การถ่ายเทความร้อนในการไหลผ่านช่องขนานที่มีครีบสามเหลี่ยม

Heat Transfer in triangular-ribbed channel flows

ชานนท์ มะลิกุล ชนาธิป ชัยดิลกพัฒนกุล ชินรักษ์ เธียรพงษ์ พงษ์เจต พรหมวงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 Email: chanon@kmitl.ac.th

Chanon Malikul , Chanatip Chaidilokpatanakul, Chinaruk Thianpong , Pongjet Promvonge
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, 10520, Thailand
Tel: 0-2326-4197, Fax: 0-2326-4198, Email: chanon@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความบทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของช่องขนานที่มีครีบสามเหลี่ยมชนิดที่มีการถ่ายเท ความร้อนคงที่ (constant heat flux) การศึกษาจะพิจารณา ถึงสัดส่วนความสูงของครีบต่อระยะห่างแผ่นความร้อน (*e/D*) และการจัดรูปแบบแผ่นครีบที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Nusselt number) และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (friction factor) โดยมีขอบเขตการศึกษาที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) ตั้งแต่ช่วงระหว่าง 3,000 – 20,000 สัดส่วนความสูงครีบต่อระยะห่างแผ่นช่องขนานความร้อน (*e/D*) มีค่าเท่ากับ 0.125, 0.187 และ 0.25 การจัดระยะแผ่นครีบวางตรงและเยื้องกัน และระยะพิตต์คงที่เท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยผลที่ได้ จะทำการศึกษาเปรียบเทียบกับการถ่ายเทความร้อนของแผ่นช่องขนานความร้อนผิวเรียบ ภายใต้สภาวะการทดสอบเดียวกัน จากการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนความสูงครีบสามเหลี่ยมต่อระยะห่างแผ่นช่องขนาน (*e/D*)มีค่าเท่ากับ 0.125, 0.187 และ 0.25 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ 1.58, 2.28 และ 2.32 ในกรณีที่วางแผ่นครีบแบบแนวเดียวกัน และในกรณีที่วางแผ่นครีบเยื้องกัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ 1.62, 2.25 และ 2.28 ตามลำดับและการ
ถ่ายเทความร้อนยิ่งเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

Abstract

This paper presents the study of heat transfer enhancement in a ribbed channel with constant heat flux. Effects of Relative roughness height (*e/D*) and rib arrangement on heat transfer and friction loss in the ribbed channel are experimentally investigated. The scope of this experimental work is based on the Reynolds number at the inlet ranging from 3000 to 20,000; Relative roughness height (*e/D*) of 0.125, 0.187 and 0.25; and pitch length of 40 mm. The ribs used in the channel test section are placed in stagger and in-line arrangements. Experimental results obtained are compared with the results obtained from smooth plates under similar conditions. The experimental result reveals that the heat transfer and the friction loss increase considerably with the rise of Reynolds number and the Relative roughness height (*e/D*).

1. บทนำ

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทของแผ่นความร้อนที่ได้เคยมีการศึกษาดังนี้ Taslim et al. [1] รายงานค่านัสเซิลล์นัมเบอร์ที่จุดใดๆ ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความหยาบเนื่องจากมุมครีบ, รูปร่างครีบตัววี และความไม่ต่อเนื่องครีบ (แนวครีบตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหลและมีทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลสลับกันตลอดหน้าตัด) บนผิวท่อที่อยู่ตรงกันข้าม โดยให้ผิวท่อด้านหนึ่งถูกให้ความร้อนด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่ ในขณะที่ผิวท่อด้านอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความร้อน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเมื่อแนวครีบตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหล Rajendra Kawa [2] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของช่องหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีครีบขวางอยู่หนึ่งด้าน โดยครีบที่ทดลองมีลักษณะเป็นครีบตรง ครีบรูปตัววีต่อเนื่อง 60 องศา,ครีบรูปตัววีแบบแยกส่วน 60 องศา และครีบแทยงมุม 60 องศา โดยทำการทดลองที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ในช่วง 3,000 – 20,000 อัตราการส่วนความกว้างต่อความสูงแผ่นทดลองเท่ากับ 7.19-7.75 และอัตราส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงแผ่นครีบเท่ากับ 10 ความสูงครีบ 3.4 มิลลิเมตร ความกว้างครีบ 6.58 มิลลิเมตร ฟลักความร้อนชนิดคงที่ (Constant Heat Flux) โดยผลการทดลองพบว่าครีบรูปตัววีแบบแยกส่วน 60° จะ

