



การศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้แผ่นติดครีบทัววีคู่

Experimental Study on Heat Transfer Characteristics in Square Duct with Double V-ribbed Tape

ธีรพัฒน์ ชมภูคำ^{1*}, วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง² และพงษ์เจต พรหมวงศ์³

Teerapat Chompookham^{1*}, Witoon Chingtuaythong² and Pongjet Promvongse³

¹ หน่วยวิจัยท่อความร้อนและการออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

* Correspondent author: teerapat.c@msu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาเชิงทดลองของการไหลแบบปั่นป่วนและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นติดครีบทัววีคู่ ท่อทดสอบทำการทดลองที่สภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ และใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองถูกปรับให้สอดคล้องกับค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) มีค่าระหว่าง 4,000 ถึง 25,000 แผ่นติดครีบทัววีคู่ติดตั้งโดยการสอดเข้าไปในส่วนทดสอบ มีสัดส่วนความสูงครีบทัววีต่อความสูงท่อหรือสัดส่วนกันขวาง (b/H , BR) 3 ค่า คือ 0.10, 0.15 และ 0.20, สัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อหรือสัดส่วนพิชต์ (P/H , PR) 2 ค่า คือ 1 และ 2, มุมปะทะ (α) = 45° และจัดวางครีบทัววีขึ้นทวนกระแสการไหล อิทธิพลของสัดส่วนความสูงครีบทัววีต่อความสูงท่อและสัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อต่อคุณลักษณะทางความร้อนและความเสียดทานการไหลจะถูกทำการทดสอบเพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบเลขนัสเซลท์ (Nusselt number, Nu) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, f) เปรียบเทียบกรณีติดตั้งแผ่นติดครีบทัววีคู่กับท่อผิวเรียบ ผลการทดลองพบว่า ชุดทดลองที่มีแผ่นติดครีบทัววีคู่ที่สัดส่วนระยะพิชต์ค่าน้อย $PR = 1$ และสัดส่วนกันขวางค่าสูง $BR = 0.20$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทานและค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.65 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด

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 (Re) 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 , BR) = 0.10, 0.15 and 0.20, two pitch ratios of rib pitch to duct height (P/H , PR) = 1 and 2, attack angle (α) = 45° , pointing upstream of the

flow with respect to the main flow direction. Influences of blocked ratios and pitch 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 at smaller rib pitch spacing ($PR = 1$) and higher blocked ratios ($BR = 0.20$) provides highest heat transfer rate, friction factor and thermal enhancement factor (TEF) is about 1.65 at the lowest value of Reynolds number.

คำสำคัญ: แผ่นติดครีบริบ ครีบริบ ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

Keywords: ribbed tape, rib, square duct

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบทางความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นที่ต้องการเพื่อประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรม ซึ่งเป็นสิ่งที่กระตุ้นให้เกิดความสนใจในการค้นหาวิธีการเพื่อพัฒนาระบบการถ่ายเทความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้การพา ซึ่งโดยทั่วไปการพัฒนาจะใช้เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้รูปแบบพื้นผิวลักษณะต่างๆ เพื่อเชื่อมโยงเงื่อนไขหลายๆ แบบที่ช่วยให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นและให้ค่าความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าว คือ 1. การทำลายชั้นขอบเขตและเพิ่มระดับความแรงของการไหลแบบปั่นป่วน, 2. เพิ่มพื้นผิวการถ่ายเทความร้อนและ 3. สร้างการหมุนวนและการไหลแบบปั่นที่สอง ซึ่งในเงื่อนไขเหล่านี้ การไหลแบบวอร์เทก (vortex) และการไหลแบบสเวลล์ (swirl) ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในการประยุกต์กับงานทางด้านวิศวกรรมหลายๆ ประเภท เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กระบวนการอบแห้งเตาเผาแบบวอร์เทก เป็นต้น ตัวสร้างการไหลแบบวอร์เทก (vortex generators) ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้งานในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ไบบีดคอยล์ ครีบริบ ปีก โดยอุปกรณ์สร้างการไหลแบบวอร์เทกส่วนใหญ่ถูกประยุกต์ใช้กับท่อกลม ขณะที่ครีบริบและปีกมักถูกใช้กับท่อเหลี่ยมหรือท่อที่มีผนังท่อแบนในระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูง ครีบริบบเป็นช่วง (periodic) ถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

ในงานประยุกต์ทางอุตสาหกรรม การติดตั้งครีบริบภายในท่อจะช่วยป้องกันการพัฒนาชั้นขอบเขตทางความร้อนและช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้ดีขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผิวเรียบมาก

ปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงาน ทำการศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนและคุณลักษณะของการไหลในท่อที่มีการติดตั้งครีบริบ Tenda (1) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความร้อนโดยใช้ครีบริบรูปตัววีแบบแยกส่วน โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 8,900-28,500 สัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ (b/H) = 0.15 และ 0.25 ความขรุขระสัมพัทธ์ (b/D_h) = 0.009 และ 0.15 ระยะพิชชสัมพัทธ์ (P/b) = 4, 8 และ 13.5 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความสูงครีบริบมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าการถ่ายเทความร้อน และค่าตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน และที่ระยะพิชช 0.05 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าที่ระยะพิชช 0.03 เมตร Benlu และ Jiang (2) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติความเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ใช้ครีบริบวางเอียงทำมุม 0° ถึง 90° กับทิศทางการไหล ความสูงครีบริบ 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร ระยะพิชช 4 มิลลิเมตร และอัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 0.001-0.0018 กิโลกรัมต่อวินาที จากการทดลองครีบริบเอียงทำมุม 60° ให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากที่สุด และแรงดันตกคร่อมมากที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ครีบริบเอียงทำมุม 20° ให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยรวมดีที่สุดและที่ระยะพิชชที่น้อยลงจะให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนและแรงดันตกคร่อมมากขึ้น โดยที่ระยะ

