ว.วิทย. มข. 42(2) 406-422 (2557) KKU Sci. J. 42(2) 406-422 (2014)

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยตัวสร้างวอร์เทคแผ่นติดครีบวีคู่

Enhancement of Heat Transfer in a Square Duct with Double V-Ribbed Tape Vortex Generators

ธีรพัฒน์ ชมภูคำ[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาเชิงทดลองของการไหลแบบปั่นป่วนและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นติดครีบตัววีคู่ท่อทดสอบทำการทดลองที่สภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่และใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองถูกปรับให้สอดคล้องกับค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, *Re*) มีค่าระหว่าง 4,000 ถึง 25,000 แผ่นติดครีบติดตั้งโดยการสอดเข้าไปในส่วนทดสอบมีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนกั้นขวาง (*b/H*) 3 ค่า คือ 0.10 015 และ 0.20 มุมปะทะ (α) 3 ค่า คือ 20 30 และ 45 องศา อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนพิตช์ (*PR = P/H*) เท่ากับ 1 และจัดวางครีบแบบชี้ตามกระแสการไหล อิทธิพลของอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อและมุมปะทะต่อคุณลักษณะทางความร้อนและความเสียดทานการไหลจะถูกทำการทดสอบเพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปเลขนัสเซิลท์ (Nusselt number, *Nu*) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, *f*) เปรียบเทียบกรณีติดตั้งแผ่นติดครีบตัววีคู่กับท่อผนังเรียบ ผลการทดลองพบว่า ชุดทดลองที่มีแผ่นติดครีบตัววีคู่การเพิ่มขึ้นของมุมปะทะและอัตราส่วนกั้นขวางส่งผลให้ค่าเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้น และจากการศึกษานี้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.92 ที่มุมปะทะเท่ากับ 20 องศา อัตราส่วนกั้นขวางค่าสูง *BR* = 0.20 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด

[1]หน่วยวิจัยท่อความร้อนและการออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

E-mail: teerapat.c@msu.ac.th

ABSTRACT

The paper presents an experimental study on turbulent flow and heat transfer characteristics in a square duct fitted diagonally with double V-ribbed tapes. The tested duct has uniform heat-fluxed walls and the flow rate of air used as the test fluid is presented in terms of Reynolds number from 4,000 to 25,000. The insertion of the ribbed tape is performed with three blocked ratios of rib-to-duct height (*b/H*) = 0.10, 0.15 and 0.20, three attack angles (α) = 20°, 30° and 45°, pitch ratios of rib pitch to duct height (*PR* = *P/H*) = 1 and pointing downstream of the flow with respect to the main flow direction. Influences attack angles and blocked ratios on thermal and flow friction characteristics of the inserted duct are investigated. The experimental result of heat transfer in the form of Nusselt number and pressure drop in term of friction factor are compared between the duct mounted with double V-ribbed tapes and the smooth duct. The experimental result shows that the rise of the attack angle and the blocked ratio results in the increase in Nusselt number and friction factor values. The maximum thermal performance is found to be 1.92 for using the ribbed tape at α = 20° and *BR* = 0.20 at the lowest value of Reynolds number.

คำสำคัญ: แผ่นติดครีบ เลขนัสเซิลท์ ตัวประกอบเสียดทาน ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

Keywords: Ribbed tape, Nusselt number, Friction factor, Square duct

บทนำ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญกับกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น หม้อไอน้ำ เครื่องทำความเย็นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต เป็นต้น และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่าง ๆ เหล่านี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานค่อนข้างมากอีกด้วย ดังนั้นการหาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิผลในกระบวนการผลิตและยังเป็นการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย (Webb, 1994) การไหลแบบวอร์เทค (vortex) และการไหลแบบสเวิลร์ (swirl) ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในการประยุกต์กับงานทางด้านวิศวกรรมหลาย ๆ ประเภท เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กระบวนการอบแห้ง เตาเผาแบบวอร์เทค เป็นต้น ตัวสร้างการไหลแบบวอร์เทค (vortex generators) ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้งานในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ใบบิดคอยล์ ครีบ ปีก โดยอุปกรณ์สร้างการไหลแบบวอร์เทคส่วนใหญ่ถูกประยุกต์ใช้กับท่อกลม ขณะที่ครีบและปีกมักถูกใช้กับท่อเหลี่ยมหรือท่อที่มีผนังท่อแบน ในระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูง ครีบแบบเป็นช่วง ๆ (periodic) ถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานประยุกต์ทางอุตสาหกรรม การติดตั้งครีบภายในท่อจะช่วยป้องกัน

การพัฒนาชั้นขอบเขตทางความร้อนและช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้ดีขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผนังเรียบมาก

ปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงาน ทำการศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนและคุณลักษณะของการไหลในท่อที่ติดตั้งครีบในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

การเพิ่มสมรรถนะความร้อน โดยการใช้ตัวสร้างการหมุนวนแบบต่าง ๆ (Gentry and Jacobi, 1997) ซึ่งพบว่า สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 50–60% เมื่อเปรียบเทียบกับผนังเรียบใช้ตัวสร้างการหมุนวนแบบปีก รูปทรงเหมือนสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ติดตั้งแบบสมมาตรกับการไหล โดยมุมปะทะเป็นมุมที่วัดเทียบกับการไหลหลัก ปรับค่ามุมปะทะตั้งแต่ 25 ถึง 55 องศา โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดเกิดขึ้นที่มุมปะทะ 40 องศา

การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของช่องหน้าตัดสี่เหลี่ยมโดยใช้ครีบวางขวาง (Karwa, 2003) ครีบทดสอบ มีลักษณะเป็นครีบตรง ครีบรูปตัววีต่อเนื่อง 60 องศา ครีบรูปตัววีแบบแยกส่วน 60 องศา และครีบทะแยงมุม 60 องศา โดยทำการทดลองที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ในช่วง 2,800-15,000 อัตราการส่วนความกว้างต่อความสูงแผ่นทดลองเท่ากับ 7.19-7.75 และอัตราส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงแผ่นครีบเท่ากับ 10 ความสูงครีบ 3.4 มิลลิเมตร ความกว้างครีบ 6.58 มิลลิเมตร ถ่ายเทความร้อนชนิดคงที่ฟลักซ์ความร้อนคงที่โดยผลการทดลองพบว่า ครีบรูปตัววีแบบแยกส่วน 60 องศา จะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดและมีค่าตัวประกอบความเสียดทานน้อยที่สุด ส่วนครีบตรงจะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุด ส่วนครีบรูปตัววีต่อเนื่อง จะมีตัวประกอบความเสียดทานมากที่สุด

