

## การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งพรุนบนแผ่นดูดซับความร้อน

### Thermal performance enhancement of solar air heater with perforated curved- wingleet roughness on absorber plate

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์<sup>1</sup> สืบสกุล กุรุรัตน์<sup>2</sup> และสมพล สกกุลหลง<sup>2\*</sup>  
Panuwat Hoonpong<sup>1</sup>, Suabsakul Gururatana<sup>2</sup> and Sompol Skullong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี

<sup>1</sup> Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi Province

<sup>2</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

<sup>2</sup> Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi Province

\*Corresponding Author E-mail Address : sompol@eng.src.ku.ac.th

#### บทคัดย่อ

การทำให้พื้นผิวขรุขระบนแผ่นดูดซับความร้อนสามารถเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการทำให้พื้นผิวขรุขระด้วยการติดตั้งปีกโค้งพรุนและแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ จุดมุ่งหมายของการติดตั้งปีกโค้งพรุนเพื่อสร้างการไหลหมุนควงตามแนวยาวซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มระดับความปั่นป่วนของการไหลและนำไปสู่การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อทดสอบ อากาศถูกใช้เป็นของไหลทดสอบโดยไหลผ่านท่อในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5,390 ถึง 23,000 พารามิเตอร์ทางเรขาคณิตที่ใช้ในการทดสอบมีอัตราส่วนความสูงต่ออัตราส่วนความกว้างของท่อของปีกพรุนสี่ค่า ( $A_H/A_W = 0.2, 0.33, 0.47$  และ  $0.6$ ) ที่มุมปะทะปีกคองที่ ( $\alpha = 45^\circ$ ) ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งปีกโค้งพรุนมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบอยู่ในช่วง 2.55–3.22 เท่า ขณะที่ความเสียดทานสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 6.21–15.4 เท่า การติดตั้งปีกโค้งพรุนที่อัตราส่วนความพรุนต่ำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงกว่าการติดตั้งปีกโค้งพรุนที่อัตราส่วนความพรุนสูง การติดตั้งปีกโค้งพรุนที่อัตราส่วนความพรุน  $A_H/A_W = 0.33$  ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 1.56

**คำสำคัญ:** ปีกโค้ง เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ แผ่นดูดซับความร้อน สมรรถนะเชิงความร้อน การไหลหมุนควง

#### Abstract

A roughness of the absorber plate can improve the thermal performance of a solar air heater. To boost the thermal performance of rectangular solar air heaters, this research presents the results of a comparison study between with and without perforated curved- wingleet (PCW) roughness on absorber plates. The aim at using the PCW is to create longitudinal vortex flows having a significant influence on the flow turbulence intensity leading to higher heat transfer enhancement in the tested channel. Air as

the test fluid flowed through the test channel with Reynolds number (Re) from 5,290 to 23,000. The investigated geometrical parameters were at four porosity ratios ( $A_f/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$  and  $0.6$ ) at a single attack angle ( $\alpha = 45^\circ$ ). The experimental results have showed that the PCWs give the considerable increase in heat transfer rate over the smooth absorber plate around 2.55–3.22 times while the increase in friction loss is about 6.21–15.4 times. The PCW with smaller porosity ratio provides higher heat transfer and friction loss than the one with larger porosity ratio. The highest thermal performance around 1.56 using the PCW is seen at  $A_f/A_w = 0.33$ .