พิศซ์เท่ากับ 1 และ 2 ให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน โดยรวมดีที่สุดใกล้เคียงกัน Promvonge และ Thianpong (3) ทำการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ติดตั้ง ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วและรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 5,000 -16,000 จากผลการทดลองพบว่า ครีบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วให้ ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด โดยครีบรูป สามเหลี่ยมมุมฉากให้ค่าเลขนัสเชิลท์และค่าตัวประกอบ เสียความมากที่สุด Thianpong และคณะ(4) ทำการศึกษา การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วง เลขเรย์โนลด์ 4,000- 25,000 ติดตั้งครีบแบบวางตรงกันที่ สัดส่วนระยะพิศซ์ต่อความสูงท่อ (PR)=2 มุมปะทะ 45° จัดวางครีบที่ผิวด้านบนและผิวด้านล่างของท่อ, สัดส่วน ความสูงครีบต่อความสูงท่อ (BR) = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 โดยครีบที่ BR = 0.3 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบความเสียหายสูงสุดแต่ครีบ BR=0.25 ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด SriHarsha และคณะ(5) ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของ ความสูงของครีบสำหรับการกระจายตัวของการถ่ายเท ความร้อนในผนังสองชั้นของท่อเหลี่ยม โดยการใส่ครีบ มุมเท่ากับ 90° แบบต่อเนื่องและครีบมุม 60° แบบแยก ทำการทดลองในช่วง Re= 10,000-30,000 จากการศึกษา เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของพฤติกรรมถ่ายเท ความร้อนพบว่า ครีบมุม 90° จะมีค่าการถ่ายเทความร้อน เพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของครีบเพิ่มขึ้นและค่าความดัน สูญเสียก็จะเพิ่มขึ้นด้วยและเมื่อเปรียบเทียบที่ความสูง เดียวกันพบว่า ครีบมุม 60° ให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเท ความร้อนมากกว่าครีบ 90° เนื่องจากครีบมุม 60° ให้ค่า ความดันสูญเสียที่น้อยกว่า Kumar และคณะ(6) การศึกษา วิจัยเกี่ยวกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความ เสียความโดยการใส่ครีบรูปตัวดับเบิ้ลวีและครีบตรง มีการให้ความร้อนแบบด้านเดียวส่วนด้านอื่นๆ ทำการหุ้ม ฉนวนทั้งหมด ในการทดลองมีค่าสัดส่วนสัดตัวของท่อ (Aspect Ratio, AR)=8 ทดลองในช่วง Re=3,000-15,000, $b/D_h = 0.0168-0.0338$, $P/b = 10$ และมุมที่ใช้ในการปะทะ

อยู่ในช่วง 30° ถึง 75° ผลที่ได้จากการทดลองจะนำไป เปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบและสร้างสมการสหสัมพันธ์ สกูลหลงและคณะ(7) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5,000- 23,000 โดยใช้ปีกสามเหลี่ยม ติดตั้งแบบวาง ที่ผิวล่างที่สัดส่วนระยะพิศซ์ต่อความสูงท่อ (PR) = 2 ที่มุมปะทะ 30° และมีสัดส่วนความสูงครีบต่อความ สูงท่อ (BR) = 0.2, 0.3 และ 0.4 หุ่นพจน์และคณะ (8) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลที่มีการ สอดแผ่นครีบเรียงทำมุม ในช่องการไหลมีลักษณะเป็น สี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่สภาวะปลั๊กซ์ความร้อนที่ผิววงที่ผนัง ทั้ง 4 ด้าน โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ในช่วงเลข เรย์โนลด์ 4,000-40,000 ครีบที่วางเอียงมีระยะห่าง 3 เท่า ของความสูงของช่องการไหลและวางทำมุมเอียง 45° ติดตั้งที่ผิวด้านล่างของผนังท่อทดสอบ ครีบมีสัดส่วน ความสูงครีบต่อความสูงท่อ (BR) = 0.1 และ 0.3 ที่ค่า สัดส่วนระยะพิศซ์ต่อความสูงท่อ (PR) = 1 และ 2 ผลการ ทดลองแสดงในพจน์ของเลขนัสเชิลท์และตัวประกอบ ความเสียหายซึ่ง BR = 0.3 ที่ PR = 1 มีค่าการถ่ายเท ความร้อนและความเสียหายที่ได้มีค่ามากกว่าที่สัดส่วน ความสูงครีบอื่นๆ Promvonge และคณะ(9) ทำการศึกษา เิงทดลองการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน ในช่องการไหลสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้แผ่นติดครีบวาง เอียงทำมุม 30° ที่สภาวะปลั๊กซ์ความร้อนที่ผิววงที่อากาศ เป็นของไหลทดสอบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-23,000 แผ่นติดครีบ ติดตั้งครีบวางเอียงที่ผิวบนและผิวล่าง มีสัดส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อ (BR) ในช่วง 0.1- 0.3 ที่สัดส่วนระยะพิศซ์ต่อความสูงท่อ (PR) = 1, 2 และ 3 ติดตั้งในท่อทดสอบในแนวทะแยงมุมพบว่าการประยุกต์ ใช้แผ่นติดครีบวางเอียงให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเท ความร้อนสูงกว่าการใช้ขดลวด (wire coil) หรือไบบิด (twisted tape) Promvonge และคณะ(10) ทำการศึกษา เิงตัวเลขการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน ในช่องการไหลสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้แผ่นติดครีบวาง เอียงทำมุม 30° ที่สภาวะปลั๊กซ์ความร้อนที่ผิววงที่ อากาศ เป็นของไหลทดสอบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-20,000

