

# การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความ เสียดทานของท่ออุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้ครีบบางเอียง แบบแยกตัว

โชติวุฒิ ประสพสุข<sup>1</sup> และ สมพล สกกุลหลง<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

<sup>2</sup>กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรี  
ราชา 199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

\*ผู้ติดต่อ: E-mail: sfengsps@src.ku.ac.th, sompol@eng.src.ku.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการทดลองของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานภายในเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนภายใต้สภาวะการให้พลังความร้อนคงที่ อัตราการไหลแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ในช่วง 5400 ถึง 23,500 ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ ครีบบางเอียงแบบแยกตัวทำมุมปะทะ ( $\alpha$ )  $45^\circ$  มีสัดส่วนความสูงปีกต่อความสูงท่อ ( $b/H$ ) เท่ากับ 0.3 และมีสัดส่วนระยะพิทช์ตามแนวการไหลต่อความสูงท่อ ( $P/H$ ) 5 ค่า คือ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 โดยทำการติดตั้งที่ผิวด้านบนของส่วนทดสอบซึ่งจำลองเป็นแผ่นดูดซับความร้อน (absorber plate) เพื่อสร้างการไหลหมุนควงตามแนวกระแสการไหล ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวทำมุม  $45^\circ$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานมากกว่าท่อผิวเรียบที่ไม่มีครีบบาง การติดตั้งครีบบางที่มีค่าสัดส่วนระยะพิทช์ ( $P/H$ ) สั้นหรือถี่ให้ค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) และตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) สูงกว่าการติดตั้งครีบบางที่มีค่าสัดส่วนระยะพิทช์มากหรือห่าง ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.43

**คำสำคัญ:** เครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์, ครีบบางเอียงแบบแยกตัว, แผ่นดูดซับความร้อน, การไหลหมุนควง, สมรรถนะเชิงความร้อน

# Experimental investigation of heat transfer and friction characteristics of solar air heater using inclined discrete ribs

Chotiwut Prasopsuk<sup>1</sup> and Sompol Skullong<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Education, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri University.

321 Narai Maharat Road, Tumbol Talay Chub Sorn, Amphoe Muang, Lop Buri, 15000.

<sup>2</sup>Energy Systems Research Group, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus.

199 M.6, Sukhumvit Rd., Sriracha, Chonburi 20230.

## Abstract

In the present work experimental investigation on the heat transfer and friction loss characteristics of a solar air heater duct roughened with inclined discrete ribs placed on absorber plate having a uniform wall heat flux is carried out. Reynolds number in the present study is taken in the range 5400–23,500 based on the hydraulic diameter of the rectangular duct. The inclined discrete rib with its angle of attack ( $\alpha$ ) of 45°, relative rib height ( $b/H$ ) of 0.3 and five relative axial pitch ratios ( $P/H$ ) of 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 are introduced and placed only on the upper wall (absorber plate) of the test duct to generate longitudinal vortex flows. The experimental results show a significant effect of the presence of the inclined discrete rib on the heat transfer and friction loss over the smooth duct with no rib. The smaller (or short) relative rib pitch ( $P/H$ ) of the 45° inclined discrete rib leads to higher Nusselt number ( $Nu$ ) and friction factor ( $f$ ) than the larger one. The thermal performance obtained for the configuration was 1.43.

**Keywords :** Solar air heater, Inclined discrete rib, Absorber plate, Vortex generator, Thermal performance

## 1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดและมีอยู่อย่างไม่จำกัดทั่วโลก เครื่องอุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ การพัฒนาเครื่องอุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างแผ่นดูดซับความร้อนและอากาศที่ไหลผ่านภายในเครื่องอุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งโดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) ระหว่างอากาศกับแผ่นดูดซับความร้อนแบบดั้งเดิม (แผ่นเรียบ) จะมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงมีนักวิจัยจำนวนมากมุ่งเน้นในการพัฒนาแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้แก่เครื่องอุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์ เทคนิค passive [1] เป็นหนึ่งในเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์ทางด้านความร้อนรวมถึงเครื่องอุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำ ใช้งานง่ายและสามารถสร้างขึ้นได้ด้วยตัวเอง เช่น การติดตั้ง ฟิน [2,3] และ ครีบ [4,5]

