

การออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ

A DESIGN AND CONSTRUCT EXPERIMENT ROUGHNESS IN PIPE

๑๘ ส.ค. ๒๕๔๔



นายรัชชัย สีนอนม่วง

โครงการวิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2543

หัวข้อโครงการวิศวกรรมศาสตร์

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

การออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ

นายรัชชัย สีโนนม่วง

วิศวกรรมเครื่องกล

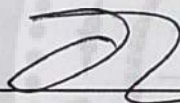
อาจารย์ภาคภูมิ ศรีมรินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการวิศวกรรม
ศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

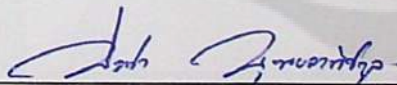


ประธานกรรมการ

(อาจารย์ภาคภูมิ ศรีมรินทร์)

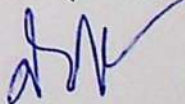
กรรมการ

(รอ. ดร.ทวีวัชร วีระเกล้า)



กรรมการ

(อาจารย์ประชา บุญวานิชกุล)



กรรมการ

(อาจารย์สมชาย แยมใส)

การออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ
ปีการศึกษา 2543

โดย

นาย ธวัชชัย สีโนนม่วง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ภาณุภูมิ ศรีมรินทร์

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตกล่าวถึงการออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ โดยหาจากการวัดความดัน 2 จุด ห่างกัน 1 เมตร ซึ่งจะแสดงผลที่மானอมิเตอร์ โดยมีสเกลติดอยู่ด้านข้าง เพื่อที่จะวัดระดับน้ำโดยตรง จะได้ค่าผลต่างความดัน 2 จุด นำมาคำนวณโดยใช้ทฤษฎีเบอร์นูลลี และจากการเปิดแผนภาพ Moody diagram หาค่าความขรุขระผิว (E) โดยจะทำการทดสอบท่อที่มีอยู่ 3 ชนิด คือ ท่อพีวีซี ท่อเหล็ก และท่อเหล็กอาบสังกะสี ในการทดสอบใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 43 มิลลิเมตร และอัตราการไหลของน้ำในท่อ ประมาณ 74 ลิตรต่อนาที

A DESIGN AND CONSTRUCT EXPERIMENT ROUGHNESS IN PIPE

Academic Year 2000

By

Mr. Thawatchai Srinonmong

Project Report Adviser

Mr. Parkpoom Sriromrui

ABSTRACT

This project report is written about A design and construct experiment roughness in pipe the measurement two point about 1 metre pressure head are show in he tube which comprise the manometer panel the scale hind these tube directly measures the water levels. The pressure difference two point in two duce calculate by the thory of Bernoulli and open moody diagram values roughness (ϵ) by make experiment pipe dimeter 43 millimetre and water flow rate according varied from 74 LPM

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้ ขอขอบคุณอาจารย์ ภาณุภูมิ ศรีมรรณ และ
อาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และความรู้ทางด้านทฤษฎี ในการทำโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ สำเร็จได้
ด้วยดี ตลอดจนผู้เขียนตำราตามบรรณานุกรมของโครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

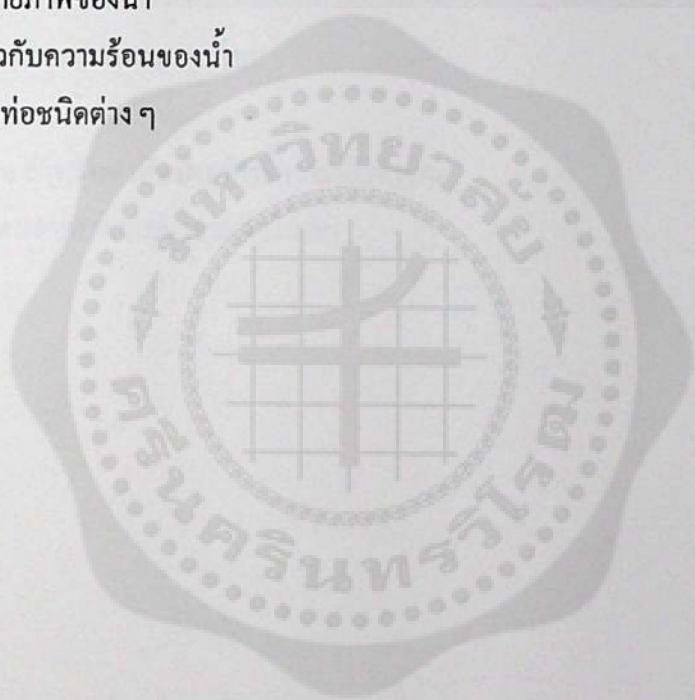
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
ประวัติความเป็นมา	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
ขอบเขตของโครงการ	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎี	3
สมการการไหลต่อเนื่อง	3
สมการพลังงาน	4
รูปแบบของการไหลในท่อ	4
ผลของความหนืดต่อการสูญเสียการไหล	6
สมการการถ่ายเทความร้อน	6
การสูญเสียพลังงาน	7
3. การคำนวณและการออกแบบ	9
อุปกรณ์ทดสอบ	9
การคำนวณการถ่ายเทความร้อน	10
การคำนวณการสูญเสียหลัก	10

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การคำนวณสูญเสียรอง	11
การคำนวณเลือกปั๊ม	12
4. อุปกรณ์ วิธีการทดสอบและผลการทดลอง	13
ขนาดและรายละเอียดของอุปกรณ์ทดสอบ	13
ขั้นตอนการทดสอบ	13
ตัวอย่างการคำนวณ	17
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวกที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ	26
ภาคผนวกที่ 2 คุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนของน้ำ	28
ภาคผนวกที่ 3 ความขรุขระผิวสำหรับท่อชนิดต่างๆ	30
ภาคผนวกที่ 4 สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล	32
ภาคผนวกที่ 5 ความขรุขระผิว	34
ภาคผนวกที่ 6 Moody Diagram	36
ภาคผนวกที่ 7 แบบสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ	38

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของการไหลในท่อ	5
4.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบท่อพีวีซี	14
4.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบท่อเหล็ก	15
4.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบท่อเหล็กอาบสังกะสี	16
ตารางภาคผนวกที่	
1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ	26
2.1 คุณสมบัติที่เกี่ยวกับความร้อนของน้ำ	28
3.1 ความขรุขระผิวท่อชนิดต่าง ๆ	30



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การไหลอย่างต่อเนื่องของของไหล	3
4.1 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ของท่อพีวีซี	14
4.2 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ของท่อเหล็ก	15
4.3 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ของท่อเหล็กอบสังกะสี	16
5.1 รูปชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ	23
รูปภาคผนวกที่	
4.1 สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล	32
5.1 ความขรุขระผิว	34
6.1 Moody Diagram สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	36
7.1 แบบสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ	38

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
C _p	ความร้อนจำเพาะ	J/kg·K
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
f	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการสูญเสียหลัก	
g	อัตราเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก	m/s ²
hf	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทาน	m
L	ความยาว	m
m	มวล	kg
m	อัตราการไหลมวล	kg/s
P	ความดัน	kg/cm ²
Q	การถ่ายเทความร้อน	kw
Q	อัตราการไหล	m ³ /s
Re	เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์	
t	เวลา	s
ΔT	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ	°C
v	ความเร็ว	m/s
Z	ระดับความสูงจากระดับอ้างอิง	m
ρ	ความหนาแน่น	kg/m ³
γ	น้ำหนักจำเพาะ	N/m ³
ν	ความหนืดจลน์	m ² /s
μ	ความหนืดสัมบูรณ์	N·s/m ²

