

การพัฒนาเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแดดเพื่อบำบัดน้ำเสีย

Development of a Solar Chimney Aerator for Treating Polluted Water

นพนันท์ นานคงเนบ¹, ชัยวัฒน์ พรหมเพชร¹

¹ศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

222 หมู่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแดดเพื่อบำบัดน้ำเสีย เครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแดดใช้ยางรถยนต์ใช้แล้วเป็นปล่องมีความสูง 4.70 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เมตร บนฐานก่อคอนกรีตบล็อกลูกสูง 0.57 เมตร ได้ศึกษาช่องเปิดทางเข้าของปล่องลมแดด 9 กรณี การเก็บข้อมูลประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและความเร็วของอากาศตำแหน่งต่างๆ ภายในปล่องลมแดด ผลการทดลองพบว่าช่วงกลางวันพลังงานแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับอากาศภายในปล่องทำให้เกิดอากาศลอยตัว ขนาดที่เหมาะสมของช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดมีขนาด $35 \times 19 \text{ cm}^2$ โดยเปิดสองด้านจากพื้นดิน ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างทางออกปล่องลมแดดกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้ถึง $6.25 \pm 5.53 \text{ }^\circ\text{C}$ และความเร็วอากาศเฉลี่ยของทางออกปล่องลมแดดคือ $0.066 \pm 0.018 \text{ kg/s}$ ($0.56 \pm 0.15 \text{ m/s}$) ข้อมูลที่ได้นำมาออกแบบโดยใช้ลูกหมุนระบายอากาศหมุนกั้นหันดีน้ำ ผลการทดสอบพบว่าต้นแบบเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแดดไม่ทำงาน ดังนั้นงานวิจัยต่อไปทำการพัฒนาระบบกลไกสำหรับการหมุนกั้นหันดีน้ำเติมอากาศ

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ / ปล่องลมแดด / เครื่องเติมอากาศ

Abstract

This research develops a solar chimney aerator for treating waste water. The aerator consisted of a number of wasted tires as a chimney has a height of 4.70 meters and a diameter of 0.35 meters on two concrete block foundation walls with a height of 0.57 meters. The solar chimney inlet openings 9 cases were studied. Data collection included ambient air temperature, solar radiation intensity, temperature and velocity at various positions of air in the solar chimney. The experiments indicated that during the day time the solar energy heats the chimney building up the draft air. The appropriate area of the bottom inlet openings is $35 \times 19 \text{ cm}^2$ (two inlet openings). Temperature difference between the solar chimney outlet and ambient air temperature can reach $6.25 \pm 5.53 \text{ }^\circ\text{C}$ and the average mass flow rate of air is $0.066 \pm 0.018 \text{ kg/s}$ ($0.56 \pm 0.15 \text{ m/s}$). The obtained information was designed using a roof ventilator-driven paddlewheel aerator. The test results should that the prototype could not operate. Therefore, the next research will be developing the mechanical system for paddlewheel aerator driving.

