

การศึกษาเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานด้วยการวาง อุปกรณ์แผ่นกั้นบิดรูปตัววีสร้างความปั่นป่วน

Investigation of heat transfer augmentation in a channel tube fitted with v – twisted baffle turbulators

ปณิธาน แดงบุญ^{1*}, สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด¹ และ ขวัญชัย หนานแน่น²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่อยู่ 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย
เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

*E-mail: panitand@hotmail.com, โทรศัพท์ (087) 1811532, โทรสาร (662) 2413029

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่อยู่ 38 ต.นาุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
E-mail: kwanchai.nan@mail.pbru.ac.

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้มีการศึกษาการศึกษาเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานด้วยการวางอุปกรณ์แผ่นกั้นบิดรูปตัววีสร้างความปั่นป่วน ในการทดลองได้ใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนสีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่น Thermo chromic liquid crystal (TLC) มาศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อน โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบที่มีอัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ที่อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000 ภายใต้การให้ความร้อนแบบสม่ำเสมอที่ช่องขนานสี่เหลี่ยม โดยที่มีอัตราส่วนการบิด $y/W = 3$ โดยทำการเปรียบเทียบกับกรณีการจัดวางเรียงตัวของแผ่นบิดโดยวางเป็นมุม โดยทำมุม $= 45^\circ$ โดยมีความสูงของครีบต่อความสูงของช่องทางการไหล $w/H = 0.3$ ทิศทางการวางแผ่นบิดเป็นทิศทางเดียวกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในช่วงเลขเรย์โนลด์สูงสามารถถ่ายเทความร้อนได้กว่าช่วงเลขเรย์โนลด์ต่ำ ช่องขนานสี่เหลี่ยมที่มีการใส่แผ่นบิดช่วยให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น และทำให้ความดันลดลงกว่าท่อเปล่า และแผ่นบิด ($y/W = 3$ และ $\alpha=45^\circ$) อัตราการถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบเสียดทานของช่องขนานสี่เหลี่ยมที่ใส่แผ่นบิดวางกั้นการไหลมีการถ่ายเทความร้อนได้ดี

คำหลัก: การถ่ายเทความร้อน , สมรรถนะทางความร้อน , แผ่นบิด , การไหลแบบหมุนวน , แผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัล

Abstract

The thesis presents a investigation of heat transfer augmentation in a channel tube fitted with v – twisted baffle by using Thermo chromic liquid crystal (TLC) sheet . To study the heat transfer characteristics By using air is used as the test fluid with the airflow rate in terms of Reynolds numbers ranging from 5,000 to 20,000 under uniform wall heat-flux condition. Twist ratios ($y/W = 3$) and different attack angles ($\alpha = 45^\circ$). And the high of find compared with the high of heat flow $w/H = 0.3$ By used direction of twisted tape in same direction. The result shows that in high range the number of Reynolds the heat transfer is better than low range of the number of Reynolds. The twisted tape increase heat transfer in channel tube and decrease pressure compare with normal channel tube and others tape. The study shows that the heat transfer , friction in channel tube that insert twisted tape ($y/W = 3$ และ $\alpha=45^\circ$) have good heat transfer more than others.

Keywords: Heat transfer , Thermal performance , Twisted tape , Swirl flow , Thermo chromic liquid crystal