Promvong and Thianpong [6] ทำการศึกษาเชิงทดลองเพื่อเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยการติดตั้งครีบบางรูปทรงต่างๆ โดยมีการจ่ายความร้อนที่ผิวด้านบนของส่วนทดสอบ (จำลองเป็นแผ่นดูดซับความร้อน) แบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งครีบบนแผ่นดูดซับความร้อนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายสูงกว่าท่อผิวเรียบ ซึ่งค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดพบที่การติดตั้งครีบบางสามเหลี่ยมและจัดวางแบบแนวเอียงกัน โดยมีค่า 1.12 Eiamsa-ard and Promvong [7] ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนานด้วยการติดตั้งครีบบางรูปทรงต่างๆ (ครีบลิ่มสามเหลี่ยม สามเหลี่ยม ครีบบางสามเหลี่ยม สามเหลี่ยม และครีบบางสามเหลี่ยม สามเหลี่ยม) ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งครีบลิ่มสามเหลี่ยม สามเหลี่ยมให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดกลับพบที่การติดตั้งครีบบางสามเหลี่ยมสามเหลี่ยม โดยมีค่าเท่ากับ 1.08

Thianpong et al. [8] ศึกษาเชิงทดลองของการไหลแบบปั่นป่วนและพฤติกรรมทางความร้อนภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยการติดตั้งครีบบางรูปทรงสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่ผิวด้านบนและด้านล่างของส่วนทดสอบ โดยจัดวางครีบ 2 แบบ คือ แนวครีบตรงกัน และแนวครีบเอียงกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งครีบบางสามเหลี่ยมแบบแนวครีบตรงกันให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายสูงกว่าการจัดวางครีบบางแนวเอียง อย่างไรก็ตาม ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดกลับพบที่การจัดวางครีบบางสามเหลี่ยมแบบแนวเอียง โดยมีค่าเท่ากับ 1.35 เนื่องจากมีค่าความเสียหายต่ำกว่าการจัดวางครีบบางแนวตรงกัน Skullong et al. [9] ศึกษาผลกระทบของความหนาครีบบางที่มีต่อสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ครีบบางรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าดูดซับความร้อน ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งครีบบางบนแผ่นดูดซับความร้อนให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าการติดตั้งครีบลิ่ม โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.53 Skullong [10] ศึกษาอิทธิพลของครีบบางเอียงแบบต่อเนื่องที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อน ความเสียหาย และสมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่ออุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่า การติดตั้งครีบบางเอียงที่มีมุมปะทะ  $60^\circ$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายสูงกว่าครีบบางเอียงที่มีมุมปะทะ  $45^\circ$  อย่างไรก็ตาม ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดกลับพบที่กรณีติดตั้งครีบบางเอียงมุมปะทะ  $45^\circ$  โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.4

จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาเห็นได้ว่า การติดตั้งครีบบางผิวร้อนหรือแผ่นดูดซับความร้อนสามารถช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งค่าสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและเครื่องอุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี แต่งานวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้นส่วนใหญ่จะจัดวางครีบบางแนวขวางการไหล (transverse rib) และเป็นครีบบางต่อเนื่อง (continuous) ซึ่งส่งผลให้มีค่าความเสียหายสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อน ความเสียหาย และสมรรถนะเชิงความร้อนภายในเครื่องอุณหภูมิลดพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการติดตั้งครีบบางเอียงทำมุม  $45^\circ$  แบบแยกตัวเพื่อลดความเสียหายของการไหลในท่อ

## 2. ทฤษฎีและการคำนวณ

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือ เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number, Nu) ความเสียดทานซึ่งแสดงในเทอมของค่าตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor,  $f$ ) และสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal enhancement factor, TEF) ภายในท่ออุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบ โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