การศึกษาการประสิทธิผลของการเพิ่มการหมุนวนของปีกแบบเดลต้า (Joardar and Jacobi, 2005) เป็นการทดสอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด ที่ใช้ในระบบของรถยนต์ กลไกสำคัญของการเพิ่มการหมุนวน คือ การพิจารณาพื้นฐานของการออกแบบปีกแบบ เดลต้า สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม ภายใต้เงื่อนไขระหว่างผิวเปียกและผิวแห้ง สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบครีบบานพับและแบบครีบบานพับที่มีการเพิ่มการหมุนวน โดยค่าเฉลี่ยการถ่ายเทความร้อนสำหรับครีบบานพับที่มีการเพิ่มการหมุนวนให้ค่าเพิ่มขึ้น 21% สำหรับผิวแห้งและ 23.4% สำหรับผิวเปียก โดยที่ความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้น 7% การสร้างการหมุนวนได้ทดสอบแล้วว่าสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบรถยนต์ได้

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติความเสียดทานของแผ่นทำความร้อนระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Benluand, 2006) โดยประยุกต์ใช้ครีบวางเอียงทำมุมกับทิศทางการไหลตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา ความสูงครีบ 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ 4 มิลลิเมตร อัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 0.001-0.0018 กิโลกรัมต่อวินาทีพบว่า ครีบเอียงทำมุม 60 องศา ให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากที่สุดและแรงดันตกคร่อมมากที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ครีบเอียงทำมุม 20 องศา ให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยรวมดีที่สุดและที่ระยะพิตช์ที่น้อยลงจะให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนและแรงดันตกคร่อมมากขึ้น โดยที่ระยะพิตช์เท่ากับ 1 และ 2 ให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยรวมดีที่สุดใกล้เคียงกัน

การศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (Promvonge and Thianpong, 2008) ที่ติดตั้งครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว และรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยมีขอบเขต

การศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 5,000-16,000 จากการทดลอง ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วให้ค่าสมรรถนะความร้อนมากที่สุด และครีบรูปสามเหลี่ยมมุมฉากให้ค่าเลขนัสเซิลท์ และค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Thianpong et al., 2009) โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-25,000 ติดตั้งครีบแบบวางตรงกันที่อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อ (*PR*) = 2 มุมปะทะ 45 องศา จัดวางครีบด้านบนและด้านล่างของท่อและอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อ (*b/H*) = 0.10 0.15 0.20 0.25 และ 0.30 โดยครีบที่ (*b/H*) = 0.30 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงสุดแต่ครีบ (*b/H*) = 0.25 ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความเสียดทานโดยการใช้ครีบรูปตัวดับเบิลวีและครีบตรง (Kumar et al., 2009) ให้ความร้อนแบบด้านเดียวส่วนด้านอื่นๆทำการหุ้มฉนวนทั้งหมดในการทดลองมีค่า *AR* = 8 ทดลองในช่วง *Re* = 315,000, *b/D* = 0.0168-0.0338, *P/b* = 10 และมุมปะทะอยู่ในช่วง 30 ถึง 75 องศา ผลที่ได้จากการทดลองจะนำไปเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบและสร้างสมการความสัมพันธ์

การศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน ในช่องการไหลสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้แผ่นติดครีบวางเอียงทำมุม 30 องศา (Promvonge et al., 2012) ที่สภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ อากาศเป็นของไหลทดสอบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-23,000 แผ่นติดครีบ ติดตั้งครีบวางเอียงที่ผิวบนและผิวล่าง มีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อ (*BR*, *b/H*) = 0.1-0.3 อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อ *PR* = 1 2 และ 3 ติดตั้งในท่อทดสอบในแนวทะแยงมุมพบว่า การประยุกต์ใช้แผ่นติดครีบวางเอียงให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการใช้ขดลด (wire coil) หรือใบบิด (twisted tape)

การศึกษาเชิงตัวเลขการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน ในช่องการไหลสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้แผ่นติดครีบวางเอียงทำมุม 30 องศา (Promvonge et al., 2012) ที่สภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ อากาศเป็นของไหลทดสอบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-20,000 แผ่นติดครีบ ติดตั้งครีบวางเอียงที่ผิวบนและผิวล่าง มีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อ (*BR*, *b/H*) = 0.1-0.3 อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อ *PR* = 1 และ 2 พบว่า สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 150-650% และเกิดการสูญเสียความดันเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบคิดเป็น 2-55 เท่า ได้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.95 ที่ *BR* = 0.20, *PR* = 1

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบติดตั้งด้วยการสอดเข้าไปในท่อ โดยอาศัยแนวคิดจากการที่ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสสามารถแบ่งตามแนวเส้นทะแยงมุมออกเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่วสองส่วน จากนั้นแล้วจะสามารถติดตั้งครีบตัววีคู่ที่ฐานของสามเหลี่ยมหน้าจั่ว (ในแนวทะแยงมุมของท่อจัตุรัส) ทั้งสองด้านได้และเป็นการประยุกต์ใช้ข้อดีของอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วน (turbulators) แบบครีบ ปีก และใบบิดเพื่อใช้งานร่วมกัน คือ จะได้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงเนื่องจากติดตั้งครีบ การลดความดันตกคร่อมเนื่องจากมุมเอียงของครีบตัววีคู่ การไหลแบบวอร์เทคและแบบสเวิลร์เหมือนกับการติดตั้งปีกและการใช้งานที่สะดวกเหมือนกับการประยุกต์ใช้คอยล์และใบบิด ดังนั้น จึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของการจัดวางครีบบนแผ่นทดสอบต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นติดครีบตัววีคู่ โดยการสอดเข้าไปในท่อตามแนวทะแยงมุมมีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนกั้นขวาง (*b/H*) 3 ค่า คือ 0.10 015 และ 0.20 มุม

ปะทะ 3 ค่า คือ 20 30 และ 45 องศา อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนพิตช์ (*PR = P/H*) เท่ากับ 1 และจัดวางครีบแบบชี้ตามกระแสการไหลในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-25,000

ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ โดยเลขเรย์โนลด์ในพจน์ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิค (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

$$Re = UD_h / \nu \tag{1}$$

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จากการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนจากการพาความร้อน (Q_{con}) และความแตกต่างของอุณหภูมิผนังกับอุณหภูมิอากาศ ($T_w - T_b$) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยหาได้จากข้อมูลทดลองดังสมการ

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m} c_p \left(T_o - T_i\right) = VI \tag{2}$$

$$h = \frac{Q_{conv}}{A\left(\widetilde{T}_s - T_b\right)} \tag{3}$$

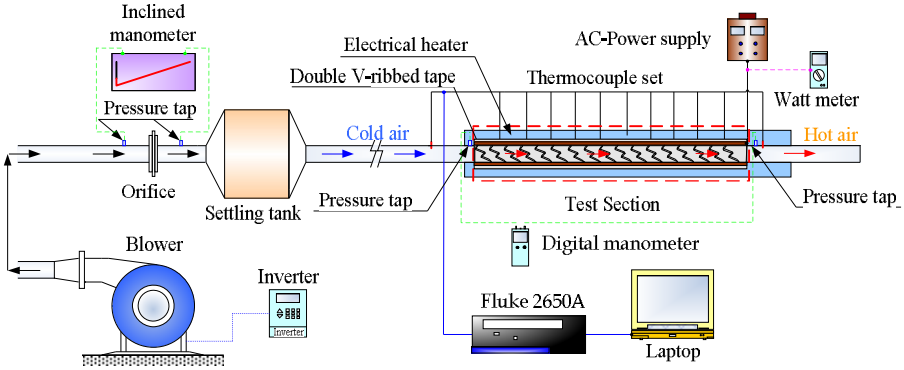
โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i)/2 \tag{4}$$

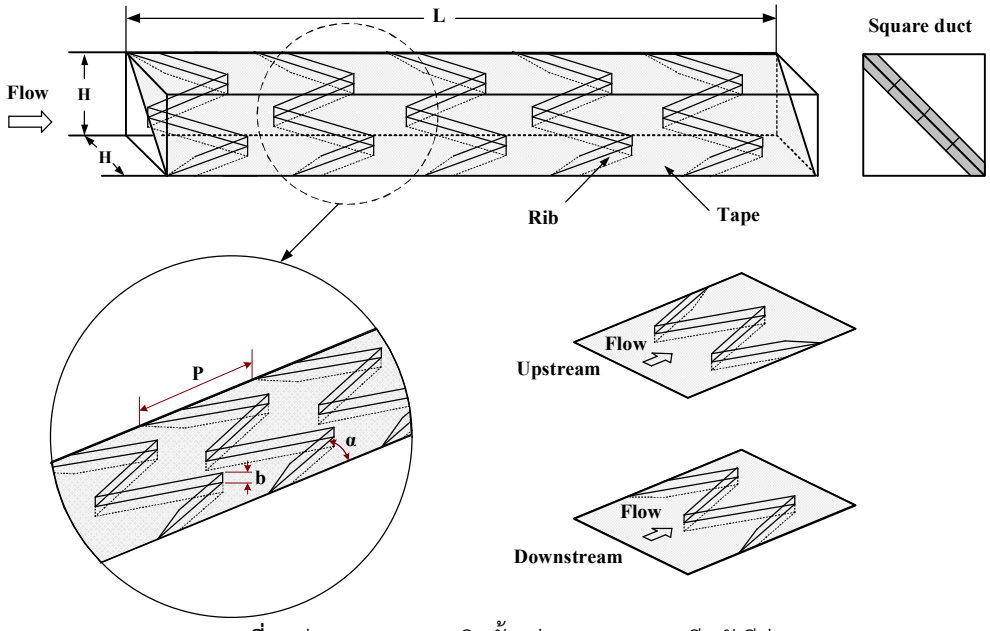
และ

$$\widetilde{T}_s = \Sigma T_s / 28 \tag{5}$$

พจน์ A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของท่อที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ $\widetilde{T}_s$ คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของท่อ T_i, T_o คือ อุณหภูมิทางเข้า และทางออกตามลำดับ โดยพจน์ $\dot{m}$, c_p, V และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 ส่วนทดสอบ การติดตั้งแผ่นทดสอบและครีบตัววีคู่

เลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

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

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)}\frac{\Delta P}{\rho U^2} \tag{7}$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันตกคร่อม และ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ ถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย (T_b) จากสมการ (4) ที่สภาวะกำลังขับ (pumping power) เดียวกัน

$$\left(\dot{V}\Delta P\right)_0 = \left(\dot{V}\Delta P\right) \tag{8}$$

เมื่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในพจน์ของตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ ได้เป็น

$$\left(fRe^3\right)_0 = \left(fRe^3\right)$$

$$Re_0 = Re\left(f/f_0\right)^{1/3} \tag{9}$$

ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (thermal enhancement factor, *TEF*) คือ อัตราส่วนสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผนังเรียบ (h_0) กำลังขับเดียวกัน (Webb, 1994)

$$TEF = \left.\frac{h}{h_0}\right|_{pp} = \left.\frac{Nu}{Nu_0}\right|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0}\right)\left(\frac{f}{f_0}\right)^{-1/3} \tag{10}$$

