

ชุดสาธิตลักษณะการไหลภายในท่อ
DEMONSTATION FLOW IN PIPELINES



โครงการนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2543

หัวข้อโครงการวิศวกรรม

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ชุดสารัตถ์ลักษณะการไหลภายในท่อ

นาย คณิง

มีศรีสรรค์

นาย นิติศักดิ์

อยู่ภักดี

นาย ศิริศาสตร์

ศิริโยธา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ ประชา

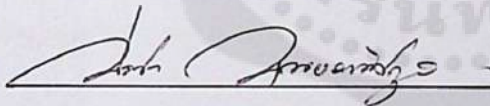
บุญวานิชกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

_____ คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอนโครงการวิศวกรรมศาสตร์



_____ ประธานกรรมการ

(อาจารย์ประชา บุญวานิชกุล)

_____ กรรมการ

(อาจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ)

_____ กรรมการ

(อาจารย์กัณฑ์วณิช พลุประเสริฐ)

ชุดสาริตถลักษณะการไหลภายในท่อ

ปีการศึกษา 2543

โดย

นาย คณิง มีศรีสรค์

นาย นิตศักดิ์ อยู่ภักดี

นาย ศิริศาสตร์ ศิริโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมนี้กล่าวถึงการวัดความเร็ว (Velocity) ที่กระจายตามความกว้างของพื้นที่หน้าตัดของท่อ ซึ่งจะทำให้การทดลองทั้งท่อกลมและท่อเหลี่ยม โดยการใช้มาตรวัดแบบ Pitot-tube ซึ่งจะไปแสดงผลที่มานอมิเตอร์ ซึ่งจะมีสเกลติดอยู่เพื่อที่จะใช้ในการวัดระดับน้ำ ในการทดลองจะใช้ Pitot-tube วัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ตามแนวพื้นที่หน้าตัด โดยทำการเลื่อนลงทีละ 2.5 mm ทั้งแบบท่อกลมและท่อเหลี่ยม ในการทดลองจะใช้อัตราการไหล 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 2.0 ลิตรต่อวินาทีตามลำดับ

จากการทดลองวัดความเร็วจาก Pitot-tube ออกมาในรูปของ Head ความสูงจะเห็นได้ว่า Velocity profile ที่ออกมาจะมีลักษณะคล้ายกันแต่ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ของท่อกลมสูงสุด 44% ของท่อเหลี่ยม 80% ที่จุดกึ่งกลางตามลำดับ

DEMONSTATION FLOW IN PIPELINES

Academic Year 2000

By

Mr. Khanung Mesrisan

Mr. Nitisak Yoopakdee

Mr. Sirisart Siriyotha

Project Report Advisor

Mr. Pracha Boonyawanitkul

ABSTRACT

This engineering project described velocity measurement that distributed in the cross-sectional area of circular and angular pipes by pitot-tube meter. The result is shown at manomiter that have scale for water level measurement. The test used Pitot-tube at many postions along cross-sectional area by sliding down 2.5 m. eiter circular and angular pipes. The test used flow rete 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 and 2.0 litres per minute.

The result of velocity measurement from Pitot-tube in the form of head seen that the outcome velocity profile characteristic is resembled but the miximum errors of circular pipe is 44 persen and angular pipe is 80 persen at the center postion.

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ เรื่อง ชุดสาธิตลักษณะการไหลภายในท่อ ทางคณะผู้จัดทำโครงการวิศวกรรมขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำ บัณฑิตวิทยาลัย และอาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ให้คำแนะนำ และความรู้ทางด้านทฤษฎี ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขจนทำให้โครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้มีความสมบูรณ์ขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ผู้เขียนมาตั้งแต่ต้น จนกระทั่งทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
ความสำคัญและที่มา	1
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตของโครงการ	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
การไหลภายใน	3
การไหลเข้าและรูปแบบการไหล	3
การไหลลามินาร์ในท่อกลม	5
การไหลลามินาร์ในท่อเหลี่ยม	9
ความต้องการการวัดการไหล	12
การวัดความเร็วของของไหล	13
Pitot tube	14
Prandtl tube	15
மானอมீเตอร์	16
3. การออกแบบและการคำนวณ	
การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของท่อกลม	19
การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของท่อเหลี่ยม	21
การหาการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง	23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. อุปกรณ์ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง	
อุปกรณ์	28
ขั้นตอนการทดลอง	28
การคำนวณต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง	35
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลอง	115
ข้อเสนอแนะ	116
บรรณานุกรม	117
ภาคผนวกที่ 1 ตารางที่ใช้ในการคำนวณ	118
ภาคผนวกที่ 2 แสดงรูปต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ	121
ภาคผนวกที่ 3 แบบประกอบและแยกชิ้นส่วน	129
ประวัติผู้จัดทำ	134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการทดลองของการวัดลักษณะการไหลภายในท่อกลม	31
4.2 แสดงผลการทดลองของการวัดลักษณะการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยม	33
4.3 แสดงผลการคำนวณของการวัดลักษณะการไหลภายในท่อกลม	85
4.4 แสดงผลการคำนวณของการวัดลักษณะการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยม	90
ตารางภาคผนวกที่	
1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ	119
1.2 ความขรุขระของผนังท่อ	120



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการไหลแบบลามินาร์เข้าไปในท่อ	4
2.2 แสดงความดันวารีชันการไหลในท่อ horizontal สำหรับ การไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลน	5
2.3 แสดงรูปแบบการไหลในท่อกลม	6
2.4 แสดงรูปแบบการไหลระหว่างท่อสี่เหลี่ยมขนาน	9
2.5 แสดงวิธีวัดความดันสถิตของการไหลของของไหล 2 วิธี	13
2.6 แสดงการวัดความดันสถิตของการไหลของของไหลโดยใช้ Pitot tube	14
2.7 แสดงการวัดความดันรวมและความดันสถิต	14
2.8 แสดงการวัด head ความดันพลศาสตร์ (dynamic pressure head) โดยการใช้ Pitot -tube	15
2.9 แสดงความสูงของหลอดमानอมิเตอร์	17
2.10 แสดงमानอมิเตอร์แบบเอียง	17
4.1 แสดงชุดสาริตลักษณะการไหลภายในท่อ	30
4.2 แสดงมาตรวัดแบบ Pitot tube	30
4.3 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลม ที่อัตราการไหล 1.2 L/min	95
4.4 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลม ที่อัตราการไหล 1.4 L/min	96
4.5 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลม ที่อัตราการไหล 1.6 L/min	97
4.6 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลม ที่อัตราการไหล 1.8 L/min	98
4.7 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลม ที่อัตราการไหล 2.0 L/min	99
4.8 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยม ที่อัตราการไหล 1.2 L/min	100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.4 L/min	101
4.10 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.6 L/min	102
4.11 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.8 L/min	103
4.12 แสดงกราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 2.0 L/min	104
4.13 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อกลมที่อัตราการไหล 1.2 L/min	105
4.14 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อกลมที่อัตราการไหล 1.4 L/min	106
4.15 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อกลมที่อัตราการไหล 1.6 L/min	107
4.16 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อกลมที่อัตราการไหล 1.8 L/min	108
4.17 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อกลมที่อัตราการไหล 2.0 L/min	109
4.18 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.2 L/min	110
4.19 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.4 L/min	111
4.20 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.6 L/min	112
4.21 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.8 L/min	113
4.22 แสดงกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 2.0 L/min	114
รูปภาคผนวกที่	
2.1 แสดง Moody Diagram สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด	122
2.2 แสดงสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล	123

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m ²
a	ความกว้างของท่อ	mm
a ₀	จุดศูนย์กลางที่ท่อเหลื่อม	mm
B _{hp}	แรงม้าของปั๊ม	hp
C	สัมประสิทธิ์ของการไหล	m
D	เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่	m
d	เส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก	m
f	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการสูญเสียหลัก	
g	แรงโน้มถ่วงของโลก	m/s ²
h _r	การสูญเสียพลังงานหลัก	m
h _L	การสูญเสียพลังงาน	m
h _m	การสูญเสียพลังงานรอง	m
k	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการสูญเสียรอง	m
L _E	ความยาวท่อของระบบ	mm
Q	อัตราการไหล	m ³ /s
Q _a	อัตราการไหลจริง	m ³ /s
r	รัศมีข้อยของท่อกลมที่ทำการวัด	mm
r ₀	รัศมีของท่อกลม	mm
R _c	ค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์	
u	ความเร็วของของไหล	m/s
u(r) _{max}	ความเร็วสูงสุดที่เกิดขึ้นในท่อกลม	m/s
u(y) _{max}	ความเร็วสูงสุดที่เกิดขึ้นในท่อเหลี่ยม	m/s
u(r)	ความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อกลม	m/s
u(y)	ความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อเหลี่ยม	m/s
W _{hp}	งานของปั๊ม	hp
V	ความเร็ว	m/s
Z	ระดับความสูงจากระดับอ้างอิง	m

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
γ	น้ำหนักจำเพาะ	N/m^3
v	ความหนืดเปรียบเทียบ	m^2/s
μ	ความหนืดพลวัต	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
ε	ค่าความขรุขระ	
σ	แรงตึงผิว	N/m
θ	มุมหรือองศา	องศา
ΔP	ความดันตกคร่อม	N/m^2
$\sum h_f$	ผลรวมของการสูญเสียพลังงานหลักทั้งหมด	m
$\sum H_F$	ผลรวมของการสูญเสียพลังงานทั้งหมด	m
$\sum h_m$	ผลรวมของการสูญเสียพลังงานรองทั้งหมด	m
η_p	ประสิทธิภาพปั๊ม	%
H_L	เฮดรวมทั้งหมด	m
h_t	เฮดความดันรวม	mm
h_s	เฮดความดันสถิต	mm

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มา

จากทฤษฎีของกลศาสตร์ของไหลที่กล่าวไว้ว่า การไหลของ ของไหลจริง แบบลามินาร์ในท่อกลม มี Velocity profile เป็นรูปของพาราโบลา ความเร็วในการไหลสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดศูนย์กลางท่อ ดังนั้นจึงคิดออกแบบ สร้างมาตรวัดเพื่อศึกษากรณีดังกล่าว ว่าเป็นจริงตามทฤษฎีหรือไม่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงลักษณะของ Velocity profile ของของไหลในท่อกลมและท่อเหลี่ยม
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าความเร็ว ที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง
3. เพื่อคำนวณหาความเร็วที่จุดต่าง ๆ ของพื้นที่หน้าตัดขวางของท่อที่เกิดขึ้นได้
4. เปรียบเทียบ Velocity profile ของท่อกลมกับท่อเหลี่ยม

ขอบเขตของโครงการ

1. ใช้น้ำเป็นของไหลในการทดสอบ
2. ใช้วัดเฉพาะของไหลในท่อที่มีการไหลแบบลามินาร์
3. อัตราการไหลที่กำหนดเป็นหน่วย ลิตร/นาที่ (กำหนดอัตราสูงสุดที่ 2 ลิตร/นาที่)
4. Pitot tube วัดออกมาในรูปของ Head ความสูง
5. ใช้ท่อกลมขนาด 25 mm
6. ใช้ท่อเหลี่ยมขนาด 27×27 mm

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถวิเคราะห์ลักษณะ Velocity profile ของของไหล เมื่อไหลผ่านมาตรวัดแบบ Pitot tube

ถ้า

2. แสดงให้เห็นลักษณะ Velocity profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อ เป็นรูปของพาราโบลา
3. แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของ ทฤษฎี กับผลการทดลอง



บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

การไหลภายใน (Internal Flow)

ในที่นี้จะกล่าวถึงผลของความหนืดที่ไม่สามารถตัดตัวได้ ซึ่งเป็นการศึกษาการไหลภายในท่อที่เป็นการไหลในทางวิศวกรรม การไหลในท่อกลมของของเหลวที่แน่นอน สามารถพบได้ในเส้นเลือดใหญ่ในร่างกาย ระบบส่งน้ำในเมืองใหญ่ ในระบบท่อส่งของไหลในโรงงาน ในสายไฮดรอลิกของเครื่องบิน เป็นต้น การไหลในท่อที่ไม่กลมและท่อน้ำเปิดจะศึกษาจากผลของความหนืดในการไหลที่จะกล่าวถึง reynolds number

$$Re = \frac{v \rho l}{\mu} \quad (2.1)$$

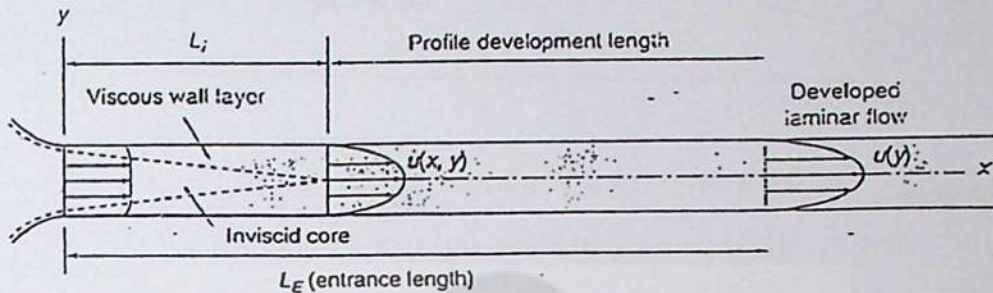
reynolds number จะกระทำต่ออัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงของความหนืด เมื่ออัตราส่วนมีความเหมาะสม ถ้าแรงเฉื่อยมีอิทธิพลกับแรงความหนืด ซึ่งจะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในระยะสั้นสำหรับความยาวของท่อโดยไม่สนใจเรื่องเงื่อนไข เมื่อผิวของผนังของพื้นที่ท่อที่ค่อนข้างใหญ่ ผลของความหนืดที่มีความสำคัญและจำเป็นในการศึกษา

การไหลภายในท่อที่เหลี่ยมขนาน เป็นการหมุนของทรงกระบอกในทางน้ำเปิด ที่จะพิจารณาในรายละเอียดสำหรับการไหลที่มี reynolds number ต่ำ ($Re < 2000$ ในท่อกลม และ $Re < 1500$ ในรางน้ำกว้าง) จะเป็นการไหลแบบลามินาร์ และที่ reynolds number สูงเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนซ์

การไหลเข้าและรูปแบบการไหล

เมื่อพิจารณาการไหลภายในท่อ โดยจะให้ความสนใจรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ โดยให้ความสนใจกับการไหลแบบลามินาร์ (laminar flow) ผลของรูปแบบการไหล เมื่อ velocity Profile สิ้นสุด การเปลี่ยนแปลงในทิศทางการไหลที่บริเวณทางเข้า entrance region เป็นการไหลแบบลามินาร์ที่ทิศทางการไหล จะเกิด velocity profile ที่เปลี่ยนแปลง แสดงในรูปที่ 1 เป็นการไหลทางอุดมคติ จากบริเวณอ่างเก็บน้ำที่ทางเข้าเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ (ความจริงจะเกิดความหนืดของชั้นผนัง แสดงดังรูป) ที่ชั้นของผนังจะเกิดความหนืดมาก ซึ่งเกิดในช่วง inviscid core length จนกระทั่งนำหน้าของความหนืดครอบครองเก็บพื้นที่หน้าตัด ซึ่ง profile จะเกิดความ

เปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่อง ผลของความหนืดเกิดเนื่องจากใน profile development region จนกระทั่งเกิดการไหลที่เต็มรูปแบบได้ ในบริเวณของ inviscid core length จะเกิดขึ้นหนึ่งในสามถึงหนึ่งในสี่ของช่วง entrance length L_E ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงของท่อ น้ำที่ทางเข้าและค่าของ reynolds number



รูปที่ 2.1 การไหลแบบลามินาร์เข้าไปในท่อ

สำหรับการไหลแบบลามินาร์ในท่อกลมจะเกิด profile ที่สม่ำเสมอที่ทางเข้า ความยาวช่วงที่เข้าทั้งหมดเป็น

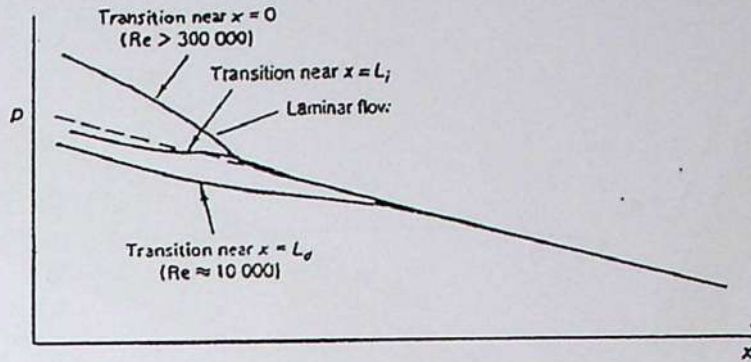
$$\frac{L_E}{D} = 0.065 \text{ Re} \quad \text{Re} = \frac{VD}{V} \quad (2.2)$$

เมื่อ reynolds number เป็นฐานของความเร็วเฉลี่ยและขนาดของท่อ การไหลแบบลามินาร์ภายในท่อ reynolds number ที่เกิดขึ้นเกิน 40,000 ที่ควบคุมด้วยความระมัดระวัง แต่ในทางวิศวกรรมจะใช้ประมาณ 2000 ของค่า reynolds number ที่สูงสุดสำหรับการไหลแบบลามินาร์ที่เกิดความแน่นอน การสันนิษฐานของท่อเกิดขึ้นตามการไหล หรือ ผันงของท่อมีความขรุขระ

สำหรับการไหลแบบลามินาร์ในอัตราส่วนของทิศทางต่อความสูงของทางน้ำไหล (อัตราส่วนของความกว้างของด้านบนและด้านล่างของแผ่นโลหะ) กับ profile ที่สม่ำเสมอที่ทางเข้าของความยาวทั้งหมด

$$\frac{L_E}{h} = 0.04 \text{ Re} \quad \text{Re} = \frac{Va}{V} \quad (2.3)$$

เมื่อ reynolds number เทียบกับความเร็วเฉลี่ย และระยะ a ระหว่างแผ่นโลหะความยาวของ inviscid core ประมาณ 1 : 3 ของความยาวทั้งหมดการไหลแบบลามินาร์จะมีค่า reynolds number ประมาณ 7,700 สำหรับในทางวิศวกรรมจะใช้ค่าที่ประมาณ 1,500 เป็นขีดจำกัดที่สูงสุดสำหรับการไหลแบบลามินาร์



รูปที่ 2.2 ความดันวารีชั้นของการไหลในท่อ Horizontal สำหรับ การไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลน

การไหลลามินาร์ในท่อกลม

ในกรณีนี้ จะศึกษาการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ ของการไหลแบบลามินาร์ที่เต็มรูปแบบที่เกิดขึ้นในท่อในรูปที่ 2.3 จะใช้ได้ 2 รูปแบบคือ ใช้ในส่วนประกอบหนึ่ง และ ทิศทางของ X สมการของ navier-Stokes เป็นสมการที่ใช้ได้ทั้งสองรูปแบบ

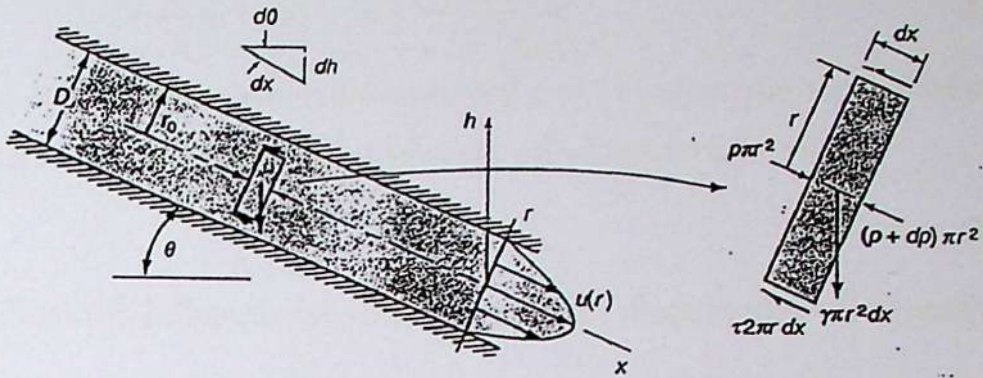
elemental approach

ปริมาตรของของไหลแสดงในรูปที่ 2.3 พิจารณาปริมาตรควบคุมจากส่วนหนึ่งของของไหลหรือพิจารณาผลของของไหลที่กระทำกับแรง ในการพิจารณาปริมาตรควบคุมจะใช้สมการโมเมนตัม $\sum F = m^0 (v_2 - v_1)$ ของมวลของไหล จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ดังนั้น velocity profile ที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในทิศทาง X จะเกิดโมเมนต์ดัดที่สมดุลกัน ทั้งภายนอกและภายใน และผลของแรงเป็นศูนย์ ดังนั้นความเร่งของมวลและผลลัพธ์ของแรงเป็นศูนย์จะได้

$$p\pi r^2 - (p+dp)\pi r^2 dx + \gamma\pi r^2 dx \sin \theta = 0 \quad (2.4)$$

โดยให้

$$\tau = -\frac{rd}{2dx} (p + \gamma h) \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.3 รูปแบบการไหลในท่อกลม

เมื่อให้ $\sin \theta = -dx/dh$ ทิศทางที่ตั้งฉากให้เป็น h ในสมการที่ 2.6 สามารถใช้ได้กับการไหลแบบลามินาร์ หรือเทอร์บิวเลนซ์ ความเค้นเฉือนแบบลามินาร์ จะสัมพันธ์กับความเร็วที่ลดลง กับความหนืด

$$-\mu \frac{du}{dr} = -\frac{r}{2} \frac{d}{dx}(p + \gamma h) \quad (2.6)$$

จากการอินทิเกรตความเร็วจะได้

$$u(r) = -\frac{r}{2} \frac{d}{dx}(p + \gamma h) \quad (2.7)$$

เมื่อ A เป็นค่าคงที่ของการอินทิเกรต $U = 0$ ที่ $r = r_0$ จะประมาณค่า A และหาค่าการกระจายความเร็ว จาก

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} (r_0^2 - r^2) \quad (2.8)$$

profile เป็นรูปพาราโบลา โดยอ้างอิงจากการไหลของ Poiseuille โดยที่ $\Delta P/L = -Dp/dx$

solving the navier-stoller equations

ในการไหลที่เป็นรูปแบบในท่อกลม เส้นทางการไหลที่ขนานกับผนังของท่อที่แสดง $V_r = V_\theta = 0$ และ $U = U(r)$ โดยอ้างอิงของสมการ โมเมนต์ จากฟิสิกส์ของทรงกระบอก (ที่ $U = V_z$ และฟิสิกส์ Z ใช้แทน X) ส่วนประกอบ X เป็นของสมการ Navier-Stolles

$$= -\frac{\partial p}{\partial x} + \gamma \sin \theta + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (2.9)$$

จัดให้ง่ายโดยให้ $\sin \theta = -dh/dx$ (ดูรูปที่ 3)

$$\frac{1}{u} \frac{\partial}{\partial x} (p + \gamma h) = \frac{1}{u} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (2.10)$$

เมื่อเทอม 1, 2 ในวงเล็บทางด้านขวามือของสมการที่ 2.10 ใช้ร่วมกับการพิจารณาทางซ้ายมือของฟังก์ชัน X ทางขวามือเป็นฟังก์ชันของ r ดังนั้น r และ x เป็นตัวแปรอิสระที่แปรผันได้

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du}{dr} \right) = \gamma \quad (2.11)$$

เมื่อ λ เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ U จะแปรตามค่าของ r เมื่อคูณทั้งสองข้างด้วย r และทำการอินทิเกรต

$$r \frac{du}{dr} = \frac{\lambda}{2} r^2 + A \quad (2.12)$$

กำจัด r ออกทั้งสองข้าง แล้วอินทิเกรต

$$u(r) = \frac{\lambda}{4} r^2 + A \ln r + B \quad (2.13)$$

ที่ค่าความเร็วคงที่ $r = 0$ โดยที่ $A = 0$ ที่ $r = r_0$, $U = 0$ แต่ B จัดรูปได้

$$\begin{aligned} u(r) &= \frac{\lambda}{2} (r^2 - r_0^2) \\ &= \frac{1}{4\mu} \frac{d}{dx} (p + \gamma h) (r^2 - r_0^2) \end{aligned} \quad (2.14)$$

