

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่ติดตั้งครีบบางเอียง
HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN A CIRCULAR TUBE FITTED
WITH INCLINED BAFFLE

นรินทร์ กลนภาดล^{1*}, ชีรพจน์ แบนเนียน² และ พงษ์เจต พรหมวงศ์³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา 24000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ผู้ติดต่อ: E-mail: narin2006@gmail.com, โทรศัพท์: 0-3856-8192

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียจากความเสียดทานที่ติดตั้งครีบบางเอียงในท่อกลมภายใต้เงื่อนไขพารามิเตอร์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยศึกษาผลของการวางครีบบางที่อัตราส่วนระยะห่างของครีบบางต่อความสูงท่อ (P/D , PR) เท่ากับ 1 ครีบบางทำมุมปะทะ (α) = 60° และค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหล (e/D , BR) เท่ากับ 0.10, 0.15 และ 0.20 ติดตั้งภายในท่อทดสอบ การทดสอบจะใช้ความเร็วของอากาศที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) ในช่วง 3500 – 25000 โดยจะศึกษาผลของครีบบางเอียงต่อการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความเสียดทานในท่อและผลจากการศึกษาที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ จากการศึกษพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการบล็อกการไหลจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้น โดยท่อที่ติดตั้งครีบบางเอียงที่ค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหลเท่ากับ 0.10 จะให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดถึง 1.61 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ

คำหลัก: ครีบบางเอียง, การถ่ายเทความร้อน, ตัวประกอบเสียดทาน, ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

Abstract

The paper present the study of heat transfer and friction loss behaviors through a constant heat-fluxed tube fitted with inclined baffle. Measurements are carried out for the tube of pitch ratio (P/D , PR) = 1 attack angle (α) = 60° and blockage ratio (e/D , BR) = 0.10, 0.15 and 0.20. The flow rate is in terms of Reynolds numbers (Re) in the range of 3500 – 25,000. Effects of inclined baffle on heat transfer and friction loss in tube are studied and also compared with smooth tube. The increase of the blockage ratio, BR leads to an increase in the Nusselt number and friction factor. The results reveal that the BR = 0.10 provide the highest thermal enhancement factor that is 1.61 times compared with smooth tube.

Keyword: inclined baffle, heat transfer, friction factor, thermal enhancement factor.

คำศัพท์เฉพาะ

A	พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน, m^2
$C_{p,Air}$	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, $kJ/kg.K$
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, m
f	ตัวประกอบเสียดทาน
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย, $W/m^2.K$
k	สมบัติการนำความร้อน, $W/m.K$
L	ความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, m
m	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s
Nu	เลขนัสเซลล์
ΔP	ความดันตกคร่อมอากาศ, Pa
Pr	Prandtl Number
Re	เลขเรย์โนลด์
$\dot{Q}$	อัตราการถ่ายเทความร้อน, W
T	อุณหภูมิ, K
U	ความเร็วเฉลี่ย, m/s
$\dot{V}$	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ, m^3/s
BR	อัตราส่วนการบล็อกการไหล
PR	อัตราส่วนระยะห่างของครีป
e	ความสูงของครีป, m
α	มุมปะทะการไหล, องศา

สัญลักษณ์

ρ	ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3
η	ตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน
ν	ความหนืดจลน์, m^2/s

ตัวห้อย

a	กรณีติดครีป
o	กรณีท่อผิวเรียบ
conv	การพา
i	ทางเข้า
o	ทางออก

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและต้นทุนในการผลิตในกรณีที่อัตราการถ่ายเทความร้อนยังสูงอยู่ ซึ่งตัวแปรสำคัญในการลดขนาดและค่าใช้จ่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นในขณะที่สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มาก วิธีการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนหรือการสร้างความปั่นป่วนของของไหลเป็นเทคนิคแบบหนึ่งที่ใช้ในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนซึ่งในทางปฏิบัติสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นได้ สำหรับเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้อาศัยหลักการเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากชั้นงานทดสอบส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากการขัดขวางการไหลก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนและเกิดการไหลแยกตัวจากครีปแล้วตกกระทบพื้นผิวร้อนไปทำลายชั้นขอบเขตความหนาของของไหลส่งผลให้ค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นในบริเวณที่มีการตกกระทบนั้น ซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ที่ศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้

