

อิทธิพลของใบพัดแบบหมุนรอบแกนต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน ในท่อกลม

Effect of propeller on heat transfer and friction in a circular tube

โรจน์พงศ์ ไชยชมภู* และ สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ถนนจอก กรุงเทพฯ 10530

โทร 0-2988-3655 โทรสาร 0-2988-4040 ext. 241

* E-mail: rojpong@yahoo.com

Rojpong Chaichompoo* and Smith Eiamsa-ard

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok 10530

Tel 0-2988-3655 Fax 0-2988-4040 ext. 241

* E-mail: rojpong@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อกลมที่มีการไหลแบบหมุนวน โดยใช้ใบพัดแบบหมุนรอบแกนใส่ไว้ภายในท่อ และให้หมุนได้อย่างอิสระด้วยแรงของการไหลของไหล ใบพัดที่ใส่ไว้ภายในเป็นอุปกรณ์ที่สร้างให้เกิดการไหลแบบหมุนวน (rotation/swirl flow) ภายในท่อกลม ในการทดสอบกำหนดให้อากาศไหลผ่านท่อกลมที่ให้ความร้อนอย่างคงตัว (Uniform Heat Flux, UHF) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 47 มิลลิเมตร การทดสอบแบ่งออกเป็นสองส่วน : (1) จำนวนใบพัดที่แตกต่างกันสี่รูปแบบถูกจัดวางไว้เฉพาะที่ด้านหน้าเข้า ได้แก่ แบบ 3 ใบพัด, แบบ 4 ใบพัด, แบบ 6 ใบพัด, และแบบ 8 ใบพัด (2) คัดเลือกใบพัดที่มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดมาจัดวางภายในท่อด้วยอัตราของระยะพิตช์ (Pitch ratio, $PR = l/D$) ที่แตกต่างกัน 3 ระยะ คือ 5.0, 7.0 และ 10.0 ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบถูกนำเสนอโดยการเปรียบเทียบกับค่าตัวเลขนัสเซลท์ จากสมการของ Dittus-Boelter ของการไหลในท่อเปล่าผิวเรียบ ผลสรุปที่ได้พบว่า จำนวนใบพัดที่เพิ่มขึ้น และระยะพิตช์ที่ลดลง มีผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น การใส่ใบพัดแบบ 8 ใบที่ระยะพิตช์ $PR = 5.0$ มีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 199% เมื่อเทียบกับท่อเปล่า

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน, การไหลแบบหมุนวน, ใบพัดแบบหมุนรอบแกน

Abstract

An experimental study is carried out to investigate heat transfer and friction factor of a decaying swirl flow in a 47 mm.

circular horizontal tube with a uniform heat flux. The swirl flow is produced by the insertion of small propeller which is like a swirl flow generator. Air is used as working fluid passed through the pipe line. The experimental is separated into two parts as: (1) Each of four different numbers of the propeller is examined in each run, 3 vanes, 4 vanes, 6 vanes and 8 vanes are introduced in the first experimental. (2) The best number of propeller in the first part is inserted inside the test tube with three different pitch ratios ($PR = l/D$), $PR=5.0$, $PR=7.0$, $PR=10.0$ are applied in each test run. The results are compared with the past correlation of Dittus-Boelter for fully developed turbulent flow in circular tubes. From the experimental result, it is shown that the number of vanes and pitch ratios are both effected to the heat transfer enhancement, 8 vanes with $PR=5.0$ lead to the maximum heat transfer rate that is up by 199% compared with the plain tube.

Keywords: Heat transfer enhancement; Swirl flow; Propeller type swirl generator

สัญลักษณ์

- A พื้นที่ถ่ายเทความร้อน (m^2)
- $C_{p,a}$ ค่าความจุความร้อนของอากาศ (kJ/kg.K)
- D เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (m)
- f ความเสียดทาน
- h ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย ($W/m^2.K$)

| | |
|----------------|--|
| I | กระแสไฟฟ้า (amp) |
| k | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
| L | ความยาวของท่อทดสอบ (m) |
| l | ความยาวของระยะพิชต์ |
| m | อัตราการไหลโดยมวล (kg/s) |
| μ | ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล (Ns/m ²) |
| Nu | ตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย |
| ΔP | ความดันตกคร่อม (Pa) |
| PR | อัตราของระยะพิชต์ (PR = l/D) |
| Q | อัตราการถ่ายเทความร้อน (W) |
| Re | ตัวเลขเรย์โนลด์ |
| T _i | อุณหภูมิทางเข้าของท่อ (K) |
| T _w | อุณหภูมิที่ผนังท่อ (K) |
| T _b | อุณหภูมิเฉลี่ย (K) |
| U | ความเร็วตามแนวแกนเฉลี่ย (m/s) |
| V | ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) |
| V | ความหนืดจลน์ของของไหล (m ² /s) |