เมื่อใช้ λ ทางซ้ายมือของสมการที่ 2.11 การกระจายความเร็วในรูปพาราโบลาบิลิกส์ สำหรับการไหลในท่อ อ้างอิงจาก poiseuille flow

pipe flow quantities

การศึกษาการไหลที่เต็มท่อในท่อกลม ลามินาร์ในท่อกลมมีการกระจายความเร็วคือ ‘

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} (r^2 - r_0^2) \quad (2.15)$$

ความเร็วเฉลี่ยหาได้จาก

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} = \frac{\int_0^2 u(r) 2\pi r \, dr}{\pi r_0^2} (r^2 - r_0^2) r \, dr \\ &= \frac{r_0^2}{8\mu} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} \end{aligned} \quad (2.16)$$

หรือแสดง ความดันครีฟ ΔP ในเทอมของความเร็วเฉลี่ย สำหรับท่อแนวนอน

$$\Delta P = \frac{8\mu V L_E}{r_0^2} \quad (2.17)$$

เมื่อให้ $\Delta P/L_E = -dp/dx$ ดังนั้น dp/dx เป็นค่าคงที่สำหรับการไหลที่เต็มท่อ ซึ่งความดันครีออฟมีปริมาณที่แน่นอน โดยที่ไม่เกิดความดันที่ลดลง ความเร็วสูงสุดเกิดขึ้นที่ $r=0$

$$u_{\max} = \frac{r_0^2}{4\mu} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.16

$$V = \frac{1}{2} u_{\max} \quad (2.19)$$

ความเค้นเฉื่อยหาได้จาก

$$\begin{aligned} J &= \mu \frac{du}{dr} \\ &= \frac{r}{2} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} \end{aligned} \quad (2.20)$$

ให้ $\tau = \tau_0$ ที่ $r = r_0$ ความดันครีออฟ ΔP ที่ความยาว L ของที่วัดในแนวนอน

$$\Delta P = \frac{2\tau_0 L}{r_0} \quad (2.21)$$

เมื่อให้ $dp/dx = -\Delta P/L$ และแนะนำให้ใช้ ฟริคชัน แฟกเตอร์ f เป็นตัวแปรที่ไร้มิติที่เลื่อนผ่านผนัง ดังนั้น

$$f = \frac{\tau_0}{\frac{1}{8}\rho V^2} \quad (2.22)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \Delta P = h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.23)$$

เมื่อ h_L คือ head loss เป็นหน่วยของความยาว โดยอ้างอิงจากสมการ drady-weisbach ร่วมกับสมการ 2.17 และ 2.23 จะได้

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2.24)$$

สำหรับการไหลแบบลามินาร์ที่เกิดขึ้นในท่อ แทนค่ากลับในสมการที่ 2.23 จะได้ Head loss ซึ่งเป็นสัดส่วนต่อความเร็วเฉลี่ยโดยตรง (ตั้งแต่เริ่มปล่อยออก) พลังงานเริ่มต้นโดยทั่วไป ผลที่ได้จะใช้ประโยชน์กับการไหลแบบลามินาร์ที่เต็มท่อ

การไหลแบบลามินาร์ในท่อสี่เหลี่ยม

พิจารณาของไหลคงที่ที่ไม่สามารถอัดตัวได้ซึ่งเป็นการไหลของของเหลวระหว่างท่อสี่เหลี่ยม ซึ่งการเคลื่อนที่ขึ้นจะขึ้นอยู่ด้วยความเร็ว U ที่แสดงในรูป เราจะได้ค่าการกระจายความเร็วจาก 2 วิธีการซึ่งสามารถใช้วิธีหนึ่งวิธีใดก็ได้

วิธีการแก้ปัญห

สถานะที่เกี่ยวกับปริมาณของความลึกในทิศทางแกน Z ดังในรูปภาพ ถ้าเรารวมแรงในทิศทางแกน x เราสามารถเขียนสมการได้

$$p dy - (p+dx) dy - \tau dx + (\tau + d\tau) dx + \gamma dx dy \sin \theta = 0 \quad (2.25)$$

ความดันคือค่าสมมุติที่ขึ้นอยู่กัค่าเบี่ยงเบนของค่า X และ Y ซึ่งไม่ค่อยมีความสำคัญนักซึ่งมันเป็นส่วนเล็ก ๆ ของการประยุกต์ใช้หลังจากการหารด้วย dx, dy ที่สำคัญคือจะทำให้เข้าใจง่าย

$$\frac{d\tau}{dy} = \frac{dp}{dx} - \gamma \sin \theta \quad (2.26)$$

มิติของ shear stress คือ

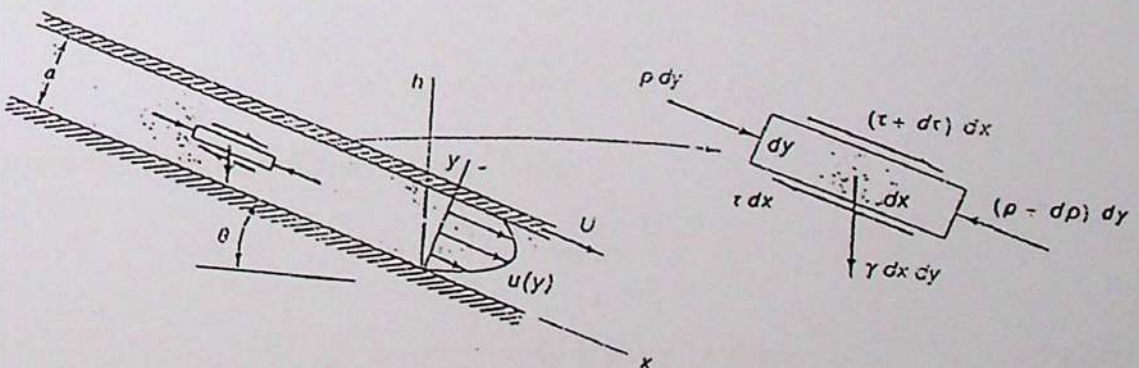
$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.27)$$

จากการใช้สมการนี้และ $\sin \theta = -dh/dx$ ผลลัพธ์ที่ได้คือ

$$\mu \frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{dp}{dx} + \gamma \frac{dh}{dx} = \frac{d}{dx} (p + \gamma h) \quad (2.28)$$

ซึ่งสามารถทำได้โดยการอินทิเกรต 2 ครั้ง (หารโดย μ ในครั้งแรก)

$$u(y) = \frac{y^2}{2\mu} \frac{d}{dx} (p + \gamma h) + Ay + B \quad (2.29)$$



รูปที่ 2.4 รูปแบบการไหลระหว่างท่อสี่เหลี่ยมขนาน

ทำการอินทิเกรต A และ B โดยค่าคงที่ ถ้าเรากำหนด $U=0$ ที่ $y=0$ และ $U=U$ ที่ $y=a$ เราจะได้

$$A = \frac{U}{a} - \frac{a}{2\mu} \frac{d}{dx} (p + \gamma h)(y^2 + ay) + \frac{U}{a} y \quad (2.31)$$

การเคลื่อนไหวที่เกิดจากแผ่นที่เคลื่อนเคลื่อนไหว (เส้นด้านข้าง) เราจะเรียกการไหลแบบนี้ว่า couette flow

อินทิเกรตสมการ navier-stollers

สำหรับรูปแบบการไหลในท่อสี่เหลี่ยมมันได้ทำการปรับปรุงสำหรับท่อสี่เหลี่ยม

ขนาน คือ $U = U(y)$ และ $V = W = 0$ สมการนี้ใช้สำหรับทิศทางแกน X

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \gamma \sin \theta \quad (2.32)$$

ถ้าจะให้แผ่นสี่เหลี่ยมเลื่อนขึ้นภายในจะต้องมีท่อที่ใหญ่มาก ๆ โดยทำการวิเคราะห์ที่ช่องทางจากผนัง จากสมการด้านบนซึ่งใช้ $\sin \theta$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{d}{dx} (p + \gamma h) \quad (2.33)$$

ทางด้านซ้ายมือส่วนใหญ่เป็นฟังก์ชันของ y และด้านขวามือส่วนใหญ่เป็นฟังก์ชันของ x เราจึงได้

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \lambda \quad (2.34)$$

λ คือค่าคงที่ โดย x และ y เป็นอิสระต่อกันซึ่งจะได้จากการอินทิเกรต

$$u(y) = \frac{\lambda}{2} y^2 + Ay + B \quad (2.35)$$

ดังนั้น A และ B เป็นค่าคงที่ของการอินทิเกรตถ้าเรากำหนดค่า $U=0$ ที่ $y=0$ และ $u=U$ และ $y=a$ จะได้

$$A = \frac{U}{a} - \frac{\lambda a}{2} \quad B = 0 \quad (2.36)$$

การใช้ค่าคงที่ที่เราสามารถเขียนตามสมการที่ได้คือ

$$\begin{aligned} u(y) &= \frac{\lambda}{2} (y^2 - ay) + \frac{U}{a} y \\ &= \frac{1}{2\mu} \frac{d}{dx} (p + \gamma h)(y^2 - ay) + \frac{u}{a} y \end{aligned} \quad (2.37)$$

ตามที่เราใช้ λ ทางด้านขวามือตามสมการที่ ซึ่งการไหลจะเป็นการกำหนดการเคลื่อนที่ (เส้นด้านข้าง) ซึ่งเราเรียกการไหลนี้ว่า couette flow

สถานะการไหล

จากผลลัพธ์ที่เราสามารถเขียนแสดงออกมาในรูปของการกระจายความเร็วระหว่างแผ่นที่ติดกัน ($U = 0$) ตามสมการ

$$u(y) = \frac{1}{2\mu} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} (y^2 - ay) \quad (2.38)$$

เราสามารถกระจายสมการนี้ตามอัตราการไหลต่อหน่วยคือ

$$\begin{aligned} Q &= \int u \, dA \\ &= \int_0^a \frac{1}{2\mu} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} (y^2 - ay) \\ &= -\frac{a^3}{12\mu} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} \end{aligned} \quad (2.39)$$

กำหนดให้ความเร็วเฉลี่ย V คือ

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{a \times 1} \\ &= -\frac{a^2}{12\mu} \frac{d(p + \gamma h)}{dx} \end{aligned} \quad (2.40)$$

เราสามารถแสดงความดันที่ถูกลดลงในเทอมของความเร็วเฉลี่ยสำหรับช่องแบบ horizontal คือ

$$\Delta P = \frac{12\mu V L_E}{a^2} \quad (2.41)$$

เราจะใช้ $\Delta P/L = -dp/dx$ โดย dp/dx คือค่าคงที่ของรูปแบบการไหล โดยปกติความเร็วสูงสุดจะเกิดที่ $y = a/2$ และจากสมการที่ คือ

$$u_{\max} = -\frac{a_0^2}{8\mu} \frac{dp}{dx} \quad (2.42)$$

ที่ความเร็วสูงสุดร่วมกับความเร็วเฉลี่ยจะได้

$$V = \frac{2}{3} u_{\max} \quad (2.43)$$

ดังนั้นความเค้นเฉือนหาได้จาก

$$\begin{aligned}\tau &= \mu \frac{du}{dy} \\ &= \frac{1}{2} \frac{dp}{dx} (2y - d_0)\end{aligned}\quad (2.44)$$

ที่ผนัง $y = 0$ รวมกันได้

$$\tau_0 = -\frac{a_0}{2} \frac{dp}{dx} \quad (2.45)$$

ที่ ΔP มากกว่าความยาว L ของท่อ horizontal หาได้จาก

$$\Delta P = \frac{2\tau_0}{a_0} L \quad (2.46)$$

$dy/dx = -\Delta/L$ สามารถทำให้แสดงออกมาในรูป

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = f \frac{L}{2a} \frac{V^2}{2g} \quad (2.47)$$

ถ้านำมาใช้จะมีผลกระทบ ซึ่งแฟกเตอร์ f หาได้จาก

$$f = \frac{\tau_0}{\frac{1}{8} \rho V^2} \quad (2.48)$$

ส่วนในเทอมของ head loss จากสมการ มาจาก

$$h_L = f \frac{L}{2a} \frac{V^2}{2g} \quad (2.49)$$

ถ้ารวมสมการ 2.41, 2.45 และ 2.47 เข้าด้วยกันเราจะหาได้จากสูตร

$$\begin{aligned}f &= \frac{8}{\rho V^2} \left(-\frac{a}{2} \frac{dp}{dx} \right) \\ &= \frac{8}{\rho V^2} \left(-\frac{a}{2} \right) \left(-\frac{12\mu V}{a^2} \right) = \frac{48\mu}{\rho a V} = \frac{48}{Re}\end{aligned}\quad (2.50)$$

ความต้องการการวัดการไหล

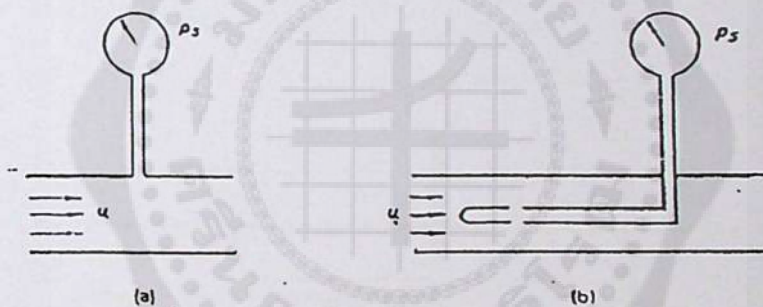
ใครก็ตามสามารถคิดถึงความต้องการทั่วไปสำหรับการวัดการไหล มันอาจเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องการทราบอัตราการไหลในท่อการนำการไหล หรือมันอาจต้องการทราบอัตราการไหลของเครื่องสูบ (pump)

อัตราการไหลยังเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับการคำนวณความเร็วในหัวฉีดที่ใช้ในเครื่อง เทอร์ไบน์ หรือ อุปกรณ์ดับเพลิงความเร็วของการไหลในท่อต้องคงที่ด้วยการออกแบบ

อุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อน เช่น หม้อน้ำ (boiler) และเครื่องทำความเย็น การวัดอัตราการไหลถูกนำไปใช้ในการแพทย์อีกด้วย เช่น ในการออกแบบลิ้นหัวใจ อุปกรณ์ถ่ายเลือด เป็นต้น

การวัดความเร็วของไหล (measurement of fluid velocity)

ถ้าความเร็วของการไหลทราบค่าการจ่าย (อัตราการไหล) สามารถถูกคำนวณโดยใช้สมการต่อเนื่อง pitot tube คือ อุปกรณ์ของของไหล เพื่อที่จะให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎีหลังจากทราบการทำงานของ pitot tube มันเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความดันรวม (static pressure) และความดันพลศาสตร์ (dynamic pressure) ความดันสถิตของของไหลถูกวัดโดยเครื่องซึ่งเคลื่อนตามของไหล อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกและความดันปกติถูกวัดผ่านรูเล็ก ๆ ในผนังที่จัดไว้ ดังนั้นจึงกระทบกระเทือนต่อของไหล ดังแสดงไว้ในรูป 2.5 (a) วิธีอื่นของการวัดความดันสถิตในหลอดความดันสถิต (static pressure tube) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (b)



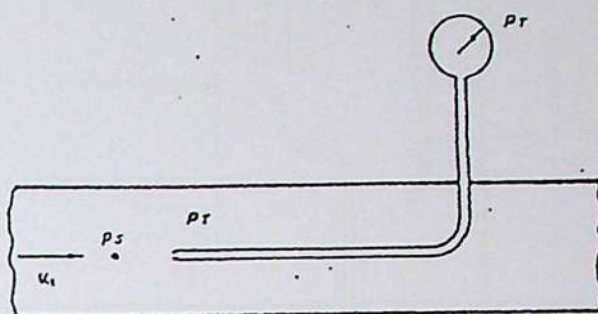
รูปที่ 2.5 วิธีวัดความดันสถิตของการไหลของของไหล 2 วิธี

เมื่อการไหลของของไหลถูกทำให้หยุดนิ่ง พลังงานจลน์ของมันถูกเปลี่ยนเป็น head ความดันสมบูรณ์ (equivalent pressure head) ความดันที่เพิ่มขึ้นนี้รู้จักกันว่าเป็นความดันพลศาสตร์

head ความดันพลศาสตร์ (dynamic pressure head) = $(u^2/2g)$ ของการไหลของของไหล

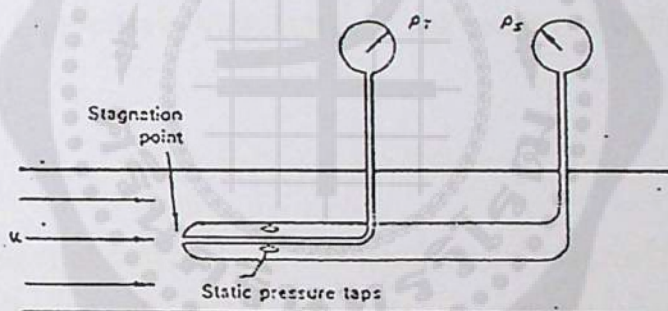
ความดันรวม (total pressure) ของของไหลในการเคลื่อนที่ที่ถูกให้นิยามว่าเป็นผลบวกของความดันสถิต และความดันพลศาสตร์ในค่าอื่น ๆ ความดันรวมคือ ความดันที่หาได้เมื่อความเร็วการไหลลดลงถึงศูนย์

Pitot tube



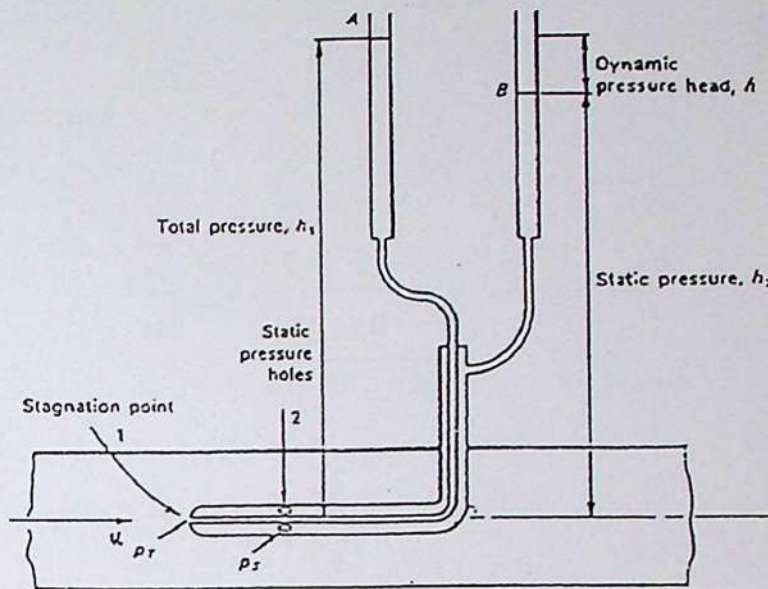
รูปที่ 2.6 การวัดความดันรวมของการไหลของของไหลโดยใช้ pitot tube

การวิเคราะห์ขั้นต้นของความดันกลศาสตร์ เท่ากับความแตกต่างของความดันรวมและความดันสถิต วิธีหนึ่งของการหาความดันกลศาสตร์ คือ วัดความดันรวม P_t และความดันสถิต P_s การใช้ถูกแสดง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การวัดความดันรวมและความดันสถิต

head ความดันแตกต่าง (differential pressure head) สามารถวัดโดยตรงโดยใช้ modified pitot-tube ดังรูปที่ 2.7 บางคราวเรียกว่า prandtl-tube ซึ่งเป็นของ ludwig prandtl ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส



รูปที่ 2.8 การวัด Head ความดันพลศาสตร์ (dynamic pressure head) โดยใช้ pitot-tube

ในเครื่องนี้ dynamic head เป็นความแตกต่างของแกนของเหลวในमानमीटरจะเห็นได้ว่าความดันที่ 1 ถูกกำหนดโดยแกนของเหลว h_1 และ head ความดันสถิตที่ 2 จะถูกกำหนดโดยแกนของเหลว h_2

pradtl-tube

เมื่อการเคลื่อนที่ของไหลที่ทำให้หยุดนิ่งความดันจะถูกสร้างเพิ่มขึ้นขนาดของความดันที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นสัดส่วนกับความเร็วของของไหล pitot tube ทำขึ้นโดยใช้หลักการนี้การที่จะวิเคราะห์รายละเอียดถูกกำหนดดังข้างล่างนี้

head ความดันรวม = head ความดันสถิต + head ความดันพลศาสตร์

ในรูปที่ 2.7 ถ้าสมการเบอร์นูลลีถูกนำไปใช้ระหว่าง 1 และ 2 ความเร็วที่ 1 และ 2 เพราะว่ามันเป็นจุดรวมความสัมพันธ์ตามลำดับถูกหาได้ ดังนี้

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (h_1 = h_2)$$

$$\text{head ความดันรวม} = \frac{P_1}{\rho g} \quad (p_1 = p_2)$$

$$\text{head ความดันสถิต} = \frac{P_2}{\rho g} \quad (p_2 = p_1)$$

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \frac{u^2}{2g}$$

จัดรูปใหม่

$$\begin{aligned} \frac{u^2}{g\rho} &= \frac{P_1}{g\rho} - \frac{P_2}{g\rho} = h_1 - h_2 \\ u &= \sqrt{2g(h_L - h_S)} \end{aligned}$$

head แตกต่าง

$$\begin{aligned} (h_1 - h_2) &= h \quad \text{ดังนั้น} \\ u &= \sqrt{2gh_v} \quad \text{m/s} \end{aligned}$$

โดย h = ความดันแตกต่างเป็น m ของการไหลของของไหล

மானமிடெர் (manometer)

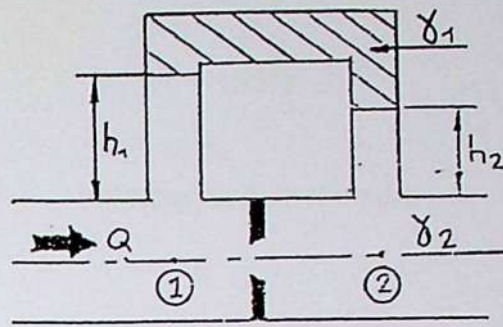
மானமிடெர்คือเครื่องมือวัดความดันของไหล ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดที่นำไปปัก
ยังจุดที่ต้องการทราบความดัน มีอยู่ด้วยกัน 4 รูปแบบ คือ

1. ไพโซมิเตอร์ (piezo meter tube)
2. มானมิเตอร์รูปตัวยู (u-tube manometer)
3. มானมิเตอร์วัดผลต่างความดัน (differential manometer)
4. มானมิเตอร์วัดความดันน้อย ๆ มี 2 ลักษณะ คือ

4.1 มானมิเตอร์แบบเอียง (inclined manometer)

4.2 ไมโครமானมิเตอร์ (micro manometer)

แต่ในจะขอกล่าวเพียงรูปเดียว คือ มானมิเตอร์รูปตัวยูซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความดัน
โดยใช้หลอดแก้วอเป็นรูปตัวยู แล้วใช้ของไหลที่มีน้ำหนักจำเพาะมากกว่าน้ำหนักจำเพาะของ
ของไหลที่ต้องการวัดความดันใส่ในหลอดแก้วรูปตัวยู ($r_2 > r_1$) ซึ่งสามารถวัดความดันได้โดยอ่านค่า
 h_1 และ h_2 ดังรูปที่ 2.9