1. บทนำ

งานวิจัยทางการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน เป็นที่สนใจสำหรับงานอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ โดยการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น เครื่องทำความเย็น เตาเผา แผงรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ เครื่องยนต์ เป็นต้น และเพื่อให้ได้มาซึ่งการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงาน การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า จะช่วยในการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายและยังสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ด้วยการใส่แผ่นปิดเข้าไปในช่องขนานสี่เหลี่ยม เพื่อสร้างความปั่นป่วนภายในท่อทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน วิธีที่ได้รับความนิยมกันส่วนมากก็คือ การติดตั้งอุปกรณ์การสร้างการปั่นป่วนเข้าไปภายในท่อเช่น ติดตั้งแผ่นกั้น (baffle) ใช้ครีบริบทรงต่างๆ (ribs) หรือ อาจจะใช้ลักษณะรูปทรงปีก (winglet) เป็นต้นเพื่อเพิ่มความเร็วของการไหลของของไหลส่งผลทำให้ความเร็วสัมผัสในบริเวณใกล้กับผนังท่อมีค่าเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นซึ่งส่งผลให้สมรรถนะทางความร้อนของระบบดีขึ้น ในการวิจัยนี้จะมีการนำแผ่นปิดวางขวางแต่ละรูปแบบเข้าไปในระบบ ทำให้ความร้อนบริเวณผนังช่องขนานสี่เหลี่ยมเกิดการกระจายตัวเข้ามาสู่ศูนย์กลางเมื่อมีการไหลของลมโดยโครงแผ่นปิด เมื่อลมวิ่งเข้ามาที่ศูนย์กลางช่องขนานสี่เหลี่ยมจะวิ่งชนกับแผ่นปิดที่วางขวาง ทำให้เกิดความปั่นป่วนและชั้นความร้อนเกิดการกระจายตัวและทำการแลกเปลี่ยนภายในระบบที่ดียิ่งขึ้น ส่งผลทำให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไป

Momin et al. (2002) ศึกษาทำการตรวจสอบด้วยผลการทดลองของการไหลผ่านครีบริบรูปตัววี ต่อการถ่ายเทความร้อน และลักษณะการไหลใน ท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าของเครื่องอุ่นอากาศด้วยแสงอาทิตย์ ศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 2,500 ถึง 18,000 ค่า e/D อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.034 มุมปะทะอยู่ในช่วง 30° ถึง 90° และค่า $p/e=10$ จากผลการทดลองพบว่าค่าสูงสุดของอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลท์และตัวประกอบความเสียหายเท่ากับ 2.3 และ 2.83 เท่าของท่อผิวเรียบตามลำดับ และเกิดขึ้นที่มุมปะทะ 60° และพวกเขาสรุปว่าครีบริบรูป

ตัววีให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนสูงกว่าครีบริบเหลี่ยมที่มีเงื่อนไขการไหลเดียวกัน

Promvong and Thianpong (2008) ศึกษาด้วยการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการไหลผ่านครีบริบที่มีหน้าตัดรูปทรงต่างๆ โดยครีบริบที่ใช้ศึกษามีการจัดเรียงทั้งแบบตรงกันและแบบเยื้องกัน ซึ่งประกอบไปด้วยครีบริบสามเหลี่ยมด้านเท่า ครีบริบรูปสี่เหลี่ยมที่หันไปทางด้านท้ายการไหล และครีบริบรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งถูกติดตั้งบนผิวให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังด้านบนและด้านล่าง ช่องทางไหลมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 15 ค่า $p/H=2$ และค่า $e/H=0.15$ ศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ 4,000-16,000 จากผลการทดลองการจัดวางครีบริบแบบตรงกัน ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียหายสูงกว่าการจัดวางครีบริบแบบเยื้องกัน และครีบริบรูปสี่เหลี่ยมที่หันไปทางด้านท้ายการไหลให้ค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบความเสียหายสูงที่สุด ในขณะที่ครีบริบรูปสามเหลี่ยมวางเยื้องกันให้ค่า TEF สูงที่สุด

Thianpong et al. (2009) ศึกษาด้วยการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการไหลผ่านครีบริบรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหลในช่องทางไหลต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียหาย ซึ่งเป็นงานที่พัฒนามาจากงานของ Promvong and Thianpong (2008) โดยครีบริบที่ใช้ศึกษามีการจัดเรียงทั้งแบบตรงกันและแบบเยื้องกัน และถูกติดตั้งบนผิวให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ที่ผนังด้านบนและด้านล่าง ช่องทางไหลมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 10 ค่า $p/H=1.33$ และค่า e/H อยู่ในช่วง 0.13-0.26 ศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ 5,000-22,000 จากผลการทดลองสรุปว่า ครีบริบที่ศึกษาให้ค่าอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลท์อยู่ในช่วง 1.8-4.0 เท่าของท่อผิวเรียบ แต่การจัดวางครีบริบแบบเยื้องกันที่ค่า $e/H=0.13$ ให้ค่า TEF สูงที่สุด ซึ่งค่าสูงสุดของ TEF เกิดที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 5,000 ซึ่งมีค่าประมาณ 1.34

