

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32

ME-NETT32

The 32nd Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand

วันที่ 3-6 กรกฎาคม 2561 ณ. โรงแรมมุกดาหารแกรนด์ อ.เมือง จ.มุกดาหาร

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมุกดาหาร



การประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งตัวสร้างการ ไหลแบบวอร์เท็กซ์ชนิดแผ่นกั้นเอียง

Thermal performance evaluation of solar air heater fitted with inclined-baffle vortex generators

<u>ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์</u>¹, สมบัติ ทำนา², ประทาน ศรีชัย³, ธีรพัฒน์ ชมภูคำ⁴, วทัญญู ไพโรจน์⁵, พงษ์เจต พรหมวงศ์⁵ และ สมพล สกลหลง⁶*

 ¹ สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี 321 ถนนนารายณ์มหาราช ดำบลทะเลซุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000
 ² ห้องวิจัยคณิตศาสตร์ประยุกต์และกลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
 ³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 99 หมู่ 8 ดำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาสราชนครินทร์ 99 หมู่ 8 ดำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส 96000
 ⁴ หน่วยวิจัยท่อความร้อนและออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 41/20 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
 ⁵ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณหหารลาดกระบัง ชอยขลองกรุง 1 ถนนฉลงกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
 ⁶ กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยแพตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา 199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ดำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230
 *ติดต่อ: E-mail: sfengsps@src.ku.ac.th, sompol@ene.src.ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการทดลองของการประเมินสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้ง ตัวสร้างการไหลแบบวอร์เท็กซ์ชนิดแผ่นกั้นเอียงบนแผ่นดูดซับความร้อน การติดตั้งแผ่นกั้นเอียงมีจุดประสงค์เพื่อสร้างการ ไหลแบบวอร์เท็กซ์หรือหมุนควงตามแนวกระแสการไหลของของไหล ซึ่งส่งผลให้สามารถขัดขวางการพัฒนาชั้นขอบเขต ความร้อนบริเวณผนังของท่อเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ การทดลองดำเนินการในช่วงการไหลของอากาศเป็นแบบ ปั่นป่วนโดยมีค่าเลขเรย์โนลดส์อยู่ระหว่าง 5300 ถึง 22,700 แผ่นกั้นเอียงถูกติดตั้งอย่างต่อเนื่องบนแผ่นดูดชับความร้อน โดยมีมุมปะทะ 3 ค่า (α = 30°, 45°, 60°) ซึ่งมีสัดส่วนความสูงแผ่นกั้นเอียงถูกติดตั้งอย่างต่อเนื่องบนแผ่นดูดชับความร้อน โดยมีมุมปะทะ 3 ค่า (α = 30°, 45°, 60°) ซึ่งมีสัดส่วนความสูงแผ่นกั้นเอียงถูกติดตั้งแย่นก้องบนแผ่นดูดชับความร้อน แนวการไหลต่อความสูงท่อ (*P/H*) คือ 0.4 และ 1 ตามลำดับ การติดตั้งแผ่นกั้นเอียงให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการ สูญเสียความดันสูงกว่าแผ่นดูดชับความร้อนผิวเรียบ นอกจากนี้แผ่นดูดชับความร้อนที่ติดตั้งแผ่นกั้นเอียงยังให้ค่า สมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดชับความร้อนผิวเรียบ โดยค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.35 โดยพบ ที่กรณีการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงมุม 45° และ Re=5300

คำหลัก: การถ่ายเทความร้อน, สมรรถนะเชิงความร้อน, แผ่นดูดซับความร้อน, แผ่นกั้นเอียง, เครื่องอุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์

Abstract

This paper presents the results of an experimental investigation of thermal evaluation of solar air heater duct fitted with inclined-baffle vortex generators on the absorber plate. The aim at using the inclined baffles is to create longitudinal vortex flows having a significant influence on the flow turbulence intensity leading to thinner or destroyed thermal boundary layer near the wall of solar air heater duct. The experiment is conducted for turbulent airflow with the Reynolds number (Re) from การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมุกดาหาร



5300 to 22,700. The inclined baffles were mounted periodically into the absorber plate with three baffle inclination angles ($\alpha = 30^{\circ}$, 45°, 60°) at a single baffle- to duct-height ratio (e/H=0.4) and baffle pitch ratio (P/H=1). The inclined baffle provides the high heat transfer and pressure drop increase than the smooth or flat-plate duct alone. Also, the absorber plate fitted with inclined baffle has considerably higher thermal performance than the flat-plate duct. The highest thermal performance for using inclined baffle is found to be 1.35 at $\alpha = 45^{\circ}$ and Re=5300.

