คุณลักษณะการไหลในท่อกลมร่วมกับแผ่นบิดด้วยวิธีเชิงทัศน์

The Flow Characteristics in a Circular Tube with Twisted Tape by Visualization Method

ปวีณ สุขบรรเทิง* และ ขวัญชัย หนาแน่น

Paween Sukbanthoeng* and Kwanchai Nanan

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

***Corresponding author; E-mail**: paween.suk@mail.pbru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นผลการศึกษาคุณลักษณะการไหลของของไหลในท่อกลมร่วมกับแผ่นบิดต่อกลไกการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ในการทดลองได้ศึกษาการไหลด้วยวิธีเชิงทัศน์ โดยใช้เข็มผสมสีกับน้ำเพื่อดูลักษณะการไหลภายในท่อร่วมกับแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 500, 2,300 และ 4,000 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 2 มีจำนวนรอบของการไหลหมุนควงมากที่สุดเมื่อเทียบกับแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 3, 4 และ 5 ที่ช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 500 ซึ่งเป็นช่วงการไหลแบบราบเรียบ ผลจากการไหลหมุนควงนี้จะช่วยส่งผลในการหน่วงการไหลในท่อให้ยาวนานขึ้นทำให้มีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันการไหลหมุนควงยังส่งผลต่อการทำลายชั้นขอบผิวความร้อนบริเวณผนังท่อให้บางลง ส่งผลของไหลเกิดการผสมกันระหว่างชั้นการไหลที่มีอุณหภูมิต่างกันได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ : การถ่ายเทความร้อน การไหลหมุนควง อัตราส่วนการบิด เลขเรย์โนลด์ แผ่นบิด

Abstract

The research aims to study the flow characteristics in a circular tube with twisted tape through heat transfer mechanism. The experiment with visualization method is used of the dyed injection for flowing in the tube with twisted tape at the twist ratio (y/W) of 2, 3, 4 and 5 which fixed Reynolds number (Re) of 500, 2,300 and 4,000, respectively. The results, with the Reynolds number (Re) of 500, show that the twisted tape of 2 can swirl flowing the most while it shows the twisted ratio better the

twisted tape of 3, 4 and 5. The twisted tape, insert provides the considerable increase in heat transfer rate by the formation of a swirling flow and increasing the turbulence intensity or by limiting the growth of fluid boundary layers close to the heat transfer surfaces and also increase the residence time, contributing to the heat transfer enhancement.

Keywords: Heat transfer, Swirl flow, Twist ratio, Reynolds number, Twisted tape

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญทางด้านเศรษฐกิจเป็นผลให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้นเป็นจำนวนมาก ทางรัฐบาลได้ตระหนักถึงความสำคัญในการประหยัดพลังงานตามนโยบายพลังงานส่งเสริมการอนุรักษ์และประหยัดพลังงานทั้งในภาคครัวเรือน อุตสาหกรรม บริการ และขนส่ง โดยรณรงค์ให้เกิดวินัยและสร้างจิตสำนึกในการประหยัดพลังงาน และสนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามความต้องการใช้พลังงานยังคงสูงขึ้นเนื่องมาจากการแข่งขันทางธุรกิจและจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นประกอบกับทรัพยากรในธรรมชาติที่มีอยู่ลดน้อยลง ดังนั้นแนวทางที่สามารถลดปัญหาได้คือการให้ความสนใจทางด้านพลังงานและการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อลดปัญหาดังกล่าว การพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นในภาคอุตสาหกรรมทำให้มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตที่ต่ำลงรวมทั้งลดขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้มีขนาดเหมาะสมและกะทัดรัด อีกทั้งช่วยลดการใช้วัสดุและพื้นที่ในการติดตั้งซึ่งเป็นผลให้การใช้ทรัพยากรในธรรมชาติลดลง