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

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

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ( $h$ ) หาค่าได้จาก

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

เมื่อ  $T_b = (T_o + T_i)/2$  และ  $\tilde{T}_s = \sum T_s / 10$

โดยที่

- $A$  คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน ( $m^2$ )
- $C_p$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะอากาศ ( $kJ/kg \cdot ^\circ C$ )
- $T_i$  คือ อุณหภูมิที่ทางเข้า ( $^\circ C$ )
- $T_o$  คือ อุณหภูมิที่ทางออก ( $^\circ C$ )
- $\tilde{T}_s$  คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยของแผ่นดูดซับความร้อน ( $^\circ C$ )
- $\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ( $kg/s$ )

ดังนั้นเลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Nu) สามารถหาได้จาก

$$Nu = hD_h / k \quad (3)$$

โดยที่ ( $D_h$ ) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ซึ่งหาได้จาก  $D_h = 2HW / (H + W)$

การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ( $D_h$ ) และสามารถเขียนได้เป็น

$$Re = UD_h / \nu \quad (4)$$

โดยที่  $U$  และ  $\nu$  คือ ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่าความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ

ค่าตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) สามารถหาค่าได้จาก

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

สมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal enhancement factor, TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ ( $h$ ) กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ ( $h_0$ ) ซึ่งคิดที่กำลังขับเดียวกัน (same pumping power, pp) จากเอกสารอ้างอิง [1-3, 5-12] โดยแสดงได้ดังนี้

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

## 3. การติดตั้งอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 3.1 ชุดอุปกรณ์

อุปกรณ์ชุดทดลองเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 1 โดยประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ พัดลมแรงดันสูง (high pressure blower) แผ่นออริฟิส (orifice plate) ช่องปรับสภาพการไหล (calm section) มานอมิเตอร์ชนิดเอียง (inclined manometer) ถังจัดเรียงอากาศ (settling tank) อินเวอร์เตอร์ (inverter) ระบบจัดเก็บข้อมูล (data acquisition system) และเครื่องคอมพิวเตอร์

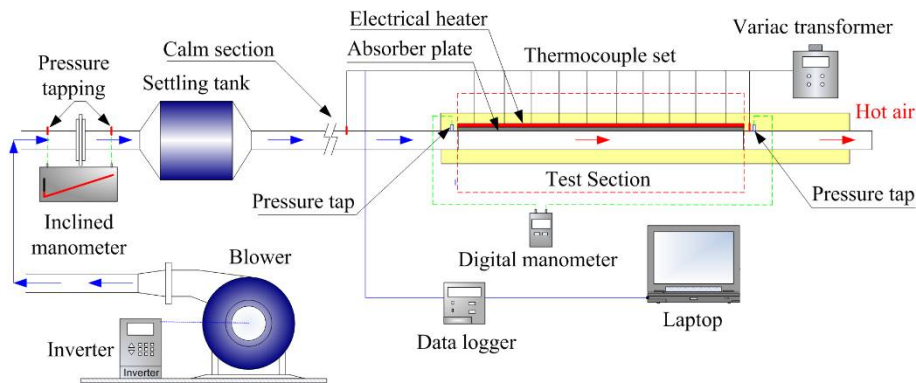
### 3.2 หลักการทำงาน

พัดลมแรงดันสูงเป็นแหล่งจ่ายอากาศผ่านแผ่นออริฟิส ซึ่งเป็นตัววัดอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าส่วนทดสอบ ผ่านมายังมานอมิเตอร์ชนิดเอียงที่เป็นตัววัดค่าผลต่างของความดันโดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ จากนั้นจะเข้ามาถึงถังจัดเรียงอากาศที่ทำหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศ แล้วเข้าสู่ช่องปรับสภาพการไหลที่มีความยาวมากพอให้อากาศปรับสภาพการไหลโดยมีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (fully developed flow) ก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ ด้านบนของส่วนทดสอบจะทำการติดตั้งแผ่นฮีตเตอร์และให้ความร้อนกับแผ่นทดสอบ (แผ่นดูดซับความร้อน) ในสถานะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ (constant heat-flux on the absorber plate) โดยมีเทอร์โมคัปเปิลชนิด T