**Keywords:** Curved-winglet, Solar air heater, Absorber plate, Thermal performance, Vortex generator

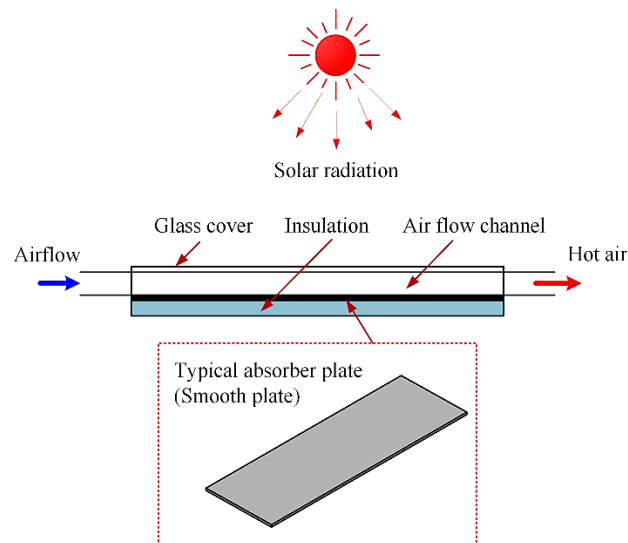
## บทนำ

ปัจจุบันสภาวะปัญหาโลกร้อนส่งผลกระทบต่อทุกพื้นที่ทั่วโลกอันส่งผลทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นโดยเฉพาะช่วงฤดูร้อนของทุกปีอันส่งผลทำให้เกิดการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องมาจากประชากรมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่สูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศและพัดลมในการคลายร้อนในช่วงอุณหภูมิที่สูงอันเกิดจากความร้อนเพิ่มขึ้นซึ่งนั่นจะส่งผลในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตาม ฉะนั้นแล้วหากจะพิจารณาในการลดใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นควรมีการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์สำหรับรองรับพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อแก้ปัญหาโลกร้อนอันเนื่องมาจากการใช้พลังงานที่สูงจากสิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและทดแทนพลังงานทำให้การใช้พลังงานนั้นลดน้อยลง ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่สะอาดปราศจากมลพิษและมีอยู่อย่างไม่มีจำกัดบนโลกการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกนำมาใช้ในสองรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าและการดึงความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การบ่มผลไม้ เป็นต้น สำหรับวิธีนี้มีระบบที่ไม่ซับซ้อนและต้นทุนในการผลิตต่ำ อุปกรณ์ที่ทำงานลักษณะนี้คือเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์จะใช้แสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนเสริมควบคู่ไปกับพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน แก๊สหุงต้มหรือพลังงานไฟฟ้า เพื่อทำให้เกิดการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมจะมีแผ่นดูดซับความร้อนเป็นผิวเรียบ (Smooth absorber plate) ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่สูงมากนัก นักวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งจะส่งผลทำให้สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์สูงขึ้นด้วย โดย ภาณุวัฒน์ และคณะ (2559) ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งแผ่นปีกพรุนที่มีอากาศเป็นสารทดสอบไหลผ่านเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ทำการทดสอบอิทธิพลของมุมปะทะปีก 4 ค่า คือ  $\alpha = 20, 30, 45$  และ  $60$  องศา ที่ระยะพิตซ์เพียงค่าเดียว ( $P/D=3$ ) โชติวุฒิ และคณะ (2560) ทำการทดลองของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยมีเงื่อนไขการติดตั้งครีวางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนทำมุมปะทะ  $45$  องศา มีสัดส่วนความสูงปีกต่อความสูงท่อ ( $b/H$ ) เท่ากับ  $0.3$  มิลลิเมตร และมีสัดส่วนระยะพิตซ์ตามแนวการไหลต่อความสูงท่อ ( $P/H$ ) 5 ค่า คือ  $1.0, 1.5, 2.0, 2.5$  และ  $3.0$  ตามลำดับ พิทักษ์ และคณะ (2561) ได้ทำการจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติที่มีการติดตั้งครีวี่เหลี่ยมคางหมูวางรูปตัววีบนแผ่นดูดซับความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบช่องขนาน โดยมีอัตราส่วนความสูงครีวี่  $HR=0.04, 0.06, 0.08$  และ  $0.10$  อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีวี่  $PR=0.4, 0.6, 0.8$  และ  $1.0$  และอัตราส่วนความกว้างของฐานครีวี่  $WR=0.10, 0.15$  และ  $0.20$  ที่มุมปะทะการไหลของครีวี่ ( $\alpha$ )  $30$  องศา Pandey et al. (2016) ศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดผิวโค้งแบบเว้นช่วงในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ( $Re=2,100-21,000$ ) ผลการทดลองพบว่า การใช้แผ่นดูดซับความร้อนดังกล่าวมีค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนแบบธรรมดา (ท่อผิวเรียบ) ถึง  $5.85$  และ  $4.96$  เท่า Skullong et al. (2016) ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการต้านทานการไหลภายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดร่องผสมปีกพรุน การทดลองพบว่า แผ่นดูดซับความร้อนดังกล่าวให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการต้านทานการไหลสูงกว่าท่อผิวเรียบและมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดร่องเพียงอย่างเดียวในช่วง