โดยทั่วไปเทคนิคการการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม [1] ได้แก่ 1. เทคนิคแบบแอคทีฟ (Active techniques) เป็นการนำเอาพลังงานภายนอกเข้ามาช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เช่น อุปกรณ์ทางกล อุปกรณ์ทางไฟฟ้า จะทำให้เกิดการสั่นของผิวทำให้ของไหลเกิดการสั่นสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 2. เทคนิคแบบพาสซีฟ (Passive techniques) เป็นการออกแบบพื้นผิวของท่อให้พิเศษต่างจากพื้นผิวของท่อเรียบและปรับปรุงของไหลทำงานเพื่อให้มีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยไม่มีพลังงานภายนอกเข้ามาช่วย 3. เทคนิคแบบผสม (Compound techniques) เป็นการออกแบบผสมผสานระหว่างเทคนิคแบบแอคทีฟและเทคนิคแบบพาสซีฟ Eiamsa-ard และ Promvonge [2] ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองของคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานในท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นบิดสองประเภท ได้แก่ แผ่นบิดแบบทั่วไป (Typical twisted tapes) และแผ่นบิดแบบสลับแกน (Alternate-axis twisted tapes) มีอัตราการส่วนการบิดเท่ากับ 3, 4 และ 5 ใช้น้ำเป็นของไหลในการทดลองที่ช่วงเลขเรย์โนลด์ 3,000 ถึง 5,000 มีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นบิดแบบสลับแกนให้ค่าอัตราการการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นบิดแบบทั่วไปและท่อเปล่า Eiamsa-ard และ

Seemawute [3] ทำการทดลองท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นบิดแบบช่วงสั้น (Short-length twisted tapes) มีอัตราส่วนการบิดเท่ากับ 3, 4 และ 5 โดยมีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ทำการลองใช้น้ำเป็นของไหลในการทดลอง ที่ช่วงเลขเรย์โนลด์ 5,200 ถึง 15,300 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นบิดแบบช่วงสั้นให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าแผ่นบิดแบบเต็มช่วง (Full-length twisted tapes) หรือแผ่นบิดแบบทั่วไป Sarada และคณะ [4] ศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนด้วยการสอดใส่แผ่นบิดในท่อกลมแนวตั้งที่มีการไหลแบบปั่นป่วนในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 6,000 ถึง 13,500 ใช้อากาศเป็นของไหลในการทดลอง ภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ท่อทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 27.5 มิลลิเมตร แผ่นบิดความกว้างเท่ากับ 10, 14, 18, 22 และ 26 มิลลิเมตร อัตราส่วนการบิดเท่ากับ 3, 4 และ 5 พบว่าการสอดใส่แผ่นบิดช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบได้ถึงร้อยละ 36 ถึง 48 และ ร้อยละ 33 ถึง 39 สำหรับความกว้างแผ่นบิดที่ 26 และ 22 มิลลิเมตร ตามลำดับ Bas และ Ozceyhan [5] ศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานการไหลในท่อกลมที่สอดใส่แผ่นบิด มีอัตราส่วนการบิดเท่ากับ 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 อัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.0178 และ 0.0357 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5,132 ถึง 24,989 ใช้อากาศเป็นของไหลทดลอง พบว่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอัตราส่วนช่องว่างและอัตราส่วนการบิด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนช่องว่างเท่ากับ 0.0178 และอัตราส่วนการบิดเท่ากับ 2 เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 5,183 ให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.76 ซึ่งเป็นเลขเรย์โนลด์ต่ำสุด

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองการไหลในท่อที่ติดตั้งแผ่นบิดโดยใช้วิธีเชิงทัศน์ในการวิเคราะห์ปัญหาในการไหลเป็นการบรรยายด้วยภาพของการไหล ซึ่งจะช่วยบ่งบอกถึงพฤติกรรมของการไหลได้ดีขึ้น

วิธีการวิจัย

ชุดทดลองและขั้นตอนการทดลอง

ในการสร้างชุดทดลองคุณลักษณะการไหลในท่อที่ติดตั้งแผ่นบิดด้วยวิธีเชิงทัศน์ในขั้นตอนแรกได้เริ่มศึกษาหาข้อมูลการออกแบบจากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการทดลองจริงโดยมีการให้ความร้อนบริเวณผิวท่อทองแดงและใช้แผ่นบิดที่ทำจากอลูมิเนียม ซึ่งไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมในการไหลของของไหลเมื่อใส่แผ่นบิดได้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ท่อและแผ่นบิดที่ทำจากอะคริลิค ทำให้สามารถมองเห็นพฤติกรรมการไหลของของไหล โดยการทดลองใช้อุปกรณ์การทดลองดังแสดงใน Figure 1 ชุดท่อทดลองทำมาจากอะคริลิคซึ่งประกอบไปด้วยท่อสองชั้นมีพื้นที่ผิวภายในและภายนอกแบบเรียบ โดยท่อด้านนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 mm, ยาว 1,000 mm และหนา 1.5 mm ส่วนท่อด้านในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 19 mm, ยาว 1,200 mm และหนา 1.5 mm ในการเลือกแผ่นบิดพิจารณาจากขนาดท่อด้านในควรออกแบบให้มีขนาดความกว้างพอดีกับท่อทดลองซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้แผ่นบิดที่มีขนาดพอดีกับท่อ และความหนาต่ำสุดที่สามารถขึ้นรูปได้ ในส่วนความยาวของแผ่นบิดจะขึ้นรูปให้มีความยาวที่สามารถทดลองได้ โดยแผ่นบิดทำจากอะคริลิคที่มีความยาว 500 mm, มี