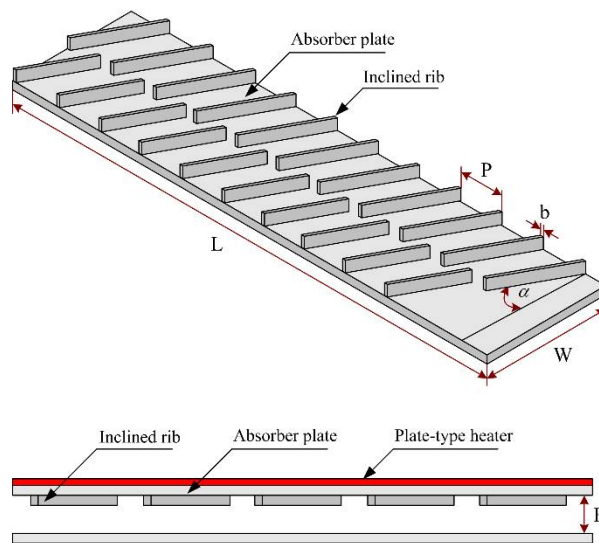
จำนวน 10 ตัวติดตั้งบริเวณด้านบนของแผ่นดูดซับความร้อน ซึ่งทำหน้าที่วัดอุณหภูมิผิว รายละเอียดการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสามารถดูได้จากเอกสารอ้างอิง [11,12] เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด RTD จำนวน 2 ตัว ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกส่วนทดสอบ จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังระบบจัดเก็บข้อมูลรุ่น FLUKE 2680A และประมวลผลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนทดสอบได้มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก

ส่วนทดสอบที่อุณหภูมิอากาศพลังแสงอาทิตย์มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีความยาวรวม 2000 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบยาว ( $L$ ) 800 มิลลิเมตร กว้าง ( $W$ ) 200 มิลลิเมตร และสูง ( $H$ ) 20 มิลลิเมตร ตรีบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำมุมปะทะ  $45^\circ$  สัดส่วนความสูงครึ่งต่อความสูงท่อ ( $b/H$ ) เท่ากับ 0.3 และสัดส่วนระยะพิชิตตามแนวการไหลต่อความสูงท่อ ( $P/H$ ) 5 ค่า คือ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ถูกติดตั้งบนแผ่นดูดซับความร้อนแบบแยกตัวเพื่อสร้างการไหลหมุนควงตามแนวกระแสการไหลดังแสดงในรูปที่ 2

### 3.3 ส่วนทดสอบครึ่งวงเฉียงแบบแยกตัว



รูปที่ 1 ไดอะแกรมเครื่องอุณหภูมิอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 2 การติดตั้งครึ่งวงเฉียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อน

## 4. ผลการทดลอง

### 4.1 การทดสอบท่อผิวเรียบ

เพื่อความถูกต้องและแม่นยำก่อนการติดตั้งครีป ค่าเลขนัสเซิลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน ( $f$ ) ของท่อผิวเรียบที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับสมการที่มีในอดีตของ Dittus-Boelter สำหรับค่า Nu และ Blasius สำหรับค่า  $f$  จากเอกสารอ้างอิง [13] กรณีการไหลแบบปั่นป่วนที่พัฒนาเต็มที่ภายในท่อ