Promvong et al. (2014) เสนอการทดลองการเพิ่มสมรรถนะการแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีการสอดใส่แผ่นปิดที่มีการตัดปีกเข้าไปในท่อที่ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000 ถึง 30,000 ลักษณะของแผ่นปิดและปีกรวมทั้งอัตราส่วนการปิด (y/W) = 4 และ 5 และความ

สูงของท่อที่มีอัตราส่วนความสูงของท่อ (RB) = 0.1, 0.15 และ 0.2 และระยะห่างของแผ่นปิดอัตราความกว้าง (Rp) = 2, 2.5, 4 และ 5 และการตัดปีกที่องศา $\alpha = 30^\circ$ ผลของการทดลอง การถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบการเสียดทาน และอัตราส่วนความสูงจะเพิ่มขึ้น แต่ในส่วนของอัตราส่วนความกว้าง (Rp) จะลดลง ผลการทดลองแสดงค่าท่อที่อัตราส่วนความสูง (RB) = 0.2 และอัตราส่วนความกว้าง (Rp) = 2 และอัตราส่วนการปิด (y/W) = 4 ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และตัวประกอบการเสียดทานที่อัตราส่วนความสูง (RB) = 0.1 และอัตราส่วนความกว้าง (Rp) = 2 และเป็นค่าที่มากที่สุด สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าถึง 17% มากกว่าแผ่นปิดที่ไม่มีการตัดปีกรูปตัววี

Yadav et al. (2015) ศึกษาทดลองการพัฒนาการถ่ายเทความร้อนที่มีแผ่นปิดทั่วไปใส่เข้าไปในท่อสี่เหลี่ยมและหกเหลี่ยม แผ่นปิดที่มีอัตราส่วนการปิดที่แตกต่างกัน แผ่นปิดมีความกว้าง 34 มิลลิเมตร ยาว 1,500 มิลลิเมตรหนา 0.6 มิลลิเมตร อัตราการปิด (y/W) = 3.5, 4.0, 5.5, 6.5 การทดลองช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 0 – 2,500 เป็นค่าอัตราการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) เป็นการพัฒนาการถ่ายเทความร้อนที่มีแผ่นปิดทั่วไปใส่เข้าไปในท่อที่เป็นสี่เหลี่ยมและหกเหลี่ยม มีค่าสมรรถนะการเพิ่มความร้อนได้ดีขึ้นตั้งแต่ 0-12 และท่อหกเหลี่ยมที่มีค่าสมรรถนะการเพิ่มความร้อนที่ดีที่สุดคือ (y/W) = 3.5

Pourahmad and Pesteei. (2016) การทดลองได้นำเสนอผลกระทบการวิเคราะห์ NTU ในอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ ซึ่งมีแถบหยักโดยที่มีการหยักในค่ามุมต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วยน้ำ สำหรับอัตราการไหลของน้ำที่ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 3,000 ถึง 13,500 เป็นการไหลแบบปั่นป่วน มีการติดตั้งแผ่นสังกะสี มีความหนาที่ 1 มิลลิเมตร มีการทำหยักเป็นมุมที่สังกะสี ต่างกัน 45° , 60° , 90° , 120° และ 150° ตามลำดับ ถูกติดตั้งในท่อด้านในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ระบบการไหลทั้งร้อนและเย็น น้ำไหลผ่านท่อด้านในและช่องว่างระหว่างท่อ เพื่อให้อุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็นเข้าค่าคงที่ เพื่อนำไปวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน การทดลองนี้ ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน อยู่ที่ 0.8 และ 1.4 เท่า และตัวประกอบ

ความเสียดทาน = 0.1 ถึง 0.4 ค่าที่ให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดเป็นแผ่นปิดที่มีหยัก = 150°

2. ทฤษฎีและการคำนวณ

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อการศึกษาเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานด้วยการวางอุปกรณ์รูปตัววีสร้าง ความปั่นป่วน โดยที่สมการเรย์โนลด์สามารถเขียนสมการในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) ได้ดังนี้

$$Re = \frac{UD_h}{\nu} \quad (1)$$

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศ ตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h)