ความหนา 1 mm, กว้าง 19 mm และมีอัตราส่วนการบิดเท่ากับ 3, 4 และ 5 ดังแสดงใน Figure 2 ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จะไหลเข้าชุดทดลอง โดยใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำหรือโรตามิเตอร์ ในการทดลองเริ่มจากน้ำจากถังพักน้ำสะอาด 50 L จะถูกส่งไปยังโรตามิเตอร์ด้วยปั๊มน้ำ น้ำจะไหลผ่านโรตามิเตอร์และทำการปรับอัตราการไหลของน้ำโดยให้เลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วงที่ทำการทดลอง จากนั้นจะไหลเข้าสู่ท่อด้านนอก และไหลผ่านแผ่นรูพรุนซึ่งช่วยลดการกระเพื่อมของน้ำก่อนที่จะเข้าท่อด้านในซึ่งมีแผ่นบิดติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าของท่อด้านในตลอดช่วงระยะทดลอง ในแต่ละการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำแต่ละค่าจะใช้เวลาให้น้ำไหลผ่านท่อทดลองประมาณ 30 นาที เพื่อให้น้ำไหลคงที่ จากนั้นทำการฉีดสีโดยชุดควบคุมหัวฉีดสีที่ติดตั้งบริเวณปากทางเข้าของท่อด้านใน และสังเกตการณ์ไหลของสีจนกว่าจะคงที่ แล้วจึงบันทึกภาพการไหล น้ำที่ถูกผสมกับสีจะถูกปล่อยลงถังพักน้ำเพื่อระบายทิ้ง ค่าอัตราการไหลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เลขเรย์โนลด์และภาพที่ถูกบันทึกจะถูกทำไปอธิบายพฤติกรรมการไหลเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ ต่อไป

คำนิยาม

แผ่นบิด หมายถึง อุปกรณ์สร้างการไหลแบบหมุนควงชนิดหนึ่งในท่อกลมการติดตั้งทำได้โดยการสอดเข้าไปในท่อ โดยส่วนใหญ่ทำมาจากแถบโลหะนำมาบิดด้วยเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ขนาดและรูปทรงตามที่ออกแบบไว้

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน

วิธีเชิงทัศน์ หมายถึง วิธีการนำเสนอข้อมูลที่ทำการแสดงข้อมูลอยู่ในรูปของรูปภาพ กราฟ เป็นต้น

การไหลแบบหมุนควง หมายถึง การไหลของของไหลรอบแผ่นบิด ซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียว

คุณลักษณะการไหล หมายถึง พฤติกรรมของของไหลนั้น เช่น การไหลแบบราบเรียบ การไหลในช่วงการเปลี่ยนแปลง และการไหลแบบปั่นป่วน

การถ่ายเทความร้อน หมายถึง การถ่ายเทของพลังงานความร้อน เช่น การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

สัญลักษณ์

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)
D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)
L = ความยาวของท่อ (m)
l = ความยาวของแผ่นบิด (m)
n = จำนวนพิทช์ของแผ่นบิด
Q = อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
R = รัศมีภายในท่อ (m)
V = ความเร็วของการไหลของน้ำ (m/s)
V_n = ความเร็วในแนวแกน (m/s)
W = ความกว้างของแผ่นบิด (m)
y = ระยะพิตช์ของแผ่นบิด (m)
Re = เลขเรย์โนลด์
Nu = เลขนัสเซิลท์
Sw = เลขสเวิร์ล