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในขณะที่น้ำไหล ภายในท่อจะเกิดความเสียดทานอันเนื่องมาจากความหนืดของน้ำ ถ้าผนังท่อหยาบ ก็จะเพิ่มความเสียดทานขึ้นอีก เนื่องจากความหยาบของผนังท่อ ทำให้การเพิ่มการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานนี้ แสดงออกมาในรูปของความดันลด ความดันลดนี้แปรตามความยาวของท่อ ความเร็วของน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และความหยาบของผนังท่อ ฉะนั้น ในงานอุตสาหกรรม ในการเลือกใช้ท่อชนิดต่าง ๆ ต้องคำนึงถึงความเสียดทานภายในท่อ เพื่อให้สูญเสียความดันน้อยลง สูญเสียพลังงานน้อยลง และเลือกใช้ปั๊มน้ำที่เหมาะสม ประหยัดค่าใช้จ่ายในงานอุตสาหกรรมการไหลของน้ำในท่อ

ฉะนั้นการออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาค่าความขรุขระผิวในท่อโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) และเทียบกับเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (R_e) เนื่องจาก R_e เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับขนาดของท่อ ความเร็ว ความเร็วของไหล ความหนืดของของไหล โดยการทดสอบ เราทำการลดค่าความหนืดของน้ำโดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ เพื่อจะให้ผลต่างความดันที่วัดได้ มีผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) แล้วนำค่าใหญ่ (f) ไปหา (E) จากแผนภูมิ Moody diagram

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาค่าความขรุขระผิวในท่อแต่ละชนิด

ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบ และสร้างชุดทดสอบหาค่าความขรุขระผิวในท่อ

2. ทำการทดสอบหาค่าความขรุขระผิวในท่อ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 43 มิลลิเมตร ชนิดของท่อมีด้วยกัน 3 ชนิด คือ ท่อพีวีซี ท่อเหล็ก และท่อเหล็กอาบสังกะสี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบค่าความขรุขระผิวในท่อแต่ละชนิด
2. ได้ชุดทดสอบหาค่าความขรุขระผิวในท่อ

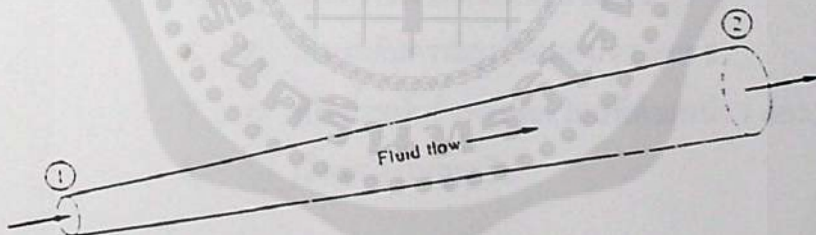


บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับโครงการนี้ เป็นการหาความขรุขระผิวในท่อเชิงทฤษฎีกับเชิงปฏิบัติ ซึ่งเป็น
การไหลในท่อที่อัดตัวไม่ได้ (INCOMPRESSIBLE) ดังมีสมการและทฤษฎีดังนี้

สมการการไหลต่อเนื่อง



รูปที่ 2.1 การไหลอย่างต่อเนื่องของของไหล

กำหนดให้

A_1, A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดของของไหลที่หน้าตัด 1 และ 2

V_1, V_2 คือ ความเร็วของของไหลที่หน้าตัด 1 และ 2

ρ_1, ρ_2 คือ ความหนาแน่นของของไหลที่หน้าตัด 1 และ 2

จากรูปสามารถพิจารณาเป็นสมการได้ว่า

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad (2.1)$$

ในกรณีความหนาแน่นของของไหลไม่เปลี่ยนแปลง จะได้สมการไหลสม่ำเสมอ (ไหลในทิศทางเดียวกัน) คือ

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.2)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} Q &= \text{อัตราการไหล (m}^3/\text{s)} \\ A &= \text{พื้นที่ (m}^2\text{)} \\ V &= \text{ความเร็วของของไหล (m/s)} \end{aligned}$$

สมการพลังงาน (Energy Equation) พิจารณาโดยอาศัยหลักทฤษฎีของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) กำหนดให้

$$\begin{aligned} P_1, P_2 & \text{ เป็นความดันที่ตำแหน่ง 1 และ 2} \\ V_1, V_2 & \text{ เป็นความเร็วที่ตำแหน่ง 1 และ 2} \\ Z_1, Z_2 & \text{ เป็นระดับความสูงที่ตำแหน่ง 1 และ 2} \\ \gamma_1, \gamma_2 & \text{ เป็นน้ำหนักจำเพาะของไหลที่ตำแหน่ง 1 และ 2} \\ h_f & \text{ เป็นพลังงานสูญเสีย} \end{aligned}$$

$$\text{จะได้} \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f \quad (2.3)$$

ในกรณีที่ท่ออยู่ในระดับเดียวกัน $Z_1 = Z_2$

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} = \frac{h_f + (V_2^2 - V_1^2)}{2g} \quad (2.4)$$

รูปแบบของการไหลในท่อ จะมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ

1. การไหลแบบราบเรียบ
2. การไหลแบบเปลี่ยนแปลง
3. การไหลแบบปั่นป่วน

จากการทดลอง Reynolds ได้แบ่งชนิดของการไหลตามอัตราส่วนของแรงเฉื่อย (Inertia Force) ต่อแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล (Viscous Force) และเรียกอัตราส่วนที่ได้นี้ว่า "Reynolds number" และสัญลักษณ์ R_e

$$R_e = \frac{\rho DV}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (2.5)$$

โดยที่

V	คือ	ความเร็วของของไหลในท่อ (m/s)
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
ν	คือ	ความหนืดเปรียบเทียบ (m^2/s)
μ	คือ	ความหนืดพลวัต (Pa s)
ρ	คือ	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

ค่า Reynolds Number เป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย สามารถจำแนกชนิดของการไหลได้ 3 ชนิด

ตารางที่ 2.1 ชนิดของการไหลในท่อ

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์	ชนิดของการไหล
$R_e < 2,000$	การไหลแบบราบเรียบ
$2,000 < R_e < 4,000$	การไหลแบบเปลี่ยนแปลง
$4,000 < R_e$	การไหลแบบปั่นป่วน

ผลของความหนืดต่อการสูญเสียการไหล

ความหนืดมีผลสำคัญมากที่สุดต่อการไหล ของไหล นั่นคือ ผลของความหนืดจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการไหลของไหลผ่านท่อหรือปริมาตรควบคุม ในทางตรงข้าม ถ้าของไหลไม่มีความหนืด ดังนั้นจะไม่มี การสูญเสียพลังงานเกิดขึ้น และในความจริงไม่มีความต้องการกำลังเพื่อมาสูบของไหล ให้ไหลตามยาวท่อในแนวนอน ด้วยเหตุนี้จึงเห็นได้ว่าความหนืดที่มีมากกว่าจะทำให้เกิดการไหลยากกว่ามาก อันเป็นเหตุให้การไหลของไหล ต้องการกำลังในการสูบของไหลมากกว่า