Kwankaomeng et. al [1] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วง เลขเรย์โนลด์ 4000- 25000 สอดใส่ด้วยแผ่นกันเสียงทำมุม 45 องศา ในแนวเอียง ที่ด้านบน และด้านล่างของท่อ สัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงท่อ (PR) = 3 สัดส่วนความสูงแผ่นกันต่อความสูงท่อ (e/H) = 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 จากการทดลองพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นกัน (e/H) = 0.4 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อน และค่าตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด

Ben Lu และ Pei-Xue Jiang [2] ได้ทำการศึกษาการไหลของอากาศในช่องทางไหลที่มีริบสี่เหลี่ยมวางตัวบนผนังด้านหนึ่งและทำมุมปะทะ 45 องศา กับทิศทางการไหล ในส่วนทดลองที่มีขนาด 39.3 mm x 39.3 mm x 4 mm และริบมีขนาด 1 mm x 0.8 mm มีระยะห่างระหว่างริบ 4 mm เปรียบเทียบผลระหว่างการทดลอง และการคำนวณโดยใช้โปรแกรม FLUENT 6.1 ผลการคำนวณได้แสดงให้เห็นว่า การใส่ริบที่ทำมุมปะทะ

1. บทนำ

ในปัจจุบันการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้มีการพัฒนาเพื่อต้องการลดขนาดของ

ต่างๆ กัน วัสดุที่ทำมุมปะทะ 60 องศา ให้ค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด แต่วัสดุที่ทำมุมปะทะ 20 องศา มีสมรรถนะดีที่สุดที่ระยะห่างระหว่างริบ 4 mm และจากการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างริบต่อการถ่ายเทความร้อน พบว่าที่ระยะห่างระหว่างริบ 1-2 mm และมีมุมปะทะ 20 องศา ให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด

D.N. Ryu et. al [3] ได้วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนด้วยการคำนวณของการไหลแบบปั่นป่วนในช่องทางไหลที่มีริบเป็นผิวขรุขระ โดยวิเคราะห์การไหลทั้งแบบ 2 มิติ และแบบ 3 มิติ การวิเคราะห์แบบ 2 มิตินั้น มีริบรูปทรง 4 แบบ คือ ริบแบบสี่เหลี่ยม ริบสามเหลี่ยม ริบครึ่งวงกลม และริบแบบคลื่นรูปไซน์ การคำนวณใช้โปรแกรม FLUENT เลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ SST $k-\omega$ ผลการคำนวณพบว่า ริบแบบสี่เหลี่ยม มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด

Promvongse and Eiamsa-ard [4] ศึกษาถึงการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการให้ความร้อนที่ผิวคงที่ในท่อกลม โดยใช้ Conical nozzles ซึ่งเป็นเหมือนเป็นการสร้างให้เกิดลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน และชุดหอยโข่ง จะเป็นเหมือนการสร้างให้เกิดการไหลแบบหมุนวน (Swirl generator) มาช่วยในการทดลอง โดยใช้ Conical nozzles จะถูกติดตั้งไว้ภายในท่อที่มีอากาศไหลผ่าน ซึ่งมีระยะพิท (PR) แตกต่างกัน 3 ช่วง คือ 2.0 , 4.0 และ 7.0

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบเสียของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลม ที่ติดตั้งครีววางเอียง โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3500 – 25000 สำหรับนำไปพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีสมรรถนะสูงขึ้น

2. สมมติฐานและทฤษฎี

การพิจารณาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อกลมหน้าตัดคงที่ที่มีการใส่ตัวสร้างความปั่นป่วนไว้ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จำเป็น

จะต้องพิจารณาทั้งในส่วน of พลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมและค่าการถ่ายเทความร้อน โดยพลังงานที่พัดลมใช้ในการขับเคลื่อนอากาศให้ไหลผ่านท่อกลมสามารถพิจารณาได้คือ

$$\dot{W}_p = Q\Delta P \quad (1)$$

$$\Delta P = f \frac{\rho L \bar{V}^2}{2D} \quad (2)$$

$$\Delta p = \rho_{\text{water}} gh \quad (3)$$

การสมดุลพลังงานกรณีฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant Heat flux)

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_i - T_o) = hA_s(T_s - T_b) \quad (4)$$

โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i)/2$$

ค่าตัวเลขนัสเซลล์ (Nusselt Number, Nu)

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (5)$$

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Raynold number, Re)