1. บทนำ

จากอดีตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้มีการปรับปรุงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เราพบเห็นกันอยู่ทั่วไปมีขนาดเล็กลงจากแต่เดิมมาก การพยายามที่จะลดขนาดและลดค่าใช้จ่ายในการสร้างอุปกรณ์ลง แต่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงและมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดนั้น ยังคงเป็นเรื่องที่ท้าทายของนักวิจัยในยุคปัจจุบัน ตัวแปรสำคัญในการลดขนาดและค่าใช้จ่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และในทางปฏิบัติ การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากแหล่งภายนอกมากระตุ้น หรือเรียกว่า Passive method เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและมีการศึกษาอย่างกว้างขวางในหมู่นักวิจัย ต่างประเทศ

การสร้างการไหลแบบหมุนวน (rotation/swirl flow) เป็นหนึ่งใน Passive method ที่มีการศึกษาเพื่อพัฒนาการถ่ายเทความร้อนมาอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบ: ได้แก่ การสร้างการไหลแบบหมุนวนในช่วงเริ่มต้น (Decaying swirl flow) และการสร้างการไหลแบบหมุนวนต่อเนื่อง (Continuous swirl flow) สำหรับการสร้างการไหลแบบหมุนวนในช่วงเริ่มต้น การหมุนวนจะเกิดขึ้นที่ปากทางเข้า และจะค่อยๆเสื่อมลงตามแนวแกนการไหล อัตราการถ่ายเทความร้อน และ ค่าความดันตกคร่อม ก็จะลดลงตามระยะทางการไหล เช่นกัน และสำหรับการไหลวนแบบต่อเนื่อง รูปแบบการหมุนวนจะเกิดขึ้นตลอดแนวแกนของการไหล ตัวอย่างเช่น การสอดใส่แผ่นเกลียวบิด (Twisted-tape) เข้าไปภายในท่อ การใส่เส้นลวดขดแบบสปริง (Coil wires) และการเจาะร่องแบบเกลียว (Helical grooves) เป็นต้น โดยมีงานค้นคว้าและวิจัยเกิดขึ้นมากมายเพื่อศึกษาการไหลแบบหมุนวนภายในท่อ ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ได้แก่ Bali และ Ayhan [1] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้อุปกรณ์กำเนิดการหมุนวนแบบใบพัด (Propeller type swirl generator) ในช่วงเริ่มต้น และพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) สูงขึ้น,

Sarac และ Bali [2] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้อุปกรณ์สร้างการไหลแบบหมุนวนรูปทรงใบพัด (Vortex generator with propeller-type geometry) ใส่ไว้ภายในท่อเฉพาะช่วงเริ่มต้นของการไหล และพบว่าตำแหน่งการใส่ใบพัด มุมและจำนวนใบพัด มีผลทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 18% จนถึง 163%

จากงานค้นคว้าและวิจัยข้างต้น การศึกษาการถ่ายเทความร้อนครั้งนี้จึงถูกจัดให้มีขึ้น ด้วยแนวคิดที่ต้องการศึกษาการลดลงของความเสียดทานภายในท่อแต่ยังคงให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงอยู่ จากอิทธิพลของใบพัดในแต่ละรูปแบบ และการวางตำแหน่งใบพัดในแต่ละช่วงระยะที่แตกต่างกัน โดยทดสอบแบ่งเป็นสองส่วน: (1) จำนวนใบพัดที่แตกต่างกันได้ถูกจัดวางไว้เฉพาะที่ต้นทางเข้า ได้แก่ แบบ 3 ใบพัด, แบบ 4 ใบพัด, แบบ 6 ใบพัด, และแบบ 8 ใบพัด (2) คัดเลือกใบพัดที่มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดมาจัดวางภายในท่อที่ระยะห่างระหว่างใบพัดต่างๆที่ระยะพิชต์ (PR = l / D) คือ 5.0, 7.0 และ 10.0 ตามลำดับ โดยทำการทดลองที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ในช่วง 10000 ถึง 50000 โดยใช้อากาศเป็นของไหลในการทดสอบสำหรับทุกการทดสอบ