Keywords : Solar energy / Solar chimney / Aerator

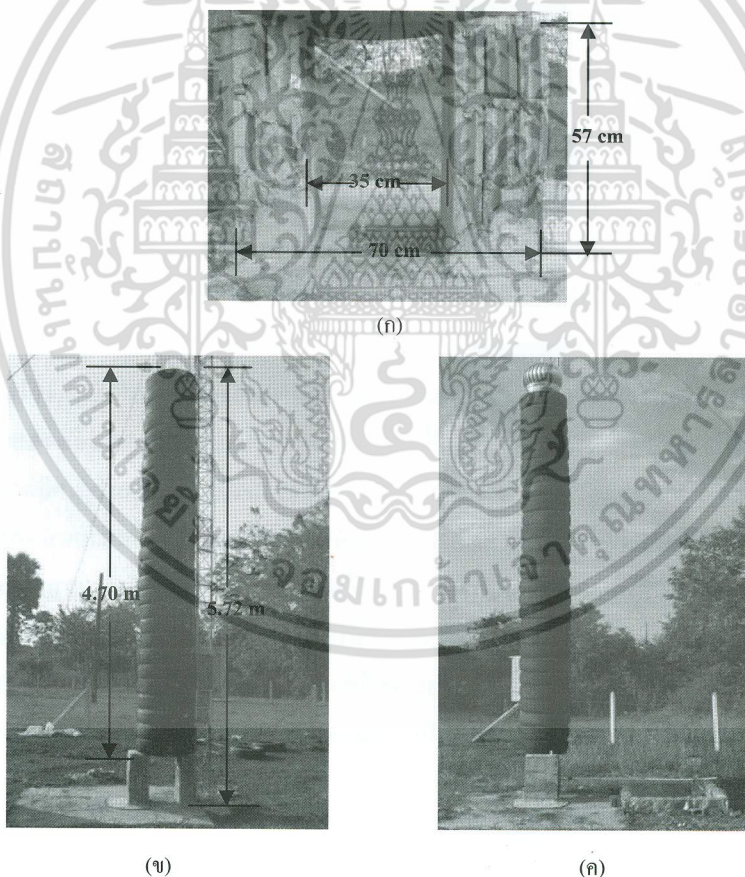
1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาสำคัญของแหล่งน้ำคือการเกิดมลภาวะทางน้ำที่เกิดขึ้นจากชุมชนและโรงงานมีการปล่อยน้ำเสียสู่น้ำตาลคลอง จนเกิดสภาพเน่าเสีย ซึ่งนับว่าจะเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะในเมืองหรือชนบทก็ตาม ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศแบบตีน้ำ สัมผัสอากาศ ที่ติดตั้งแบบหมุนลอยหรือยึดติดกับแท่นเป็นวิธีหนึ่งซึ่งมีค่าใช้จ่ายน้อยและเป็นที่ยอมรับ สามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว และยังนำมาใช้ในกระบวนการ เช่น นาุ้ง บ่อเลี้ยงปลา เป็นต้น เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ โดยแหล่งพลังงานสำคัญที่ใช้ในระบบนี้คือ พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง จากการศึกษาที่ผ่านมาปล่องลมแดด (Solar Chimney) ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ [1-7] และการผลิตกระแสไฟฟ้า [8-18] ซึ่งทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนาเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแดดเพื่อบำบัดน้ำเสียโดยใช้ยางล้อรถยนต์ใช้แล้วมาเป็นปล่องลมแดด เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ใช้กับเครื่องกลเติมอากาศแบบทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถลดขยะที่เกิดจากยางรถยนต์ แก้ปัญหา น้ำเสียและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาภาคสนามอิทธิพลของช่องเปิดต่อ อุณหภูมิในการสร้างเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแดดเพื่อใช้เป็นข้อมูลที่จะพัฒนาเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแดดเพื่อบำบัดน้ำเสียต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 รายละเอียดการสร้างปล่องลมแคบที่ทำการทดสอบ

ปล่องลมแคบที่สร้างเพื่อศึกษาอุณหภูมิกาศนามสำหรับพัฒนาเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแคบถูกสร้าง ณ บริเวณลานกว้างกลางแจ้ง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง โดยใช้ยางรถยนต์ที่เหลือใช้หรือที่ใช้งานไม่ได้แล้วจากอู่ซ่อมรถยนต์ทั่วไปในท้องถิ่น ที่มีขนาดเดียวกัน คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 35 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 65 เซนติเมตร แล้วนำมาวางซ้อนทับกันบนฐานก่อคอนกรีตบล็อกขนาด 70×57 ตารางเซนติเมตร โดยมีช่องเปิดระหว่างกลางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ขนาด 35×57 ตารางเซนติเมตร โดยวัดความสูงของปล่องลมแคบจากพื้นดินได้ 5.27 เมตร ซึ่งความสูงของล้อยางที่นำมาซ้อนทับกันที่ทำการยึดติดกับเสามีความสูง 4.70 เมตร ปล่องลมแคบที่สร้างเพื่อทำการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1



