

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดสอบ

หลังจากที่ได้กล่าวถึงหลักการและวิธีการคำนวณเพื่อประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลโดยการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียแล้ว เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้งาน เราจึงต้องทำการทดสอบความเที่ยงตรงแม่นยำในการประมาณอัตราการไหลกับของไหลแตกต่างชนิดกัน รวมไปถึงการค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณ ซึ่งหากเราสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวให้เหมาะสมแล้วก็นำที่จะทำให้ค่าคลาดเคลื่อนในการใช้งานลดลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมได้ และเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผลเราจึงแยกวัตถุประสงค์ในการทดสอบได้ดังนี้

3.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบ

3.1.1 เพื่อศึกษาความคลาดเคลื่อนของวิธีการประมาณอัตราการไหลเชิงมวลเมื่อใช้อากาศร้อนเป็นของไหลในท่อ

(1) ประยุกต์กับท่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว)

(2) ประยุกต์กับท่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)

(3) ประยุกต์กับท่อสี่เหลี่ยมขนาดภาคตัดทอ 101.6×101.6 ตารางมิลลิเมตร (4"×4")

3.1.2 เพื่อศึกษาความคลาดเคลื่อนของวิธีการประมาณอัตราการไหลเชิงมวลเมื่อใช้น้ำมันร้อนเป็นของไหลในท่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)

3.1.3 เพื่อศึกษาความคลาดเคลื่อนของวิธีการประมาณอัตราการไหลเชิงมวลเมื่อใช้น้ำร้อนเป็นของไหลในท่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) ไม่หุ้มฉนวน

3.1.4 เพื่อหาปัจจัยหรือตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในการประยุกต์ใช้งานการประมาณค่าอัตราการไหลด้วยวิธีนี้

3.2 ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการทดสอบ

ในการวิจัยครั้งนี้ นอกจากต้องการที่จะทราบความเชื่อถือได้โดยรวมในการนำวิธีประมาณอัตราการไหลเชิงมวลไปใช้ เรายังต้องการทราบว่าปัจจัยหรือตัวแปรใดที่ส่งผลต่อความแม่นยำของการประมาณค่า ซึ่งความรู้ดังกล่าวจะนำไปสู่การปรับปรุงวิธีการใช้งานและช่วยสร้างเงื่อนไขในอันที่จะทำให้เราใช้งานวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลดังกล่าวได้อย่างมั่นใจ ดังนั้นเราจึงต้องออกแบบการทดสอบให้สามารถศึกษาถึงผลกระทบจากตัวแปรต่างๆที่น่าสนใจต่อไปนี้

3.2.1 ขนาดท่อ

ในการทดสอบเราเลือกที่จะใช้ท่อหลากหลายขนาด โดยเฉพาะการไหลของอากาศจะทำการทดสอบกับท่อกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2") และ 101.6 มิลลิเมตร (4") สำหรับการทดสอบกับน้ำมันและน้ำจะทำการทดสอบกับท่อกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร (1")

3.2.2 รูปร่างภาคตัดของท่อ

ตัวแปรนี้จะใช้ในการทดสอบกับการไหลของอากาศเท่านั้น โดยจะสังเกตความแตกต่างระหว่างผลการทดลอง กรณีที่ใช้ท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4") กับท่อสี่เหลี่ยมขนาดภาคตัดท่อ 101.6×101.6 ตารางมิลลิเมตร (4" $\times$ 4") ซึ่งท่อทั้งสองแบบมีค่า Hydraulic diameter เท่ากัน

3.2.3 ความยาวท่อ

ความยาวท่อเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของอุณหภูมิของไหลภายใน ตลอดจนถึงอุณหภูมิที่ผิวท่อและผิวฉนวนด้วย โดยในการทดลองที่อัตราการไหลค่าเดียวกันจะทดลองเลือกคำนวณโดยใช้ความยาวท่อที่แตกต่างกันและสังเกตความแตกต่างของผล

3.2.4 อัตราการไหลเชิงมวล

อัตราการไหลเชิงมวลเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ถึงรูปแบบการไหล การลดลงของอุณหภูมิของไหล และเป็นปริมาณสำคัญที่เราสนใจทำการประมาณ ดังนั้นจึงน่าสนใจว่าวิธีการประมาณอัตราการไหลที่นำเสนอข้างต้นจะสามารถใช้งานได้ในช่วงอัตราการไหลกว้างหรือแคบเพียงใด