แผ่นติดครีบริบ ติดตั้งครีบริบวางเอียงที่ผิวบนและผิวล่าง มีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ (BR) ในช่วง 0.1-0.3 ที่สัดส่วนระยะพิชซ์ต่อความสูงท่อ (PR)=1 และ 2 พบว่า สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 150-650% และเกิดการสูญเสียความดันเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ คิดเป็น 2-55 เท่า ได้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เท่ากับ 1.95 ที่ $BR = 0.20$, $PR = 1$

จากงานวิจัยข้างต้นนี้ แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วน (turbulators) แบบครีบริบ ปีก ขดลวดและไบบิต เพื่อพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยมุ่งที่จะเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนแบบติดตั้งด้วยการสอดเข้าไปในท่อมีการศึกษาที่หลากหลายรูปแบบ งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะพัฒนาแนวคิดต่อเนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น โดยอาศัยแนวคิดจากการที่ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสสามารถแบ่งตามแนวเส้นทะแยงมุม ออกเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่วสองส่วน ซึ่งจะสามารถติดตั้งครีบริบตัววีคูที่ฐานของสามเหลี่ยมหน้าจั่ว (ในแนวทะแยงมุมของท่อจัตุรัส) ทั้งสองด้านได้และเป็นการประยุกต์ใช้ข้อดีของอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วน (turbulators) แบบครีบริบ ปีก และไบบิตเพื่อใช้งานร่วมกัน คือ จะได้ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากติดตั้งครีบริบการลดความดันตกคร่อมเนื่องจากมุมเอียงของครีบริบตัววีคู การไหลแบบวอร์เทคและแบบสเวิร์ลเหมือนกับการติดตั้งปีกและการใช้งานที่สะดวกเหมือนกับการประยุกต์ใช้คอยล์และไบบิต ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของการจัดวางครีบริบนแผ่นทดสอบต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นติดครีบริบตัววีคู โดยการสอดเข้าไปในท่อตามแนวทะแยงมุม แผ่นติดครีบริบตัววีคู มีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ (b/H , BR) = 0.10, 0.15 และ 0.20 สัดส่วนระยะพิชซ์ต่อความสูงท่อ (P/H , PR) = 1 และ 2 ที่มุมปะทะ (α) = 45° จัดวางครีบริบแบบชี้ทวนกระแสการไหล ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-25,000

2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อในพจน์ของเลขนัสเซลท์ โดยเลขเรย์โนลด์ในพจน์ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

$$Re = UD_h / \nu$$

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จากการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) และความแตกต่างของอุณหภูมิผิวท่อเฉลี่ยกับอุณหภูมิอากาศ ($\bar{T}_s - T_b$), สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยหาได้จากข้อมูลทดลอง ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) = VI \quad (2)$$

$$h = \frac{Q_{conv}}{A(\bar{T}_s - T_b)} \quad (3)$$

$$\text{โดยที่ } T_b = (T_o + T_i) / 2 \quad (4)$$

$$\text{และ } \bar{T}_s = \sum T_s / 30 \quad (5)$$

พจน์ A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของท่อที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ \bar{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของท่อ, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยพจน์ \dot{m} , C_p , V และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ เลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (6)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

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

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

$$(\dot{V}\Delta P)_0 = (\dot{V}\Delta P) \quad (8)$$

เมื่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในพจน์ของตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ได้เป็น

$$(f Re^3)_0 = (f Re^3)$$

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

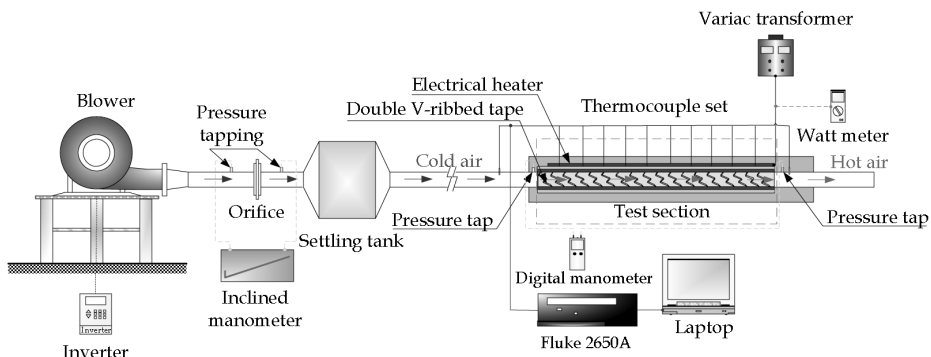
ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Thermal Enhancement Factor, *TEF*) คือ อัตราส่วนสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (*h*) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (*h₀*) กำลังขับเดียวกัน จากข้อแนะนำของ Webb (11)

