

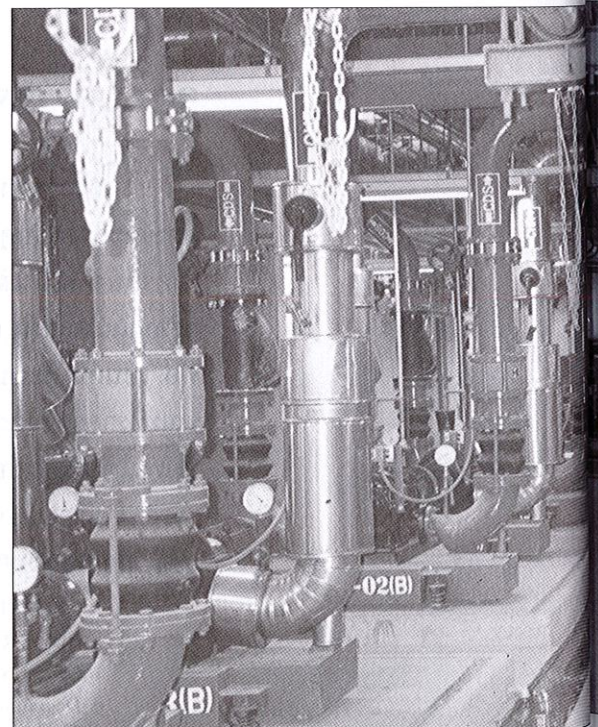
การศึกษาผลของความโค้งที่มีต่อ การถ่ายเทความร้อน และความเสียหาย ในท่ออะลูมิเนียมยืดหยุ่น

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ผลจากความโค้งของท่ออะลูมิเนียมยืดหยุ่นที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียหาย โดยพลังงานความร้อนที่ให้แก่ท่ออะลูมิเนียมยืดหยุ่นเป็นแบบค่าความร้อนต่อหน่วยพื้นที่คงที่ ในช่วงการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน ที่เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ตั้งแต่ 30,000 ถึง 120,000 รวมถึงพิจารณาผลจากความหยาบและผลกระทบที่ปากทางเข้า

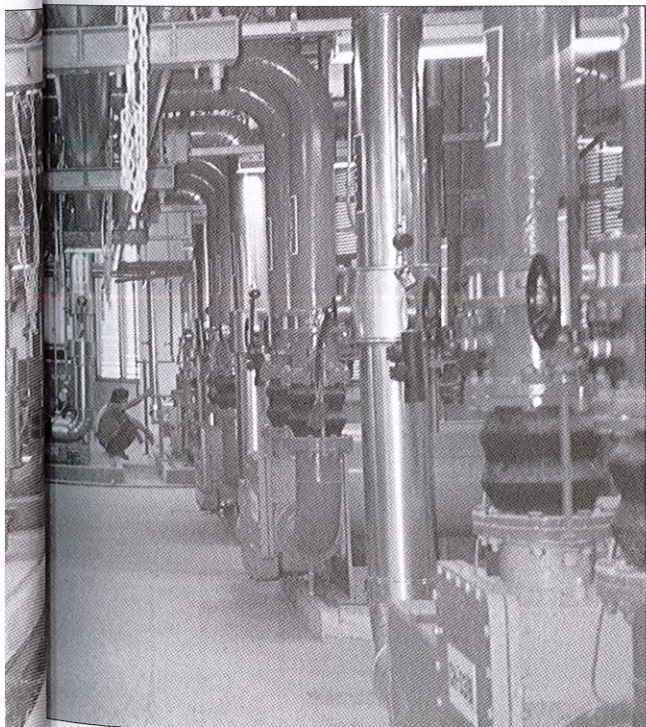
จากผลการวิจัยพบว่า

1. ในท่อที่วางตัวแนวตรงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อท่ออะลูมิเนียมยืดหยุ่นมีความยาวลดลง โดยพิจารณาที่ระยะแอมปริจูด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอัตราการไหลเดียวกัน
2. ในท่อที่วางตัวแนวโค้ง 90 องศา ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อท่ออะลูมิเนียมยืดหยุ่นมีรัศมีความโค้งลดลง โดยพิจารณาที่ระยะแอมปริจูด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอัตราการไหลเดียวกัน
3. ในท่อที่วางตัวแนวโค้งและแนวตรง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะแอมปริจูดของท่อมีค่าเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาที่ความยาวท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอัตราการไหลเดียวกัน
4. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อที่วางตัวในแนวโค้ง 90 องศา จะสูงกว่าท่อที่วางตัวในแนวตรงประมาณ 175 % เมื่อพิจารณาที่ ความยาวท่อ ระยะแอมปริจูด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอัตราการไหลเดียวกัน
5. ในท่อที่วางตัวแนวตรงเมื่อความยาวท่อมีค่าสูงขึ้น ค่าความดันลดจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาที่ระยะแอมปริจูด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง



ดร.เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์
อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายธีระชาติ พรพิบูลย์
นิสิตปริญญาโท
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กลางท่อ และอัตราการไหลเดียวกัน

6. ในท่อที่วางตัวแนวโค้ง 90 องศาเมื่อรัศมีความโค้งมีค่าสูงขึ้น ค่าความดันลดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อพิจารณาที่ ระยะแอมปริจูด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอัตราการไหลเดียวกัน

7. ในท่อที่วางตัวแนวโค้งและแนวตรงเมื่อระยะแอมปริจูดเพิ่มขึ้น ค่าความดันลดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อพิจารณาที่ความยาวท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอัตราการไหลเดียวกัน

บทนำ

ปัจจุบันมักพบเสมอว่าท่ออะลูมิเนียมยัดหยุ่นมีความนิยมในการใช้งานในระบบท่อส่งลมอย่างมาก เนื่องจากท่ออะลูมิเนียมยัดหยุ่นมีความยืดหยุ่นสูง สามารถโค้งงอเปลี่ยนทิศทางได้ตามต้องการ จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ท่อชนิดนี้มีความสะดวกในการติดตั้งหรือย้ายเปลี่ยนตำแหน่งได้ง่าย อย่างไรก็ตามผลจากการดัดโค้งหรืออิทธิพลของความโค้งตลอดจนความหยวบของท่ออันเนื่องจากการดัดโค้งจะมีต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานอย่างมาก การศึกษาผลหรืออิทธิพลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลที่จะช่วยให้วิศวกรผู้ออกแบบทราบถึงค่าความเสียดทานและการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่ออะลูมิเนียมยัดหยุ่นที่วางตัวในแนวโค้ง เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานโดยเฉพาะในงานที่ต้องการความละเอียดสูง ซึ่งปัจจุบันยังคงเป็นปัญหาแก่วิศวกรผู้ออกแบบระบบท่อลมว่าจะต้องคำนึงถึงผลดังกล่าวนี้มากน้อยเพียงไร อีกทั้งจะเป็นข้อมูลสำคัญที่ทำให้ทราบถึงการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานของอากาศที่เกิดขึ้นในท่ออะลูมิเนียมยัดหยุ่นในการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยหลายฉบับที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาดังกล่าว พอจะยกตัวอย่างเพื่ออ้างอิงได้เช่น H.Ito [8] ทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาค่าความดันลดที่เกิดขึ้นในท่อโค้งผิวเรียบ สำหรับการไหลของน้ำแบบปั่นป่วน ในช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ตั้งแต่ 2×10^4 ถึง 4×10^5 กฤษดีศรีนภาสวัสดิ์ [1] ทำการศึกษาวิจัยการถ่ายเทความร้อนในท่อลูกฟูกหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผิวท่อมัลลักษณะเป็นรูปไซน์เคิร์ฟ โดยทำการวิจัยในช่วงการไหลของอากาศแบบราบเรียบจนถึงปั่นป่วน ในช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ตั้งแต่ 1500 ถึง 18000 และให้ความสนใจในเรื่องการไหลที่มีรูปแบบของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กัน และมีสภาพ

การให้ความร้อนแบบค่าความร้อนต่อหน่วยพื้นที่คงที่ J.E.O' Brien [7] ทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ในท่อลูกฟูกหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผิวท่อทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ โดยทำการทดลองที่การไหลของน้ำแบบราบเรียบจนถึงปั่นป่วน ในช่วงเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ตั้งแต่ 1500 ถึง 25000 และแฟรันเดิลนัมเบอร์ตั้งแต่ 4 ถึง 8 โดยมีสภาพการให้ความร้อนเป็นแบบค่าความร้อนต่อหน่วยพื้นที่คงที่ และทำการศึกษากการไหลที่มีรูปแบบของความเร็วและอุณหภูมิคงรูปแล้ว

การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสามารถหาได้จาก

$$h(x) = \frac{q''(x)}{T_s(x) - T_m(x)} \quad (1)$$

และค่าพลังงานความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ระยะ x ใดๆ หาได้จาก

$$q'' = \frac{mc_p (T_{m,o} - T_{m,i})}{A_s} \quad (2)$$

ในกรณีที่สภาพการให้ความร้อนเป็นแบบค่าความร้อนต่อหน่วยพื้นที่คงที่ เราสามารถหาค่าอุณหภูมิของไหลที่ระยะ x ใดๆ ได้จากการประยุกต์และจัดรูปสมการที่ 2 ได้ดังนี้

$$T_{m,x} = T_{m,i} + \frac{q'' A_s(x)}{mc_p} \quad (3)$$

และถ้าแทนสมการที่ 2. ลงในสมการที่ 1. จะได้

$$h(x) = \frac{mc_p (T_{m,o} - T_{m,i})}{A_s(x) [T_s(x) - T_{m,x}(x)]} \quad (4)$$

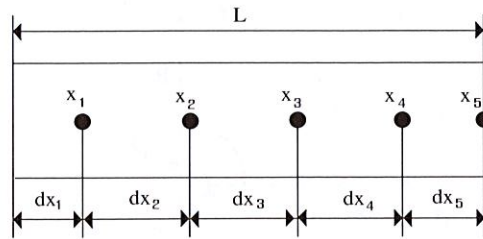
เราสามารถแทนค่าจากผลการทดลองลงในสมการที่ 3. และสมการที่ 4. เพื่อหาค่าอุณหภูมิของของไหลและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ที่ระยะ x ใดๆ ได้โดยง่าย

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยหาได้โดยพิจารณาจากวิธีการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$h_m = \frac{1}{L} \int_0^L h(x) dx = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^m h_n(x) dx$$

$$h_m = \frac{1}{L} (h_1 dx_1 + h_2 dx_2 + h_3 dx_3 + \dots + h_m dx_m) \quad (5)$$

เมื่อ m คือ จำนวนจุดที่วัดอุณหภูมิที่ผิวท่อ พิจารณาในรูปที่ 1



รูปที่ 1. แสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของผิวท่อ

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน (Nu) เท่ากับ

$$Nu = \frac{h_m D}{k} \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อวางตัวในแนวตรง (f) ได้จากสมการของ Darcy คือ

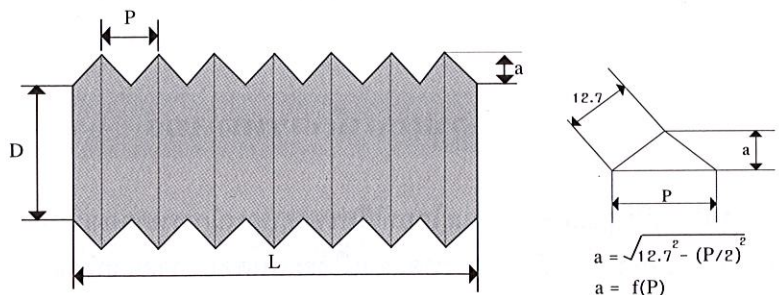
$$f = \frac{2D\Delta p}{\rho L v^2} \quad (7)$$

และในท่อวางตัวในแนวโค้ง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานความโค้ง (k) ได้จาก

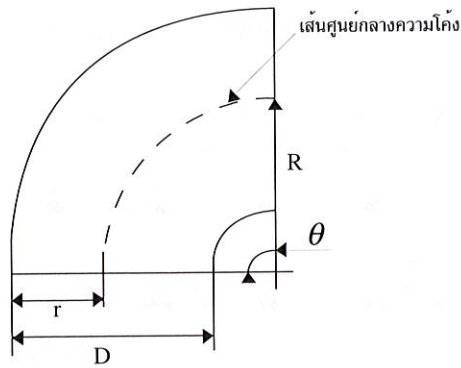
$$k = \frac{2\Delta p}{\rho v^2} \quad (8)$$

การวิเคราะห์ทางมิติ (Dimensional analysis)