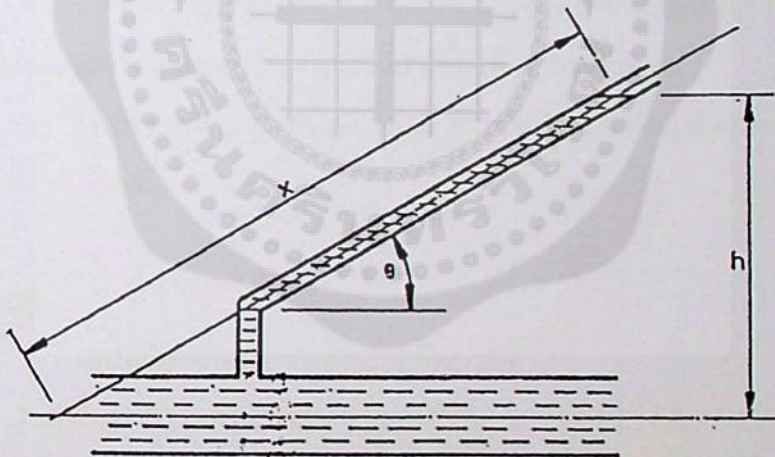
รูปที่ 2.9 แสดงความสูงของหลอดमानอมิเตอร์

मानอมิเตอร์แบบเอียง (inclined manometer)

จุดที่ใช้วัดความดันเล็ก ๆ ค่า ๆ และต้องการความละเอียดมาก ต้องใช้मानอมิเตอร์แบบเอียงที่มีความสัมพันธ์กับท่อ ดังรูปที่ 2.10

ความดันที่กึ่งกลางท่อ คำนวณได้จากความยาวที่วัด x ดังนี้

$$\begin{array}{lcl} P & = & \rho gh \quad \text{Pa} \\ \text{โดย } h & = & x \sin \theta \quad \text{mm, m} \end{array}$$



รูปที่ 2.10 मानอมิเตอร์แบบเอียง

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

การออกแบบ

การศึกษา velocity profile ที่เกิดขึ้นในท่อแต่ละชนิด จะต้องมีอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อช่วยในการศึกษาทดลอง velocity profile สมบูรณ์จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่อไปนี้

1. ถังเก็บน้ำ (source tank) ทำหน้าที่เก็บน้ำและจ่ายน้ำให้กับปั๊ม และรองรับน้ำจากถังเปรียบเทียบ
2. ปั๊มน้ำ (pump) ทำหน้าที่ดูดน้ำจากถังเก็บน้ำ เพื่อจ่ายให้กับระบบ และกำลังของปั๊มจะได้จากการคำนวณ
3. โรตاميเตอร์ (rotameter) ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลตามกำหนดในระบบ เพื่อทำการทดลอง
4. มาตรวัดความเร็วแบบ ปีโคท (pitot tube) ทำหน้าที่ความเร็วของของไหล ที่เกิดขึ้นในหน้าตัดนั้น เมื่อของไหลไหลผ่าน ความเร็วที่เกิดขึ้นได้จากการคำนวณ
5. ถังเปรียบเทียบ (calibrate tank) ทำหน้าที่เปรียบเทียบอัตราการไหลจริง กับอัตราการไหลจากโรตاميเตอร์

ขั้นตอนการคำนวณ

1. กำหนดอัตราการไหลสูงสุดที่ 2 ลิตร/นาที่
2. มีข้อต่อ 90 องศา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 mm. จำนวน 14 ตัว
3. มีข้อต่อสามทางฉาก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 mm. จำนวน 3 ตัว
4. มี grate valve จำนวน 2 ตัว
5. มี globe valve จำนวน 6 ตัว
6. ความสูงจากระดับของถังเก็บน้ำ (a) ถึงระดับผิวน้ำของถังเปรียบเทียบ (b) มีความสูง 1 เมตร

การสร้างชุดสาริตลักษณะการไหลนี้ จะใช้ท่อทั้งหมด 2 แบบ คือ

1. ท่อแบบกลม ขนาด 25 mm

2. ท่อแบบเหลี่ยม ขนาด 27 mm

ซึ่งจะทำการคำนวณให้เห็นทั้ง 2 แบบ

ที่อัตราการไหลสูงสุด 2 ลิตร/นาที

ใช้น้ำที่อุณหภูมิ 27° C

จากตารางคุณสมบัติของน้ำที่ 27° C จะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

น้ำอุณหภูมิ 27° C

จากตารางคุณสมบัติของน้ำที่ 27° C จะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned}\rho &= 996.45 \text{ Kg/m}^3 \\ \mu &= 0.862 \times 10^{-3} \text{ (N.S)/m}^2 \\ V &= 0.865 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ \gamma &= 9772.2 \text{ N/m}^3\end{aligned}$$

การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของท่อกลมขนาด 25 mm

หาความเร็วที่เกิดขึ้นจากอัตราการไหลที่ 2 ลิตร/นาที

$$\begin{aligned}\text{จาก } Q &= AV \\ Q &= \frac{2 \times 10^{-3}}{60} \\ &= 0.0333 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \\ A &= \frac{\pi}{4} \times 0.025^2 \\ &= 0.4908 \times 10^{-3} \text{ m}^2\end{aligned}$$

ได้ ความเร็ว

$$\begin{aligned}V &= \frac{0.0333 \times 10^{-3}}{0.4908 \times 10^{-3}} \\ &= 0.0679 \text{ m/s}\end{aligned}$$

หาค่า reynold number

$$\begin{aligned}\text{Re} &= \frac{VD}{\nu} \\ &= \frac{0.0679 \times 0.025}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 1962.89\end{aligned}$$

หาค่า friction factor

$$\begin{aligned} \text{จาก } f &= \frac{64}{\text{Re}} \\ &= \frac{64}{1962.89} \\ &= 0.0326 \end{aligned}$$

หาความยาว ท่อทั้งระบบ ที่เกิด profile

L_E คือ ความยาวท่อของระบบ

$$\begin{aligned} \frac{L_E}{D} &= 0.065 \text{ Re} \\ \text{ดังนั้น } L_E &= 0.065 \times 1962.89 \times 0.025 \\ &= 3.189 \text{ m} \end{aligned}$$

ความยาวท่อของระบบ คือ 3.189 m

เลือกใช้ท่อยาว 3.2 m

หาความดันตกคร่อม ท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8\mu V}{r_0^2} \\ r_0 \text{ คือ รัศมีของท่อ} \\ \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.0679}{0.025^2} \\ &= 2.996 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นที่ความยาว $L_E = 3.189 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 2.996 \times 3.189 \\ &= 9.556 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

หาความเร็วสูงสุด ที่เกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางท่อ

$$\begin{aligned} r_0 &= 0.0125 \text{ m} \\ \text{เมื่อ } \frac{d(P + \gamma h)}{dx} &= \frac{\Delta P}{L_E} \\ \text{จาก } u_{\max} &= \frac{r_0^2}{4\mu} \frac{d(P + \gamma h)}{dx} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{r_0^2 \Delta P}{4\mu L_E} \\
 &= \frac{0.0125^2}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} \times \frac{9.556}{3.189} \\
 &= 0.1355 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

หาความเร็วเฉลี่ย

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } V &= \frac{1}{2} u_{\max} \\
 &= \frac{1}{2} \times 0.1355 \\
 &= 0.0677 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

การคำนวณค่าต่างๆ ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 27×27 mm

หาความเร็วที่เกิดขึ้นจากอัตราการไหลที่ 2 ลิตร/นาที

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } Q &= AV \\
 Q &= \frac{2 \times 10^{-3}}{60} \\
 &= 0.0333 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \\
 A &= a \times a \\
 &= 0.027 \times 0.027 \\
 &= 0.729 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น } V &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0.0333 \times 10^{-3}}{0.729 \times 10^{-3}} \\
 &= 0.0457 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

หาค่า reynold number

$$\begin{aligned}
 \text{Re} &= \frac{Va}{\nu} \\
 &= \frac{0.0457 \times 0.027}{0.865 \times 10^{-6}}
 \end{aligned}$$

$$= 1427.24$$

หาค่า friction factor

$$\begin{aligned} \text{จาก } f &= \frac{48}{\text{Re}} \\ &= \frac{48}{1427.24} \\ &= 0.0336 \end{aligned}$$

หาความยาวท่อทั้งระบบที่เกิด profile

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{L_E}{a} &= 0.04 \text{ Re} \\ \text{ได้ } L_E &= 0.04 \times 1427.24 \times 0.027 \\ &= 1.5414 \text{ m} \end{aligned}$$

ความยาวท่อของระบบคือ 1.5414 m

เลือกใช้ท่อยาว 1.5 m

หาความดันที่ตกคร่อมที่เหลื่อม ; a = ความกว้างของท่อ

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12\mu v}{a^2} \\ &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.0457}{0.027^2} \\ &= 0.6485 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้น ที่ความยาว $L_E = 1.5414$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 1.5414 \times 0.6485 \\ &= 0.9995 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

หาความเร็วสูงสุดที่เกิดขึ้นที่หน้าตัด $y = a/2$

$$\begin{aligned} y &= 0.027/2 \\ &= 0.0135 \end{aligned}$$

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\Delta P}{L_E} ; a = 0.027 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } u_{\max} &= -\frac{a^2}{8\mu} \frac{dp}{dx} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -\frac{a^2 \Delta P}{8\mu L_E} \\
 &= \left[-\frac{0.027^2}{8 \times 0.862 \times 10^{-3}} \times \left(-\frac{0.9995}{1.5414} \right) \right] \\
 &= 0.0865 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

หาความเร็วเฉลี่ย

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{2}{3} u_{\max} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0.0685 \\
 &= 0.0457 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

แสดงการหาการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง

$$\text{จากสมการ } \sum H_F = \sum h_f + \sum h_m$$

หาการสูญเสียของท่อกลม

หาการสูญเสียหลัก จากการคำนวณที่ผ่านมาได้

$$V = 0.0679 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 1962.89$$

$$f = 0.0326$$

$$L_E = 3.189 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } h_n &= \frac{f L_E V^2}{D \cdot 2g} \\
 &= 0.0326 \times \frac{3.189}{0.025} \times \left(\frac{0.0679^2}{2 \times 9.807} \right)
 \end{aligned}$$

การสูญเสียในท่อทั้งระบบเท่ากับ 0.9775×10^{-3} เมตร

$$\text{จาก } h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

1. ที่ทางเข้าของระบบ $k = 0.5$

$$\begin{aligned}
 h_{m1} &= 0.5 \times \left[\frac{0.067^2}{2 \times 9.807} \right] \\
 &= 0.2351 \times 10^{-3} \text{ m}
 \end{aligned}$$

การสูญเสียของที่ทางเข้า 0.2351×10^{-3} m เมตร

2. ที่ท่อแยกสามทาง จำนวน 3 ตัว ในกรณีไหลเข้า 1 ทาง ไหลออก 2 ทาง ที่ 2 =

90°

โดยที่ $Q_1/Q = 0.5$ และ $D_2 = D_1$

ได้ค่า $K = 0.87$

และที่ $Q_1/Q = 0.5$ และ $D_2 = D_1$

ได้ค่า $K = 0.02$

2.1 ที่ทางไหลที่ Q_1/Q

$$\begin{aligned}
 h_{m2.1} &= 0.87 \times \left[\frac{0.0679^2}{2 \times 9.807} \right] \\
 &= 0.2045 \times 10^{-3} \text{ m}
 \end{aligned}$$

2.2 ที่ทางไหล Q_1/Q

$$\begin{aligned}
 h_{m2.2} &= 0.02 \times \left[\frac{0.0679^2}{2 \times 9.807} \right] \\
 &= 0.0047 \times 10^{-3} \text{ m}
 \end{aligned}$$

การสูญเสียของที่ท่อทางแยกสามทางเท่ากับ $0.2045 \times 10^{-3} \text{ m} + 0.0047 \times 10^{-3}$

$$h_{m2} = 0.2092 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

3. ที่ข้อมูล 90° จำนวน 14 ตัว เมื่อ $r/D = 0.5$ ได้ $k = 0.32$

$$\begin{aligned}
 h_{m3} &= 14 \times 0.32 \times \left[\frac{0.0679^2}{2 \times 9.81} \right] \\
 &= 1.0351 \times 10^{-3} \text{ m}
 \end{aligned}$$

การสูญเสียที่ข้องอ 90° เท่ากับ 1.0351×10^{-3} เมตร

4. ที่ Gate valve จำนวน 2 ตัว $K = 0.24$

$$\begin{aligned}
 h_{m4} &= 2 \times 0.24 \times \left[\frac{0.0679^2}{2 \times 9.807} \right] \\
 &= 0.1128 \times 10^{-3} \text{ m}
 \end{aligned}$$

การสูญเสียรองที่ gate valve เท่ากับ 0.1128×10^{-3} เมตร

5. ที่ globe valve จำนวน 6 ตัว $K = 8.5$

$$\begin{aligned} h_{m5} &= 6 \times 8.5 \times \left[\frac{0.0679^2}{2 \times 9.807} \right] \\ &= 0.011988 \text{ m} \end{aligned}$$

การสูญเสียรองที่ globe valve เท่ากับ 0.011988 เมตร

6. ที่ทางออกของระบบ $K = 1$

$$\begin{aligned} h_{m6} &= 1 \times \left[\frac{0.0679^2}{2 \times 9.807} \right] \\ &= 0.2351 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

การสูญเสียรองที่ท่อทางออก เท่ากับ 0.2351×10^{-3} เมตร

หาการสูญเสียของท่อสี่เหลี่ยม จัตุรัส

หาการสูญเสียหลัก จากการคำนวณที่ผ่านมาได้

$$V = 0.0457 \text{ m/s}$$

$$Re = 1427.24$$

$$L_E = 1.5414 \text{ m}$$

$$f = 0.0336$$

$$\text{จาก } h_{L2} = \frac{f L_E V^2}{2a \cdot 2g}$$

$$= 0.0336 \times \frac{1.5414}{0.027 \times 2} \times \left(\frac{0.0457^2}{2 \times 9.807} \right)$$

$$= 0.1021 \times 10^{-3} \text{ m}$$

การสูญเสียหลักในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสเท่ากับ 0.1021×10^{-3} เมตร

หาการสูญเสียรอง

1. ที่ทางเข้าของระบบ $k = 0.5$

$$h_{m1} = 0.5 \times \left(\frac{0.0457^2}{2 \times 9.807} \right)$$

$$= 0.05768 \times 10^{-3} \text{ m}$$

การสูญเสียรองที่ทางเข้าเท่ากับ 0.05768×10^{-3} เมตร

2. ที่ข้อต่อ elbow 45° $K = 0.32$

$$\begin{aligned} h_{m2} &= 2 \times 0.32 \times \left(\frac{0.0457^2}{2 \times 9.807} \right) \\ &= 0.06814 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

การสูญเสียรองที่ข้อต่อ elbow 45° เท่ากับ 0.06814×10^{-3} เมตร

3. ที่ทางออกของระบบ $K = 1$

$$\begin{aligned} h_{m3} &= 1 \times \left(\frac{0.0457^2}{2 \times 9.807} \right) \\ &= 0.1154 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

การสูญเสียรองที่ทางออก ของระบบ เท่ากับ 0.1154×10^{-3} เมตร

หาการสูญเสียของระบบ

$$\begin{aligned} \text{จาก } \sum H_F &= \sum h_f + \sum h_m \\ \sum h_f &= (0.9775 \times 10^{-3}) + (0.1021 \times 10^{-3}) \\ &= 1.0796 \times 10^{-3} \text{ m} \\ \sum h_m &= (0.235 \times 10^{-3}) + (0.2045 \times 10^{-3}) \\ &= (1.0351 \times 10^{-3}) + (0.1128 \times 10^{-3}) \\ &= (0.011988) + (0.2351 \times 10^{-3}) \\ &= (0.05768 \times 10^{-3}) + (0.06814 \times 10^{-3}) \\ &= (0.1154 \times 10^{-3}) \\ &= 0.01405172 \\ \text{ได้ } \sum H_F &= 1.0796 \times 10^{-3} + (0.01405172) \\ &= 0.01513132 \end{aligned}$$

ที่ระดับผิวน้ำ จากถังเก็บน้ำ (a) ถึงระดับผิวน้ำของถังเปรียบเทียบ (b) มีความสูงเท่ากับ 1 เมตร จากสมการ

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + z_a + H_L = \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + z_b$$

เมื่อถึงทั้ง 2 เปิดสู่บรรยากาศได้

$$\begin{aligned} H_L &= Z_B + \sum H_f \\ &= 1 + 0.1513132 \end{aligned}$$

เฮดรวมทั้งหมดเท่ากับ 1.01513132 เมตร

หาคำลังของ pump

การหาคำลังของปั๊มที่กระทำกันของเหลวให้ไหลผ่านระบบด้วยอัตราการไหลที่

กำหนด

$$\begin{aligned} W_{hp} &= \frac{Q \times H_L}{273} \\ Q &= 0.12 \text{ m}^3/\text{hr} \\ W_{hp} &= \frac{0.12 \times 0.15131432}{273} \\ &= 0.06651 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

กำลังของปั๊มที่ได้จากต้นกำลัง เพื่อขับของไหลให้ผ่านระบบ ที่อัตราการไหลที่

กำหนด โดยให้ประสิทธิภาพของปั๊มเท่ากับ 80% ที่อัตราการไหล 120 ลิตร/ชั่วโมง

$$\begin{aligned} B_{hp} &= \frac{W_{hp}}{\eta_p} \\ &= \frac{0.06651 \times 10^{-3}}{0.8} \\ &= 0.083139 \text{ hp} \end{aligned}$$

บทที่ 4

อุปกรณ์ ขั้นตอนการทดลอง และผลการทดลอง

ขนาดและรายละเอียดของอุปกรณ์การทดลอง

1. โรตاميเตอร์ (rota meter) มีอัตราการไหลช่วง 0.4-4 ลิตร/นาที
2. มาตรวัดแบบ pitot tube ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 mm
3. แผงมานอมิเตอร์ (manometer) มีความสูง 40 cm
4. ปั้มน้ำขนาด 0.5 Hp อัตราการไหลสูงสุด 40 ลิตร/นาที
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ถังเก็บน้ำ (source tank) มีความจุ 200 ลิตร
7. ถังเปรียบเทียบกับ (calibrate tank) มีความจุ 40 ลิตร

ขั้นตอนการทดลอง

1. เติมน้ำให้กับถังเก็บน้ำให้มีปริมาณที่พอเพียงกับการทดลอง
2. เปิด gate valve ตัวที่ 1 ตรงหน้าทางออกของปั้ม
3. เปิด valve ที่ท่อที่ต้องการจะทดสอบ
4. ปิด valve ตัวอื่น ๆ ที่ยังไม่ได้ทดลอง
5. ปรับระดับที่ pitot tube ลงครั้งละ 2.5 mm
6. เปิดสวิตซ์ให้ปั้มทำงาน
7. เปิด globe valve เพื่อระบายน้ำออก เพื่อลดแรงดันน้ำ
8. ปรับ gate valve เพื่อให้ได้ระดับอัตราการไหลที่ต้องการ
9. ดูระดับน้ำที่ระดับ calibrat ขึ้นถึงศูนย์ให้เริ่มจับเวลา เพื่อหาอัตราการไหลจริง

จากถังเปรียบเทียบกับ

10. เมื่อน้ำขึ้นถึงระดับ 5 ลิตร ดูระดับความสูงในหลอดมานอมิเตอร์
11. จดบันทึกค่าระดับความสูงของมานอมิเตอร์
12. ปิดสวิตซ์ปั้มน้ำ
13. เปิด globe valve ตัวล่าง เพื่อระบายน้ำออกจากถังเปรียบเทียบกับ และระบายน้ำ

ออกจากหลอดมานอมิเตอร์ ไปเก็บไว้ยังถังเก็บน้ำ

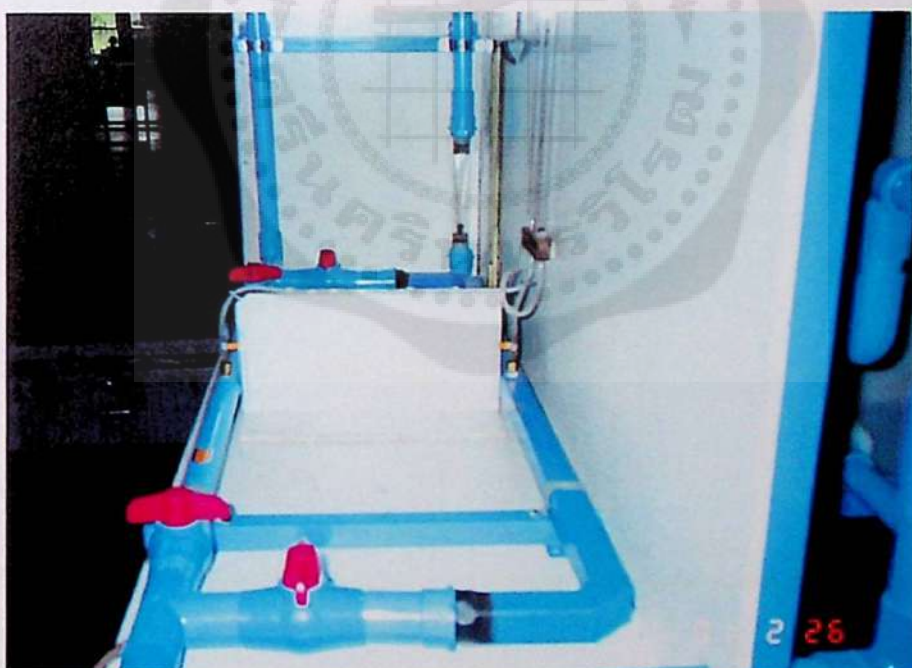
14. ทำซ้ำข้อ 2 ถึง ข้อ 11 โดยเปลี่ยนอัตราการไหลต่าง ๆ ประมาณ 5 ค่า โดยปรับที่ gate valve ของโรตารีเตอร์

15. นำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลระยะทางที่ทำการวัดค่า , ค่าความเร็วที่ได้





รูปที่ 4.1 แสดงชุดสาริตลักษณะการไหลภายในท่อ



รูปที่ 4.2 แสดงมาตรวัดแบบ Pitot-tube

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลองในการทดลองวัดลักษณะการไหลภายในท่อกลมอุณหภูมิของน้ำ 27^oC
ตารางการทดลองครั้งที่ 1

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อกลมที่ระยะ y(mm)								
1.2 LPM		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
(mm)										
เสดความดันรวม		28.8	29.2	29.6	29.9	30	30.5	30.1	29.8	29.6
(mm)										
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	259.8	258.6	256.8	255.2	253.2	253.2	254.4	256.4	258

ตารางการทดลองครั้งที่ 2

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อกลมที่ระยะ y(mm)								
1.4 LPM		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
(mm)										
เสดความดันรวม		28.2	28.6	29	29.3	29.6	29.9	29.6	29.2	29
(mm)										
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	219.4	216.8	214	213.4	212.9	212.2	212.8	213.6	215.2

ตารางการทดลองครั้งที่ 3

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อกลมที่ระยะ y(mm)								
1.6 LPM		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
(mm)										
เสดความดันรวม		28	28.4	28.6	29	29.3	29.7	29.4	29	28.5
(mm)										
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	190.8	190	189	188.6	187.8	187.2	188.4	187.6	188.4

ตารางการทดลองครั้งที่ 4

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อกลมที่ระยะ y(mm)								
1.8 LPM		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
(mm)										
เสดความดันรวม		27.6	27.9	28.3	28.5	28.9	29.4	28.8	28.5	28.2
(mm)										
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	169.4	168.5	167.6	166.8	166.4	165.3	166.3	166.8	167.4

ตารางการทดลองครั้งที่ 5

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อกลมที่ระยะ y(mm)								
2.0 LFM		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
(mm)										
เสดความดันรวม		25.5	25.9	26.3	26.6	26.8	27.2	26.7	26.3	25.8
(mm)										
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	147.4	146.4	145	144.2	143.8	142.8	143.2	144	144.8

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองในการทดลองวัดลักษณะการไหลภายในท่อเหลี่ยมจัตุรัสอุณหภูมิของน้ำ 27°C