แบบของการไหล (ทั้งที่เป็นแบบลามินาร์ และ เทอร์บูเลนต์) มีผลอย่างมากต่อการสูญเสียการไหล โดยการไหลแบบลามินาร์ ความขรุขระของท่อไม่มีผลต่อการสูญเสียการไหล เนื่องจากความเร็วของไหลจะต่ำมาก ๆ เมื่อใกล้กับผนังท่อ ในการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ ความเร็วค่อย ๆ ลดลง ใกล้กับผนังท่อ สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ (ยกเว้นกรณีของท่อเรียบมาก ๆ) ความหยาบหรือขรุขระของท่อมีผลต่อการสูญเสียการไหล

การคำนวณสูญเสียการไหล ซึ่งมีผลมาจากความหนืดของไหลมีความสำคัญมาก ในภาพการไหลของไหลจริง ดังนั้นการลดความหนืดของน้ำให้น้อยลง เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่แท้จริง ดังสมการภายในความร้อน

$$Q = m_c C_p \Delta T \quad (2.6)$$

โดยที่

Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (w)
m	=	มวล (kg)
C_p	=	ความร้อนจำเพาะ (J/kg.K)
ΔT	=	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ (°C)

การสูญเสียพลังงาน

1. การสูญเสียหลัก (Major Losses) คือ การสูญเสียพลังงานที่เกิดจากแรงเสียดทาน เนื่องจากความหนืดของของไหล และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ระหว่างของไหลกับผนังท่อ ซึ่งเป็นการสูญเสีย

เกิดขึ้นในเส้นท่อ การสูญเสียพลังงานของการไหลในท่อ ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ความยาวท่อ ความขรุขระของผนังท่อ ความหนืดของของไหล และความเร็วในการไหลของของไหล โดยหาได้จากสมการ

$$h_f = \frac{fLV^2}{2gD} \quad (2.7)$$

โดยที่

h_f	คือ	การสูญเสียพลังงานหลัก (m)
L	คือ	ความยาวของท่อ (m)
V	คือ	ความเร็วของไหล (m/s)
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
g	คือ	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
f	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งดูได้จากแผนภูมิของ Moody Diagram
E	คือ	ค่าความขรุขระของผนังท่อ

สำหรับค่าความขรุขระของผนังท่อขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ผลิตท่อ ดังตารางภาคผนวกที่ 3 และรูปภาคผนวกที่ 5 ความขรุขระผิวของท่อชนิดต่าง ๆ

2. การสูญเสียรอง (Minor Losses) คือ การสูญเสียอันเนื่องมาจาก ส่วนประกอบของท่อ เช่น ข้องอ ข้อต่อ ประตูน้ำ ข้อลด ข้อขยาย เป็นต้น ขนาดของการสูญเสียรองนี้ จะขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนอุปกรณ์ที่ประกอบกับท่อ ซึ่งมีค่าไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับ การสูญเสียหลัก ในกรณีที่มีการต่อท่อที่ยาวมาก ๆ โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียรอง จะเป็นปฏิกิริยา โดยตรงกับความเร็ว ดังสมการ

$$h_m = \frac{kV^2}{2g} \quad (2.8)$$

โดยที่

h_m	คือ	การสูญเสียรอง (m)
-------	-----	-------------------

k คือ ค่าคงที่ ซึ่งได้จากการทดลอง หรือวิเคราะห์ทาง
คณิตศาสตร์ การสูญเสียพลังงานทั้งหมด (Total
Losses) คือ ผลบวกของการสูญเสียหลัก และสูญเสียรอง

$$\Sigma h_L = \Sigma h_r + \Sigma h_m \quad (2.9)$$



บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

ในการออกแบบนี้ เป็นการสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ โดยที่ผนังท่อแต่ละชนิดจะมีความขรุขระ หรือ มีความเรียบที่แตกต่างกันออกไป ในที่นี้เราใช้น้ำในการไหลภายในท่อ ซึ่งในการหาความขรุขระผิวในท่อ เราต้องการค่าที่แท้จริง จะต้องให้ความหนืดลดลงโดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้น เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อเพียงอย่างเดียว และนำไปหาค่าความขรุขระผิวในท่อโดยไม่มีผลจากความหนืดของน้ำรวมอยู่ด้วย โดยการติดตั้งอุปกรณ์ทำความร้อนเพื่อช่วยในการทดสอบ

อุปกรณ์ทดสอบ

1. อุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) หาได้จากการคำนวณ
2. ถังเก็บน้ำ (Source Tank) มีขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 0.40 เมตร สูง 0.25 เมตร
3. ปั๊ม (Pump) มีอัตราการไหล 74 ลิตรต่อนาที
4. โรตاميเตอร์ (Rotameter)
5. มานอมิเตอร์ (Manometer)
6. ท่อ (Pipes) มี 3 ชนิด คือ ท่อพีวีซี ท่อเหล็กหล่อ และท่อเหล็กเคลือบสังกะสี ใช้ในการทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 43 มิลลิเมตร

ขั้นตอนการคำนวณ

1. การคำนวณการถ่ายเทความร้อน

ต้องการอุณหภูมิของน้ำที่ 50°C เพื่อลดความหนืดของน้ำโดยที่น้ำอุณหภูมิปกติ 20°C ต้องการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโดยภายในเวลา 10 นาที จากตารางคุณสมบัติที่เกี่ยวกับความร้อนของน้ำ มีคุณสมบัติดังนี้

$$\begin{aligned} t &= 600 \text{ วินาที} \\ C_p &= 4.181 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ m_w &= 30 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

จากสมการ

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m_w c_p \Delta T}{t} \\ &= \frac{30 \times 4.181 (50 - 20)}{600} \\ &= 6.27 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. การคำนวณการสูญเสียหลัก

โดยที่

$$\begin{aligned} Q &= 74 \text{ L/min} \\ 1 \text{ L/min} &= 16.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \\ V &= 0.553 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ D &= 0.043 \text{ m} \\ \gamma &= 9.689 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

ความเร็วน้ำในท่อ

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{74 \times (16.67 \times 10^{-6})}{\frac{\pi}{4} \times 0.043^2} \\ &= 0.849 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_e &= \frac{VD}{\nu} \\
 &= \frac{0.849 \times 0.043}{0.553 \times 10^{-6}} \\
 &= 66051.6774
 \end{aligned}$$

จากตารางภาคผนวกค่าความขรุขระ (ϵ) มีค่า 0.0015 mm

$$\begin{aligned}
 \frac{\epsilon}{D} &= \frac{0.0015}{43} \\
 &= 3.488^{-5}
 \end{aligned}$$

จากตารางภาคผนวก (Moody diagram) ที่ R_e และ ϵ/D จะได้

$$f = 0.021$$

ความยาวท่อทางตรงในการสูญเสียหลักเท่ากับ 1 เมตร

$$\begin{aligned}
 h_f &= f \frac{LV^2}{2g} \\
 &= \frac{(0.021)(1)(0.849)^2}{(2 \times 9.81)(0.043)} \\
 &= 0.018 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. การคำนวณการสูญเสียรอง

