การไหลภายในท่อที่มีครีบเกลียวอยู่ภายใน

อนุสรณ์ ชินสุวรรณ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

การศึกษาการไหลภายในท่อที่มีครีบเกลียวอยู่ภายในครั้งนี้ เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหล (friction factor, f) กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number, Re) และค่าอัตราส่วนของระยะเกลียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (p/d) สำหรับการไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง $5{,}000 \le Re \le 25{,}000$ ท่อทดสอบที่ใช้สร้างขึ้นโดยการนำครีบเกลียวที่ทำจากสายไฟฟ้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตรจำนวน 6 เส้นสอดเข้าข้างในท่อ ผลที่ได้จากการทดลองได้นำมาสร้างเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหล (f) ในท่อดังกล่าว ผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส (Re) และค่าอัตราส่วนของระยะเกลียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (p/d) ลดลง

Flow in Circular Tube with Helical Coils Inserted

Anusorn Chinsuwan
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering Khon Kaen University

Abstract

The apparatus was constructed to investigate friction factor (f) for flow in circular tube with helical coils spring inserted for $5{,}000 \le Re \le 25{,}000$. The test tubes were constructed by inserting six electrical wires into circular plain tubes. The results showed that friction factor (f) increased as Reynolds Number (Re) and the ratio of pitch and inside diameter (p/d) decreased.

บทนำ

ในการเลือกท่อที่จะนำมาใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อต้องการให้ขนาดของเครื่องดังกล่าวมีขนาดเล็กลง โดยมีความสามารถในการถ่ายความร้อนด้วยอัตราเท่าเดิมนั้น ท่อที่นำมาใช้จะต้องมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) ที่สูงขึ้น เช่น ท่อที่มีครีบตรงอยู่ภายใน ท่อที่มีครีบเกลียวอยู่ภายใน [Kakac, 1990] เป็นต้น ซึ่งท่อดังกล่าวนั้นไม่สามารถผลิตได้ในประเทศ ดังนั้น งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษาการไหลในท่อที่มีครีบเกลียวอยู่ภายใน โดยท่อดังกล่าวถูกดัดแปลงจากท่อเรียบที่สามารถผลิตได้ในประเทศโดยทั่วไป ส่วนครีบเกลียวนั้นทำจากสายไฟฟ้าซึ่งม้วนเป็นเกลียวแล้วสอดเข้าภายในท่อ การศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลนี้จะศึกษาข้อมูลพื้นฐานในส่วนของการพาความร้อนของท่อดังกล่าว

ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหล (friction factor, f) กับตัวเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number, Re) ของการ

ไหลภายในท่อที่มีขดลวดเกลียวติดอยู่ที่ผนังด้านใน โดยขดลวดดังกล่าวมีระยะเกลียว (pitch, p) ที่ต่างกัน ในช่วงของการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) ที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส อยู่ในช่วง $5{,}000 \le Re \le 25{,}000$

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลภายในท่อดังกล่าวได้แก่ ความเร็วในการไหล (v) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (d) และระยะเกลียว (p) ซึ่งเมื่อนำตัวแปรดังกล่าวมาวิเคราะห์มิติ (dimensional analysis) [Fox, 1994] จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$f = f\left[Re,(p/d)\right] \qquad (1)$$

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ท่อที่ต้องการทดสอบทำด้วยทองแดงผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 27 มิลลิเมตร โดยมีสายไฟฟ้าที่มีฉนวนหุ้มจำนวน 6 เส้น แต่ละเส้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร ม้วนเป็นเกลียวรัศมีเท่ากับรัศมีภายในของท่อ สอดอยู่ภายในยาวตลอดความยาวท่อ และวางระยะห่างเท่าๆ กันตามแนวเส้นรอบวงของท่อ ที่ปลายทั้งสองข้างติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันไว้ ท่อทดสอบนี้ต่อเข้าทางด้านดูดของพัดลม โดยมีมาตรวัดอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านท่อทดสอบติดตั้งไว้ที่ปลายท่อที่อยู่ใกล้พัดลม และมีวาล์วสำหรับปรับอัตราการไหลติดตั้งไว้ระหว่างมาตรดังกล่าวกับพัดลม

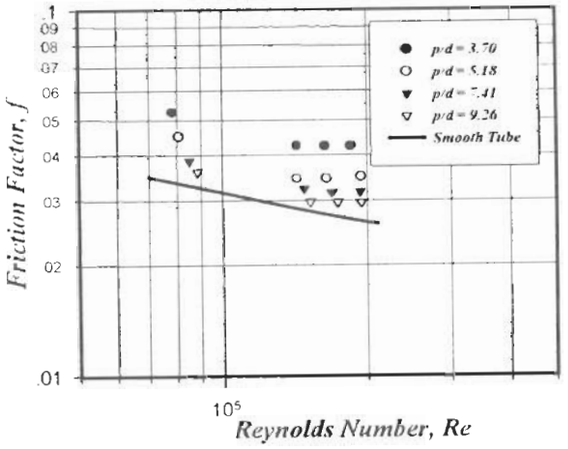
วิธีการวิจัย

การทดลองเพื่อเก็บข้อมูลทำโดยการวัดค่าของความดันสูญเสียที่เปลี่ยนไปในการไหลภายในท่อที่มีอัตราส่วนของระยะเกลียวต่อความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อและอัตราไหลที่ค่าต่างๆ แล้วนำผลที่ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ในรูปของตัวแปรไร้มิติที่ได้กล่าวมาแล้วดังสมการที่ (1)

ผลการวิจัย

จากข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในการไหล เมื่อเทียบกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของท่อที่ใช้ทดสอบมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลที่ได้จากการไหลในท่อเรียบ (smooth tube) โดย Blasius [Incropera, 1990] กล่าวคือ จะมีค่าลดลงเมื่อค่าของตัวเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์สค่าหนึ่งแล้วพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากท่อทดสอบจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากท่อเรียบและผลต่างของค่าทั้งสองจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนของระยะเกลียวต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อลดลงดังแสดงในรูปที่ 1



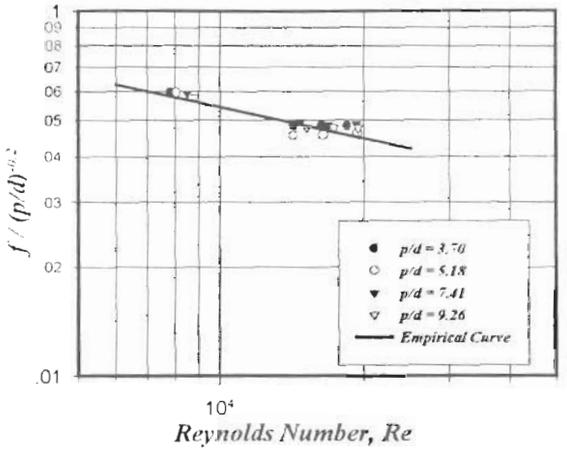
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลกับตัวเลขเรย์โนลด์สที่อัตราส่วนระยะเกลียวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่างๆ ที่ได้จากการทดลองเมื่อเทียบกับท่อเรียบ

สรุปผลที่ได้จากการวิจัย

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดลองโดยจัดให้ตัวแปรต่างๆ อยู่ในรูปของกลุ่มตัวแปรไร้มิติตามสมการที่ (1) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

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

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (2) กับผลการทดลองพบว่า สมการนี้สอดคล้องกับผลการทดลองอย่างยิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งส่งผลให้สามารถนำสมการดังกล่าวไปใช้คำนวณหาค่าการสูญเสียพลังงานของการไหลที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้นสำหรับท่อชนิดนี้ว่าเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่



รูปที่ 2 การเปรียบสมการของความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลกับตัวเลขเรย์โนลด์ส และอัตราส่วนระยะเกลียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อทดสอบที่เพิ่มขึ้นจากท่อเรียบนั้นเป็นสาเหตุอันเนื่องมาจากการไหลควงที่เกิดขึ้นภายในท่อ การไหลดังกล่าวจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก การไหลในลักษณะดังกล่าวจะส่งผลทำให้เกิดการคลุกเคล้าระหว่างชั้นของของไหลที่อยู่ติดกับผนังท่อกับชั้นที่อยู่ห่างจากผนังท่อออกไปได้ดียิ่งขึ้น [Kakac,1990]

ผลการศึกษานี้จะสามารถนำไปเป็นพื้นฐานของการวิจัยของการพาความร้อนภายในท่อที่มีลักษณะดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งจะส่งผลให้ได้ท่อที่มีสัมประสิทธิ์ในการพาความร้อน (heat transfer coefficient) ที่สูงขึ้นโดยการเสริมครีบเกลียวเข้าไปภายในท่อเรียบซึ่งสามารถเป็นไปได้โดยไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีที่สูงและสามารถทำได้ในประเทศ

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้เงินสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

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

[2] Frank P., Incropera and David P. De Witt, 1990. ***Fundamentals of Heat and Mass Transfer***. Thrid Edition. New York: John Wiley & Sons.

[3] James E. A., John and William L. Habermann, 1988. ***Introduction to Fluid Mechanics***. Thrid Edition. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

[4] Robert W., Fox and Alan T. McDonald., 1994. ***Introduction to Fluid Mechanics***. Fourth Edition. New York, John Wiley & Sons, Inc.