ตารางการทดลองครั้งที่ 1

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อเหลี่ยมที่ระยะ y(mm)								
1.2 LPM		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต (mm)		15	15	15	15	15	15	15	15	15
เสดความดันรวม (mm)		31.2	31.5	31.9	32.2	32.5	38.9	32.4	32.2	31.9
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	256.8	252.7	248.6	247.5	246	243	243.6	247	250.2

ตารางการทดลองครั้งที่ 2

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อเหลี่ยมที่ระยะ y(mm)								
1.4 LPM		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
(mm)										
เสดความดันรวม		30.8	31.1	31.5	31.9	32	32.5	32.2	32.1	31.7
(mm)										
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	213	212.2	211.8	211.2	210.8	210	210.4	211	211.6

ตารางการทดลองครั้งที่ 3

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อเหลี่ยมที่ระยะ y(mm)								
1.6 LPM		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
(mm)										
เสดความดันรวม		30	30.4	30.8	31.2	31.5	31.9	31.7	31.4	31.1
(mm)										
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	186	185.2	184.8	184.2	182.2	181.4	182	183.8	186.2

ตารางการทดลองครั้งที่ 4

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อเหลี่ยมที่ระยะ y(mm)								
1.8 LPM		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8
(mm)										
เสดความดันรวม		29.8	30.2	30.5	30.8	31.1	31.5	31.3	30.9	30.6
(mm)										
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	2	5
	Sec	163.2	162.6	162	161.4	161.2	160.8	161.4	162	162.8

ตารางการทดลองครั้งที่ 5

อัตราการไหล		ระยะที่วัดลักษณะการไหลภายในท่อเหลี่ยมที่ระยะ y(mm)								
(LPM)		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
เสดความดันสถิต		22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1
(mm)										
เสดความดันรวม		29	29.4	29.8	30.1	30.5	31	30.7	30.5	30.1
(mm)										
อัตราการ	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ไหลจริง	Sec	144.6	143.6	142.8	141.9	141.6	129.8	140	140.6	141.8

ตัวอย่าง การคำนวณของท่อกลม

น้ำที่ใช้ทดสอบมีอุณหภูมิเท่ากับ 27°C

จากตารางภาพผนวกที่ 1 มีคุณสมบัติดังนี้

$$\begin{aligned}
 \rho &= 996.45 \text{ kg/m}^3 \\
 \nu &= 0.865 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\
 \mu &= 0.862 \times 10^{-3} \text{ (N.s)/m}^2 \\
 \gamma &= 9772.2 \text{ N/m}^3
 \end{aligned}$$

จุดวัดที่ 1

ที่อัตราการไหล 1.2 ลิตรต่อวินาที

จากผลการทดลองโดยที่ pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 0.25 \text{ mm}$ ซึ่งวัดจากผนังท่อ

ได้

$$\text{head ความดันสถิต}(h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันรวม}(h_t) = 28.8 \text{ mm}$$

จากสมการ เฮอร์นูลี่ แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันสถิต เป็นจุดรวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งमानอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงของน้ำในमानอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในमानอมิเตอร์ของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$h_t = 0.0288 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0144 \text{ m}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$h_s = 0.0142 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0071 \text{ m}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\Delta P = 996.45 \times 9.807 \times (0.0144 - 0.0071)$$

$$= 71.3369 \text{ N/m}^2$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_1 - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0144 - 0.0071)} \\ &= 0.3784 \text{ m/s} \end{aligned}$$

จากการจับเวลาที่ถึงเปรียบเทียบกับปริมาณการไหลของน้ำที่ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.33 นาที หรือ 259.8 วินาที โดยที่ Pitot tube อยู่ที่ระยะ $y = 0.25 \text{ mm}$ ซึ่งวัดจากผนังท่อ ซึ่งบอกความหมายของ Pitot tube ที่อัตราการไหล 1.2 ลิตรต่อนาที

r คือ ตำแหน่งที่เกิด Profile ของท่อซึ่งจะได้ค่าดังนี้ อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.33} \\ &= 1.1547 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \frac{1.1547}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0193 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.0245^2 \\ &= 0.6002 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.0193 \times 10^{-3}}{0.6002 \times 10^{-3}} \\ &= 0.0322 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned} Re &= \frac{VD}{\nu} \\ &= \frac{0.0322 \times 0.025}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 930.64 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8\mu V}{r_0^2} \\
 &= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.0322}{0.0125^2} \\
 &= 1.4211 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

ที่ความยาวของท่อที่ 3.189 มีความดัน

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 1.4211 \times 3.189 \\
 &= 4.5319 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีในการวัดลักษณะการไหลที่ระยะ $y = 0.25 \text{ mm}$ และ $r_0 = 12.5 \text{ mm}$ ระยะที่เกิด Profile

$$\begin{aligned}
 r &= r_0 - y \\
 &= 0.0125 - 0.0025 \text{ m} \\
 &= 0.0123 \text{ m}
 \end{aligned}$$

จากสมการ

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \left(-\frac{dp}{dx} (r^2 - r_0^2) \right)$$

โดยที่ $\frac{dp}{dx} = -\frac{\Delta P}{L_E}$

จะได้

$$\begin{aligned}
 u(r) &= \frac{1}{4\mu} \left(-\frac{\Delta P}{L_E} (r^2 - r_0^2) \right) \\
 &= \frac{1}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-1.4211)(0.0123^2 - 0.0125^2) \\
 &= 0.00204 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ $y = 0.25$ มีค่า $0.00204 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{-0.3784 - 0.00204}{0.3784} \right] \times 100\% \\
 &= 99.460\%
 \end{aligned}$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 2

จากผลการทดลองโดยที่ Pitot tube อยู่ตำแหน่ง $y = 2.5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อนาที จะได้

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 29.2 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

จากสมการ เฟอร์นูลี แทนค่า Head ความดันรวม และ head ความดันสถิต เป็นจุดรวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

$$\text{Head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งमानอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในमानอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในमानอมิเตอร์ของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_t &= 0.0292 \sin 30^\circ \\ &= 0.0146 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.0142 \sin 30^\circ \\ &= 0.0071 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.0146 - 0.0071) \\ &= 73.3138 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_t - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0146 - 0.0071)} \\ &= 0.3786 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube อยู่ที่ระยะ $y = 2.5 \text{ mm}$ ตามแนวความลึกโดยทำการเปรียบเทียบกับ อัตราการไหลที่ทำการ calibrate tank ที่ 5 ลิตรใช้เวลา 4.32 นาที หรือ 258.6 วินาที จะได้อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{5}{432} \\ &= 1.1574 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \frac{1.1574}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.01929 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.002^2 \\ &= 0.3142 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.01929 \times 10^{-3}}{0.3142 \times 10^{-3}} \\ &= 0.0614 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned} Re &= \frac{VD}{\nu} \\ &= \frac{0.0614 \times 0.002}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 1419.5 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{8\mu V}{r_0^2}$$

$$= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.0614}{0.0125^2}$$

$$= 2.2098 \text{ Pa/m}$$

ค่าความยาวท่อ 3.189 จะมีความดันที่

$$\Delta P = 2.2098 \times 3.189$$

$$= 8.6417 \text{ N/m}^2$$

ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 2.5 \text{ mm}$ และ $r_0 = 12.5 \text{ mm}$

$$\text{ได้ } r = r_0 - y$$

$$= 0.0125 - 0.0025$$

$$= 0.01 \text{ m}$$

จากสมการ

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \left(-\frac{dp}{dx} (r^2 - r_0^2) \right)$$

$$\text{เมื่อ } \frac{dP}{dx} = -\frac{\Delta P}{L_E}$$

จะได้

$$u(r) = \frac{1}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-2.2098)(0.01^2 - 0.0125^2)$$

$$= 0.0361 \text{ m/s}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 2.5 \text{ mm}$ มีความเร็วเท่ากับ 0.0361 m/s

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} = \left[\frac{0.3836 - 0.0361}{0.3836} \right] \times 100\%$$

$$= 90.589 \%$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 3

จากผลการทดลอง Pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร
ต่อวินาที จะได้

$$\text{Head ความดันรวม } (h_t) = 29.6 \text{ mm}$$

$$\text{Head ความดันสถิต } (h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

จากสมการ เพอร์นูลี แทนค่า Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต เป็นจุด
รวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

Head ความดันพลศาสตร์ = Head ความดันรวม — Head ความดันสถิต

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งமானอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงใน
 มานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจาก
 สมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ Head ความดันรวม
 และ Head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g (h_t - h_s)$$

ได้ Head ความดันรวม

$$h_t = 0.0296 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0148 \text{ m}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$h_s = 0.0142 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0071 \text{ m}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\Delta P = 996.45 \times 9.807 \times (0.0148 - 0.0071)$$

$$= 75.2688 \text{ N/m}^2$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$u = \sqrt{2g(h_t - h_s)}$$

$$= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0148 - 0.0071)}$$

$$= 0.3986 \text{ m/s}$$

Pitot tube อยู่ที่ระยะ $y = 5 \text{ mm}$ ตามแนวความลึกโดยทำการเปรียบเทียบกับอัตรา
 การไหลที่ทำการ Calibrate tank ที่ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.28 นาที หรือ 256.8 วินาที จะได้อัตราการไหล
 จริง

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{5}{4.28} \\
 &= 1.1682 \text{ ลิตรต่อนาที} \\
 &= \frac{1.1682}{(1000 \times 60)} \\
 &= 0.0195 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\
 \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.015^2 \\
 &= 0.1767 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 \text{ได้ } V &= \frac{0.0195 \times 10^{-3}}{0.1767 \times 10^{-3}} \\
 &= 0.1104 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{VD}{\nu} \\
 &= \frac{0.1104 \times 0.015}{0.865 \times 10^{-6}} \\
 &= 1914.45
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8\mu v}{r_0^2} \\
 &= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.1104}{0.0125^2} \\
 &= 4.8893 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

ที่ความยาวท่อ 3.189 m จะมีความดันอยู่

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 4.8893 \times 3.189 \\
 &= 15.5922 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 5 \text{ mm}$ และ $r_0 = 12.5 \text{ mm}$ ได้ $r = 12.5 - 5 = 7.5$

mm

จากสมการ

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \left(-\frac{dP}{dx} (r^2 - r_0^2) \right)$$

เมื่อ $\frac{dP}{dx} = -\frac{\Delta P}{L_E}$

จะได้

$$u(r) = \frac{1}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-4.8893)(0.0075^2 - 0.0125^2)$$

$$= 0.1418 \text{ m/s}$$

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} = \left[\frac{0.3986 - 0.1418}{0.3986} \right] \times 100\%$$

$$= 64.425\%$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 4

จากผลการทดลอง Pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 7.5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อนาที จะได้

$$\text{Head ความดันรวม } (h_t) = 29.9 \text{ mm}$$

$$\text{Head ความดันสถิต } (h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

จากสมการ เพอร์นูลี แทนค่า Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต เป็นจุดรวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

$$\text{Head ความดันพลศาสตร์} = \text{Head ความดันรวม} - \text{Head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งมานอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในมานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_1 - h_2)$$

ได้ Head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_1 &= 0.0299 \sin 30^\circ \\ &= 0.01495 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_2 &= 0.0142 \sin 30^\circ \\ &= 0.0071 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.01495 - 0.0071) \\ &= 76.7351 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.01495 - 0.0071)} \\ &= 0.4924 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube อยู่ที่ระยะ $y = 7.5 \text{ mm}$ ตามแนวความลึกโดยทำการเปรียบเทียบกับ อัตราการไหลที่ทำการ Calibrate tank ที่ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.25 นาที หรือ 255.2 วินาที จะได้อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.25} \\ &= 1.1755 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ &= \frac{1.1755}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0196 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.0785 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 \text{ได้ } V &= \frac{0.0196 \times 10^{-3}}{0.0785 \times 10^{-3}} \\
 &= 0.2495 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{VD}{V} \\
 &= \frac{0.2495 \times 0.01}{0.865 \times 10^{-6}} \\
 &= 2884.39
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8\mu V}{r_0^2} \\
 &= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.2495}{0.0125^2} \\
 &= 11.0115 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

ที่ความยาวท่อ 3.189 m จะมีความดันอยู่

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 11.0115 \times 3.189 \\
 &= 35.1157 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 7.5 \text{ mm}$ และ $r_0 = 12.5 \text{ mm}$ ได้ $r = 12.5$

$$\begin{aligned}
 \text{ได้ } r &= r_0 - y \\
 &= 0.0125 - 0.0075 \\
 &= 0.005 \text{ m}
 \end{aligned}$$

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 u(r) &= \frac{1}{4\mu} \left(-\frac{dP}{dx} (r^2 - r_0^2) \right) \\
 \text{เมื่อ } \frac{dP}{dx} &= -\frac{\Delta P}{L_E}
 \end{aligned}$$

จะได้ความเร็ว

$$u(r) = \frac{1}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-11.0115)(0.005^2 - 0.0125^2)$$

$$= 0.4192 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.4924 - 0.4192}{0.4924} \right] \times 100\% \\ &= 14.866\% \end{aligned}$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 5

จากผลการทดลอง pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 10 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร
ต่อวินาที จะได้

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 30 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

จากสมการ เฟอร์นูลี แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันสถิต เป็นจุด
รวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{Head ความดันสถิต}$$

$$\begin{aligned} \frac{u^2}{2g} &= \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g} \\ \frac{u^2}{2g} &= h_t - h_s \end{aligned}$$

การติดตั้งमानोमीटरติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงใน
मानोमीटरน้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจาก
สมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในमानोमीटरของ head ความดันรวม
และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_t &= 0.030 \sin 30^\circ \\ &= 0.015 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.0142 \sin 30^\circ \\ &= 0.0071 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.015 - 0.0071) \\ &= 77.2238 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_1 - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0115 - 0.0071)} \\ &= 0.5836 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube อยู่ที่ระยะ $y = 10 \text{ mm}$ ตามแนวความลึก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริงที่จับเวลาที่ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.22 นาที หรือ 253.2 วินาที ตำแหน่งที่เกิด Profile

$$\begin{aligned} r &= r_o - y \\ &= 0.0125 - 0.01 \text{ m} \\ &= 0.0025 \text{ m} \end{aligned}$$

จะได้อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.22} = 1.1848 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ &= \frac{1.1848}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0197 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 \\ &= 0.0785 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ได้ } V &= \frac{0.0197 \times 10^{-3}}{0.0785 \times 10^{-3}} \\ &= 0.2509 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{VD}{\nu} \\
 &= \frac{0.2509 \times 0.01}{0.865 \times 10^{-6}} \\
 &= 2901.2
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8\mu V}{r_0^2} \\
 &= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.2509}{0.0125^2} \\
 &= 11.0733 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

ที่ความยาว 3.189 จะเกิดความดัน

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 11.0733 \times 3.189 \\
 \Delta P &= 35.3128 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$

ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในการวัดลักษณะการไหลที่ระยะ $y = 10 \text{ mm}$ ได้ $r = 0.0025$

m จากสมการ

$$\begin{aligned}
 u(r) &= \frac{1}{4\mu} \left[-\frac{dP}{dx} \right] (r^2 - r_0^2) \\
 \text{โดยที่ } -\frac{dP}{dx} &= -\frac{\Delta P}{L_E}
 \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
 u(r) &= \frac{1}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-11.0733)(0.0025^2 - 0.0125^2) \\
 &= 0.4817 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ $y = 10 \text{ mm}$ มีความเร็วเท่ากับ 0.4817 m/s

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\%Error)} &= \left[\frac{0.5836 - 0.4817}{0.5836} \right] \times 100\% \\
 &= 17.460 \%
 \end{aligned}$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 6

จากผลการทดลองโดยที่ pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 12.5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อนาที จะได้

$$\text{Head ความดันรวม } (h_t) = 30.5 \text{ mm}$$

$$\text{Head ความดันสถิต } (h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

จากสมการ เพรอว์นูลี แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันสถิต เป็นจุดรวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งமானอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในมานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$h_t = 0.0305 \sin 30^\circ$$

$$= 0.01525 \text{ m}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$h_s = 0.0142 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0071 \text{ m}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\Delta P = 996.45 \times 9.807 \times (0.01525 - 0.0071)$$

$$= 79.6676 \text{ N/m}^2$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_t - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.01525 - 0.0071)} \\ &= 0.6399 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube อยู่ทีในแนวความลึกที่ $y = 12.5 \text{ mm}$ โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริงที่จับเวลาที่ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.22 นาที หรือ 253 วินาที จะได้อัตราการไหลจริงที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.22} \\ &= 1.1848 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \frac{1.1848}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0197 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.009^2 \\ &= 0.0636 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.0197 \times 10^{-3}}{0.0636 \times 10^{-3}} \\ &= 0.3097 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned} Re &= \frac{VD}{\nu} \\ &= \frac{0.3097 \times 0.009}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 3222.81 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{8\mu v}{r_0^2}$$

จะได้

$$\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.3097}{0.0125^2}$$

$$= 13.6684 \text{ Pa/m}$$

ที่ความยาวท่อ 3.189 จะเกิดความดัน

$$\Delta P = 13.6684 \times 3.189$$

$$= 43.5886 \text{ N/m}^2$$

จากสมการ

$$u(r)_{\max} = \frac{r_0^2}{4\mu} \frac{d(P + rh)}{dx}$$

โดยที่ $\frac{d(P + rh)}{dx} = \frac{\Delta P}{L_E}$

ดังนั้น ความเร็วที่เกิดขึ้น $r = r_0 = 12.5 \text{ mm}$ เป็นความเร็วสูงสุด
จะได้

$$u(r)_{\max} = \frac{0.0125^2}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} \times 13.6684$$

$$= 0.6193 \text{ m/s}$$

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} = \left[\frac{0.6399 - 0.6193}{0.6399} \right] \times 100\%$$

$$= 3.219 \%$$

จุดวัดที่ 7

จากผลการทดลองโดยที่ pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 15 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อนาที จะได้

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 30.1 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

จากสมการ เฮอร์นูลี แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันสถิต เป็นจุดรวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_1 - h_2$$

การติดตั้งமானอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงใน
 มานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจาก
 สมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ Head ความดันรวม
 และ Head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_1 - h_2)$$

ได้ Head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_1 &= 0.0301 \sin 30^\circ \\ &= 0.0151 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_2 &= 0.0142 \sin 30^\circ \\ &= 0.0071 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.0151 - 0.0071) \\ &= 77.7126 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในต่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0151 - 0.0071)} \\ &= 0.5794 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube วัดที่ระยะ $y = 15 \text{ mm}$ โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริงที่จับเวลาที่
 5 ลิตร ใช้เวลา 4.24 นาทีหรือ 254.4 วินาที ระยะที่วัด Profile

$$\begin{aligned} r &= r_0 - y \\ &= 12.5 - 15 \\ &= -2.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad = 2.5 \text{ mm}$$

จะได้อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.24} = 1.1792 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ &= \frac{1.1792}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0197 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 \text{ m}^2 \\ &= 0.0785 \times 10^{-3} \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.0197 \times 10^{-3}}{0.0785 \times 10^{-3}} \\ &= 0.2509 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned} Re &= \frac{VD}{\nu} \\ &= \frac{0.2509 \times 0.01}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 2901.22 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8\mu v}{r_0^2} \\ &= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.2509}{0.0125^2} \\ &= 11.0733 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

ที่ท่อยาว 3.189 มีความดันตกคร่อม

$$\begin{aligned} \Delta P &= 11.0733 \times 3.189 \\ &= 35.3128 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 15 \text{ mm}$ ได้ $r = 2.5 \text{ mm}$ จากสมการจะได้ความเร็ว

ตามทฤษฎี

$$\begin{aligned}
 u(r) &= \frac{1}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} [-11.0733] (0.0025^2 \times 0.0125^2) \\
 &= 0.4817 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ความที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 15 \text{ mm}$ ได้ความเร็วเท่ากับ 1.9255 m/s

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.5794 - 0.4817}{0.5794} \right] \times 100\% \\
 &= 16.862 \%
 \end{aligned}$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 8

จากผลการทดลองโดยที่ Pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 17.5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ $1.2 \text{ ลิตร ต่อ นาที}$ จะได้

$$\text{Head ความดันรวม } (h_t) = 29.8 \text{ mm}$$

$$\text{Head ความดันสถิต } (h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

จากสมการ เฟอร์นูลี แทนค่า Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต เป็นจุดรวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

$$\text{Head ความดันพลศาสตร์} = \text{Head ความดันรวม} - \text{Head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งமானอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในมานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g (h_t - h_s)$$

ได้ Head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_1 &= 0.0298 \sin 30^\circ \\ &= 0.0149 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.0142 \sin 30^\circ \\ &= 0.0071 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.0149 - 0.0071) \\ &= 76.2463 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_1 - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0149 - 0.0071)} \\ &= 0.4911 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube อยู่ที่ $y = 17.5 \text{ mm}$ โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริงที่จับเวลาที่ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.27 นาที หรือ 256.4 วินาที จะได้อัตราการไหลจริงที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.22} \\ &= 1.1701 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \frac{1.1701}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0195 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 \\ &= 0.0785 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.0197 \times 10^{-3}}{0.0785 \times 10^{-3}} \\ &= 0.2484 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ได้ค่า Reynold number ที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{VD}{\nu} \\
 &= \frac{0.2484 \times 0.01}{0.865 \times 10^{-6}} \\
 &= 2871.88
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{8\mu v}{r_0^2}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.8484}{0.0125^2} \\
 &= 10.96 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

ที่ความยาวท่อ 3.189 จะเกิดความดัน

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 10.96 \times 3.189 \\
 &= 34.96 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 17.5 \text{ mm}$ และ $r_0 = 12.5 \text{ mm}$ จะได้

$$\begin{aligned}
 r &= r_0 - y \\
 &= 0.0125 - 0.0175 \\
 &= 0.005 \text{ m}
 \end{aligned}$$

จากสมการ

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \left[-\frac{dP}{dx} \right] (r^2 - r_0^2)$$

$$\text{เมื่อ } -\frac{dP}{dx} = \frac{\Delta P}{L_E}$$

จะได้ความเร็วที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned}
 u(r) &= \frac{1}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-10.96)(0.005^2 - 0.0125^2) \\
 &= 0.4172 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.4911 - 0.4172}{0.4911} \right] \times 100\% \\
 &= 15.047\%
 \end{aligned}$$

จุดวัดที่ 9

จากผลการทดลองโดยที่ pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 20 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อ นาที จะได้

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 29.6 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 14.2 \text{ mm}$$

จากสมการ เฟอร์นูลี แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันสถิต เป็นจุดรวมความสัมพันธ์ตามลำดับ จะหาได้ดังนี้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งมานอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในมานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g (h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$h_t = 0.0296 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0148 \text{ m}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$h_s = 0.0142 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0071 \text{ m}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\Delta P = 996.45 \times 9.807 \times (0.0148 - 0.0071)$$

$$= 75.2688 \text{ N/m}^2$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_t - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0148 - 0.0071)} \\ &= 0.3886 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube อยู่ที่ $y = 20 \text{ mm}$ โดยนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริงที่คำนวณได้ โดยการจับเวลาที่ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.30 นาที หรือ 258 วินาที โดยได้ระยะ Profile ที่

$$\begin{aligned} r &= \gamma_0 - y \\ &= 0.125 - 0.02 \text{ m} \\ &= 7.5 \text{ m} \end{aligned}$$

หรือ $= 7.5 \text{ m}$

จะได้อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.30} = 1.1628 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \frac{1.1628}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0194 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= \frac{\pi}{4} \times 0.015^2 \text{ m}^2 \\ &= 0.1767 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ได้ } V &= \frac{0.0194 \times 10^{-3}}{0.1767 \times 10^{-3}} \\ &= 0.1097 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ได้ค่า Reynold number ที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} Re &= \frac{VD}{\nu} \\ &= \frac{0.1097 \times 0.015}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 1903.88 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{8\mu v}{r_0^2} \\ &= \frac{8 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.1097}{0.0125^2} \\ &= 4.8415 \text{ Pa/m}\end{aligned}$$