มี ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดและมีค่าตัวประกอบความเสียดทานน้อยที่สุด ส่วนครีบตรงจะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุด ส่วนและครีบรูปตัววีต่อเนื่อง จะมีตัวประกอบความเสียดทานมากที่สุด

Giovanni Tanda [3] ได้ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติการเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ชนิดผิวรูปร่าง V-Shape ชนิดแยกส่วน โดยการศึกษาเป็นการศึกษาในช่วงค่าเรย์โนลด์ 8,900 – 28,500 ความขรุขระสัมพัทธ์ (e/D_h) 0.009, 0.15 ระยะพิตช์สัมพัทธ์ (p/e) เท่ากับ 4,8,13.5 อัตราส่วนความสูงพิตช์ต่อความสูงแผ่นช่องขนาน (e/H) 0.15,0.25 จากการทดลองสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสูงแผ่นครีบ (rib) มีค่าสูงขึ้น และแผ่นครีบมีลักษณะเป็นแบบแยกส่วน ระยะพิตช์ที่ 0.05 เมตรมีค่ามากกว่าระยะพิตช์ที่ 0.03 เมตร และที่การทดลองในช่วงดังกล่าวจะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่าแผ่นเรียบอยู่ประมาณ 300 เปอร์เซนต์ ส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (friction factor) มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงของแผ่นครีบมีค่าลดลง แผ่นครีบมีลักษณะเป็นรูปตัววี และครีบมีลักษณะเป็นแบบแยกส่วน

Benlu, Pei-Xue Jiang [4] ได้ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติการเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ชนิดครีบเอียงทำมุม 0 ถึง 90 องศากับทิศทางการไหล โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.001 – 0.0018 kg/s ระยะพิตช์ เท่ากับ 4 มิลลิเมตร ความสูงแผ่นครีบ 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่า ที่มุมครีบ 60 องศาจะให้ค่าสัมประสิทธิการพาความร้อนและแรงดันตกคร่อมมากที่สุดแต่พบว่าที่มุม 20 องศาจะให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด เมื่อศึกษาต่อที่มุมครีบ 20 องศาพบว่าที่ระยะพิตช์น้อยลงจะทำให้สัมประสิทธิการพาความร้อนและแรงดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้น และที่ระยะพิตช์ 1 และ 2 มิลลิเมตรจะให้ประสิทธิภาพรวมของการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน

2. ทฤษฎี

การพิจารณาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของช่องขนานชนิดมีครีบจำเป็นจะต้องพิจารณา ทั้งในส่วนพลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมและการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่ไหลผ่าน โดยพลังงานที่พัดลมใช้ในการขับเคลื่อนอากาศให้ไหลผ่านแผ่นช่องขนานสามารถพิจารณาได้คือ [5]

$$\dot{W}_{in} = Q\Delta p \qquad (1)$$

$$\Delta p = f\frac{\rho L\overline{V}^2}{2D_h} \qquad (2)$$

โดยที่

W_{in} = พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนอากาศให้ไหลผ่านช่องขนาน; *Watt*

Q = อัตราการไหลของของไหล, m^3/s

Δp = ความดันตกคร่อมของของไหล, [ ]

[ ] = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

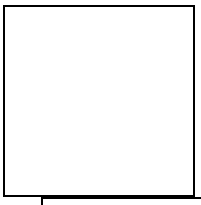
[ ] = ความหนาแน่นของของไหล,

[ ] = ความยาวท่อ, *m*.

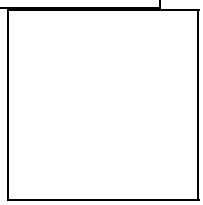
[ ] = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล,

[ ] = เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิค (hydraulic diameter), *m*.