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

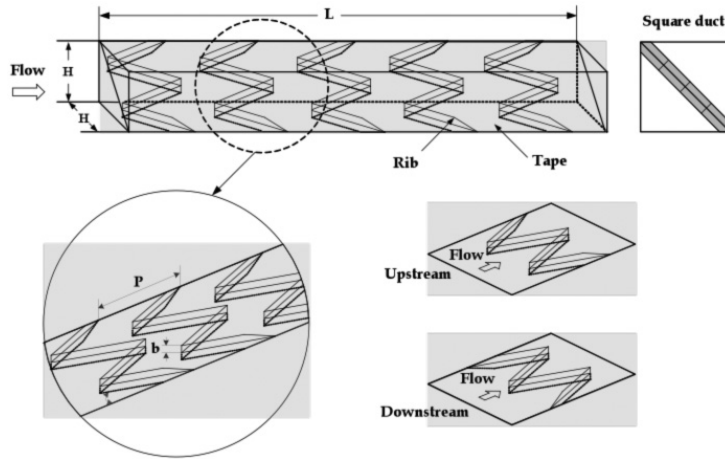
3. อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในรูปที่ 1 ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความสูง (*H*) = 45 มิลลิเมตร, ส่วนทดสอบ ยาว (*L*) = 1,000 มิลลิเมตร ครีบท่อวีคู๋ ดังแสดงในรูปที่ 2 มีสัดส่วนความสูงครีบท่อ ความสูงท่อ (*b/H*) = 0.10, 0.15 และ 0.20 สัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อ (*P/H*, *PR*) = 1 และ 2, มุมปะทะ (*α*) = 45° จัดวางครีบท่อแบบซี่ทวนกระแสการไหล ทำการติดตั้งครีบท่อที่ผิวทั้งสองด้านของแผ่นทดสอบทำหน้าที่เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน พัดลม (high-pressure blower) รุ่น TB-150 มีขนาด 1.5 กิโลวัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดการไหล ของอากาศ โดยมีอินเวอร์เตอร์ (inverter) สำหรับควบคุมความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์พัดลม เพื่ออัตราการไหลอากาศตามที่ออกแบบไว้เข้าสู่ส่วนทดสอบ, เครื่องวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส (orifice meter) ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้า

ชุดทดลอง โดยมีเครื่องวัดความดันแบบระนาบเอียง (inclined manometer) ใช้อ่านค่าจากความแตกต่างของน้ำมันเกสีแดง (red gage oil) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.826) สำหรับคำนวณความแตกต่างของความดัน เพื่อให้หาอัตราการไหลของอากาศ, ถังพักลม (settling tank) มีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีกรไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด, ท่อปรับสภาพการไหล เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็นแบบปรับตัวเต็มที่แล้วไหลเข้าส่วนทดสอบ, แผ่นทำความร้อนไฟฟ้า (electrical heater) ขนาด 2,000 วัตต์ ติดตั้งที่ผิวด้านนอกของท่อทั้งสองด้านทำหน้าที่สร้างความร้อนให้กับผิวทดสอบ โดยมีเครื่องควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้า (variac transformer) รุ่น TDGC 2-3 กิโลโวลต์แอมแปร์ กำลังไฟที่จ่ายได้ 3,000 โวลต์แอมแปร์ กระแสไฟสูงสุด 12 แอมแปร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับแผ่นทำความร้อนเพื่อควบคุมพลักซ์ความร้อนของแผ่นทำความร้อนให้ได้ตามที่กำหนด, 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) ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลที่รับจาก เครื่องบันทึกข้อมูลและเครื่องวัดความดันตกคร่อม โดยส่วนทดสอบมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นทำความร้อนไหลออกสู่ภายนอก



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 ส่วนทดสอบ การติดตั้งแผ่นทดสอบและครีบทัววีคู๋

4. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนความสูงครีบท่อความสูงท่อ (BR) และสัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงท่อ (PR) ต่อการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันโดยใช้แผ่นติดครีบทัววีคู๋ ภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลการทดลองแสดง ดังนี้

4.1 ผลการทวนสอบท่อผิวเรียบ

การทดลองนี้ศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อผิวเรียบในพจน์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) และตัวประกอบเสียดทาน (f) ตามลำดับ ผลการทดลองของเลขนัสเซลท์ที่ได้เปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และของ Gnielinski ส่วนผลการทดลองของตัวประกอบเสียดทานที่ได้เปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius และของ Petukhov (11) ในช่วงการไหลปั่นป่วน

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter,

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \text{ การให้ความร้อน (11)}$$

สหสัมพันธ์ของ Gnielinski,

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1,000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)}, 3,000 \leq Re \leq 5 \times 10^6$$

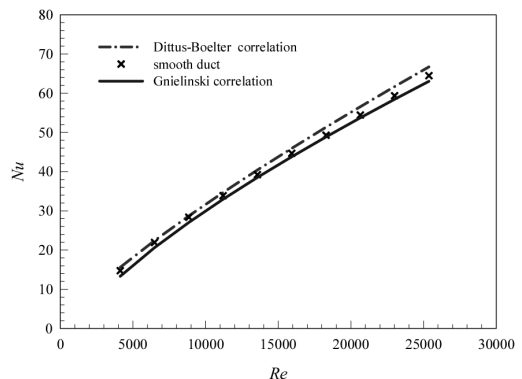
สหสัมพันธ์ของ Blasius,

$$f = 0.316 Re^{-0.25}$$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov,

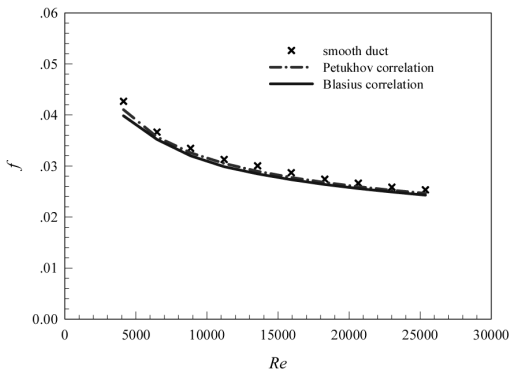
$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2}, 3,000 \leq Re \leq 5 \times 10^6$$