ที่ความยาวท่อ $L_E = 3.189$ มีความดันตกคร่อม

$$\begin{aligned}\Delta P &= 4.8415 \times 3.189 \\ &= 15.439 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

ความเร็วของ profile ที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 20 \text{ mm}$ และ $r = 7.5 \text{ mm}$ จะได้ความเร็วทางทฤษฎีจากสมการ

$$\begin{aligned}u(r) &= \frac{1}{4\mu} \left[-\frac{dp}{dx} \right] (r^2 - r_0^2) \\ \text{เมื่อ } -\frac{dp}{dx} &= \frac{\Delta P}{L_E} \\ \text{จะได้ความเร็ว} \\ u(r) &= \frac{1}{4 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-4.8415)(0.0075^2 - 0.0125^2) \\ &= 0.1404 \text{ m/s}\end{aligned}$$

วัดความเร็วที่ระยะ $y = 20 \text{ mm}$ เกิดความเร็วเท่ากับ 0.1404 m/s

$$\begin{aligned}\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.3886 - 0.1404}{0.3886} \right] \times 100\% \\ &= 63.870 \%\end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

น้ำที่ใช้ในการทดสอบมีอุณหภูมิเท่ากับ 27°C จากตารางภาคผนวกที่ 1 มีคุณสมบัติดังนี้

$$\begin{aligned}\rho &= 996.45 \text{ kg/m}^3 \\ \nu &= 0.865 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ \mu &= 0.862 \times 10^{-3} \text{ (N.s)/m}^2 \\ \gamma &= 9772.2 \text{ N/m}^3\end{aligned}$$

ที่อัตราการไหล 1.2 ลิตร ต่อ นาที

ที่จุดวัดที่ 1

จากผลการทดลองโดยที่ pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 0.25 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อนาที จะได้

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 31.2 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เฟอร์นูลี แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันสถิต ซึ่งเป็นความสัมพันธ์กัน ตามลำดับ จะได้ดังนี้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งมานอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในมานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_t &= 0.0312 \sin 30^\circ \\ &= 0.0156 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.015 \sin 30^\circ \\ &= 0.0075 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.0156 - 0.0075) \\ &= 79.1789 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_i - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0156 - 0.0075)} \\ &= 0.3986 \text{ m/s} \end{aligned}$$

จากการจับเวลาที่ดั่งเปรียบเทียบที่ปริมาณการไหลของน้ำ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.28 นาที หรือ 256.8 วินาที ตำแหน่งที่วัดความเร็วที่ $y = 0.25 \text{ mm}$ ซึ่งวัดจากผนังท่อลงไปในแนวลึก จะได้ อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{256.8} \times 6 \\ &= 1.1682 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \frac{1.1682 \times 10^{-3}}{60} \\ &= 0.0195 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= a \times a \\ &= 0.0265 \times 0.0265 \text{ m}^2 \\ &= 0.7023 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.0195 \times 10^{-3}}{0.7023 \times 10^{-3}} \\ &= 0.0277 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} Re &= \frac{Va}{\nu} \\ &= \frac{0.0279 \times 0.0265}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 848.61 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{12\mu V}{a}$$

$$= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.0277}{0.027^2}$$

$$= 0.3930 \text{ Pa/m}$$

ความดันที่เกิดขึ้นที่ความยาว $L_E = 1.5414$

$$\Delta P = 0.3930 \times 1.5414$$

$$= 0.6058 \text{ N/m}^2$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดที่วัดค่า y ตามแนวความลึกของท่อ ที่ $y = 0.25 \text{ mm}$,
และ $a = 27 \text{ mm}$ เมื่อ

$$\text{เมื่อ } -\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{d(P + \gamma h)}{dx}$$

$$\text{จาก } u(y) = \frac{1}{2\mu} \frac{d(P + \gamma h)}{dx} (y^2 - ay)$$

$$\text{จะได้ } = \frac{1}{2\mu} \left(-\frac{\Delta P}{L_E}\right) (y^2 - ay)$$

$$u(y) = \frac{1}{2 \times 0.862 \times 10^{-3}} \times (-0.3930) \times [0.00025^2 - (0.027 \times 0.00025)]$$

$$= 0.00152 \text{ m/s}$$

ได้ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีเท่ากับ 0.00152 m/s

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} = \left[\frac{0.3986 - 0.00152}{0.3986} \right] \times 100\%$$

$$= 99.618 \%$$

ตำแหน่งวัดที่ 2

จากผลการทดลองโดยที่ Pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 2.5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อวินาที โดยมี

$$\text{Head ความดันรวม } (h_t) = 31.5 \text{ mm}$$

$$\text{Head ความดันสถิต } (h_s) = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เฮอร์นูลี แทนค่า Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต ซึ่งเป็นความสัมพันธ์กัน ตามลำดับ จะได้

$$\text{Head ความดันพลศาสตร์} = \text{Head ความดันรวม} - \text{Head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งமானอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงใน
 มานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจาก
 สมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ Head ความดันรวม
 และ Head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ Head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_t &= 0.0315 \sin 30^\circ \\ &= 0.01575 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.015 \sin 30^\circ \\ &= 0.0075 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.01575 - 0.0075) \\ &= 80.6452 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_t - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.01575 - 0.0075)} \\ &= 0.4023 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube วัดที่ระยะ $y = 2.5 \text{ mm}$ ตามแนวลึก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหล
 จริงที่จับเวลา 5 ลิตร ใช้เวลา 4.21 นาที หรือ 252.7 วินาที จะได้

อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{5}{4.21} \\
 &= 1.1872 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\
 &= \frac{1.1872}{(60 \times 1000)} \\
 &= 0.0197 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\
 \text{เมื่อ } A &= 0.022 \times 0.022 \\
 &= 0.484 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 \text{ได้ } V &= \frac{0.0197 \times 10^{-3}}{0.484 \times 10^{-3}} \\
 &= 0.0407 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{V_a}{V} \\
 &= \frac{0.0407 \times 0.022}{0.865 \times 10^{-6}} \\
 &= 1035.21
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12 \mu v}{a} \\
 &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.0407}{0.027^2} \\
 &= 0.5775 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

ที่ความยาว = 1.5414 เมตร มีความดัน

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 0.5775 \times 1.5414 \\
 &= 0.8902 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดที่ระยะ $y = 2.5 \text{ mm}$ และ $a = 27 \text{ mm}$

$$\text{จาก } u(y) = \frac{1}{2\mu} \frac{d(P + \gamma h)}{dx} (y^2 - ay)$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } -\frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{d(P + \gamma h)}{dx} \\
 \text{ดังนั้น } u(y) &= \frac{1}{2\mu} \left[-\frac{\Delta P}{L_E} \right] (y^2 - ay) \\
 \text{จะได้ } u(y) &= \frac{1}{2 \times 0.862 \times 10^{-3}} \times (-0.5775) \times [0.0025^2 - (0.027 \times 0.0025)] \\
 &= 0.0205 \text{ m/s} \\
 \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.4023 - 0.0205}{0.4023} \right] \times 100\% \\
 &= 94.904 \%
 \end{aligned}$$

ตำแหน่งวัดที่ 3

จากผลการทดลองโดยที่ Pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อวินาที โดยมี

$$\text{Head ความดันรวม } (h_t) = 31.9 \text{ mm}$$

$$\text{Head ความดันสถิต } (h_s) = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เฮอร์นูลี่ แทนค่า Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต ซึ่งเป็นความสัมพันธ์กัน ตามลำดับ จะได้

$$\text{Head ความดันพลศาสตร์} = \text{Head ความดันรวม} - \text{Head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งमानอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงใน मानอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ Head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_t &= 0.0319 \sin 30^\circ \\ &= 0.01595 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.015 \sin 30^\circ \\ &= 0.0075 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.01595 - 0.0075) \\ &= 82.6002 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_t - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.01595 - 0.0075)} \\ &= 0.4972 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube วัดที่ระยะ $y = 5 \text{ mm}$ ตามแนวลึก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริง ที่จับเวลา 5 ลิตร ใช้เวลา 4.14 นาที หรือ 248.4 วินาที จะได้

อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{248.4} \times 60 \\ &= 1.2077 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ &= \frac{1.2077}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0201 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= a \times a \\ &= 0.017 \times 0.017 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.289 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 \text{ได้ } V &= \frac{0.0201 \times 10^{-3}}{0.289 \times 10^{-3}} \\
 &= 0.0695 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{Va}{V} \\
 &= \frac{0.0276 \times 0.017}{0.865 \times 10^{-6}} \\
 &= 1365.89
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12\mu v}{a^2} \\
 &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.0695}{0.027^2} \\
 &= 0.9862 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นที่ความยาว 1.5414 เมตร

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 0.9862 \times 1.5414 \\
 &= 1.5201 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดตามทฤษฎี ที่ระยะ $y = 5 \text{ mm}$ และ $a = 27 \text{ mm}$ เมื่อ

$$-\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{d(P + \gamma h)}{dx}$$

จากสมการ จะได้

$$u(y) = \frac{1}{2\mu} \left(-\frac{\Delta P}{L_E} \right) (y^2 - ay)$$

ดังนั้นความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีที่ระยะ $y = 0.005 \text{ m}$ จะได้

$$\begin{aligned}
 u(y) &= \frac{1}{2 \times 0.862 \times 10^{-3}} \times (-0.9862) \times [0.005^2 - (0.027 \times 0.005)] \\
 &= 0.0629 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีเท่ากับ 0.0629 m/s

$$\begin{aligned}\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.4972 - 0.0629}{0.4972} \right] \times 100\% \\ &= 87.349\%\end{aligned}$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 4

จากผลการทดลองโดยที่ pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 7.5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อ นาที โดยมี

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 32.2 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เพรอว์นัลล์ แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามลำดับ จะได้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\begin{aligned}\frac{u^2}{2g} &= \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g} \\ \frac{u^2}{2g} &= h_t - h_s\end{aligned}$$

การติดตั้งमानोमीटरติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในमानोमीटरน้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในमानोमीटरของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$\begin{aligned}h_t &= 0.0322 \sin 30^\circ \\ &= 0.0161 \text{ m}\end{aligned}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.015 \sin 30^\circ \\ &= 0.0075 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.0161 - 0.0075) \\ &= 84.0665 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_t - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0161 - 0.0075)} \\ &= 0.5108 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube วัดที่ระยะ $y = 7.5 \text{ mm}$ ตามแนวหลัก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริงที่จับเวลาที่ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.13 นาที หรือ 247.5 วินาที จะได้

อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.13} \\ &= 1.2121 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ &= \frac{1.2121}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0202 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\text{จาก } V = \frac{Q_a}{A}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } A &= 0.012 \times 0.012 \\ &= 0.144 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } V &= \frac{0.0202 \times 10^{-3}}{0.144 \times 10^{-3}} \\ &= 0.1403 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned} Re &= \frac{V_a}{V} \\ &= \frac{0.1403 \times 0.012}{0.865 \times 10^{-6}} \end{aligned}$$

$$= 1946.24$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ จาก

$$\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{12\mu V}{a^2}$$

จะได้

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.1403}{0.027^2} \\ &= 1.9907 \text{ Pa/m}\end{aligned}$$

ที่ความยาวของท่อ = 1.5414 เมตร มีความดัน

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1.9907 \times 1.5414 \\ &= 3.0685 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดทฤษฎี ที่ระยะ $y = 7.5$ และ $9 = 27 \text{ mm}$

จากสมการ

$$u(y) = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{d(P + \gamma h)}{dx} \right) (y^2 - ay)$$

เมื่อ
$$\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{d(P + \gamma h)}{dx}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีที่ระยะ $y = 7.5$ จะได้

$$\begin{aligned}U(y) &= \frac{1}{2 \times 0.862 \times 10^{-3}} \times (-1.9907) \times [0.0075^2 - (0.027 \times 0.0075)] \\ &= 0.1688 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 0.168/ m/s

$$\begin{aligned}\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.5108 - 0.1688}{0.5108} \right] \times 100\% \\ &= 66.953\%\end{aligned}$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 5

จากผลการทดลองโดยที่ Pitot tube อยู่ตำแหน่ง $y = 10 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อวินาที จะได้

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 32.5 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เฮอร์นูลี่ แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามลำดับ จะได้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งமானอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในมานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_t &= 0.0325 \sin 30^\circ \\ &= 0.0163 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.015 \sin 30^\circ \\ &= 0.0075 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.0163 - 0.0075) \\ &= 85.5327 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_t - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0163 - 0.0075)} \end{aligned}$$

$$= 0.5943 \text{ m/s}$$

Pitot tube อยู่ที่ระยะ $y = 10 \text{ mm}$ ตามแนวความลึก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริง ที่จับเวลา 5 ลิตร ใช้เวลา 4.10 นาที หรือ 246 วินาที จะได้
อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.10} \\ &= 1.2195 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \frac{1.2195}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0203 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วจริงที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= a \times a \\ &= 0.007 \times 0.007 \text{ m}^2 \\ &= 0.049 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.0203 \times 10^{-3}}{0.049 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \\ &= 0.4143 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} Re &= \frac{Va}{\nu} \\ &= \frac{0.4143 \times 0.007}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 3352.72 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12\mu v}{a^2} \\ &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.4143}{0.027^2} \\ &= 5.8786 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

ที่ความยาว $L_E = 1.5414$ มีความดัน

$$\begin{aligned}\Delta P &= 5.8786 \times 1.5414 \\ &= 9.0613 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 10 \text{ mm}$ และ $a = 0.027 \text{ m}$ ตามทฤษฎี

โดยที่
$$-\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{d(P + \gamma h)}{dx}$$

จากสูตรจะได้

$$\begin{aligned}u(y) &= \frac{1}{2\mu} \left(-\frac{\Delta P}{L_E} \right) (y^2 - ay) \\ &= \frac{1}{2 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-5.8786) (0.01^2 - (0.027 \times 0.01)) \\ &= 0.5796 \text{ m/s}\end{aligned}$$

เป็นความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีที่ $y = 10 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.5943 - 0.5796}{0.5943} \right] \times 100\% \\ &= 2.473 \%\end{aligned}$$

ที่ตำแหน่งวัดที่ 6

จากผลการทดลองโดยที่ Pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 13.5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อวินาที จะได้

$$\text{Head ความดันรวม (} h_t \text{)} = 32.9 \text{ mm}$$

$$\text{Head ความดันสถิต (} h_s \text{)} = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เฮอร์นูลี่ แทนค่า Head ความดันรวม และ Head ความดันซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามลำดับ จะได้

$$\text{Head ความดันพลศาสตร์} = \text{Head ความดันรวม} - \text{Head ความดันสถิต}$$

$$\begin{aligned}\frac{u^2}{2g} &= \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g} \\ \frac{u^2}{2g} &= h_t - h_s\end{aligned}$$

การติดตั้งமானอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงใน
 มานอมิเตอร์น้ำ คำนวณหาค่าของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสม
 การ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ Head ความดันรวม
 และ Head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_1 - h_2)$$

ได้ Head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_1 &= 0.0329 \sin 30^\circ \\ &= 0.01645 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_2 &= 0.015 \sin 30^\circ \\ &= 0.0075 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.01645 - 0.0075) \\ &= 87.4878 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.01645 - 0.0075)} \\ &= 0.6291 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube วัดที่ระยะ $y = 13.5 \text{ mm}$ ตามแนวความลึก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการ
 ไหลจริง ที่จับเวลา 5 ลิตร ใช้เวลา 4.10 นาที หรือ 243 วินาที จะได้

อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.10} \\ &= 1.2195 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ &= \frac{1.2195}{(1000 \times 60)} \end{aligned}$$

ความเร็วจริงที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= 0.003 \times 0.003 \\ &= 0.009 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.0203 \times 10^{-3}}{0.009 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \\ &= 2.2556 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า reynold number ที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} Re &= \frac{Va}{\nu} \\ &= \frac{2.2556 \times 0.003}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 7822.73 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12 \mu v}{a^2} \\ &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 2.2556}{0.027^2} \\ &= 32.0053 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

ที่ความยาว $L_E = 1.5414$ มีความดัน

$$\begin{aligned} \Delta P &= 32.005 \times 1.5414 \\ &= 49.3331 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $y = 13.5 \text{ mm}$ เป็นจุดกึ่งกลางที่ $y = a/2 = 13.5 \text{ mm}$

ได้ความเร็วสูงสุด โดยให้ $y = a_0 = a/2$

$$\begin{aligned} u(y)_{\max} &= \frac{a_0^2}{8\mu} \frac{dP}{dx} \\ \text{เมื่อ } \frac{dP}{dx} &= \frac{\Delta P}{L_E} \\ \text{จะได้ } u(y)_{\max} &= \frac{a_0^2}{8\mu} \frac{dP}{dx} \end{aligned}$$

$$= \frac{0.0135^2}{8 \times 0.862 \times 10^{-3}} (32.0053)$$

$$= 0.8458 \text{ m/s}$$

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} = \left[\frac{0.6291 - 0.8458}{0.6291} \right] \times 100\%$$

$$= 34.446 \%$$

ที่จุดวัดที่ 7

จากผลการทดลองโดยที่ pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 15 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อนาที จะได้

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 32.4 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เพรอว์นัลล์ แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามลำดับ จะได้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งमानอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในमानอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในमानอมิเตอร์ของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$h_t = 0.0324 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0162 \text{ m}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$h_s = 0.015 \sin 30^\circ$$

$$= 0.0075 \text{ m}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\Delta P = 996.45 \times 9.807 \times (0.0162 - 0.0075)$$

$$= 85.044 \text{ N/m}^2$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$u = \sqrt{2g(h_t - h_s)}$$

$$= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0162 - 0.0075)}$$

$$= 0.5832 \text{ m/s}$$

Pitot tube วัดที่ระยะ $y = 15 \text{ mm}$ ในแนวลึก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริงที่จับเวลา 5 ลิตร ใช้เวลา 4.06 นาที หรือ 243.6 วินาที จะได้

อัตราการไหลจริง

$$Q_a = \frac{5}{4.06}$$

$$= 1.2315 \text{ ลิตรต่อนาที}$$

$$= \left[\frac{1.2315}{(1000 \times 60)} \right]$$

$$= 0.0205 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

ความเร็วจริงที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\text{จาก } V = \frac{Q_a}{A}$$

$$\text{เมื่อ } A = a \times a$$

$$= 0.009 \times 0.009 \text{ m}^2$$

$$= 0.081 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{ได้ } V = \frac{0.0205 \times 10^{-3}}{0.081 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.2531 \text{ m/s}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{Va}{\nu} \\
 &= \frac{0.2531 \times 0.009}{0.865 \times 10^{-6}} \\
 &= 2633.27
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12\mu v}{a_0^2} \\
 &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.2531}{0.027^2} \\
 &= 3.5913 \text{ Pa/m}
 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นในช่วง $L_E = 1.5414$

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 3.5913 \times 1.5414 \\
 &= 5.5356 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีที่ระยะวัด $y = 15 \text{ mm}$ $a = 27 \text{ mm}$ จะได้ เมื่อ

$$-\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{d(P + \gamma h)}{dx}$$

จากสูตรจะได้

$$\begin{aligned}
 u(y) &= \frac{1}{2\mu} \left(-\frac{\Delta P}{L_E} \right) (y^2 - ay) \\
 &= \frac{1}{2 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-3.5913)(0.015^2 - (0.027 \times 0.015)) \\
 &= 0.5779 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีเท่ากับ 0.5779 m/s

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.5832 - 0.5779}{0.5832} \right] \times 100\% \\
 &= 0.908\%
 \end{aligned}$$

ที่จุดวัดที่ 8

จากผลการทดลองโดยที่ Pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 17.5 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อวินาที จะได้

$$\text{head ความดันรวม } (h_t) = 32.2 \text{ mm}$$

$$\text{head ความดันสถิต } (h_s) = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เฟอร์นูลี่ แทนค่า head ความดันรวม และ head ความดันซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามลำดับ จะได้

$$\text{head ความดันพลศาสตร์} = \text{head ความดันรวม} - \text{head ความดันสถิต}$$

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g}$$

$$\frac{u^2}{2g} = h_t - h_s$$

การติดตั้งமானอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในมานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในมานอมิเตอร์ของ head ความดันรวม และ head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g (h_t - h_s)$$

ได้ head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_t &= 0.0322 \sin 30^\circ \\ &= 0.0161 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.015 \sin 30^\circ \\ &= 0.0075 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.0161 - 0.0075) \\ &= 84.0665 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_t - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.0161 - 0.0075)} \end{aligned}$$

$$= 0.5107 \text{ m/s}$$

Pitot tube วัดที่ระยะ $y = 17.5 \text{ mm}$ ในแนวลึก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริงที่จับเวลา 5 ลิตร ใช้เวลา 4.12 นาที หรือ 247 วินาที จะได้

อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.12} \\ &= 1.2145 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \left[\frac{1.2145}{(60 \times 1000)} \right] \\ &= 0.0203 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วจริงที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= a \times a \\ &= 0.01 \times 0.01 \text{ m}^2 \\ &= 0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{ได้ } V &= \frac{0.0203 \times 10^{-3}}{0.1 \times 10^{-3}} \\ &= 0.203 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่ได้

$$\begin{aligned} Re &= \frac{V_a}{\nu} \\ &= \frac{0.203 \times 0.01}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 2346.82 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12 \mu V}{a^2} \\ \text{จะได้ } \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.023}{0.027^2} \\ &= 2.8804 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

ที่ความยาวท่อ 1.5414 เมตร มีความดันอยู่

$$\begin{aligned}\Delta P &= 2.8804 \times 1.5414 \\ &= 4.4399 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีที่ระยะวัด $y = 17.5 \text{ mm}$ จาก

$$\begin{aligned}u(y) &= \frac{1}{2\mu} \left(-\frac{\Delta P}{L_E} \right) (y^2 - ay) \\ &= \frac{1}{2 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-2.8804) (0.0175^2 - (0.027 \times 0.0175)) \\ &= 0.2778 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.5107 - 0.2620}{0.5107} \right] \times 100\% \\ &= 45.604 \%\end{aligned}$$

ที่จุดวัดที่ 9

จากผลการทดลองโดยที่ Pitot tube อยู่ที่ตำแหน่ง $y = 20 \text{ mm}$ อัตราการไหลที่ 1.2 ลิตร ต่อวินาที จะได้

$$\text{Head ความดันรวม } (h_t) = 31.9 \text{ mm}$$

$$\text{Head ความดันสถิต } (h_s) = 15 \text{ mm}$$

จากสมการ เฟอร์นูลี แทนค่า Head ความดันรวม และ Head ความดันซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามลำดับ จะได้

$$\text{Head ความดันพลศาสตร์} = \text{Head ความดันรวม} - \text{Head ความดันสถิต}$$

$$\begin{aligned}\frac{u^2}{2g} &= \frac{P_t}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g} \\ \frac{u^2}{2g} &= h_t - h_s\end{aligned}$$

การติดตั้งมานอมิเตอร์ติดตั้งแบบเอียงทำมุม 30° กับแนวระนาบค่าความสูงในมานอมิเตอร์น้ำ มาคำนวณหาค่าของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิตที่เกิดขึ้นจริงจากสมการ

ขึ้นจริงจากสมการ

$$h = x \sin \theta$$

x คือ ค่าความสูงของระดับของของไหลในमानमीटरของ Head ความดันรวม และ Head ความดันสถิต

ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g(h_1 - h_s)$$

ได้ Head ความดันรวม

$$\begin{aligned} h_1 &= 0.0319 \sin 30^\circ \\ &= 0.01595 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ Head ความดันสถิต

$$\begin{aligned} h_s &= 0.015 \sin 30^\circ \\ &= 0.0075 \text{ m} \end{aligned}$$

ได้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \Delta P &= 996.45 \times 9.807 \times (0.01595 - 0.0075) \\ &= 82.6002 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ได้ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{2g(h_1 - h_s)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.807 \times (0.01595 - 0.0075)} \\ &= 0.4072 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pitot tube วัดที่ระยะ $y = 20 \text{ mm}$ ในแนวลึก โดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริง ที่จับเวลาได้ 5 ลิตร ใช้เวลา 4.17 นาที หรือ 250.2 วินาที จะได้ อัตราการไหลจริง

