

การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยครีบริ้วร่วมกับเทคนิคหมุนวน Performance Enhancement of a Heat Exchanger with Ribs and Swirl Technique

การุณ เลาะมาน^{1*} มณฑา เทียมเมือง² และ พงษ์เจต พรหมวงศ์²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 โทร 02-320-2777 โทรสาร 02-321-4444 E-mail: karunlek@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง 10520 กรุงเทพมหานคร 10520 โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

Karun Loeman^{1*} Monta Teammung² and Pongjet Promvong²

¹Major of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasembundit University

suanluang Bangkok 10250 Thailand Tel: 0-2326-4197 Fax: 0-2326-4198 E-mail: karunlek@hotmail.com

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Bangkok 10520 Thailand Tel: 0-2326-4197 Fax: 0-2326-4198 E-mail: Email:kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดครีบริ้วและเทคนิคหมุนวน โดยทำการทดลองที่สภาวะผิวของท่อเป็นฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ในการทดลองใช้ความเร็วลมตั้งแต่ 3m/s ถึง 10 m/s และทำการเปรียบเทียบผลของลมไหลแบบตรงโดยใช้ใบบิดและลมไหลแบบหมุนวนภายในท่อโดยใช้แผ่นบางที่ถูกบิดเป็นคาบของมุม 360° รวมทั้งทำการเปรียบเทียบผลของท่อที่มีครีบริ้วและท่อเปล่าที่ไม่มีครีบริ้ว โดยให้ลมไหลแบบตรง, ท่อที่มีครีบริ้วแบบหน้าตัดต่างๆ จะทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างครีบริ้วและทำการจัดวางครีบริ้วที่ผิวท่อด้านบนกับด้านล่างให้มีลักษณะครีบริ้วตรงข้ามกันและเยื้องกัน ตามลำดับ โดยให้ลมไหลแบบหมุนวน เพื่อพิจารณาค่าความดันลดและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

Abstract:

This paper presents the study of performance enhancement in a rectangular duct by using ribs and swirl technique. The experiments are tested by varying air velocity in the test section ranging from 3 to 10 m/s at constant surface heat flux. At the inlet, air is induced to swirl by inserting 360° twisted-tape inserts in a number of tubes placing at the entrance of the test section. Experimental results are compared with the results without swirl from the tape. In addition, ribs mounted on the bottom and the top of the duct were placed in staggered or in-line arrangements.

1. บทนำ

การใช้ครีบริ้วจะมีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการพาแบบบังคับระหว่างผิวและของไหล Han และคณะ[1] ทำการศึกษาผลกระทบของรูปร่างครีบริ้ว, มุม และอัตราส่วนระยะพิชิตซ์ต่อความสูง ต่อตัวประกอบความเสียดทานและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ค่าเรโนลด์ส์นัมเบอร์ตั้งแต่ 3000 ถึง 30000 พบว่าการจัดครีบริ้วแบบสมมาตรบนผิวท่อที่อยู่ตรงกันข้ามมีผลเหมือนกับการจัดครีบริ้วแนวเฉียง, และรูปร่างของครีบริ้วมีผลอย่างมากต่อตัวประกอบความเสียดทาน และมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนไม่มากนัก จากการทดลองพบว่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเมื่อครีบริ้วมีมุม 45° Metzger และคณะ[2] ทำการศึกษาผลกระทบของมุมครีบริ้วและตำแหน่งมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่จุดใดๆ ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปแบบการไหลขึ้นอยู่กับตำแหน่งของครีบริ้ว แบบแรกครีบริ้วถูกติดในแนวขนานบนผิวท่อที่อยู่ตรงกันข้าม และอีกแบบครีบริ้วถูกติดในแนวตัดกันบนผิวท่อที่อยู่ตรงกันข้าม พบว่าครีบริ้วมุม 60° ให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด Han และคณะ[3] ทำการศึกษาผลของรูปร่างครีบริ้วตัววีมุม 45° และครีบริ้วตัววีมุม 60° แบบแรกแนวครีบริ้วตัววีมุม 45° และแนวครีบริ้วตัววีมุม 60° มีทิศทางเดียวกับการไหล และอีกแบบแนวครีบริ้วตัววีมุม 45° มีทิศทางเดียวกับการไหลและแนวครีบริ้วตัววีมุม 60° มีทิศทางตั้งฉากกับการไหลที่ค่าเรโนลด์ส์นัมเบอร์ ตั้งแต่ 15000 ถึง 90000 พบว่าแนวครีบริ้วตัววีมีทิศทางตั้งฉากกับการไหลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด ในขณะที่แนวครีบริ้วตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหลให้ค่าความดันลดมากที่สุด Taslim และคณะ[4] รายงานผลการถ่ายเทความร้อนในรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส(Nusselt number) ที่จุดใดๆ ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความหยาบเนื่องจากมุมครีบริ้ว, รูปร่างครีบริ้ว และ