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานและอุปกรณ์การวัดการไหล ตามโดยใช้เครื่องกำเนิดลม (Blower) ขนาดทิกัด 10 แรงม้า ควบคุมความเร็วรอบโดยเครื่องควบคุมการจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้า (Inverter) อัตราการไหลของลมก่อนเข้าช่วงทดสอบ (Test section) จะถูกวัดโดยเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Rotameters) ช่วงทดสอบใช้ท่อทองแดงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D) คงที่ 0.047 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.0505 เมตร ความยาวของช่วงทดสอบ 1.50 เมตร (L) และมีระยะเท่ากับ Hydrodynamic development length ซึ่งทำให้การไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ชุดทดสอบ มีลักษณะเป็นการไหลแบบ Fully developed อุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นแบบ Flexible dielectrical heating wire ขนาด 1 กิโลวัตต์ พันรอบท่ออย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้ฟลักซ์ความร้อนคงที่ตลอดความยาวของช่วงทดสอบ, ภายนอกท่อทดสอบถูกหุ้มฉนวนตลอดความยาวท่อ, อุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกวัดด้วย Thermocouple Type K แบบ Chromel-Constantan อุณหภูมิที่ผิววัดด้วย Thermocouple Type K แบบเดียวกัน 14 จุด

ใบพัดที่ใช้ในการทดสอบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวม 0.040 เมตร ทำขึ้นจากแผ่นอลูมิเนียมบาง ทำมุม 45° กับแนวการไหล ติดอยู่บนแกนใบพัดที่ทำจากพลาสติกกลมหัวกลม และหมุนได้อย่างอิสระ ซึ่งมีจำนวนใบแตกต่างกันสี่แบบ ดังนี้ แบบ 3 ใบพัด, แบบ 4 ใบพัด, แบบ 6 ใบพัด และแบบ 8 ใบพัด

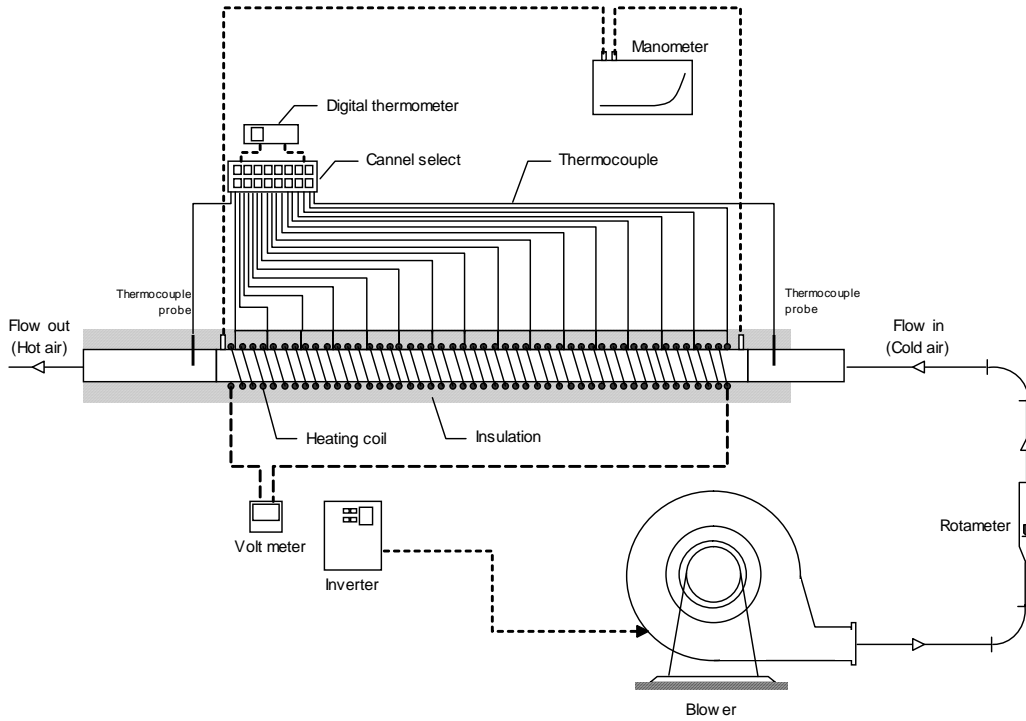
รูปที่ (2) แสดงตำแหน่งการวางใบพัดในเฉพาะตอนเริ่มต้นการไหล (l = 0)