37.7–46.3 เปอร์เซ็นต์ Jaurker et al. (2006) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของครีบบนแผ่นดูดซับ โดยสรุปว่าการมีครีบบนแผ่นดูดซับให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีที่มีเฉพาะครีบบนแผ่นดูดซับ แต่ก็ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าเช่นเดียวกัน (เมื่อเปรียบเทียบในกรณีที่มีความสูงและระยะห่างระหว่างครีบดีียวกัน) Eiamsa-ard และ Promvong (2008) แสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ k-ε ให้ผลลัพธ์ (เลขนัสเซลท์) ใกล้เคียงกับการทดลองและพบว่าร่องรูปสี่เหลี่ยมวางขวางการไหลบนแผ่นดูดซับให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดที่ 1.33 เมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับผิวเรียบ ต่อมา Eiamsa-ard และ Promvong (2009) พบว่า ครีบบนรูปสามเหลี่ยม-ร่องรูปสามเหลี่ยมบนแผ่นดูดซับให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าทั้งกรณีครีบบนรูปสี่เหลี่ยม-ร่องรูปสามเหลี่ยมบนแผ่นดูดซับ และกรณีครีบบนรูปสามเหลี่ยม-ร่องรูปสี่เหลี่ยมบนแผ่นดูดซับ โดยเฉพาะในกรณีที่ระยะห่างระหว่างครีบบนต่ำ ๆ เนื่องจากให้ค่าตัวประกอบเสียดทานที่ต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ จิตกร และคณะ (2562) การศึกษาอิทธิพลของการจัดวางครีบบนต่อการปรับปรุงคุณลักษณะเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ (Constant surface heat flux) การทดลองทำการจัดวางแผ่นครีบบนตัวทำมุมปะทะ ( $\alpha$ ) 45 องศา มีสัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงของช่องขนานเป็น 2 เท่า ( $PR=P/H=2.0$ ) โดยทดสอบด้วยครีบบนที่มีสัดส่วนความสูงของครีบบนต่อความสูงชุดทดสอบ (Blockage ratio:  $BR = e/H$ ) = 0.10 และ 0.15 และการจัดวางครีบบน 2 รูปแบบคือติดที่แผ่นด้านบนด้านเดียวและติดครีบบนทั้งแผ่นบนและแผ่นล่างในแนวเดียวกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การติดตั้งปีกจะช่วยในการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ได้ดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะทดลองด้วยการติดตั้งปีกโค้งพญานาคบนแผ่นดูดซับความร้อนในการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ การวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลของปีกโค้งพญานาคที่มีค่าอัตราส่วนความพญานาค ( $A_h/A_w$ ) เท่ากับ 0.2, 0.33, 0.47 และ 0.6 ตามลำดับ โดย (Hole area,  $A_h$ ) คือพื้นที่รูเจาะปีก และ (Winglet area,  $A_w$ ) คือพื้นที่ปีก โดยมีการจำลองใช้แผ่นฮีตเตอร์เป็นพลังงานแสงอาทิตย์และให้ความร้อนแก่แผ่นดูดซับความร้อนในสภาวะฟลักซ์ความร้อนคงที่ และทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5,390 ถึง 23,000



รูปที่ 1 เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบทั่วไปที่ใช้แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

### ทฤษฎีการคำนวณของงานวิจัย

การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อน ความเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงได้ดังนี้

สมดุลความร้อนระหว่างความร้อนที่อากาศได้รับ ( $Q_{air}$ ) และการพาความร้อน ( $Q_{conv}$ )

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (1)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ( $h$ ) หาค่าได้จาก

$$h = \dot{m} \times C_p \times (T_o - T_i) / A \times (\tilde{T}_s - T_b) \quad (2)$$

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

เลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (Nu) หาได้จาก

$$Nu = (h \times D_h) / k \quad (3)$$

การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D<sub>h</sub>) สามารถเขียนได้เป็น

$$Re = (U \times D_h) / \nu \quad (4)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

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

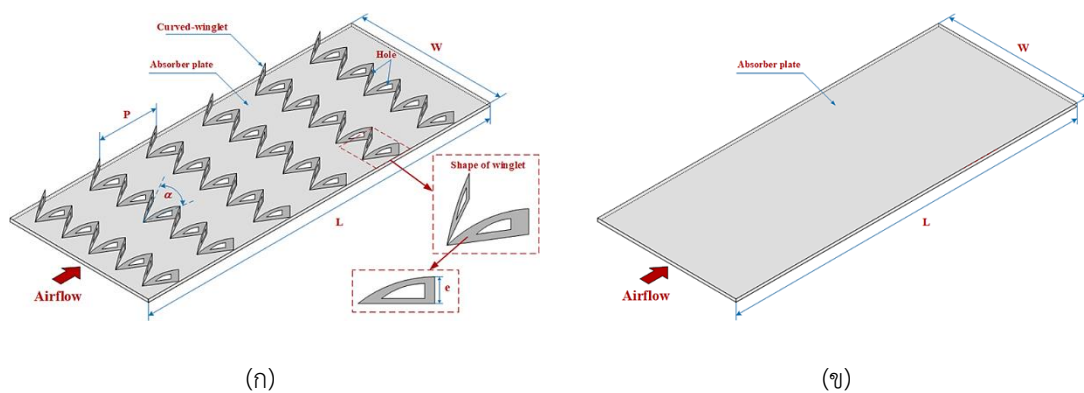
ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor: TEF) ของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์จากเอกสารอ้างอิง (Jayranaiwachira et al., 2022) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$TEF = \frac{h}{h_0} \bigg|_{PP} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{PP} = (Nu/Nu_0) / (f/f_0)^{\frac{0.755}{2.738}} \quad (6)$$

## วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

### 1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

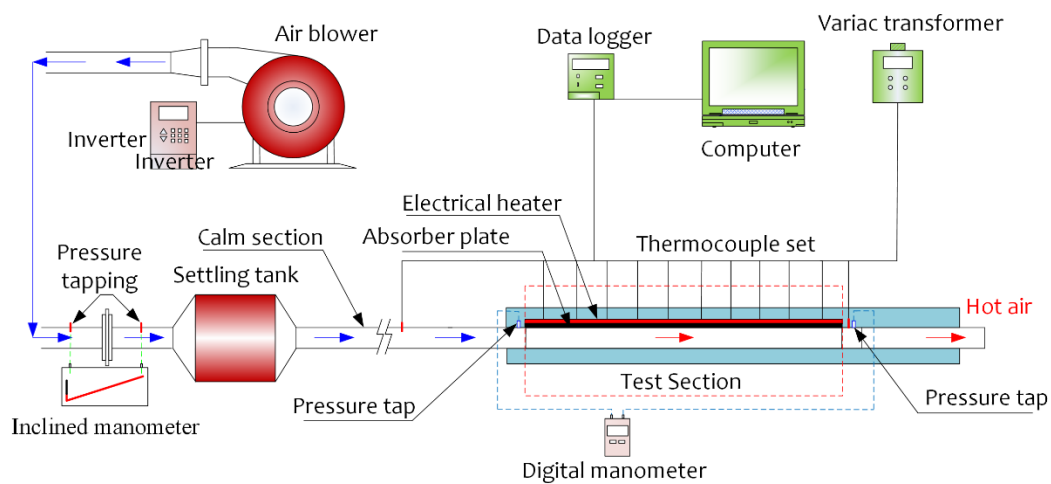
แผ่นดูดซับความร้อน (อะลูมิเนียม) ถูกนำมาใช้เป็นส่วนทดสอบของการจำลองเป็นเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีช่วงทดสอบยาว (L) 420 มิลลิเมตร กว้าง (W) 300 มิลลิเมตร และสูง (H) 30 มิลลิเมตร โดยติดตั้งปีกโค้งที่มุมปะทะ  $\alpha = 45$  องศา บนแผ่นดูดซับความร้อนและอัตราส่วนความพรุน ( $A_H/A_W = 0.2, 0.33, 0.47$  และ  $0.6$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) และแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบดังรูปที่ 2 (ข) ซึ่งให้ความร้อนด้วยแผ่นฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์ (จำลองเป็นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์) และมีการหุ้มฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก



รูปที่ 2 (ก) แผ่นดูดซับความร้อนที่มีการติดตั้งปีกโค้งพรุน (ข) แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

## 2. การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองกับเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

ชุดทดสอบเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 3 จากรูปประกอบไปด้วยพัดลมแรงดันสูงขนาด 2 กิโลวัตต์ โดยมีอินเวอร์เตอร์ในการควบคุมมอเตอร์ (ปรับอัตราการไหลของอากาศ) อยู่ในช่วงระหว่าง 5,390 ถึง 23,000 จากนั้นอากาศจะไหลผ่านแผ่นออริฟิส (Orifice plate) ที่มีส่วนทดสอบ Inclined manometer ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดค่าผลต่างของความดันโดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ ต่อมาอากาศไหลผ่าน Settling tank ที่ทำหน้าที่ปรับสภาพการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ช่องปรับสภาพการไหล (Calm section) เพื่อให้การไหลของอากาศให้มีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (Fully developed flow) ก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบที่มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิดที (T-Type) จำนวน 12 ตัว ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน เช่น เซอร์วูดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี (PT100) จำนวน 2 ตัว ใช้ในการวัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกส่วนทดสอบที่ส่งสัญญาณไปยัง Data Logger FLUKE รุ่น 2680A และประมวลผลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ ขณะที่ดิจิตอลมานอมิเตอร์ถูกนำมาใช้ในการวัดค่าความดันตกคร่อมของส่วนทดสอบมี ค่าความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์การวัดแสดงรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง (Promvong et al., 2022)



