

## การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลม โดยใส่แผ่นปีกบางครึ่งวงรี

### Study of thermal performance of circular tube heat exchanger with semioval-shaped wingleet tape inserts

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์<sup>1</sup>, สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์<sup>2</sup> และ สมพล สกุลหลง<sup>3\*</sup>

Panuwat Hoonpong<sup>1</sup>, Supattarachai Suwannapan<sup>2</sup> and Sompol Skullong<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

<sup>3</sup>กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

<sup>1</sup> Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan,  
Khonkaen Campus

<sup>3</sup>Energy System Research Group, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha,  
Kasetsart University Sriracha Campus

\*Email: sompol.s@ku.th, sompol@eng.src.ku.ac.th

Received: April 11, 2022; Revised: May 16, 2022; Accepted: May 20, 2022

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาทดลองเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมที่มีการสอดใส่แผ่นปีกครึ่งวงรีโดยมีการให้ความร้อนที่ผิวท่อแบบสภาวะพลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอ อากาศที่ไหลภายในท่อจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วนโดยแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ (Re) ในช่วงระหว่าง 4000 ถึง 25,000 ซึ่งการทดลองมีการปรับเปลี่ยนแผ่นปีกครึ่งวงรี โดยจะมีมุมปะทะ ( $\alpha = 20, 30, 45, 60$  และ  $90$  องศา) มีความสูงปีกเท่ากับ ( $b = 20$  มิลลิเมตร), ความกว้างของปีกเท่ากับ ( $W = 20$  มิลลิเมตร) และมีระยะพิงต์เท่ากับ ( $P = 50$  มิลลิเมตร) ผลจากการทดลองพบว่า ท่อที่มีการใส่แผ่นปีกครึ่งวงรีเอียงที่ค่า  $\alpha = 90$  องศา จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันที่มากกว่าท่อผนังเรียบโดยจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เท่ากับ  $4.3$  เท่า และค่าการสูญเสียความดันสูงสุด เท่ากับ  $40$  เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในขณะที่ท่อที่ใส่แผ่นปีกครึ่งวงรีที่ค่า  $\alpha = 60$  องศา จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับ  $1.48$

**คำสำคัญ :** แผ่นปีกครึ่งวงรี, การถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียความดัน, สมรรถนะเชิงความร้อน

#### Abstract

This article presents an experimental study of heat transfer and pressure loss characteristics in a uniform heat-fluxed tube heat exchanger with semioval-shaped wingleet tape inserts. The air flowing inside the tube is a turbulent flow that is presented by Reynolds numbers (Re) ranging from 4000 to 25,000. In the experiment, the semioval-shaped wingleet tape with various attack angles ( $\alpha = 20, 30, 45, 60$  and  $90$

degrees) with a single winglet height ( $b = 20$  millimeter), winglet width ( $W = 20$  millimeter) and winglet pitch ( $P = 50$  millimeter). The experimental result shows that the tube with a semioval-shaped winglet tape at  $\alpha = 90$  degree provides a considerable increase in heat transfer and pressure loss in comparison with the smooth tube. The highest heat transfer of 4.3 times and pressure loss of 40 times over the smooth, while a tube with  $\alpha = 60$  yields the maximum thermal performance is 1.48

**Keywords:** semioval-shape winglet tape, heat transfer, pressure loss, thermal performance

## 1. บทนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนของของไหลภายในท่อ มักใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ กระบวนการทางวิศวกรรมเคมี การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น โรงไฟฟ้าและหม้อน้ำสำหรับรถยนต์ โดยทั่วไปการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีวิธีการแบบแอคทีฟ (Active Method) เป็นวิธีที่ต้องการใส่พลังงานจากภายนอกเข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และวิธีการแบบพาสซีฟ (Passive Method) เป็นวิธีที่ไม่ต้องใส่พลังงานจากภายนอกแต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้โดยการปรับปรุงอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การปรับปรุงพื้นผิวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน การสอดใส่อุปกรณ์ต่างๆ เข้าไปในท่อ เช่น ใบปิดเกลียว [1-2], ขดลวด [3-4], ท่อรอยนูนหรือร่อง [5-6], ปีกและครีบ [7-8], อย่างไรก็ตามการใส่ครีบหรือปีกเป็นหนึ่งในส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากความจำเป็นในการค้นหาวิธีการลดขนาดและลดต้นทุนของระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับการตรวจสอบอย่างกว้างขวางทั้งในเชิงทดลองและเชิงตัวเลข

สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด และคณะ [1] กล่าวว่าพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ที่ติดตั้งใบปิดเกลียวที่เว้นระยะห่างอย่างสม่ำเสมอในอัตราส่วนต่างๆ

วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง และคณะ [9] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อกลมที่มีการวางครีบแบบตัววี โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานในสภาวะพลาซ

ความร้อนที่ผิวคงที่ มีค่าสัดส่วนความสูงครีบท่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ( $e/D$ ) เท่ากับ 0.125 มิลลิเมตร ความหนา ( $t$ ) เท่ากับ 6 มิลลิเมตร ครีบที่ติดตั้งมีมุม 45 องศาและมีสัดส่วนระยะพิตต์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 3500 ถึง 25,000 ได้ทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซลท์ ( $Nu$ ) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) โดยการศึกษาพบว่าการติดตั้งครีบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ

นรินทร์ กุลนภาดล และคณะ [10] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้สภาวะพลาซความร้อนที่ผิวท่อคงที่ ซึ่งมีการใส่แผ่นกั้นการไหลรูปวงแหวนหกเหลี่ยมโดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานด้วยความเร็วการไหลในรูปเลขเรย์โนลด์ ( $Re$ ) ระหว่าง 4500 ถึง 20,000 วงแหวนหกเหลี่ยมถูกติดตั้งในลักษณะวางเอียงทำมุม ( $\alpha$ ) เท่ากับ  $45^\circ$  ถูกใส่ภายในท่อทดสอบด้วยอัตราการขวางการไหล (RB) ของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.05, 0.10 และ 0.15 และมีอัตราส่วนระยะพิตต์ (RP) ของแผ่นกั้นที่ระยะแตกต่างกันจำนวน 3 ค่า เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 ผลการศึกษาพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อน ( $Nu$ ) และการสูญเสียความดันเนื่องจากการไหล ( $f$ ) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนระยะพิตต์ของแผ่นกั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและที่อัตราส่วนการขวางการไหลมีค่าลดลงวงแหวนหกเหลี่ยมด้านในสามารถทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น และพบว่าที่  $RB = 0.1$  และ  $RP = 1.0$  จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุด

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ และคณะ [11] ได้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของการติดตั้งแผ่นปีกสี่เหลี่ยมผืนผ้าต่อพฤติกรรม

การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีสถานะฟลักซ์ความร้อนคงที่ การทดสอบทำการปรับเปลี่ยนมุมปะทะปีก 4 ค่า ( $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  and  $90^\circ$ ) โดยมีสัดส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (BR=0.3) และสัดส่วนระยะพิตต์ปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (PR=2) คงที่ จุดประสงค์ของการติดตั้งแผ่นปีกเพื่อช่วยสร้างการไหลหมุนควงตามแนวแกนของท่อ ซึ่งส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนที่นำไปสู่การเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน การทดลองดำเนินการโดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในช่วงการไหลปั่นป่วนที่ค่า เลขเรย์โนลด์ 4200 ถึง 25,900 การทดลองมีการเปรียบเทียบระหว่างท่อที่มีการติดตั้งแผ่นปีกและท่อเปล่าผิวเรียบ ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งแผ่นปีกสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 3.68 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ขณะที่ตัวประกอบเสียดทานมีค่าสูงถึง 27.49 เท่า แผ่นปีกที่  $\alpha = 60^\circ$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลท์และความเสียดทานในเทอมของตัวประกอบเสียดทานสูงสุด แต่แผ่นปีกที่  $\alpha = 30^\circ$  ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.5 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำสุด

สมพล สุกุลหลง และคณะ [12] ทำการศึกษาเชิงทดลองและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลขของการติดตั้งแผ่นปีกภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยพบว่าผลการทดลองและผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน การติดตั้งแผ่นปีกที่มีมุมปะทะ  $30^\circ$  และสัดส่วนระยะพิตต์ปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (PR) เท่ากับ 1 ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 1.49 และมีค่าสูงกว่าอุปกรณ์สร้างการไหลปั่นป่วนชนิดใบพัดและลวดดัดอย่างมา

จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการใช้อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงตามแนวแกนชนิดปีกสามารถช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนได้เป็นอย่างดีทั้งนี้เพื่อนำผลงานวิจัยมาประยุกต์ใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามยังมียงานวิจัยอยู่อย่างจำกัดและมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับอุปกรณ์สร้างการไหลปั่นป่วน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดท่อกลม โดยทำการติดตั้งแผ่นปีกบางครั้งวงรีที่มี

มุมปะทะปีก 5 ค่า ( $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  และ  $90^\circ$ ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ ( $D = 5$  เซนติเมตร) ความยาวท่อทดสอบเท่ากับ ( $L = 1$  เมตร) ความสูงปีก ( $b = 20$  มิลลิเมตร) ความกว้างปีก ( $W = 20$  มิลลิเมตร) และระยะพิตต์ปีก ( $P=1$ ) ตามลำดับ

## 2. ทฤษฎีใช้ในการวิเคราะห์

การศึกษางานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมโดยทำการติดตั้งแผ่นปีกบางครั้งวงรีที่มีมุมปะทะปีก 5 ค่า ( $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  และ  $90^\circ$ ) ซึ่งมีทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

สมการการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การสมดุลพลังงานกรณีฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant Heat-flux)

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_i - T_o) = hA_s(T_s - T_b) \quad (1)$$

โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i)/2 \quad (2)$$

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re)

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (3)$$

ค่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number,  $Nu_D$ )

$$Nu_D = \frac{h \cdot D}{k} \quad (4)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor,  $f$ )

$$f = \frac{2}{(L/D)} \frac{\Delta P}{\rho \bar{V}^2} \quad (5)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF)