ความไม่ต่อเนื่องของครีป (แนวครีปตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหลและมีทิศทางตั้งฉากกับการไหลสลับกันตลอดหน้าตัด) บนผิวท่อที่อยู่ตรงกันข้าม โดยให้ผิวท่อด้านหนึ่งถูกให้ความร้อนด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่ ในขณะที่ผิวท่อด้านอื่นๆ ไม่มีการให้ความร้อน พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเกิดขึ้นเมื่อแนวครีปตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหล

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างท่อเปล่ากับท่อติดไบบิตมูมเพลส 360° ที่ไม่มีการติดครีปและที่ทำการติดครีปรูปทรงต่างๆ ภายในผิวท่อ เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบว่าแบบใดจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดีเท่ากัน โดยมีเงื่อนไขความร้อนที่ผิวคือ ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ (Constant Surface Heat Flux)

2. ทฤษฎี

กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสของไหลแตกต่างกัน 2 ชนิด เป็นสิ่งที่สำคัญมากและขบวนการดังกล่าวพบได้บ่อยๆ ในทางวิศวกรรม หม้อน้ำ คอนเดนเซอร์ อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ น้ำ หม้อน้ำรถยนต์ คอยล์ร้อน หรือคอยล์เย็น ฯลฯ ต่างเป็นตัวอย่างของกระบวนการที่ความร้อนเกิดการแลกเปลี่ยนกันระหว่างของไหลร้อนและของไหลเย็น ในอุตสาหกรรมและโรงงาน ฯลฯ ต่างมีขบวนการมากมายที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสของไหล 2 กระแสโดยไม่มีการผสมกันทางกายภาพ โดยทั่วไปอุปกรณ์นั้นเรียกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ดังนั้นการศึกษาค่าการเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ และน่าค้นหาเพื่อเป็นแนวทางในการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด และการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับตัวพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา, h , $W/m^2 \cdot K$

$$h = \frac{\dot{m} C_p (T_{out} - T_{in})}{A_s (T_s - T_b)} \quad [1]$$

ค่าตัวเลขที่นัมเบอร์(Nusselt number)

$$Nu_D = \frac{h D_h}{k} \quad [2]$$

ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s

$$\dot{m} = \frac{R_e \pi D_h \mu}{4} \quad [3]$$

ค่าเร โนลด์นัมเบอร์(Reynolds number)

$$R_e = \frac{\rho U_m D_h}{\mu} \quad [4]$$

อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย, $^{\circ}C$

$$T_b = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad [5]$$

อุณหภูมิผิวครีปเฉลี่ย, $^{\circ}C$

$$T_s = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} \quad [6]$$

เมื่อ U_m คือ ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ, m/s

μ คือ ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล, $N \cdot s / m^2$

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของของไหล, $J/kg \cdot K$

A_s คือ พื้นที่ผิวที่สัมผัสของไหล, m^2

T_{in} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่ทางเข้า, $^{\circ}C$

T_{out} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่ทางออก, $^{\circ}C$

T_1, T_2, T_3, T_4 คือ อุณหภูมิผิวครีปแต่ละจุด, $^{\circ}C$

k คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ, $W/m \cdot K$

ตัวพารามิเตอร์ความดันตกคร่อมเกี่ยวข้องกับกำลังงานของพัดลมโดยตรงยังความดันตกคร่อมมากต้องใช้เวลาถึงขั้นเคลื่อนของไหลมาก

การจ่ายกำลังให้พัดลม, \dot{W}_{in} J/s

$$\dot{W}_{in} = Q \Delta p \quad [7]$$

$$\Delta p = f \frac{\rho L \bar{V}^2}{2 D_h} \quad [8]$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของของไหล, m^3/s

Δp คือ ความดันตกของของไหล, N/m^2

f คือ ตัวประกอบเสียดทาน

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

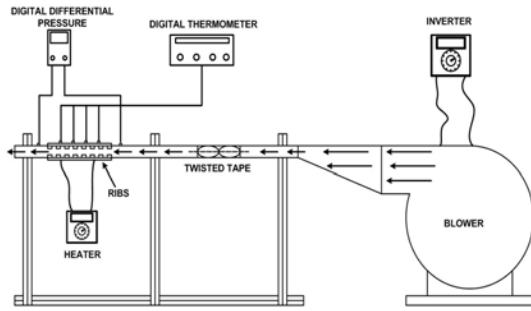
L คือ ความยาวท่อ, m

\bar{V} คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s

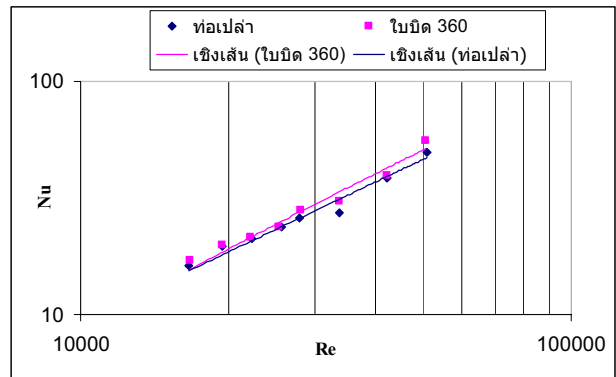
D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก $= 4A/p$, m

3. ขั้นตอนการทดลอง

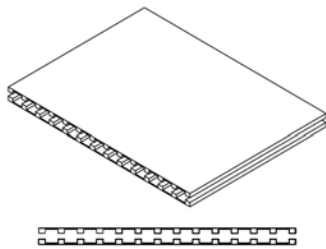
ติดตั้งครีปอลูมิเนียมเข้ากับชุดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 โดยจัดให้ยอดครีปตรงกันดังแสดงในรูปที่ 2 และเปิดเครื่องเป่าลมโดยปรับความเร็วรอบให้มีความเร็วลม 3m/s จากนั้นจึงเปิดฮีตเตอร์เพื่อให้ความร้อนที่ผิวครีปอลูมิเนียม เมื่ออุณหภูมิที่ผิวครีปคงที่ทำการบันทึกผลของอุณหภูมิที่ผิวครีปทั้ง 4 จุด อุณหภูมิทางเข้า อุณหภูมิทางออกและความดันตกคร่อมชุดทดลอง จากนั้นปรับเพิ่มความเร็วลมและบันทึกผลเช่นเดิมจนถึง 10 m/s จากนั้นจึงปรับเปลี่ยนตำแหน่งยอดครีปให้เอียงกันดังแสดงในรูปที่ 2 และทำการทดลองเช่นเดิมเมื่อทดลองกรณีมีแผ่นครีปเสร็จแล้วให้ติดตั้งไบบิตเพิ่มเข้าไปในชุดทดลองและทำการทดลองเช่นเดิม