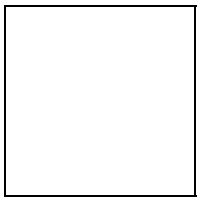
การสมดุลพลังงาน กรณีการถ่ายเทความร้อนที่ผิวคงที่ (constant heat flux)



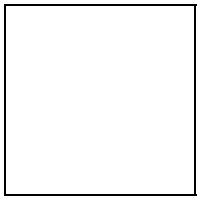
(3) โดยที่



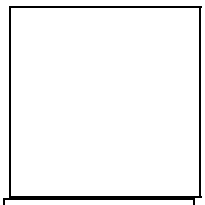
= อัตราการถ่ายเทความร้อนที่อากาศได้รับ,*Watt*



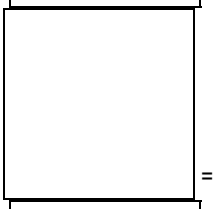
= อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, *kg/s*



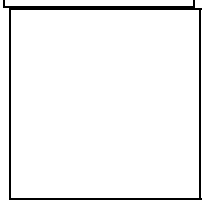
= ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, *kJ/kg.°K*



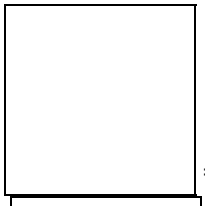
= อุณหภูมิอากาศด้านขาเข้า, *°C*



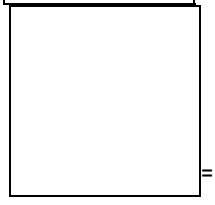
= อุณหภูมิอากาศด้านขาออก, *°C*



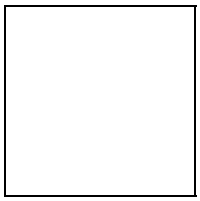
= ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, *W/m².°K*



= พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน, m^2

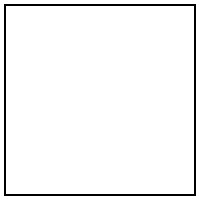


= อุณหภูมิผิวเฉลี่ยผนังร้อน, *°C*



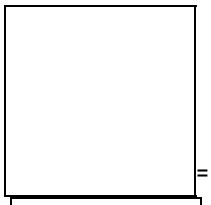
= อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย, $(T_i + T_o)/2$, *°C*

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Nusselt number; Nu_D)

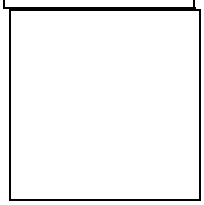


(4)

โดยที่

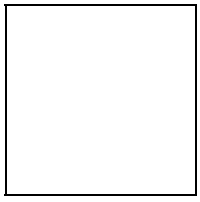


= ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



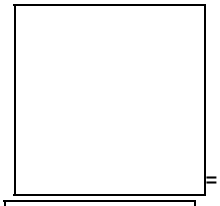
= *สัมประสิทธิ์การนำความนำความร้อนอากาศ;W/m.°K*

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Raynold number)

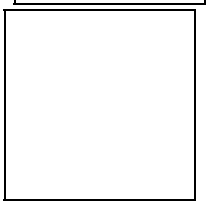


(5)

โดยที่

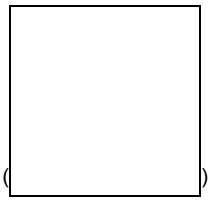


= ค่าตัวเลขเรย์โนลด์

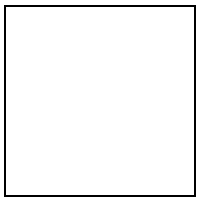


= ค่าความหนืดเชิงกลของอากาศ; kg/m.s

ค่าประสิทธิภาพการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

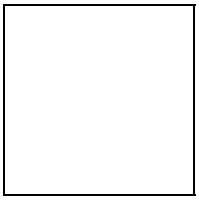


) กรณีพิจารณาถึงการสูญเสียกำลังเนื่องจากการไหลเดียวกัน (constant pumping power) ระหว่างท่อทดสอบผิวเรียบกับท่อทดสอบที่มีครีบ สามารถจัดสมการให้อยู่ในรูปของสมการพลังงานของการไหลได้ดังนี้