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1 ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความสูง (*H*) = 45 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบ ยาว (*L*) = 1,000 มิลลิเมตรครีบตัววีคู่ มีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนกั้นขวาง (*b/H*) 3 ค่า คือ 0.10 015 และ 0.20 มุมปะทะ (α) 3 ค่า คือ 20 30 และ 45 องศา อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนพิตช์ (*PR = P/H*) เท่ากับ 1 และจัดวางครีบแบบชี้ตามกระแสการไหลทำการติดตั้งครีบที่ผิวทั้งสองด้านของแผ่นทดสอบทำหน้าที่เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน ดังแสดงในรูปที่ 2 พัดลม (high-pressure blower) รุ่น TB-150 มีขนาด 1.5 กิโลวัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศโดยมีอินเวอเตอร์ (inverter) สำหรับควบคุมความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์พัดลมเพื่ออัตราการไหลอากาศตามที่ออกแบบไว้เข้าสู่ส่วนทดสอบ เครื่องวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส (orifice meter) ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลองโดยมีเครื่องวัดความดันแบบระนาบเอียง (inclined manometer) ใช้อ่านค่าจากความแตกต่างของน้ำมันเกจสีแดง (red gage oil มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.826) สำหรับคำนวณความแตกต่างของความดันเพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศ ถังพักลม (settling tank) มีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด ท่อปรับสภาพการไหล เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าชุดทดลองมีลักษณะเป็นแบบปรับตัวเต็มที่แล้วไหลเข้าส่วนทดสอบ แผ่นทำความร้อนไฟฟ้า (electrical heater) ขนาด 2,000 วัตต์ ติดตั้งที่ผิวด้านนอกของท่อทั้งสี่ด้านทำหน้าที่สร้างความร้อนให้กับผิวทดสอบโดยมีเครื่องควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้า (variac transformer) รุ่น TDGC 2-3 กิโลโวลต์แอมแปร์ กำลังไฟที่จ่ายได้ 3,000 โวลต์แอมแปร์ กระแสไฟสูงสุด 12 แอมแปร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับแผ่นทำความร้อนเพื่อควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่นทำความร้อนให้ได้ตามที่กำหนด เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) รุ่น FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิที่ผิว 30 ตำแหน่ง อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออก เชื่อมต่อข้อมูลกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 30 ตัว เครื่องวัดความดันตกคร่อมแบบดิจิตอล (digital manometer) รุ่น Dwyer 475 Mark III เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและทางออกของส่วนทดสอบ คอมพิวเตอร์ (laptop) ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ได้รับจาก เครื่องบันทึกข้อมูลและเครื่องวัดความดันตกคร่อม โดยส่วนทดสอบมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นทำความร้อนไหลออกสู่ภายนอก

วิธีดำเนินการทดลองเริ่มต้นโดยติดตั้งชิ้นงานทดสอบในส่วนทดสอบเปิดสวิทช์พัดลมให้อากาศไหลผ่านชุดทดลองและปรับอินเวอเตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบการทำงานของพัดลมโดยอ่านค่าจากเครื่องวัดความดันแบบระนาบเอียงเพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศตามที่ออกแบบไว้ แล้ววัดค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบที่แต่ละระดับความเร็วลมที่จนครบ 10 ระดับ จากนั้นปรับความเร็วลมที่ค่าความเร็วลมค่าแรกของการทดสอบเปิดสะพานไฟจ่ายไฟให้กับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ปรับค่าความต่างศักย์แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจ่ายไฟให้กับแผ่นทำความร้อนไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนกับผิวท่อด้วยเงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนคงที่รอจนกระทั่งอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้ง 30 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิผิวทดสอบ 28 ตำแหน่ง และอุณหภูมิทางเข้าและทางออก 2 ตำแหน่งมีค่าคงที่ แล้วทำการบันทึกผล อุณหภูมิผิวทดสอบ อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกส่วนทดสอบจากนั้นปรับอินเวอเตอร์เพื่อเพิ่มความเร็วลมที่อัตราการไหลต่อไป แล้วทำการบันทึกผล อุณหภูมิผิวทดสอบ อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกส่วนทดสอบต่อไปจนครบทั้ง 10 ระดับ ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วงตั้งแต่ Re = 4,000 ถึง 25,000 จากนั้นเปลี่ยน

ชิ้นงานทดสอบในส่วนทดสอบแล้วดำเนินการทดลองตามขั้นตอนเดิม นำข้อมูลการทดลองที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งอยู่ในรูปของเลขนัสเซิลท์ ค่าการสูญเสียความดันซึ่งอยู่ในรูปของตัวประกอบเสียดทานและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน จากนั้นนำข้อมูลแต่ละกรณีมาสร้างสมการสหสัมพันธ์ เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงใด

ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะและอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อต่อความสูงท่อต่อการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันโดยใช้แผ่นติดครีบตัววีคู่ภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลการทดลองแสดงดังนี้

ผลการทวนสอบท่อผนังเรียบ

การทดลองนี้ศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อผนังเรียบในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ (*Nu*) และตัวประกอบเสียดทาน (*f*) ตามลำดับ เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และของ Gnielinski สำหรับ *Nu* ถัดมาสหสัมพันธ์ของ Blasius และของ Petukhov สำหรับ *f* เอกสารอ้างอิง (Webb, 1994) ในช่วงการไหลปั่นป่วน

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter,

$$Nu = 0.023\,Re^{0.8}Pr^{0.4} \tag{12}$$

สหสัมพันธ์ของ Gnielinski,

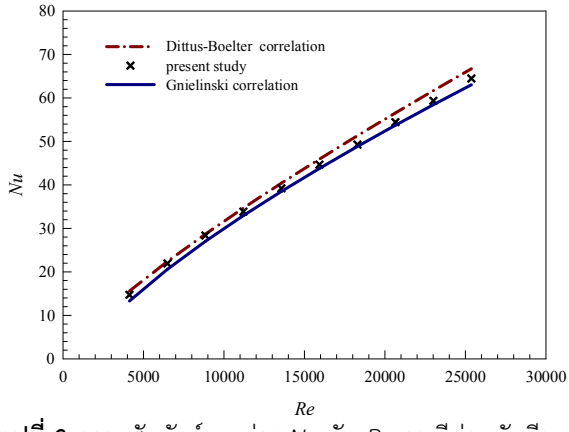
$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}\left(Pr^{2/3}-1\right)},\ 3000 < Re < 5\times10^{6} \tag{13}$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius,

$$f = 0.316Re^{-0.25} \tag{14}$$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov,

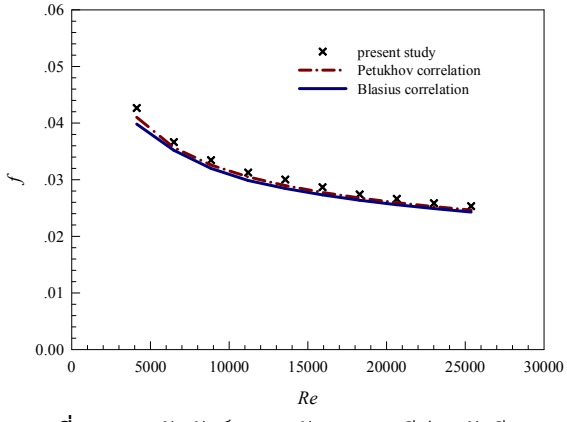
$$f = \left(0.79\ln Re - 1.64\right)^{-2},\ 3000 \le Re \le 5\times10^{6} \tag{15}$$