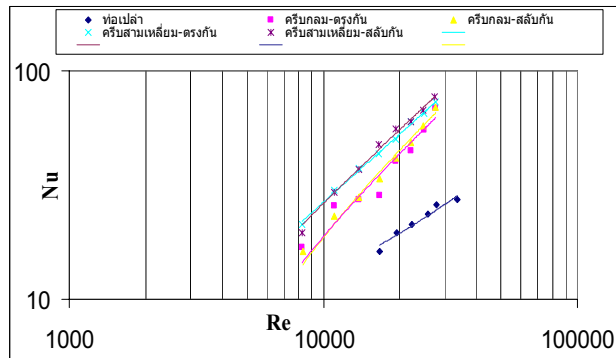
รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลอง



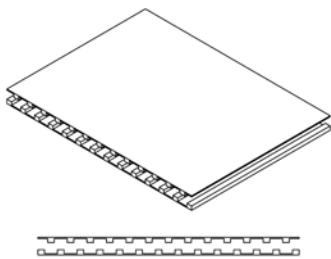
รูปที่ 4 ผลของการใส่ใบบิต



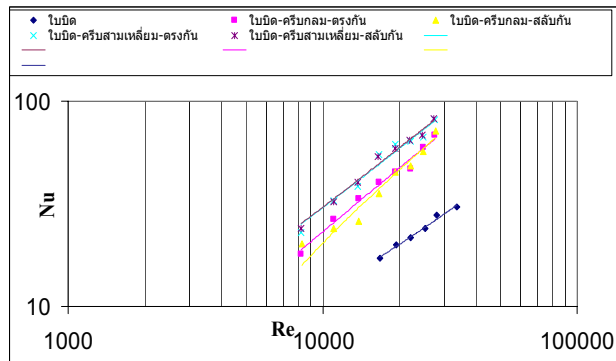
รูปที่ 2 แสดงการจัดวางครีบบนแบบยอดครีบบตรงกัน



รูปที่ 5 ผลกระทบของรูปทรงของครีบบ



รูปที่ 3 แสดงการจัดวางครีบบนแบบยอดครีบบเอียงกัน



รูปที่ 6 ผลของการใส่ใบบิตร่วมกับครีบบ

4. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

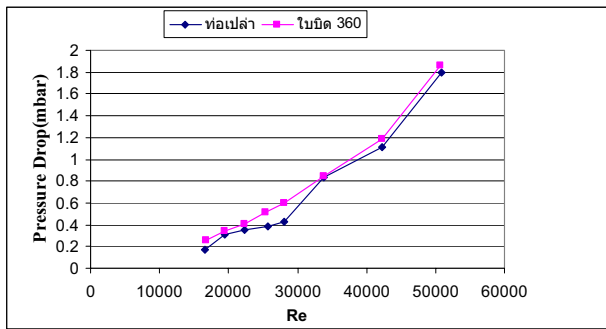
ในการทดลองได้แบ่งผลการทดลองออกเป็นสองส่วนได้แก่ผลการถ่ายเทความร้อนและผลของความดันตกคร่อม

ตอนที่ 1 ผลการถ่ายเทความร้อน

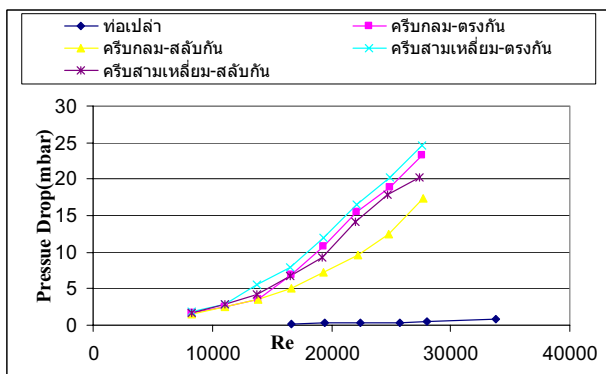
จากการทดลองพบว่าใบบิต และแผ่นครีบบสามารถช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 เนื่องจากใบบิตและแผ่นครีบบแล้วแต่ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งครีบบที่มีรูปทรงสามเหลี่ยมจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าครีบบที่มีรูปทรงครึ่งวงกลมและจากการทดลองพบว่าเมื่อใส่ใบบิตร่วมกับแผ่นครีบบดังแสดงในรูปที่ 6 มิได้ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอีก

ตอนที่ 2 ผลของความดันตกคร่อม

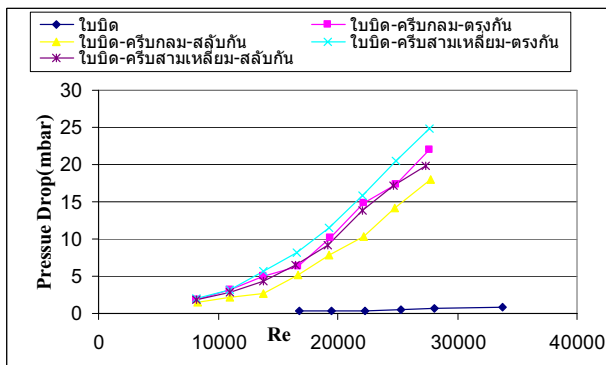
จากการทดลองพบว่าใบบิตและแผ่นครีบบล้วนแต่เป็นตัวอุปสรรคขัดขวางการไหลทำให้เกิดความดันตกคร่อมมากกว่าท่อเปล่าดังแสดงในรูปที่ 5, 6 และ 7 ซึ่งครีบบที่มีรูปทรงสามเหลี่ยมจะมีค่าความดันตกคร่อมสูงกว่าครีบบที่มีรูปทรงครึ่งวงกลมและการจัดวางครีบบแบบยอดครีบบตรงกันมีค่าความดันตกคร่อมสูงกว่าการจัดวางครีบบแบบยอดครีบบเอียงกัน



รูปที่ 7 ผลของการใส่ไบบิต



รูปที่ 8 ผลกระทบของรูปทรงของครีบ



รูปที่ 9 ผลของการใส่ไบบิตร่วมกับครีบ

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าไบบิตและแผ่นครีบสามารถช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและครีบรูปทรงสามเหลี่ยมมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าครีบรูปทรงครึ่งวงกลมและการจัดวางยอดครีบมีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยมากแต่กลับมีผลต่อความดันตกคร่อมมากกว่า

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการใส่อุปกรณ์ใดๆเข้าไปขัดขวางทางการไหลเพื่อทำให้เกิดความปั่นป่วนเช่นการใส่ไบบิตและแผ่นครีบสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องเพิ่มกำลังในการขับดันของไหล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.C. Han, L.R. Glicksman, W.M. Rohsenow, An investigation of heat transfer and friction for rib-roughened surfaces, Int. J. Heat Mass Transfer Vol. 21, 1978, pp. 1143-1156.
- [2] D.E. Metzger, C.S. Fan, Y. Yu, Effects of Rib Angle and Orientation on Local Heat Transfer in Square Channels With Angled Roughness Ribs, in: R.K. Shah, A.D. Kraus, D.E. Metzger, Compact Heat Exchangers, Hemisphere, Washington, 1990.
- [3] J.C. Han, Y.M. Zhang, C.P. Lee, Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed, and V-shaped angled ribs, ASME J. Heat Transfer Vol. 113, 1991, pp. 590-596.
- [4] M.E. Taslim, T. Li, D.M. Kercher, Experimental heat transfer and friction in channels roughened with angled, V-shaped, and discrete ribs on two opposite walls, ASME J. Turbomachinery Vol. 118, 1996, pp. 20-28.