เป็นวิธีที่สามารถจัดตัวแปรอิสระที่มีผลโดยตรงในการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน โดยการรวมตัวแปรที่มีผลโดยตรงซึ่งมีอยู่มากเข้าเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless variables) และนำตัวแปรไร้มิติเหล่านี้ ไปตั้งเป็นตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมการทดลองและช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ก่อนที่จะนำไปสรุปผลการทดลองให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้สะดวกขึ้น



(ก) ลักษณะของท่ออะลูมิเนียมยัดหยุ่น



ถ้า L คือ ความยาวของเส้นศูนย์กลางความโค้ง, $L = f(R, \theta)$

(ข) มิติของความโค้งที่พิจารณา

รูปที่ 2. แสดงท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นพร้อมมิติที่สำคัญของท่อ

ท่อลมอะลูมิเนียมยึดหยุ่นเป็นท่อที่มีหน้าตัดกลม ผิวทอมน อัตราส่วนพื้นที่ผิวและความขรุขระ (ความหยาบ) ของผิวท่อขึ้นกับความโค้งและความยึดหยุ่นของท่อ ดังแสดงในรูปที่ 2. จากการวิเคราะห์ทางมิติซึ่งรวมตัวแปรอิสระที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานให้อยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติสามารถจัดรูปฟังก์ชันได้ดังต่อไปนี้

1. สมการความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนในท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นที่วางตัวในแนวตรง

$$Nu = f(Re, Pr, a / D, L / D) \quad (9)$$

2. สมการความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนในท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นที่วางตัวในแนวโค้ง ที่มีมุมความโค้ง θ ใดๆ

$$Nu = f(Re, Pr, a / D, \theta, R / D) \quad (10)$$

3. สมการความสัมพันธ์ของความเสียดทานในท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นที่วางตัวในแนวตรง

$$f = f(Re, a / D, L / D) \quad (11)$$

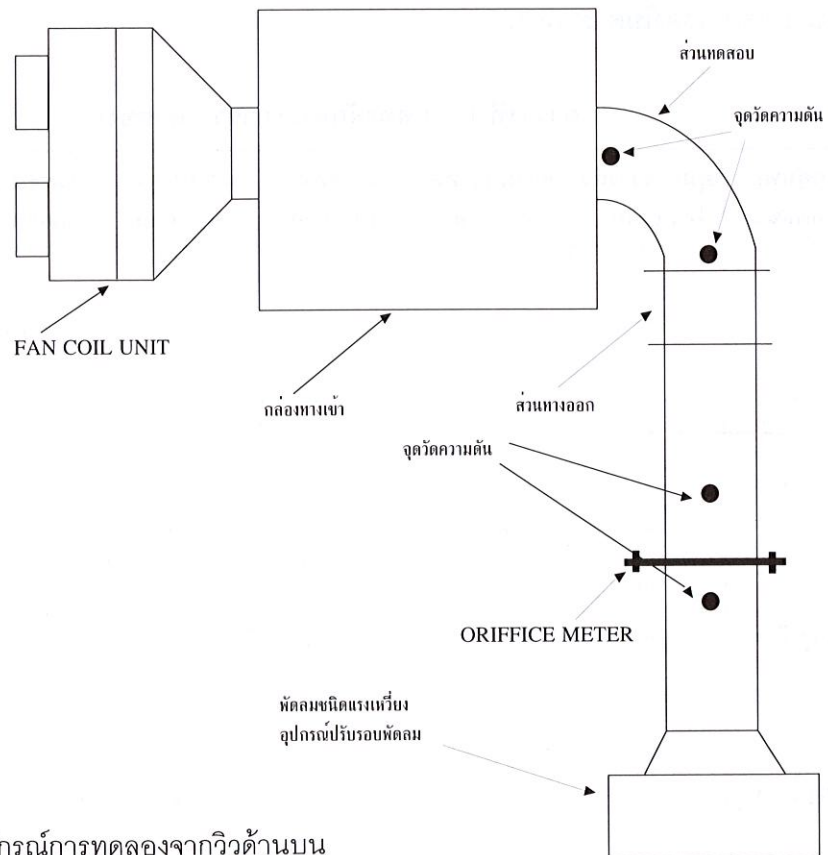
4. สมการความสัมพันธ์ของความเสียดทานในท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นที่วางตัวในแนวโค้ง ที่มีมุมความโค้ง θ ใดๆ

$$K = f(Re, a / D, \theta, R / D) \quad (12)$$

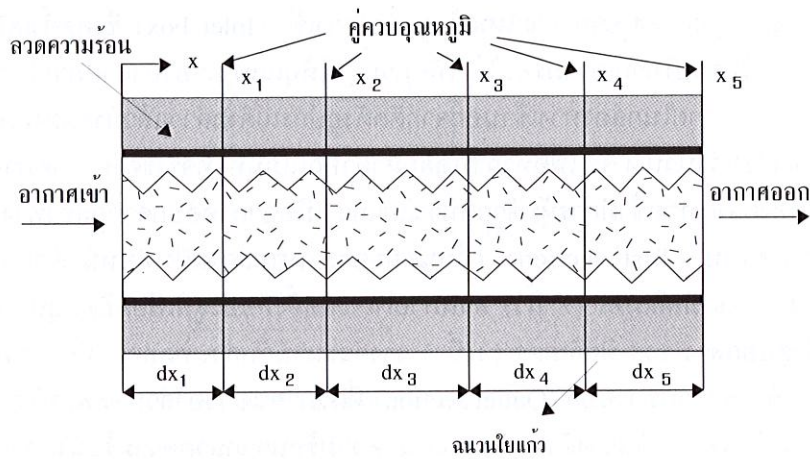
อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 3. เป็นรูปแสดงลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์การทดลองเมื่อมองจากวิวด้านบน (Top view) สามารถอธิบายได้ดังนี้ การทดลองนี้ใช้ระบบดูดอากาศจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่อุปกรณ์การทดลองโดยพัดลมแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal fan) อากาศที่เข้าสู่อุปกรณ์การทดลองจะถูกทำให้เย็นลงเมื่ออากาศผ่านคอยล์เย็นโดยกระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor compression)

เมื่ออากาศมีอุณหภูมิลดลง อากาศจะไหลเข้าสู่กล่องทางเข้า (Inlet box) ซึ่งติดตั้งเครื่องทำความร้อนที่สามารถปรับค่าปริมาณความร้อนได้ เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิของอากาศภายในกล่องมีอุณหภูมิตามต้องการ ภายในกล่องทางเข้านอกจากติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวแล้วยังติดตั้งคู่ควบคุมอุณหภูมิ (Thermocouple) จำนวน 4 จุด เพื่อทำการเฉลี่ยหาค่าอุณหภูมิที่แท้จริงของอากาศภายในกล่องที่ผนังภายในของกล่องทางเข้ามีการหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว เมื่ออากาศออกจากกล่องทางเข้า อากาศจะเข้าสู่ส่วนทดสอบ (Test section) ภายนอกของส่วนทดสอบเป็นท่อหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) ส่วนภายในจะติดตั้งท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่น (ท่อทดสอบ) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 105 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) วางตัวขนานกับส่วนทดสอบ ที่ปลายทั้งสองยึดติดกับกล่องทางเข้าและส่วนทางออก (Outlet section) ที่ผิวภายนอกของส่วนทดสอบติดตั้งหลอดความร้อนเป็นระยะห่างเท่า ๆ กันวางตัวตามแนวแกน ความร้อนจากหลอดความร้อนได้จากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนซึ่งสามารถปรับค่าความร้อนได้ ทำให้ผนังท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นที่ติดตั้งอยู่ภายในได้รับพลังงานความร้อนโดยกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี (Thermal radiation) ภายในส่วนทดสอบติดตั้งคู่ควบคุมอุณหภูมิเพื่อวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่น ซึ่งผิวท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นมีความหนาแน่นน้อยมากเพียง 51 ไมโครเมตร และอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง ดังนั้นจึงถือว่าอุณหภูมิที่ผิวท่อมีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่ผิวภายในท่อ ที่บริเวณปลายทางเข้าและทางออกของท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นติดตั้งமானอมิเตอร์ชนิดเอียงเพื่อวัดค่าความดันลดของอากาศ รูปที่ 4 แสดงภาพตัดของส่วนทดสอบ อากาศที่ออกจากท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่นจะเข้าสู่ส่วนทางออกซึ่งติดตั้งคู่ควบคุมอุณหภูมิ จำนวน 4 จุด เพื่อทำการเฉลี่ยหาอุณหภูมิที่แท้จริงของอากาศที่ออกจากท่ออะลูมิเนียมยึดหยุ่น อากาศที่ไหลออกจากส่วนทางออกจะไหลเข้าสู่ออริฟิซมิเตอร์เพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศ จากนั้นอากาศจะเข้าสู่พัดลมและออกสู่สิ่งแวดล้อมในที่สุด



รูปที่ 3. แสดงอุปกรณ์การทดลองจากวิวด้านบน



รูปที่ 4. แสดงลักษณะภายในของส่วนทดสอบและอุปกรณ์ที่ติดตั้ง

ลักษณะการวางตัวของท่อที่ใช้ในการทดลอง

จากการวิเคราะห์ทางมิติทำให้ได้ความสัมพันธ์ของรูปแบบการวางตัวของท่อและลักษณะของผิวท่อซึ่งอยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน แสดงในสมการที่ 9 - 12 ซึ่งประกอบด้วย a/D , θ , R/D (ในท่อวางตัวแนวโค้ง) และ L/D (ในท่อวางตัวแนวตรง) ตัวแปรไร้มิติเหล่านี้จะเป็นตัวแปรที่นำไปทำการควบคุมการทดลอง ท่ออะลูมิเนียมยัดหินปูนที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 105 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) วางตัวในลักษณะต่างๆ แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม แสดงในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1 : แสดงลักษณะการวางตัวของท่อ

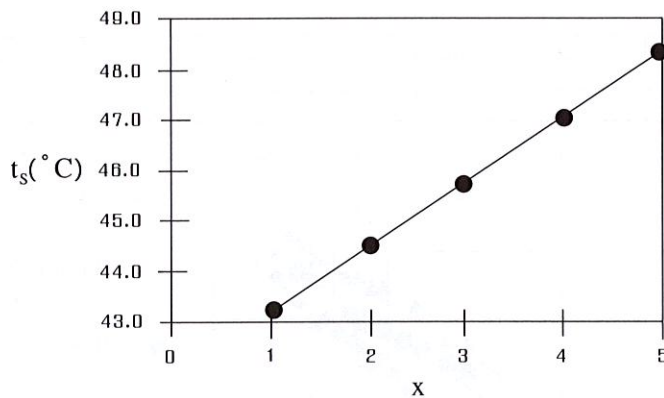
| กลุ่มท่อทดสอบ | มุมการวางตัว θ ; (องศา) | ความยาวท่อ (L) ; m | ระยะพิท (P) ; mm | แอมปริจูด (a) ; mm | ท่อตรง (L/D), ท่อโค้ง (R/D) | a/D |
|---------------|--------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------------------|--------|
| กลุ่มที่ 1. | 0 | 1 | 25 | 2.245 | 9.524 | 0.0214 |
| | 0 | 1 | 15 | 10.25 | 9.524 | 0.0976 |
| | 0 | 1 | 10 | 11.674 | 9.524 | 0.111 |
| กลุ่มที่ 2. | 0 | 0.5 | 25 | 2.245 | 4.762 | 0.0214 |
| | 0 | 0.5 | 15 | 10.25 | 4.762 | 0.0976 |
| | 0 | 0.5 | 10 | 11.674 | 4.762 | 0.111 |
| กลุ่มที่ 3. | 90 | 1 | 23 | 5.389 | 6.063 | 0.0513 |
| | 90 | 1 | 15 | 10.25 | 6.063 | 0.0976 |
| | 90 | 1 | 10 | 11.674 | 6.063 | 0.111 |
| กลุ่มที่ 4. | 90 | 0.5 | 23 | 5.389 | 3.028 | 0.0513 |
| | 90 | 0.5 | 15 | 10.25 | 3.028 | 0.0976 |
| | 90 | 0.5 | 10 | 11.674 | 3.028 | 0.111 |

สรุปผลการทดลอง

ค่าตัวแปรอิสระที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสำหรับท่ออะลูมิเนียม ยืดหยุ่นซึ่งมีรูปแบบการวางตัวในแนวและลักษณะของผิวท่อต่างๆ ประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (D) ลักษณะของผิวท่อแทนด้วยระยะพิท (P) หรือระยะแอมปริจูด (a) ของผิวท่อ ความยาวท่อ (L) รูปแบบการวางตัวของท่อ (Θ) ความเร็วโดยเฉลี่ยของอากาศที่ไหลภายใน (v) ความหนาแน่นของอากาศ (p) สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ (k) ความหนืดของอากาศ (μ) ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_p) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ (h) และค่าความดันลด (Δp) จากลักษณะโดยทั่วไปของท่อและคุณสมบัติของอากาศดังกล่าว สามารถรวมกลุ่มตัวแปรต่างๆ เหล่านี้โดยวิธีการวิเคราะห์ทางมิติ เพื่อทำให้ตัวแปรเหล่านี้รวมอยู่ในรูปกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ดังแสดงอยู่ในสมการที่ 9 - 12 การศึกษาวิจัยนี้ให้ความสนใจในการไหลในช่วงเรย์โนลด์ นัมเบอร์ (Re) ตั้งแต่ 30,000 - 120,000 ซึ่งเป็นช่วงที่ครอบคลุมพฤติกรรมการไหลที่ได้รับผลกระทบของความเสียดทานและการถ่ายเทความร้อนได้มากพอสมควร จากการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานของอากาศที่ไหลภายในท่ออะลูมิเนียมยืดหยุ่นที่วางตัวในลักษณะต่างๆ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

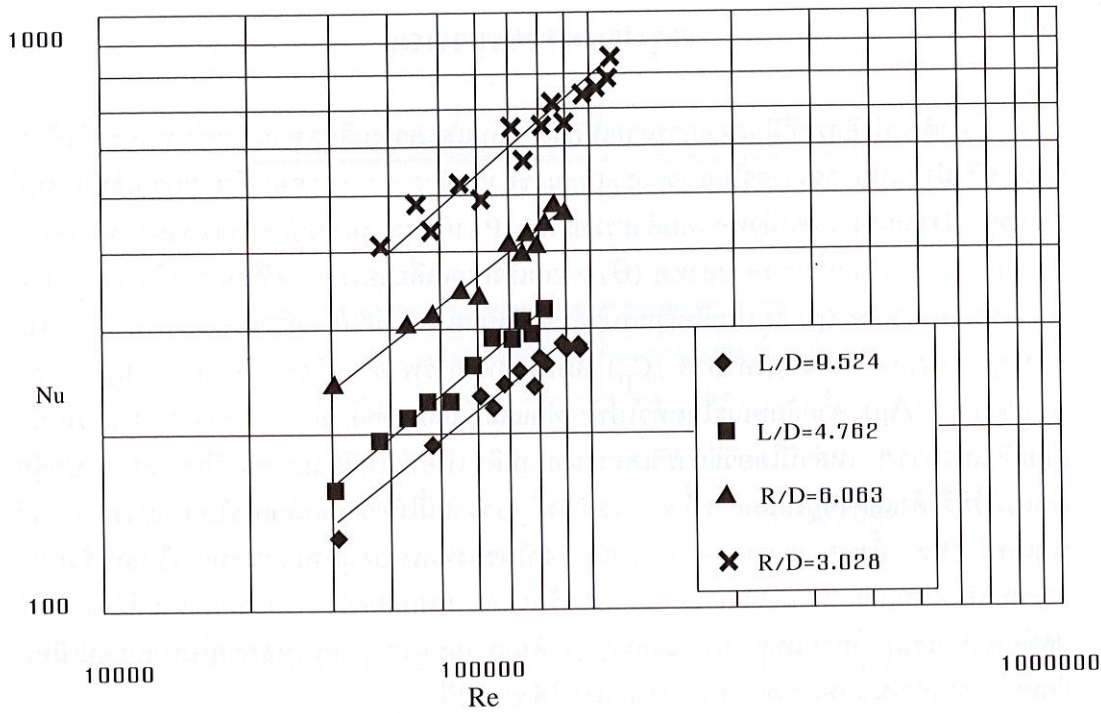
1. ถ้าพลังงานความร้อนที่ให้แก่ท่ออะลูมิเนียมยืดหยุ่นมีสภาพทำให้ความร้อนเป็นแบบค่าความร้อนต่อหน่วยพื้นที่คงที่ (Constant heat flux) พบว่าอุณหภูมิที่ผิวท่อจะมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดแนวแกนการไหล

รูปที่ 5. แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผิวท่อจากการทดลอง

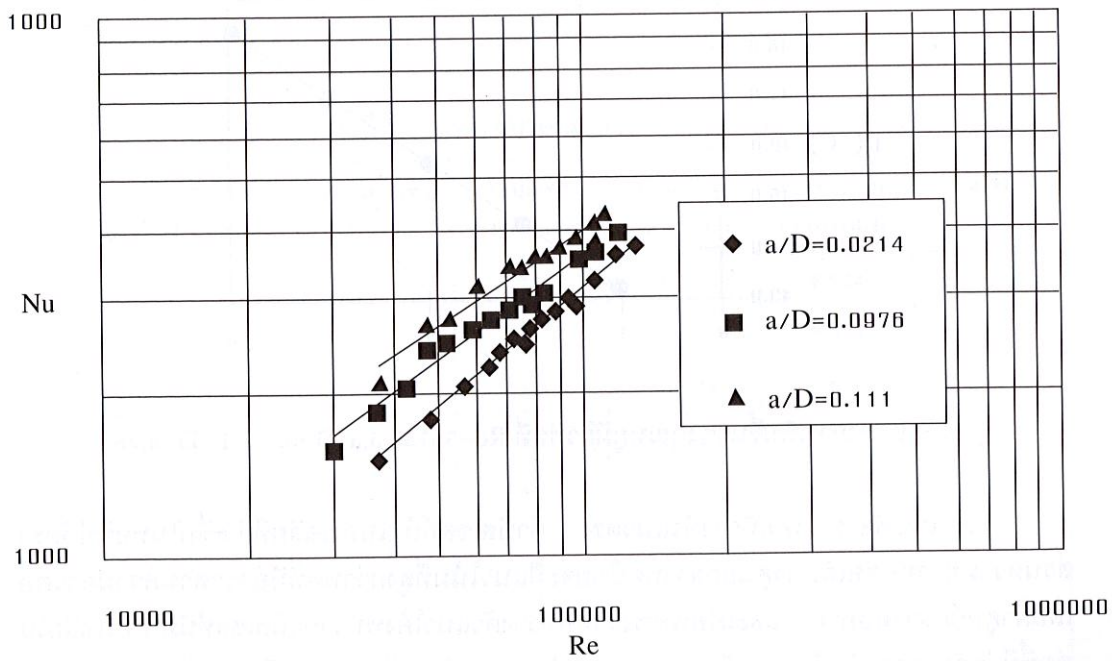


รูปที่ 5. แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวท่อที่ $Re=36148.3, a/D=0.111, L/D=4.762$

2. เมื่อพิจารณาท่อที่วางตัวแนวตรง ค่าตัวเลขที่นัมเบอร์เฉลี่ยที่เกิดขึ้นในท่อที่มีอัตราส่วนความยาวท่อต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้อยจะมีแนวโน้มที่สูงกว่าท่อที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อมาก และเมื่อพิจารณาท่อที่วางตัวแนวโค้งพบว่าค่าตัวเลขที่นัมเบอร์เฉลี่ยในท่อที่มีค่าอัตราส่วนรัศมีความโค้งต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้อย จะมีแนวโน้มสูงกว่าท่อที่มีอัตราส่วนรัศมีความโค้งต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อมาก ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลที่ปากทางเข้าที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมการไหลที่ไม่เหมือนกัน จากรูปที่ 6. แสดงอิทธิพลของความยาวท่อต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอัตราส่วนรัศมีความโค้งต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่มีต่อค่าตัวเลขที่นัมเบอร์เฉลี่ยที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่างๆ



รูปที่ 6. แสดงอิทธิพลของค่า L/D (ในท่อนตรง) และ R/D (ในท่อนโค้ง) ที่มีต่อ Nu โดยพิจารณาที่ $a/D=0.0976$, $T_{m,i}=16^{\circ}\text{C}$, $T_{m,o}=18.5^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 7. แสดงอิทธิพลของค่า a/D ที่มีต่อ Nu ที่ Re ต่างๆ พิจารณาที่ L/D=4.762, $T_{m,i}=16^{\circ}\text{C}$, $T_{m,o}=21^{\circ}\text{C}$ เท่ากัน