จากสมการ

$$h_m = \frac{(\sum k)V^2}{2g}$$

ซึ่งค่า ($\sum k$) สามารถหาได้จากตารางภาคผนวกที่ 4

ทางเข้าระบบ

จำนวน 1 ค่า $k = 0.5$

Gate Valves

จำนวน 3 ค่า $k = 0.75$

ข้อต่อฉาก

จำนวน 15 ค่า $k = 4.8$

ท่อทางแยกสามทาง

จำนวน 3 ค่า $k = 1.2$

Union

จำนวน 2 ค่า $k = 0.1$

ข้อลดจาก ($\varnothing 4.3 \text{ cm} - \varnothing 2 \text{ cm}$)

จำนวน 2 ค่า $k = 0.78$

ข้อลดจาก ($\varnothing 2 \text{ cm} - \varnothing 4.3 \text{ cm}$)

จำนวน 1 ค่า $k = 0.20$

ทางออกจากระบบ

จำนวน 1 ค่า $k = 1.0$

$$\sum k = 9.33$$

$$\begin{aligned} h_m &= \frac{(9.33)(0.849)^2}{2 \times 9.81} \\ &= 0.342 \text{ m} \end{aligned}$$

ความดันหัวน้ำสถิต (Static head, h_s)

$$h_s = 0.9 \text{ m}$$

การสูญเสียพลังงานทั้งหมดของระบบเท่ากับความดันหัวน้ำรวม

$$\begin{aligned} h_p &= \sum h_r + \sum h_m + h_s \\ &= 0.018 + 0.342 + 0.9 \\ &= 1.26 \text{ m} \end{aligned}$$

4. การคำนวณเลือกปั๊ม

ประสิทธิภาพเชิงกลของปั๊มโดยทั่วไปในช่วง 75-90 % ซึ่งได้นำค่าประสิทธิภาพที่ 80 % มาคำนวณกำลังงานที่ต้องใช้

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{\gamma Q h_p}{\eta} \\ &= \frac{(9.689)(1.23358^{-3})(1.26)}{0.80} \\ &= 0.01882 \text{ kW} \end{aligned}$$

บทที่ 4

อุปกรณ์ วิธีการทดสอบ และผลการทดสอบ

ขนาดและรายละเอียดของอุปกรณ์ทดสอบ

1. ปั๊มน้ำ ขนาด 0.5 hp
2. เครื่องทำความร้อน (heater) ขนาด 5000 watt
3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (controller)
4. มานอมิเตอร์ (manometer) มีความสูง 70 cm
5. โรตاميเตอร์ (Rotameter) มีอัตราการไหล 74 ลิตรต่อนาที
6. ถังน้ำ (source tank) มีความจุ 36 ลิตร
7. ท่อน้ำ (pipes) มี 3 ชนิด คือ ท่อพีวีซี ท่อเหล็ก และท่อเหล็กอบสังกะสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 43 mm

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ตรวจสอบน้ำในถังให้มีปริมาณเพียงพอที่จะทำการทดสอบ
2. นำท่อที่จะทำการทดสอบต่อเข้ากับระบบที่จะทำการทดสอบ
3. ต่อสายมานอมิเตอร์เข้ากับจุดวัดผลต่างความดันที่ท่อ 2 จุด
4. เปิดสวิตช์ให้ Heater ทำงาน และเปิดตัวควบคุม Heater ไปที่อุณหภูมิ 50 °C เท่านั้น
5. เปิดสวิตช์ให้ใบพัดกวนน้ำให้ร้อนทั่วถัง ประมาณ 10 นาที
6. เปิดสวิตช์ปั๊มน้ำ แล้วปิดใบพัดกวน
7. ปรับอัตราการไหลจากโรตاميเตอร์น้อยก่อนเพื่อไล่อากาศออก
8. ปรับอัตราการไหลจากโรตاميเตอร์ไปที่ 74 ลิตรต่อนาทีเพื่อให้ น้ำไหลเต็มท่อ

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดสอบท่อ PVC อุณหภูมิ 50°C อัตราการไหลคงที่ 74 ลิตรต่อนาที

การทดสอบ ครั้งที่	ผลต่างความดันที่ทดสอบ (cm)	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f)
1	0.025	0.029
2	0.024	0.028
3	0.024	0.028
4	0.025	0.029
5	0.025	0.029
ค่าเฉลี่ย	0.0246	0.0286

ดังนั้นการหาค่าความขรุขระผิวในท่อ

โดยการนำค่า (f) เฉลี่ยและค่า (Re) ไปเปิดแผนภาพ Moody diagram จากรูปภาคผนวกที่ 6 เพื่อหาค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (E/D) และความขรุขระผิว (E)

จะได้ค่า

$$\frac{E}{D} = 0.0022$$

$$E = 0.0946 \text{ mm}$$

$$\therefore \text{ความขรุขระผิวในท่อ PVC} = 0.0946 \text{ mm}$$

หา % ความคลาดเคลื่อนของค่าความขรุขระผิวในท่อ โดยที่ค่าความขรุขระผิวทางทฤษฎี จากตารางภาคผนวกที่ 3 คือ $E = 0.0015 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ ความคลาดเคลื่อน} &= \frac{\text{ความขรุขระผิวที่ทดสอบ} - \text{ความขรุขระผิวจากตาราง}}{\text{ความขรุขระผิวที่ทดสอบ}} \times 100 \\
 &= \frac{0.0946 - 0.0015}{0.0946} \times 100 \\
 &= 98 \%
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดสอบท่อเหล็ก อุณหภูมิของน้ำ 50 °C อัตราการไหลคงที่ 74 ลิตรต่อวินาที

การทดสอบ	ผลต่างความดันที่ทดสอบ	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
ครั้งที่	(cm)	(f)
1	0.024	0.028
2	0.023	0.027
3	0.023	0.027
4	0.023	0.027
5	0.024	0.028
ค่าเฉลี่ย	0.0234	0.0274

ดังนั้นการหาค่าความขรุขระผิวในท่อ

โดยการนำค่า (f) เฉลี่ยและค่า (Re) ไปเปิดแผนภาพ Moody diagram จากรูปภาคผนวกที่ 6 เพื่อหาค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (E/D) และความขรุขระผิว (E)

จะได้ค่า

$$\frac{E}{D} = 0.002$$

$$E = 0.086 \text{ mm}$$

$$\therefore \text{ความขรุขระผิวในท่อเหล็ก} = 0.086 \text{ mm}$$

หา % ความคลาดเคลื่อนของค่าความขรุขระผิวในท่อ โดยที่ค่าความขรุขระผิวทางทฤษฎี จากตารางภาคผนวกที่ 3 คือ $E = 0.046 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ ความคลาดเคลื่อน} &= \frac{\text{ความขรุขระผิวที่ทดสอบ} - \text{ความขรุขระผิวจากตาราง}}{\text{ความขรุขระผิวที่ทดสอบ}} \times 100 \\
 &= \frac{0.086 - 0.046}{0.086} \times 100 \\
 &= 46 \%
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดสอบท่อเหล็กอบสังกะสี อุณหภูมิของน้ำ 50 °C อัตราการไหลคงที่ 74 ลิตรต่อนาที

การทดสอบ ครั้งที่	ผลต่างความดันที่ทดสอบ (cm)	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f)
1	0.026	0.030
2	0.026	0.030
3	0.025	0.029
4	0.025	0.029
5	0.025	0.029
ค่าเฉลี่ย	0.0254	0.0294