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{5}{4.17} \\ &= 1.1990 \text{ ลิตรต่อนาที} \\ &= \frac{1.1990}{(1000 \times 60)} \\ &= 0.0199 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ความเร็วจริงที่เกิดขึ้น ภายในท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V &= \frac{Q_a}{A} \\ \text{เมื่อ } A &= a \times a \\ &= 0.013 \times 0.013 \text{ m}^2 \\ &= 0.169 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ได้ } V &= \frac{0.0199 \times 10^{-3}}{0.169 \times 10^{-3}} \\ &= 0.1178 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค่า Reynold number ที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} Re &= \frac{Va}{V} \\ &= \frac{0.1178 \times 0.013}{0.865 \times 10^{-6}} \\ &= 1770 \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{L_E} &= \frac{12\mu V}{a^2} \\ &= \frac{12 \times 0.862 \times 10^{-3} \times 0.1178}{0.027^2} \\ &= 1.6714 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

ความดันที่เกิดขึ้นที่ความยาว $L_E = 1.5414$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 1.6714 \times 1.5414 \\ &= 2.5764 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีที่ระยะ $y = 20 \text{ mm}$ และ $a = 27 \text{ mm}$ เมื่อ

$$\frac{\Delta P}{L_E} = \frac{d(P + \gamma h)}{dx}$$

จากสูตรจะได้

$$\begin{aligned} u(y) &= \frac{1}{2\mu} \left(-\frac{\Delta P}{L_E} \right) (y^2 - ay) \\ &= \frac{1}{2 \times 0.862 \times 10^{-3}} (-1.6714) (0.02^2 - (0.027 \times 0.02)) \\ &= 0.1357 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ความเร็วที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีเท่ากับ 0.2092 m/s ที่ $y = 20 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (\% Error)} &= \left[\frac{0.4072 - 0.1357}{0.4072} \right] \times 100\% \\ &= 66.674\% \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการคำนวณในการทดลองลักษณะการไหลภายในท่อกลมอุณหภูมิของน้ำ 27°C

ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 1

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
ความเร็ว (m/s)	การไหล 1.2 LPM									
จริง		0.3784	0.3836	0.3986	0.4924	0.5836	0.6399	0.5794	0.4911	0.3886
ทฤษฎี		0.00204	0.0361	0.1418	0.4192	0.4817	0.6193	0.4817	0.4172	0.1404
(% Error)		99.460	90.589	64.425	14.866	17.460	3.219	16.862	15.047	63.870
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	259.8	258.6	256.8	255.2	253.2	253	254.4	256.4	258

ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 2

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
ความเร็ว (m/s)	การไหล 1.4 LPM									
จริง		0.3473	0.3529	0.3684	0.4626	0.5766	0.6835	0.5766	0.4622	0.3684
ทฤษฎี		0.00242	0.0528	0.1693	0.5014	0.5744	0.7409	0.5746	0.5009	0.1683
(% Error)		99.303	85.038	54.044	8.387	0.3815	8.397	0.3815	8.372	54.315
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	219.4	216.8	214	213.4	212.9	212.2	212.8	213.6	215.2

ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 3

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
ความเร็ว (m/s)	การไหล 1.6 LPM									
จริง		0.3344	0.3402	0.3643	0.4487	0.5529	0.6584	0.5543	0.4487	0.3416
ทฤษฎี		0.00277	0.0603	0.1916	0.5674	0.6512	0.8399	0.6491	0.5703	0.1922
(% Error)		99.171	82.275	47.405	26.454	17.778	27.566	17.102	27.10	43.735
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	190.8	190	189	188.6	187.8	187.2	188.4	187.6	188.4

ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 4

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
ความเร็ว (m/s)	การไหล 1.8 LPM									
จริง		0.3020	0.3168	0.3632	0.4963	0.5724	0.7199	0.5809	0.4963	0.3516
ทฤษฎี		0.00312	0.0679	0.2161	0.6415	0.7349	0.9512	0.7354	0.6415	0.1922
		98.966	78.567	40.501	29.256	28.389	32.129	26.596	29.256	45.335
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	169.4	168.5	167.6	166.8	166.4	165.3	166.3	166.8	167.4

ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 5

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
ความเร็ว	การไหล									
(m/s)	2 LPM									
จริง		0.2301	0.2685	0.2766	0.4252	0.6363	0.7639	0.6428	0.4261	0.2464
ทฤษฎี		0.00359	0.0782	0.2498	0.7421	0.8504	1.1011	0.8516	0.7431	0.2501
(% Error)		98.439	70.875	9.689	74.529	33.647	44.141	32.482	74.395	1.501
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	147.4	146.4	145	144.2	143.8	142.8	143.6	144	144.8

ตารางที่ 4.4 บันทึกผลการคำนวณในการทดลองลักษณะการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสอุณหภูมิของน้ำ 27°C

ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 1

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
ความเร็ว (m/s)	การไหล 1.2 LPM									
จริง		0.3986	0.4023	0.4972	0.5108	0.5943	0.6291	0.5832	0.5107	0.4072
ทฤษฎี		0.00152	0.0205	0.0629	0.1688	0.5796	0.8458	0.5779	0.2778	0.1357
(% Error)		99.618	94.904	87.349	66.953	2.473	34.446	0.908	45.604	66.674
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	256.8	252.7	248.6	247.5	246	243	243.6	247	250.2

ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 2

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
ความเร็ว	การไหล									
(m/s)	1.4 LPM									
จริง		0.2652	0.3369	0.3745	0.4297	0.5813	0.6974	0.5836	0.5182	0.3772
ทฤษฎี		0.00183	0.0245	0.0742	0.1979	0.6773	0.9921	0.4346	0.3242	0.1611
(% Error)		99.309	92.727	80.186	53.944	16.514	42.256	25.531	37.437	57.291
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	213	212.2	211.8	211.2	210.8	210	210.4	211	211.6

ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 3

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
ความเร็ว (m/s)	การไหล 1.6 LPM									
จริง		0.2209	0.3270	0.3929	0.4387	0.6431	0.8348	0.6459	0.5416	0.3373
ทฤษฎี		0.00211	0.0281	0.0847	0.2269	0.7836	1.1484	0.5024	0.3722	0.1831
(% Error)		99.044	91.406	78.442	48.279	21.847	37.565	22.217	31.277	45.715
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	186	185.2	184.8	184.2	182.2	181.4	182	183.8	186.2

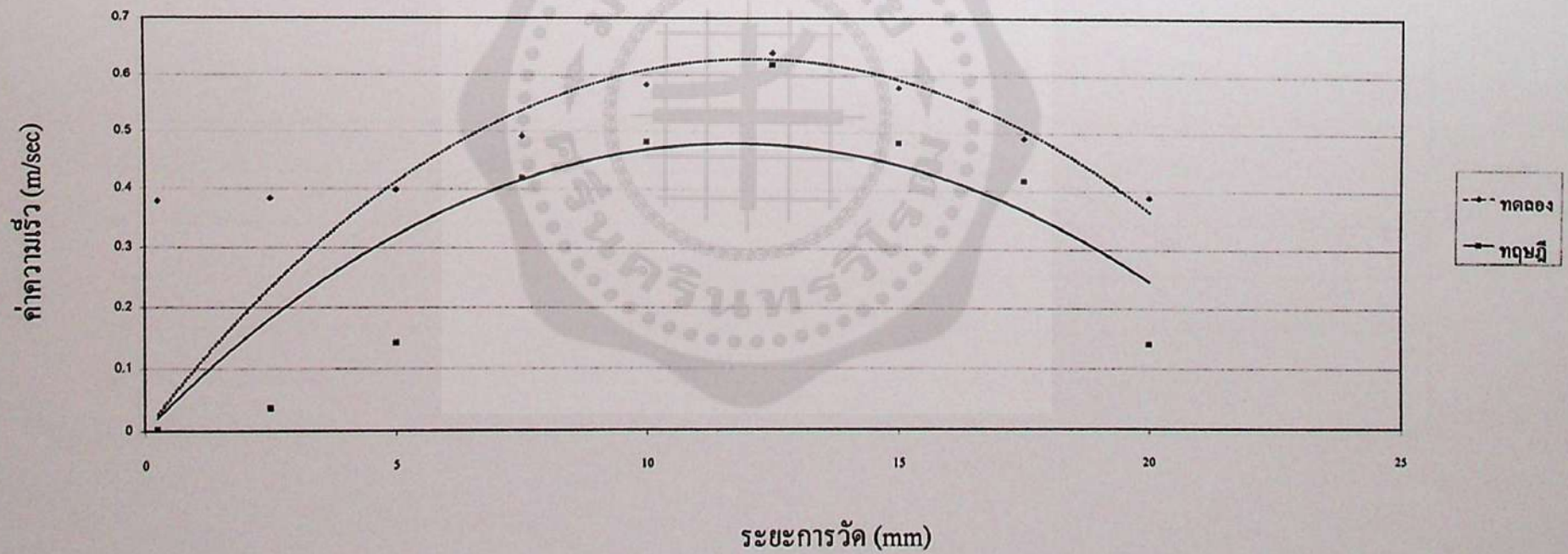
ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 4

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
ความเร็ว (m/s)	การไหล 1.8 LPM									
ทฤษฎี (% Error)		0.1971	0.2936	0.3184	0.4953	0.6137	0.8398	0.6394	0.4773	0.3219
		0.00240	0.0320	0.0967	0.2589	0.8857	1.2956	0.5666	0.4233	0.2094
		98.782	89.101	69.629	47.728	44.321	54.274	11.385	11.313	34.948
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	162.2	162.6	162	161.4	161.2	160.8	161.4	162	162.8

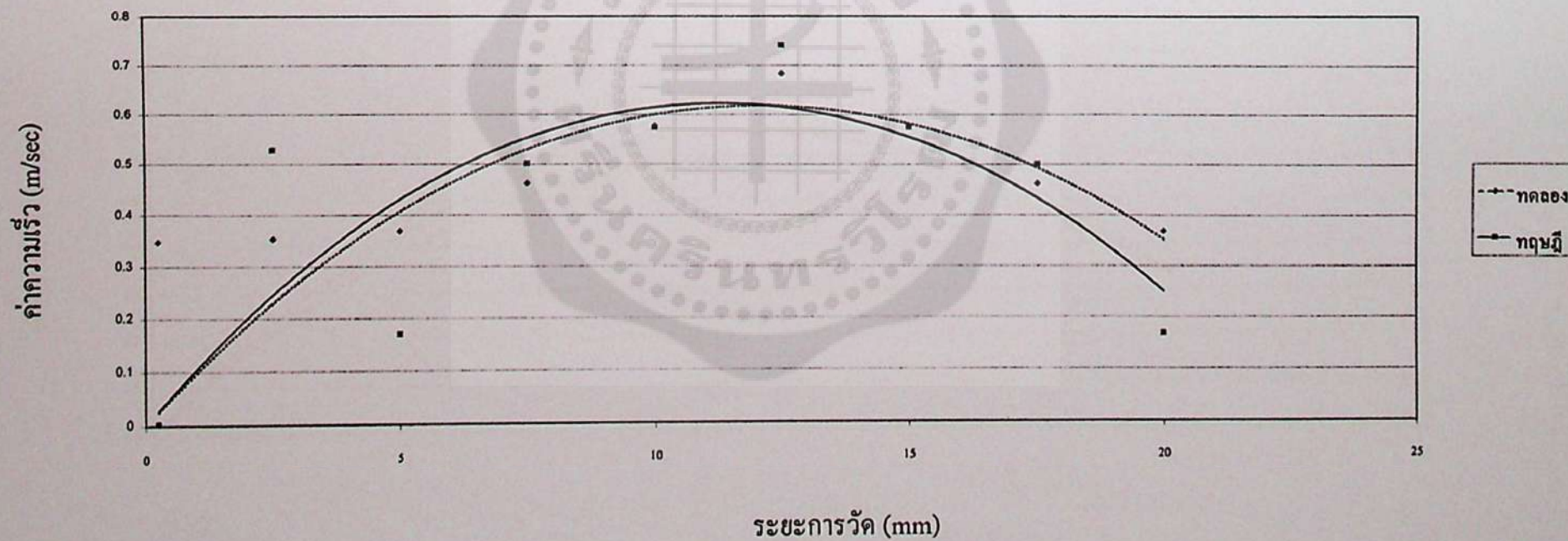
ตารางบันทึกผลการคำนวณครั้งที่ 5

ค่าคำนวณ	อัตรา	ระยะที่วัดลักษณะการไหลในท่อที่ระยะ y (mm)								
		0.25	2.5	5	7.5	10	13.5	15	17.5	20
ความเร็ว (m/s)	การไหล 2 LPM									
จริง		0.1601	0.2676	0.3274	0.4801	0.6827	0.8295	0.6904	0.5287	0.3804
ทฤษฎี		0.00271	0.0362	0.1097	0.2945	1.0082	1.4902	0.6532	0.4866	0.2404
(% Error)		98.307	86.472	66.494	3.8658	47.678	79.650	5.388	7.962	36.803
อัตราการไหลจริง	Liter	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sec	144.6	143.6	142.8	141.9	141.6	139.8	140	140.6	141.8

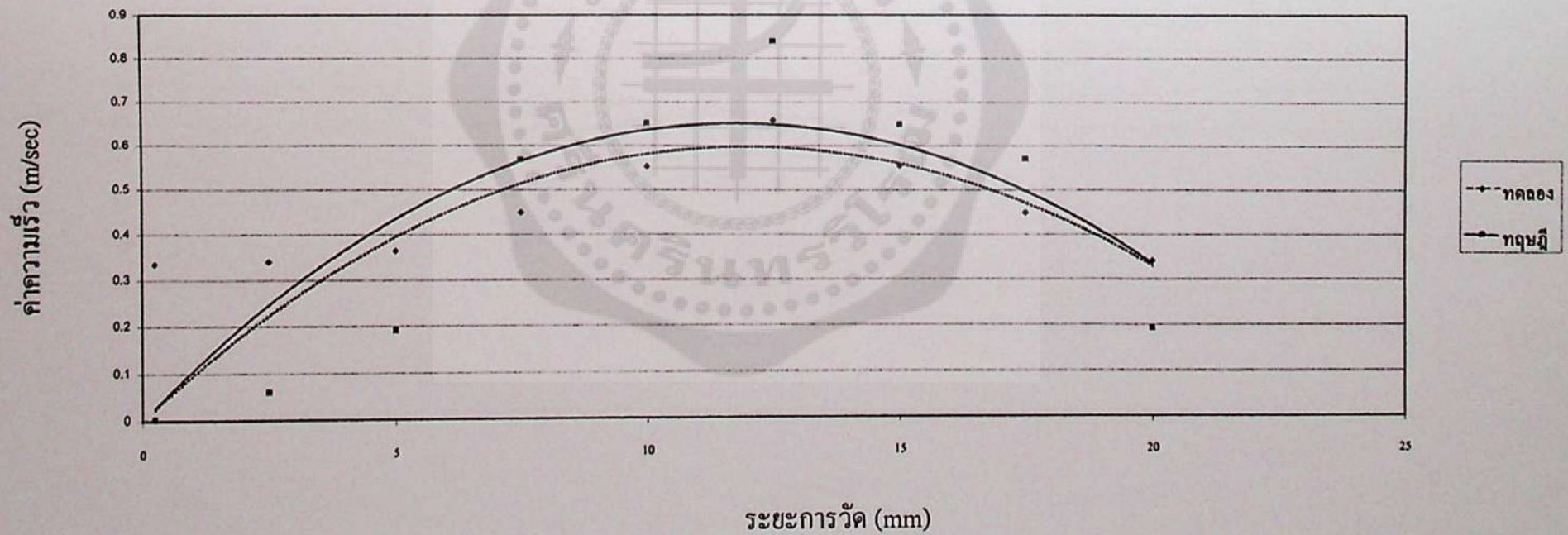
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลมที่อัตราการไหล 1.2 L/min



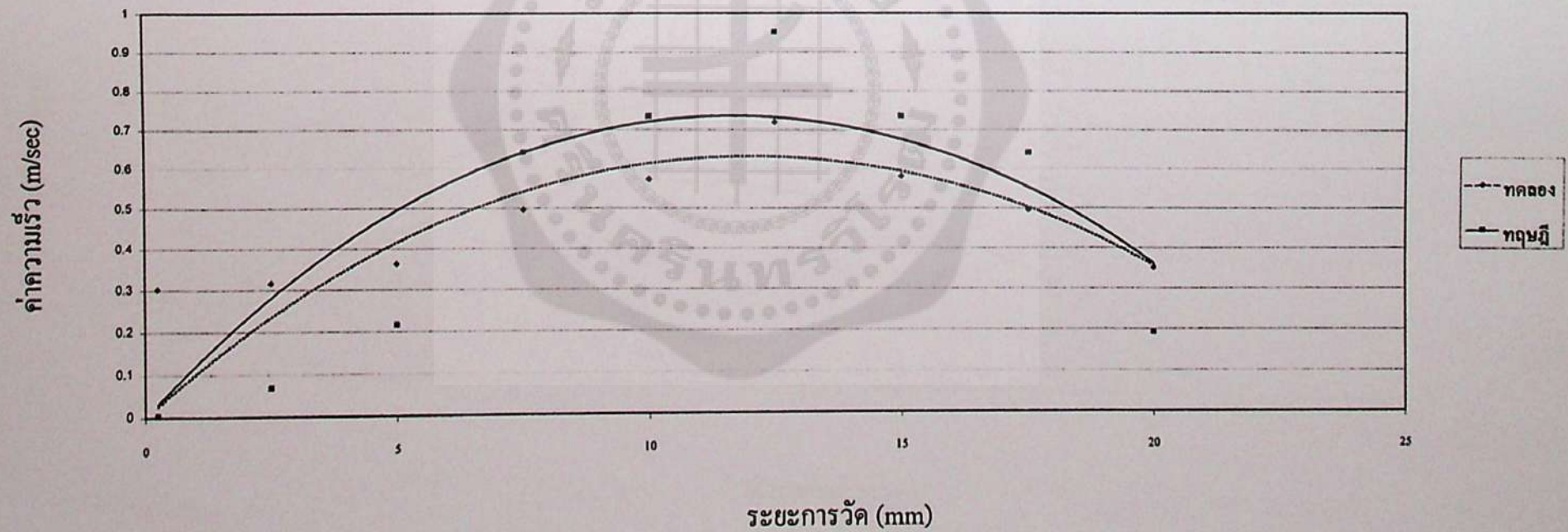
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลมที่อัตราการไหล 1.4 L/min



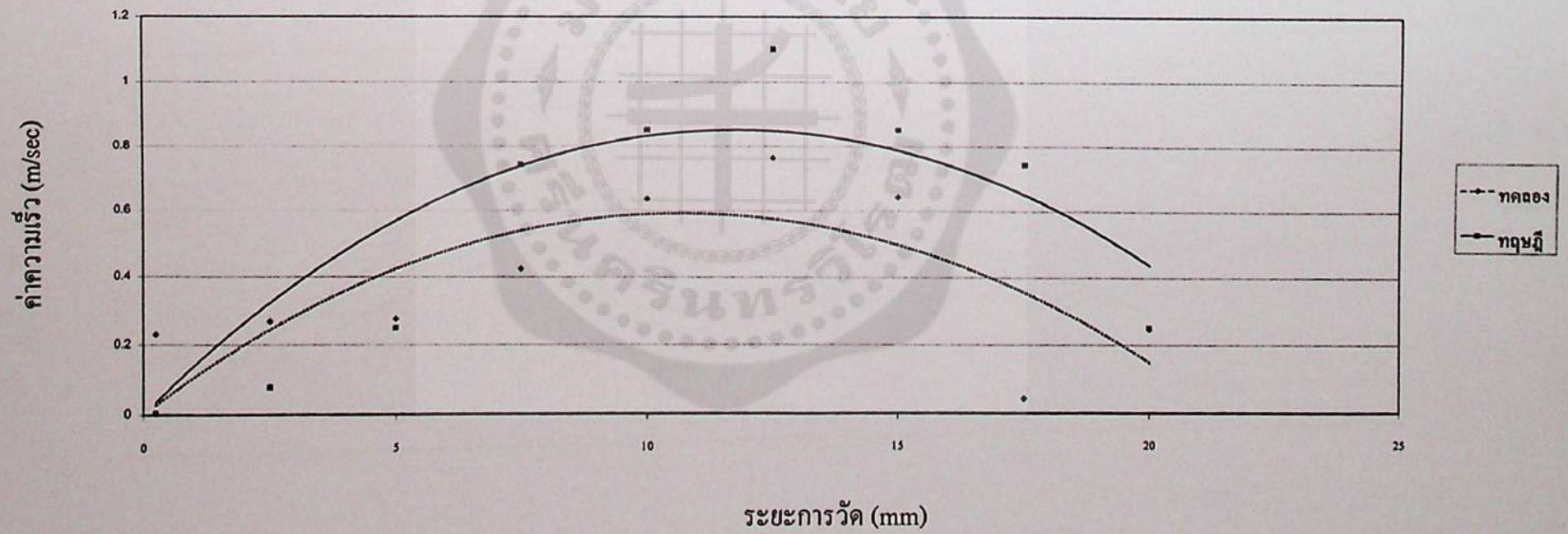
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลมที่อัตราการไหล 1.6 L/min



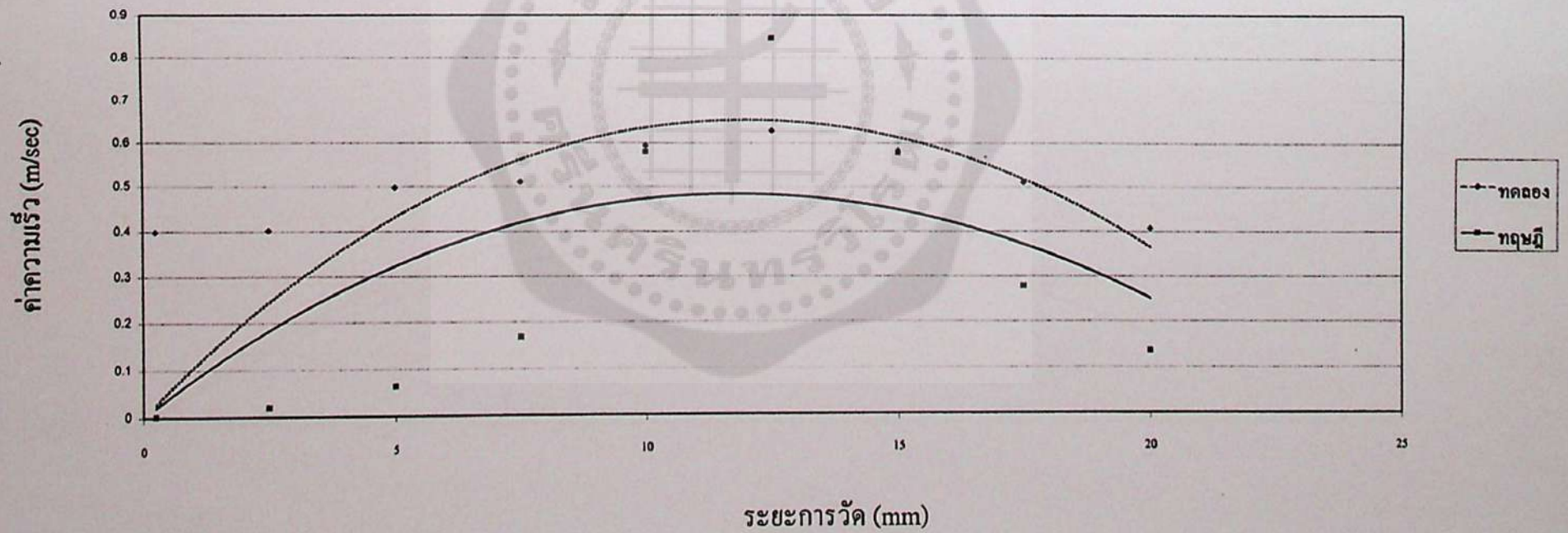
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลมที่อัตราการไหล 1.8 L/min