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

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

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

$$\text{และ } T_s = \sum T_s / 28 \quad (5)$$

เมื่อ

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพา

T_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ย

T_s คือ อุณหภูมิผิวแต่ละจุดตามแนวยาวท่อ

T_o, T_i คือ อุณหภูมิทางออกและทางเข้า

m, C_p, V, I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ

ตัวเลขนัสเซิลต์เฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

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

ตัวประกอบความเสียดทาน (f) หาได้จาก

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

เมื่อ ΔP คือ ความดันตกคร่อม

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลจากสมบัติทาง

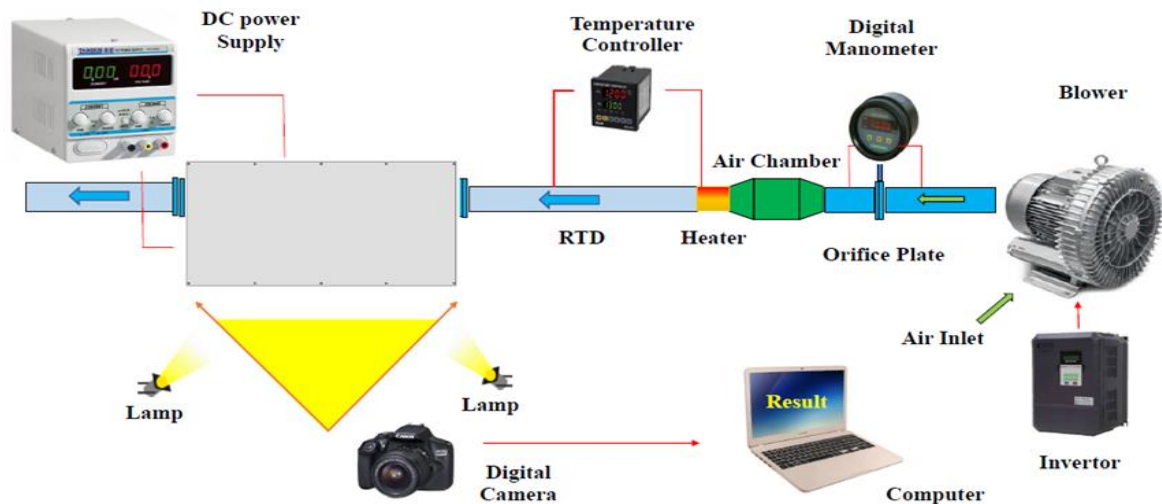
กายภาพของอากาศ ถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย (T_b) จากสมการที่ (4)