ดังนั้นการหาค่าความขรุขระผิวในท่อ

โดยการนำค่า (f) เฉลี่ยและค่า (Re) ไปเปิดแผนภาพ Moody diagram จากรูปภาคผนวกที่ 6 เพื่อหาค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (E/D) และความขรุขระผิว (E)

จะได้ค่า

$$\frac{E}{D} = 0.0035$$

$$E = 0.150 \text{ mm}$$

∴ ความขรุขระผิวในท่อเหล็กอบสังกะสี = 0.150 mm

หา % ความคลาดเคลื่อนของค่าความขรุขระผิวในท่อ โดยที่ค่าความขรุขระผิวทางทฤษฎี จากตารางภาคผนวกที่ 3 คือ $E = 0.150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \% \text{ ความคลาดเคลื่อน} &= \frac{\text{ความขรุขระผิวที่ทดสอบ} - \text{ความขรุขระผิวจากตาราง}}{\text{ความขรุขระผิวที่ทดสอบ}} \times 100 \\ &= \frac{0.150 - 0.150}{0.150} \times 100 \\ &= 0\% \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่อัตราการไหล 74 ลิตรต่อวินาทีที่น้ำที่ใช้ในการทดสอบมีอุณหภูมิ 50°C ใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสี ในการทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 43 มิลลิเมตร โดยที่

$$\begin{aligned} Q &= 74 \text{ L/min} \quad (1 \text{ L/min} = 16.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}) \\ V &= 0.553 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

ค่าความเร็ว

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{74 \times (16.67 \times 10^{-6})}{\frac{\pi}{4} \times 0.043^2} \\ &= 0.849 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{VD}{\nu} \\ &= \frac{0.849 \times 0.043}{0.553 \times 10^{-6}} \\ &= 66016.274 \end{aligned}$$

นำค่าผลต่างความดันเฉลี่ยที่ทดสอบ ของท่อเหล็กอาบสังกะสี 0.0254 m มาคำนวณจากสมการเบอร์นูลลี

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

เนื่องจาก

$$V_1 = V_2, Z_1 = Z_2$$

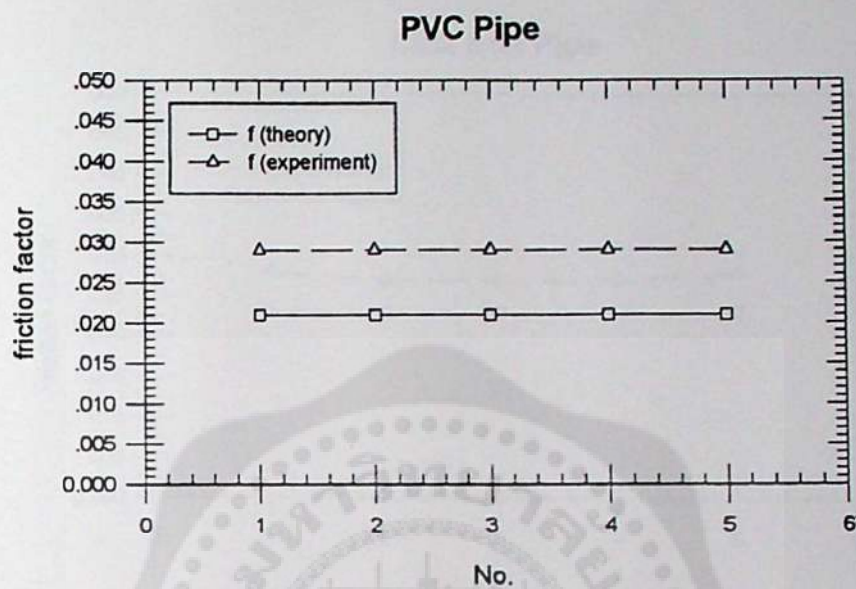
$$\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} = h_f$$

ผลต่างความดันเฉลี่ยที่ทดสอบ

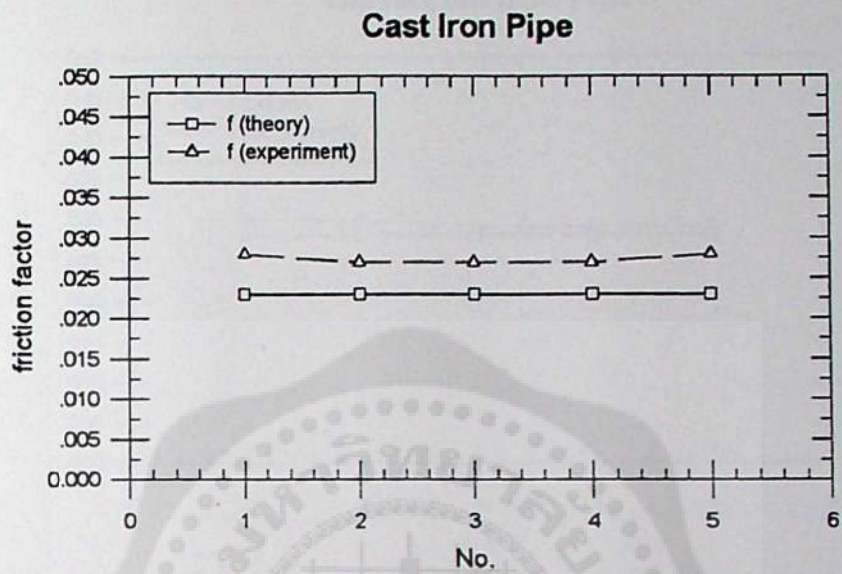
$$\begin{aligned} f &= \frac{h_f}{(L/D)V^2 / 2g} \\ &= \frac{0.0254}{(1/0.043)(0.849^2 / 2 \times 9.81)} \\ &= 0.029 \end{aligned}$$

เมื่อนำค่า $f = 0.029$ และ (Re) เปิดแผนภาพ Moody diagram หาค่า (ϵ / D) และ (ϵ) จะได้

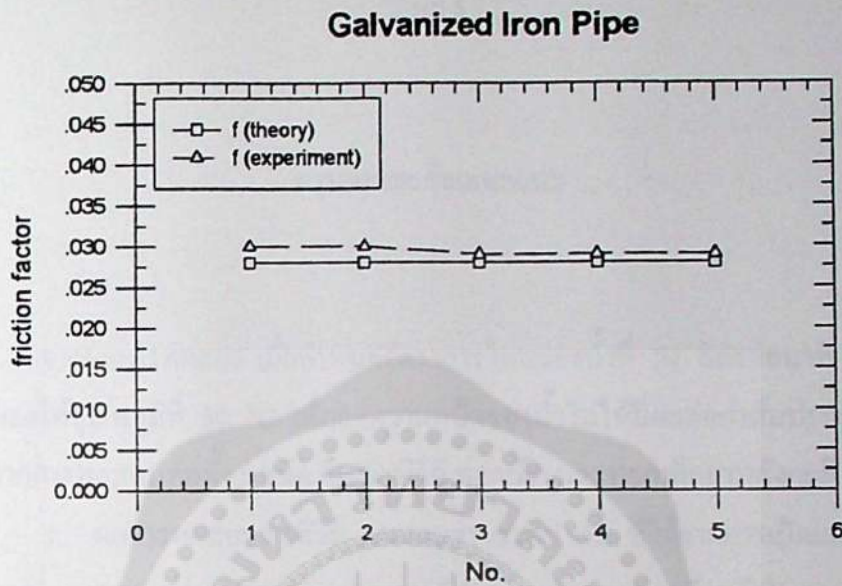
$$\begin{aligned} \frac{\epsilon}{D} &= 0.0035 \\ \epsilon &= 0.150 \text{ mm} \end{aligned}$$



