

**TSF 38** 

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

# การเพิ่มสมรรถนะความร้อนในช่องขนานโดยใช้ครีบครึ่งวงรี Thermal Performance Enhancement in a Channel with Semi-elliptical Ribs

<u>ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์<sup>1,\*</sup>,</u> สิริสวัสดิ์ จึงเจริญนิรชร<sup>2</sup>, อำนาจ คณะรัฐ<sup>1</sup> และ พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 <sup>2</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จ.ลพบุรี 15000 \*ผู้ติดต่อ: E-mail: witoon\_9912@hotmail.com, โทรศัพท์: +668 9170 9912, โทรสาร: +662 329 8352

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องขนานที่มีการติดครีบครึ่งวงรี โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในสภาวะแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ครีบครึ่งวงรีใช้เพื่อสร้างการหมุนกลับ และการหมุนซ้ำ มีสัดส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (*e/H*) = 0.05 หนา (t) = 10 มิลลิเมตร มีสัดส่วน ระยะพิตต์ต่อความสูงช่องขนาน (*P/H*, PR) = 1, 3 และ 5 ติดตั้งที่ผิวร้อนของส่วนทดสอบ ช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (Aspect Ratio, AR) = 6, ความสูงช่องขนาน (*H*) = 50 มิลลิเมตร การ ทดลองใช้ความเร็วการไหลของอากาศในระดับต่าง ๆ กัน ที่ค่าเลขเรยโนลด์ (Re) อยู่ในช่วง 7000 ถึง 28,000 จากนั้นทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในรูปของ ตัวประกอบเสียดทาน (f) เพื่อศึกษาผลของการติดตั้งครีบครึ่งวงรีและอิทธิพลของระยะพิตต์ (*P*) การศึกษาพบว่า การติดตั้งครีบครึ่งวงรี ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่องขนานที่ ผนังไม่มีครีบ และเมื่อเปรียบเทียบที่ค่า PR ต่าง ๆ พบว่า PR = 1 ให้ค่าสมรรถนะความร้อนสูงสุด (ŋ) เท่ากับ 1.28 **คำหลัก**: ครีบครึ่งวงรี, การไหลแบบปั่นปวนในช่องขนาน, ตัวเพิ่มความปั่นปวน, สมรรถนะความร้อน

#### Abstract

The paper presents the study of heat transfer and friction loss behaviors for airflow through a constant heat-fluxed channel fitted with semi-elliptical ribs. The ribs used to generate reverse/recirculation flow are placed on the upper plates of the tested channel. Effects of the rib pitch (*P*) on the heat transfer and friction loss in the channel are experimentally investigated. Measurements are carried out for the channel of aspect ratio, AR = 6 and height, *H* = 50 mm with a single rib height, *e*/*H* = 0.05, thickness (t) = 10 mm, and pitch ratios, PR=*P*/*H* = 1, 3 and 5. The flow rate is in terms of Reynolds numbers (Re) based on the inlet hydraulic diameter of the channel in a range of 7000 to 28,000. The experimental results show that the use of semi-elliptical ribs leads to the considerable increase in heat transfer coefficient and friction factor values in comparison with the smooth channel with no rib. In comparison, the PR = 1 rib yields the highest increase in thermal enhancement,  $\eta = 1.28$ .

Keywords: semi-elliptical rib, turbulent channel flow, turbulator, thermal enhancement



ขนานที่มี AR = 10 พบว่าครีบแบบความสูงเท่ากันให้ สมรรถนะความร้อนสูงกว่าแบบความสูงไม่เท่ากัน การ จัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนและ ความดันตกคร่อมมากกว่าแบบเยื้องกัน ครีบที่ความ สูงมากสุดให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตก คร่อมสูงสุด แต่ครีบที่ความสูงต่ำสุดจัดวางแบบเยื้อง กันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด และมีงานวิจัยอีก หลาย ๆ งานที่ให้ความสนใจในเพิ่มการถ่ายเทความ ร้อน โดยใช้ครีบเป็นตัวสร้างความป<sup>ั</sup>นป่วน [4-7] เพื่อ สร้างการหมุนกลับและการหมุนซ้ำ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทำการศึกษาการ ถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในช่องขนาน สี่เหลี่ยมผืนผ้า, AR = 6 ที่มีอากาศเป็นของไหล ทดสอบ ในสภาวะผิวแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยใช้ ครีบครึ่งวงรี มีสัดส่วนความสูงครีบต่อความสูง ช่องขนาน (*e/H*) = 0.05 หนา (*t*) = 10 มิลลิเมตร ระยะพิตต์ (*P*) = 50, 150 และ 250 มิลลิเมตร ดิดตั้งที่ ผิวบนของส่วนทดสอบ ใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบ หมุนวนไปมาที่ผิวบน โดยทำการศึกษาในช่วงการไหล แบบการไหลแบบปั่นปวน Re = 7000-28,000 เพื่อใช้ ข้อมูลในการพัฒนาปรับปรุงการออกแบบแผ่น แลกเปลี่ยนความร้อน