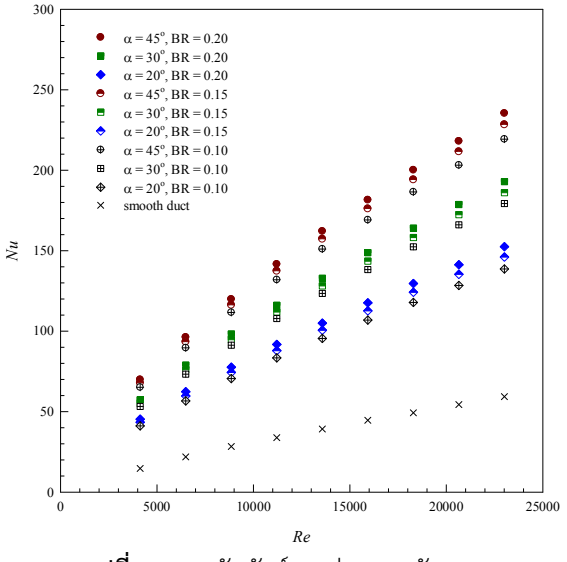
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง *Nu* กับ *Re* กรณีท่อผนังเรียบ

ในรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของ *Nu* กับ *Re* กรณีท่อผนังเรียบ จากการทดลองพบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนเมื่อค่า *Re* เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า *Nu* เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่า *Nu* จากการทดลองกับค่า *Nu* จากสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และของ Gnielinski พบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนค่า *Nu* จากผลการทดลอง มีค่าน้อยกว่าค่า *Nu* จากสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และมีค่ามากกว่าค่า *Nu* จากสหสัมพันธ์ของ Gnielinski โดยค่าจากการทดลองมีสอดคล้องกับสหสัมพันธ์เป็นอย่างดี ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ±3%

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของ f กับ *Re* กรณีท่อผนังเรียบจากการทดลองพบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่า f ลดลงเล็กน้อยเมื่อ *Re* เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่า f จากการทดลองและค่า f จากสหสัมพันธ์ของ Petukhov และของ Blasius พบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนค่า f จากการทดลองมีค่ามากกว่าค่า f จากสหสัมพันธ์ของ Petukhov และของ Blasius โดยค่า f จากการทดลองโดยค่าจากการทดลองมีสอดคล้องกับสหสัมพันธ์เป็นอย่างดี ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ±3%

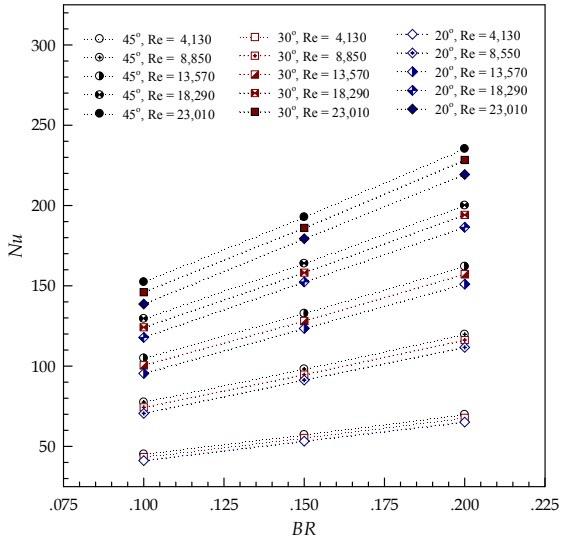


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของ f กับ *Re* กรณีท่อผนังเรียบ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง *Nu* กับ *Re*

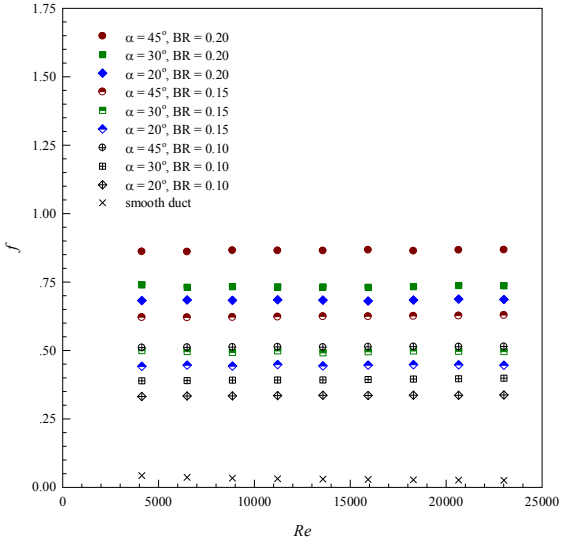
อิทธิพลของมุมปะทะ (α)



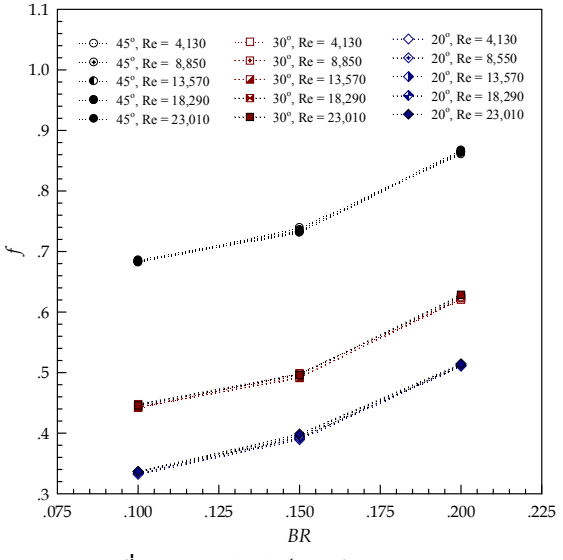
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง *Nu* กับ *BR*

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ แต่ละกรณีทดสอบและรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับอัตราส่วนกั้นขวาง แต่ละกรณีทดสอบ เมื่อพิจารณาผลของมุมปะทะต่อการถ่ายเทความร้อนพบว่า การติดตั้งแผ่นติดครีบวีคู่จะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ โดยเลขนัสเซิลท์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมปะทะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่การขัดขวางการไหลและระดับความแรงของการไหลแบบปั่นป่วนส่งผลให้เกิดการไหลแบบวอร์เทคที่แรงกว่าที่มุมปะทะค่ามากกว่า นั่นคือที่ α = 45 องศา ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่า 30 และ 20 องศา ตามลำดับ, ที่ *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 4.30 3.50 และ 2.76 เท่า ตามลำดับ และที่ α = 30 องศา, *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 4.17 3.38 และ 2.67 เท่า ตามลำดับ และที่ α = 20 องศา, *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 4.00 3.28 และ 2.53 เท่า ตามลำดับ