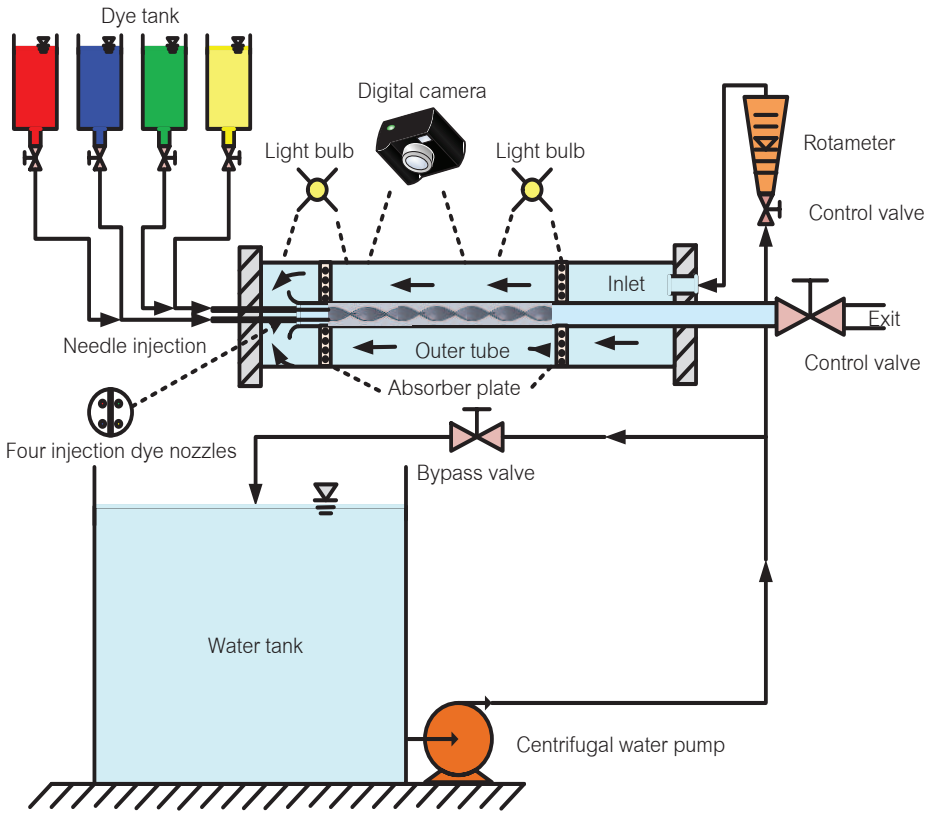


Figure 1. Flow visualization set-up

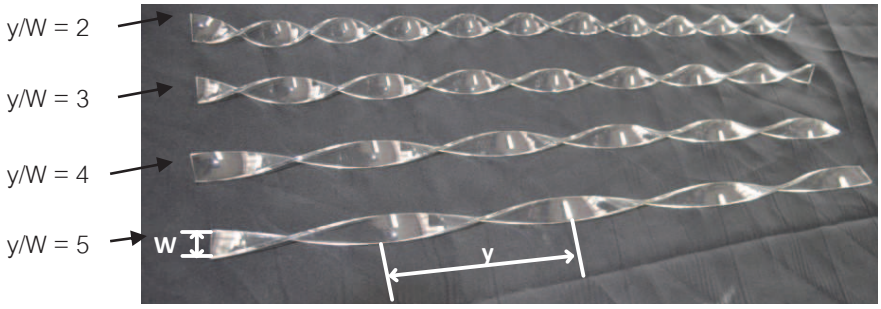


Figure 2. Twisted tape for y/W = 2, 3, 4 and 5

สัญลักษณ์กรีก

ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3)

π = ค่าคงที่พาย

μ = ความหนืดสัมบูรณ์ (kg/ms)

ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

สมการวิเคราะห์

สำหรับการพิจารณาการไหลภายในท่อสามารถแบ่งว่าการไหลเป็นสภาวะใด เช่น การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) โดยการจำแนกของเลขเรย์โนลด์ ดังสมการนี้

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (1)$$

การไหลแบบราบเรียบ $Re < 2,300$

การไหลช่วงเปลี่ยนแปลง $2,300 \leq Re \leq 4,000$

การไหลแบบปั่นป่วน $Re > 4,000$

สำหรับพื้นที่หน้าตัดของท่อทดลองหาได้จากสมการ ดังนี้

$$A = \pi R^2 \quad (2)$$

สำหรับความเร็วเฉลี่ยของการไหลหาได้จากสมการ ดังนี้

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

ในกรณีที่ใช้แผ่นบิดสอดใส่ในท่อ ความเร็วเชิงมุมจะคำนวณได้จากจำนวนพิตช์ (n) และความยาวแผ่นบิด (l) [6]

$$\omega = \frac{2\pi n V_n}{l} \quad (4)$$

สำหรับระดับความรุนแรงของการหมุนควงหาได้จากความสัมพันธ์ของเลขสเวิร์ล ดังนี้ [6]

