การไหลภายในท่อที่มีครีบเกลียวอยู่ภายใน

Flow in Circular Tube with Helical Coils Inserted

*อนุสรณ์ ชินสุวรรณ *(Anusorn Chinsuwan)*

บทคัดย่อ

การศึกษาการไหลภายในท่อที่มีครีบเกลียวอยู่ภายใน มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหล (friction factor, f) กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number, Re) และค่าอัตราส่วนของระยะเกลียวกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อสำหรับการไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์สอยู่ในช่วง $5000 \leq Re \leq 25000$ ท่อทดสอบที่ใช้สร้างขึ้นโดยการนำครีบเกลียวที่ทำจากสายไฟฟ้าที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรจำนวน 6 เส้น สอดเข้าข้างในท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 27 มิลลิเมตร ยาว 125 เซนติเมตร อัตราส่วนของระยะเกลียวกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ ที่ใช้เท่ากับ 3.70, 5.18, 7.41 และ 9.26 ผลที่ได้จากการทดลองได้นำมาสร้างเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลในท่อดังกล่าว ผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส และค่าอัตราส่วนของระยะเกลียวกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อลดลง

Abstract

The apparatus was constructed to investigate friction factor (f) for flow in circular tube with helical coils spring inserted for $5000 \leq Re \leq 25000$ The test tubes were constructed by inserting six electrical wires with 1 millimeter diameter into circular plain tubes. The tubes had diameter of 27 millimeter and 125 centimeter long. The experiments were conducted at the ratio of pitch and inside diameter (p/d) of 3.70, 5.18, 7.41 and 9.26. The empirical formulas for predicting the friction factor were developed from the experimental results. The results show that friction factor (f) increased as Reynolds Number (Re) and the ratio of pitch and inside diameter (p/d) decreased.

คำสำคัญ : การไหลภายในท่อ

Keyword : Internal Flow, Helical Fin Tube

**อาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

1. บทนำ

ในการเลือกท่อที่จะนำมาใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อต้องการให้ขนาดของเครื่องดังกล่าวมีขนาดเล็กลงโดยมีความสามารถในการถ่ายความร้อนด้วยอัตราเท่าเดิมนั้นท่อที่นำมาใช้นั้นจะต้องมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (*heat transfer coefficient*) ที่สูงขึ้น เช่น ท่อที่มีครีบตรงอยู่ภายใน หรือ ท่อที่มีครีบเกลียวอยู่ภายใน (Kakac, 1990) เป็นต้น แต่ท่อดังกล่าวไม่สามารถผลิตได้ในประเทศ ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษาการไหลในท่อที่มีครีบเกลียวอยู่ภายใน โดยท่อดังกล่าวถูกดัดแปลงจากท่อเรียบที่สามารถผลิตได้ในประเทศโดยทั่วไป

ส่วนครีบเกลียวนั้นทำจากสายไฟฟ้าซึ่งม้วนเป็นเกลียวแล้วสอดเข้าภายในท่อ การศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในส่วนของการพาความร้อนของท่อดังกล่าว

2. ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหล (*friction factor,f*) กับตัวเลขเรย์โนลด์ส (*Reynolds Number,Re*) ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (*turbulent*) ซึ่งมีค่าตัวเลขเรย์โนลด์สอยู่ในช่วง $5000 \leq Re \leq 25000$ ของการไหลภายในท่อที่มีขดลวดเกลียวติดอยู่ในผนังด้านใน โดยขดลวดดังกล่าวมีระยะเกลียว (*pitch,p*) ที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามจำนวนและขนาดของสายไฟฟ้าอาจมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหล (friction factor,f) ที่เกิดขึ้น ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตของงานวิจัยในครั้งนี้