Keywords: Heat transfer, Thermal performance, Absorber plate, Inclined baffle, Solar air heater.

1. บทน้ำ

พลังงานเป็นปัจจัยขับเคลื่อนที่สำคัญในโลกปัจจุบัน และมีบทบาทสำคัญในการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและ การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากกลุ่มเชื้อเพลิง ฟอสซิลมีปริมาณลดน้อยลง พลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานแสงอาทิตย์ จึงมี บทบาทเพิ่มมากขึ้นในการนำมาใช้ทดแทนพลังงานที่จะ หมดไป พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่ สะอาดปราศจากมลพิษและมีอยู่อย่างไม่จำกัดบนโลก เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ (Solar air heater) เป็น อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ เช่น การบ่มผลไม้ การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เป็น ต้น การเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อการนำพลังงาน จากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด วิธีหนึ่งที่ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์ คือ การปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อน ซึ่ง แผ่นดูดซับความร้อนที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็นแผ่นเรียบ การ ติดตั้งครีบ (Rib) หรือแผ่นกั้น (Baffle) บนแผ่นดูดซับ ความร้อนจะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากแผ่นดูดซับ ความร้อนไปยังอากาศมีค่าสูงขึ้น โดยมีข้อมูลจากนักวิจัย จำนวนมากที่ทำการพัฒนาแผ่นดูดซับความร้อน ทั้ง ทางด้านการทดลองและการจำลองเชิงตัวเลข

Pandey et al. [1] ทำทดลองเพื่อเพิ่มการถ่ายเท ความร้อนโดยติดตั้งครีบผิวโค้งแบบเว้นช่วงบนแผ่นดูดซับ ความร้อนในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Re=2100-21,000) การทดลองพบว่า การใช้แผ่นดูดซับความร้อน ดังกล่าวให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความ ร้อนแบบธรรมดา (ท่อผิวเรียบ) ถึง 5.85 และ 4.96 เท่า Singh et al. [2] ทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการถ่ายเท ความร้อนและความเสียดทานในท่ออุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์โดยใช้ครีบรูปตัววีแบบแยกตัว ผลการทดลอง

พบว่า การติดตั้งครีบรูปตัววีบนแผ่นดูดซับความร้อนให้ ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่ม สูงขึ้น 3.04 และ 3.11 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ Skullong [3] ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการ ใหลและการถ่ายเทความร้อนภายในท่ออุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์โดยการติดตั้งครีบเอียงที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร มุมปะทะ (a) 2 ค่า คือ 45° และ 60° บนแผ่น ดูดซับความร้อ่น การทดลองพบว่า การติดตั้งครีบเอียง บนแผ่นดูดซับความร้อนที่มุมปะทะ 60° ให้ค่าการถ่ายเท ความร้อนสูงกว่ามุมปะทะ 45° และแผ่นดูดซับความร้อน ผิวเรียบตามลำดับ ขณะที่การติดตั้งครีบเอียงบนแผ่นดูด ชับความร้อนที่มุมปะทะ 45° ให้ค่าสมรรถนะเชิงความ ร้อนสูงสุด Jin et al. [4] ทำการจำลองเชิงตัวเลขเกี่ยวกับ พฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่น อากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งครีบรูปตัววีต่อเนื่อง บนแผ่นดูดซับความร้อน โดยพบว่า ครีบที่มุมปะทะ 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อน สูงสุด Kumar and Kim [5] ศึกษาการถ่ายเทความร้อน ของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีโดยใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลข ผลการจำลองพบว่า การจัดวางครีบที่สัดส่วนความกว้างเท่ากับ 6 ให้ค่าการ ถ่ายเทความร้อนสูงสุด Tamna et al. [6] ทำการเพิ่ม การถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการทดลองร่วมกับการจำลอง เชิงตัวเลขภายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยติดตั้ง แผ่นกั้นรูปตัววี โดยพบว่า การติดตั้งแผ่นกั้นบนแผ่นดูด ชับความร้อนให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าการ ติดตั้งแผ่นกั้นทั้งทางด้านบนและด้านล่างของท่อ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตแสดงให้เห็นว่าการ ปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนโดยการติดตั้งครีบและแผ่น กั้นสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเซิง ความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ได้สูงกว่า การติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนแบบดั้งเดิมหรือแผ่นเรียบ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32