$$Sw = \frac{\pi n R}{l} \quad (5)$$

ซึ่งจากสมการความสัมพันธ์นี้พบว่าค่าเลขสเวิร์ลนี้ไม่ขึ้นกับความเร็วของการไหล อย่างไรก็ตามสมการความสัมพันธ์ที่ได้ข้างต้นนี้ได้มาจากสมมุติฐานของกรณีที่สมมุติให้ความเร็วการไหลในแนวแกนและความเร็วเชิงมุมของการไหลคงที่ตลอดทางออกของท่อ ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วจะเกิดชั้นขอบเขตการไหลบริเวณใกล้กับผนังท่อ ทำให้ความเร็วการไหลในแนวแกนและความเร็วเชิงมุมของการไหลเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งรัศมีของท่อ ดังนั้นค่าเลขสเวิร์ลที่ได้จากสมการข้างต้นเป็นค่าประมาณทางทฤษฎีเท่านั้น สำหรับค่าเลขสเวิร์ลจริงนั้นจำเป็นต้องหาจากการวัดการกระจายความเร็วในแนวแกนและความเร็วในแนวสัมผัสของท่อที่ตำแหน่งรัศมีต่างๆ ที่ปากทางออกของท่อ Table 1 แสดงจำนวนพิตช์ต่อความยาวและค่าเลขสเวิร์ลของแผ่นบิดแต่ละแบบ

Table 1. The number of pitch per length and swirl number

Number of pitch (l = 0.5 m)	Swirl number
3	0.38
5	0.63
8	1.00
11	1.38

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

กรณีท่อเปล่า

ผลการทดลองการไหลในท่อกลมเมื่อทำการฉีดสีที่สภาวะการไหลแบบราบเรียบ ช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 500 จาก Figure 3 (a) ในตำแหน่งเริ่มต้นการไหลของของไหลจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Axial flow) ขนานกับท่อถึงตำแหน่งสุดท้าย (ระยะ 15 cm) สังเกตได้จากเส้นสีส้ม เขียว ฟ้า และแดง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการไหลแบบราบเรียบนั้นของไหลจะเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบและไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นการไหล

สภาวะการไหลแบบเปลี่ยนแปลง ในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 2,300 จาก Figure 4 (a) ในตำแหน่งเริ่มต้น เส้นสีส้ม เขียว ฟ้า และแดง จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงไปยังตำแหน่ง 1 cm จากนั้นเส้นสีทั้งสี่เริ่มมีการกระเพื่อมเล็กน้อย เมื่อถึงตำแหน่ง 8 cm เส้นสีทั้งสี่มีการกระเพื่อมรุนแรงขึ้นจนถึงตำแหน่งสุดท้าย (ระยะ 15 cm) แต่ไม่มีการผสมกันระหว่างสี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการไหลแบบเปลี่ยนแปลงนั้นการเคลื่อนที่ของของไหลจะไม่เป็นระเบียบและไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นการไหล

สภาวะการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 4,000 จาก Figure 4 (a) ในตำแหน่งเริ่มต้นเส้นสีทั้งสี่มีการเคลื่อนที่ของของไหลมีทิศทางไม่เป็นระเบียบไม่แน่นอนและมีการผสมกันระหว่างชั้นของไหลสังเกตได้จากการผสมกันระหว่างเส้นสีส้ม เขียว ฟ้า และแดง ซึ่งผลการทดลองในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) ต่างๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wongcharee and Eiamsa-ard [7] ที่พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะมีการถ่ายเทความร้อน (Nu) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มความเร็วให้กับของไหลเป็นการสร้างความปั่นป่วนให้กับของไหลจะสามารถช่วยลดความหนาของชั้นซิดผิวความร้อนให้บางลงได้

