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ สำหรับความเร็วเฉลี่ยของอากาศภายในบ้านกรณีใช้ปล่องความร้อนจะมีค่าเท่ากับ 0.08 m/s และกรณีไม่ใช้ปล่องความร้อนจะมีค่าเท่ากับ 0.02 m/s นอกจากนั้นยังพบอีกว่า ความเร็วของอากาศภายในบ้านเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. จะเป็นช่วงเวลาที่มีฟลักซ์ความร้อนมากที่สุด

สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ปล่องความร้อนที่ใช้ในการปรับอากาศภายในบ้านสำหรับฤดูหนาวนั้น สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในบ้านเมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้ปล่องความร้อน โดยบ้านที่มีระบบปล่องความร้อนมีอุณหภูมิภายในบ้านสูงกว่าบ้านที่ไม่ใช้ปล่องความร้อนเฉลี่ยประมาณ 14.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังพบว่า บ้านที่มีระบบปล่องความร้อน จะมีการไหลเวียนอากาศภายในที่ดีกว่าบ้านที่ไม่มีการติดตั้งระบบปล่องความร้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีและสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Guohui Gan. 2005. Simulation of buoyancy induced flow in open cavities for natural ventilation. Energy and Buildings 2005; 38: 410-420.
2. Hirunlabh, J. Kongdung, W. Namprakai, P. Khedari, J. Study of natural ventilation of houses by a metallic solar wall under tropical climate. Renewable Energy 1999; 18: 109-119.
3. Khedari, J. Boonsri, B. and Hirunlabh, J. Ventilation impact of solar chimney on

indoor temperature fluctuation and air change in school building. Energy and Buildings 2000; 32: 89-93.

4. Ong, K.S. and Chow, C.C. Performance of a solar chimney. Solar Energy 2003; 74: 1-17.
5. Raman, P. Mande, Sanjay. and Kishore, V.V.N. A passive solar system for thermal comfort conditioning of building in composite climate, Solar Energy 2001; 70: 319-329.