รูปที่ (3) แสดงตำแหน่งการวางใบพัดในตำแหน่งการวางใบพัดที่อัตราของระยะพิชต์ (PR) แตกต่างกัน โดยมีระยะดังนี้ l = 0.235 เมตร (PR = 5.0), l = 0.329 เมตร (PR = 7.0) และ l = 0.470 เมตร (PR = 10.0)

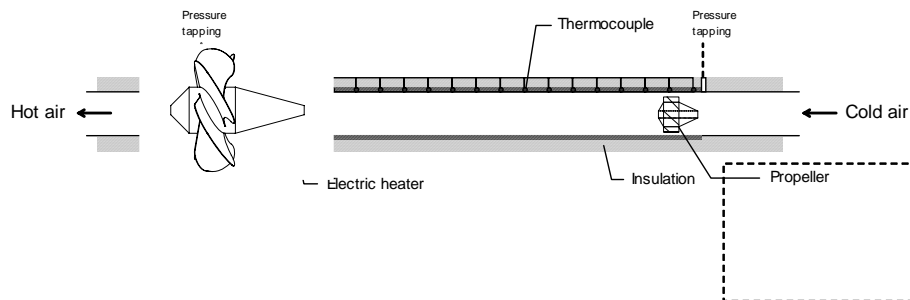
2.2 วิธีการทดลอง

การทดสอบแบ่งออกเป็นสองส่วน: (1) ทดสอบด้วยใบพัดที่มีจำนวนใบพัดแตกต่างกัน และหมุนได้อย่างอิสระ วางเฉพาะที่ตำแหน่งเริ่มต้น ($I = 0$) เท่านั้น (2) คัดเลือกใบพัดแบบที่มีการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดจากการทดสอบส่วนแรก ใส่ใบพัดในตำแหน่งที่มีอัตราของระยะพิทซ์ (PR) แตกต่างกัน

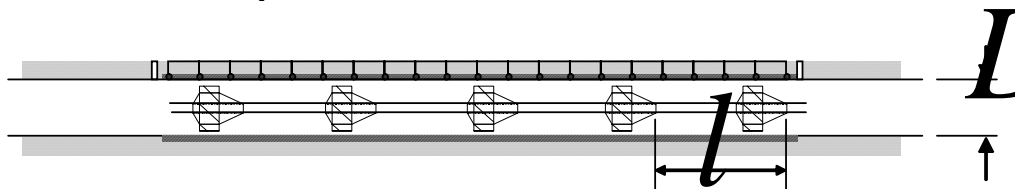
ในแต่ละการทดสอบ การไหลของอากาศควบคุมได้โดยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เครื่องควบคุมการจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้า (Inverter), กำหนดค่าของอัตราการไหลโดยใช้ Rotameter, บันทึกค่าความดันตกคร่อมจาก Manometer, บันทึกอุณหภูมิทางเข้าและทางออกจาก Digital Thermometer, บันทึกอุณหภูมิที่ผิวท่อ 14 จุด จาก Digital Thermometer



รูปที่ 1 ไลอะแกรมแสดงเครื่องทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 2 การวางใบพัดในเฉพาะตอนเริ่มต้นการไหล ($I = 0$)



รูปที่ 3 การวางใบพัดในตำแหน่งการวางใบพัด ที่อัตราของระยะพิทซ์ (PR) แตกต่างกัน

3. ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

การถ่ายเทความร้อนของอากาศในท่อกลมที่หุ้มฉนวนและให้ความร้อนคงที่ สามารถสมมติให้มีค่าเท่ากับอัตราการสูญเสียความร้อนจากท่อทดสอบ