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์กรณที่ท่อผิวเรียบ พบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าเลขนัสเซลท์ของผลทดลองกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และของ Gnielinski พบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนค่าเลขนัสเซลท์จากผลการทดลองให้ค่าน้อยกว่าจากสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter แต่มีค่ามากกว่าสหสัมพันธ์ของ Gnielinski โดยค่าจากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.8% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และเท่ากับ 3.5% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski ที่ใช้หาค่าเลขนัสเซลท์สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่ปรับตัวเต็มที่ในท่อกลมผิวเรียบ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re กรณที่ท่อผิวเรียบ

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์์กรณีท่อผิวเรียบ จากผลการทดลองพบว่า ค่าตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองและค่าตัวประกอบเสียดทานจากสหสัมพันธ์ของ Petukhov และของ Blasius พบว่า ค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองมีค่ามากกว่าจากสหสัมพันธ์ของ Petukhov และของ Blasius โดยค่าจากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 3.1% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Petukhov และเท่ากับ 3.6% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius ที่ใช้หาค่าตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่ปรับตัวเต็มทีในท่อกลมผิวเรียบ



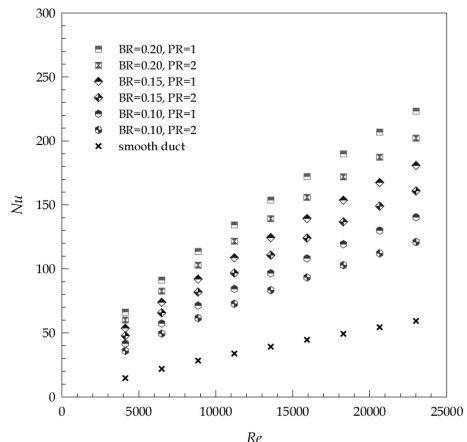
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีท่อผิวเรียบ

ผลการทวนสอบท่อผิวเรียบโดยเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ที่น่าเชื่อถือและได้รับความนิยม โดยเลขนัสเซลที่เปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และของ Gnielinski พบว่า มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.8% และ 3.5% ตามลำดับ ส่วนตัวประกอบเสียดทานเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Petukhov และของ Blasius พบว่า มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 3.1% และ 3.6% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าผลการทวนสอบท่อผิวเรียบมีความเชื่อถือได้ ซึ่งโดยทั่วไปผลการทดลองสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่ควรเกิน 10% (3-4)

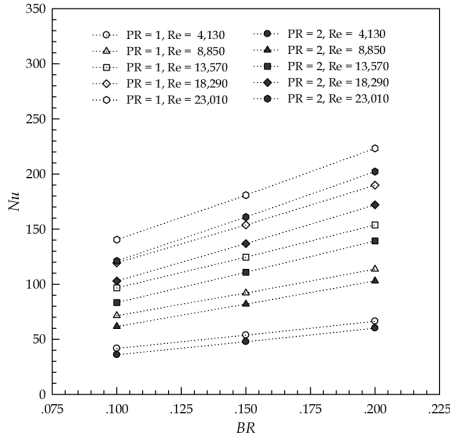
4.2 อิทธิพลของสัดส่วนกันขวาง (BR)

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์์ แต่ละกรณีทดสอบและรูปที่ 6

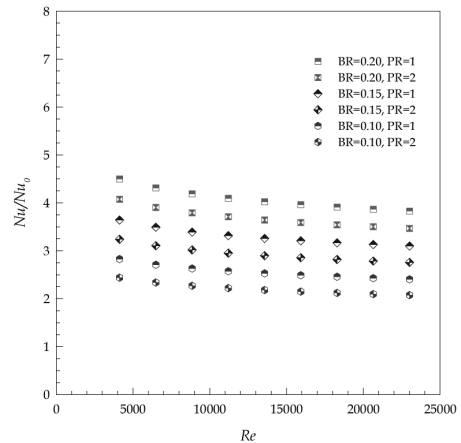
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลกับสัดส่วนกันขวาง แต่ละกรณีทดสอบ พบว่า เมื่อเลขเรย์โนลด์์เพิ่มขึ้นให้ค่าเลขนัสเซลเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การติดตั้งแผ่นดัดครีบริ้วทำให้ค่าเลขนัสเซลที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ เนื่องจากแผ่นดัดครีบริ้วที่ติดตั้งเข้าไปในท่อทดสอบสามารถสร้างการไหลแบบวอร์เทคตามยาว (longitudinal vortex flow) ซึ่งช่วยเพิ่มระดับความปั่นป่วนของการไหลและนำการไหลแกนหลัก (central core flow) ไปใกล้กับขอบเขตผนังร้อนและเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลแบบกระแทก (impingement flow) ที่บริเวณผิวร้อนของท่อ โดยการไหลแบบวอร์เทคนี้สามารถเข้าไปในบริเวณขอบเขตมุมของท่อช่วยทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น (10) แผ่นดัดครีบริ้วที่ค่าสัดส่วนกันขวางค่าสูง, $BR = 0.20$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าค่าสัดส่วนกันขวางค่าต่ำที่ $BR = 0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ เนื่องจากที่สัดส่วนกันขวางค่าสูงทำให้เกิดการขัดขวางการไหลมากซึ่งนำไปสู่การไหลแบบวอร์เทคที่แรงทำให้เกิดการผสม (mixing) ที่ดีขึ้น แผ่นดัดครีบริ้วที่ $PR = 1, BR = 0.20, 0.15$ และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผิวเรียบในช่วง $3.85-4.50, 3.10-3.64$ และ $2.41-2.83$ ตามลำดับ ที่ $PR = 2, BR = 0.20, 0.15$ และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผิวเรียบในช่วง $3.47-4.07, 2.76-3.24$ และ $2.08-2.44$ ตามลำดับ ขึ้นกับค่าของเลขเรย์โนลด์์