กรณีติดตั้งแผ่นบิด

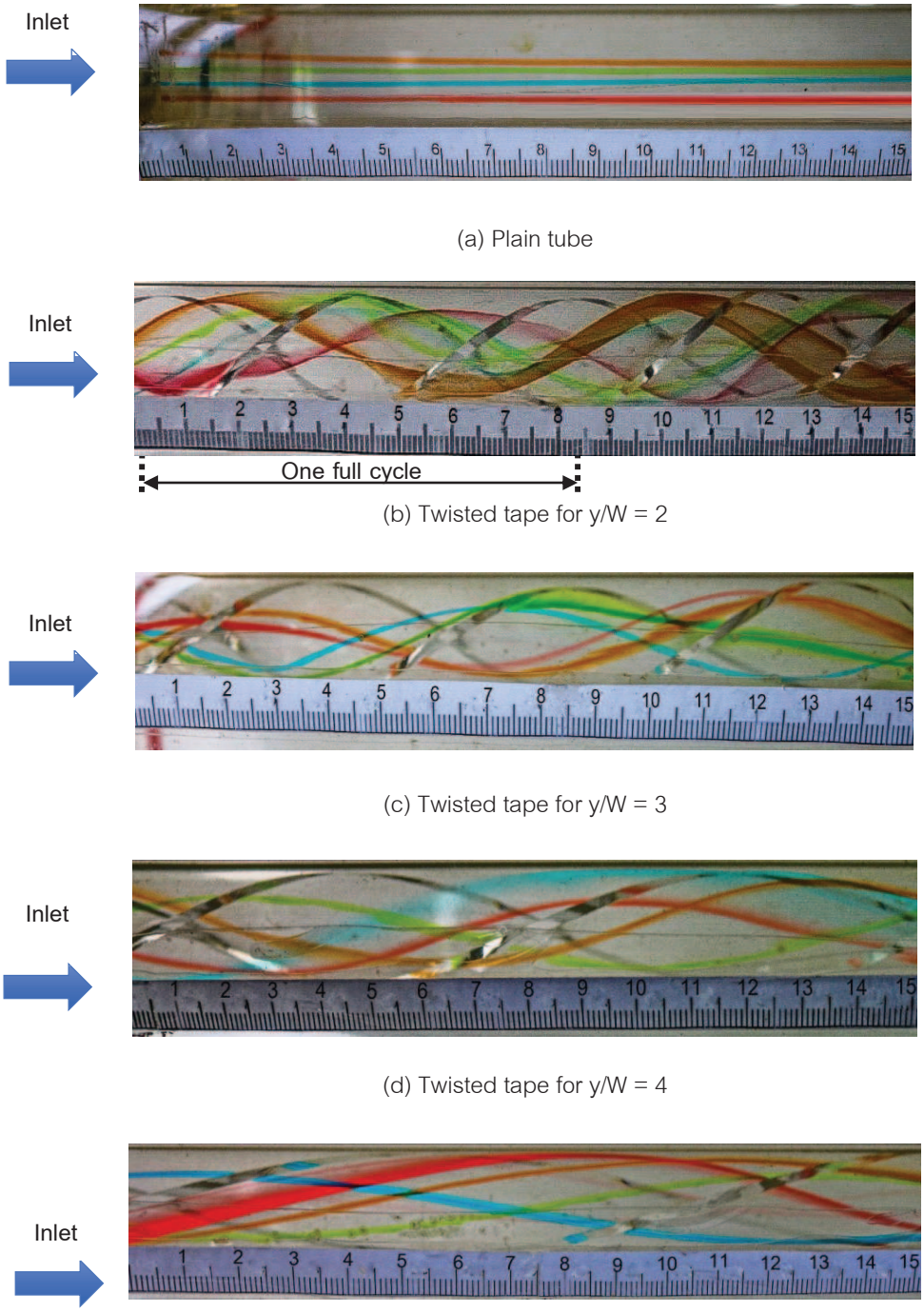
ผลการทดลองการไหลของของไหลในท่อกลมร่วมกับแผ่นบิด เมื่อทำการฉีดสีที่สภาวะการไหลแบบราบเรียบ ช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 500 จาก Figure 3 (b), (c), (d) และ (e) ในตำแหน่งเริ่มต้นไปถึงตำแหน่งสุดท้าย (15 cm) เส้นสีการไหลของของไหล (สีส้ม) มีการไหลหมุนควง (Swirl flow) ไปตามแนวรัศมีทำให้เกิดการผสมกันระหว่างของไหลด้านข้างผนังท่อโดยแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 2 เกิดจำนวนรอบในการหมุนควงมากที่สุด สังเกตได้จากเส้นสีส้มที่ตำแหน่งเริ่มต้นจนถึงตำแหน่งสุดท้าย (15 cm) จะมีการไหลหมุนควง 2 รอบ แผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 3 เส้นสีส้มมีการไหลหมุนควง 1.5 รอบ แผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 4 เส้นสีส้มมีการไหลหมุนควง 1 รอบ และแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 5 เส้นสีส้มมีการไหลหมุนควง 0.5 รอบ

สภาวะการไหลแบบเปลี่ยนแปลง ช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 2,300 จาก Figure 4 (b), (c), (d) และ (e) ในตำแหน่งเริ่มต้นไปถึงตำแหน่งสุดท้าย (15 cm) เส้นสีการไหลของของไหลมีการไหลหมุนควงไปตามแนวรัศมีเช่นเดียวกับกรณีการ ไหลแบบราบเรียบ โดยเส้นสีส้ม เขียว ฟ้า และแดง เริ่มมีการผสมกันระหว่างสี