รูปที่ 3 ชุดทดสอบเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

## ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

### 1. การทดสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

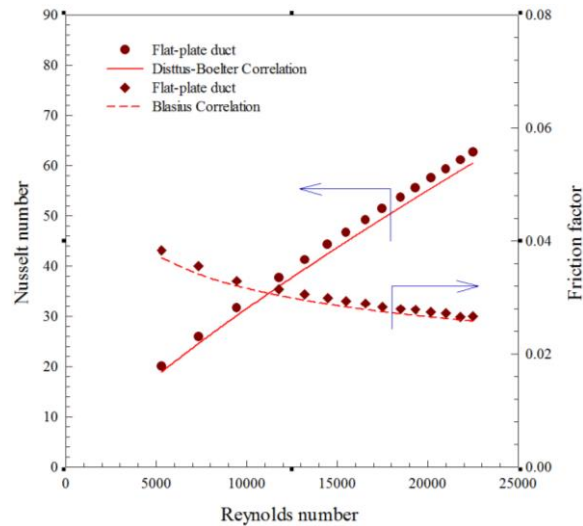
เพื่อความถูกต้องของชุดทดสอบรวมทั้งผลการทดลอง จึงทำการทดสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบก่อนติดตั้งปีกโค้งพรุณบนแผ่นดูดซับความร้อน โดยนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter สำหรับถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number: Nu) และสหสัมพันธ์ของ Blasius สำหรับความเสียดทานซึ่งแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (Friction factor:  $f$ ) จากเอกสารอ้างอิง (Incropera, 2012) โดยสหสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

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

สหสัมพันธ์ของ Blasius

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

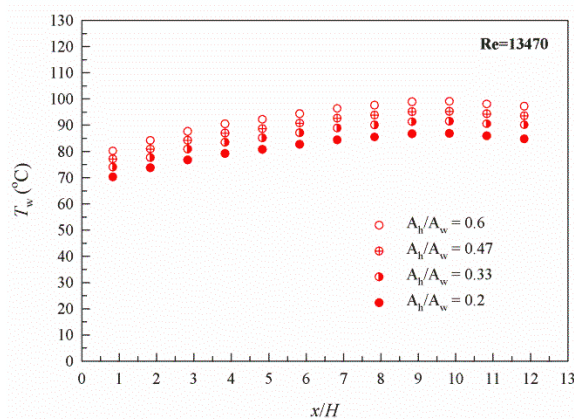


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ  $f$  กับ  $Re$  กรณีท่อผิวเรียบ

จากรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu และ  $f$  ระหว่างผลการทดลองกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และสหสัมพันธ์ของ Blasius ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบจากการทดลองกับสหสัมพันธ์ตามทฤษฎี พบว่า ค่า Nu มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 6% ขณะที่  $f$  มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 7%

## 2. การกระจายอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวของแผ่นดูดซับความร้อน ( $T_w$ ) กับระยะจุดวัดอุณหภูมิต่อความสูงท่อ ( $x/H$ ) ของการติดตั้งแผ่นปีกพรุนที่อัตราส่วนความพรุนต่าง ๆ ( $A_p/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$  และ  $0.6$ ) ที่เลขเรย์โนลด์ 13,470 จากการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อนเพิ่มขึ้นตามค่า  $x/H$  และมีแนวโน้มเป็นที่เชิงเส้นโดยจากนั้นจะลดลงเล็กน้อยที่บริเวณปลายท่อทดสอบหรือที่ทางออกของท่อ ( $x/H \approx 11,12$ ) ซึ่งเกิดจากผลกระทบเมื่ออากาศร้อนภายในท่อไหลไปปะทะกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่บริเวณภายนอก โดยแผ่นดูดซับความร้อนที่ติดตั้งปีกพรุน  $A_p/A_w = 0.6$  มีค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดเนื่องจากสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่ากรณีแผ่นปีกพรุนที่  $A_p/A_w$  อื่น ๆ