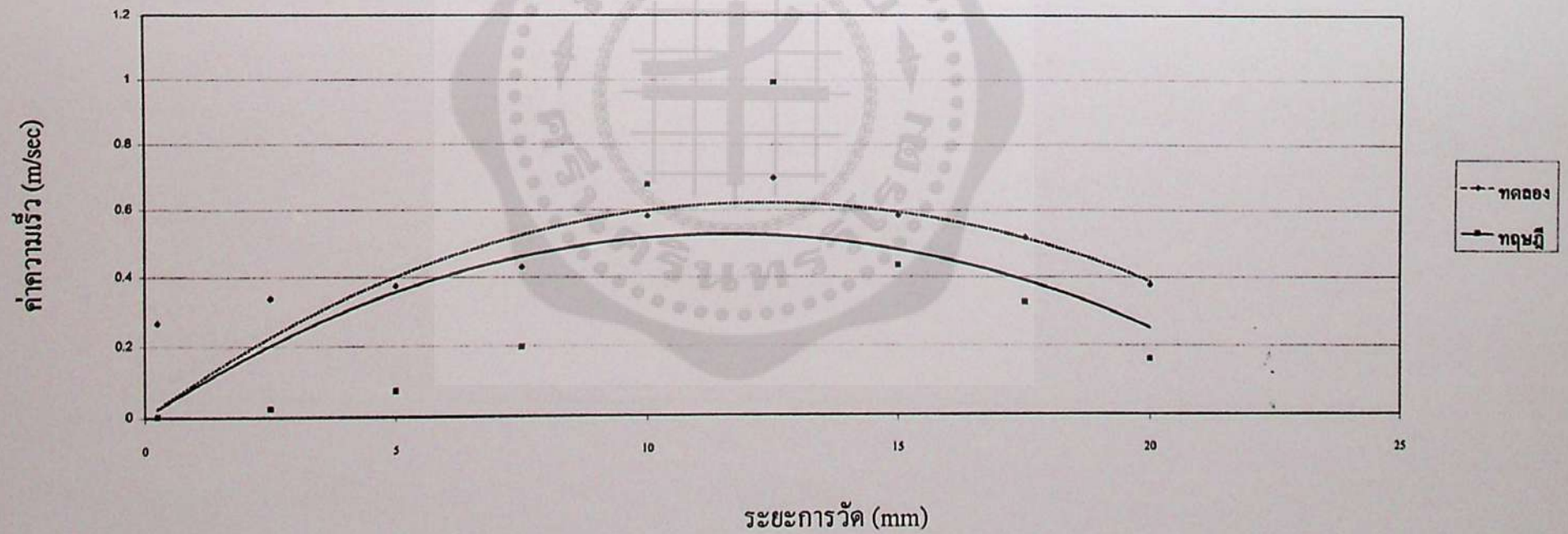
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลมที่อัตราการไหล 2.0 L/min



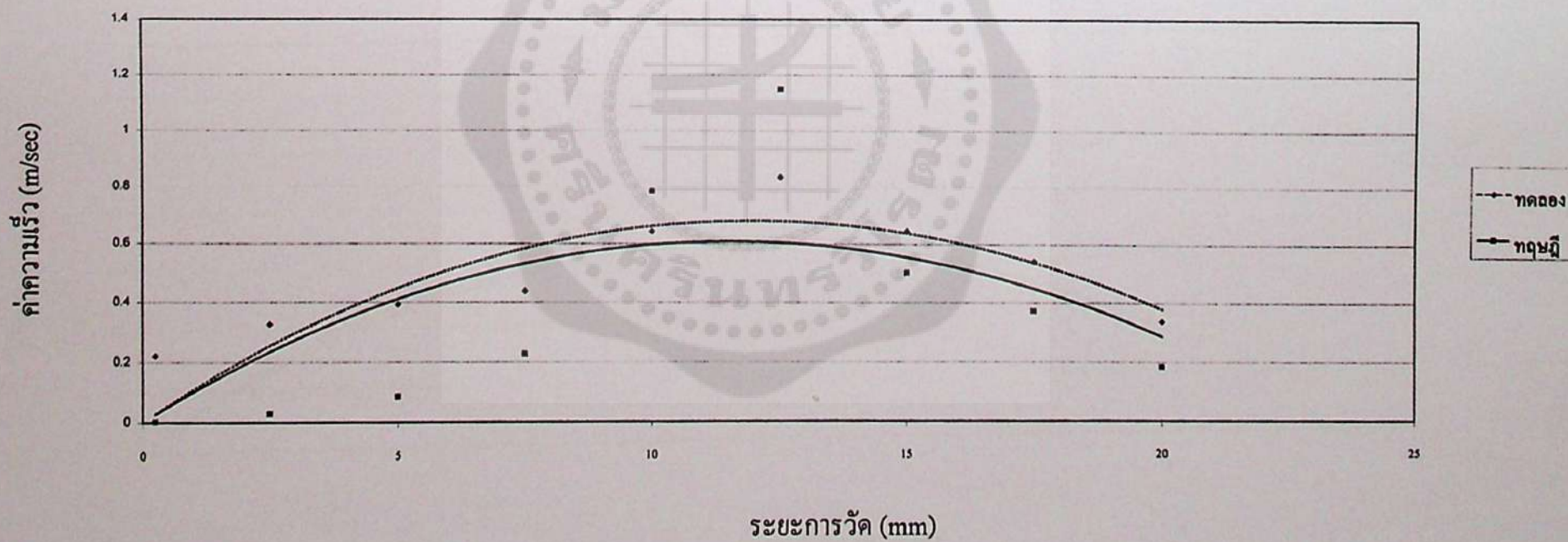
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.2 L/min



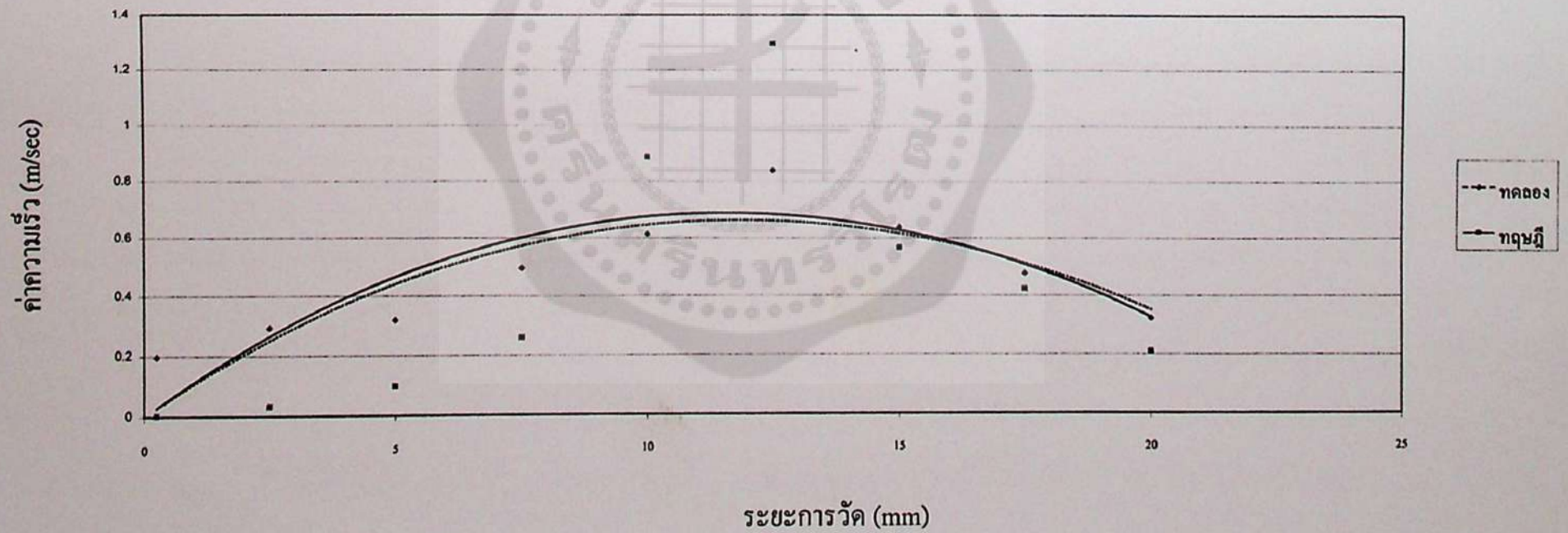
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.4 L/min



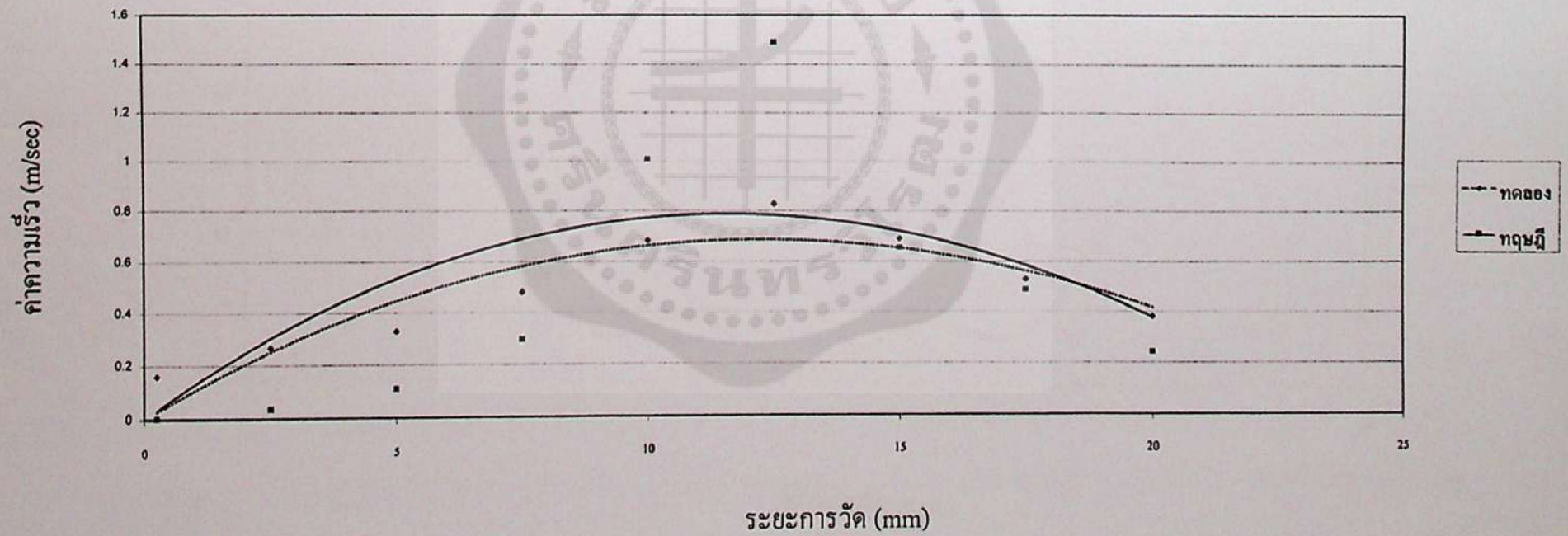
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.6 L/min



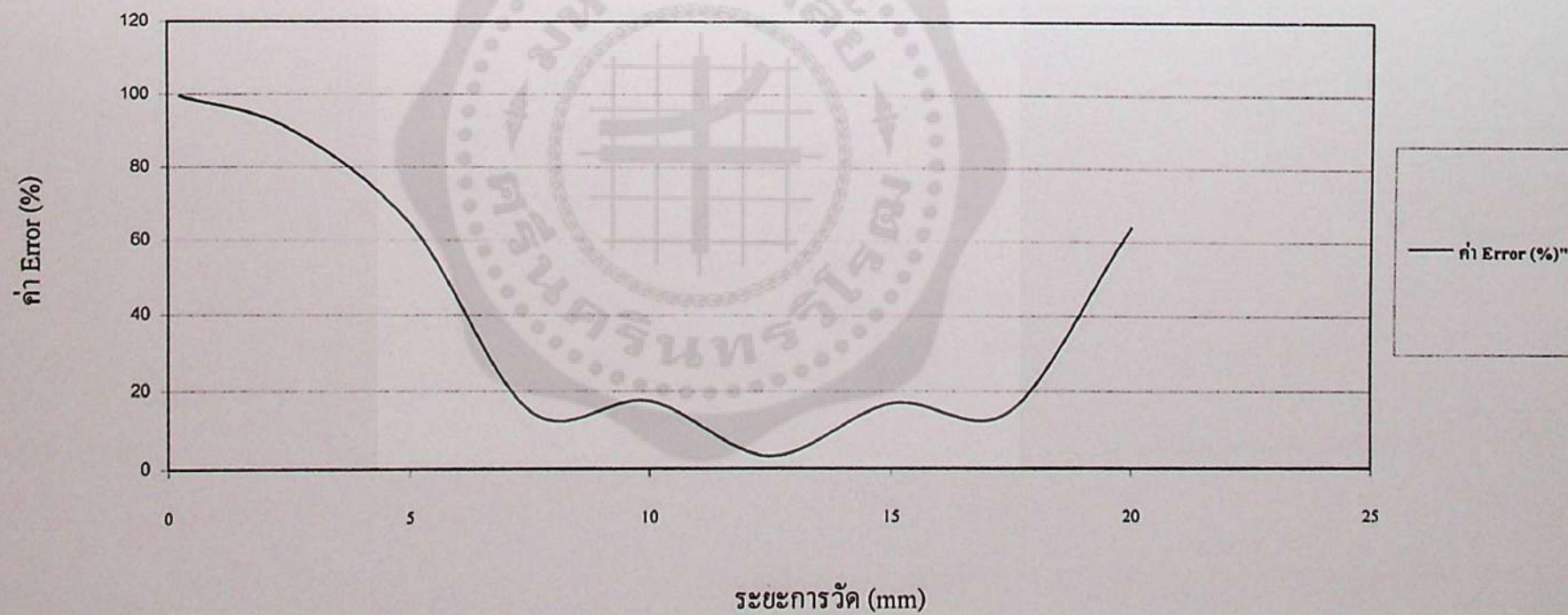
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.8 L/min



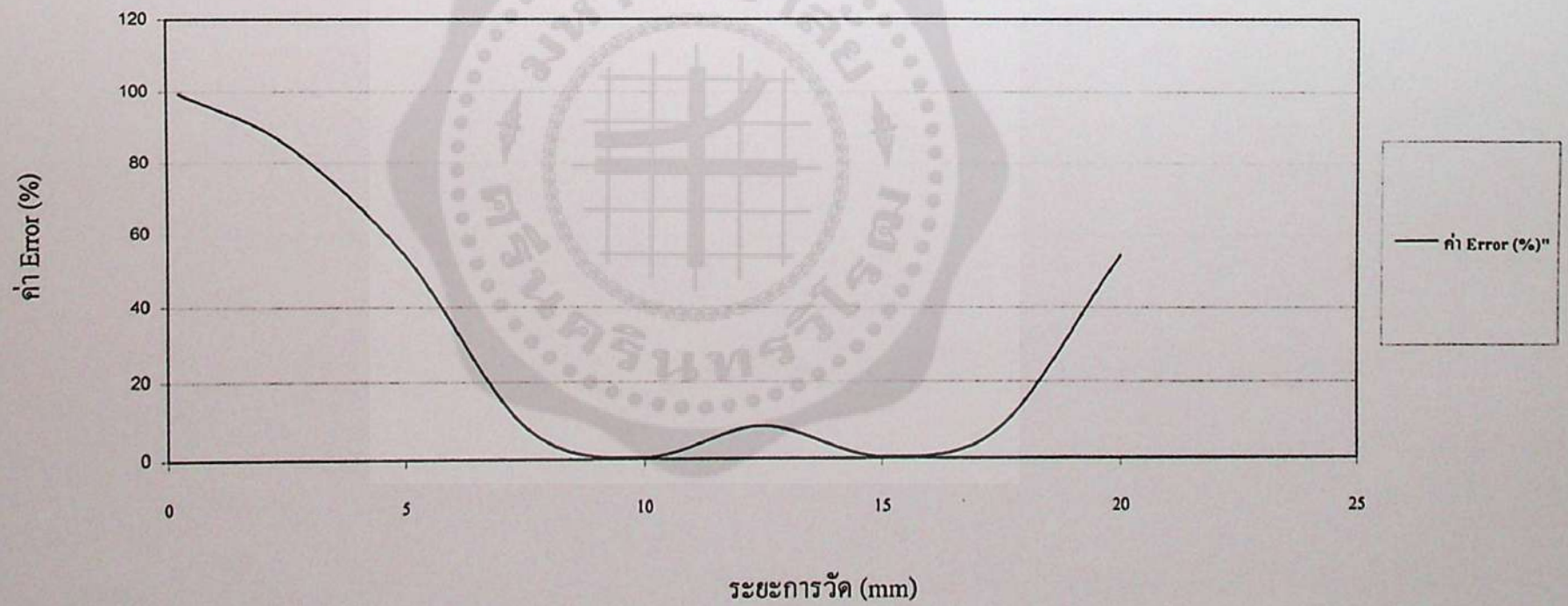
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงลักษณะ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 2.0 L/min



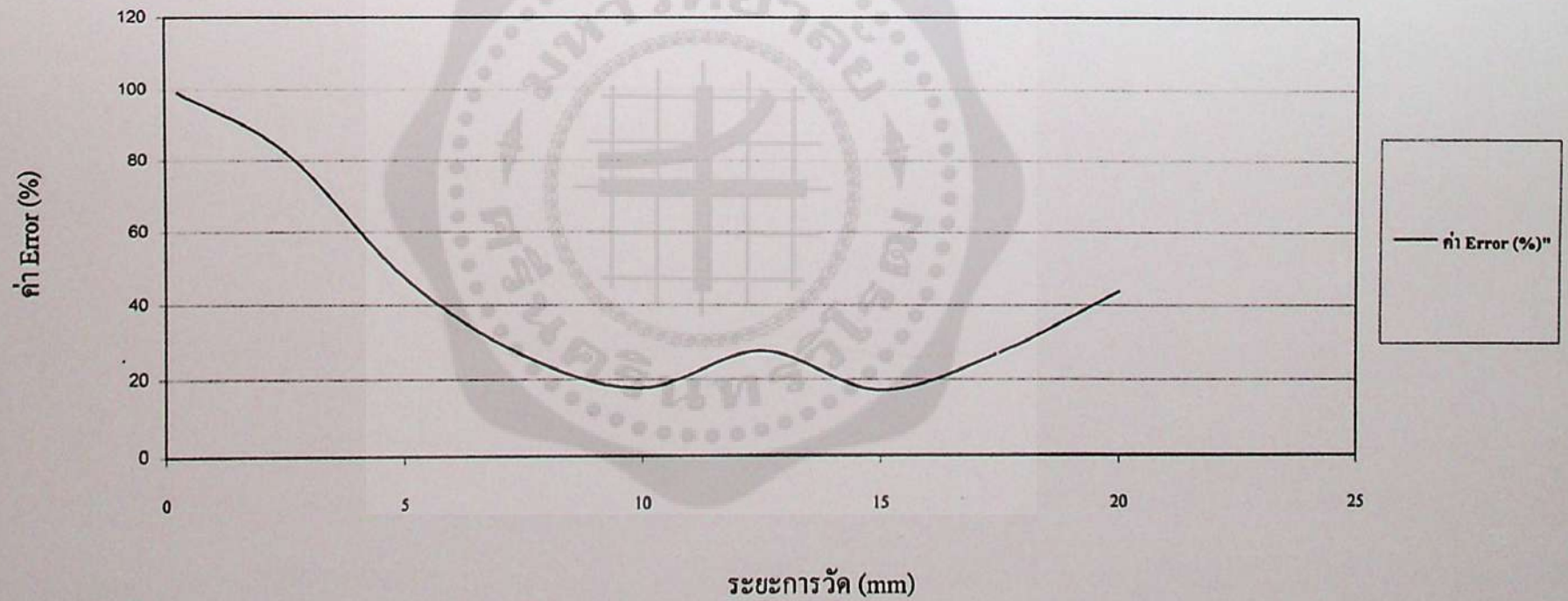
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อกลมที่อัตราการไหล 1.2 L/min



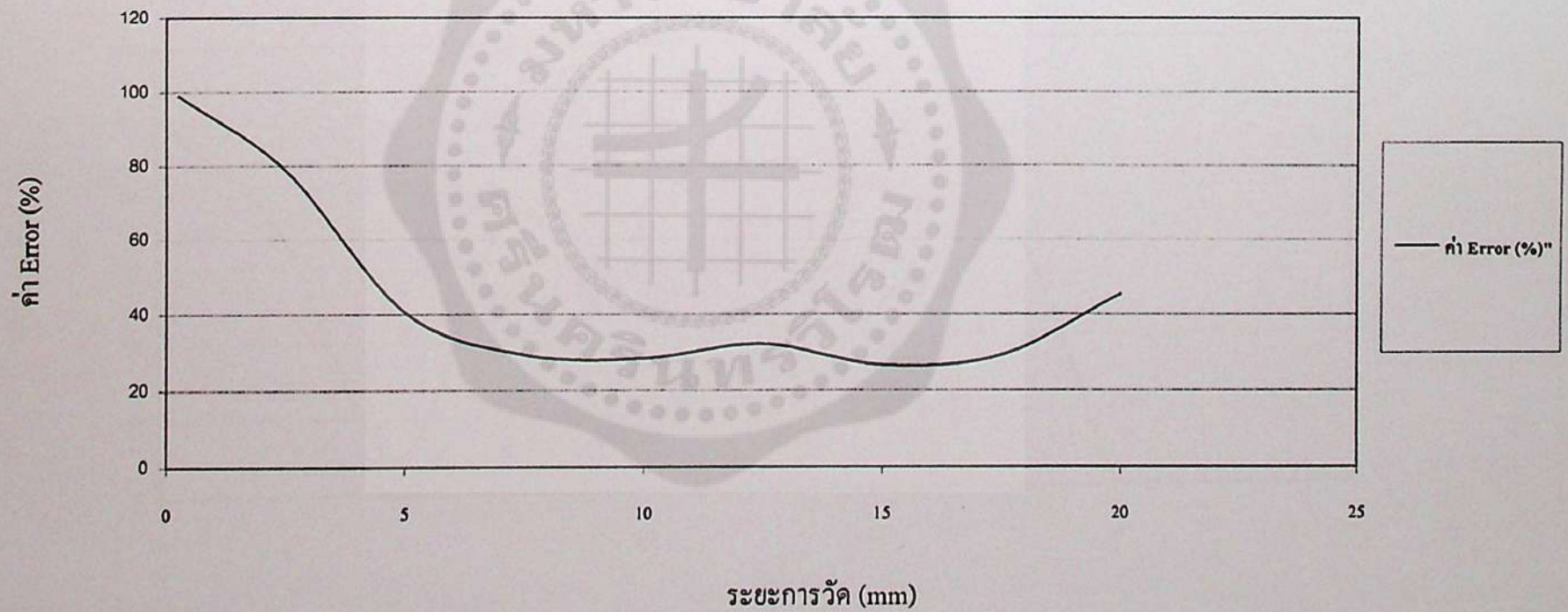
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อกลมที่อัตราการไหล 1.4 L/min