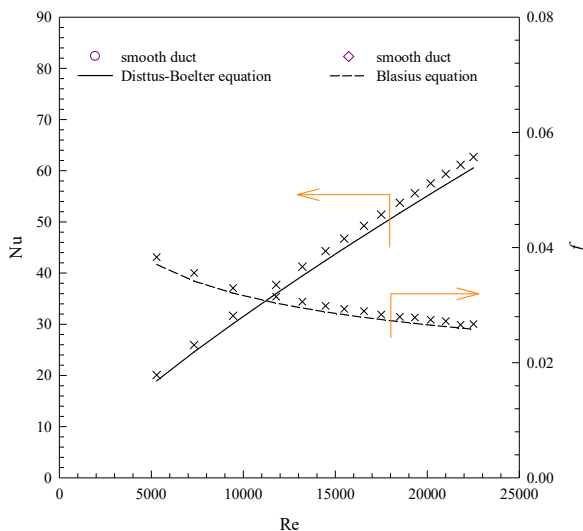
สมการของ Dittus-Boelter

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

สมการของ Blasius

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

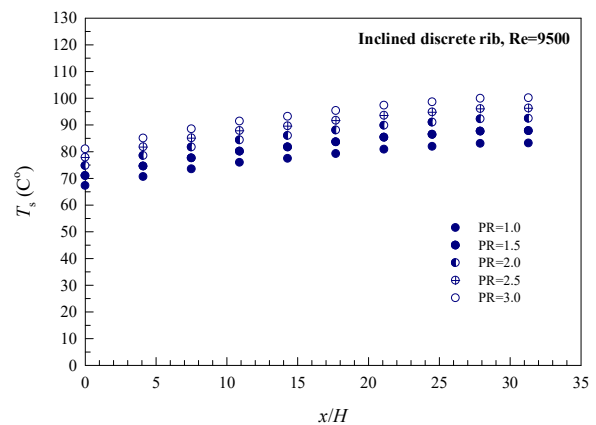
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu และ  $f$  จากผลการทดลองเปรียบเทียบกับสมการของ Dittus-Boelter และ Blasius (สมการที่ 7 และ 8) จากผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสมการพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 5% และ 6% สำหรับค่า Nu และ  $f$  ตามลำดับ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ  $f$  กับ Re กรณีท่อผิวเรียบ

### 4.2 การกระจายอุณหภูมิผิวของแผ่นดูดซับความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน ( $T_s$ ) กับสัดส่วนระยะการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลต่อความสูงท่อ ( $x/H$ ) กรณี  $Re=9500$  แสดงดังรูปที่ 4 จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะ  $x/H$  โดยการติดตั้งครีปวางเอียงแยกตัวที่  $P/H=1.0$  มีค่าอุณหภูมิผิวต่ำสุดเนื่องจากการระบายความร้อนจากแผ่นดูดซับความร้อนดีกว่าการติดตั้งครีปวางเอียงแยกตัวที่ค่า  $P/H$  อื่นๆ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_s$  กับ  $x/H$

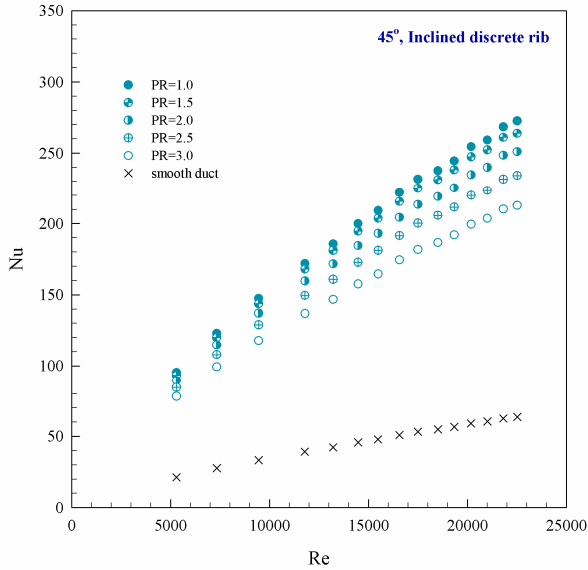
### 4.3 อิทธิพลของระยะพิตช์ต่อการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu กับ Re จากการทดลองพบว่า ค่า Nu มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re การติดตั้งครีปวางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนที่  $P/H=1.0$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนในเทอมของ Nu สูงสุดตามด้วย  $P/H=1.5, 2.0, 2.5, 3.0$  และท่อผิวเรียบตามลำดับ เนื่องจากการติดตั้งครีปวางเอียงแบบแยกตัวที่มีระยะพิตช์เล็ก ( $P/H=1.0$ ) จะมีระดับการไหลหมุนควงตามแนวกระแสการไหล (longitudinal vortex generator) ที่แข็งแรงและดีกว่าการติดตั้งครีปที่มีระยะพิตช์ห่าง จึงส่งผลให้สามารถขัดขวางการพัฒนาชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) บนแผ่นดูดซับความร้อนได้ดี ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient,  $h$ ) สูงขึ้นตาม และเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อนและของไหลที่ดีกว่าการติดตั้งครีปที่ค่า  $P/H$  อื่นๆ