# 2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาการถ่ายเทความ ร้อนในช่องขนานในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ โดยเลข เรย์โนลด์ (Re) ในพจน์ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอ ลิค (D,) สามารถเขียนได้เป็น

$$\operatorname{Re} = UD_h / \nu , \qquad (1)$$

เมื่อ U และ v เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิง จลน์ของอากาศตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความ ร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จากการวัดอุณหภูมิและความ ร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q<sub>air</sub>) และความแตกต่างของอุณหภูมิผนังกับอุณหภูมิ อากาศ (T<sub>w</sub> – T<sub>b</sub>), สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย หาได้จากข้อมูลทดลองดังสมการ

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m}C_p (T_o - T_i) = VI , \qquad (2)$$

# 1. บทนำ

ในป<sup>ั</sup>จจุบันการผลิตความร้อนจากพลังงาน แสงอาทิตย์เป็นโครงการหนึ่งที่หน่วยงานของรัฐให้ ความสนใจ โดยมีหลักการนำเอาพลังงานความร้อน จากแสงอาทิตย์ใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ แต่เป็น ที่ทราบกันดีว่าการดึงพลังงานความร้อนจาก แสงอาทิตย์มาใช้ได้ จำเป็นต้องใช้วัสดุในการดูดซับ ความร้อน (การถ่ายเทความร้อน) จากพลังงาน แสงอาทิตย์ปริมาณมาก ซึ่งผู้วิจัยได้อาศัยหลักการ ้เพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทของแผ่นความร้อนที่ได้เคยมี การศึกษาโดย Benlu and Pei-Xue Jiang [1] ได้ ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติการ เสียดทานของแผ่นโซลาร์อีตเตอร์สี่เหลี่ยม ชนิดครีบ เอียงทำมุม 0° ถึง 90° กับทิศทางการไหล โดยมี ขอบเขตการศึกษาในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.001-0.0018 กิโลกรัม/วินาที ครีบระยะพิตต์ 4 มิลลิเมตร ความสูง 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร พบว่าที่ มุมครีบ 60° ให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตก ้คร่อมมากที่สุด แต่ที่มุม 20° ให้ประสิทธิภาพโดยรวม ของการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด เมื่อศึกษาต่อที่มุม ครีบ 20° พบว่าที่ระยะพิตต์น้อยลงให้การถ่ายเทความ ร้อนและความดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้น โดยที่ ระยะพิตต์เท่ากับ 1, 2 มิลลิเมตรให้ประสิทธิภาพรวม ของการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน Promvonge and Thianpong [2] ทำการศึกษา สมรรถนะความร้อนของครีบสามเหลี่ยมมุมฉากด้าน ์ตั้งรับลมและด้านเอียงรับลม ครีบสามเหลี่ยมหน้าจั่ว และสี่เหลี่ยม ที่ค่า e/H = 0.3 และ P/e = 6.67 ติดตั้งที่ ้ผิวบนและล่างของช่องขนานที่มี AR=15 พบว่าการจัด ้วางครีบสามเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมจัดวางแบบ แนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนสูงสุดแต่ครีบ สามเหลี่ยมหน้าจั่วจัดวางแบบเยื้องกันให้สมรรถนะ ความร้อนสูงสุด Thianpong et. al [3] ทำการศึกษา สมรรถนะความร้อนของครีบสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่ค่า e/H = 0.13, 0.2, 0.26 เท่ากันทั้งแผ่นและแบบไม่ เท่ากันโดยสลับค่าระหว่าง e/H = 0.13 และ 0.2 โดยที่ P = 40 มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่อง



$$h = \frac{Q_{conv}}{A(\tilde{T}_s - T_b)},$$
(3)

โดยที่ และ

$$T_{b} = (T_{o} + T_{i})/2, \qquad (4)$$
  
$$\tilde{T}_{s} = \sum T_{s}/10. \qquad (5)$$

พจน์ A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพา ของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ  $\widetilde{T}_s$  คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละ จุด ( $T_s$ ) ตามแนวยาวของช่องขนาน,  $T_i$ ,  $T_o$  คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยพจน์  $\dot{m}$ ,  $C_p$ , V และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่าง ศักย์และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ

เลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

$$Nu = \frac{hD_h}{k}.$$
 (6)

์ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{\left(L/D_{h}\right)} \frac{\Delta P}{\rho U^{2}}, \qquad (7)$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันตกคร่อม, ρ คือ ความ
 หนาแน่นของของไหลและ k คือ ค่าการนำความร้อน
 ของอากาศ คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศถูก
 กำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย (T<sub>b</sub>) จากสมการ (4)

ที่สภาวะกำลังขับ (pumping power) เดียวกัน

$$(\dot{V}\Delta P)_0 = (\dot{V}\Delta P),$$
 (8)

เมื่อ V่ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียน ในพจน์ตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ ได้เป็น

$$(f Re^{3})_{0} = (f Re^{3}),$$
  
 $Re_{0} = Re(f/f_{0})^{1/3}.$  (9)

สมรรถนะความร้อน (ŋ) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (*h*) เทียบกับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนผนังเรียบ (*h*<sub>0</sub>) ที่กำลัง ขับเดียวกัน

$$\eta = \frac{h}{h_0} \bigg|_{pp} = \left. \frac{\mathrm{Nu}}{\mathrm{Nu}_0} \right|_{pp} = \left( \frac{\mathrm{Nu}}{\mathrm{Nu}_0} \right) \left( \frac{\mathrm{f}}{\mathrm{f}_0} \right)^{-1/3}.$$
 (10)

### 3. อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1 ช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า ยาว 2000 มิลลิเมตร มีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง ขนาน (AR) = 6, ความสูงช่องขนาน (*H*) = 50 มิลลิเมตร, ส่วนทดสอบ ยาว (*L*) = 420 มิลลิเมตร กว้าง (*W*) = 300 มิลลิเมตร, ครีบครึ่งวงรี มีสัดส่วน ความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (*e*/*H*) = 0.05 หนา (*t*) = 10 มิลลิเมตร ระยะพิตต์ (*P*) = 50, 150 และ 250 มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนของส่วนทดสอบ ใช้เป็นตัว สร้างการไหลแบบหมุนวนที่ผิว ดังแสดงในรูปที่ 2

พัดลม (blower) ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ เป็น แหล่งกำเนิดการไหลของอากาศ. Control valve ควบคุมอัตราการไหลอากาศเข้าสู่ส่วนทดสอบ, Orifice meter ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้า ชุดทดลอง, Manometer ใช้วัดความแตกต่างของ ้ความดัน เพื่อใช้หาอัตราการใหลของอากาศ ความ แตกต่างของความดัน โดยการอ่านค่าจากความ แตกต่างของระดับน้ำ inclined manometer, settling tank ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มี การใหลปั้นปวนน้อยที่สุด, ช่องขนานปรับสภาพการ ไหล เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าชุดทดลองมีลักษณะ เป็น fully developed และไหลเข้าส่วนทดสอบ, แผ่น ช่องขนานถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,000 วัตต์ ติดตั้งที่แผ่นด้านบนของช่องขนาน, เครื่อง ควบคุมความร้อนแผ่นฮีตเตอร์ แบบปรับค่าโวลท์เตจ TDGC 2-3 kVA CAPACITY : 3000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมโวลท์เตจที่ให้กับ แผ่นฮีตเตอร์ ในการควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่น ฮ์ตเตอร์ให้ได้ตามที่กำหนด, Data logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิผิว 10 ตำแหน่ง, อุณหภูมิทางเข้าและทางออก เชื่อมต่อ ข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 12 ตัว, เครื่องวัดความดันตกคร่อมแบบดิจิตอล TESTO 4415



เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่ง ทางเข้าและทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์ บันทึกข้อมูลที่ได้รับจาก Data logger และเครื่องวัด ความดันตกคร่อม โดยส่วนทดสอบต้องมีการหุ้มฉนวน กันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจาก แผ่นอีตเตอร์ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก





ออกมีค่าคงที่ก่อน โดยอุณหภูมิผิวของส่วนทดสอบ วัดค่าทั้งหมด 10 จุด และอุณหภูมิอากาศทางเข้าและ ทางออกของส่วนทดสอบ 2 จุด ขณะเดียวกันก็ทำการ บันทึกค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบด้วย

## 5. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันของช่องขนานรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้า AR=6, ความสูงช่องขนาน 50