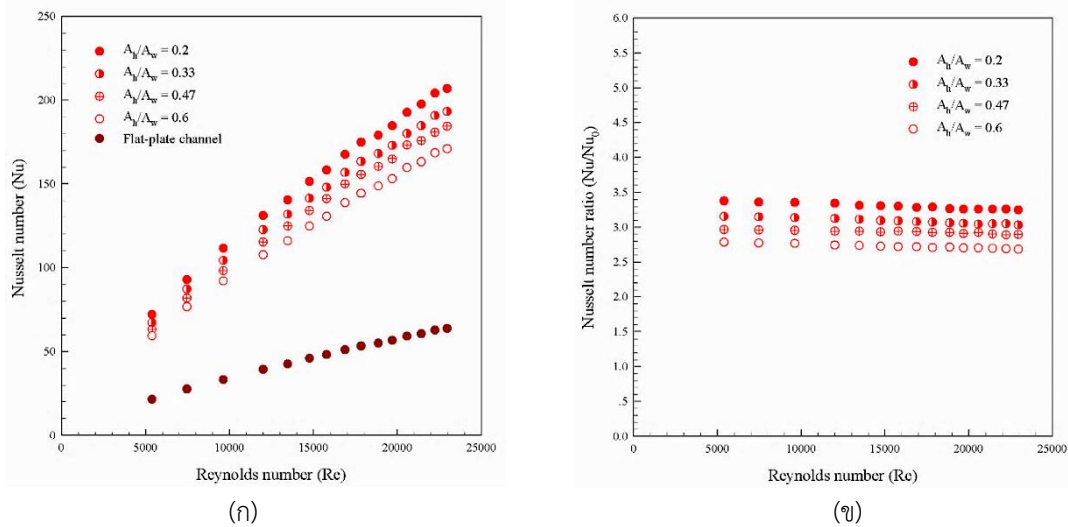


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน ( $T_w$ ) กับระยะจุดวัดอุณหภูมิผิวต่อความสูงท่อ ( $x/H$ )

## 3. การถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนแสดงในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nu) โดยจะแสดงความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ที่บ่งบอกถึงการไหลแบบปั่นป่วนในช่วงต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 6 (ก) จากการทดลองพบว่า ค่า Nu จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re ซึ่งการติดตั้งปีกโค้งพรุนที่อัตราส่วนความพรุน  $A_p/A_w = 0.2$  บนแผ่นดูดซับความร้อนให้ค่า Nu สูงสุดตามด้วย  $A_p/A_w = 0.33, 0.47$  และ  $0.6$  และท่อผิวเรียบตามลำดับ เนื่องมาจากการเจาะรูมีขนาดเล็ก ( $A_p/A_w = 0.2$ ) จึงส่งผลให้เกิด

ระดับการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในใช้ระยะเวลาที่ยาวนานกว่ากรณีอื่นจึงส่งผลทำให้แผ่นดูดซับความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุณหภูมิผิวที่ติดตั้งปีกโค้งพรุณ ซึ่งสูงกว่ากรณีแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (ไม่มีการติดตั้งปีกโค้งพรุณ)



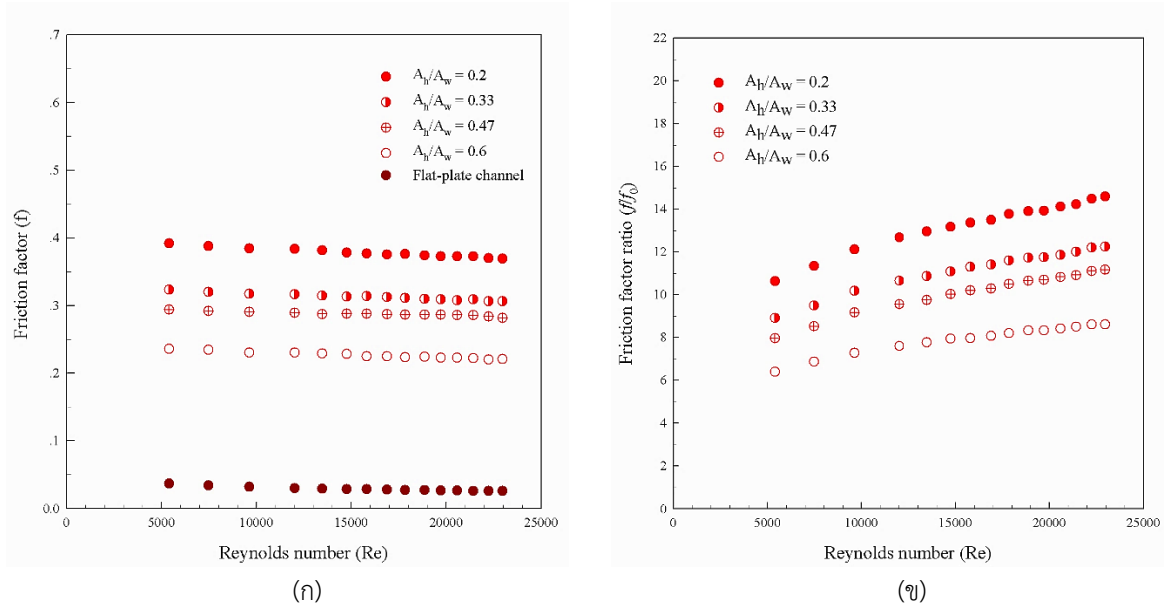
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) Nu และ (ข)  $Nu/Nu_0$  กับ Re