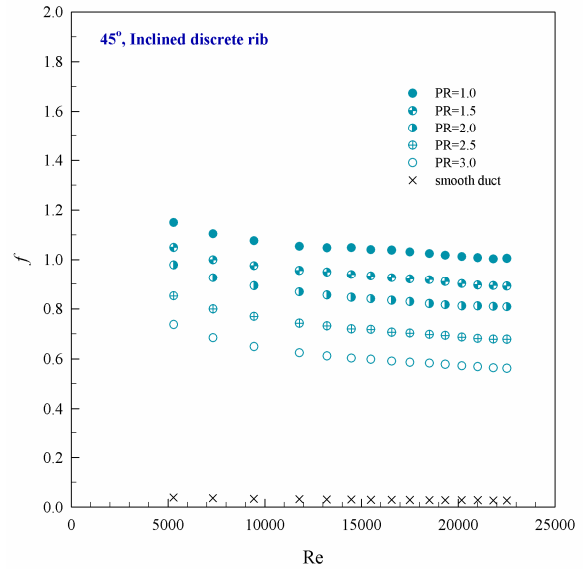
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กรณีติดตั้งครีปวางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนต่อเลขนัสเซิลท์ของท่อผิวเรียบ ( $Nu/Nu_0$ ) กับ Re จากการทดลอง

พบว่า ค่า  $Nu/Nu_0$  มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อ  $Re$  มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดย  $Nu/Nu_0$  มีค่าอยู่ในช่วง 4.26–4.47, 4.14–4.38, 3.94–4.20, 3.68–3.97 และ 3.34–3.67 สำหรับกรณีติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนที่  $P/H=1.0$ , 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ตามลำดับ

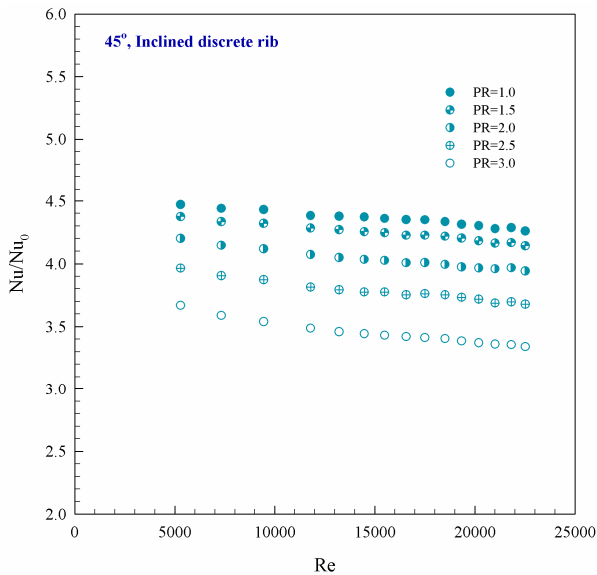
ลดลงเมื่อค่า  $Re$  เพิ่มสูงขึ้น การติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนที่  $P/H=1.0$  มีค่า  $f$  สูงสุดในกรณีทดสอบนี้ ตามด้วย  $P/H=1.5, 2.0, 2.5, 3.0$  และท่อผิวเรียบตามลำดับ เนื่องจากการติดตั้งครีบบางที่มีระยะพิทช์ถี่จะขัดขวางกระแสการไหลของของไหล



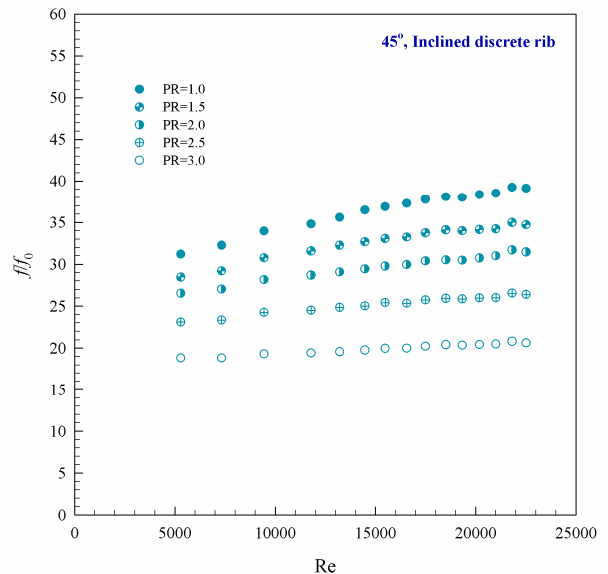
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Nu$  กับ  $Re$