$$TEF = (Nu/Nu_o)/(f/f_o)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

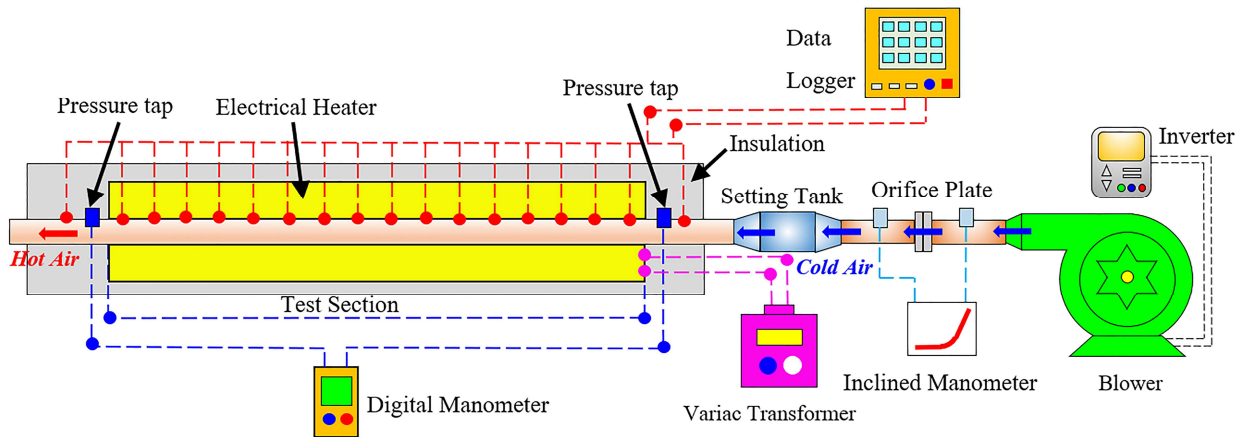
โดยที่

$\dot{Q}$	= อัตราการถ่ายเทความร้อน, Watt
$h$	= ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2.k$
$Q$	= อัตราการไหลของอากาศ, $m^3/s$
$\dot{m}$	= อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, $kg/s$
$\bar{V}$	= ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ, $m/s$
$W$	= ความกว้างของปีก, $m$
$b$	= ความสูงของปีก, $m$
$L$	= ความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, $m$
$A_s$	= พื้นที่ผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, $m^2$
$D$	= เส้นผ่านศูนย์กลางท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, $m$
$P$	= ระยะพิตต์
$T_b$	= อุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศด้านเข้า-ออก, $^{\circ}C$
$T_i$	= อุณหภูมิอากาศด้านทางเข้า, $^{\circ}C$
$T_o$	= อุณหภูมิอากาศด้านทางออก, $^{\circ}C$
$T_s$	= อุณหภูมิผิวเฉลี่ยด้านผนังร้อน, $^{\circ}C$
$Re$	= เลขเรย์โนลด์
$Nu$	= เลขนัสเซลท์
$f$	= ตัวประกอบเสียดทาน
$Nu/Nu_o$	= สัดส่วนเลขนัสเซลท์
$f/f_o$	= สัดส่วนตัวประกอบเสียดทาน
$TEF$	= สมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
$\alpha$	= องศาที่ปีกทำมุมปะทะกับอากาศ
$\rho$	= ความหนาแน่นของอากาศ, $kg/m^3$
$C_p$	= ความจุความร้อนจำเพาะอากาศ, $kJ/kg.K$
$k$	= สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, $W/m.K$
$\mu$	= ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ, $kg/m.s$
$Pr$	= เลขพรันด์เทิล

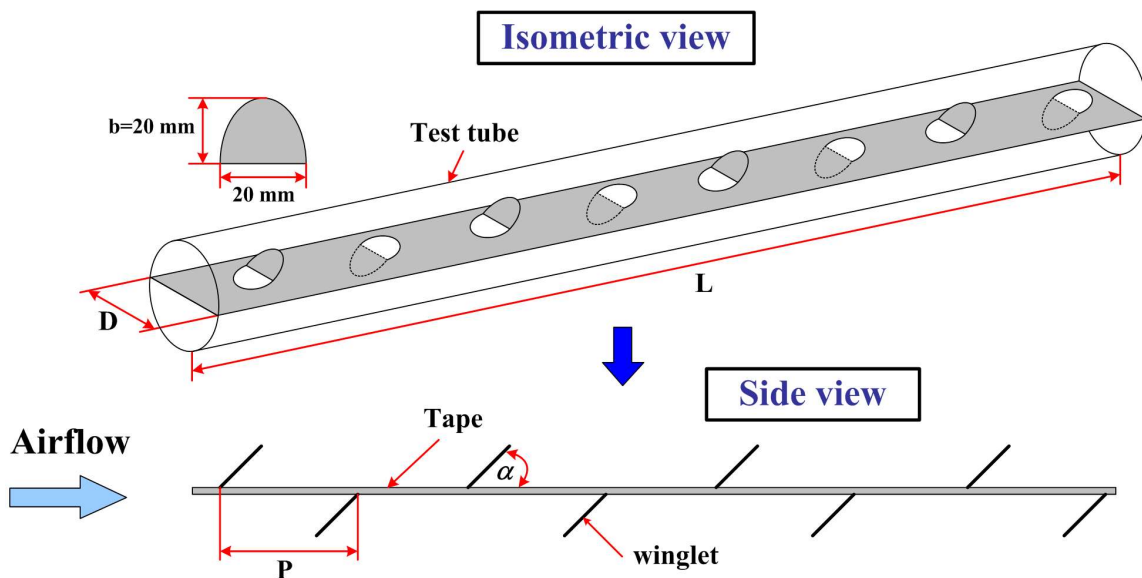
### 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยรูปที่ 1 โดยท่อกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ ( $D = 5$  เซนติเมตร) ความยาวท่อทดสอบเท่ากับ ( $L = 1$  เมตร) ความสูงปีก ( $b = 20$