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ของท่อพีวีซี



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ของท่อเหล็ก



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ของท่อเหล็กอาบสังกะสี

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

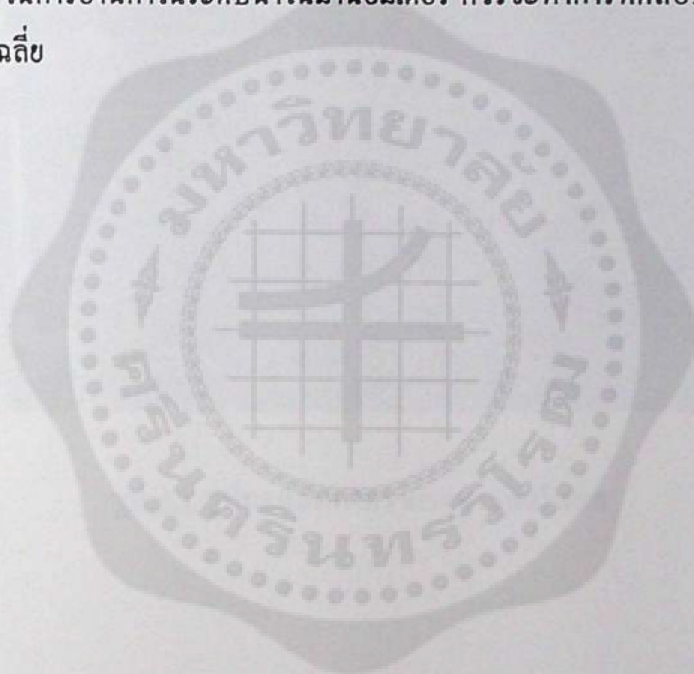
จากผลการทดลอง เมื่อกำหนดอัตราการไหลของน้ำที่ 74 ลิตรต่อนาที เพื่อให้มีน้ำได้ไหลเต็มท่อและให้อุณหภูมิที่ 50 °C เพื่อลดความหนืดของน้ำไม่ให้มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อ จากการทดสอบท่อทั้ง 3 ชนิด คือ ท่อพีวีซี ท่อเหล็ก และท่อเหล็กอาบสังกะสี ดังนั้น

1. ผลการทดสอบท่อพีวีซี ค่าความขรุขระผิว (ϵ) ที่ได้จากการเปิดแผนภาพ Moody diagram มีค่า $\epsilon = 0.0946$ mm. ส่วนค่าจากทฤษฎีที่เปิดตารางภาคผนวกที่ 3 มีค่า $\epsilon = 0.0015$ mm. และ% ความคลาดเคลื่อนของค่าความขรุขระผิวในท่อ คือ 98%
2. ผลการทดสอบท่อเหล็ก ค่าความขรุขระผิว (ϵ) ที่ได้จากการเปิดแผนภาพ Moody diagram มีค่า $\epsilon = 0.086$ mm. ส่วนค่าจากทฤษฎีที่เปิดตารางภาคผนวกที่ 3 มีค่า $\epsilon = 0.046$ mm. และ% ความคลาดเคลื่อนของค่าความขรุขระผิวในท่อ คือ 46%
3. ผลการทดสอบท่อเหล็กอาบสังกะสี ค่าความขรุขระผิว (ϵ) ที่ได้จากการเปิดแผนภาพ Moody diagram มีค่า $\epsilon = 0.150$ mm. ส่วนค่าจากทฤษฎีที่เปิดตารางภาคผนวกที่ 3 มีค่า $\epsilon = 0.15$ mm. และ% ความคลาดเคลื่อนของค่าความขรุขระผิวในท่อ คือ 0%

จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบท่อทั้ง 3 ชนิด ค่าความขรุขระผิว (ϵ) จากการคำนวณ และเปิดแผนภาพ Moody diagram จะมีค่าแตกต่างจากการคำนวณทางทฤษฎีที่เปิดตารางภาคผนวกที่ 3 เนื่องจากการผลิตท่อแต่ละชนิดผลิตมาไม่เหมือนกันทั้งหมด อย่างเช่นท่อเหล็กที่มีค่าความขรุขระผิว (ϵ) ที่ทดสอบอยู่ที่ $\epsilon = 0.086$ mm. ส่วนค่าจากทางทฤษฎีที่เปิดตารางภาคผนวกที่ 3 มีค่า $\epsilon = 0.046$ mm ดังนั้นค่าความขรุขระผิวในท่อจึงมีค่าที่แตกต่างกันออกไป

ข้อเสนอแนะ

1. ถ้าต้องไม่ให้มีฟองอากาศในท่อและน้ำไหลเต็มท่อ ไม่ควรมีการลดขนาดของท่อ ควรให้ขนาดท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันทั้งระบบ เพื่อให้ น้ำไหลได้เต็มท่อควรปรับอัตราการไหลที่ 74 ลิตร / นาที
2. ในการวัดผลการทดสอบ ควรมีการไล่ฟองอากาศออกจากหลอดमानमीदेरให้หมดเสียก่อน โดยการปรับอัตราการไหล ให้มีค่ามาก ๆ ในตอนก่อนเริ่มทำการทดสอบ
3. ในการทำการทดสอบหาผลต่างความดัน ทั้ง 2 จุด ควรรอประมาณ 5 นาที แล้วจึงอ่านผลที่ได้
4. ในการอ่านค่าในระดับน้ำในमानमीदेर ควรจะทำการทดสอบหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำค่านั้น ๆ มาหาค่าเฉลี่ย





รูป 5.1 รูปทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ

บรรณานุกรม

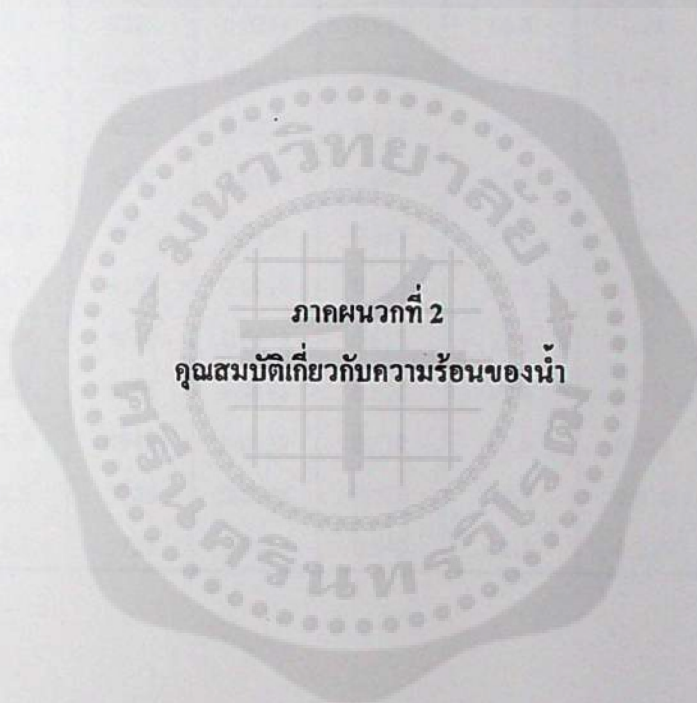
1. ชาญ ถนัดงาน, กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics), กรุงเทพฯ : 23 บุ๊คเซ็นเตอร์ 2523.
2. Kinsky; Roger, Applied Fluid Mechanics, Sydney : Megraw – Hill Book Co., 1982
3. วิศิษฐ์ จาตุรमान, กลศาสตร์ของไหล, กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2542
4. นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย, การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer), หจก. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์
พ.ศ. 2526