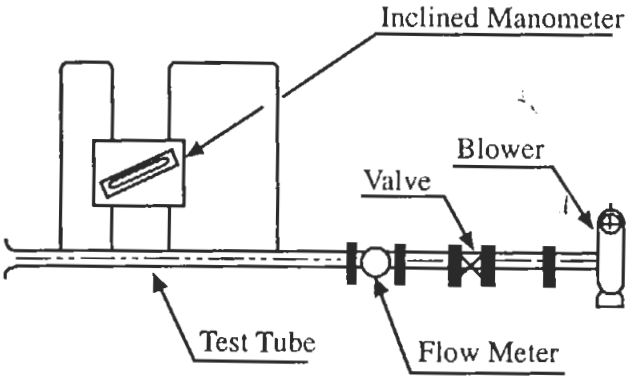
3. ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลภายในท่อดังกล่าวได้แก่ ความเร็วในการไหล (V) ความหนืดคิเนมาติก (*kinematic viscosity*) ของของไหล(υ) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (d) และระยะเกลียว (p) ซึ่งเมื่อนำตัวแปรดังกล่าวมาวิเคราะห์มิติ (*dimensional analysis*) (Fox, 1994) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$f = \lambda\,[Re,(p/d)] \quad \text{.....(1)}$$

4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

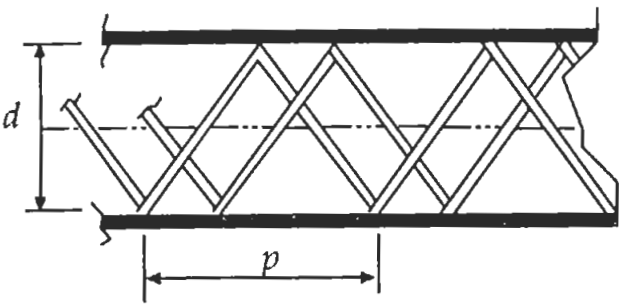
เพื่อให้อากาศที่ไหลเข้าท่อทดสอบ (*test tube*) ด้วยความเร็วสม่ำเสมอจึงติดตั้งท่อปากแตร (*bell mount*) ไว้ที่ปากทางเข้าของชุดทดสอบซึ่งต่อเข้ากับด้านดูดของพัดลม (*blower*) อากาศจะไหลผ่านท่อทดสอบสู่มาตราวัดอัตราการไหล ผ่านวาล์วและเข้าสู่พัดลมในที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการปรวนแปรของอากาศ มาตราวัดอัตราการไหลของอากาศติดตั้งไว้ห่างจากวาลว์ปรับอัตราการไหลเป็นระยะ 60 เซนติเมตร จุดวัดความดันจุดแรกห่างจากท่อปากแตร 15 เซนติเมตร และจุดสุดท้ายห่างจากวาล์ว 60 เซนติเมตร (Figliola, 1995) ความดันลดที่เกิดขึ้นจากการไหลอ่านค่าได้จากมานอมิเตอร์แบบเอียง (*inclined manometer*) ดังแสดงในรูปที่ 1



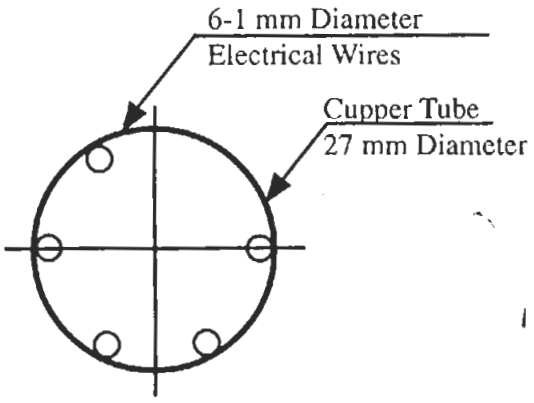
รูปที่ 1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากท่อทองแดงไร้ตะเข็บเป็นท่อที่เรียบจึงนำมาใช้ในการทดสอบ การใช้ท่อชนิดดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงอิทธิพลของขดเกลียวที่มีผลต่อความเสียดทานได้เป็นอย่างดี ท่อที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 27 มิลลิเมตร ยาว 125 เซนติเมตร ภายในมีขดเกลียวที่ทำจากสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนสอดอยู่ด้านในจำนวน 6 เส้น แต่ละเส้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร การสอดสายไฟฟ้าดังกล่าวเข้าภายในท่อทำโดยการนำสายไฟฟ้า

ม้วนกับด้านนอกของท่อที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดท่อทองแดงที่ใช้ 3 มิลลิเมตร จัดให้ได้ระยะเกลียวและระยะห่างระหว่างเส้นขดลวดตามแนวเส้นรอบวงตามต้องการแล้วนำไปสอดเข้ากับท่อทดสอบ เมื่อนำไปสอดเข้าภายในท่อทดสอบจะมีลักษณะภาพตัดตามยาวและภาพตัดขวาง ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 การจัดเรียงของขดเกลียวสายไฟฟ้าภายในท่อทดสอบ (แสดงเพียงสองเส้นเท่านั้น)



รูปที่ 3 ภาพตัดขวางของท่อทดสอบ

อนึ่งในการเลือกวัสดุที่มาใช้ประกอบกันเป็นท่อทดสอบนั้น ส่วนที่เป็นครีบเกลียวได้เลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อน และส่วนที่เป็นท่อนั้นเป็นท่อที่มีผิวเรียบไร้ตะเข็บทำด้วยทองแดง ทั้งนี้เนื่องจากประการแรกจะได้ทราบถึงอิทธิพลของครีบเกลียวที่มีผลต่อการเกิดความดันลดที่เพิ่มขึ้นจากท่อเรียบ ประการสุดท้าย ทองแดงเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงและฉนวนของสายไฟฟ้ามีคุณสมบัติเป็นฉนวนของความร้อน ดังนั้นการเลือกวัสดุดังกล่าวมาประกอบกันเป็นท่อทดสอบจึงสามารถนำไปใช้ในการวิจัยในส่วนของการพาความร้อนภายในท่อที่มีครีบเกลียวเป็นฉนวนอยู่ภายในได้ด้วย

5. วิธีการวิจัย

การทดลองเพื่อเก็บข้อมูลทำโดยการวัดค่าความดันสูญเสียที่เปลี่ยนไปในการไหลภายในท่อที่มีอัตราส่วนของระยะเกลียวต่อความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อที่ค่า 3.70, 5.18, 7.41 และ 9.26 ที่อัตราไหลค่าต่างๆ แล้วนำผลที่ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในรูปของตัวแปรไร้มิติที่ได้กล่าวมาแล้วดังสมการที่ (1)

6. ผลการวิจัย

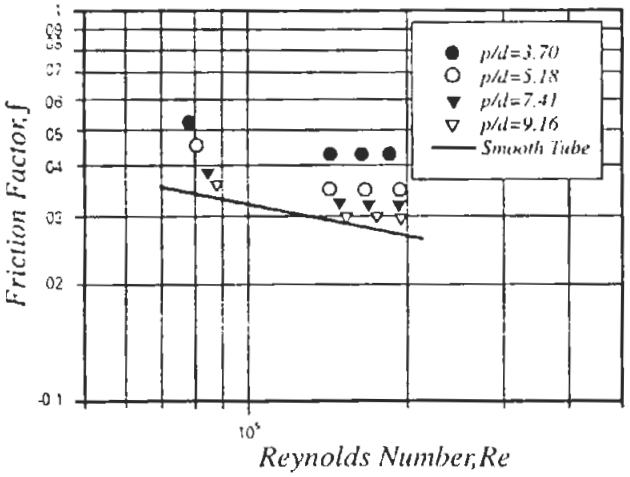
จากข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในการไหลเมื่อเทียบกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของท่อที่ใช้ทดสอบมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลที่ได้จากท่อเรียบ (*smooth tube*) ที่ศึกษาโดย Blasius (Incropera ,1990) กล่าวคือ จะมีค่าลดลงเมื่อค่าของตัวเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์สค่าหนึ่งแล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากท่อทดสอบมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากท่อเรียบและผลต่างของค่าทั้งสองจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนของระยะเกลียวต่อขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อลดลงดังแสดงในรูปที่ 4

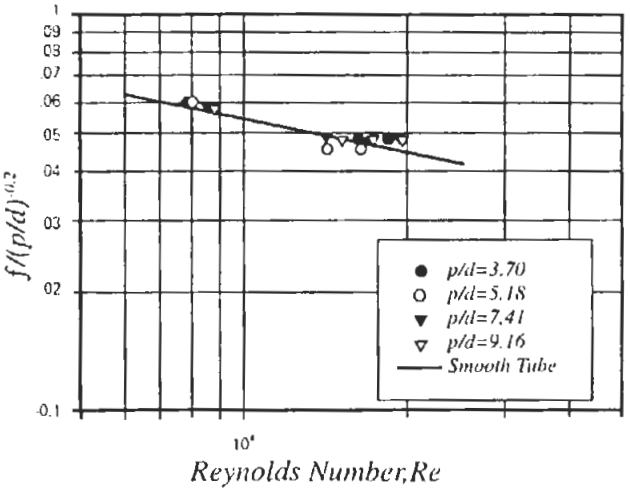
7. สรุปและวิจารณ์ผลที่ได้จากการวิจัย

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดลองโดยจัดให้ตัวแปรต่างๆ อยู่ในรูปของกลุ่มตัวแปรไร้มิติตามสมการที่ (1) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2)

$$f = 0.729\, Re^{-0.282} \left(\frac{p}{d}\right)^{-0.2} \quad \text{.....(2)}$$



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลกับตัวเลขเรย์โนลด์สที่อัตราส่วนระยะเกลียวต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อต่างๆ ที่ได้จากการทดลองเมื่อเทียบกับท่อเรียบ



รูปที่ 5 การเปรียบสมการของความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลกับตัวเลขเรย์โนลด์ส และอัตราส่วนระยะเกลียวกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (2) กับผลการทดลอง พบว่าสมการนี้สอดคล้องกับผลการทดลองอย่างยิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งส่งผลให้สามารถนำสมการดังกล่าวไปใช้คำนวณหาค่าการสูญเสียพลังงานของการไหลที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้นสำหรับท่อชนิดนี้ว่าเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อทดสอบที่เพิ่มขึ้นจากท่อเรียบนั้นสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการไหลควงที่เกิดขึ้นภายในท่อ การไหลดังกล่าวจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงขึ้น (*heat transfer coefficient*) สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่อง จากการไหลในลักษณะดังกล่าวจะส่งผลทำให้เกิดการคลุกเคล้าระหว่างชั้นของของไหลที่อยู่ติดกับผนังท่อกับชั้นที่อยู่ห่างจากผนังท่อออกไปได้ดียิ่งขึ้น (Kakac, 1990)

ครีบเกลียวที่สอดเข้าในท่อทดสอบนั้นมิได้ยึดติดแน่นกับผิวในของท่อทดสอบ เพียงแต่วางชิดกับผนังเท่านั้น ดังนั้นการนำสมการที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ไปใช้นั้น ต้องนำไปใช้กับท่อที่มีการสอดครีบเกลียวเข้าในท่อที่มีลักษณะเช่นเดียวกัน

และแม้ว่าการวิจัยในครั้งนี้จะใช้อากาศเป็นของไหล สมการที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับของไหลชนิดอื่นได้ เนื่องจากอิทธิพลของความหนืดของของไหลที่เปลี่ยนไปนั้นได้รวมอยู่ในเทอมของตัวแปรของตัวเลขเรย์โนลด์สแล้ว

อย่างไรก็ตามจำนวนและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสายไฟฟ้าที่ใช้อาจมีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้น ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้ จึงไม่ได้นำตัวแปรดังกล่าวมาพิจารณา

ผลการศึกษานี้จะสามารถนำไปเป็นพื้นฐานของการวิจัยของการพาความร้อนภายในท่อที่มีลักษณะดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งจะส่งผลให้ได้ท่อที่มีสัมประสิทธิ์ในการพาความร้อนที่สูงขึ้นโดยการเสริมครีบเกลียวเข้าไปภายในท่อเรียบซึ่งสามารถเป็นไปได้โดยไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีที่สูงและสามารถทำได้ในประเทศ ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการทำครีบเกลียวในลักษณะดังกล่าวที่เป็นฉนวนทางความร้อน อาจจะนำวัสดุประเภทเครื่องปั้นดินเผามาใช้แทนครีบเกลียวที่ทำจากสายไฟฟ้าได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้เงินสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

Kakac, Sadik and Shah , Ramesh K. 1990. **Hand Book of Single-Phase Convective Heat Transfer**. New York: McGraw-Hill.

Incropera, Frank P. and De Witt, David P. 1990. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 3d ed. New York: John Wiley & Sons.

Fox, Robert W. and McDonald, Alan T. 1994. **Introduction to Fluid Mechanics**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons.

Figliola, Richard S. and Beasley, E. 1995.**Theory and Design for Mechanical Measurements**. 2d ed. New York: John Wiley & Sons.