3.2.5 อุณหภูมิผิวท่อ

การสังเกตอุณหภูมิผิวท่อและผิวฉนวนนั้นเป็นประโยชน์มากในการบอกถึงอัตราการสูญเสียความร้อนต่อหน่วยความยาวว่ามากหรือน้อย ถึงแม้ว่าอุณหภูมิผิวท่อเป็นตัวแปรที่เราควบคุมโดยตรงไม่ได้ แต่เราก็สามารถทำการลดหรือเพิ่มได้ทางอ้อมโดยการเพิ่มอุณหภูมิของไหลทางขาเข้า

3.2.6 ชนิดของไหล

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการทดสอบกับของไหล 3 ชนิดที่แตกต่างกันคือ

- (1) อากาศ เป็นตัวแทนของไหลในสถานะก๊าซ
- (2) น้ำมัน (Heat transfer oil)
- (3) น้ำ

3.3 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เนื่องเพราะต้องทำการทดสอบกับของไหลถึง 3 ชนิด และมีท่อ 5 ประเภท ที่ต้องทดลองดังนั้นเราจึงสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับทดลอง 5 ชุดตามประเภทของท่อที่จะทำการทดลองดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

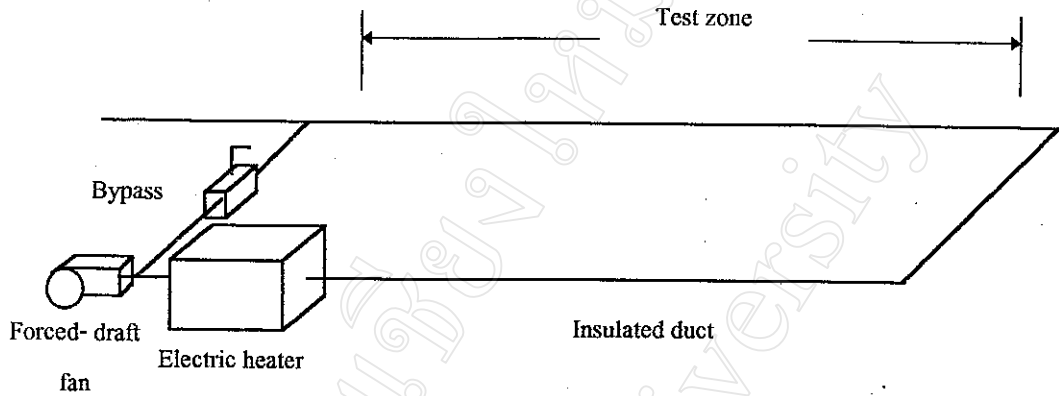
3.3.1 ชุดทดสอบท่อกลมขนาด 50.8 mm (2 นิ้ว) ทุ้มฉนวนหนา 6.35 mm ทดลองการไหลของอากาศ

3.3.2 ชุดทดสอบท่อกลมขนาด 101.6 mm (4 นิ้ว) ทุ้มฉนวนหนา 6.35 mm ทดลองการไหลของอากาศ

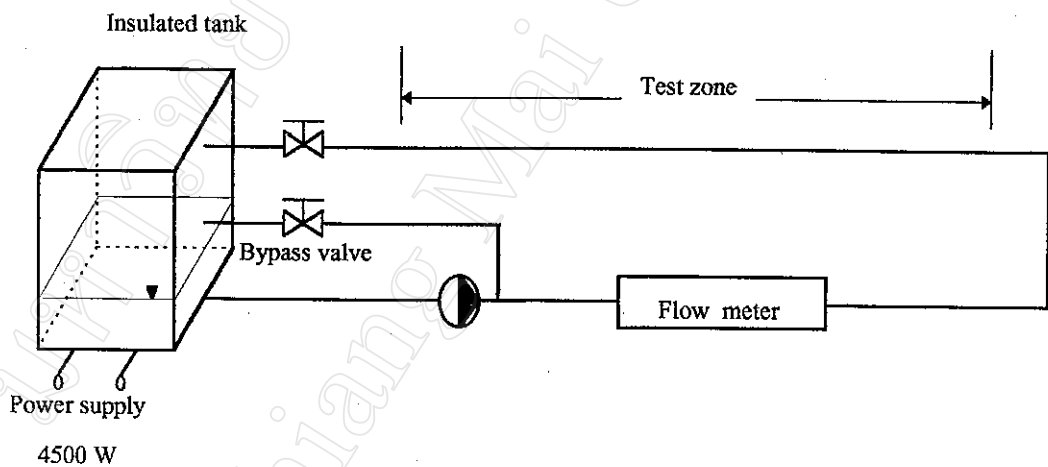
3.3.3 ชุดทดสอบท่อสี่เหลี่ยมขนาด 101.6×101.6 mm² ทุ้มฉนวนหนา 6.35 mm สำหรับทดลองการไหลของอากาศ