มิลลิเมตร) ความกว้างปีก ( $W = 20$  มิลลิเมตร) และระยะพิตต์ปีก ( $P=1$ ) ทำการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มีมุมปะทะปีก 5 ค่า ( $\alpha = 20^{\circ}, 30^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}$  และ  $90^{\circ}$ ) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2 พัดลม (Blower) ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบโดยมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ, ออร์ฟิซิเตอร์ (Orifice Meter) ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลอง, มานอมิเตอร์ (Manometer) ใช้วัดความแตกต่างของความดันเพื่อใช้ในการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ (Inclined manometer), (Settling tank) มีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด, ช่องขนานของท่อจะปรับสภาพการไหลเพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็นการไหลแบบเต็มรูปแบบ (Fully Develop) และไหลเข้าส่วนทดสอบ, ท่อกลมในส่วนทดสอบถูกทำให้ร้อนด้วยแผ่นทำความร้อนไฟฟ้า (Electrical Heater) ขนาด 3000 วัตต์ ติดตั้งที่บนของท่อกลมและมีเครื่องควบคุมความร้อนแผ่นทำความร้อนไฟฟ้าแบบปรับค่าโวลต์เตจ (เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับแผ่นทำความร้อนไฟฟ้า) ในการควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่นทำความร้อนไฟฟ้าให้ได้ตามที่กำหนด, เครื่องควบคุมผล (Data Logger) เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลทั้งหมด 16 ตำแหน่ง, อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกเชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K รวมทั้งหมด 18 ตัว เครื่องวัดความดันตกคร่อม Testo 350-M/XL เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, โดยคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่ได้จาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม ซึ่งส่วนทดสอบต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากฮีตเตอร์ไหลออกสู่ระบบภายนอก



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 ส่วนทดสอบและการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรี

#### 4. ผลการทดลอง

##### 4.1 การทดสอบท่อเปล่า

การทดลองในกรณีการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาถึงผลการถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความดันและสมรรถนะ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อกลมที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรี ซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานตามลำดับ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และของ Petukhov ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน

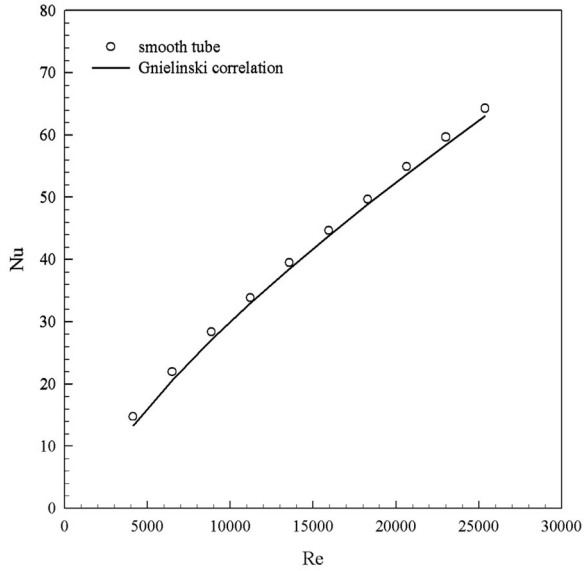
สหสัมพันธ์ของ Gnielinski สำหรับการให้ความร้อน

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-10)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (7)$$

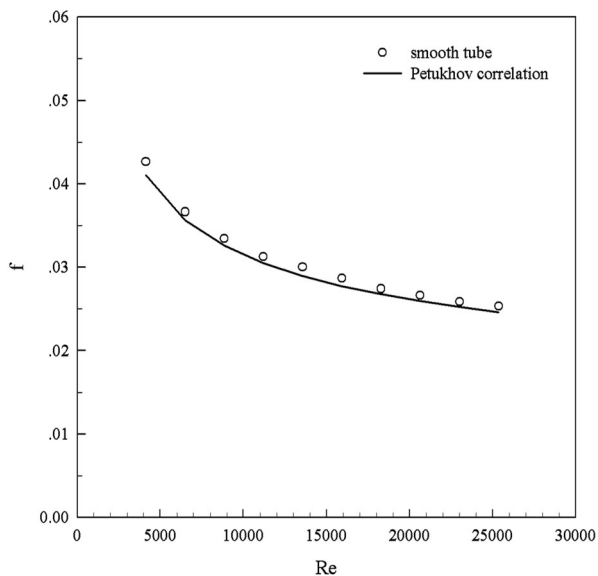
สหสัมพันธ์ของ Petukhov สำหรับค่าตัวประกอบเสียดทาน

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (8)$$

จากรูปที่ 3 และ 4 ทำการเปรียบเทียบเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทานที่ได้ทดลองกับสหสัมพันธ์ของสมการที่ (7) และ (8) โดยพบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง  $\pm 8\%$  ทั้งสหสัมพันธ์เลขนัสเซิลท์และสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน



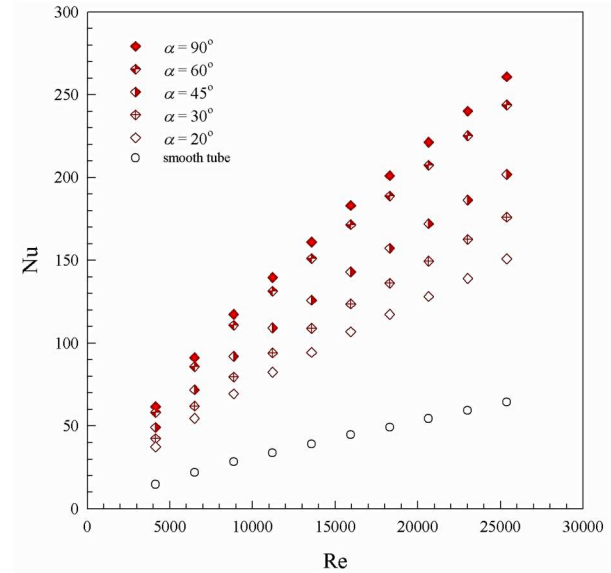
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ กรณีสู่ผนังเรียบ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์กรณีสู่ผนังเรียบ

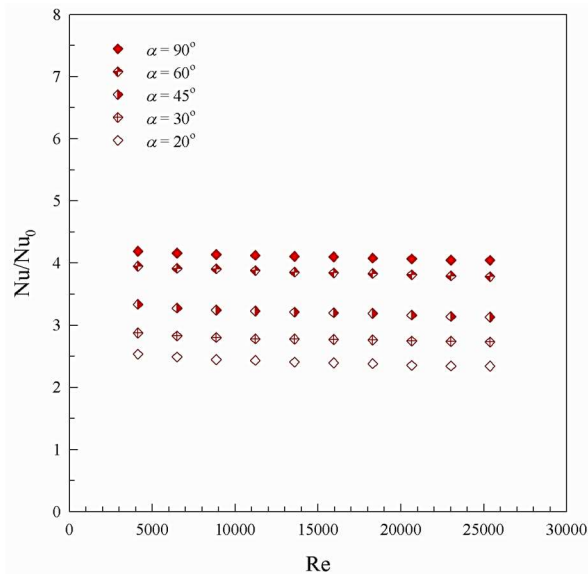
#### 4.2 ผลการทดลองของท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรี ( $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ $90^\circ$ )

การทดลองนี้เป็นการศึกษาค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อกลมที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรี ( $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  และ  $90^\circ$ ) ที่ระยะพิตต์เท่ากับ 1 โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับเลขนัสเซิลท์

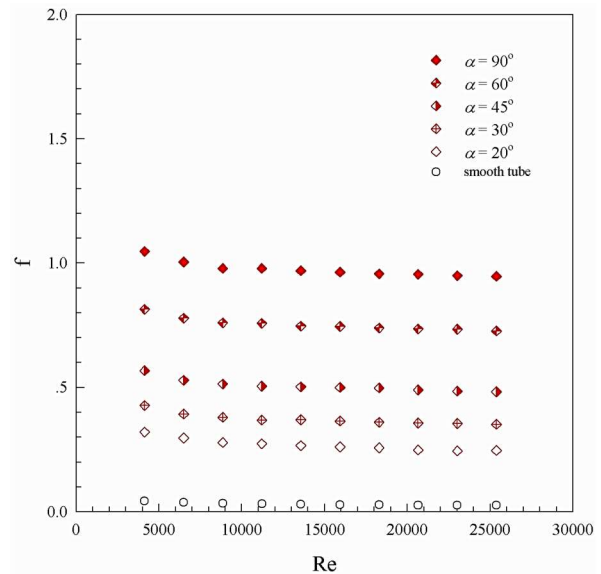
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับเลขนัสเซิลท์ที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะ ( $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  และ  $90^\circ$ ) พบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยทำให้เพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นโดยมุมปะทะ ( $\alpha = 90^\circ$ ) จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดและจะลดลงที่มุมปะทะ  $60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$  และ  $20^\circ$  ตามลำดับ