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re แต่ละกรณีทดสอบ

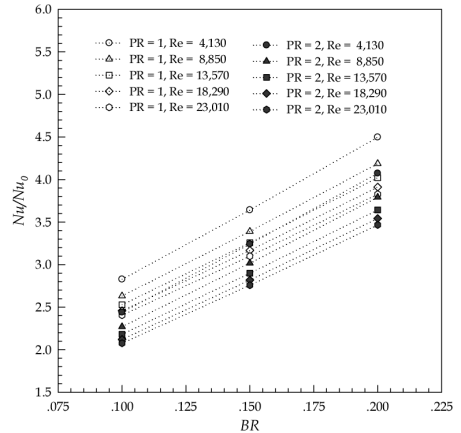


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ BR แต่ละกรณีทดสอบ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re แต่ละกรณีทดสอบ

ผลของการติดตั้งแผ่นติดครีบทัววีคูในส่วนของการสูญเสียความดันในท่อทดสอบแสดงในรูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์แต่ละกรณีทดสอบและรูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและสัดส่วนกันขวาง แต่ละกรณีทดสอบ พบว่า การติดตั้งแผ่นติดครีบทัววีคูส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าท่อผิวเรียบ เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของสัดส่วนกันขวางเนื่องมาจากการขวางการไหล (flow blockage) และพื้นผิวสัมผัสที่สูงกว่าเป็นผลให้เกิดการไหลกลับ (reverse flow) ค่าตัวประกอบเสียดทานที่สัดส่วนกันขวาง, $BR = 0.20$ ให้ค่าสูงกว่าที่ $BR = 0.15$ และ 0.10 ที่เงื่อนไขทดสอบเดียวกัน แผ่นติดครีบทัววีคู ที่ $PR = 1$, $BR = 0.20$, 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อผิวเรียบในช่วง $20.17-32.61$, $17.02-27.51$ และ $15.51-25.07$ ตามลำดับที่ $PR = 2$, $BR = 0.20$, 0.15 และ 0.10 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อผิวเรียบในช่วง $18.12-29.30$, $15.96-25.80$ และ $14.31-23.13$ ตามลำดับ ขึ้นกับค่าของเลขเรย์โนลด์



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR แต่ละกรณีทดสอบ

4.3 อิทธิพลของสัดส่วนพิตซ์ (PR)

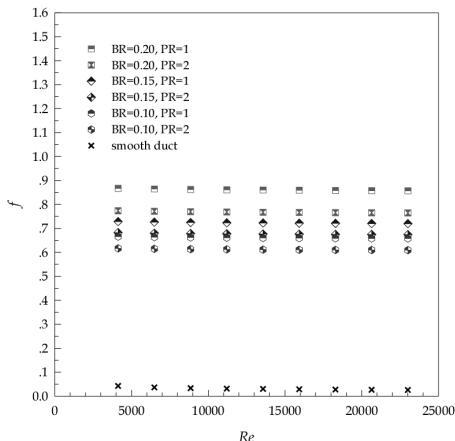
ผลของสัดส่วนพิตซ์ต่อการถ่ายเทความร้อนแสดงในรูปที่ 5 และ 6 พบว่า การติดตั้งแผ่นติดครีบทัววีคูจะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ โดยเลขนัสเซลท์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนพิตซ์มีค่าน้อย เนื่องจากที่การขัดขวางการไหลและระดับความแรงของการไหลแบบปั่นป่วนส่งผลให้เกิดการไหลแบบวอร์เทคระดับแรงกว่าที่สัดส่วนระยะพิตซ์มากกว่านั่นคือที่ $PR=1$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า $PR=2$ และที่ $PR=1$, $BR=0.20$, 0.15 และ 0.10 ให้ค่าสูงกว่าท่อผิวเรียบคิดเป็นค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 4.08, 3.30 และ 2.56 เท่าตามลำดับ และที่ $PR=2$, $BR = 0.20, 0.15$ และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผิวเรียบคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.69, 2.94 และ 2.21 เท่าตามลำดับ

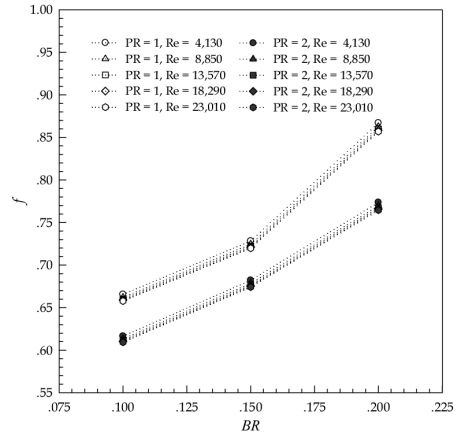
ผลของสัดส่วนพิทช์ต่อการสูญเสียความดันแสดงในรูปที่ 7 และ 8 พบว่าการติดตั้งแผ่นติดครีบริ้วจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อผิวเรียบ โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนพิทช์มีค่าน้อย นั่นคือ $PR = 1$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่า $PR=2$ และที่ $PR=1$, $BR = 0.20, 0.15$ และ 0.10 ให้ค่าสูงกว่าท่อผิวเรียบคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.45, 23.16 และ 19.48 ตามลำดับ และที่ $PR=2, BR=0.20, 0.15$ และ 0.10 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผิวเรียบคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.67, 21.72 และ 19.48 ตามลำดับ