ผลของผลของมุมปะทะต่อการสูญเสียความดันแสดงในรูปที่ 7 และ 8 พบว่า การติดตั้งแผ่นติดครีบวีคู่จะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อผนังเรียบ โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมปะทะมีค่าเพิ่มขึ้นนั่นคือ α = 45 องศา ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่า 30 และ 20 องศา ตามลำดับ, ที่ *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 27.88 23.88 และ 21.99 เท่าตามลำดับ และที่ α = 30 องศา *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 20.13 16.13 และ 14.25 เท่า ตามลำดับ และที่ α = 20 องศา *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 16.24 12.59 และ 10.72 เท่าตามลำดับ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง *f* และ *Re*



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง *f* และ *BR*

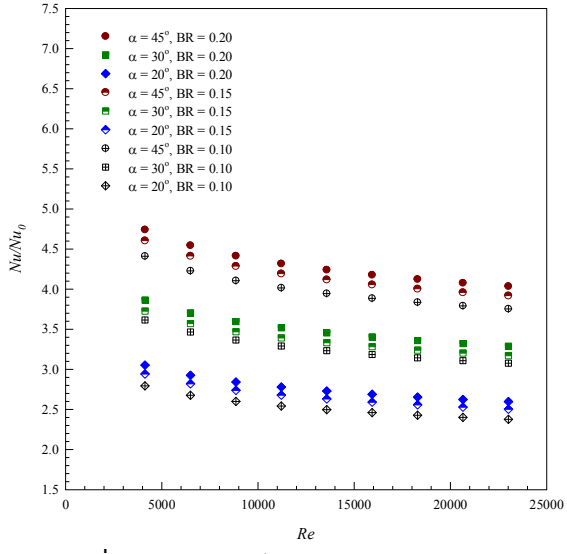
อิทธิพลของอัตราส่วนกั้นขวาง (*BR*)

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ แต่ละกรณีทดสอบและรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับอัตราส่วนกั้นขวาง แต่ละกรณีทดสอบพบว่า เมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นให้ค่าเลขนัสเซิลท์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การติดตั้งแผ่นติดครีบตัววีคู่ให้ค่าเลขนัสเซิลท์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบเนื่องจากแผ่นติดครีบวีคู่ที่ติดตั้งเข้าไปในท่อทดสอบสามารถสร้างการไหลแบบวอร์เทคตามยาว (longitudinal vortex flow) ซึ่งช่วยเพิ่มระดับความปั่นป่วนของการไหลและนำการไหลแกนหลัก (central core flow) ไปใกล้กับขอบเขตผนังร้อนและเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลแบบกระแทก (impingement flow) ที่บริเวณผิวร้อนของท่อ โดยการไหลแบบวอร์เทคนี้สามารถเข้าในบริเวณขอบเขตมุมของท่อช่วยทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความ

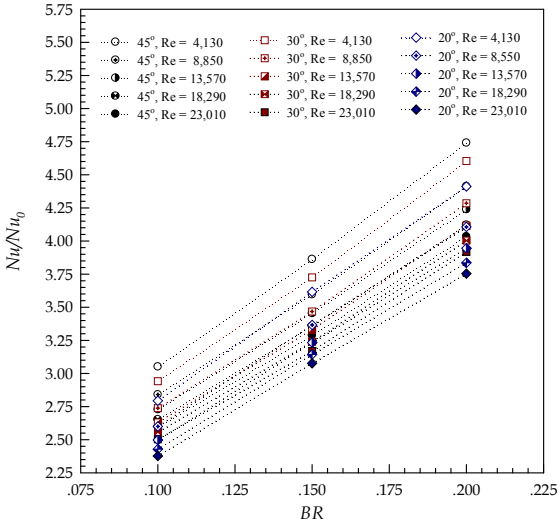
ร้อนที่ดีขึ้น (10) แผ่นติดครีบตัววีคู่ที่ค่าอัตราส่วนกั้นขวางค่าสูง *BR* = 0.20 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าค่าอัตราส่วนกั้นขวางค่าต่ำที่ *BR* = 0.15 และ 0.10 ตามลำดับ เนื่องจากที่อัตราส่วนกั้นขวางค่าสูงจะเกิดการขัดขวางการไหลมากซึ่งนำไปสู่การไหลแบบวอร์เทค ที่แรงทำให้เกิดการผสม (mixing) ที่ดีขึ้น แผ่นติดครีบวีคู่ ที่ α = 45 องศา, *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผนังเรียบในช่วง 4.43-4.74 3.29-3.86 และ 2.60-3.05 ตามลำดับ ที่ α = 30 องศา *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผนังเรียบในช่วง 3.92-4.60 3.17-3.73 และ 2.50-2.94 ตามลำดับ และที่ α = 20 องศา *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผนังเรียบในช่วง 3.75-4.41 3.08-3.62 และ 2.38-2.79 ตามลำดับ ขึ้นกับค่าของเลขเรย์โนลด์

ผลของการติดตั้งแผ่นติดครีบตัววีคู่ในส่วนของการสูญเสียความดันในท่อทดสอบแสดงในรูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง *f* และ *Re* แต่ละกรณีทดสอบและรูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง *f* และ *BR* แต่ละกรณีทดสอบพบว่า รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผ่นติดครีบตัววีคู่ส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าท่อผนังเรียบเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอัตราส่วนกั้นขวางดังในรูปที่ 8 เนื่องมาจากการขวางการไหล (flow blockage) และพื้นผิวสัมผัสที่สูงกว่า เป็นผลให้เกิดการไหลกลับ (reverse flow) ค่าตัวประกอบเสียดทานที่อัตราส่วนกั้นขวาง *BR* = 0.20 ให้ค่าสูงกว่าที่ *BR* = 0.15 และ 0.10 ที่เงื่อนไขทดสอบเดียวกัน แผ่นติดครีบวีคู่ ที่α = 45 องศา *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อผนังเรียบในช่วง 20.23-33.33 17.33-28.54 และ 15.96-26.29 เท่า ตามลำดับ ที่ α = 30 องศา *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อผนังเรียบในช่วง 14.61-24.07 11.71-19.28 และ 10.34-17.03 ตามลำดับ และที่ α = 20 องศา *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อผนังเรียบในช่วง 11.91-19.62 9.13-15.05 และ 7.78-12.81 ตามลำดับ ขึ้นกับค่าของเลขเรย์โนลด์

สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน



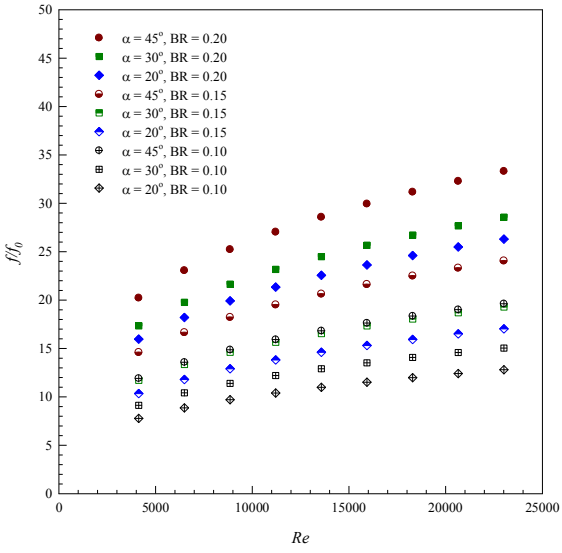
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ *Re*



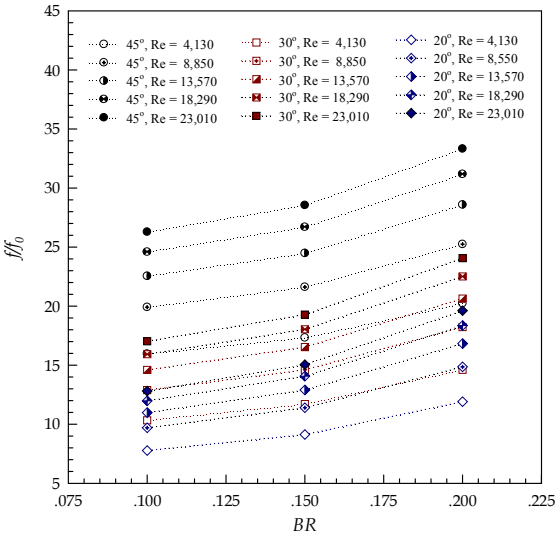
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR

อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ Nu/Nu_0 เป็นอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซิลท์ของผนังเรียบ เมื่อเขียนความสัมพันธ์กับ Re และ BR แสดงในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับพบว่า อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์จะมีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเลขเรย์โนลด์ค่าสูงขึ้นค่าความชันของการลดจะมีค่าลดลงจนเกือบค่อนข้างคงที่และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมปะทะและอัตราส่วนกั้นขวางที่มีค่าเพิ่มขึ้น

อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน f/f_0 เป็นอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อเลขนัสเซิลท์ของผนังเรียบ เมื่อเขียนความสัมพันธ์กับ Re และ BR แสดงในรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับพบว่า อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นและจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมปะทะและอัตราส่วนกั้นขวางที่มีค่าเพิ่มขึ้น

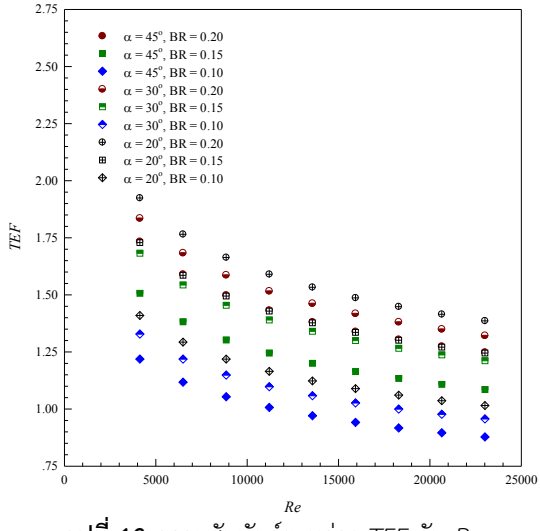


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re

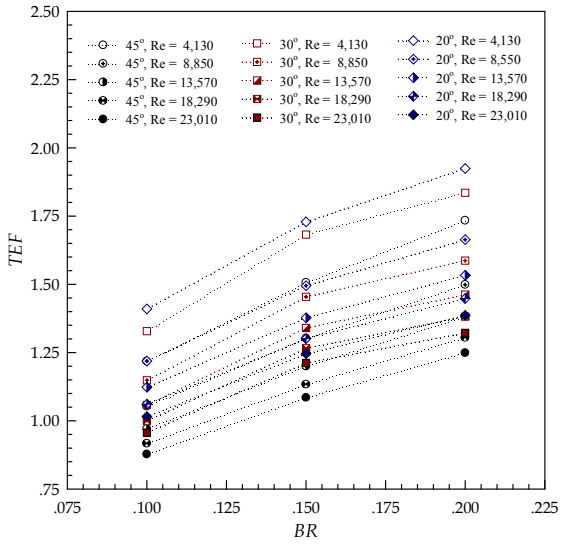


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ *BR*

รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (*TEF*) กับเลขเรย์โนลด์ และรูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (*TEF*) กับอัตราส่วนกั้นขวาง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าเลขนัสเซิลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่กำลังขับเดียวกันพบว่า ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น การติดตั้งแผ่นติดครีบตัววีคู่ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผนังเรียบ โดยที่ α = 20 องศา ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า α = 30 องศา และ α = 45 องศา ตามลำดับ ที่ *BR* = 0.20 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.92 1.73 และ 1.41 ตามลำดับ ที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุดของช่วงทดสอบโดยค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของการศึกษานี้พบที่ *BR* = 0.20 α = 20 องศา ให้เท่ากับ 1.92



