

การศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์
ด้วยการติดตั้งครีบบนแผ่นดูดซับความร้อน

Experimental Investigation on Thermal Performance in a Solar Air Heater with
Ribbed Absorber Plate

พิทักษ์ พร้อมไธสง¹, ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์², เพชรพิสิฐ เอี่ยมสะอาด³, นรินทร์ กุลนภาดล³, พงษ์เจต พรหมวงศ์⁴
และ สมพล สกกุลหลง^{5*}

Pitak Promthaisong¹, Panuwat Hoonpong², Petpices Eiamsa-ard³, Narin Koolnapadol³,
Pongjet Promvong⁴ and Sompol Skullong^{5*}

¹หน่วยวิจัยท่อความร้อนและออกแบบอุปกรณ์ทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

²สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา 24000

⁴สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

⁵กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

¹Heat Pipe and Thermal Tool Design Research Unit (HTDR), Faculty of Engineering,
Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150

²Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University,
Lopburi 15000

³Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University, Chachoengsao 24000

⁴Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok 10520

⁵Energy Systems Research Group, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at
Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi 20230

*Corresponding author: Tel: 084 195 5912. E-mail address: sfengsps@src.ku.ac.th, sompol@eng.src.ku.ac.th

Received: 22 June 2021, Revised: 25 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

This paper presents the experimental investigation of thermal enhancement factor in a solar air heater channel fitted with a rib turbulators on the absorber plate. Effect of the rib height was examined to evaluate the thermal enhancement factor in the Reynolds number from 4200 to 25,800. The ribs were mounted on the absorber plate with constant angle of attack, $\alpha = 45^\circ$ and constant pitch ratio $RP = 1.0$. Effect of $e/H = 0.1, 0.2, 0.3$ and 0.4 were investigated. The experimental results showed that the rib on

the absorber plate provided the heat transfer and friction factor over than the absorber plate with no rib. In the range studied, the thermal enhancement factor was found in range from 1.33 to 1.71. The $e/H = 0.1$ gave the maximum thermal enhancement factor at about 1.71 at $Re = 4200$.

Keywords: Solar air heater, Rib, Absorber plate, Thermal performance.

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะเชิงความร้อนในท่ออุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบริบเพื่อสร้างการไหลแบบปั่นป่วน อิทธิพลของความสูงครีบริบได้รับการตรวจสอบเพื่อหาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 4200 ถึง 25,800 ครีบริบทำมุมเอียง 45° ตามทิศทางการไหลโดยมีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ (e/H) จำนวน 4 ค่า คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 และมีสัดส่วนระยะพิชิตซ์ตามแนวการไหลต่อความสูงท่อ ($P/H=PR$) คงที่เท่ากับ 1.0 ผลการทดลองพบว่าการติดตั้งครีบริบมีค่าการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ เมื่อค่า e/H เพิ่มขึ้นพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานมีค่า ในช่วงที่ทำการศึกษาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 1.33 - 1.71 โดยกรณี $e/H = 0.1$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดที่ 1.71 ที่ $Re = 4200$

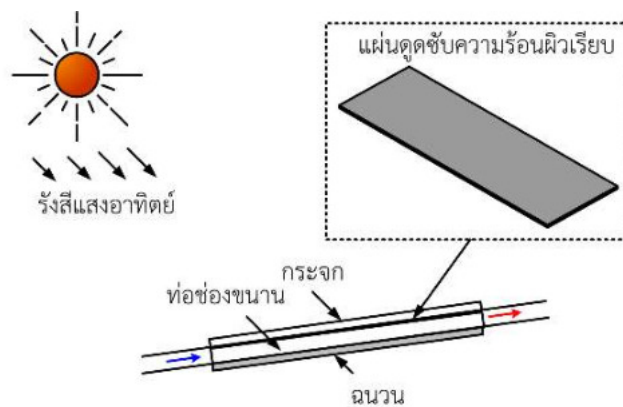
คำสำคัญ: เครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์, ครีบริบ, แผ่นดูดซับ, สมรรถนะเชิงความร้อน

บทนำ

ปัจจุบันหลายประเทศมีการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียนมากขึ้นเนื่องจากพลังงานฟอสซิลหรือน้ำมันกำลังจะหมดไป เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น เครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ (solar air heater) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบันเนื่องจากสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและมีอยู่อย่างไม่จำกัดบนโลกมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การบ่มผลไม้ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การถ่ายเทความร้อนรวมถึงสมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อน (absorber plate) ที่ใช้เป็นแบบผิวเรียบ ด้วยเหตุนี้การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนรวมถึงสมรรถนะเชิงความร้อนให้กับเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งที่นักวิจัยพยายามศึกษาโดยทั่วไปวิธีการการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนในช่องการไหลแบบต่างๆ ถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ active technique (ใช้พลังงานจากภายนอก) และ passive technique (ไม่ใช้พลังงานจากภายนอก) [1] ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนโดยใช้วิธีแบบ passive technique ทั้งนี้ได้มีนักวิจัยได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อน เช่น Kumar และคณะ [2] ทำการทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมความร้อนและการไหลด้วยการติดครีบริบตัววินบนแผ่นดูดซับความร้อนภายในเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งครีบริบตัววินมีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 6.74 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ Tamna และคณะ [3] ทำการทดลองร่วมกับการจำลองเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววินบนแผ่นดูดซับความร้อน จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งแผ่นกั้นบนแผ่นดูดซับความร้อนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 622–753% และมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนอยู่ที่ 1.83 โดยผลการทดลองมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการจำลองเชิงตัวเลข Skullong และคณะ [4] ทำการทดลองเพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนแบบร่องผสมปีกเงาะรู จากการทดลอง พบว่า ติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนแบบร่องผสมปีกเงาะรูมีค่าการถ่ายเทความร้อนและ

สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบและให้ค่าสมรรถนะสูงกว่าเช่นกัน Hoonpong และ Skullong [5] ทำการติดตั้งแผ่นกันรูปตัววีเพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการทดลอง โดยพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น 2.32–4.3 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ Xiao และคณะ [6] ทำการจำลองเชิงตัวเลขถึงกลไกการไหลและการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งครีบลีเยียมคางหมูนบนแผ่นดูดซับความร้อน พบว่า แผ่นดูดซับความร้อนที่ติดตั้งครีบลีเยียมคางหมูนสามารถสร้างการไหลแบบปั่นป่วนส่งผลให้เกิดการผสมผสานที่ศีรษะว่าอุณหภูมิแผ่นดูดซับความร้อนและอากาศที่ไหลผ่าน Dong และคณะ [7] ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบลีเยียมคางหมูน พบว่าการใช้ครีบลีเยียมคางหมูน 60° ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด Promvong และ Skullong [8] ศึกษาเชิงทดลองเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบลีเยียมคางหมูน จากการทดลองพบว่า การใช้ครีบลีเยียมคางหมูนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการใช้ร่องเพียงอย่างเดียว ต่อมา Promvong และ Skullong [9] ได้พัฒนาแผ่นดูดซับความร้อนแบบแผ่นกันตัววีผสมร่อง พบว่า แผ่นดูดซับความร้อนดังกล่าวให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบประมาณ 6 เท่า ขณะที่ตัวประกอบสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานมีค่าประมาณ 52 เท่า

จากการวิจัยที่ผ่านมาทั้งการจำลองเชิงตัวเลขและการทดลองพบว่า การใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบลีเยียมคางหมูนสามารถเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบหรือแบบดั้งเดิมที่ใช้ในปัจจุบันดังแสดงในภาพที่ 1 เนื่องจากครีบลีเยียมคางหมูนจะทำหน้าที่รับกวนการไหลของอากาศทำให้เกิดการไหลปั่นป่วนภายในท่อส่งผลให้เกิดการขัดขวางการพัฒนาชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) บนแผ่นดูดซับความร้อนและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ศีรษะว่าอุณหภูมิของไหลและแผ่นดูดซับความร้อน อย่างไรก็ตามงานวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของความสูงครีบลีเยียมคางหมูนต่อการถ่ายเทความร้อนรวมถึงสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีจำนวนน้อย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบลีเยียมคางหมูนที่มีการตัดปลายวีเพื่อลดค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน และทำการปรับอัตราส่วนความสูงครีบลีเยียมคางหมูนต่อความสูงท่อ (e/H) ต่างๆ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน [10] ที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ส์อยู่ระหว่าง 4,200 ถึง 25,800



ภาพที่ 1 เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

ทฤษฎีที่ใช้และการคำนวณ

การหาค่าอัตราการไหล การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานเนื่องจากการไหล และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์คำนวณได้ดังนี้
การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) หาได้จาก

$$Re = \rho V D_h / \mu \quad (1)$$

โดย $D_h = 4A/P$

สมดุลความร้อนระหว่างการพาความร้อน (Q_{conv}) และความร้อนที่อากาศได้รับ (Q_{air}) แสดงดังนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (2)$$

และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาได้จาก

$$h = m \dot{C}_p (T_o - T_i) / A (\tilde{T}_s - T_b) \quad (3)$$

เมื่อ $T_b = (T_o + T_i) / 2$ และ $\tilde{T}_s = \sum T_s / 12$

เลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Nu) หาได้จาก

$$Nu = h D_h / k \quad (4)$$

สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (5)$$

เมื่อ

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อน

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

L คือ ความยาวแผ่นดูดซับความร้อน

$m \dot{C}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

P คือ ความยาวเส้นรอบรูปท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

T_i คือ อุณหภูมิทางเข้า

T_o คือ อุณหภูมิทางออก

\tilde{T}_s คือ อุณหภูมิเฉลี่ยแผ่นดูดซับความร้อน

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

μ คือ ความหนืดของอากาศ

สมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal enhancement factor, TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีป (h) กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (h_0) ซึ่งคิดที่กำลังขับเดียวกัน จากเอกสารอ้างอิง [8, 9] โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$TEF = \frac{h}{h_0} \bigg|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (6)$$

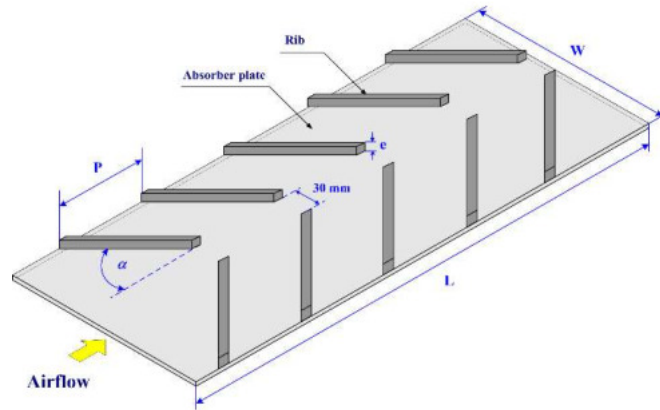
วิธีการวิจัย

อุปกรณ์การปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อน

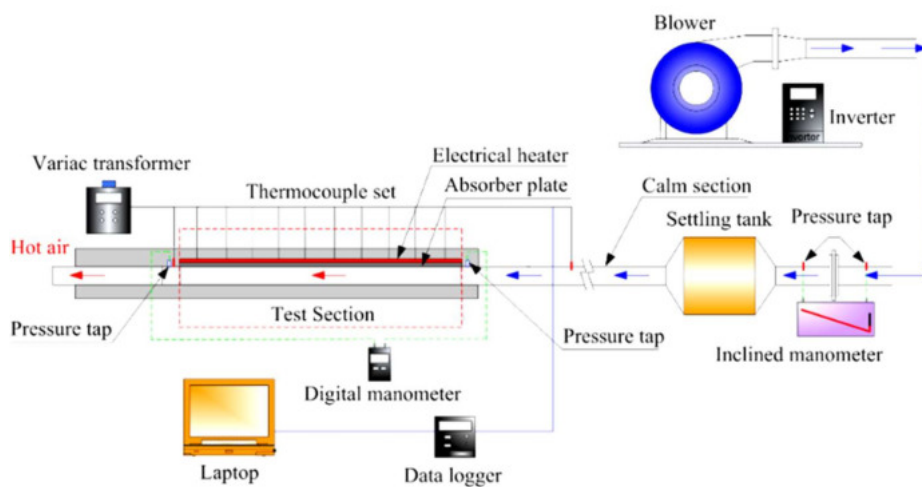
ท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีความยาวรวม 2000 มิลลิเมตร ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. ส่วนทางเข้า ก่อนถึงส่วนทดสอบ 1500 มิลลิเมตร เพื่อให้ของไหลมีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (Fully developed flow) ก่อนเข้าส่วนทดสอบ [10] 2. ส่วนทดสอบ (L) 420 มิลลิเมตร และ 3. ส่วนทางออก 80 มิลลิเมตร แผ่นดูดซับความร้อนทำจากแผ่นอะลูมิเนียมรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้าง (W) 300 มิลลิเมตร สูง (H) 30 ยาว (L) 420 มิลลิเมตร แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีปรูปตัววีปลายตัดทำมุมปะทะ $\alpha = 45^\circ$ กับทิศทางการไหลของอากาศเพื่อสร้างการไหลปั่นป่วนตามแนวกระแสการไหล โดยมีระยะพิตซ์ตามแนวการไหล $P=30$ มิลลิเมตร หรือเท่ากับความสูงท่อ โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความสูงครีปต่อความสูงท่อ (e/H) 4 ค่า คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ดังแสดงในภาพที่ 2 ในการทดลอง แผ่นฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2000 วัตต์ ทำหน้าที่ส่งความร้อนให้แผ่นดูดซับความร้อนในลักษณะฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant heat flux) ซึ่งจำลองเป็นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยมีการหุ้มฉนวนทึบอย่างดีเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกสู่บรรยากาศ การทดลอง จะทำการเปรียบเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนแบบดั้งเดิมผิวเรียบ

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

ชุดทดสอบเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แสดงในภาพที่ 3 โดยมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นตัวควบคุมความเร็วของพัดลมซึ่งเป็นแหล่งจ่ายอากาศ และไหลผ่านแผ่นออริฟิส (Orifice plate) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลก่อนเข้าท่อทดสอบ มานอมิเตอร์ชนิดเอียง (Inclined manometer) เป็นอุปกรณ์วัดค่าผลต่างของความดันโดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ Settling tank ทำหน้าที่จัดระเบียบการไหลให้แก่อากาศ ส่วนทางเข้าหรือช่องปรับสภาพการไหล (Calm section) ทำหน้าที่ปรับสภาพการไหลของของไหลให้มีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (Fully developed flow) ก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ แผ่นดูดซับความร้อนมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด T (T-type thermocouple) ไว้ที่ผิวจำนวน 12 จุด เพื่อวัดอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน และอีก 2 จุดถูกติดตั้งไว้ที่ทางเข้าและทางออกของท่อทดสอบ (Test section) เพื่อวัดอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกท่อทดสอบ อุณหภูมิทั้งหมดจะส่งสัญญาณไปยัง Data acquisition system รุ่น FLUKE 2680A และประมวลผลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ความดันตกคร่อมส่วนทดสอบจะใช้มานอมิเตอร์แบบดิจิตอลและมานอมิเตอร์ชนิดเอียงวันค่าและเปรียบเทียบกันเพื่อความแม่นยำ โดยค่าความคลาดเคลื่อนรวมทั้งความแม่นยำของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองแสดงรายละเอียดตามเอกสารอ้างอิง [8,9]



ภาพที่ 2 แผ่นดูดซับความร้อน (Absorber plate)



ภาพที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การเปรียบเทียบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

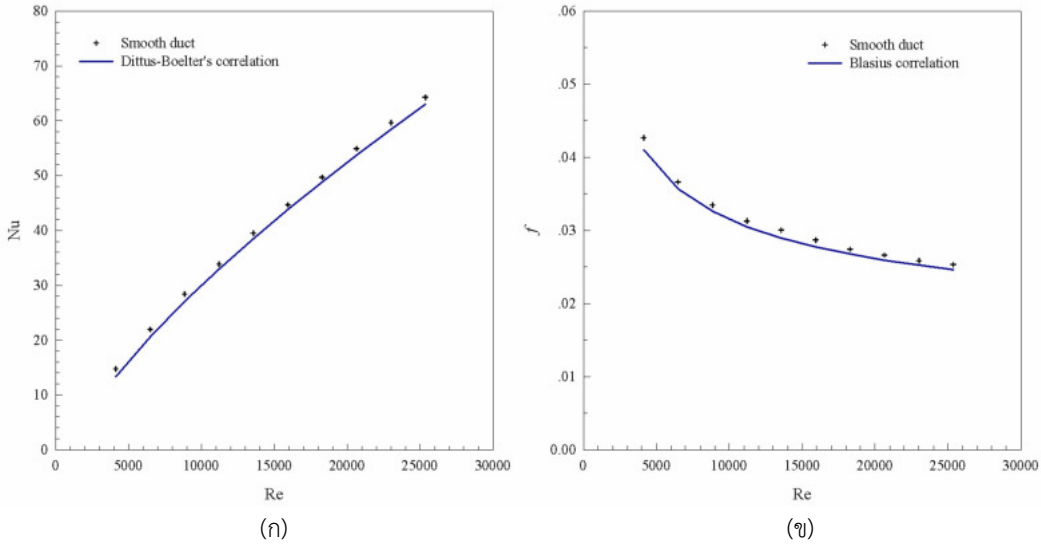
ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานการไหลของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบได้มีการเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ในอดีตของ Dittus-Boelter ซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nusselt number, Nu) และ Blasius ซึ่งแสดงในเทอมของสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, f) จากเอกสารอ้างอิง [11] เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลการทดลอง โดยสหสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (7)$$

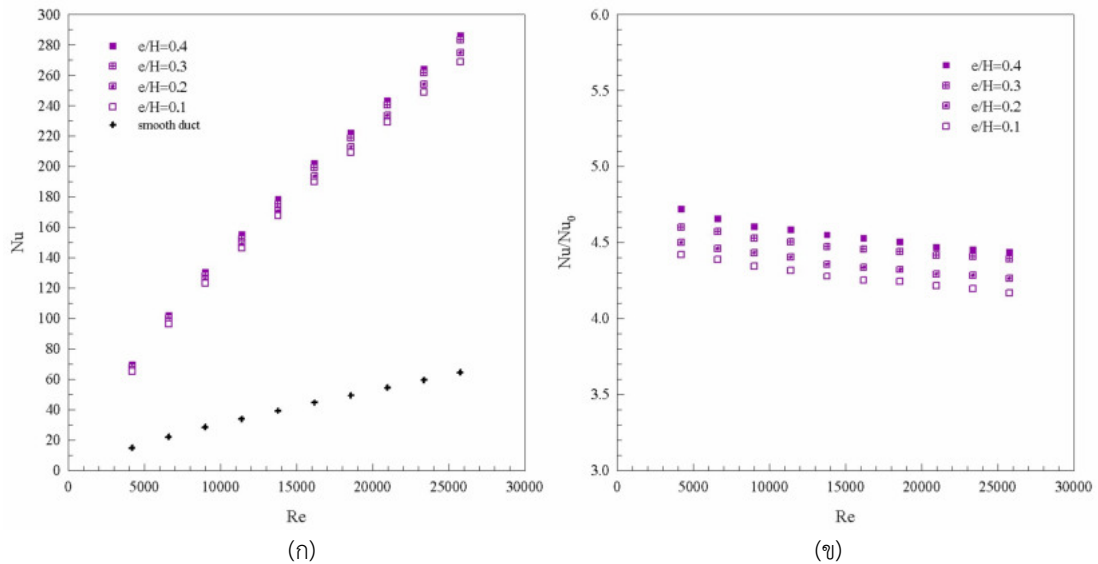
สหสัมพันธ์ของ Blasius

$$f = 0.316 Re^{-0.25} \quad (8)$$

การเปรียบเทียบค่า Nu และ f ระหว่างผลการทดลองกับสหสัมพันธ์จากสมการที่ (7) และ (8) แสดงดังภาพที่ 4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยพบว่า ค่า Nu จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.2% เมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter ในขณะที่ f จากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.5% เมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบกับสหสัมพันธ์ (ก) Nu และ (ข) f



ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง (ก) Nu กับ Re และ (ข) Nu/Nu₀ กับ Re

ค่าเลขนัสเซลท์

ภาพที่ 5 (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า Nu กับ Re กรณีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัด ผลการทดลองพบว่า Nu มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re แผ่นดูดซับความร้อนกรณี $e/H=0.4$ มีค่า Nu สูงสุดตามด้วย $e/H=0.3, 0.2, 0.1$ และแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบตามลำดับ เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดที่มีความสูงมาก ($e/H=0.4$) จะมีระดับการไหลปั่นป่วนมากกว่าครึ่งรูปตัววีปลายตัดที่มีความสูงน้อย ส่งผลช่วยในการขัดขวางการพัฒนาระดับชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) บนแผ่นดูดซับความร้อนได้ดีและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อนและของไหลที่ดีกว่ากรณีครึ่งที่มีความสูงต่ำ สำหรับการปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดมีค่า Nu สูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 320–370%

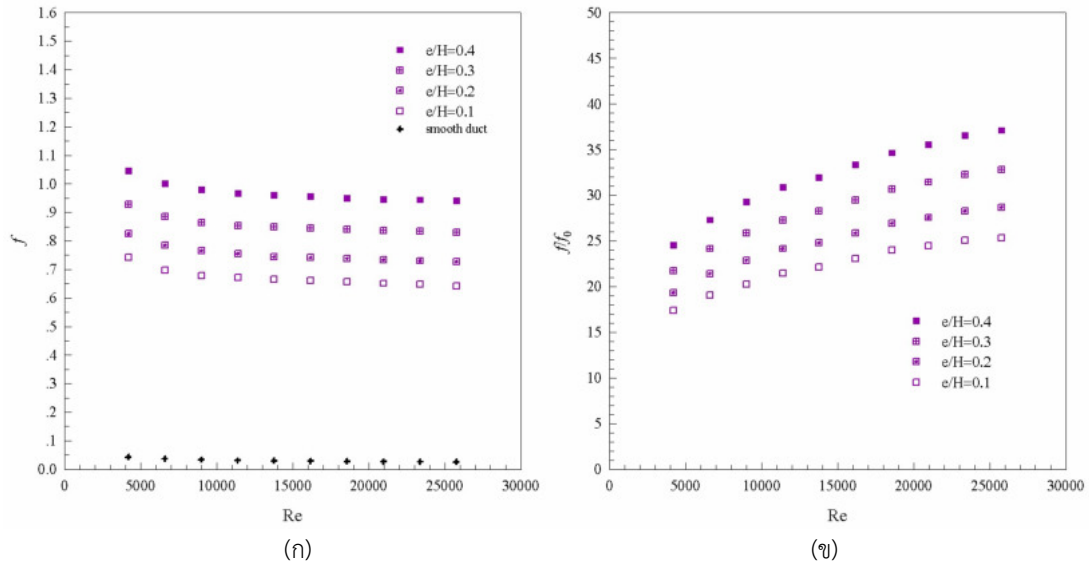
ภาพที่ 5 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดต่อเลขนัสเซลท์ของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (Nu/Nu_0) กับ Re ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของค่า Nu/Nu_0 ลดลงเล็กน้อยเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น โดยค่า Nu/Nu_0 กรณี $e/H=0.4, 0.3, 0.2$ และ 0.1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55, 4.48, 4.37 และ 4.28 เท่า ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ค่าความสูงครึ่งต่างๆ พบว่ากรณี $e/H=0.4$ มีค่า Nu/Nu_0 เฉลี่ยสูงกว่ากรณี $e/H=0.3, 0.2$ และ 0.1 ถึง 2.6%, 4.2% และ 6.3% ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน

ผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดแสดงในเทอมของสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ตามภาพที่ 6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ภาพที่ 6 (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า f กับ Re ผลการทดลองพบว่า แผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดมีค่า f เพิ่มสูงขึ้นกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบในทุกกรณี เนื่องจากการใช้ครึ่งจะเพิ่มระดับความปั่นป่วนให้กับของไหลภายในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลให้เกิด ความเสียดทานสูงขึ้นตาม โดย f กรณีปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 17.4–37.1 เท่า

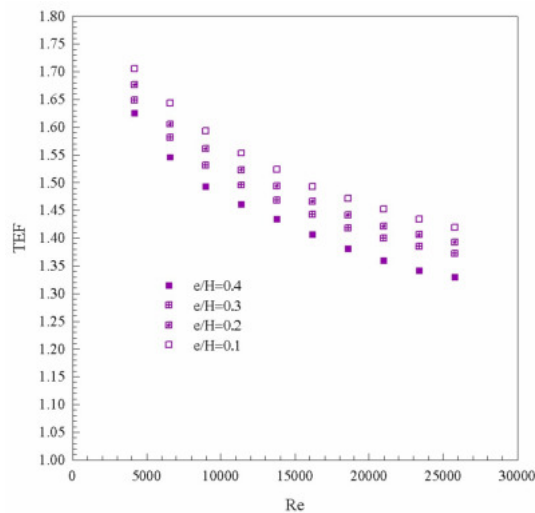
ภาพที่ 6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานกรณีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดต่อสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (f/f_0) กับ Re ผลการทดลองพบว่ากรณี $e/H=0.4$ มีค่า f สูงสุดตามด้วย $e/H=0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า f/f_0 เพิ่มขึ้นตาม โดย f/f_0 มีค่าเฉลี่ย 32.11, 28.4, 25.0 และ 22.2 เท่า สำหรับแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดที่ $e/H=0.4, 0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ค่าความสูงครึ่งต่างๆ พบว่ากรณี $e/H=0.4$ มีค่า f/f_0 เฉลี่ยสูงกว่ากรณี $e/H=0.3, 0.2$ และ 0.1 ถึง 13.1%, 28.4% และ 44.3% ตามลำดับ



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง f กับ Re

สมรรถนะเชิงความร้อน

ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของเครื่องอนุภาคนำความร้อนจากสมการที่ (6) กับ Re จากการทดลองพบว่าค่า TEF มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น โดยแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดที่ $e/H=0.1$ มีค่า TEF สูงสุดตามด้วย $e/H=0.2, 0.3$ และ 0.4 ตามลำดับ โดย TEF สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.71, 1.68, 1.65 และ 1.63 สำหรับ $e/H=0.1, 0.2, 0.3$ และ 0.4 ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดที่ $e/H=0.1$ มีค่า f น้อยกว่า $e/H=0.2, 0.3$ และ 0.4 เป็นอย่างมาก ส่งผลให้กรณี $e/H=0.1$ มีค่า TEF สูงสุดในกรณีทดสอบ โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากรณี $e/H=0.2, 0.3$ และ 0.4 ถึง 2.1%, 3.7% และ 6.4% ตามลำดับ



ภาพที่ 7 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง TEF กับ Re

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาดูผลของรูปร่างของแผ่นดูดซับความร้อนต่อการถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานเนื่องจากการไหล และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงการไหลปั่นป่วนที่ค่า $Re = 4200-25,800$ พบว่า การปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบริบรูปตัววีปลายตัดช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบได้ 320-370% โดยกรณีครีบริบที่ $e/H=0.4$ ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดและให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานสูงสุดเช่นกัน อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) สูงสุดในกรณีทดสอบพบว่าการปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบริบรูปตัววีปลายตัดกรณี $e/H=0.1$ โดยมีค่าเท่ากับ 1.71 และมีค่าสูงกว่ากรณี $e/H=0.2, 0.3$ และ 0.4 ถึง 2.1%, 3.7% และ 6.4% ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบริบรูปตัววีปลายตัดที่ $e/H=0.1$ มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความสูงครีบริบค่าอื่นๆ ในกรณีทดสอบ และที่ค่าความสูงนี้ ($e/H=0.1$) สามารถช่วยในด้านการประหยัดต้นทุนสำหรับการจัดสร้างอุปกรณ์เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีสมรรถนะเชิงความร้อนสูงและสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานต่ำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด. (2564). การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน: พื้นฐานและการประยุกต์ทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.
- [2] Kumar, A., Saini, R.P. and Saini, J.S. (2013). Development of correlations for Nusselt number and friction factor for solar air heater with roughened duct having multi v-shaped with gap rib as artificial roughness. **Renewable Energy**. 58, 151-163.
- [3] Tamna, S., Skullong, S., Thianpong, C. and Promvongse, P. (2014). Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators. **Solar Energy**. 110, 720-735.
- [4] Skullong, S., Promvongse, P., Thianpong, C. and Pimsarn, M. (2016). Thermal performance in solar air heater channel with combined wavy-groove and perforated-delta wing vortex generators. **Applied Thermal Engineering**. 100, 611-620.
- [5] Hoonpong, P. and Skullong, S. (2018). Performance improvement of solar air heater with v-baffles on absorber plate. **Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering**. 6, 29-39.
- [6] Xiao, H., Dong, Z., Liu, Z. and Liu, W. (2020). Heat transfer performance and flow characteristics of solar air heaters with inclined trapezoidal vortex generators. **Applied Thermal Engineering**. 179, 1-17, Article number: 115484.
- [7] Dong, Z., Liu, P., Xiao, H., Liu, Z. and Liu, W. (2021). A study on heat transfer enhancement for solar air heaters with ripple surface. **Renewable Energy**. 172, 477-487.
- [8] Promvongse, P. and Skullong, S. (2019). Heat transfer in solar receiver heat exchanger with combined punched-V-ribs and chamfer-V-grooves. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 143, 1-15, Article number: 118486.
- [9] Promvongse, P. and Skullong, S. (2021). Thermal characteristics in solar air duct with V-shaped flapped-baffles and chamfered-grooves. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 172, 1-15, Article number: 121220.
- [10] สมพล สุกุลหลง. (2561). อุณหพลศาสตร์และกลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [11] Incropera, F. and Dewitt P.D. (2006). **Introduction to Heat Transfer**. 5th edition. John Wiley & Sons Inc.