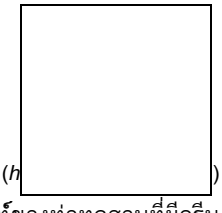
(6)

โดยที่

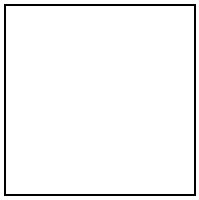


= อัตราการไหลเชิงปริมาตร, m^3/s

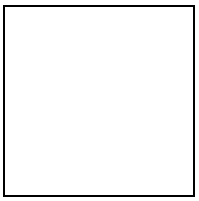
ตัวแปรทางด้านซ้ายมือของสมการ (6) เป็นพลังงานการไหลของของไหลในท่อเปล่าและตัวแปรทางด้านขวามือของสมการเป็นพลังงานการไหลของของไหลภายในท่อที่มีแผ่นครีบ ด้วยการพิจารณาบนพื้นฐานของการสูญเสียกำลัง เนื่องจากการไหลที่เท่ากัน ซึ่งในการพิจารณาประสิทธิภาพของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้นิยามขึ้นมาด้วยสัดส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อทดสอบที่มีครีบ(h) กับ



ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อเปล่า (h) หรือนิยามด้วยสัดส่วนของค่าตัวเลขนัสเซลท์ของท่อทดสอบที่มีครีบ (Nu) กับค่าตัวเลขนัสเซลท์ของท่อเปล่า (Nu_0) จากข้อแนะนำของ Webb [6]

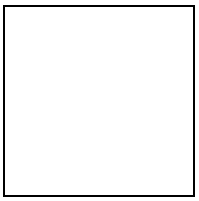


(7)

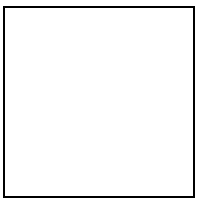


(8)

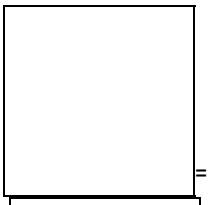
โดยที่



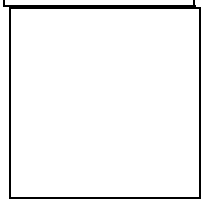
= ค่าประสิทธิภาพการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน,(-)



= ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อเปล่า, $W/m^2.{}^oK$



= ค่าตัวเลขนัสเซลท์ของท่อเปล่า, (-)

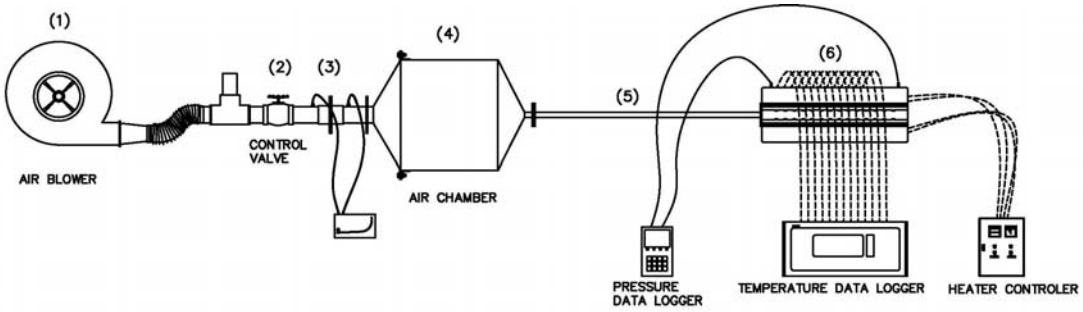


= สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของท่อเปล่า, (-)

3. อุปกรณ์ทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆตามรูปที่ (1) ด้านล่าง โดยใช้พัดลม (1) (blower) ขนาดพิกัด 1.5 kW เป็นแหล่งกำเนิดลม ซึ่งควบคุมปริมาณลมไหลเข้าชิ้นงานทดสอบโดยการปรับหรี่วาล์ว (2) โดยปริมาณลมแต่ละครั้งของการทดสอบจะถูกกำหนดโดยค่าความดันตกคร่อมแผ่น orifice (3) อากาศที่ไหลผ่านเข้าสู่ชุดทดลองจะต้องไหลผ่านกล่องลม (4) ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด และให้ไหลผ่านท่อปรับสภาพการไหล (5) เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าชุดทดลองมีลักษณะเป็น fully develop และไหลเข้าชิ้นงานทดสอบ (6) ชิ้นงานที่ทดสอบประกอบด้วยช่องขนานอลูมิเนียมที่มีครีบ ขนาดกว้าง 0.20 เมตร ยาว 0.55 เมตร และระยะความสูงของช่องขนาน (D) เท่ากับ 32 มิลลิเมตร โดยลักษณะครีบภายในช่องขนาน มีขนาดความสูง (e) เท่ากับ 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร และกว้าง (t) เท่ากับ 10 มิลลิเมตร และระยะพิตต์ (P) คงที่เท่ากับ 20 มิลลิเมตร โดยแผ่นช่องขนานดังกล่าวถูกทำให้ร้อนด้วย heater ไฟฟ้าขนาด 1,000 วัตต์ ติดตั้งประกบแผ่นคู่ขนานทั้ง 2 ด้าน โดยอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าออก และอุณหภูมิผิวภายในถูกวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล

type K จำนวนรวมทั้งสิ้น 16 จุด โดยบันทึกค่าที่วัดได้ลงอุปกรณ์ FLUKE 2680A ส่วนค่าความดันตกคร่อมแผ่นช่องขนานตรวจบันทึกค่าที่ได้ลงอุปกรณ์ TESTO 350 M/XL , TESTO 454



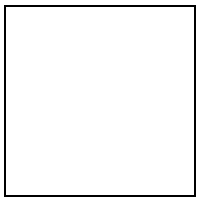
รูปที่ (1) แสดงอุปกรณ์การทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะต้องมีการหุ้มฉนวนใยแก้วกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่น Heater ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก

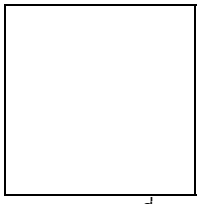
4.วิธีการทดลอง

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นช่องขนานที่มีครีบ โดยทดลองที่ขนาดความสูงแผ่นช่องขนานที่ (*D*) 32 มิลลิเมตร โดยลักษณะแผ่นครีบทดลองติดตั้งในลักษณะตรงและเยื้องทำมุม 0 และ 180 องศา ตามรูปที่ (3)

การทดลองทำการเปิดพัดลม จากนั้นปรับปริมาณการไหลของลมให้ได้ตามที่ต้องการ โดยควบคุมความเร็วลมให้อยู่ในช่วง 0.20 ถึง 2.20 เมตรต่อวินาที ซึ่งที่ความเร็วดังกล่าวครอบคลุมค่าตัวเลขเรย์โนลด์ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 3,000 ถึง 20,000 ในแต่ละช่วงความเร็วลมที่ทดสอบ จะต้องรอให้อุณหภูมิผิวภายในแผ่นช่องขนานและอุณหภูมิอากาศเข้าออกมีค่าคงที่ก่อนจะทำการบันทึกค่า โดยอุณหภูมิแผ่นช่องขนานทำการตรวจวัดทั้งหมด 14 จุด และอีก 2 จุดสำหรับอุณหภูมิอากาศเข้าและออกแผ่นช่องขนาน ในขณะเดียวกันก็ทำการบันทึกค่าความดันตกคร่อมแผ่นช่องขนานดังกล่าวด้วย



รูปที่ (2) แสดงค่าตัวแปรระยะต่างๆ

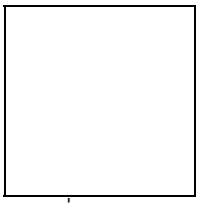


รูปที่ (3) แสดงภาพตัดช่องขนานชนิดครีบตรง

5.ผลการทดลอง

ผลของการทดลองแสดงในรูปความสัมพันธ์ต่างๆในรูปแบบกราฟได้ดังนี้

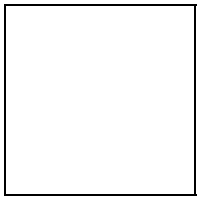
รูปที่ (4) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขนัสเซิลล์กับตัวเลขเรย์โนลด์ กรณีท่อมีครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีความหนา 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร เมื่อติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้อง จากการทดลองพบว่าในช่วงการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ เมื่อค่าเรโนลด์นัมเบอร์ของครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีความหนาต่างๆ เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่านัสเซิลล์นัมเบอร์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การติดตั้งครีบแบบมีแนวเดียวกันจะให้ค่านัสเซิลล์นัมเบอร์มากกว่าการติดตั้งครีบแบบมีแนวเยื้อง และจากการทดลองยังพบอีกว่าเมื่ออัตราส่วน e/D มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่านัสเซิลล์นัมเบอร์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยมีขอบเขตการศึกษาอัตราส่วนความสูงครีบต่อระยะห่างระหว่างผิวบนและผิวล่างภายในชุดทดลองในช่วงอัตราส่วน e/D < 0.125 พบว่าที่อัตราส่วน e/D = 0.125 ความสูงครีบเท่ากับ 1.6 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างผิวบนและผิวล่างภายในชุดทดลองเท่ากับ 3.2 เซนติเมตร เมื่อติดครีบที่ผิวบนและผิวล่างท่อภายในชุดทดลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบมีแนวเดียวกัน จะไม่ทำให้เกิดการไหลของอากาศผ่านชุดทดลอง



รูปที่ (4) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขนัสเซิลล์กับตัวเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนนัสเซิลล์ต่อตัวเลขนัสเซิลล์ของท่อที่มีผนังเรียบกับเรย์โนลด์นัมเบอร์กรณีครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีความหนา 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร เมื่อติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้อง จากการทดลองพบว่าในช่วงการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอัตราส่วน e/D = 0.25 มีค่านัสเซิลล์นัมเบอร์เฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 11.50 และ 11.18 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้องตามลำดับ ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอัตราส่วน e/D = 0.1875 มีค่านัสเซิลล์นัมเบอร์เฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 8.11 และ 7.78 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกัน

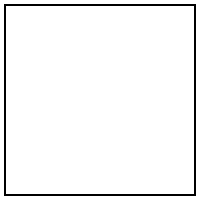
และมีแนวเยื้องตามลำดับ และครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอัตราส่วน e/D = 0.125 มีค่านัสเซิลล์นัมเบอร์เฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 3.50 และ 3.32 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้องตามลำดับ



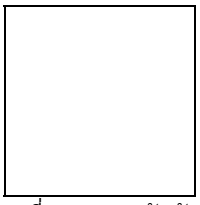
รูปที่ (5) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนนัสเซิลล์ต่อตัวเลขนัสเซิลล์ของท่อที่มีผนังเรียบกับเรย์โนลด์นัมเบอร์

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขเรย์โนลด์และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กรณีท่อมีครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีความหนา 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร เมื่อติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้อง จากการทดลองพบว่าในช่วงการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่มีความหนาต่างๆ มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เพิ่มขึ้น การติดตั้งครีบแบบมีแนวเดียวกันจะให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากกว่าการติดตั้งครีบแบบมีแนวเยื้อง และจากการทดลองยังพบอีกว่าเมื่ออัตราส่วน e/D มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

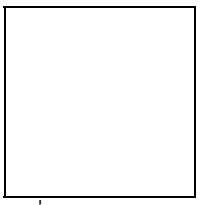
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขเรย์โนลด์ และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานช่องขนานมีครีบต่อช่องขนานเรียบ กรณีท่อมีครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีความหนา 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร เมื่อติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้อง จากการทดลองพบว่าในช่วงการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอัตราส่วน e/D = 0.25 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 121.68 และ 117.59 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้องตามลำดับ ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอัตราส่วน e/D = 0.1875 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 44.97 และ 41.42 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้องตามลำดับ และครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่มีอัตราส่วน e/D = 0.125 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ย มากกว่าผนังเรียบ 10.75 และ 8.57 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้องตามลำดับ



รูปที่ (6) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขเรย์โนลด์และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

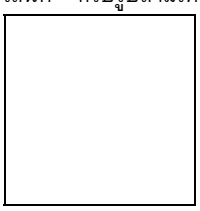


รูปที่ (7) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขเรย์โนลด์ และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานช่องขนานมีครีบต่อช่องขนานเรียบ

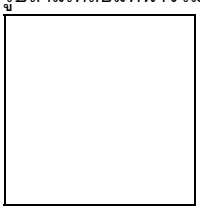


รูปที่ (8) ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับตัวเลขเรย์โนลด์

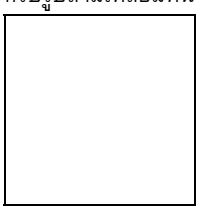
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับตัวเลขเรย์โนลด์ กรณีท่อมีครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีความหนา 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร เมื่อติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้อง จากการทดลองพบว่าในช่วงการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอัตราส่วน e/D = 0.25 มีค่า



เฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 2.32 และ 2.28 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้องตามลำดับ ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอัตราส่วน e/D = 0.1875 มีค่า



เฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 2.28 และ 2.25 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้องตามลำดับ และครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีอัตราส่วน e/D = 0.125 มีค่า



เฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 1.58 และ 1.62 เท่า สำหรับการติดครีบแบบมีแนวเดียวกันและมีแนวเยื้องตามลำดับ

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองช่องขนานที่มีครีบพบว่าครีบภายในช่องขนานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิการถ่ายเทความให้เพิ่มสูงขึ้นได้ โดยการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายความร้อนจะขึ้นอยู่กับ รูปแบบการไหลของอากาศภายในช่องขนาน โดยค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าสูงขึ้นก็จะทำ

ให้ค่า *Nu* มีค่าสูงขึ้นตาม รวมถึงการจัดรูปแบบครีบภายในช่องขนานโดยการวางแผ่นครีบตรงจะมีแนวโน้มของค่า *Nu* สูงกว่าการวางแผ่นครีบเยื้อง

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นภายช่องขนานที่มีครีบสามเหลี่ยมพบว่าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่า *Re* มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่อัตราส่วนสัดส่วนความสูงครีบสามเหลี่ยมต่อระยะห่างของแผ่นช่องขนานความร้อน (*e/D*) เท่ากับ 0.125จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย(ค่อนข้างคงที่)เมื่อ *Re* มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าประสิทธิภาพการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายช่องขนานที่มีครีบสามเหลี่ยมพบว่าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่า *Re* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนความสูงครีบต่อระยะห่างแผ่นช่องขนานความร้อน (*e/D*) มีค่าสูงขึ้นก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าประสิทธิภาพการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนรูปแบบการจัดรูปแบบแผ่นครีบตรงและแผ่นครีบเยื้องพบว่าแผ่นครีบตรงจะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าประสิทธิภาพการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นเยื้อง

7. กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัยภายใต้โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมจาก “ส่วนงานกลาง สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ”

เอกสารอ้างอิง

[1]. M.E. Taslim, T. Li, D.M. Kercher, 1996. Experimental heat transfer and friction in channels roughened with angled, V-shaped, and discrete ribs on two opposite walls, ASME J. Turbomachinery Vol.118, pp. 20-28.

[2]. Rajendra Karwa, 2003. Expermental Studies of Augmented Heat Transfer and Friction in Asymmetrically Heated Rectangular Ducts with Ribs on The Heated wall in Transverse, Inclined, V-Continuous and V-Discrete Pattern, Int. Comm Heat Mass Transfer Vol. 30 No.2, pp.241-250.

[3]. Giovanni Tanda, 2004. Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs, Int J of Heat and Mass Transfer Vol. 47 pp.229-243.

[4]. Benlu, Pei-Xue Jiang, 2006. Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs. Experimental Thermal and Fluid Science Vol.30, 6, pp. 513-521.

[5]. พงษ์เจต พรหมวงศ์ “การถ่ายเทความร้อน” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2542 หน้า 225-252.

[6]. Webb R L., 1992. Principles of Enhanced Heat Transfer John-Wiley & Sons, New York, USA, pp. 166-194.