ตารางภาคผนวกที่ 1.1 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ °C	ความหนาแน่น ρ , kg/m ³	ความหนืด $\mu \times 10^3$, N·s/m ²	ความหนืด คินแมติก $\nu \times 10^4$, m ² /s	ความตึงผิว σ , N/m	เซคของ ความดันไอ p_v/γ m	บัลคโมดูลัส ของความ ยืดหยุ่น $E_v \times 10^{-4}$, kN/m ²
0	999.8	1.781	1.785	0.0756	0.06	2.02
5	1000.0	1.518	1.519	0.0749	0.09	2.06
10	999.7	1.307	1.308	0.0742	0.12	2.10
15	999.1	1.139	1.139	0.0735	0.17	2.15
20	998.2	1.002	1.003	0.0728	0.25	2.18
25	997.0	0.890	0.893	0.0720	0.33	2.22
30	995.7	0.798	0.800	0.0712	0.44	2.25
40	992.2	0.653	0.658	0.0696	0.76	2.28
50	988.0	0.547	0.553	0.0679	1.20	2.29
60	983.2	0.466	0.474	0.0662	2.03	2.28
70	977.8	0.404	0.413	0.0644	3.20	2.25
80	971.5	0.354	0.364	0.0626	4.96	2.20
90	965.3	0.315	0.326	0.0608	7.18	2.14
100	958.4	0.282	0.294	0.0589	10.33	2.07



ตารางภาคผนวกที่ 2.1 คุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนของน้ำ (ดัดแปลงมาจาก Simonson, J.R. (t)

$^{\circ}\text{C}$	ρ (kg/m^3)	C_p (J/kgK)	$\mu \times 10^2$ (kg/ms)	K (W/mK)	$\alpha \times 10^8$ (m^2/s)	P_r	$\beta \times 10^3$ K^{-1}
0	1002	4218	0.179	0.552	13.1	13.6	0.18
20	1001	4182	0.101	0.597	14.3	7.02	
40	994.6	4178	1.0658	0.628	15.1	4.34	
60	985.4	4184	0.0477	0.651	15.5	3.02	
80	974.1	4196	0.0364	0.668	16.4	2.22	
100	960.6	4216	0.0294	0.680	16.8	1.74	
120	945.3	4250	0.0247	0.685	17.1	1.446	
140	928.3	4283	0.0214	0.684	17.2	1.241	
160	909.7	4342	0.0189	0.680	17.3	1.099	
180	889.0	4417	0.0173	0.675	17.2	1.004	
200	866.7	4505	0.0160	0.665	17.1	0.937	
220	842.4	4610	0.0149	0.653	16.8	0.891	
240	815.7	4756	0.0143	0.635	16.4	0.871	
260	785.9	4949	0.0137	0.611	15.6	0.874	
280	752.5	5208	0.0135	0.580	14.8	0.910	
300	714.3	5728	0.0135	0.540	13.2	1.019	

การพัฒนาระบบงาน การจัดการข้อมูลสารสนเทศ

ชื่อหน่วยงาน	ปีงบประมาณ	ปีงบประมาณ
กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ	2557 - 2558	2559 - 2560
กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ	2560 - 2561	2562 - 2563
กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ	2564 - 2565	2566 - 2567
กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ	2568 - 2569	2570 - 2571



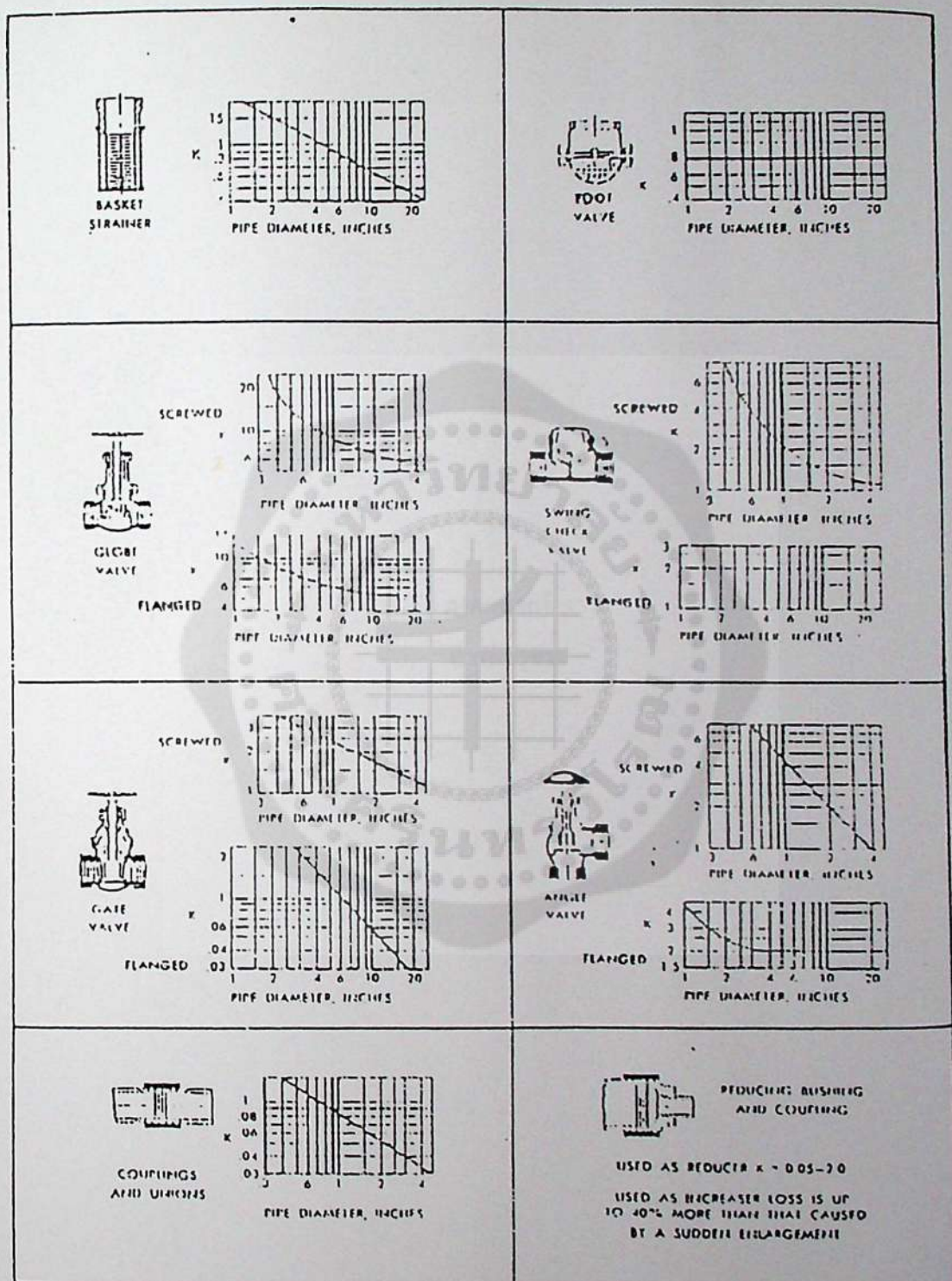
ภาคผนวกที่ 3
ความขรุขระผิวสำหรับท่อชนิดต่าง ๆ