HTE – 015

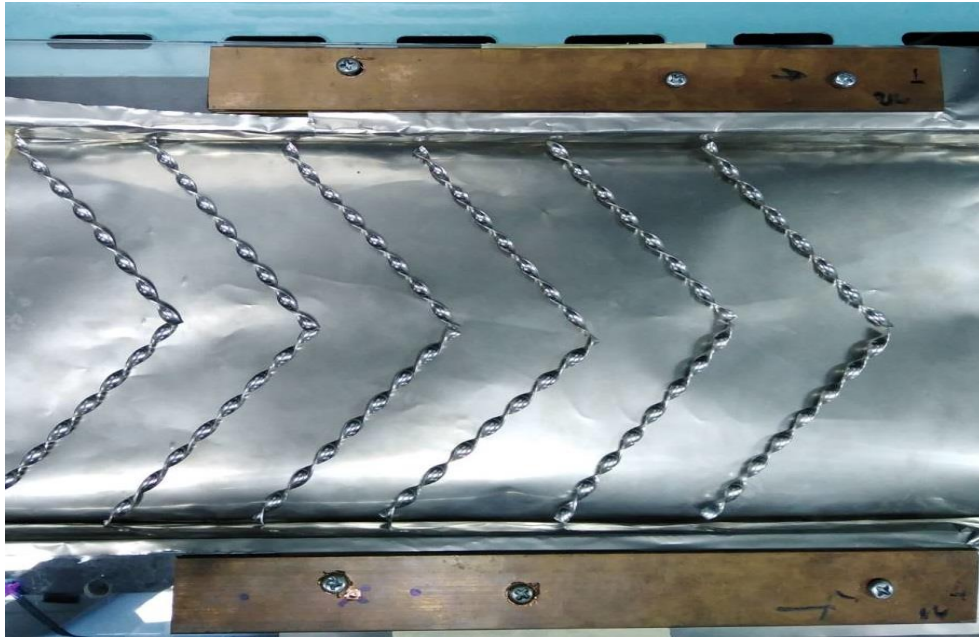
3. อุปกรณ์และวิธีทดลอง

อุปกรณ์ทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 1 ช่องขนานสี่เหลี่ยมมีความสูงช่องขนาน (H) = 15 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบมีความยาว (L) = 1,500 มิลลิเมตร ติดตั้งแผ่นปิดวางขวาง มีอัตราส่วนการปิด (y/w) = 3.0 โดยการเปรียบเทียบระหว่างการจัดเรียงตัวของแผ่นปิดโดยการวางเป็นมุม โดยทำมุม = 45° รูปวางครีบบดและลักษณะการติดตั้ง แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งการทดลองอากาศจะถูกขับโดยพัดลม (Blower) ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ และมีอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับพัดลมป้อนอากาศเข้าสู่ระบบ Orifice meter ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ชุดทดลอง , Manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดันเพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศ ความแตกต่างของความดัน โดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ Inclined manometer , Air Chamber มีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุดโดยอากาศจะถูกควบคุมความเร็วให้สัมพันธ์กับค่าเลขเรย์โนลด์ โดยควบคุมความเร็วให้ค่าเลขเรย์โนลด์

ระหว่าง 5,000 ถึง 20,000 แผ่นช่องขนาน ชุดทดลอง (Test Section) จะมีการติดตั้งครีบบดความปั่นป่วนในช่องการไหล คือ ติดตั้งครีบบดรูปตัววีที่วางทำตัวเป็นมุมรูปแบบต่างๆ ดังที่จะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อครีบบดความปั่นป่วน ซึ่งรูปแบบของการทดลองคือ มีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์คงที่เข้ามาในระบบผ่านการจ่ายไฟผ่านแท่งทองแดง (Copper Bus Bar) ให้แผ่นสแตนเลสบาง แผ่นสแตนเลสจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นกลายเป็นแหล่งจ่ายความร้อนให้ชุดทดลอง ความร้อนที่ได้รับกระจายจากเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) โดยสามารถปรับค่าของกระแสในการจ่ายไฟอยู่ในช่วง 0-50 A และปรับความต่างศักย์ที่ 0 – 12 V ที่ Input 220 V , พฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนในบริเวณที่มีการติดตั้งครีบบดและบริเวณพื้นผิวลูกคลื่นจากการบันทึกข้อมูลการถ่ายเทความร้อนโดยการติดตั้งแผ่นเทอร์โมโครมิคควิตคริสตัล (แผ่น TLC) เพื่อใช้ในการอ่านค่าอุณหภูมิของแต่ละตำแหน่งและบันทึกภาพค่าสีเก็บไว้และส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการบันทึกข้อมูล โดยค่าที่วัดได้จะนำไปวิเคราะห์ผลในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 1 แผนผังอุปกรณ์ของชุดทดลอง

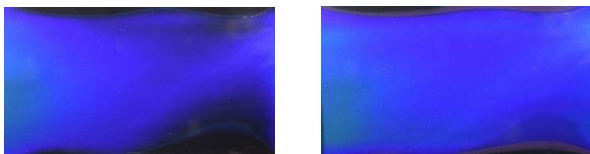


ภาพที่ 2 รูปการติดตั้งแผ่นกันบิตในชุดทดลองโดยที่มีอัตราส่วนการบิต $y/W = 3$ การจัดวางเรียงตัวของแผ่นกันบิตโดยวางเป็นมุม โดยทำมุม = 45°

4. ผลการทดลอง

4.1 การถ่ายเทความร้อน

การศึกษาโดยแผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัล (TLC) เป็นตัวแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้เราสามารถวิเคราะห์ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เปลี่ยนไปได้