3.3.4 ชุดทดสอบท่อกลมขนาด 25.4 mm (1 นิ้ว) ให้ความหนา 6.35mm สำหรับทดลองการไหลของน้ำมัน

3.3.5 ชุดทดสอบท่อกลมขนาด 25.4 mm (1 นิ้ว) ไม่ให้ความหนา สำหรับทดลองการไหลของน้ำ



รูป 3.1 แสดงผังการวางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้กับการไหลของอากาศ



รูป 3.2 แสดงผังการวางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้กับการไหลของน้ำและน้ำมัน

ซึ่งผังการวางอุปกรณ์และรูปถ่ายชุดอุปกรณ์การทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูป 3.1 ถึง รูป 3.6 โดยชุดทดสอบมีหลักการทำงานพอสังเขปดังนี้

ชุดทดสอบสำหรับอากาศ ทำงานโดยอาศัยพัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm กำลังไฟฟ้า 40 วัตต์ ทำการดูดอากาศจากอุณหภูมิห้องผ่านข้อแยกสำหรับแบ่งลม ก่อนเข้าสู่หลอดทำความร้อนไฟฟ้าขนาด 3000 วัตต์ แล้วจึงปล่อยอากาศเข้าท่อส่วนที่ทดลองวัดอุณหภูมิ จากนั้นจึงปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ชุดทดสอบสำหรับน้ำมัน และน้ำ ทำงานโดยมีถังเก็บของเหลวที่ทำความร้อนด้วยหลอดความร้อนขนาด 1500 วัตต์ จำนวน 4 ขด มีชุดควบคุมอุณหภูมิที่ตัดต่อไฟฟ้าด้วยสวิทช์ความร้อน (Mercury-type thermostat) จากนั้นเครื่อง

สูบน้ำจะทำการสูบน้ำจากถังเก็บผ่านข้อแยก (Bypass valve) แยกน้ำส่วนที่ไม่ต้องการจะใช้ให้ไหลกลับถังเก็บ และน้ำส่วนที่เหลือจึงถูกส่งผ่านเครื่องมือวัดปริมาตรของเหลว แล้วส่งผ่านเข้าท่อส่วนที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิไว้ หลังจากนั้นน้ำจะถูกส่งเข้าถังเก็บตามเดิม



รูป 3.3 แสดงภาพถ่ายชุดทดสอบการไหลของอากาศ ท่อกลมขนาด 50.8 mm (2 นิ้ว)



รูป 3.4 แสดงภาพถ่ายชุดทดสอบการไหลของอากาศ ท่อกลมขนาด 101.6 mm (4 นิ้ว)



รูป 3.5 แสดงภาพถ่ายชุดทดสอบการไหลของอากาศ ท่อสี่เหลี่ยมขนาด $101.6 \times 101.6 \text{ mm}^2$ ($4'' \times 4''$)



รูป 3.6 แสดงภาพถ่ายชุดทดสอบการไหลของน้ำมัน ท่อกลมขนาด 25.4 mm ($1''$)

3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้

นอกจากชุดทดสอบที่ได้กล่าวถึงข้างต้นแล้ว ในการทดสอบยังต้องอาศัยเครื่องมือวัดปริมาณต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.4.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ในการวัดอุณหภูมิที่ระยะต่างๆตามแนวท่อและอุณหภูมิห้องเราใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค พร้อมเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิชนิด 10 จุดยี่ห้อ Comark ดังที่แสดงในรูป 3.7

3.4.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ

เราใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศแบบลวคร้อนที่มีการแสดงผลแบบดิจิทัลเป็นความเร็วลม หน่วย เมตรต่อวินาทีแสดงผลได้ถึง 1/100 เมตรต่อวินาที รุ่น 471 ผลิตโดย Dwyer instrument, Inc. Michigan city USA. ดังที่ภาพแสดงในรูป 3.8