3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมุกดาหาร



โดยเฉพาะการติดตั้งแผ่นกั้นหรือครีบบางจะให้ค่าการ ถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนสงกว่ากรณี การใช้ครีบที่มีความหนา ซึ่งมีการยืนยันโดยวิธีการการ จำลองเชิงตัวเลขจาก Promvonge et al. [7] และ วิธีการทดลองจาก Skullong et al. [8] เนื่องจากแผ่นกั้น หรือครีบบางสามารถสร้างการไหลแบบวอร์เท็กซ์ตามแนว กระแสการไหลของของไหลภายในท่อและเพิ่มระดับ ความปั่นป่วนให้กับของไหลได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลของมุมปะทะแผ่นกั้นต่อ สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์มีจำนวนน้อย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัย นี้คือ การศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะแผ่นกั้นที่มีต่อค่า สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์ ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลแบบวอร์ เท็กซ์ชนิดแผ่นกั้นที่มีมุมปะทะ 3 ค่า (*a* = 30°, 45° และ 60°) บนแผ่นดูดซับความร้อน (absorber plate) ในช่วง การไหลของอากาศเป็นแบบปั่นป่วน ซึ่งมีค่าเลขเรย์โน ลดส์อยู่ในช่วงระหว่าง 5300 ถึง 22,700

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

ค่าการถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความดัน และ สมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่อเครื่องอุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์ที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบแสดงได้ดังนี้

สมดุลความร้อนระหว่างความร้อนที่อากาศได้รับ

$$(Q_{air})$$
 และการพาความร้อน (Q_{conv}) แสดงได้ดังนี้
 $Q_{air} = Q_{conv}$ (1)
ดังนั้นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (*h*) หาค่าได้

$$h = \frac{\dot{m}C_{\rm p}(T_{\rm o} - T_{\rm i})}{A(\tilde{T}_{\rm w} - T_{\rm b})} \tag{2}$$

เมื่อ $T_{\rm b} = (T_{\rm o} + T_{\rm i})/2$ และ $\widetilde{T}_{\rm w} = \sum T_{\rm w}/24$ เลขนัสเซิลท์เอลี่ย (Nu) หาได้จาก

จาก

$$Nu = hD_{\rm b}/k$$

การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลดส์ ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิค (D_b) สามารถ เขียนได้เป็น

(3)

(5)

Re=UD_b / v (4) ดัวประกอบเสียดทาน (*f*) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_{\rm h})} \frac{\Delta P}{\rho U^2}$$

โดยที่

Α	(m ²)	คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนด้วยการ
		พาของแผ่นดูดซับความร้อน
C_{p}	$(kJ/kg \cdot C)$	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของ
		อากาศ
$T_{\rm b}$	(°C)	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ
T_{o}	(°C)	คือ อุณหภูมิอากาศทางออก
T_{i}	(°C)	คือ อุณหภูมิอากาศทางเข้า
$\widetilde{T}_{\rm w}$	(°C)	คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยของแผ่นดูดซับ
		ความร้อน
'n	(kg/s)	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ
U	(m/s)	คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ
v	(m^2/s)	คือ ความหนืดเชิงจลน์ของอากาศ

ส ม ร ร ถ น ะ เชิ ง ค ว า ม ร้ อ น (Thermal Enhancement Factor, TEF) คือ อัต ร า ส่ ว น ข อ ง สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวเรียบ (*h*) กับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวเรียบ (*h*₀) ซึ่งคิด ที่กำลังขับของไหลเดียวกัน (same pumping power, pp) จากเอกสารอ้างอิง [1–8] โดยแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{TEF} = \frac{h}{h_0}\Big|_{\text{pp}} = \frac{\text{Nu}}{\text{Nu}_0}\Big|_{\text{pp}} = \left(\frac{\text{Nu}}{\text{Nu}_0}\right)\left(\frac{f}{f_0}\right)^{-1/3}$$
(6)

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงชนิดแผ่นกั้น

แผ่นดูดชับความร้อนทำจากแผ่นอะลูมิเนียม ที่มี ขนาดความกว้าง (W) 300 มิลลิเมตร ยาว (L) 420 มิลลิเมตร และสูง (H) 30 มิลลิเมตร แผ่นกั้นมีความหนา 1 มิลลิเมตร ถูกนำมาติดตั้งบนแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อ สร้างการไหลหมุนควงตามแนวกระแสการไหล โดยมี ระยะพิตช์ตามแนวการไหล P=30 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ ความสูงของท่อ (=H) โดยมีสัดส่วนความสูงของแผ่นกั้น ต่อความสูงท่อ (e/H) คงที่เท่ากับ 0.4 และมุมปะทะ 3 ค่า (α = 30°, 45°, 60°) ดังแสดงในรูปที่ 1 แผ่นดูดซับ ความร้อนถูกทำให้ร้อนด้วยแผ่นฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2000 วัตต์ (จำลองเป็นพลังงานความร้อนจาก แสงอาทิตย์) และมีการหุ้มฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันการ สูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมุกดาหาร



3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 2 โดยมีพัดลมแรงดันสูงเป็นแหล่งต้นกำลังในการผลักดัน อากาศผ่านแผ่นออริฟิส (Orifice plate) ที่ใช้สำหรับวัด อัตราการไหลก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ โดยมี Settling tank ทำหน้าที่จัดระเบียบการไหลให้แก่อากาศ และช่องปรับ สภาพการไหล (Calm section) ทำหน้าที่ปรับสภาพการ ไหล ของอากาศให้มีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (Fully developed flow) ก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ เทอร์ โมคัปเปิลชนิด T (T-type thermocouple) จำนวน 24 ตัว ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน โดยการ ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบนแผ่นดูดซับความร้อนแสดงดังรูป ที่ 3 ขณะที่เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด RTD (PT100) จำนวน 2 ตัว ใช้ในการวัดอุณหภูมิอากาศทางเข้าและ ทางออกของส่วนทดสอบ ค่าอุณหภูมิทั้งหมดจะส่งมายัง Data Logger รุ่น FLUKE 2680A และประมวลผลมายัง เครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1 แผ่นดูดซับความร้อนชนิดแผ่นกั้นเอียง



รูปที่ 2 ไดอะแกรมเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมุกตาหาร



รูปที่ 3 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบนแผ่นดูดซับความร้อน

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบท่อผิวเรียบ

เพื่อความถูกต้องของชุดทดลองและข้อมูลการ ทดลอง การตรวจสอบแผ่นดูดชับความร้อนผิวเรียบจึง เป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นเพื่อความถูกต้องจึงต้องทำการ ตรวจสอบแผ่นดูดชับความร้อนผิวเรียบโดยใช้สหสัมพันธ์ ที่มีมาในอดีตของ Dittus-Boelter และ Blasius จาก เอกสารอ้างอิง [9] ในการตรวจสอบค่าการถ่ายเทความ ร้อนและความเสียดทานซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nusselt number, Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor, f) โดยสหสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการ ที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter Nu = 0.023Re^{0.8} Pr^{0.4} สหสัมพันธ์ของ Blasius

 $f = 0.316 \,\mathrm{Re}^{-0.25}$

(7)

(8)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ ƒ กับ Re กรณี แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ การตรวจสอบแผ่นดูดชับความร้อนผิวเรียบ แสดงดังรูปที่ 4 จากรูปเป็นการเปรียบเทียบค่า Nu และ f ระหว่างผลการทดลองกับสหสัมพันธ์จากสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ โดยพบว่า ค่า Nu จากการทดลองมี ความคลาดเคลื่อนกับสหสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ 4.5% ขณะที่ f มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 6.2%

4.2 การกระจายอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อน

รูปที่ 5 แสดงการกระจายอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับ ความร้อน (T_w) ที่สัดส่วนระยะการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ต่อความสูงท่อ (x/H) ค่าต่างๆ ที่ Re=5300



รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อนที่มี การติดตั้งแผ่นกั้นเอียง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิผิวมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นตามระยะ x/H และลดลงเล็กน้อยที่ระยะ x/H = 11 และ 12 เนื่องจากผลกระทบของการแผ่รังสีและ บรรยากาศภายนอกส่วนทดสอบ แผ่นดูดซับความร้อนที่มี การติดตั้งแผ่นกั้นเอียงที่ α = 60° มีค่าอุณหภูมิผิวต่ำสุด เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนสามารถระบายความร้อน

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมกดาหาร



ได้เป็นอย่างดี ตามด้วย α = 45° และ α = 30° ตามลำดับ โดยแถวทั้งสองของการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (รูปที่ 3) มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.2%

4.3 การถ่ายเทความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนที่ แสดงในเทอมของ Nu ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติกับค่า Re แสดงดังรูปที่ 6 การทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่า Nu มี แนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า Re ที่เพิ่มขึ้น การติดตั้งแผ่นกั้น มุมปะทะ 60° บนแผ่นดูดชับความร้อนมีค่า Nu สูงสุด ตามด้วย แผ่นกั้นมุมปะทะ 45°, 30° และแผ่นดูดชับ ความร้อนผิวเรียบตามลำดับ เนื่องจากการติดตั้งแผ่นกั้นที่ มีมุมปะทะสูงจะทำให้เกิดระดับการไหลแบบวอร์เท็กซ์ ตาม แนวกระ แสการไหล (longitudinal vortex generator) ที่แข็งแรง ส่งผลให้สามารถขัดขวางการ พัฒ นาชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) บนแผ่นดูดซับความร้อนได้เป็นอย่างดี การติดตั้ง แผ่นกั้นเอียงมีค่า Nu สูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ อยู่ในช่วง 71–76%



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน เลขนัสเซิลท์กรณีติดตั้งแผ่นกั้นต่อเลขนัสเซิลท์ของแผ่น ดูดชับความร้อนผิวเรียบ (Nu/Nu₀) กับ Re จากผลการ ทดลองพบว่า การติดตั้งตัวสร้างการไหลแบบวอร์เท็กซ์ ชนิดแผ่นกั้นเอียงสามารถช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความ ร้อนได้เป็นอย่างดี โดยค่า Nu/Nu₀ มีแนวโน้มลดลง เล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re แผ่นกั้นเอียงที่มุม ปะทะ α = 60°, 45° และ 30° มีค่า Nu/Nu₀ เฉลี่ย เท่ากับ 4.1, 3.9 และ 3.6 ตามลำดับ การติดตั้งแผ่นกั้นที่ α = 60° ให้ค่า Nu/Nu₀ เฉลี่ยสูงกว่าการติดตั้งแผ่นกั้นที่ α = 45° และ 30° เท่ากับ 5.2% และ 11.6% ตามลำดับ



4.4 การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทาน

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการต้านทานการ ใหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นดูดซับความร้อนที่มีการ ติดตั้งแผ่นกั้นเอียงแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียด ทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f₀)



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมกดาหาร



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re จาก การทดลองพบว่า ค่าความเสียดทานกรณีแผ่นดูดซับ ความร้อนที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอย่าง มากเมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ โดย เฉพาะที่มุมปะทะ 60° มีค่า f สูงสุดในกรณีทดสอบ เนื่องจากการติดตั้งแผ่นกั้นที่มีมุมปะทะสูงจะทำให้เกิด การกีดขวางการไหลของของไหลค่อนข้างมาก ส่งผลให้ เพิ่มระดับความปั่นป่วนของของไหลภายในท่อทดสอบ มากตาม การติดตั้งแผ่นกั้นเอียงมีค่า f สูงกว่าแผ่นดูดซับ ความร้อนผิวเรียบอยู่ในช่วง 22.9–41.4 เท่า



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ƒ/ƒ₀ กับ Re

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกรณี ติดตั้งแผ่นกั้นต่อตัวประกอบเสียดทานของแผ่นดูดซับ ความร้อนผิวเรียบ (*f/f*₀) แสดงดังรูปที่ 9 จากรูปแสดงให้ เห็นว่า เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า *f/f*₀ เพิ่มขึ้นตาม โดย *f/f*₀ มีค่าอยู่ในช่วง 33.4–41.4, 26.2–32.2, และ 22.9–26.5 สำหรับกรณีการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงที่มุมปะทะ α = 60°, 45° และ 30° ตามลำดับ

4.5 สมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

การประเมินสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์แสดงในเทอมสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) จากสมการที่ (6) โดยแสดงดังรูปที่ 10 จากรูปแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re ซึ่งเป็นข้อมูลที่คำนวณ จากค่า Nu และ f ซึ่งคิดที่กำลังขับเดียวกัน โดยพบว่าค่า TEF มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของค่า Re การ ติดตั้งแผ่นกั้นบนแผ่นดูดซับความร้อนมีค่า TEF อยู่ในช่วง 1.17–1.31, 1.2–1.35 และ 1.18–1.33 สำหรับแผ่นกั้นที่ มุมปะทะ α = 60°, 45° และ 30° ตามลำดับ การติดตั้ง แผ่นกั้นเอียงที่มุมปะทะ α = 45° ให้ค่า TEF สูงสุดใน กรณีทดสอบนี้ โดยมีค่าเท่ากับ 1.35



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะของแผ่นกั้นเอียง ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน ความเสียดทาน และ สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลัง แสงอาทิตย์ในช่วงการไหลปั่นป่วน แสดงให้เห็นว่าการ ติดตั้งแผ่นกั้นเอียงบนแผ่นดูดชับความร้อนเพื่อสร้างการ ไหลแบบวอร์เท็กซ์ตามแนวกระแสการไหลช่วยเพิ่มค่า การถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแผ่นดูดชับความร้อนผิว เรียบถึง 71–76% ซึ่งกรณีแผ่นกั้นเอียงที่มีมุมปะทะ α = 60° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุด ขณะที่ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดพบที่การติดตั้ง แผ่นกั้นเอียงที่มีมุมปะทะ α = 45° โดยมีค่าเท่ากับ 1.35 และมีค่าสูงกว่าแผ่นกั้นเอียงมุมปะทะ α = 30° และ 60° เท่ากับ 1.4% และ 3.3% ตามลำดับ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Pandey, N.K., Bajpai, V.K., Varun. (2016). Experimental investigation of heat transfer augmentation using multiple arcs with gap on absorber plate of solar air heater, *Solar Energy*, vol. 134, pp. 314–326. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมุกดาหาร



[2] Singh, S., Chander, S., Saini, J.S. (2011). Heat transfer and friction factor correlations of solar air heater ducts artificially roughened with discrete V-down ribs, *Energy*, vol. 36, 2011, pp. 5053–5064.

[3] Skullong, S. (2017). Experimental investigation on thermal and flow friction characteristics in solar air heater duct with inclined ribs, Journal of Research and *Applications in Mechanical Engineering*, vol. 5 pp. 55–64.

[4] Jin, D., Zhang, M., Wang, P., Xu, S. (2015). Numerical investigation of heat transfer and fluid flow in a solar air heater duct with multi V-shaped ribs on the absorber plate, *Energy*, vol. 89, 2015, pp. 178–190.

[5] Kumar, A., Kim, M.H. (2015). Effect of roughness width ratios in discrete multi V-rib with staggered rib roughness on overall thermal performance of solar air channel, *Solar Energy*, vol. 119, pp. 399–414.

[6] Tamna, S., Skullong, S., Thianpong, C., Promvonge, P. (2014). Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators, *Solar Energy*, vol. 110, pp. 720–735.

[7] Promvonge, P., Changcharoen, W., Kwankaomeng, S., Thianpong, C. (2011).
Numerical heat transfer study of turbulent square-duct flow through inline V-shaped discrete ribs, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 38, pp. 1392–1399.
[8] Skullong, S., Thianpong, C., Promvonge, P. (2015). Effects of rib size and arrangement on forced convective heat transfer in a solar air heater channel, *Heat and Mass Transfer*, vol. 51, pp. 1475–1485.

[9] Incropera, F.P., Dewitt, P.D., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2012). Foundations of Heat Transfer, sixth ed., John-Wiley & Sons Inc.