# 4. วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง เริ่มโดยการเปิดพัดลม ปรับ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศให้ได้ตามที่กำหนด ควบคุมความเร็วอากาศให้อยู่ในช่วง 0.20 ถึง 2.20 เมตรต่อวินาที ซึ่งที่ความเร็วดังกล่าวครอบคลุมค่าเลข เรย์โนลด์ระหว่าง 7000 ถึง 28,000 ในแต่ละช่วง ความเร็วอากาศที่ทดสอบ ก่อนทำการบันทึกค่าต้องให้ อุณหภูมิผิวภายในส่วนทดสอบและอุณหภูมิทางเข้า-



มิลลิเมตร โดยใช้ครีบครึ่งวงรี e/H = 0.05, t = 10 มิลลิเมตรและอัตราส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงช่อง ขนาน 3 ค่า, PR = 1, 3 และ 5 โดยครีบติดตั้งที่ผิวบน ของส่วนทดสอบ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังนี้

# 5.1 การทวนสอบช่องขนานผนังเรียบ

การทดลองนี้ศึกษาผลของการถ่ายเทความ ร้อนและการสูญเสียความดันของช่องขนานผนังเรียบ ในพจน์ของเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทาน ตามลำดับ เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับ สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และของ Blasius อ้างอิงในเอกสาร [8] ในช่วงการไหลแบบปั้นปวน

สหสัมพันธ์ของ Blasius, 3000≤*Re*≤20,000 f = 0.316Re<sup>-0.25</sup> (12)

จากรูปที่ 3 และ 4 เปรียบเทียบเลขนัสเซิลท์ และตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการทดลองกับ สหพันธ์สมการ (11) และ (12) พบว่าค่าคลาดเคลื่อน อยู่ในช่วง ±10% ทั้งสหสัมพันธ์เลขนัสเซิลท์และ สหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน โดยการคำนวณข้อ มูลค่าคลาดเคลื่อนอ้างอิงในเอกสาร [9]





เลขเรย์โนลด์ของท่อผนังเรียบ

5.2 อิทธิพลของครีบครึ่งวงรีและระยะพิตต์



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์ โนลด์เมื่อติดตั้งครีบครึ่งวงรี



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับ เลขเรย์โนลด์เมื่อติดตั้งครีบครึ่งวงรี

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์ เพิ่มขึ้น ให้ค่าเลขนัสเซิลท์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ครีบ



ครึ่งวงรี ให้ค่าเลขนัสเซิลท์เพิ่มมากขึ้นเมื่อ เปรียบเทียบกับผนังเรียบ เนื่องจากตัวสร้างความ ป<sup>ั่</sup>นปวนแบบครีบส่งผลต่อการลดความหนาของชั้น ขอบเขตและทำให้เกิดการสร้างความป<sup>ั่</sup>นปวนซ้ำใหม่ (flow redevelopment) กรณีครีบครึ่งวงรี ที่ PR = 1, 3 และ 5 ให้ค่าเลขนัสเซิลท์สูงกว่าผนังเรียบ ในช่วง 388-396%, 320-334% และ 255-263% ตามลำดับ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ เมื่อติดตั้งครีบครึ่งวงรีต่อเลขนัสเซิลท์ท่อผนังเรียบ ( Nu/Nu<sub>0</sub> ) กับเลขเรย์โนลด์





รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัว ประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่า เลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นค่าตัวประกอบเสียดทานลดลง และเกือบจะคงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์ค่าสูง เมื่อใช้ครีบ ครึ่งวงรีส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูง กว่าผนังเรียบ แต่อย่างไรก็ตามก็ให้ค่าเลขนัสเซิลท์ที่ สูงกว่าผนังเรียบมาก เนื่องจากการขวางกั้นการไหล (flow blockage) และพื้นผิวสัมผัสที่สูงขึ้น เป็นผลให้ เกิดการไหลกลับ (reverse flow) กรณีครีบครึ่งวงรี ที่ PR = 1, 3 และ 5 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูง กว่าผนังเรียบ ในช่วงประมาณ 30-39 เท่า, 25-32 เท่า และ 20-26 เท่าตามลำดับ

รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน เลขนัสเซิลท์เมื่อติดตั้งครีบครึ่งวงรีต่อเลขนัสเซิลท์ท่อ ้ผนังเรียบ ( Nu/Nu ) กับเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อ ติดตั้งครีบครึ่งวงรี ส่งผลให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทความ ร้อนสูงขึ้น โดยค่า Nu/Nu<sub>0</sub> มีแนวโน้มลดลงเมื่อเลข เรย์โนลด์เพิ่มขึ้นและแนวโน้มเกือบคงที่ที่เลขเรย์โนลด์ สูง ๆ และที่ค่า PR = 1, 3 และ 5 ให้ค่าอัตราส่วน เลขนัสเซิลท์เมื่อติดตั้งครีบครึ่งวงรีต่อเลขนัสเซิลท์ท่อ ผนังเรียบเฉลี่ยเท่ากับ 3.9, 3.3 และ 2.6 ตามลำดับ และรูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัว ประกอบเสียดทานเมื่อติดตั้งครีบครึ่งวงรีต่อตัว ประกอบเสียดทานท่อผนังเรียบ (f/f<sub>0</sub>) กับเลขเรย์ โนลด์ พบว่า f/f<sub>0</sub> มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ เพิ่มขึ้น โดยที่ PR= 1, 3 และ 5 พบว่าค่าอัตราส่วนตัว ประกอบเสียดทานเมื่อติดตั้งครีบครึ่งวงรีต่อตัว ประกอบเสียดทานท่อผนังเรียบเฉลี่ยเท่ากับ 35.6. 29.5 และ 23.5 ตามลำดับ





# 5.3 สมรรถนะความร้อนของการใช้ครีบครึ่งวงรี

รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างสรรถนะความ ร้อน (ŋ) กับเลขเรย์โนลด์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่คิดที่กำลังขับ เดียวกันตามสมการ (10) โดยพบว่าสมรรถนะความ ร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น เมื่อ เปรียบเทียบแต่ละกรณีค่า PR ต่างๆ พบว่าที่ PR = 1 ให้ค่าสมรรถนะความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น โดยมีค่า เท่ากับ 1.28 ที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นตัวชี้วัด ได้ว่าการใช้ครีบครึ่งวงรีให้สมรรถนะความร้อนที่ดีขึ้น

### 6. สรุปผลการทดลอง

ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการ สูญเสียความดันในช่องขนานที่อัตราส่วนรูปทรงสูง, AR = 6 ที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบ ในสภาวะผิว แบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่โดยใช้ครีบครึ่งวงรีที่ e/H = 0.05 ทดสอบในช่วงการไหลแบบป<sup>ั้</sup>นป่วน ที่เลข เรย์โนลด์ตั้งแต่ 7000 ถึง 28,000 พบว่าที่ค่า PR = 1 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดเท่ากับ 391% เมื่อ เทียบกับท่อผนังเรียบ ซึ่งเมื่อนำค่าการถ่ายเทความ ร้อน (Nu) และค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) มา วิเคราะห์เพื่อหาสมรรถนะความร้อน (η) ผลปรากฏว่า ้ครีบครึ่งวงรีที่ค่า PR = 1 ให้ค่าสมรรถนะความร้อน สูงสุดเท่ากับ 1.28 โดยพบค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ค่า ์ ต่ำ ๆ และลดลงที่ค่า PR = 3 และ 5 ตามลำดับ จะเห็น ้ได้ว่าการประยุกต์ใช้ครีบครึ่งวงรี ให้ค่าสมรรถนะ ความร้อนสูงขึ้นซึ่งจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงาน และลดขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้

### 8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

#### 8. เอกสารอ้างอิง

[1] Benlu, Jiang P.X. (2006). Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs, *Experimental Thermal and Fluid science*, 30, pp. 513-521.

[2] Promvonge P., Thianpong C. (2008). Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 35, pp. 1327-1334.

[3] Thianpong C., Chompookham T., Skullong S., Promvonge P. (2009). Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 36 pp. 712-717.

[4] Wu J.M., Tao W.Q. (2007). Investigation on laminar convection heat transfer in fin-and-tube heat exchanger in aligned arrangement with longitudinal vortex generator from the viewpoint of field synergy principle, *Applied Thermal Engineering*, 27, pp. 2609–2617.

[5] Aharwal K.R., Gandhi B.K., Saini J.S. (2008). Experimental investigation on heat-transfer enhancement due to a gap in an inclined continuous rib arrangement in a rectangular duct of solar air heater, *Renewable Energy*, 33, pp. 585-596.

[6] Gupta M.K., Kaushik S.C. (2009) Performance evaluation of solar air heater for various artificial roughness geometries based on energy, effective and exergy efficiencies, *Renewable Energy*, 34, pp. 465-476.

[7] Chu P., He Y.L., Lei Y.G., Tian L.T., Li R. (2009). Three-dimensional numerical study on finand-oval-tube heat exchanger with longitudinal vortex generators, *Applied Thermal Engineering*, 29, pp. 859–876.

[8] Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer*, sixth ed., John Wiley & Sons Inc.
[9] *ANSI/ASME*, (1986). Measurement uncertainty, PTC 19, 1-1985, Part I.