จากรูปที่ 6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีติดตั้งปีกโค้งพรุณต่อเลขนัสเซลท์ของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ ( $Nu/Nu_0$ ) กับ Re จากการทดลองพบว่า การติดตั้งปีกโค้งพรุณจะช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนดีขึ้นกว่ากรณีแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบทุกกรณี โดยพบว่า กรณีอัตราส่วนความพรุณที่  $A_f/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$  และ  $0.6$  มีค่า  $Nu/Nu_0$  เฉลี่ยเท่ากับ 3.4, 3.2, 3.0 และ 2.8 ตามลำดับ แสดงถึงการถ่ายเทความร้อนในทอมของเลขนัสเซลท์ที่เพิ่มขึ้น 2.8 ถึง 3.4 เท่า

#### 4. ความเสียดทาน

รูปที่ 7 (ก) แสดงถึงความเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งปีกโค้งพรุณโดยแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวในทอมของตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ซึ่งพบว่า การติดตั้งปีกโค้งพรุณจะเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนควงภายในเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์และจะเพิ่มระดับการไหลทำให้เกิดความปั่นป่วนมากขึ้นภายในท่ออันก่อให้เกิดความเสียดทานที่สูงขึ้น โดยการติดตั้งปีกโค้งพรุณที่มีค่า  $f$  สูงสุดคือ  $A_f/A_w = 0.2$  ตามด้วย  $A_f/A_w = 0.33, 0.47$  และ  $0.6$  และแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบตามลำดับ

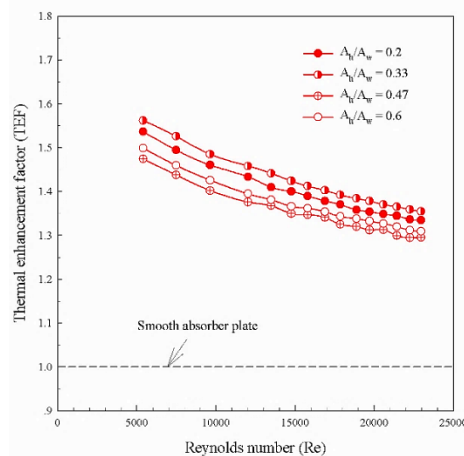
จากรูปที่ 7 (ข) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกรณีติดตั้งปีกโค้งต่อตัวประกอบเสียดทานของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ ( $f/f_0$ ) จากการทดลองพบว่า การติดตั้งปีกโค้งพรุณจะก่อให้เกิดความเสียดทานสูงขึ้น โดยที่อัตราส่วนความพรุณ  $A_f/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$  และ  $0.6$  มีค่า  $f/f_0$  เฉลี่ยเท่ากับ 14.59, 12.25, 11.17 และ 8.61 ตามลำดับ แสดงถึงตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้น 8.61 ถึง 14.59 เท่า อย่างไรก็ตาม ตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงความคุ้มค่าในแง่ของสมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ต้องนำทั้งค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานมาพิจารณาร่วมกัน โดยจะแสดงในทอมของค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)  $f$  และ (ข)  $f/f_0$  กับ  $Re$