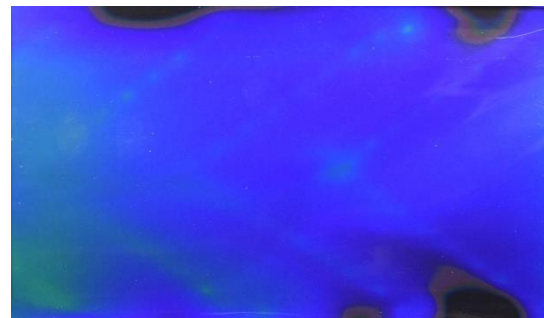
(ก)

(ข)

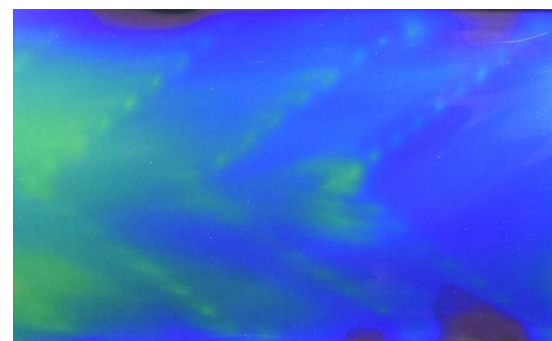
รูปที่ 3 รูปการถ่ายเทความร้อนกรณีไม่ติดตั้งแผ่นกันบิตรูปตัววี

(ก) $Re = 5,000$ (ข) $Re = 20,000$

รูปที่ 3 เป็นการบันทึกภาพแผ่นการศึกษาโดยแผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัล (TLC) จากการทดลองที่ไม่มีแผ่นกันรูปตัววีที่เลขเรย์โนลด์ส์ (Re) = 5,000 แผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัลจะเป็นสีน้ำเงินเข้ม ที่เลขเรย์โนลด์ส์ (Re) = 20,000 แผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัลจะเป็นสีน้ำเงินอ่อนเกือบฟ้า สามารถวิเคราะห์ได้ว่าในกรณีเลขเรย์โนลด์ส์สูงสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าเลขเรย์โนลด์ส์ต่ำ

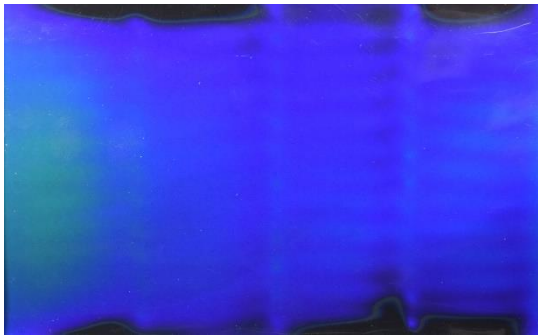


รูปที่ 4 รูปการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกันบิตรูปตัววีมุม 45° ที่ $Re = 5,000$

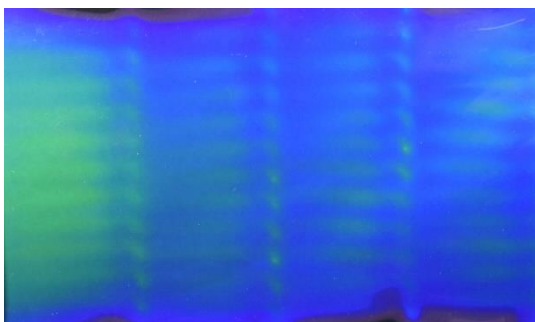


รูปที่ 5 รูปการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกันบิตรูปตัววีมุม 45° ที่ $Re = 20,000$

จากรูปภาพสีจากแผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัล (TLC) เทียบกับที่ทำการทดสอบไว้ กรณีรูปการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 45 องศา อัตราส่วนระยะพิตต์ต่อความสูง $p/e = 10$ ที่ $Re = 5,000$ (รูปที่ 4) แผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัลจะมีสีน้ำเงินเกือบเต็มพื้นที่ แสดงให้เห็นว่าแผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัลมีอุณหภูมิสูงตลอดพื้นที่ทดสอบการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นน้อยมากในทุก ๆ บริเวณ ส่วนกรณีติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 45 องศา อัตราส่วนระยะพิตต์ต่อความสูง $p/e = 10$ ที่ $Re = 20,000$ (รูปที่ 5) เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากกว่า สังเกตจากบริเวณก่อนถึงแผ่นกั้นบริเวณดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัลเป็นสีน้ำเงินอ่อนที่อ่อนกว่า $Re = 5,000$ แสดงให้เห็นว่ามีการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากกว่า