ตารางภาคผนวกที่ 3.1 ความขรุขระผิวของท่อชนิดต่างๆ

ชนิดท่อ (ท่อใหม่)	ความขรุขระผิว (ϵ)	
	ฟุต	เมตร
ท่อเหล็กหมุดย้ำ	0.003 – 0.03	0.0009 – 0.009
ท่อคอนกรีต	0.001 – 0.01	0.0003 – 0.003
ท่อไม้คาน	0.0006 – 0.003	0.0002 – 0.0009
ท่อเหล็กหล่อ	0.00085	0.00026
ท่อเหล็กอาบสังกะสี	0.0005	0.00015
ท่อเหล็กหล่ออาบยางมะตอย	0.0004	0.0001
ท่อเหล็กตลาด หรือท่อเหล็กเหนียว	0.00015	0.000046
ท่อทองเหลือง หรือท่อทองแดง	0.000005	0.0000015
ท่อแก้วและพลาสติก	0.000005	0.0000015



รูปภาคผนวกที่ 4.1 สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล



ภาคผนวกที่ 5. การประเมินผล การประเมินผล

การประเมินผล

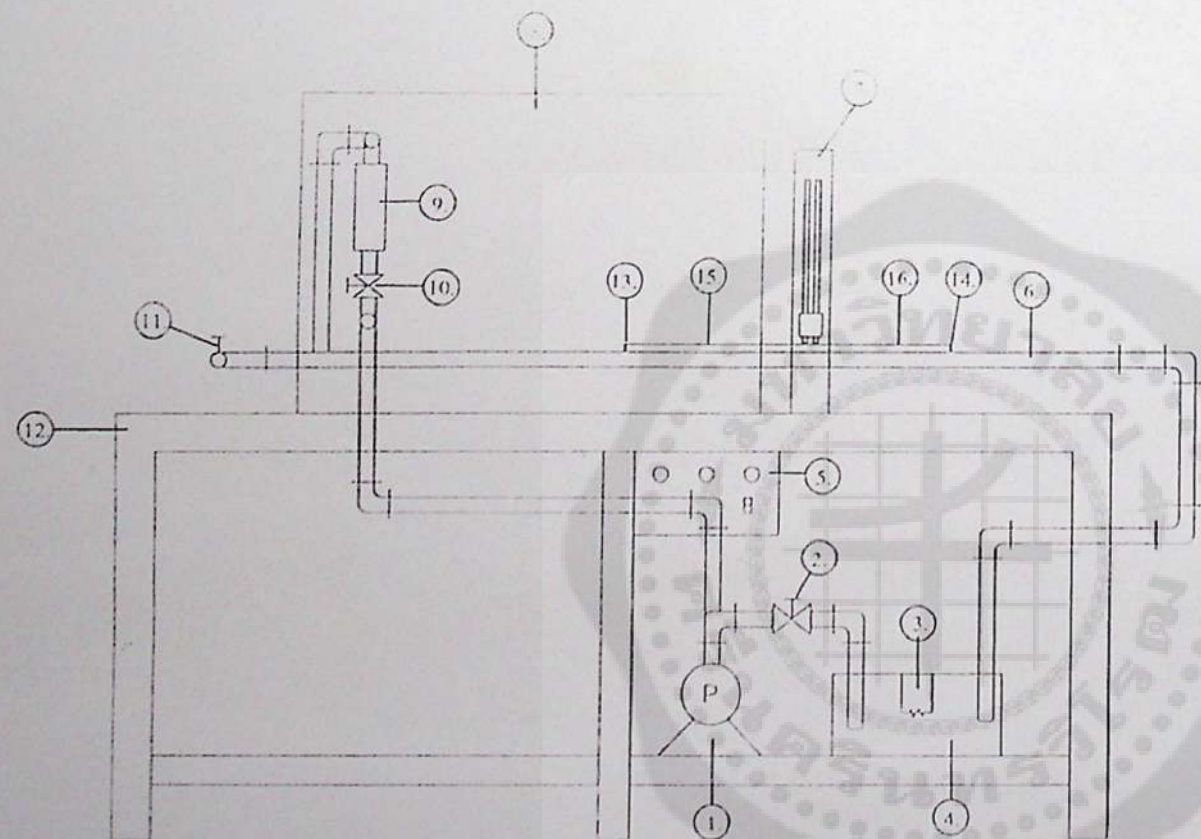
ลำดับ	ชื่อผู้เรียน	คะแนน	หมายเหตุ
1	นายสมชาย ใจดี	85	
2	นางสาวสุวิมล ใจดี	78	
3	นายวิวัฒน์ ใจดี	92	
4	นางสาวนันทนา ใจดี	88	
5	นายสุวิทย์ ใจดี	75	
6	นางสาวศุภมาส ใจดี	82	
7	นายสุภากร ใจดี	79	
8	นางสาวศุภากร ใจดี	86	
9	นายสุภากร ใจดี	81	
10	นางสาวศุภากร ใจดี	84	



การประเมินผล







ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดทดสอบ

1. ปั๊มน้ำ ขนาด 0.5 HP.
2. วาล์วขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว
3. Heater 5000 W
4. แท่งน้ำขนาด 36 ลิตร
5. แผงควบคุม
6. ท่อที่ใช้ในการทดสอบขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ยาว 2 เมตร
7. มานอมิเตอร์ สูง 70 เซนติเมตร
8. ผังติดตั้ง Rotameter ขนาด 1.1×0.80 เมตร
9. Rotameter อัตราการไหล 74 LPM
10. วาล์วควบคุมการไหลขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว
11. วาล์วทำการทดสอบขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว
12. โต๊ะปฏิบัติการทดสอบขนาด $1.1 \times 2.45 \times 0.95$ เมตร
13. จุดวัดความดัน จุดที่ 1
14. จุดวัดความดัน จุดที่ 2
15. ท่อยางต่อเข้าหลอดแก้วมานอมิเตอร์
16. ท่อยางต่อเข้าหลอดแก้วมานอมิเตอร์

ลำดับที่ 1	จำนวน 1	ชื่อ การออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ			
ผู้เขียน ธวัชชัย สีนอม่วง	ผู้ตรวจ ธวัชชัย สีนอม่วง	ผู้อนุมัติ ภาคภูมิ ศรีธรรมรินทร์	ชื่อแฟ้ม	วันที่ 19/10/43	มาตราส่วน 1 : 10
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		แบบสร้างชุดทดสอบหาความขรุขระผิวในท่อ			
		หมายเลขแบบ ME2000 - 001		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่

ประวัติผู้จัดทำโครงการวิศวกรรม

ชื่อ นายรัชชัย สีโนนม่วง
ประวัติ
เกิด วันที่ 8 เมษายน พ.ศ. 2515
ที่อยู่ปัจจุบัน 1146 ถ. สุทธิสาร อ. ห้วยขวาง จ. กรุงเทพฯ 10320
ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคดอนเมือง