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง *TEF* กับ *Re*



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง *TEF* กับ *BR*

จากการผลการทดลองที่ได้เลขนัสเซิลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานสำหรับใช้กับแผ่นติดครีบตัววีคู่มีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนกั้นขวาง (*b/H*) 3 ค่า คือ 0.10 015 และ 0.20, มุมปะทะ (α) 3 ค่า คือ 20 30 และ 45 องศา อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนพิตช์ (*PR = P/H*) เท่ากับ 1 และจัดวางครีบแบบชี้ตามกระแสการไหล โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ *Re* = 4,000-25,000 นำมาสร้างเป็นสหสัมพันธ์ในรูปแบบฟังก์ชันของเลขเรย์โนลด์ (*Re*), เลขพรานด์เทิล (Prandtl number, *Pr*) อัตราส่วนกั้นขวาง (*BR*) และมุมปะทะ (α) สามารถสร้างสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์และสหสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานได้ดังแสดงในสมการที่ (11) และ (12) ตามลำดับ และความสัมพันธ์ของสหสัมพันธ์กับผลการทดลองสำหรับเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทาน แสดงในรูปที่ 15 และ 16 ตามลำดับ โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ±10%

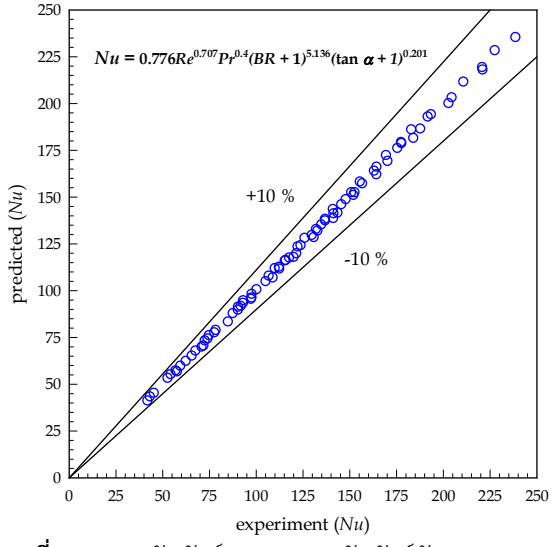
$$Nu = 0.776 Re^{0.707} Pr^{0.4} (BR+1)^{5.136} (\tan\alpha + 1)^{0.201} \quad (11)$$

$$f = 0.14 Re^{0.0048} (BR+1)^{3.806} PR^{1.607} \quad (12)$$

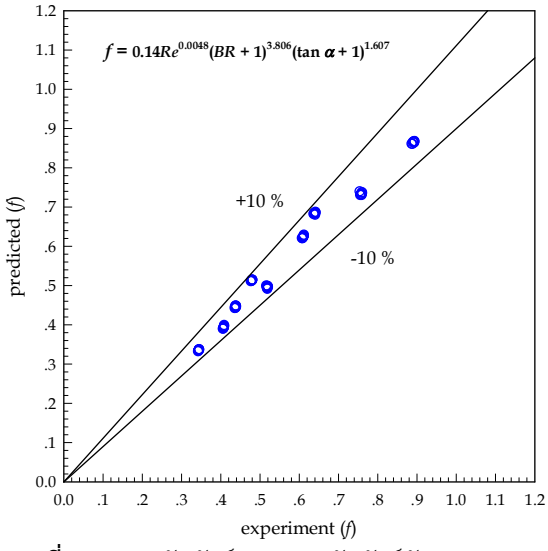
สรุปผลการทดลอง

การศึกษาเชิงทดลองนี้เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้แผ่นติดครีบตัววีคู่ติดตั้งโดยการสอดเข้าไปในแนวทะแยงมุมของท่อและติดตั้งครีบที่ผิวด้านบนและผิวด้านล่างของแผ่นทดสอบ ครีบ มีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนกั้นขวาง (*b/H*) 3 ค่า คือ 0.10 015 และ 0.20 มุมปะทะ (α) 3 ค่า คือ 20 30 และ 45 องศา อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนพิตช์ (*PR = P/H*) เท่ากับ 1 และจัดวางครีบแบบชี้ตามกระแสการไหลทำการทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000 ถึง 25,000 พบว่า การติดตั้งแผ่นติดครีบตัววีคู่ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความดันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบ f/f_0 = 7.78-33.33 แต่ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบเพิ่มขึ้น Nu/Nu_0 = 2.38-4.74 โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ

อัตราส่วนกั้นขวาง มุมปะทะและเลขเรย์โนลด์ จากการศึกษานี้พบว่าที่ BR = 0.20 α = 20 องศา ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.92 ที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด ดังนั้นจึงควรเลือกใช้งานที่ค่าทดสอบนี้เพื่อช่วยลดขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและเพิ่มสมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิผล



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของ Nu สหสัมพันธ์กับการทดลอง



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ของ f สหสัมพันธ์กับการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายได้ ปีงบประมาณ 2556 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

Webb, R. L. (1994). Principles of Enhanced Heat Transfer, New York: John-Wiley & Sons. pp. 33-54.

Gentry, M.C. and Jacobi, A.M. (1997). Heat transfer enhancement by delta-wing vortex generators on a flat plate: vortex interactions with the boundary layer. Exp. Thermal Fluid Science 14: 231-242.

Karwa, R. (2003). Experimental 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 30(2): 241-250.

Joardar, A. and Jacobi, A.M. (2005). Impact of leading edge delta-wing vortex generators on the thermal performance of a flat tube, louvered-fin compact heat exchanger. Exp. Heat and Mass Transfer Science 48: 1480-1493.

Benlu and Pei-Xue Jiang. (2006). Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs. Experimental Thermal and Fluid science 30: 513–521.

Promvonge, P. and Thianpong, C. (2008). Thermal performance of turbulent channel flows over different shaped ribs. Int Comm. Heat Mass Transfer 35: 1327–1334.

Thianpong, C., Chompookham, T., Skullong, S. and Promvonge, P. (2009). Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs.Int. Comm. Heat Mass Transfer 36: 712–717.

Kumar, A., Bhagoria, J.L. and Sarviya, R.M. (2009). Heat transfer and friction correlations for artificially roughened solar air heater duct with discrete W-shaped ribs.Energy Conversion and Management 50(8): 2106-2117.

Promvonge, P., Skullong, S., Kwankaomeng, S. and Thianpong, C. (2012). Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape, Part 1: Experimental study. Int. Comm. Heat Mass Transfer. 39: 617–624.

Promvonge, P., Skullong, S., Kwankaomeng, S. and Thianpong, C. (2012). Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape, Part 2: Numerical study. Int. Comm. Heat Mass Transfer. 39: 625–633.

❑❑❑❑❑