สภาวะการไหลแบบปั่นป่วน ช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 4,000 จาก Figure 4 (b), (c), (d) และ (e) ในตำแหน่งเริ่มต้นไปถึงตำแหน่งสุดท้าย (15 cm)

เส้นสีการไหลของของไหลเกิดการผสมกันระหว่างสีส้ม เขียว ฟ้า และแดง ทำให้ไม่สามารถเห็นเส้นสีทั้งสี่และเกิดการไหลหมุนควงอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการผสมกันระหว่างของไหลด้านข้างผนังท่อและมีทิศทางไม่เป็นระเบียบแน่นอน จาก Table 1 จะเห็นได้ว่าค่าเลขสเวิร์ล (Sw) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนของพิตช์มากขึ้น แผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 2 จะมีค่าเลขสเวิร์ล (Sw) เท่ากับ 1.38, แผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 3 มีค่าเลขสเวิร์ล (Sw) เท่ากับ 1.00, แผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 4 มีค่าเลขสเวิร์ล (Sw) เท่ากับ 0.63 และแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 5 มีค่าเลขสเวิร์ล (Sw) เท่ากับ 0.38 ค่าเลขสเวิร์ลนี้จะบ่งบอกถึงความรุนแรงในการหมุนควงของของไหล ซึ่งผลการทดลองการไหลของของไหลในท่อกลมร่วมกับแผ่นบิดในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) ต่างๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wongcharee and Eiamsa-ard [7] คือแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 3 จะมีค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) เพิ่มขึ้นประมาณ 2.95 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า แผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 4 มีค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) เพิ่มขึ้นประมาณ 2.27 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับท่อเปล่า และแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 5 มีค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) เพิ่มขึ้นประมาณ 1.81 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 800 (ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ) จะเห็นได้ว่าแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 3 จะมีการถ่ายเทความร้อน (Nu) ได้ดีกว่าแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 4 และ 5 อันเนื่องมากจากการไหลหมุนควงที่มากกว่า ซึ่งความรุนแรงของการไหลหมุนควงจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการบิด ยิ่งแผ่นบิดมีอัตราส่วนการบิดถี่ ก็จะยิ่งมีการไหลหมุนควงมากและมีความรุนแรงมาก จะยิ่งเป็นการทำลายชั้นขอบผิวความร้อนบริเวณผนังท่อให้บางลงมากขึ้น ซึ่งจะเป็นส่วนที่สัมผัสกับความร้อนมากที่สุด เพื่อให้ของไหลเกิดการผสมกันระหว่างชั้นการไหลของของไหลที่มีอุณหภูมิต่างกัน (บริเวณผนังท่อและกลางท่อ) ได้ดียิ่งขึ้น

จากการศึกษาคุณลักษณะการไหลในท่อร่วมกับแผ่นบิดด้วยวิธีเชิงทัศน์เพื่อใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการไหลที่ส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อน แผ่นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด (y/W) = 2 มีการไหลหมุนควงมากที่สุดเพราะมีอัตราส่วนการบิดถี่ที่สุด การไหลหมุนควงนี้ช่วยส่งผลในการหน่วงการไหลในท่อให้



(a) Plain tube

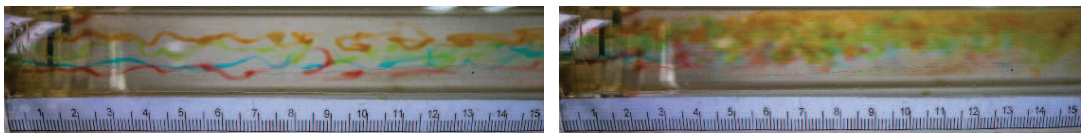
(b) Twisted tape for y/W = 2

(c) Twisted tape for y/W = 3

(d) Twisted tape for y/W = 4

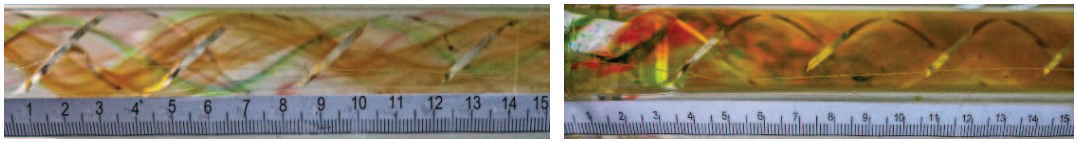
(e) Twisted tape for y/W = 5

Figure 3. Axial and swirl flow patterns by dye injection techniques of a tube with twisted tape at Re = 500