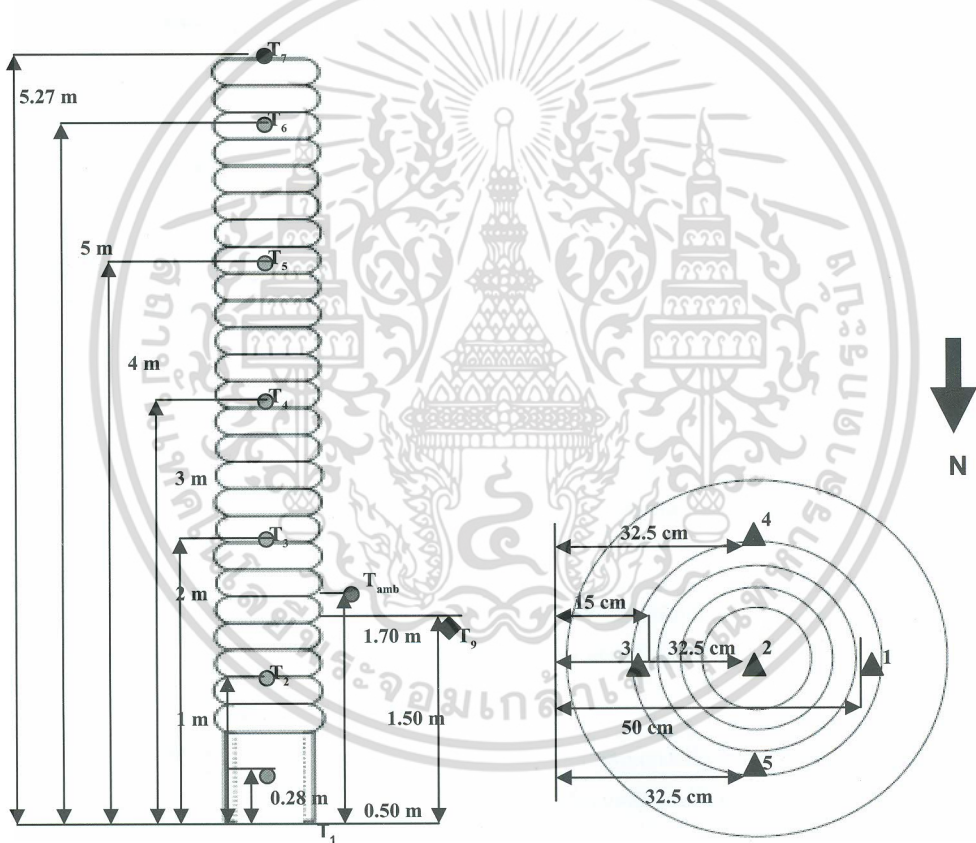
รูปที่ 1 ปล่องลมแคบที่สร้างเพื่อทำการทดลอง

(ก) ฐานก่อคอนกรีตบล็อกและ (ข) ขนาดทั้งหมดของปล่องลมแคบ

(ค) การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแคบเพื่อบำบัดน้ำเสีย

2.2 เครื่องมือวัดและวิธีการเก็บข้อมูล

ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K (Range 0 to 1250 °C, ± 0.2 °C) วัดอุณหภูมิภายในปล่อง 7 จุด ตำแหน่งที่ T_1 ถึง T_7 และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 1 จุด ตำแหน่งที่ T_{amb} ดังรูปที่ 2 โดยเซนเซอร์อุณหภูมิจะถูกครอบด้วยกระดาษอลูมิเนียมฟอยล์ ทำการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วยไพรานอมิเตอร์ (Accuracy ± 10 W/m²) ตำแหน่งที่ T_s สายเทอร์โมคัปเปิลและสายไพรานอมิเตอร์ส่งสัญญาณค่าเข้าเครื่องบันทึกข้อมูล 16 ช่อง (Thermocouple inputs accuracy ± 0.005% , Voltage inputs accuracy ± 0.1 %) วัดความเร็วอากาศด้วยฮอทวายร์ เทอร์โม-แอนนิโมมิเตอร์ (Range 0.2 to 20 m/s, ± 0.2 %) ระดับความสูง ณ ตำแหน่งที่ T_1 ถึง T_7 โดยวัด 5 จุด แล้วทำการเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ตำแหน่งในการวัดค่าต่างๆ ของปล่องลมแดดจากภาพด้านข้าง

รูปที่ 3 ตำแหน่งในการวัดความเร็วลมที่ระดับความสูง ณ ตำแหน่งที่ T_1 ถึง T_7 จากภาพด้านบน

2.3 วิธีดำเนินการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาขนาดช่องเปิดต่ออุณหภูมิภายในปล่องลมแดดเพื่อหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมในการพัฒนาเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแดด โดยทำการเก็บข้อมูลภาคสนามตั้งแต่

เดือน มกราคม 2551 ถึง กุมภาพันธ์ 2551 ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 7:30 น. ถึง 18:30 น. ซึ่งทำการทดลองช่องเปิด 9 แบบ ดังตารางที่ 1