4.4 สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์, Nu/Nu_0 เป็นอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ที่กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซิลท์ของผิวเรียบ เมื่อเขียนความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลด์และสัดส่วนกันขวาง แสดงในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ พบว่า ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์จะมีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเลขเรย์โนลด์ค่าสูงค่าความชันของการลดลงจะมีค่าลดลงจนเกือบคงที่และจะมีค่าเพิ่มเมื่อสัดส่วนกันขวางมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ $PR = 1$ ให้อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์สูงกว่า $PR = 2$

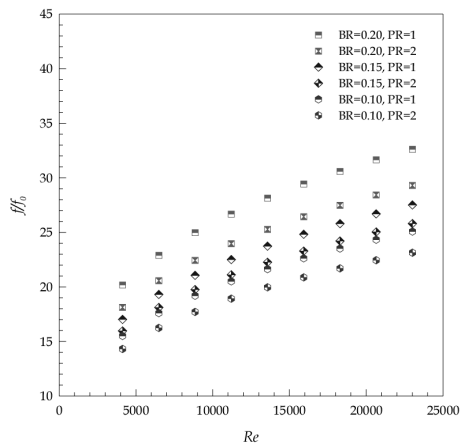


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง f และ Re แต่ละกรณีทดสอบ

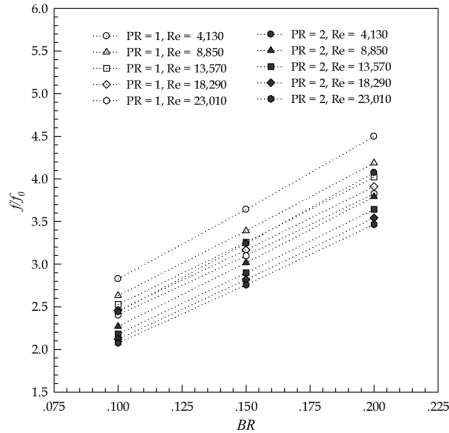


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง f และ BR แต่ละกรณีทดสอบ

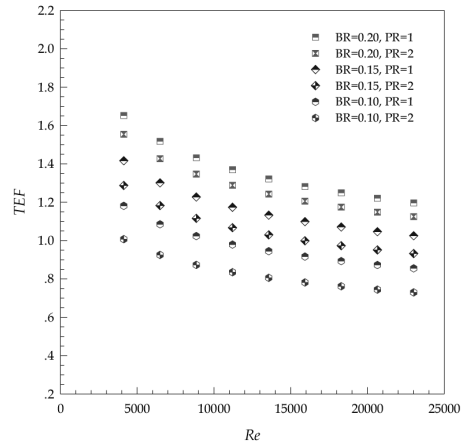
อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน, f/f_0 เป็นอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อเลขนัสเซิลท์ของผิวเรียบ เมื่อเขียนความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลด์และสัดส่วนกันขวาง แสดงในรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ พบว่า ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นและจะมีค่าเพิ่มเมื่อสัดส่วนกันขวางมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ $PR = 1$ ให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานจะสูงกว่า $PR = 2$



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re แต่ละกรณีทดสอบ

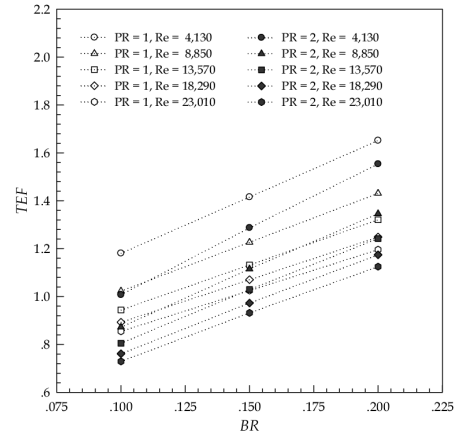


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR แต่ละกรณีทดสอบ



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re แต่ละกรณีทดสอบ

รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ และรูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) กับสัดส่วนกั้นขวาง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่กำลังขับเดียวกันพบว่า ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น การติดตั้งแผ่นติดครีบทัววีคูที่ $BR=0.20, PR=1$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.65 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด ที่ $PR=1$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า $PR=2$ และที่ $PR=1, BR=0.20, 0.15$ และ 0.10 ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.65, 1.42 และ 1.18 ตามลำดับ และที่ $PR=2$ และ $BR=0.20, 0.15$ และ 0.10 ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.55, 1.29 และ 1.01 ตามลำดับ ที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุดของช่วงทดสอบ



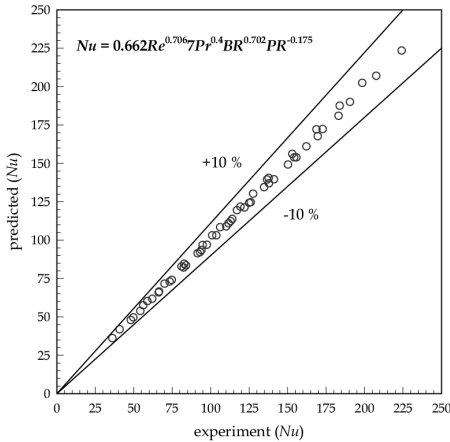
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ BR แต่ละกรณีทดสอบ