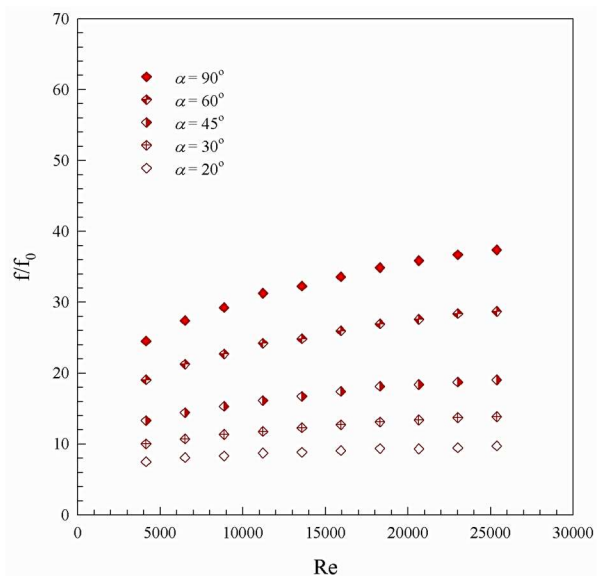
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วนเลขนัสเซลท์

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มุมปะทะ  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$  และ  $20^\circ$  เทียบกับท่อผนังเรียบพบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีจะส่งผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น เนื่องจากแผ่นปีกจะไปขวางการไหลของอากาศทำให้เกิดการไหลแยกตัวและการไหลย้อนกลับไปกระแทกบริเวณผิวร้อนที่ผนังท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยพบว่าแผ่นปีกมุมปะทะ  $90^\circ$  จะเกิดการกระจายตัวอากาศมากที่สุดซึ่งส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบเท่ากับ 4.3 เท่าและจะลดลงที่มุมปะทะ  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$  และ  $20^\circ$  เท่ากับ 4 เท่า, 3.4 เท่า, 2.8 เท่า และ 2.5 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบเสียดทานที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะ ( $\alpha = 20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  และ  $90^\circ$ ) พบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลกระทบต่อค่าตัวประกอบเสียดทานสูงขึ้น โดยการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มุมปะทะ ( $\alpha = 90^\circ$ ) ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุดและจะลดลงที่มุมปะทะ  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$  และ  $20^\circ$  ตามลำดับ



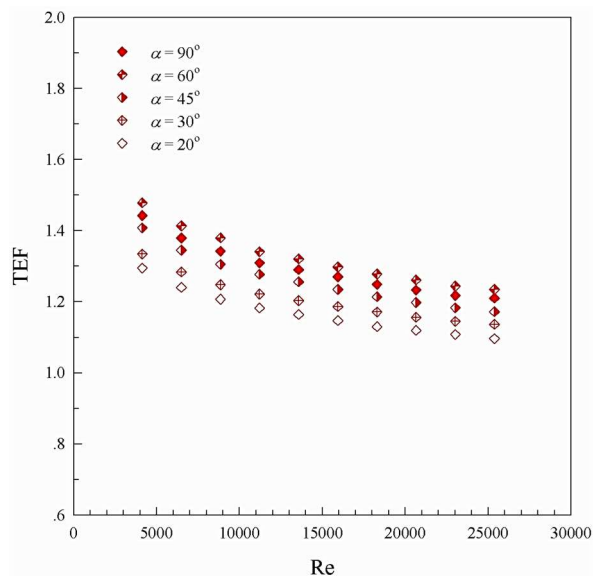
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบเสียดทาน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วนตัวประกอบเสียดทาน

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วนตัวประกอบเสียดทานที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเทียบกับท่อผนังเรียบ พบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มุมปะทะต่างๆ จะส่งผลทำให้เกิดสัดส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นปีกจะไปขวางการไหลโดยที่ค่ามุมปะทะ  $90^\circ$  จะเกิดจุดของไหลหยุดนิ่งมากที่สุดส่งผลทำให้เกิดแรงต้านสูงที่สุดและมี

ค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีท่อผนังเรียบเท่ากับ 39.7 เท่าและจะลดลงที่มุมปะทะ  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$  และ  $20^\circ$  เท่ากับ 27.6 เท่า, 16.3 เท่า, 11.6 เท่า และ 8.3 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ซึ่งเป็นข้อมูลที่คิดกำลังขับ (Pumping power) เดียวกันตามสมการ (6) โดยพบว่าสมรรถนะความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบแต่ละกรณีที่มีมุมปะทะต่างๆ พบว่าที่มุมปะทะ  $60^\circ$  จะให้ค่าสมรรถนะความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 1.48 ที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นตัวชี้วัดได้ว่าการใช้แผ่นปีกบางครึ่งวงรีให้การเพิ่มสมรรถนะความร้อนที่ดีขึ้น