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (6)$$

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (η_{pp}) โดย Webb (1994)

$$\eta = (Nu_T / Nu_P) / (f_T / f_P)^{1/3} \quad (7)$$

สหสัมพันธ์ที่นำมาเปรียบเทียบในรูปแบบตัวเลข

นัสเซลล์ (Nusselt Number, Nu)

สหสัมพันธ์ของ Dittus and Boelter (1930)

$$Nu = 0.023 Re^{4/5} Pr^n \quad (8)$$

สำหรับ $Re \geq 1 \times 10^4$

โดยที่ $n = 0.3$ สำหรับการทำให้เย็น

$n = 0.4$ สำหรับการทำให้ร้อน

สหสัมพันธ์ของ Gnielinski (1976)

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (9)$$

สำหรับ $3000 \leq Re \leq 5 \times 10^6$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov (1970)

$$Nu = \frac{(f/8)Re Pr}{1.07 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)} \quad (10)$$

สำหรับ $3000 \leq Re \leq 5 \times 10^6$

สหสัมพันธ์ที่นำมาเปรียบเทียบในรูปแบบค่าตัว
ประกอบเสียดทาน (Friction Factor, f)

สหสัมพันธ์ของ Petukhov (1970)

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (11)$$

สำหรับ $3000 \leq Re \leq 5 \times 10^6$

สหสัมพันธ์ของ Blasius (1944)

$$f = 0.316 Re^{-1/4} \quad \text{สำหรับ } Re \leq 2 \times 10^4 \quad (12)$$

$$f = 0.184 Re^{-1/5} \quad \text{สำหรับ } Re \geq 2 \times 10^4 \quad (13)$$

3. อุปกรณ์ทดลอง

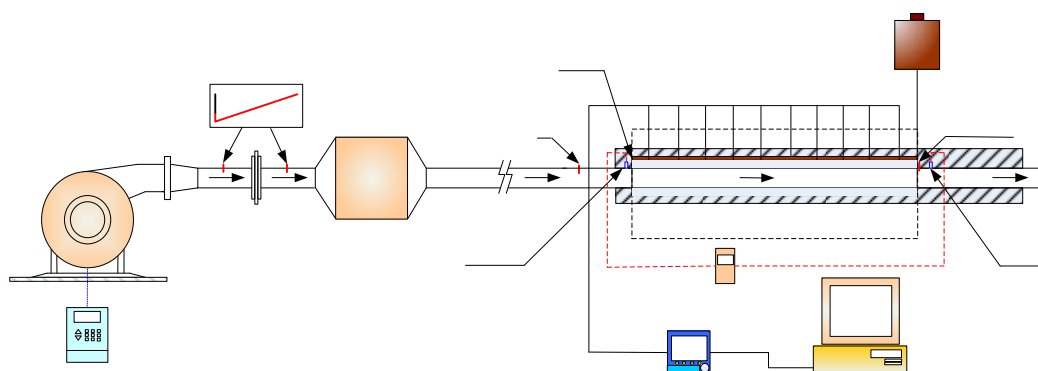
อุปกรณ์สำหรับการทดสอบการถ่ายเทความร้อน ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 1 โดยใช้ท่อทดสอบเป็นอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D) = 48 มิลลิเมตร หนา (t) = 1.5 มิลลิเมตร ยาว (L) = 1000 มิลลิเมตร และมีการติดตั้งตัวทำความร้อน (Heater) ขนาด 3000 วัตต์ ตลอดความยาว 1000 มิลลิเมตร ไว้ที่ผิวท่อทดสอบ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิผิวท่อจำนวน 20 จุด ตลอดความยาวท่อทดสอบ รวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า-ออกของท่อทดสอบ

จำนวน 2 จุดวัดพร้อมทั้งติดตั้งชุดวัดความดันลด (Pressure drop) ระหว่างช่วงทดสอบ สร้างการไหลของอากาศโดยใช้พัดลม (Blower) ขนาด 2 HP