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (1)$$

เมื่อ

$$Q_{air} = \dot{m}C_{p,a}(T_o - T_i) = VI \quad (2)$$

$$Q_{conv} = hA(\bar{T}_w - T_b) \quad (3)$$

โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i) / 2 \quad (4)$$

และ

$$\bar{T}_w = \sum T_w / 14 \quad (5)$$

เมื่อ T_w คือ อุณหภูมิที่ผิวไม่คิดผลกระทบบความต้านทานความร้อนที่ผิวท่อ โดยวัดอุณหภูมิเฉลี่ยจากทางเข้าจนถึงทางออก 14 จุดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย, \bar{h} (Average heat transfer coefficient) และ ตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย, Nu (Mean Nusselt number) สามารถหาได้ดังนี้

$$\bar{h} = \dot{m}C_{p,a}(T_o - T_i) / A(\bar{T}_w - T_b) \quad (6)$$

$$\bar{Nu} = \bar{h}D / k \quad (7)$$

ตัวเลขเรย์โนลด์หาได้จากสมการ

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (8)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, f หาได้จาก

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right)\left(\rho \frac{U^2}{2}\right)} \quad (9)$$

4. ผลการทดลองและบทวิเคราะห์

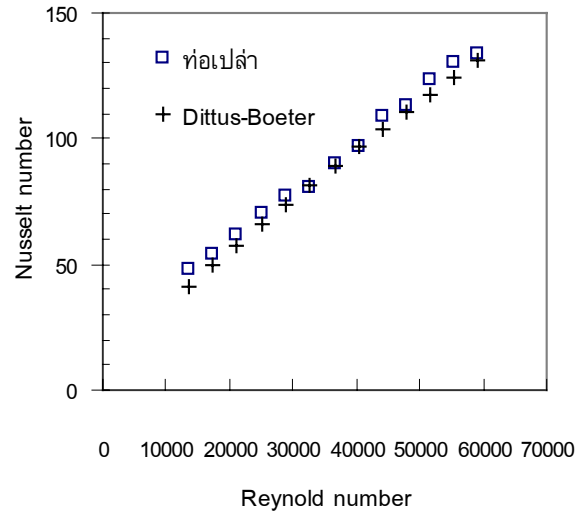
การทดสอบเพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยการใส่ใบพัดเข้าไปภายใน ทั้งแบบใส่ในตอนเริ่มต้น และแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงระยะพัดซ์ จะนำมาเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณในทางทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับทั่วไป

4.1 ผลการทดลองเพื่อรับรองตัวเครื่องทดสอบ

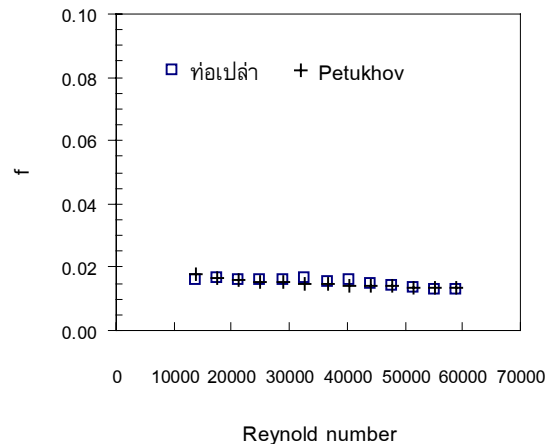
ในรูปที่ 4 แสดงแนวโน้มของค่าตัวเลขนัสเซลท์ที่ได้จากการทดสอบท่อเปล่า เปรียบเทียบกับค่าตัวเลขนัสเซลท์ในทางทฤษฎีของ Ditus-Boelter และพบว่าแนวโน้มของตัวเลขมีการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อน $\pm 4\%$

ในรูปที่ 5 แสดงแนวโน้มของแฟกเตอร์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบท่อเปล่าเปรียบเทียบกับค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานในทาง

ทฤษฎีของ Petukhov และพบว่าแนวโน้มของตัวเลขมีการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกันมาก โดยมีความคลาดเคลื่อน $\pm 2\%$



รูปที่ 4 เปรียบเทียบแนวโน้มของค่าตัวเลขนัสเซลท์ที่ได้จากการทดสอบท่อเปล่าเปรียบเทียบกับค่าตัวเลขนัสเซลท์ในทางทฤษฎีของ Ditus-Boelter