## 5. สมรรถนะทางความร้อน

จากสมการตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor: TEF) สมการที่ (6) เป็นสมการที่ใช้ในการประเมินผลสมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยแสดงดังรูปที่ 8 โดยรูปดังกล่าวจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับเลขเรย์โนลด์  $Re$  ซึ่งพบว่า ค่า TEF มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของค่า  $Re$  เนื่องจากอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ ( $Nu/Nu_0$ ) ลดลงเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ ( $Re$ ) ขณะที่ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน ( $f/f_0$ ) ที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมากตามการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ ( $Re$ ) เมื่อนำมาคำนวณในสมการที่ (6) ค่า TEF จึงมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่า  $Re$  โดยการลดลงของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ ( $Nu/Nu_0$ ) และการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเชื่อมโยงมาจากความสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Blasius สมการที่ (7) และ (8) จากเอกสารอ้างอิง (Incropera, 2012) ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ของสมรรถนะเชิงความร้อน การติดตั้งปีกโค้งพรุณภายในเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์จะส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ดีขึ้นและการติดตั้งปีกพรุณที่อัตราส่วนความสูงของพรุณ  $A_H/A_W = 0.33$  มีค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.56 ที่  $Re = 5,390$  โดยมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 36% เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตโดย โชติวุฒิ และคณะ (2560) ที่มีการติดตั้งปีกทึบ (ไม่มีการเจาะรู) บนแผ่นดูดซับความร้อนพบว่า งานวิจัยปัจจุบันให้ค่า TEF สูงกว่าประมาณ 7% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเจาะรูบนปีกโค้งสามารถช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานและส่งผลให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงขึ้นด้วย



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ  $Re$

## บทสรุป

จากการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งพรุณบนแผ่นดูดซับความร้อนที่อิทธิพลของอัตราส่วนความพรุณ ( $A_h/A_w$ ) ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ความเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการติดตั้งปีกโค้งพรุณบนแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อสร้างการไหลภายในคองภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีแต่ในขณะเดียวกันจะส่งผลต่อความเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบถึงการทำให้สมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ดีขึ้นจึงต้องวัดจากค่าสมรรถนะเชิงความร้อน และพบว่า มีค่าการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีกว่าในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งปีกโค้งพรุณ (แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ) ซึ่งการติดตั้งปีกโค้งพรุณที่อัตราส่วนความพรุณ  $A_h/A_w = 0.33$  ภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.56 โดยมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 36%

## เอกสารอ้างอิง

- ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ และสมพล สกกุลหลง. (2559). การศึกษาเชิงทดลองของลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อทรงกระบอกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นปีกพรุณ. วารสารเกษตร I-TECH. 11(1): 29-37.
- โชติวุฒิ ประสพสุข และสมพล สกกุลหลง. (2560). การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานของท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้ครีบบางเอียงแบบแยกตัว. วารสารเกษตร I-TECH. 12(2): 179-188.
- โชติวุฒิ ประสพสุข, วิฑูรย์ ชิงถ้อยทอง, พงษ์เจต พรหมวงศ์, สุรชาติพิทย์ วิทยปยานนท์ และสมพล สกกุลหลง. (2560). การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งบนแผ่นดูดซับความร้อน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. 4-7 กรกฎาคม 2560. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. นครนายก. 1-10 (ETM-13).
- พิทักษ์ พร้อมไธสง และพงษ์เจต พรหมวงศ์. (2561). พฤติกรรมความร้อนในช่องขนานเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีครีบบั้เหลี่ยมคางหมูวางรูปตัววีบนแผ่นดูดซับ. Engineering Transactions Journal. 21(1): 62-80.
- จิตกร กนกนัยการ และพงษ์เจต พรหมวงศ์. (2562). อิทธิพลของการจัดวางครีบบั้ตัววีต่อการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33. 2-5 กรกฎาคม 2562. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม. 1-9 (HTE-008).
- Eiamsa-ard, S. and Promvongse, P. (2008). Numerical study on heat transfer of turbulent channel flow over periodic grooves. International Communications in Heat and Mass Transfer. 35: 844-852.
- Eiamsa-ard, S. and Promvongse, P. (2009). Thermal characteristics of turbulent rib-grooved channel flows. International Communications in Heat and Mass Transfer. 36: 705-711.
- Incropera F.P., Dewitt P.D., Bergman T.L. and Lavine A.S. (2012). Foundations of heat transfer, 6<sup>th</sup> edition., John-Wiley & Sons Inc.
- Jaurker A.R., Saini J.S. and Gandhi B.K. (2006). Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness. Solar Energy. 80: 895-907.
- Jayranaiwachira N., Promvongse P., Thianpong C. and Skullong S. (2022). Thermal-hydraulic performance of solar receiver duct with inclined punched-ribs and grooves. Case Studies in Thermal Engineering. 39: 102437.
- Pandey N.K., Bajpai V.K. and Varun. (2016). Experimental investigation of heat transfer augmentation using multiple arcs with gap on absorber plate of solar air heater. Solar Energy. 134(1): 314-326.
- Promvongse P., Promthaisong P. and Skullong S. (2022). Experimental and numerical thermal performance in solar receiver heat exchanger with trapezoidal louvered winglet and wavy groove. Solar Energy. 236: 153-174.

Skullong S., Promvong 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.