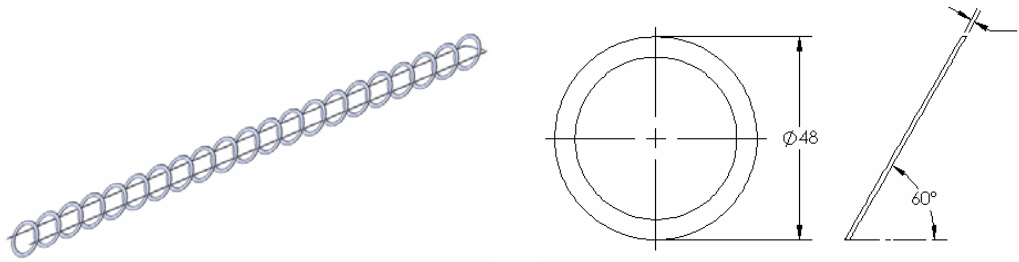
ชิ้นงานที่ใส่ในท่อทดสอบทำจากอลูมิเนียมลักษณะเป็นแผ่นออร์ฟิชเอียง ทำการจัดวางครีที่ค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหล (Blockage ratio, BR) เท่ากับ 0.10, 0.15 และ 0.20 โดยครีวางเอียงทำมุมปะทะที่ (α) เท่ากับ 60° และมีค่าอัตราส่วนระยะพิตต่อความสูงท่อ (Pitch ratio, PR) เท่ากับ 1 ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีความหนา (t) เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.

4. วิธีการทดลอง

ขั้นตอนในการทำการทดลองเริ่มต้นโดยการใส่ครีบลูมิเนียมเอียงที่ค่า BR ต่างๆ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากนั้นจึงเปิดเครื่องให้ความร้อนและพัดลม โดยปรับอัตราการไหลของอากาศที่ค่าต่างๆ จำนวน 14 ค่าการไหล ซึ่งอยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 3500 - 25000 ในแต่ละช่วงทดสอบต้องรอให้อุณหภูมิผิวท่อและอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและทางออกมีค่าคงที่ก่อนทำการบันทึกผล โดยวัดค่าอุณหภูมิผิวท่อจำนวน 20 จุดทั้งด้านล่างและด้านข้างของท่อ วัดตลอดความยาวท่อและอ่านค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของท่อ 2 จุด พร้อมทั้งทำการบันทึกค่าความดันตกคร่อมท่อทดสอบตามลำดับ



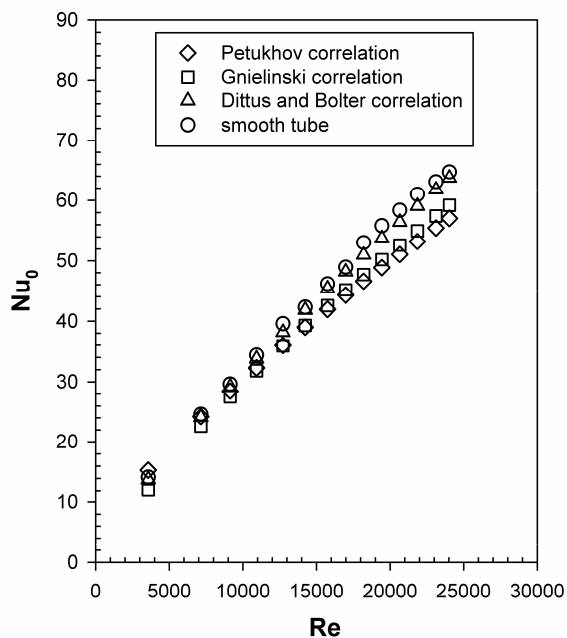
รูปที่ 1. ชุดทดสอบการถ่ายเทความร้อน



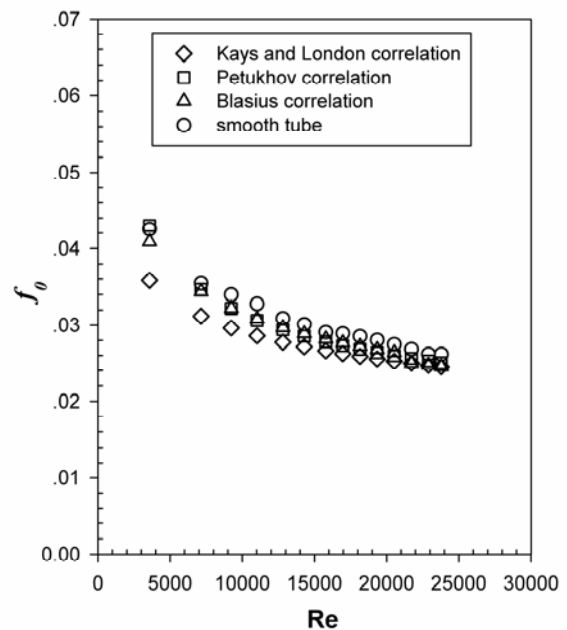
รูปที่ 2. ชิ้นงานทดสอบคีมวางเอียง

5. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองท่อผิวเรียบเพื่อเปรียบเทียบกับสหพันธ์ที่ได้รับการยอมรับจากทั่วโลก ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3500 – 25000 จากการทดสอบพบว่า เลขนัสเซิลท์ของท่อทดสอบเทียบกับสหพันธ์ของ Dittus and Bolter มีค่าความผิดพลาด +4% ดังรูปที่ 3. และค่าตัวประกอบเสียดทานท่อทดสอบเทียบกับสหพันธ์ของ Blasius มีค่าความผิดพลาด +7% ดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4.

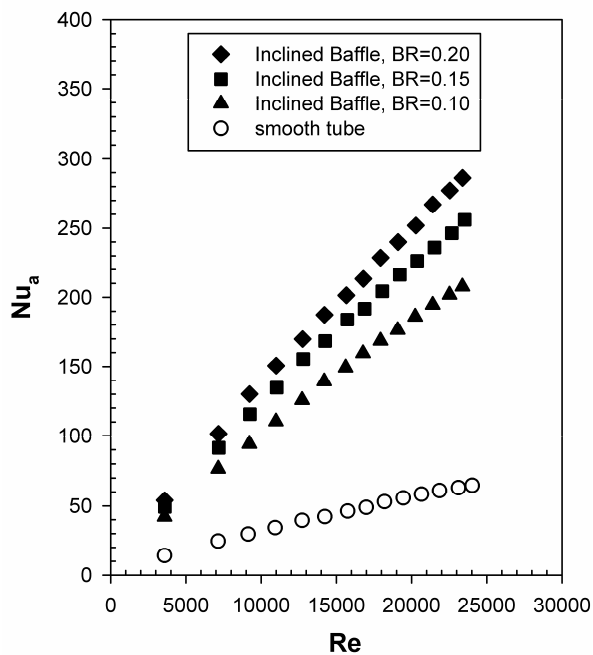


รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับเลขนัสเซิลท์

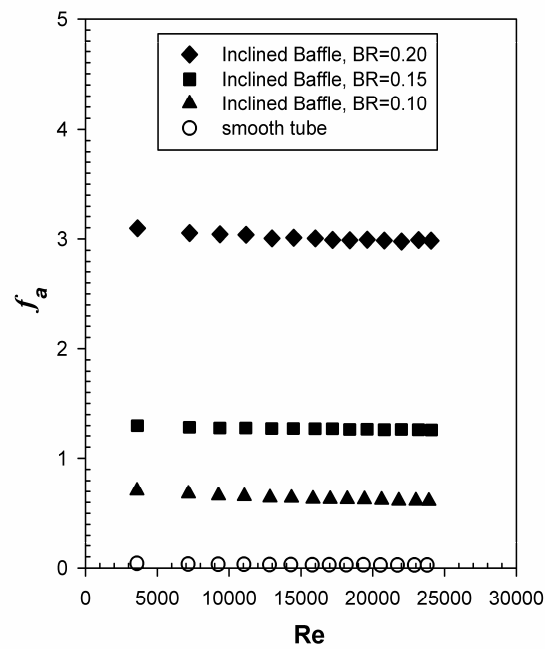


รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบเสียดทานกรณีท่อผิวเรียบ

รูปที่ 5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ (Re) กับเลขนัสเซิลท์ (Nu) พบว่าการใส่คีมวางเอียงที่มุมปะทะเท่ากับ 60° ค่าอัตราส่วนระยะพิตต่อความสูงท่อ (Pitch ratio, PR) เท่ากับ 1 และค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหล (BR) เท่ากับ 0.20 ส่งผลให้เพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดเมื่อเทียบกับค่า BR = 0.1 และ 0.15 โดยสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงขึ้น 434 เปอร์เซ็นต์โดยเทียบกับท่อผิวเรียบ และมีค่าลดลงที่ค่า BR = 0.15 และ 0.10 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1.



รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ (Re) กับเลขนัสเซลท์ (Nu_a) กรณีติดตั้งครีบบางเอียง



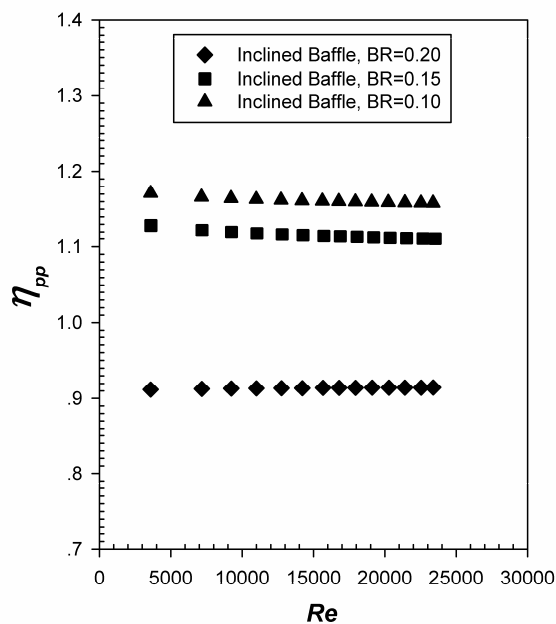
รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ (Re) และตัวประกอบเสียดทาน (f_a) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่ครีบบางเอียง

ตารางที่ 1. แสดงค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ย

Turbulators	Nu_a/Nu_0	f_a/f_0
Inclined Baffle, BR = 0.10	321%	21.2
Inclined Baffle, BR = 0.15	388%	42.2
Inclined Baffle, BR = 0.20	434%	107.5

รูปที่ 6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ (Re) และตัวประกอบเสียดทาน (f_a) พบว่าค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหล (BR) เท่ากับ 0.20 ส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเทียบกับค่า BR = 0.10 และ 0.15 โดยเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 107.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับท่อเรียบ และลดลงที่ค่า BR = 0.15 และ 0.10 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1.

รูปที่ 7. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ (Re) กับตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η_{pp}) พบว่าเมื่อใส่ครีบบางเอียงในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้น พร้อมกับส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นตาม โดยเมื่อนำมาวิเคราะห์ในกรณีพลังงานปั๊มเดียวกันกับท่อผิวเรียบ พบว่าที่ค่า BR = 0.10 ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงสุดและลดลงที่ค่า BR = 0.15 และ 0.20 เท่ากับ 116, 112 และ 91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 7. ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบกำกับการถ่ายเทความร้อน

6. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยพบว่าการใส่ครีบบางเอียงเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นได้ ซึ่งการใส่ครีบบางเอียงในท่อจะช่วยให้เกิดการไหลแยกตัวบริเวณหลังครีบบางเอียง ส่งผลให้อากาศเกิดการหมุนควงบริเวณหลังครีบบางเอียง ส่งผลให้เลขนัสเซลล์มีค่าสูงขึ้น โดยที่ค่า $BR = 0.20$ จะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยได้สูงขึ้นประมาณ 434 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ แต่จะส่งผลให้มีตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลมาจากการที่ครีบบางมีความสูงเกินไป ในขณะที่ครีบบางที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ตัวประกอบกำกับการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 116 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ

จากการติดตั้งครีบบางเอียงที่มีค่า $BR = 0.10$ เมื่อเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบจะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบที่พลังงานเท่ากัน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงาน

8. เอกสารอ้างอิง

8.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] S. Kwankaomeng, S. Skullong, T. Teschareon and P.Promvonge. 2010. Thermal Characteristics in Square Channel with 45° Staggered Baffle inserts. International Conference on Energy and Sustainable Development
- [2] Ben Lu, Pei-Xue Jiang, Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs, Experimental Thermal and Fluid Science 30 (2006) 513–521
- [3] D.N. Ryu et al, Analysis of turbulent flow in channels roughened by two-dimensional ribs and three-dimensional. Int. J. Heat Fluid Flow (2007).
- [4] Promvonge P, Eiamsa-ard S, Heat transfer enhancement in a tube with combined conical-nozzle inserts and swirl generator, Energy Conversion and Management, Vol. 47, No. 18-19, 2006, pp. 2867-2882.
- [5] Dittus, F.W., Boelter, L.M.K., 1930. University of California at Berkley. Publications on Engineering. 2, 443.
- [6] F. Incropera, P.D. Dewitt, Introduction to Heat Transfer, 3rd ed., John Wiley & Sons Inc, 1996.
- [7] Petukov, B.S., 1970. In: Irvine, T.F., Hartnett, J.P. (Eds), Advances in Heat Transfer, Vol. 6. Academic Press, New York.
- [8] W.M. Kays and A.L. London, Compact Heat Exchangers, 3rd Edn., McGraw-Hill, 1984
- [9] Moody, L.F., 1944. Trans. ASME 66, 671.

[10] Webb, R.L., 1994. Principles of Enhanced Heat Transfer. John Wiley & Sons, New York.