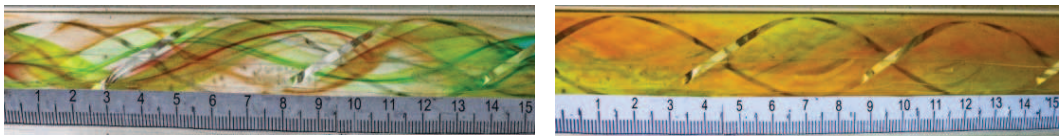
Re = 500 Re = 2,300

(a) Plain tube



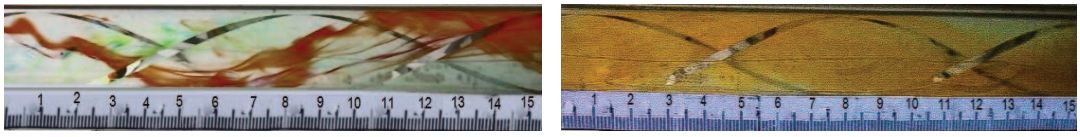
Re = 500 Re = 2,300

(b) Twisted tape for y/W = 2



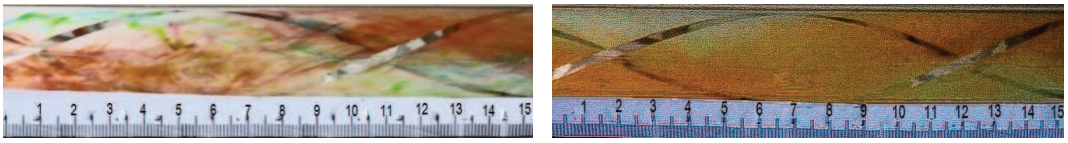
Re = 500 Re = 2,300

(c) Twisted tape for y/W = 3



Re = 500 Re = 2,300

(d) Twisted tape for y/W = 4



Re = 500 Re = 2,300

(e) Twisted tape for y/W = 5

Figure 4. Axial and swirl flow patterns by dye injection techniques of a tube with twisted tape at Re = 2,300 and 4,000

สรุปผลการวิจัย

ยาวนานขึ้นทำให้มีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันการไหลหมุนควงยังส่งผลต่อการทำลายชั้นขอบผิวความร้อนบริเวณผนังท่อให้บางลง เพื่อให้ของไหลเกิดการผสมกันระหว่างชั้นการไหลที่มีอุณหภูมิต่างกันได้ดียิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าแผ่นบิดสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงถึงการสูญเสียความดันที่เกิดขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย (นักวิจัยหน้าใหม่) และขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธ์ เอี่ยมสอาด ที่ช่วยเป็นที่ปรึกษางานวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์การวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

1 ธีรพัฒน์ ชมภูคำ. 2556. เทคนิคการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในท่อกลมด้วยแผ่นใบบิด. *บทความวิชาการ วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2556* หน้าที่ 85-86

2 Eiamsa-ard, S. and Promvonge, P. 2010. Performance assessment in a heat exchanger tube with alternate clockwise and counter-clockwise twisted-tape inserts. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 53: 1364–1372.

3 Eiamsa-ard, S. and Seemawute, P. 2012. Decaying swirl flow in round tubes with short-length twisted tapes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 39: 649-656.

4 Sarada, S.N. Raju, A.V.S.R. Radha, K.K. and Sunder, L.S. 2010. Enhancement of heat transfer using varying width twisted tape inserts. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2: 107-118.

5 Bas, H. and Ozceyhan, V. 2012. Heat transfer enhance ment in a tube with twisted tape inserts placed separately from the tube wall. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 41: 51-58.

6 มักตาร์ แวหะยี และ ชยุต นันทดุสิต. 2552. การศึกษาพฤติกรรมการไหลของเจ็ทหมุนควงที่พุ่งชนผนังด้วยวิธีเชิงทัศน์. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7*, 8-9 พฤษภาคม 2552 จังหวัดสงขลา หน้าที่ 590-595

7 Wongcharee, K. and Eiamsa-ard, S. 2011. Friction and heat transfer characteristics of laminar swirl flow through the round tubes inserted with alternate clockwise and counter-clockwise twisted-tapes. *International Communi- cations in Heat and Mass Transfer*. 38: 348-352.