3.4.3 เครื่องมือวัดปริมาตรการไหลของของเหลว

เราใช้เครื่องมือนี้ในการวัดปริมาตรของเหลวที่ผ่านท่อในหนึ่งหน่วยเวลาเพื่อหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร โดยอุปกรณ์นี้สามารถต่อเข้ากับท่อกลมขนาด 25.4 mm (1 นิ้ว) หน่วยย่อยในการแสดงผลคือ 0.001 m^3 ทนอุณหภูมิสูงสุดคือ 90 องศาเซลเซียส รุ่น TA-4-M ผู้ผลิตคือ Schlumberger, Inc. Germany ดังที่ภาพแสดงในรูป 3.9

3.4.4 นาฬิกาจับเวลา

เป็นนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิทัลควอตซ์ แสดงผลละเอียดสูงสุดที่ 1/100 วินาที



รูป 3.7 แสดงภาพเครื่องอ่านอุณหภูมิ Comark แบบ 10 จุด



รูป 3.8 แสดงภาพเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน



รูป 3.9 แสดงภาพเครื่องมือวัดปริมาณการไหลผ่านของของเหลว



รูป 3.10 แสดงภาพนาฬิกาจับเวลาความละเอียด 1/100 วินาที

3.5 วิธีดำเนินการทดสอบ

เนื่องจากการทดสอบการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีบางชุดการทดลองที่มีขั้นตอนการเก็บข้อมูลคล้ายกัน ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการอธิบายถึงขั้นตอนการทดลอง เราจึงจัดแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การทดสอบกับอากาศที่ไหลในท่อต่างๆกัน และ การทดสอบกับของเหลวคือน้ำมันและน้ำในท่อกว้างขนาด 25.4 mm (1 นิ้ว) ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้

3.5.1 การทดสอบกับอากาศที่ไหลในท่อหุ้มฉนวน ขนาด 50.8, 101.6 mm และ 101.6×101.6 mm²

- (1) ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดทดสอบการไหลของอากาศ เช่น ขั้วต่อไฟฟ้าต่างๆ สายคินรอยรั่วของท่อ ขั้ววัดกริของเทอร์โมคัปเปิล
- (2) เดินเครื่องชุดทดสอบโดยเริ่มจากพัดลมดูดอากาศ ชุดควบคุมทำความร้อน
- (3) ปรับใบปรับแบ่งลมไปที่ตำแหน่งที่ทำให้ลมร้อนส่งเข้าท่อที่ต้องการทดสอบโดยเริ่มจากอัตราการไหลน้อยที่สุด
- (4) เดินเครื่องทิ้งไว้จนกระทั่งระบบทั้งหมดเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 40-50 นาที ในกรณีนี้
- (5) เริ่มอ่านค่าอุณหภูมิผิวท่อ (T_w) อุณหภูมิผิวฉนวน (T_i) ที่ระยะตามแนวแกนต่างๆกันโดยกรณีนี้แต่ละตำแหน่งห่างกัน 2 เมตร และอ่านอุณหภูมิอากาศภายนอกท่อ (T_a)
- (6) อ่านอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดอัตราการไหล พร้อมกับอ่านอัตราการไหล
- (7) ทำการปรับให้อัตราการไหลมีค่ามากขึ้นตามต้องการ
- (8) ถ้าต้องการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิของไหลก่อนเข้าท่อ ก็สามารถปรับกำลังไฟฟ้าที่ชุดทำความร้อนได้เช่นกัน

(9) ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 4 ลงมา จนกระทั่งได้ข้อมูลอัตราการไหลครบตามต้องการ

(10) ยุติการทดลองครั้งนี้ แล้วทำการทดลองแบบเดิมกับท่อลมขนาดต่างๆจนครบ

3.5.2 การทดสอบกับน้ำมัน ที่ไหลในท่อกลมขนาด 25.4 mm (1") หุ้มฉนวน และน้ำที่ไหลในท่อกลมขนาด 25.4 mm (1") ท่อเปลือย

(1) ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดทดสอบการไหลของน้ำมัน เช่น ขั้วต่อไฟฟ้าต่างๆ สายดิน รอยรั่วของท่อ ขั้วบักกรีของเทอร์โมคัปเปิล

(2) เดินเครื่องชุดทดสอบโดยเริ่มจากเครื่องสูบลม แล้วจึงเดินชุดขดลวดทำความร้อน

(3) ปรับวาล์วไปที่ตำแหน่งที่ทำให้น้ำมันร้อนส่งเข้าท่อที่ต้องการทดสอบ โดยเริ่มจากอัตราการไหลน้อยที่สุด

(4) เดินเครื่องทิ้งไว้จนกระทั่งระบบทั้งหมดเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady) ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 40-50 นาที ในกรณีนี้

(5) เริ่มอ่านค่าอุณหภูมิผิวท่อ (T_{ps}) อุณหภูมิผิวฉนวน (T_s) ที่ระยะตามแนวแกนต่างๆกันโดยกรณีนี้แต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 เมตร และอ่านอุณหภูมิอากาศภายนอกท่อ (T_a)

(6) อ่านอุณหภูมิน้ำมัน ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดอัตราการไหล พร้อมกับอ่านอัตราการไหล

(7) ทำการปรับให้อัตราการไหลมีค่ามากขึ้นตามต้องการ

(8) ถ้าต้องการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิของไหลก่อนเข้าท่อ ก็สามารถปรับสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิในถังได้เช่นกัน

(9) ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 4 ลงมา จนกระทั่งได้ข้อมูลอัตราการไหลครบตามต้องการ

(10) ยุติการทดลองในชุดทดสอบนี้ แล้วทำการทดลองแบบเดิมกับน้ำในท่อเปลือยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm (1") จนเสร็จการทดสอบ

3.6 แนวทางและวิธีการวิเคราะห์ผล

เมื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูลจนครบตามขั้นตอนในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว เราจึงนำข้อมูลต่างๆมาวิเคราะห์หาอัตราการไหลจากการประมาณและหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดไปจากการวัดอัตราการไหลโดยตรงจากเครื่องมือวัด โดยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสามารถหาจากสูตร

$$\text{Relative error \%} = \left(\frac{\dot{m}_{(\text{estimate})} - \dot{m}_{(\text{measure})}}{\dot{m}_{(\text{measure})}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

และเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จึงได้ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.6.1 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการใช้การประมาณอัตราการไหลกับอากาศในท่อกลม ขนาด 50.8 mm (2") โดย

(1) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากการประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 6 เมตร

(2) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากการประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 4 เมตร

(3) ทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับตัวแปรอื่นๆ โดยจัดในรูปกลุ่มตัวแปรไร้มิติ

3.6.2 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการใช้การประมาณอัตราการไหลกับอากาศในท่อกลม ขนาด 101.6 mm (4") โดย

(1) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากการประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 6 เมตร

(2) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากการประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 4 เมตร

(3) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากการประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 2 เมตร

(4) ทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับตัวแปรอื่นๆ โดยจัดในรูปกลุ่มตัวแปรไร้มิติ

3.6.3 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการใช้การประมาณอัตราการไหลกับอากาศในท่อสี่เหลี่ยม ขนาดภาคตัดทอ $101.6 \times 101.6 \text{ mm}^2$ (4" $\times$ 4") โดย

(1) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 6 เมตร

(2) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากการประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 4 เมตร

(3) ทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับตัวแปรอื่นๆ โดยจัดในรูปกลุ่มตัวแปรไร้มิติ

3.6.4 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการใช้การประมาณอัตราการไหลกับน้ำมันในท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm (1") หนึ่งจนวน โดย

(1) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 4 เมตร

(2) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากการประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 3 เมตร

(3) ทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับตัวแปรอื่นๆ โดยจัดในรูปกลุ่มตัวแปรไร้มิติ

3.6.5 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการใช้การประมาณอัตราการไหลกับน้ำในท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm (1") ไม่หุ้มฉนวน โดย

(1) สร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้จากการวัดตรงเทียบกับค่าจากประมาณ โดยใช้ความยาวท่อที่พิจารณา 4 เมตร

3.6.6 วิเคราะห์ข้อแตกต่างของการประยุกต์ใช้การประมาณค่าอัตราการไหล ของท่อเหลี่ยมเปรียบเทียบกับท่อกลม โดยใช้ผลการทดลองของอากาศ

3.6.7 วิเคราะห์ข้อแตกต่างของการประยุกต์ใช้การประมาณค่าอัตราการไหล เปรียบเทียบผลระหว่างของไหลแต่ละชนิด

3.6.8 นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ตั้งแต่หัวข้อ 3.6.1 ถึง 3.6.7 มาสรุปถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนในการใช้การประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลวิธีนี้