การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 18-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา

การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันผ่านช่องขนานที่มีการเซาะร่อง Heat Transfer and Pressure Drop in a Channel with Grooved Surfaces

ดุสิต บูรณโชคไพศาล, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ ทวี เทศเจริญ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 อีเมล์ dusit_bu@yahoo.com, kppongje@kmitl.ac.th

Dusit Buranachokphaisan, Pongjet Promvonge and Thavee Teschareon Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut Institute of Technology-Ladkrabang,

Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Tel: 0-2326-4197, Fax: 0-2326-4198, E-mail: dusit_bu@yahoo.com, kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะใน การถ่ายเทความร้อนผ่านซ่องขนานด้วยการเซาะร่องพื้นผิวที่ใช้ในการ ถ่ายเทความร้อนเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยทำการทดลองที่สภาวะผิวของซ่อง ขนานเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ และของไหลที่ใช้ในการ ทดลองคืออากาศ ในการทดลองจะใช้ความเร็วลมต่าง ๆ กัน โดยให้อยู่ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (เลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลระหว่างช่องขนานเรียบที่ไม่มีการเซาะ ร่อง กับช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่ผิวบนและผิวล่าง แบบ มีแนวตรงและมีแนวเยื้อง เพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความ ร้อน และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

จากการทดลองพบว่าช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่ผิว บนและผิวล่าง มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเซาะร่องแนว เยื้อง จะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นสูงกว่าช่องขนานที่ มีการเซาะร่องแนวตรง

Abstract

This paper presents the study of performance enhancement of heat transfer in a channel by grooving the heating surface. The experiments were conducted by varying air velocity in the test section to cover the range of turbulent flow (Reynolds number from 5,000 to 20,000) at a constant heat flux tube-wall condition. Experimental results were compared with the results of which without grooving. In addition, the grooved-surface arrangements were placed in in-line and stagger fashions. The experimental result revealed that the heat transfer rate and the friction factor in the channel with grooved surfaces are higher than the channel with smooth surface and the stagger arrangement yields greater heat transfer rate than the in-line one.

1. บทน้ำ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ ที่มีความสำคัญกับกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมาก เช่น หม้อ ใอน้ำ เครื่องทำความเย็น และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่าง ๆ ใน กระบวนการผลิต เป็นต้น และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่าง ๆ เหล่านี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานค่อนข้างมากอีกด้วย ดังนั้นการหา แนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิผลใน กระบวนการผลิตและยังเป็นการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ได้อีกด้วย

แนวทางหนึ่งที่มีการใช้ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือการเพิ่มความปั่นป่วนในการไหลของ ของไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งการเซาะร่องที่พื้นที่ถ่ายเท ความร้อนก็เป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มความปั่นป่วนของการไหล โดย จากการศึกษาของ Takahiro Adachi and Haruo Uehara [4] ซึ่งทำ การทดลองในช่วงการไหลแบบราบเรียบ (เลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 50 ถึง 500) พบว่าช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมสามารถช่วยเพิ่ม ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นในการศึกษานี้จะได้ พิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องขนานที่มีการเซาะร่อง โดยจะ ทำการศึกษาในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (เลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000)

2. ทฤษฎี

ทฤษฏีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนี้ได้แก่

การจำแนกลักษณะการไหลของของไหลภายในท่อซึ่งจะพิจารณา จากเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number: Re) ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} \tag{1}$$

โดย Re คือ ค่า Reynolds Number

- ho คือ ความหนาแน่นของของไหล, kg/m 3
- V คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s
- D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก, m
- μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล, kg/m s

โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic Radius: D_h) มี นิยามดังนี้

$$D_h = \frac{4A}{P} \tag{2}$$

โดย A คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องขนาน, m²

คือ ความยาวของเส้นรอบรูปช่องขนาน, m

ในกรณีช่องขนานที่มีการเซาะร่อง A จะคิดเท่ากับกรณีช่องขนาน เรียบที่ไม่มีการเซาะร่อง

สำหรับความดันลดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะพิจารณา จากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor: f) ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$\Delta P = \frac{fL\rho V^2}{2D_h} \tag{3}$$

โดย $\Delta \mathsf{P}$ คือ ความดันตกคร่อมภายในท่อ, Pa

f คือ Friction Factor

- f₀ คือ Friction Factor ของช่องขนานเรียบ
- L คือ ความยาวของท่อ, m
- V คือ ความเร็วของไหลเฉลี่ย, m/s

ในการศึกษาจะพิจารณาเป็นกรณีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ (Constant Heat Flux) ซึ่งสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความ ร้อนได้จากสมการดังนี้

$$h = \frac{\frac{1}{m}C_{p}(T_{m,o} - T_{m,i})}{A_{w}(T_{w} - T_{b})}$$
(4)

$$T_b = \frac{\left(T_{m,o} + T_{m,i}\right)}{2} \tag{5}$$

- โดย h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m² K
 - ์ m คือ อัตราการไหลของของไหล, kg/s
 - C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล, J/kg K
 - A_w คือ พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน, m²
 - T_{m.o} คือ อุณหภูมิของไหลที่ทางออก, °C
 - T_{m,i} คือ อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้า, °C
 - Γ_w คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยของพื้นที่ถ่ายเทความร้อน, °C
 - T_b คือ อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าและออกของของไหล, $^\circ C$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของ ค่า Nusselt Number ดังสมการ

$$Nu_D = \frac{hD_h}{k} \tag{6}$$

โดย Nu_D คือ Nusselt Number

Nu₀ คือ Nusselt Number ของช่องขนานเรียบ

< ดือ ค่าการนำความร้อนของวัตถุ, W/m K

3. อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์สำหรับการทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการเซาะ ร่องรูปสี่เหลี่ยม

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่พื้นที่ แลกเปลี่ยนความร้อน และอุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกแสดงในรูปที่ 1, 2, และ 3 ซึ่งประกอบด้วยพัดลมขนาด 2.20 กิโลวัตต์, กล่องปรับรูปแบบการ ไหลสำหรับเปลี่ยนการไหลจากท่อกลมมาเป็นการไหลในช่องขนาน, ท่อ สี่เหลี่ยมสำหรับปรับสภาพของการไหลทำจากแผ่นโลหะขนาดหน้าตัด กว้าง 0.20 เมตร และมีความยาว 1.60 เมตร และส่วนทดลองจะเป็น แผ่นโลหะกว้าง 0.20 เมตร และยาว 0.55 เมตร ทำการเซาะร่องรูป สี่เหลี่ยมกว้าง 0.01 เมตร และลึก 0.005 เมตร ตลอดหน้าตัด

การปรับอัตราการไหลของของไหลจะใช้การควบคุมด้วยวาล์ว เพื่อให้ได้การไหลแบบปั่นป่วน อากาศในชุดทดลองถูกทำให้ร้อนขึ้น ด้วยอีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2.00 กิโลวัตต์ โดยติดแผ่นอีตเตอร์ซึ่งมีพื้นที่ เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 0.09 เมตร และยาว 0.45 เมตร ที่ผิว บนและผิวล่างของช่องขนาน ผิวภายนอกของส่วนทดลองถูกหุ้มด้วย ฉนวนเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนของชุดทดลอง การวัดอุณหภูมิผิวช่องขนานและอุณหภูมิของอากาศทางเข้าและออก ถูกวัดด้วยเทอร์โมคัพเปิลชนิด K จำนวน 16 ตัว ด้วย Data Logger (Fluke สามารถวัดและบันทึกค่าได้ 40 Channels) และบันทึกข้อมูลลง ในคอมพิวเตอร์ ส่วนค่าความดันลดระหว่างตำแหน่งทางเข้าและ ดำแหน่งทางออกของส่วนทดลองอ่านและบันทึกค่าด้วย Digital Differential Pressure Recorder (Testo model 350XL)



รูปที่ 1 ชุดทดลอง



รูปที่ 2 แผนภาพอุปกรณ์และการไหลของสารทำงาน



รูปที่ 3 ลกษณะของแผ่นขนานเซาะร่องรูปสี่เหลียมวางแนวตรงกันและเยืองกัน

4. วิธีการทดลอง

พิจารณาผลของการไหลภายในช่องขนานผ่านพื้นผิวแลกเปลี่ยน ความร้อนที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยม

เริ่มการทดลองโดยเปิดสวิทช์เดินเครื่องพัดลม ให้อากาศไหลผ่าน ชุดทดลอง จากนั้นเปิดชุดฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนกับระบบ โดย ให้ผิวของช่องขนานได้รับความร้อนด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant Heat Flux) ปรับความเร็วลมของชุดทดลองโดยการปรับหรี่ ที่วาล์วเพื่อให้ได้ความเร็วของของไหลครอบคลุมรูปแบบการไหลในช่วง การไหลแบบปั่นป่วน (ค่า Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) และปรับค่า สัดส่วนความลึกของร่องต่อระยะระหว่างแผ่นขนาน (e/D) เท่ากับ 0.33 และ 0.20 ทำการบันทึกผลค่าความดันลด อุณหภูมิผิวท่อ อุณหภูมิที่ ทางเข้าและอุณหภูมิที่ทางออกของของไหล

พิจารณาผลของช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ผิว บนและผิวล่างของช่องขนาน แบบที่มีแนวตรงกันและมีแนวเยื้องกัน

5. ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานของช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมสามารถแสดง ผลได้ดังนี้

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนาน เรียบที่ไม่มีการเซาะร่อง กับช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบ แนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเยื้อง กัน ที่สัดส่วนความลึกของร่องกับระยะห่างระหว่างช่องขนาน (e/D) เท่ากับ 0.33 และ 0.20 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็น ได้ว่าค่า Re เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Nu เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนความลึก (e/D) ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Nu มีค่าเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเซาะ ร่องแนวเยื้องจะให้ค่า Nu สูงกว่าแบบเซาะร่องแนวตรง

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ อัตราส่วนของ Nu ระหว่างช่องขนานเซาะร่องกับช่องขนานเรียบ (Nu/Nu₀) ของช่องขนาน ที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการ เซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเยื้องกัน ที่สัดส่วนความลึกของร่องกับ ระยะห่างระหว่างช่องขนาน (e/D) เท่ากับ 0.33 และ 0.20 จากกราฟ พบว่าการเซาะร่องแบบวางเยื้องจะมีค่าสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 18% และ 13% ที่ค่า e/D = 0.20 และ 0.33 ตามลำดับ และที่ค่า e/D = 0.20 ค่า Nu เฉลี่ยจะสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.3 และ 1.1 เท่า สำหรับการวางเยื้องและวางตรงตามลำดับ ส่วนที่ค่า e/D = 0.33 ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.7 และ 1.5 เท่า สำหรับการวาง เยื้องและวางตรงตามลำดับ

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานที่ไม่มี การเซาะร่อง กับช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบตรงแนว และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเยื้องกัน ที่สัดส่วน ความลึกของร่องกับระยะห่างระหว่างช่องขนาน (e/D) เท่ากับ 0.33 และ 0.20 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่าค่า Re เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า f ลดลง และที่สัดส่วนความลึก (e/D) ลดลงจะทำ ให้ค่า f ลดลงเช่นกัน และช่องขนานที่มีการเซาะร่องแนวเยื้องจะให้ค่า f สูงกว่าแบบเซาะร่องแนวตรง รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับอัตราส่วนของ f ระหว่างช่องขนานเซาะร่องกับช่องขนานเรียบ (f/f₀) ของช่องขนานที่มี การเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบตรงแนว และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่อง รูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเยื้องกัน ที่สัดส่วนความลึกของร่องกับระยะห่าง ระหว่างช่องขนาน (e/D) เท่ากับ 0.33 และ 0.20 จากกราฟจะพบว่าการ เซาะร่องแบบวางเยื้องจะมีค่าสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 15% และ 14% ที่ค่า e/D = 0.20 และ 0.33 ตามลำดับ และที่ค่า e/D = 0.20 ค่า f เฉลี่ยจะสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.5 และ 1.3 เท่า สำหรับการวาง เยื้องและวางตรงตามลำดับ ส่วนที่ค่า e/D = 0.33 จะให้ค่า f เฉลี่ยสูง กว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.6 และ 1.4 เท่า สำหรับการวางเยื้องและวาง ตรงตามลำดับ







รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f₀ กับ Re

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่ พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของช่องขนานจะเป็นการช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อน แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความ เสียดทานสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากร่องที่เซาะทำให้ความ ปั่นป่วนของการไหลเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนความลึกของร่อง (e/D) ที่ เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่านัสเซิลท์นัมเบอร์และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สูงขึ้น และแผ่นขนานที่มีการเซาะร่องแบบมีแนวเยื้องจะให้ค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นขนานที่มีการเซาะร่องแบบ มีแนวตรงกัน

เอกสารอ้างอิง

- Sadik Kakac and Yaman Yener, 1995, Convective Heat Transfer, Florida, CRC Press, pp. 156 – 165.
- [2] มนตรี พิรุณเกษตร รศ., 1999, การถ่ายเทความร้อน, พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัท วิทยพัฒน์ จำกัด, หน้า 418 – 420.

- [3] Kenan Yakut and Bayram Sahin, 2004, Flow-induced vibration analysis of conical rings used for heat transfer enhancement in heat exchangers, Applied Energy Vol 78, pp 273 – 288.
- [4] Takahiro Adachi and Haruo Uehara, 2001, Correlation between heat transfer and pressure drop in channels with periodically grooved parts, International Journal of Heat and Mass Transfer Vol 44, pp. 4333 – 4343.