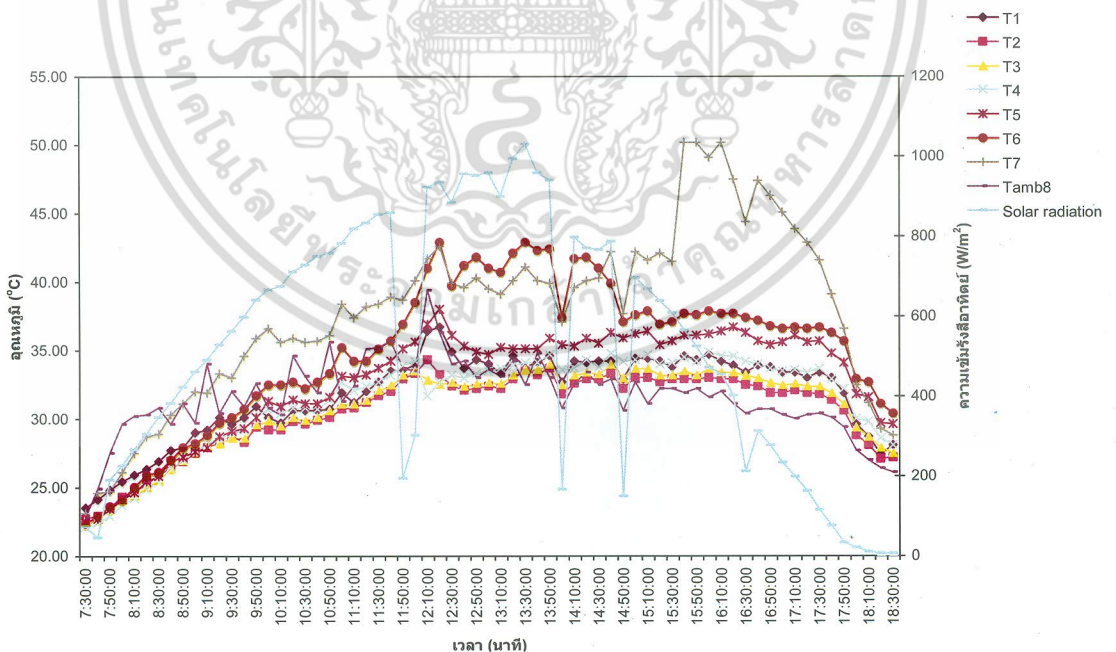
ตารางที่ 1 รูปแบบช่องเปิดทางเข้าของปล่องลมแดด 9 กรณีศึกษา

กรณี การทดลอง	รูปช่องเปิดของปล่องลมแดด
กรณีที่ 1 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกทั้ง 2 ด้าน มีขนาด 35x19 cm ²	
กรณีที่ 2 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกทั้ง 2 ด้าน มีขนาด 35x38 cm ²	
กรณีที่ 3 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกทั้ง 2 ด้าน มีขนาด 35x57 cm ²	
กรณีที่ 4 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันออกและปิดช่องทางเข้าทางทิศตะวันตก มีขนาด 35x19 cm ²	
กรณีที่ 5 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันออกและปิดช่องทางเข้าทางทิศตะวันตก มีขนาด 35x38 cm ²	
กรณีที่ 6 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันออกและปิดช่องทางเข้าทางทิศตะวันตก มีขนาด 35x57 cm ²	
กรณีที่ 7 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันตกและปิดช่องทางเข้าทางทิศตะวันออกมีขนาด 35x19 cm ²	
กรณีที่ 8 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันตกและปิดช่องทางเข้าทางทิศตะวันออกมีขนาด 35x38 cm ²	
กรณีที่ 9 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแดดทางทิศตะวันตกและปิดช่องทางเข้าทางทิศตะวันออกมีขนาด 35x57 cm ²	