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลการทดลองสรุปได้ว่าท่อกลมที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มีมุมปะทะ  $90^\circ$  จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุดอันเนื่องมาจากการใส่แผ่นกั้นจะทำให้การไหลของอากาศเกิดการไหลแยกตัวและไหลย้อนกลับไปกระแทกบริเวณผิวท่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นแต่ในขณะเดียวกันจะส่งผลทำให้เกิดความเสียดทานในรูปของตัวประกอบเสียดทานสูง

เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานที่สมดุลพลังงานโดยมีการเปรียบเทียบที่กำลังขับปั๊มเดียวกันกับกรณีท่อผนังเรียบจะทำให้ที่มุมปะทะ  $60^\circ$  ดีที่สุดซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดค่าสมรรถนะความร้อนสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 1.48 โดยการศึกษาผลดังกล่าวสามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนร้อนให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Eiamsa-ard, C. Thianpong and P. Promvonge, "Experimental investigation of heat transfer and flow friction in a circular tube fitted with regularly spaced twisted tape elements," Int. Commun. Heat Mass Transfer, Vol 33, pp. 1225–1233, Dec. 2006.
- [2] S.W. Chang, T.L. Yang and J.S. Liou, "Heat transfer and pressure drop in tube with brokentwisted tape insert," Exp. Thermal Fluid Sci, Vol 32, pp. 489–501, Nov. 2007.
- [3] P. Promvonge, "Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires," Energy Convers. Manage, vol. 49, pp. 980–987, May. 2008.
- [4] S. Gunes, V. Ozceyhan and O. Buyukalaca, "Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts," Exp. Thermal Fluid Sci, Vol 34, pp. 684–691, Sep. 2010.
- [5] Y. Wang, Y.L. He, Y.G. Lei and J. Zhang, "Heat transfer and hydrodynamics analysis of an oval dimpled tube," Exp. Thermal Fluid Sci, Vol 34, pp. 1273–1281, Nov. 2010.
- [6] K. Bilen, M. Cetin, H. Gul and T. Balta, "The investigation of groove geometry effect on heat transfer for internally grooved tubes," Appl. Therm. Eng. Vol 29, pp. 753–761, Mar. 2009.



- [7] S. Skullong and P. Promvong, “Experimental investigation on turbulent convection insolar air heater channel fitted with delta winglet vortex generator,” *Chin. J. Chem.Eng*, vol 22, pp. 1–10, Jan. 2014.
- [8] P. Promvong, S. Skullong, S. Kwankaomeng and C. Thiangpong, “Heat transfer insquareduct fitted diagonally with angle-finned tape—Part 1: Experimental study,” *Int.Commun. Heat Mass Transfer*, vol 39, pp. 617–624, May. 2012.
- [9] W. Chingtuaythong, T. Naebnean, K. khumphunyim and P. Promvong, “Heat Transfer Enhancement in Round Tube Fitted with Triangular V-Ribs,” *Conference On Energy Network of Thailand 7<sup>th</sup>*, 3 – 5 May 2011, PP. 237 – 242 (in Thai).
- [10] N. Koolnapadol, P. Promvong, S. Chokphoemphun and W. Chingtuaythong, “Heat Transfer Enhancement in Heat Exchanger Tube in Hexagon Ring Insert,” in *Proceeding of 33<sup>rd</sup> ME-NETT 2019*, Udonthani Thailand, July. 2 – 5, 2019, pp. 214 – 223 (in Thai).
- [11] P. Hoonpong, S. Suwannapan, T. Chompookham, P. Promvong and S. Skullong, “Thermal characteristics in round tube fitted with rectangular-winglet tape,” in *Proceeding of 31<sup>rd</sup> ME-NETT 2017*, nakhonnayok Thailand, July. 4 – 7, 2017, pp. 1178 – 1186 (in Thai).
- [12] S. Skullong, P. Promvong, N. Jayranaiwachira and C. Thianpong, “Experimental and numerical heat transfer investigation in a tubular heat exchanger with delta-wing tape inserts,” *Chemical Engineering and Processing*, vol. 109, pp. 164–177, Nov. 2016.