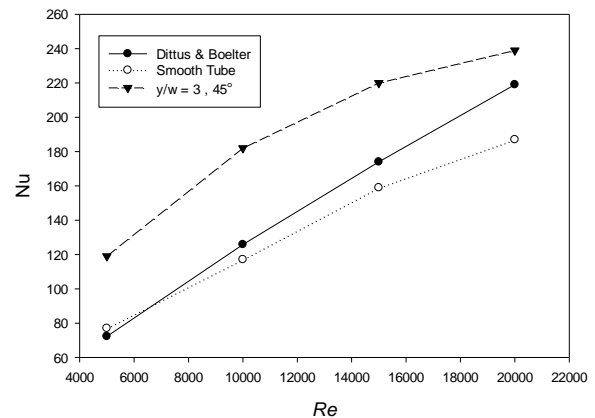
รูปที่ 6 รูปการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกั้นบิดวางขวางการไหล ที่ $Re = 5,000$



รูปที่ 7 รูปการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกั้นบิดวางขวางการไหล ที่ $Re = 20,000$

จากรูปภาพสีจากแผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัล (TLC) เทียบกับที่ทำการทดสอบไว้ กรณีรูปการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกั้นวางขวางการไหล อัตราส่วนระยะพิตต์

ต่อความสูง $p/e = 10$ ที่ $Re = 5,000$ (รูปที่ 6) แผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัลจะมีสีน้ำเงินเกือบเต็มพื้นที่ แสดงให้เห็นว่าแผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัลมีอุณหภูมิสูงตลอด แสดงให้เห็นว่าแผ่นยังมีอุณหภูมิลดลงแต่ยังลดลงน้อยอยู่ กรณีรูปการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกั้นวางขวางการไหล อัตราส่วนระยะพิตต์ต่อความสูง $p/e = 10$ ที่ $Re = 20,000$ (รูปที่ 7) เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากกว่า สังเกตจากบริเวณก่อนถึงแผ่นกั้นบริเวณดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัลเป็นสีน้ำเงินจางจนถึงเขียวอ่อนกว่า $Re = 5,000$ แสดงให้เห็นว่ามีการถ่ายเทความร้อนได้ดี

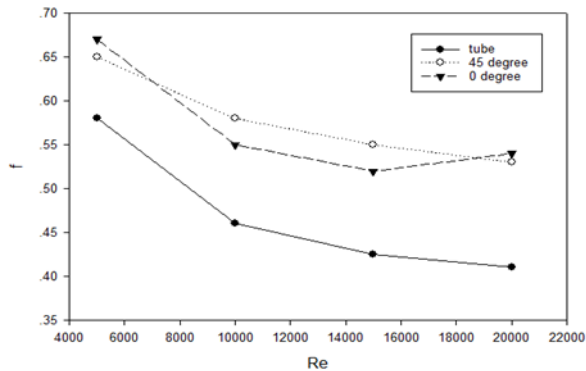


รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับค่าการถ่ายเทความร้อน

4.2 ผลการตรวจสอบท่อผิวเรียบกับสหสัมพันธ์ในอดีตและผลกระทบกรณีติดตั้งแผ่นบิด

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับค่าการถ่ายเทความร้อนของกรณีศึกษาทั้งหมด พบว่ากรณีติดตั้งชุดทดลองสำเร็จแล้วจะต้องมีการทดสอบความแม่นยำของชุดทดลอง โดยทดสอบท่อผิวเรียบ ด้วยการนำค่าไปเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ในอดีตที่มีความน่าเชื่อถือเพื่อยืนยันความถูกต้องและความคาดเคลื่อนของชุดทดลอง ในด้านของค่าตัวเลขการถ่ายเทความร้อน (Nu) ใช้เงื่อนไขสหสัมพันธ์ในอดีตของ Dittus and Boelter จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อผิวเรียบเป็นไปตามเงื่อนไขสหสัมพันธ์ Dittus and Boelter สมการของ Dittus and Boelter มีความคาดเคลื่อน 7% โดยในช่วงที่เลขเรย์โนลด์ต่ำค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าน้อยและจะเพิ่มขึ้นตามตัวเลขเลขเรย์โนลด์ และจากกราฟสามารถอธิบายถึงผลกระทบของ