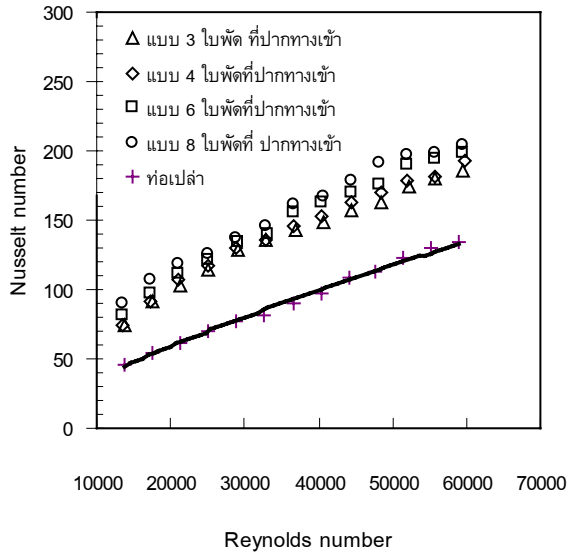
รูปที่ 5 เปรียบเทียบแนวโน้มของแฟกเตอร์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบท่อเปล่าเปรียบเทียบกับทฤษฎีของ Petukhov

4.2 ผลจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนใบพัด และวางไว้เฉพาะที่ทางเข้า ($l = 0$)

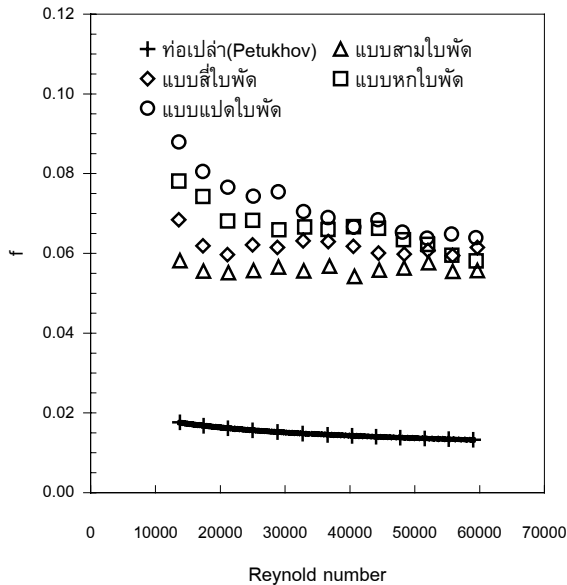
จากการทดลองเปลี่ยนจำนวนใบพัดที่แตกต่างกันจำนวนสี่รูปแบบวางไว้เฉพาะที่ทางเข้า ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนวนเฉพาะช่วงเริ่มต้นและจะค่อยๆเสื่อมลงตามระยะการไหล และจำนวนใบพัดที่เพิ่มมากขึ้นหมายถึงการหมุนวนที่มากขึ้น แนวโน้มของค่าตัวเลขนัสเซลท์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 เพื่อให้การเปรียบเทียบที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นค่าตัวเลขนัสเซลท์ที่ได้จากการทดสอบท่อเปล่าได้แสดงไว้ในภาพด้วย จากรูปที่ 6 พบว่าแนวโน้มของค่าตัวเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของค่าตัวเลขเรย์โนลด์ และรูปแบบที่มีจำนวนใบพัดมากขึ้นมีผลทำให้ของค่าตัวเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้น แบบสามใบพัดมีผลทำให้ค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น

152% แบบสี่ใบพัดมีผลทำให้ค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 155% แบบหกใบพัดมีผลทำให้ค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 163% และแบบแปดใบพัดมีผลทำให้ค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 170% เมื่อเทียบกับท่อเปล่า

ในรูปที่ 7 แสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียหายที่เกิดจากการใส่ใบพัดที่มีจำนวนใบแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าค่าแฟกเตอร์ความเสียหายลดลงตามค่าตัวเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มขึ้น และแบบแปดใบพัดให้ค่าแฟกเตอร์ความเสียหายมากกว่าแบบหกใบพัด, แบบสี่ใบพัด, และแบบสามใบพัด ตามลำดับ



รูปที่ 6 แสดงแนวโน้มของค่าตัวเลขนัสเซลท์จากการทดลองเปลี่ยนจำนวนใบพัดที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ

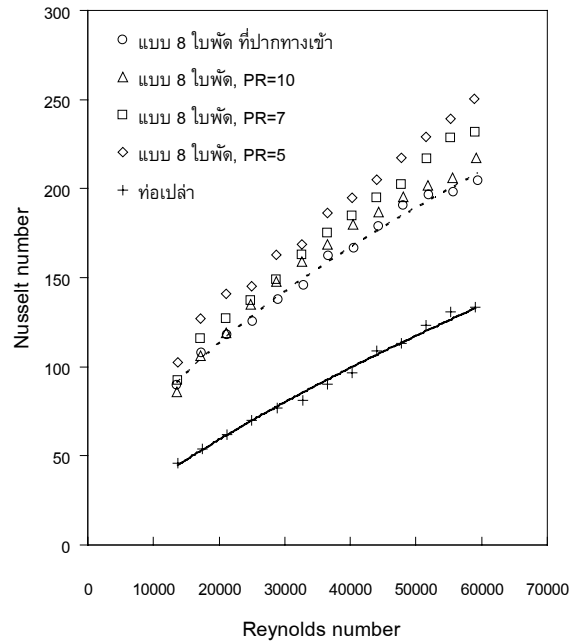


รูปที่ 7 แสดงแนวโน้มของแฟกเตอร์ความเสียหายจากการทดลองเปลี่ยนจำนวนใบพัดที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ

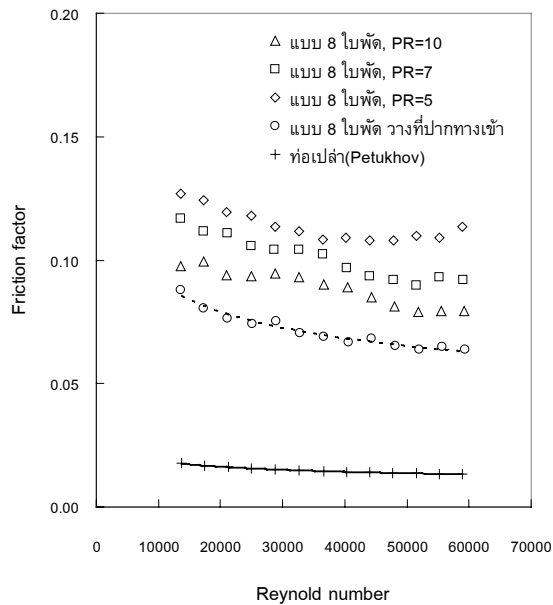
4.3 ผลจากการเปลี่ยนแปลงระยะพิตช์

จากผลของการเปลี่ยนจำนวนใบพัด คัดเลือกใบพัดแบบแปดใบมาจัดวางที่ระยะพิตช์ที่ต่างกัน เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มให้มีการหมุนวนตามช่วงระยะของการวางตำแหน่งใบพัด ซึ่งระยะพิตช์ลดลงหมายถึงระยะระหว่างใบพัดแต่ละชั้นที่ลดลง และมีผลทำให้เกิดการหมุนวนในท่อมากขึ้น รูปที่ 8 แสดงแนวโน้มของแนวโน้มของค่าตัวเลขนัสเซลท์ที่ระยะพิตช์ที่ต่างกันสามระยะ เทียบกับการวางไว้เฉพาะที่ทางเข้า และเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ระยะพิตช์ PR = 10.0 ค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสูงกว่าการวางเฉพาะที่ทางเข้า 104% สูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบ 178%, ที่ระยะพิตช์ PR = 7.0 ค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสูงกว่าการวางเฉพาะที่ทางเข้า 110% สูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบ 187% และที่ระยะพิตช์ PR = 5.0 ให้ค่าตัวเลขนัสเซลท์ที่สูงที่สุด ค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสูงกว่าการวางเฉพาะที่ทางเข้า 117% สูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบ 199%

รูปที่ 9 แสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียหายที่เกิดจากการจัดวางที่ระยะพิตช์ที่ต่างกัน พบว่าค่าแฟกเตอร์ความเสียหายลดลงตามค่าตัวเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มขึ้น และที่ระยะพิตช์ PR = 5.0 ให้ค่าแฟกเตอร์ความเสียหายมากกว่าการวางแบบระยะพิตช์ PR = 7.0 และมากกว่าการวางแบบระยะพิตช์ PR = 10.0 ตามลำดับ



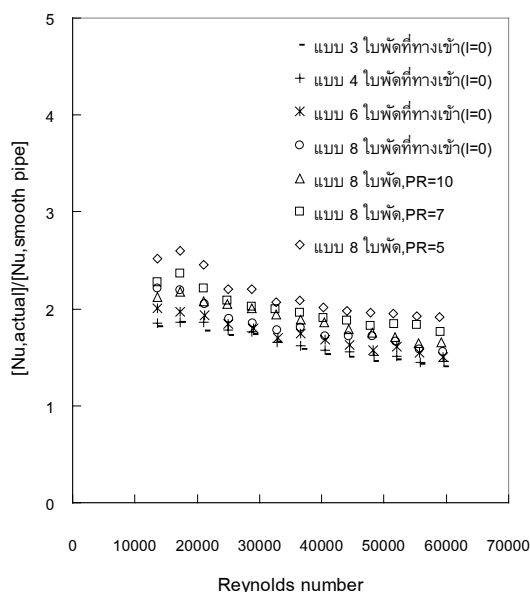
รูปที่ 8 แสดงแนวโน้มของค่าตัวเลขนัสเซลท์ในแต่ละระยะพิตช์ เทียบกับการวางเฉพาะที่ทางเข้า และท่อเปล่าผิวเรียบ



รูปที่ 9 แสดงแนวโน้มของค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานในแต่ละระยะพัดซ์

4.3 สัดส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อนจากการใช้อุปกรณ์เทียบกับท่อเปล่า (Nu/Nu_p)

การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเทียบกับการถ่ายเทความร้อนของท่อเปล่าผิวเรียบจากการทดสอบ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 10 สัดส่วนการถ่ายเทความร้อนเทียบกับท่อเปล่า ของใบพัดแบบแปดใบ สูงกว่าใบพัดแบบหกใบ 5%, สูงกว่าใบพัดแบบสี่ใบ 11% และสูงกว่าใบพัดแบบสามใบ 13%, การจัดวางใบพัดแบบแปดใบภายในท่อที่ระยะพัดซ์ PR = 5.0 สัดส่วนการถ่ายเทความร้อนเทียบกับท่อเปล่า สูงกว่า PR = 7.0 ที่ 7%, สูงกว่า PR = 10.0 ที่ 13% และการวางเฉพะที่ทางเข้า ($I = 0$) ที่ 17%



รูปที่ 10 แสดงสัดส่วนการถ่ายเทความร้อนเทียบกับท่อเปล่า

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเพื่อศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อน และความเสียดทานการไหลในท่อกลม จากการใส่ใบพัดที่หมุนได้อย่างอิสระไว้ภายในท่อ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การวางใบพัดที่ระยะพัดซ์สั้นลงภายในท่อกลม เป็นการเพิ่มให้เกิดการหมุนวนตามช่วงระยะการวางใบพัด เมื่อการหมุนวนภายในท่อมากขึ้น การถ่ายเทความร้อนก็จะมากขึ้นตามกัน และในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าความเสียดทานการไหลภายในท่อเพิ่มขึ้นด้วย
2. จำนวนใบของใบพัดที่เพิ่มมากขึ้นหมายถึงการหมุนวนที่มากขึ้น มีผลทำให้การถ่ายเทความร้อนภายในท่อเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเสียดทานการไหลภายในท่อก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน เนื่องจากการไหลผ่านของของไหลทำได้ยากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแรงปฏิกิริยาย้อนกลับในทิศต้านการไหลที่ชั้นผิวท่อ
3. เมื่อค่าตัวเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น ค่าการถ่ายเทความร้อนจากการใส่ใบพัดไว้ภายในเทียบกับท่อเปล่าจะมีค่าลดลงในทุกกรณี เนื่องจากที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์สูงๆนั้น มีความปั่นป่วนของการไหลมากพออยู่แล้ว

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Bali, T. Ayhan, Experimental investigation of propeller type swirl generator for a circular pipe flow. International Communication on Heat Mass transfer 26 (1) (1999) 13-22
- [2] B.A. Sarac, T. Bali, An experimental study on heat transfer and pressure drop characteristics of decaying swirl flow through a circular pipe with vortex generator, Experimental Thermal and Fluid Science, available online 2007.
- [3] Dittus F.W., Boelter, Publication on engineering Vol.2, L.M.K. University of California at Berkley (1930) pp. 443
- [4] P. Promvong, S. Eiamsa-ard, 2006. Heat transfer enhancement in a tube with combined conical-nozzle inserts and swirl generator, Energy Conversion and Management 47 (2006) 2867-2882.