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $f$  กับ  $Re$



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Nu/Nu_0$  กับ  $Re$



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $f/f_0$  กับ  $Re$

#### 4.4 อิทธิพลของระยะพิทช์ต่อความเสียดทาน

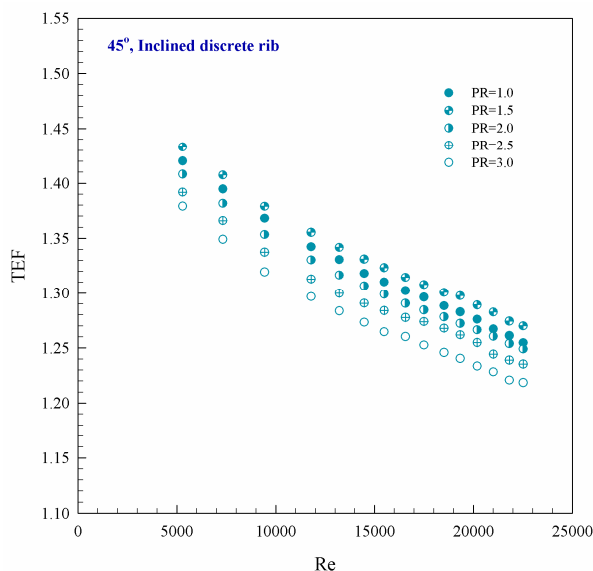
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบความเสียดทาน ( $f$ ) กับ  $Re$  แสดงดังรูปที่ 7 จากการทดลองพบว่า ค่า  $f$  มีแนวโน้ม

ทำให้ระดับความปั่นป่วนภายในส่วนทดสอบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อม (Pressure drop,  $\Delta P$ ) ส่วนทดสอบสูงขึ้นตาม

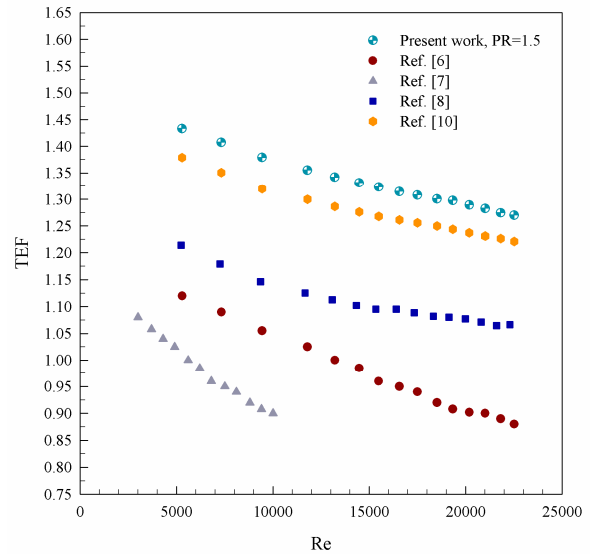
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนต่อตัวประกอบความเสียดทานของท่อผิวเรียบ ( $f/f_0$ ) กับ Re จากผลการทดลองพบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า  $f/f_0$  มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตาม โดย  $f/f_0$  มีค่าอยู่ในช่วง 31.2–39.12, 28.45–34.71, 26.54–31.46, 23.12–26.39 และ 18.83–20.62 สำหรับกรณีติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนที่  $P/H=1.0, 1.5, 2.0, 2.5$  และ  $3.0$  ตามลำดับ

#### 4.5 อิทธิพลของระยะพิชต์ต่อสมรรถนะเชิงความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ซึ่งคิดที่กำลังขับเดียวกันของปั๊ม/พัดลม จากสมการที่ (6) กับค่า Re แสดงดังรูปที่ 9 จากการทดลองพบว่า ค่า TEF มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re โดย TEF มีค่าอยู่ในช่วง 1.26–1.42, 1.27–1.43, 1.25–1.41, 1.23–1.39 และ 1.22–1.38 สำหรับกรณีติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนที่  $P/H=1.0, 1.5, 2.0, 2.5$  และ  $3.0$  ตามลำดับ โดยการติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนที่  $P/H=1.5$  มีค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.43 สำหรับกรณีทดสอบนี้ และมีค่ามากกว่างานวิจัยที่ผ่านมาจากเอกสารอ้างอิง [6,7,8, 10] ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TEF กับ Re



รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่า TEF กับเอกสารอ้างอิง [6,7,8,10]

### 5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาพฤติกรรมการพาความร้อนและความเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านท่ออุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยตัวสร้างการไหลหมุนควงตามแนวทิศทางการไหลชนิดครีบบางเอียงแบบแยกตัวที่สัดส่วนระยะพิชต์ต่างๆ พบว่า การติดตั้งครีบบางเอียงแบบดูดซับความร้อนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงกว่าท่อผิวเรียบ การติดตั้งครีบบางเอียงที่มีระยะพิชต์ถึงจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงกว่ากรณีการติดตั้งครีบบางเอียงที่มีระยะพิชต์ห่าง โดยมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 4.26–4.47 และ 31.2–39.12 สำหรับ  $Nu/Nu_0$  และ  $f/f_0$  ตามลำดับ ซึ่งพบที่กรณี  $P/H=1.0$  ขณะที่ค่า TEF สูงสุดของการทดสอบพบในกรณีการติดตั้งครีบบางเอียงที่  $P/H=1.5$  โดยมีค่าเท่ากับ 1.43 และมีค่าสูงกว่าการติดตั้งครีบบางเอียงแบบแยกตัวที่  $P/H=1.5$  สามารถช่วยพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์รวมถึงระบบแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไปได้ในแง่ของการประหยัดพลังงานเนื่องจากมีค่า TEF สูงสุด

### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Liu, M.Sakr, “A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19, pp. 64–81, 2013.



- [2] P. Promvonge, S. Skullong, S. Kwankaomeng, C. Thiangpong, "Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape-Part 1: Experimental study," *International Commu in Heat and Mass Transfer*, 39, pp. 617-624, 2012.
- [3] P. Promvonge, S. Skullong, S. Kwankaomeng, C. Thiangpong, "Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape-Part 2: Numerical study," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, pp. 625-633, 2012.
- [4] A. Kumar, R.P. Saini, J.S. Saini, "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, pp.151-163, 2013.
- [5] S. Skullong, S. Kwankaomeng, C. Thiangpong, P. Promvonge, "Thermal performance of turbulent flow in a solar air heater channel with rib-groove turbulators," *International Commu in Heat and Mass Transfer*, 50, pp. 34-43, 2014.
- [6] P. Promvonge, C. Thiangpong, "Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35, pp. 1327-1334, 2008.
- [7] S. Eiamsa-ard P. Promvonge, "Thermal characteristics of turbulent rib - grooved channel flows," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, pp. 705-711, 2009.
- [8] C. Thiangpong, T. Chompookham, S. Skullong, P. Promvonge, "Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, pp. 712-717, 2009.
- [9] S. Skullong, C. Thiangpong, P. Promvonge, "Effects of rib size and arrangement on forced convective heat transfer in a solar air heater channel," *Heat and Mass Transfer*, 51, pp. 1475-1485, 2015.
- [10] S. Skullong, "Performance enhancement in a solar air heater duct with inclined ribs mounted on the absorber," *Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering*, 5, pp. 55-64, 2017.
- [11] S. Skullong, P. Promvonge, C. Thiangpong, M. Pimsarn, "Thermal performance in solar air heater channel with combined wavy-groove and perforated-delta wing vortex generators," *Applied Thermal Engineering*, 100, pp. 611-620, 2016.
- [12] S. Skullong, P. Promvonge, C. Thiangpong, N. Jayranaiwachira, M. Pimsarn, "Heat transfer augmentation in a solar air heater channel with combined winglets and wavy grooves on absorber plate," *Applied Thermal Engineering*, 122, pp. 268-284, 2017.
- [13] F. Incropera, P.D. Dewitt. "Introduction to Heat Transfer," 5th edition, John Wiley & Sons Inc., 2006.