3. ผลการวิจัย

3.1 อุณหภูมิภาคสนาม

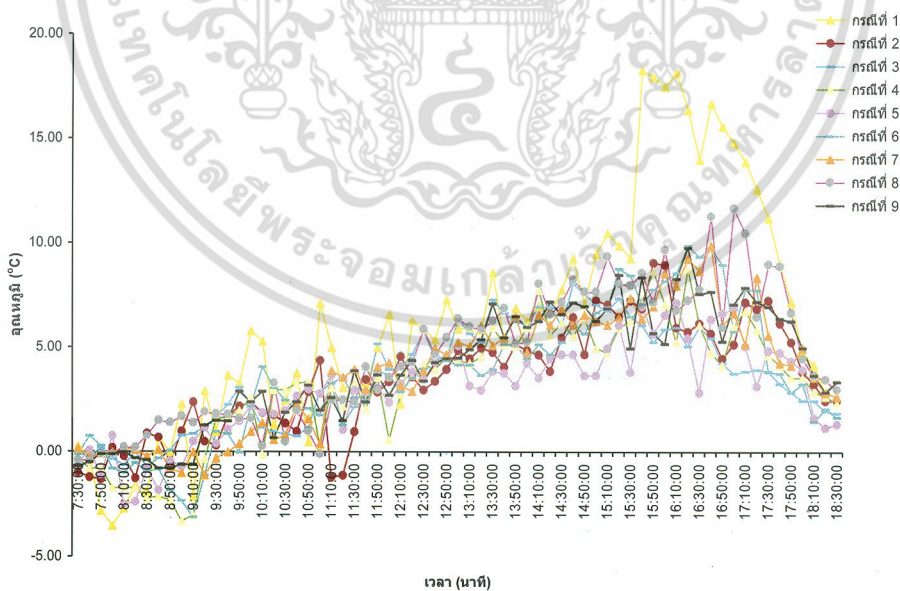
จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 7:30 น. ถึง 18:30 น. ของกรณีศึกษาที่ 1 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลม แดคทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกทั้ง 2 ด้าน มีขนาด $35 \times 19 \text{ cm}^2$ นำมาพล็อตกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงอุณหภูมิจึงลดลงตาม แสดงว่าอุณหภูมิแปรผันตามความเข้มรังสีอาทิตย์ สำหรับค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดพบว่าอุณหภูมิของตำแหน่ง $T_7 > T_6 > T_5 > T_4 > T_3 > T_2$ แสดงให้เห็นว่าที่ตำแหน่งความสูงของปล่องเพิ่มขึ้นอุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นตาม ผลการทดลองยืนยันว่าการแบ่งเป็นชั้นความร้อน (Thermal stratification) ภายในปล่องรังสีอาทิตย์ สำหรับค่าอุณหภูมิของตำแหน่ง $T_1 > T_3 > T_2$ เนื่องจากตำแหน่งตรวจวัดใกล้กับพื้นคอนกรีตซึ่งมีสมบัติกักเก็บความร้อน (Thermal mass) ทำให้อุณหภูมิ T_1 มีค่าสูง เป็นที่น่าสนใจว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งปากปล่องลมแดคมีค่าสูงสุด (T_7) และมีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังเวลา 14:30 น. เนื่องจากว่าความร้อนที่สะสมในปล่องลมแดคทำให้อากาศร้อนมีการเคลื่อนตัวขึ้นในแนวตั้งเกิดการพาความร้อนธรรมชาติ (Natural Convection) ทำให้อุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_7 มีค่าสูงขึ้น สำหรับ กรณีที่ 2 ถึง กรณีที่ 9 มีลักษณะของความสัมพันธ์ของกราฟเช่นเดียวกันกับกราฟในกรณีที่ 1



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงของอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของปล่องลมแดควันที่ 13 มกราคม 2551 กรณีที่ 1

3.2 อิทธิพลของช่องเปิดต่ออุณหภูมิภาคสนาม

จากผลการทดลองที่ผ่านมาค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_7 มีค่าสูงสุดและเป็นส่วนที่อากาศร้อนไหลผ่านจึงเป็นตำแหน่งที่จะพัฒนากังหันของเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแคดต่อไป ดังนั้นจึงเป็นตำแหน่งที่นำมาพิจารณาเพื่อศึกษาอิทธิพลของช่องเปิดต่ออุณหภูมิภาคสนาม โดยเลือกจากข้อมูลที่ทำกรเก็บหลายสัปดาห์ ซึ่งอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (T_{amb}) แต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกันมาทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_7 (อุณหภูมิปากปล่อง) ในแต่ละกรณี ซึ่งเมื่อนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าติดลบในช่วงเวลา 7:30 น. ถึง 9:30 น. เนื่องจากอุณหภูมิกอากาศแวดล้อมสูงกว่าอุณหภูมิปากปล่อง เมื่ออุณหภูมิปากปล่องเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นเกิดการสะสมความร้อนในปล่องลมแคดทำให้อุณหภูมิกอากาศแวดล้อมมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิปากปล่องทำให้ค่าผลต่างของอุณหภูมิปากปล่องกับอุณหภูมิกแวดล้อมเป็นบวกหลังจากเวลา 9:30 น. เป็นต้นไป เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิปากปล่องกับอุณหภูมิกอากาศแวดล้อมทุกกรณีพบว่ากรณีที่ 1 ช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแคดทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกทั้ง 2 ด้าน มีขนาด $35 \times 19 \text{ cm}^2$ มีสูงที่สุดแสดงให้เห็นว่าการเปิดช่องเปิดในกรณีที่ 1 จะให้อุณหภูมิผลต่างสูงที่สุดซึ่งทำให้เกิดความร้อนที่สะสมในปล่องลมแคดทำให้อากาศร้อนมีการเคลื่อนตัวขึ้นในแนวตั้งมากที่สุด เมื่อวัดความเร็วอากาศเฉลี่ยของทางออกปล่องลมแคดคือ $0.56 \pm 0.15 \text{ m/s}$ ซึ่งตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนช่องเปิดแบบต่างๆ ทั้ง 9 กรณี



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปากปล่องลมแคด (T_7) กับอากาศแวดล้อม (T_{amb})

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบช่องเปิดแบบต่างๆ

กรณี	ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิระหว่างปากปล่องลมแคด (T _p) กับอากาศแวดล้อม (T _{amb}) (°C)	อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย (°C)	ความเร็วอากาศเฉลี่ยของทางออกปล่องลมแคด (m/s)
1	6.25 ± 5.53	31.49 ± 2.73	0.56 ± 0.15
2	3.55 ± 2.69	29.23 ± 2.63	0.32 ± 0.04
3	3.67 ± 2.49	29.00 ± 2.80	0.20 ± 0.05
4	3.27 ± 2.97	29.84 ± 3.19	3.20 ± 0.40
5	2.98 ± 2.32	29.89 ± 2.86	0.50 ± 0.07
6	3.65 ± 3.20	29.24 ± 3.06	0.46 ± 0.15
7	3.85 ± 2.96	29.17 ± 3.03	0.34 ± 0.09
8	4.63 ± 3.25	29.32 ± 2.86	0.46 ± 0.26
9	4.04 ± 2.87	29.79 ± 3.48	0.50 ± 0.19

3.3 ทดสอบระบบต้นกำลังในการหมุนกังหันน้ำใบค้ำเสียบปล่องลมแคด

ระบบเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแคดเพื่อบำบัดน้ำเสียเป็นระบบใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสียและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้พลังงานแสงอาทิตย์นำมาใช้ในเกิดประโยชน์ซึ่งสามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบแบบเดิมที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล หรือ ไฟฟ้าเพื่อเป็นต้นกำลังในการหมุนกังหันตีน้ำ โดยการพัฒนาใช้อุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถหาได้ในท้องตลาด ดังนั้นระบบต้นกำลังแบบแรกที่ทำการออกแบบจึงประกอบด้วย ลูกหมุน แกนหมุน และกังหันตีน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1 (ค) ผลการทดสอบพบว่าแรงหมุนของลูกหมุนไม่เพียงพอที่จะหมุนกังหันน้ำใบค้ำเสียบ แสดงว่าการใช้ลูกหมุนเป็นต้นกำลังเพื่อรับลมที่เกิดภายในและภายนอกปล่องลมแคดไม่เหมาะสม สามารถแก้ไขได้หลายวิธีประกอบด้วย พัฒนาตัวรับลมบนปล่องรังสีอาทิตย์ใหม่ เพิ่มความสูงของปล่องลมแคด หรือเพิ่มส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) บริเวณฐานปล่องลมแคด เป็นต้น

4. สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการออกแบบเครื่องกลเติมอากาศปล่องลมแคด ซึ่งปล่องลมแคดทำจากยางล้อรถยนต์ที่ใช้แล้วมีความสูงของปล่องลมแคดทั้งหมด 5.27 เมตร จากตารางข้างต้นช่องเปิดทางเข้าปล่องลมแคดทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกทั้ง 2 ด้าน มีขนาด 35x19 cm² เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาทั้ง 9 แบบ ซึ่งให้ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างทางออกปล่องลมแคดกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้ถึง 6.25 ± 5.53 °C ภายในปล่องลมแคดเกิดความร้อนสะสมทำให้อากาศร้อนมีการเคลื่อนตัวขึ้นในแนวตั้งเกิดการพาความร้อนธรรมชาติ ซึ่งความเร็วอากาศเฉลี่ยของทางออกปล่องลมแคดคือ 0.56 ± 0.15 m/s ข้อมูลที่ได้นำมาเพื่อทำการออกแบบและ

ติดตั้งระบบต้นกำลังในการหมุนกังหันน้ำบาดน้ำเสียพบว่าระบบที่ออกแบบยังไม่เหมาะสมต้องมีการออกแบบตัวรับลมจากปล่องลมแดดใหม่ที่เหมาะสมเพื่อเป็นต้นกำลังไปขับเคลื่อนกังหันน้ำบาดน้ำเสียต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2550 และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่สนับสนุนเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Awbi,H.B.,”Design consideration for naturally ventilated buildings.” Renewable Energy, Vol.5,Part 2 ,pp. 1081-1090, 2001.
- [2] Zalewski,L., Chantant, M., Lassue,S and Duthoit,B., “Experimental thermal study of a solar of composite type”, Energy and Buildings,,25,pp. 7-18, 1997.
- [3] Gan., G., “A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings”,Energy and Buildings,,27,pp. 37- 43 , 1998.
- [4] Ong,K.S., and Chow ,C.C.,” Performance of a solar chimney”,Solar Energy ,74, pp. 1-17, 2003.
- [5] Khedari, J., Hirunrabh, J and Bunnag, T., “ Experimental study of a roof solar collector toward the natural ventilation of new house”, Energy and Buildings,,33,pp. 159- 164, 1997.
- [6] Khedari, J.,Kaewruang,S., Pratinthong,N. and Hirunrabh, J., “ Natural ventilation of houses by Trombe wall under the climatic condition in Thailand” The International Journal of Ambient Energy, Vol.20, No. 2 ,pp. 85-94,1999.
- [7] Khedari, J., Lertsatitthanakorn, C., Pratinthong, N and Hirunrabh, J., “The Modified Trombe wall: A simple ventilation means and an efficient insulating material”, The International Journal of Ambient Energy, Vol.19, No. 2 ,pp. 104-110, 1998.
- [8] R. Richards, “Hot Air Starts to Rise Through Spain’s Solar chimney,” Electrical Review, Vol. 210, No.15, pp.6-27, April 1982.
- [9] H. Lautenschlager, et al.,”New Results from the Solar chimney Prototype and Conclusions for Large Power Plants,” European Wind Energy Confrence, Hamburg, FRG., Oct 1984.

- [10] Energer International Limited,"200 MW Solar chimney with Evaporation System," A Proposal to Electricity Generating Authority of Thailand, 1994.
- [11] A. Luzzi, et al., "Solar chimney Power Plant for Australia,"Otc.1993, in Proceeding of a conference sponsored by the ASEAN Sub-Committee on Non-Conventional Energy Research (SCNCER)
- [12] M.M. Padki, S.A. Sherif,"Solar chimney for Medium-to-Large Scale Power Generation." Proceedings of The Manila International Symposium on the Developmant of Energy Resources,Jan 1989.
- [13] M.M. Padki, et al.,"Solar chimney for Power Generation in Rural Areas," Presented at the Seminar on Energy Conservation and Generation Through Renewable Resources (organized by The Indian Institute of Metals),Jan 1989.
- [14] M.M. Padki and S.A. Sherif," A Mathematical Model for Solar chimney," Proceedings of the 1992 Internatonal Renewable Energy Conference, Vol.1 June 1992.
- [15] T.W. von Backtom and A.J. Gannon.,"Solar chimney turbine characteristics,"Solar Energy, 76, pp. 235-241, 2004.
- [16] J. P. Pretorius and D.G. Kroger.," Critical evaluation of solar chimney power plant performance,"Solar Energy,80, pp. 535-544, 2006.
- [17] Xinping Zhou ,Jiakusn Yang, Bo Xiao, and Guoxiang Hou.," Simulation of a pilot solar chimney thermal power generating equipment," Renewable Energy, 32 , pp.1637-1644, 2007.
- [18] Chitsomboon,T.,"A Validated Analytical Model for Flow in Solar chimney." International Journal of Renewable Energy Engineering, Vol.3, No. 2, 2001.