จากการผลการทดลองที่ได้เลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานสำหรับใช้กับแผ่นติดครีบทัววีคูมุมปะทะ 45° อัตราส่วนความสูงครีบท่อต่อความสูงท่อ $BR=0.10, 0.15$ และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตช์ครีบท่อต่อความสูงท่อ $PR=1$ และ 2 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=4000-25,000$ นำมาสร้างเป็นสหสัมพันธ์ในรูปแบบฟังก์ชันของเลขเรย์โนลด์ (Re), เลขพรานด์เทิล (Prandtl number, Pr), สัดส่วนกั้นขวาง (BR) และสัดส่วนพิตช์ (PR) สามารถสร้างสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์และสหสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานได้ดังแสดงในสมการที่ (15) และ (16) ตามลำดับ และความสัมพันธ์

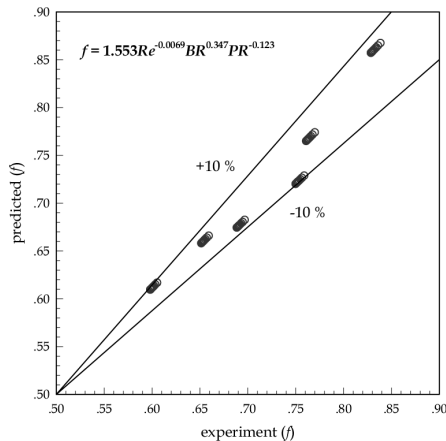
ของสหสัมพันธ์กับผลการทดลองสำหรับเลขนัสเซลที่ และตัวประกอบเสียคทาน แสดงในรูปที่ 15 และ 16 ตามลำดับ โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$

$$Nu = 0.662Re^{0.706} Pr^{0.4} BR^{0.702} PR^{-0.175} \quad (15)$$

$$f = 1.553Re^{-0.0069} BR^{0.347} PR^{-0.123} \quad (16)$$



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลที่จากสหสัมพันธ์ กับเลขนัสเซลที่จากการทดลอง



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียคทานจากสหสัมพันธ์กับเลขนัสเซลที่จากการทดลอง

5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้ แผ่นติดครีบริบตัววีคู๋ ติดตั้งโดยการสอดเข้าไปในแนวทะ

แยงมุมของท่อและครีบริบติดตั้งที่ผิวบนและผิวล่างของ แผ่นทดสอบ มีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ $(b/H, BR) = 0.10, 0.15$ และ 0.20 สัดส่วนระยะพิชต์ต่อ ความสูงท่อ $(P/H, PR) = 1$ และ 2 ที่มุมปะทะ $(\alpha) = 45^\circ$ จัดวางครีบริบแบบซี่ทวนกระแสการไหล ทำการทดสอบ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000 ถึง 25,000 พบว่า การติดตั้งแผ่นติดครีบริบตัววีคู๋ ส่งผลให้ เกิดการสูญเสียความดันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ, $f/f_0 = 14.31-32.61$ แต่ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบเพิ่มขึ้น, $Nu/Nu_0 = 2.08-4.50$ สำหรับการติดตั้งแผ่นติดครีบริบตัววีคู๋ส่งผลให้การถ่ายเท ความร้อนและการสูญเสียความดันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนกันขวางกับเลขเรย์โนลด์ และการลดลงของสัดส่วนพิชต์ โดยพบว่าที่ $BR = 0.20, PR = 1$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเท ความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.65 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ รายได้ ปีงบประมาณ 2556 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

7. เอกสารอ้างอิง

- (1) Tanda G. Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs. *Int. J. Heat and Mass Transfer*. 2004; 47: 229–243.
- (2) Benlu and Pei-Xue Jiang. Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs. *Experimental Thermal and Fluid science*. 2006; 30: 513–521.
- (3) Promvong P and Thianpong C. Thermal performance of turbulent channel flows over different shaped ribs, *Int Comm. Heat Mass Transfer*. 2008; 35: 1327–1334.

- (4) Thianpong C, Chompookham T, Skullong S and Promvonge. Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. 2009; 36: 712–717.
- (5) SriHarsha V, Prabhu SV, Vedula RP. Influence of rib height on the local heat transfer distribution and pressure drop in a square channel with 90° continuous and 60° V-broken ribs. *Applied Thermal Engineering*. 2009; 29 (11-12): 2444-2459.
- (6) Arvind Kumar, Bhagoria JL, Sarviya RM. Heat transfer and friction correlations for artificially roughened solar air heater duct with discrete W-shaped ribs, *Energy Conversion and Management*. 2009; 50(8): 2106-2117.
- (7) Skullong S, Pimsarn M and Promvonge P. Thermal enhancement in a channel with winglets. *International Conference on Agricultural Engineering (TSAE2011)*; 2011 March 31 - April 1; Chonburi: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. 2011. Thai.
- (8) Hunpong P, Skullong S and Promvonge P. Heat transfer enhancement in a square channel using angled ribs. *International Conference on Agricultural Engineering (TSAE2012)*; 2555 April 1; Chiang Mai; Chiang Mai University. 2555. Thai.
- (9) Promvonge P, Skullong S, Kwankaomeng S and Thianpong C. Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape, Part 1: Experimental study. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. 2012; 39: 617–624.
- (10) Promvonge P, Skullong S, Kwankaomeng S and Thianpong C. Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape, Part 2: Numerical study. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. 2012; 39: 625–633.
- (11) Webb RL. *Principles of Enhanced Heat Transfer*. New York: John-Wiley & Sons; 1992.