ตัวเลขเรย์โนลด์ที่ได้ดีมากขึ้น จะเห็นว่ากรณีติดตั้งแผ่นกันบิดวางขวางช่องขนานสี่เหลี่ยมสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Nu) ได้เมื่อเทียบกับกรณีท่อเรียบ โดยที่เลขเรย์โนลด์ 20,000 จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดและค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) จะลดลงเมื่อช่วงเลขเรย์โนลด์ต่ำลง



4.3 ตัวประกอบความเสียดทาน

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของกรณีศึกษาทั้งหมด พบว่า เมื่ออัตราส่วนระยะพิชิตต์กับความสูงของแผ่นกัน $p/e = 10$ มุมปะทะแผ่นกัน 0 องศา มีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด โดยมุมปะทะแผ่นกัน 45 องศา มีค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยที่สุด และจากการคำนวณค่าตัวประกอบเสียดทานได้ค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีมาเป็น 0.535 , 0.502 ตามลำดับ กรณีท่อเปล่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.425

5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้จากการศึกษาเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานด้วยการวางอุปกรณ์และติดตั้งแผ่นกันบิดรูปตัววีสร้างความปั่นป่วน ภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้ พบว่าการวางแผ่นกันขวางทุกกรณีจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานสูงกว่ากรณีท่อเปล่า แสดงให้เห็นว่าช่วงตัวเลขเรย์โนลด์และมุมการวางของแผ่นกัน เป็นตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนอย่างมาก เนื่องมาจากแผ่นกันรูปตัววีที่ระยะพิชิตต์เท่ากัน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Abdul-Malik Ebrahim Momin, J. S Saini, S. C Solanki (2002). Heat transfer and friction in solar air heater duct with V-shaped rib roughness on

absorber plate, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol 45, pp. 3383-3396.

[2] Karwa (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, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol 45, pp. 241-250.

[3] Promvong and Thianpong (2008). Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol 35, pp. 1327-1334.

[4] Lee and Rhee (2009). Detailed measurement of heat/ mass transfer with continuous and multiple V-shaped ribs in rectangular channel, *Energy*, Vol 34, pp. 1170-1178.

[5] Eiamsa-ard and Promvong (2009). Thermal characteristics of turbulent rib-grooved channel flows, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol 36, pp. 705-711.

[6] Thianpong et al. (2009). Thermal characterization of turbulent flow in a channel *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol 38, pp. 329-334.

[7] Thianpong et al. (2009). Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol 36, pp. 712-717.

[8] Promvong et al. (2010c). Heat transfer augmentation in a wedge-ribbed channel using winglet vortex generators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol 37, pp. 163-169.

[9] Murugesan et al. (2011). Heat transfer and pressure drop characteristics in a circular tube fitted with and without V-cut twisted tape insert,



International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol 38, pp. 329-334.

[10] Bas and Ozceyhan (2011). Heat transfer enhancement in a tube with twisted tape inserts placed separately from the tube wall, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol 41, pp. 51-58.

[11] Thianpong et al. (2012). Effect of perforated twisted-tapes with parallel wings on heat transfer enhancement in a heat exchanger tube, *Energy Procedia*, Vol 14, pp. 1117-1123.

[12] Promvong et al. (2014). Thermal performance enhancement in a heat exchanger tube fitted with inclined vortex rings, *Applied Thermal Engineering*, Vol 91, pp. 298-307.

[13] Pourahmad and Pesteei. (2016). Effectiveness-NTU analyses in a double tube heat exchanger equipped with wavy strip considering various angles, *Energy Conversion and Management*, Vol 123, pp. 462-469.

[14] Oni and Paul (2016). Numerical investigation of heat transfer and fluid flow of water through a circular tube induced with divers' tape inserts, *Applied Thermal Engineering*, Vol 98, pp. 157-168.