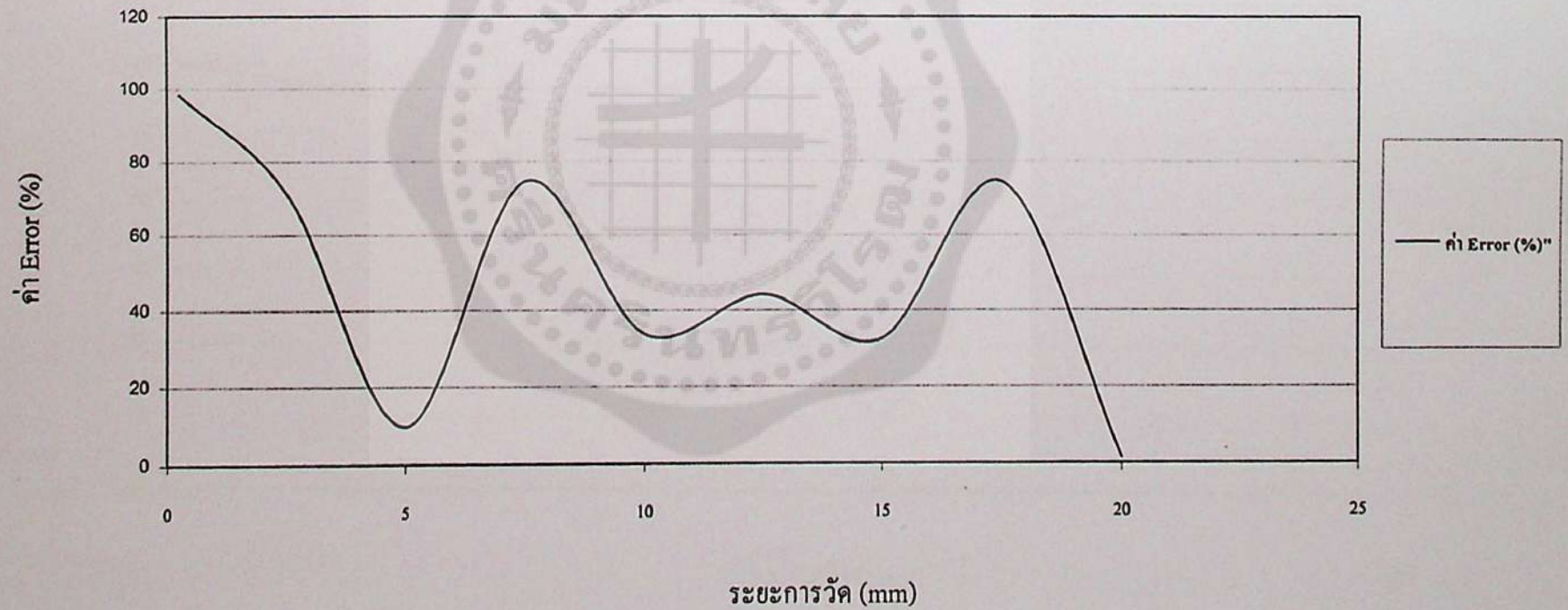
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อกลมที่อัตราการไหล 1.6 L/min



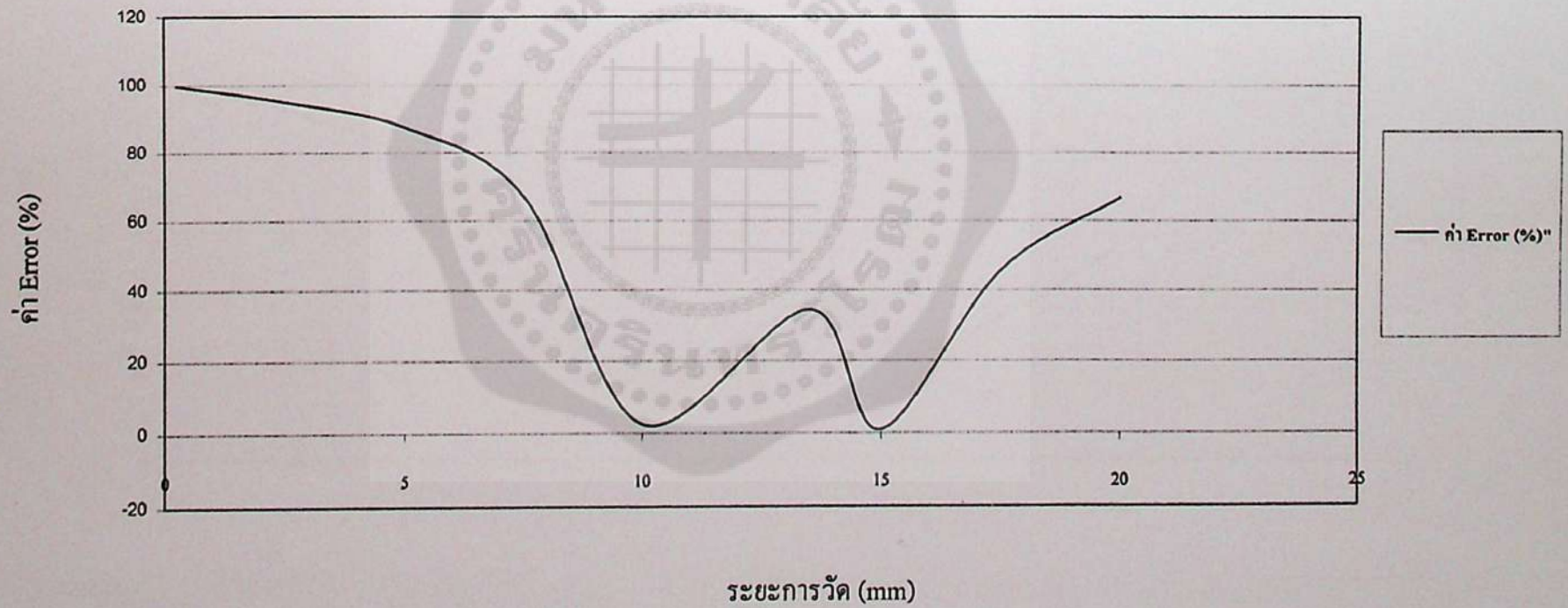
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อกลมที่อัตราการไหล 1.8 L/min



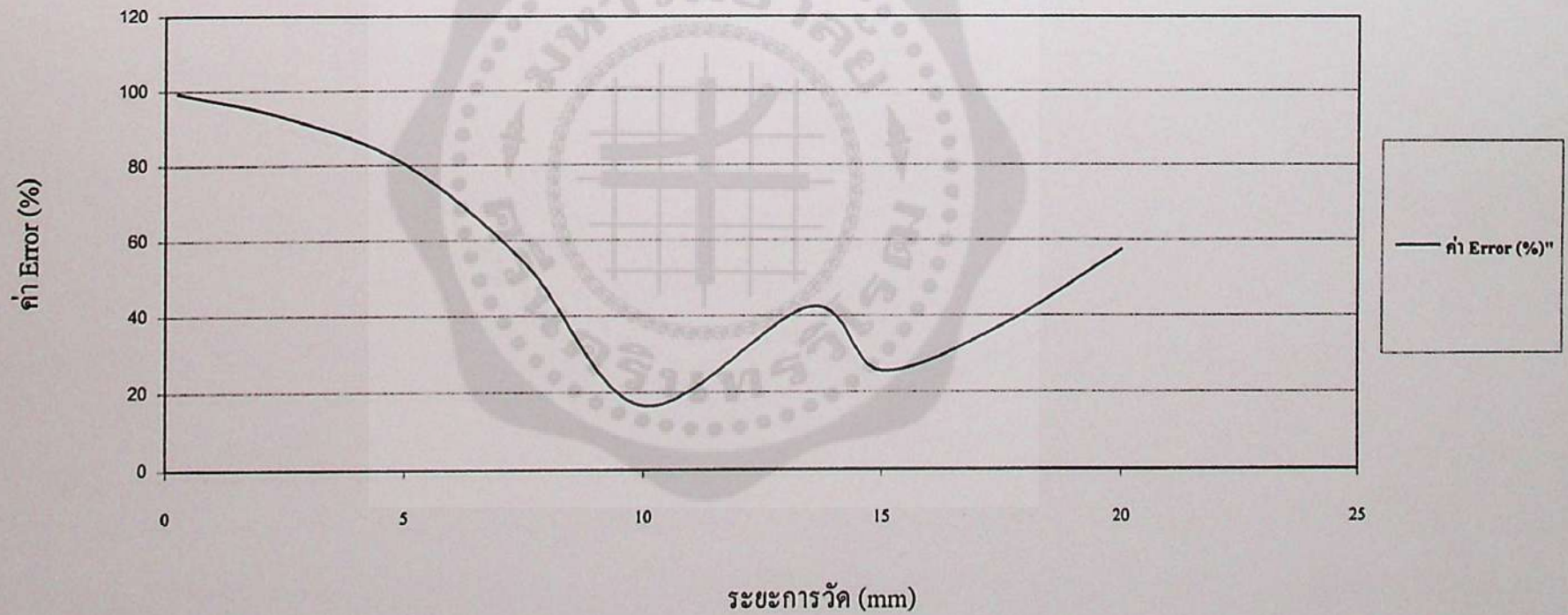
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อกลมที่อัตราการไหล 2.0 L/min



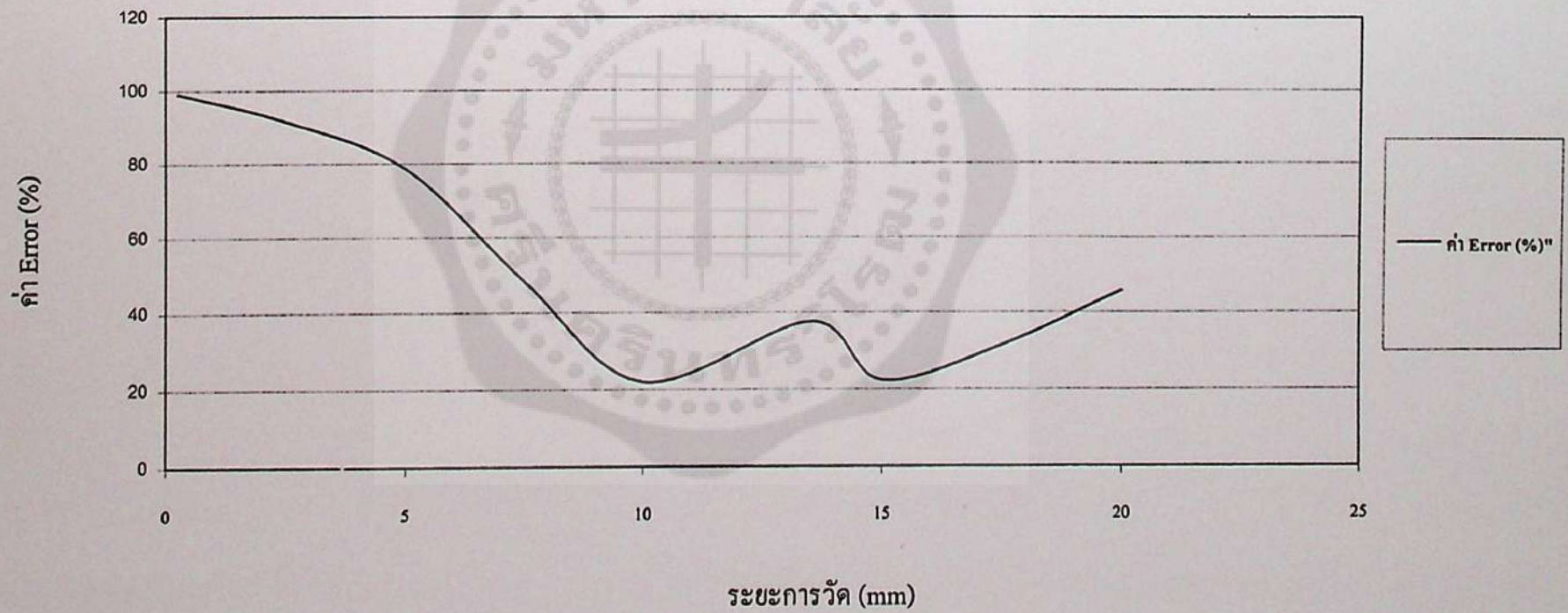
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.2 L/min



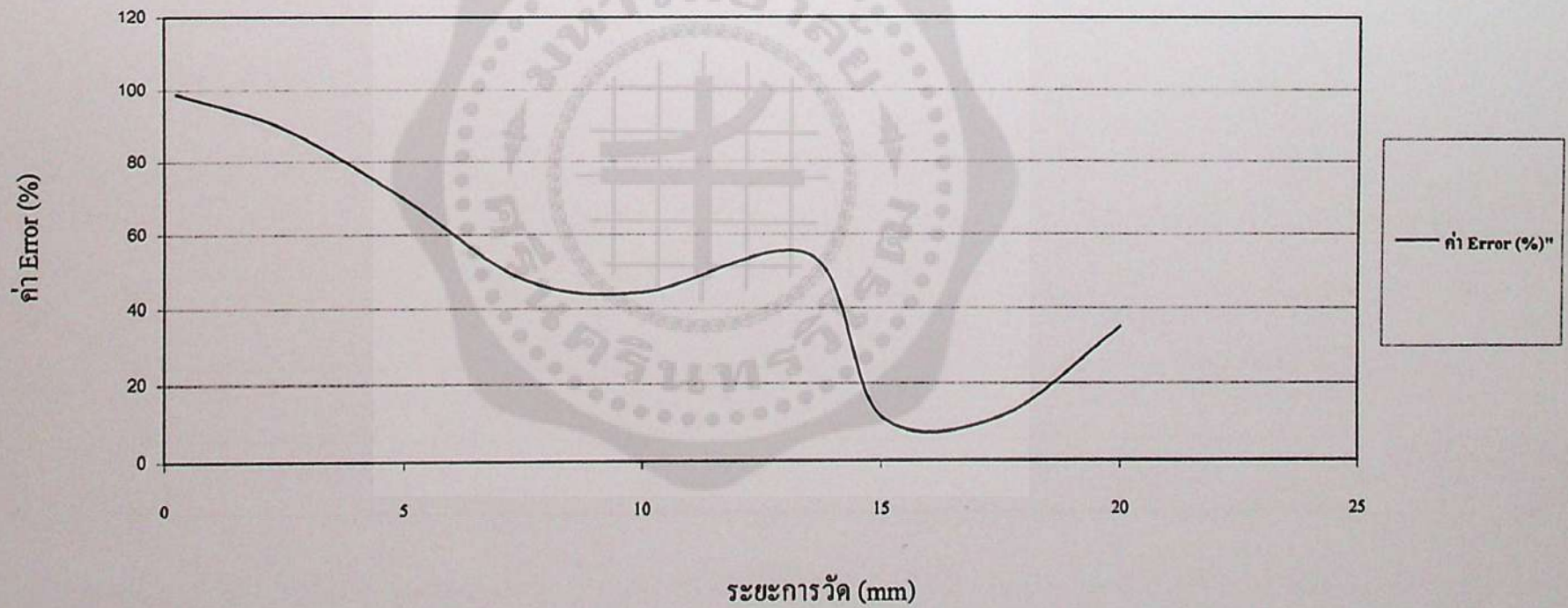
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.4 L/min



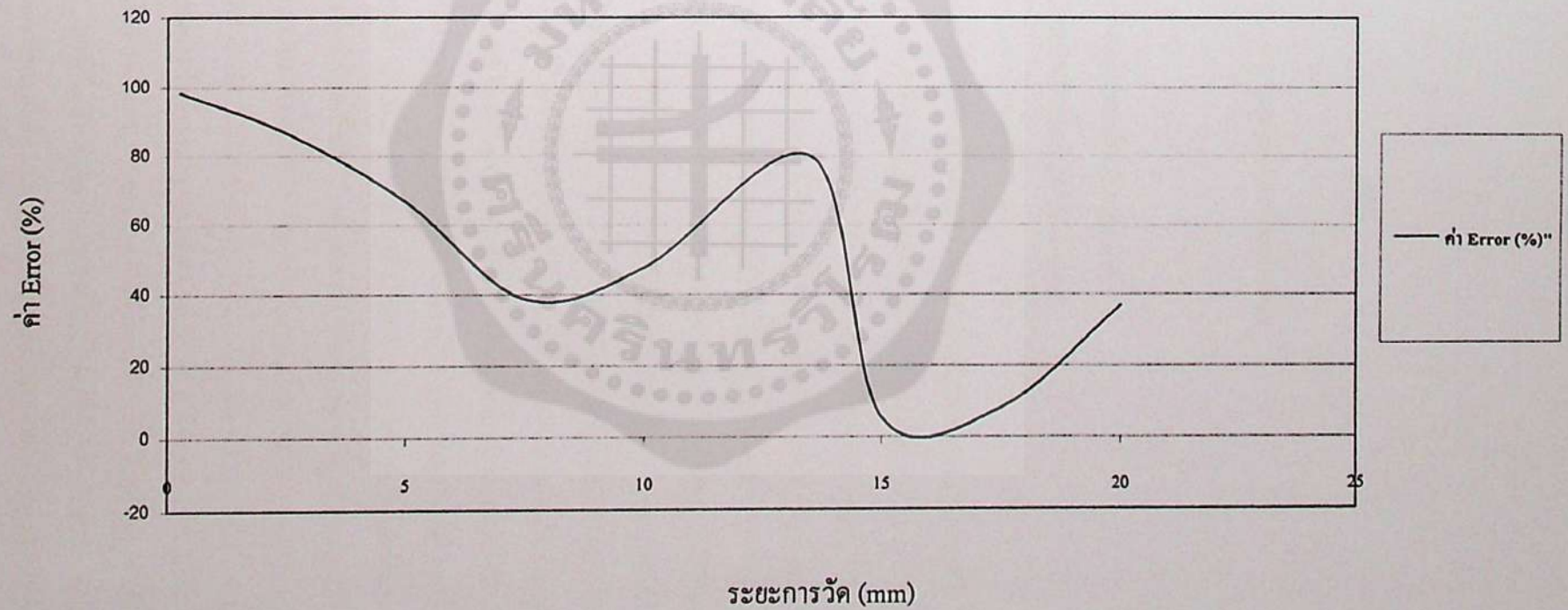
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.6 L/min



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 1.8 L/min



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของท่อเหลี่ยมที่อัตราการไหล 2.0 L/min



บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

1. การทดลองในส่วนของท่อกลม
2. การทดลองในส่วนของท่อเหลี่ยม

1. การทดลองการไหลภายในท่อกลมเพื่อดูลักษณะของ Velocity profile ที่เกิดขึ้นภายในท่อกลมที่อัตราการไหลต่าง ๆ ซึ่งทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ 1.2 L/min, 1.4 L/min, 1.6 L/min, 1.8 L/min และ 2 L/min ซึ่งในแต่ละอัตราการไหลจะทำการวัดบนพื้นที่หน้าตัดท่อที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวแกน y ที่ 0.25 mm, 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm, 10 mm, 12.5 mm, 15 mm, 17.5 mm, 20 mm ซึ่งที่อัตราการไหลและตำแหน่งการวัดบนพื้นที่หน้าตัดท่อที่ตำแหน่งต่าง ๆ จะมีความเร็วที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งจะไม่เท่ากัน ทั้งการคำนวณและจากการทดลอง แต่ที่จุดกึ่งกลางของท่อจะเกิดความเร็วขึ้นสูงสุด เมื่อนำค่าความเร็วที่ได้จากการทดลอง และความเร็วจากการคำนวณไปพล็อตกราฟ จะได้กราฟเป็นรูปพาราโบลาซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี และความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ก็จะไม่เท่ากัน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อน จะแปรผันตามอัตราการไหลที่อัตราการไหลน้อย จะเกิดความคลาดเคลื่อนน้อย แต่เมื่ออัตราเพิ่มขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนก็จะเพิ่มขึ้นตาม จากการทดลองใช้อัตราการไหลน้อยสุดที่ 1.2 ลิตร ต่อ นาที มีความคลาดเคลื่อนเพียง 3.219 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่อัตราการไหลที่ 2 ลิตร ต่อ นาที เป็นอัตราการไหลสูงสุดจากการทดลอง เกิดความคลาดเคลื่อนถึง 44.141 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน ที่จุดกึ่งกลางของท่อ

2. การทดลองในส่วนของที่สี่เหลี่ยม ซึ่งลักษณะของ Velocity Profile ที่เกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน คือ 1.2 L/min, 1.4 L/min, 1.6 L/min, 1.8 L/min และ 2 L/min จะมีลักษณะเป็นรูปพาราโบลา ตามตำแหน่งการวัดต่าง ๆ ของพื้นที่หน้าตัดของท่อ ที่ระยะ y ต่างดังนี้ 0.25 mm, 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm, 10 mm, 13.5 mm, 15 mm, 17.5 mm และ 20 mm โดยความเร็วที่ทำการวัดในตำแหน่งต่าง ๆ จะไม่เท่า โดยที่พื้นที่หน้าตัดย่อยของท่อ ยิ่งเล็กลงก็จะยิ่งมีความเร็วเพิ่มขึ้น และความเร็วสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งการวัดที่ 13.5 mm ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางท่อ เปรียบเทียบที่อัตราการไหล 1.2 ลิตร ต่อ นาที เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น 34.446 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่ช้าสุด

ของการทดลอง ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที เป็นอัตราการไหลที่เร็วสุดของการทดลอง มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น 79.650 เปอร์เซ็นต์

3. จะเห็นได้ว่า ความเร็วที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์กันระหว่างพื้นที่หน้าตัดของท่อ กับอัตราการไหล คือ ที่อัตราการไหลเท่ากัน แต่ตำแหน่งที่ทำการวัดไม่เท่ากันจะมีพื้นที่หน้าตัดของท่อไม่เท่ากัน จึงทำให้ความเร็วที่เกิดขึ้น ในแต่ละตำแหน่งของหน้าตัดของท่อไม่เท่ากัน และความเร็วที่เกิดขึ้น ที่ตำแหน่งการวัดที่ 0.25 mm ความเร็วที่เกิดขึ้นจะช้าสุดเมื่อเลื่อนตำแหน่งการวัดลงทำให้พื้นที่หน้าตัดของท่อเล็กลง ความเร็วก็จะเพิ่มขึ้นตามพื้นที่หน้าตัดของท่อที่เล็กลงของท่อ และความเร็วสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางของท่อ (12.5 mm ของท่อกลมและ 13.5 mm ของท่อเหลี่ยม) เมื่อนำค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งไปพล็อตกราฟ จะได้ลักษณะของกราฟเป็นรูปพาราโบลา และ Profile ที่เกิดขึ้น มีลักษณะใกล้เคียงกับทฤษฎี แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่ท่อเหลี่ยมมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นมากกว่าท่อกลม ซึ่งดูได้จากกราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของแต่ละท่อ

ข้อเสนอแนะ

1. น้ำที่ใช้ในการทดลองควรเป็นน้ำสะอาดที่กรองเอาพวกเศษของออกก่อนเพราะอาจจะเข้าไปอุดตันที่อุปกรณ์ทดลองได้ ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้ไม่เที่ยงตรง
2. Pitot tube ที่จะนำมาใช้ในการวัดค่าความเร็ว ถ้าทำเองควรมีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดท่อ และแรงดันของน้ำ เพื่อให้การวัดเป็นไปอย่างสมบูรณ์
3. ในการทดลองแบบลามิน่า ซึ่งมีอัตราการไหลที่ช้ามากควรเลือกใช้ปั๊มที่มีอัตราการไหลและกำลังของปั๊มไม่ควรเกิน 1/6 แรงม้า
4. ท่อที่ใช้ในการทดลองควรเลือกขนาดให้เหมาะสมกับอัตราไหลที่เกิดขึ้นและช่วงที่ทำการติดตั้ง Pitot tube ควรเป็นท่อใส เพื่อจะได้ดูว่าน้ำไหลเต็มท่อหรือไม่

บรรณานุกรม

1. ชาญ ถนัดงาน : “กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics)” กรุงเทพฯ 23 บิ๊กเซนเตอร์, 2523
2. ชวลิตกษณ์ แสงคำ นรเคน หะสาเมื้อะ : “ชุดสาธิตเส้นระดับชลศาสตร์ของมาตรวัดของไหล (A Hydraulic Grade Line of Meter Demonstation Unit)” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์), 2538
3. วิศิษฐ์ จาตุรमान ขวัญชัย สันทรัพย์สมบูรณ์ : “กลศาสตร์ของไหล”, แผนกช่างยนต์, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
4. Meale c.Potter and David C.Wiggert, “Mechanics of Fluids. SecondEdition.” Prentice Hall 1997.



ตารางภาคผนวกที่ 1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ

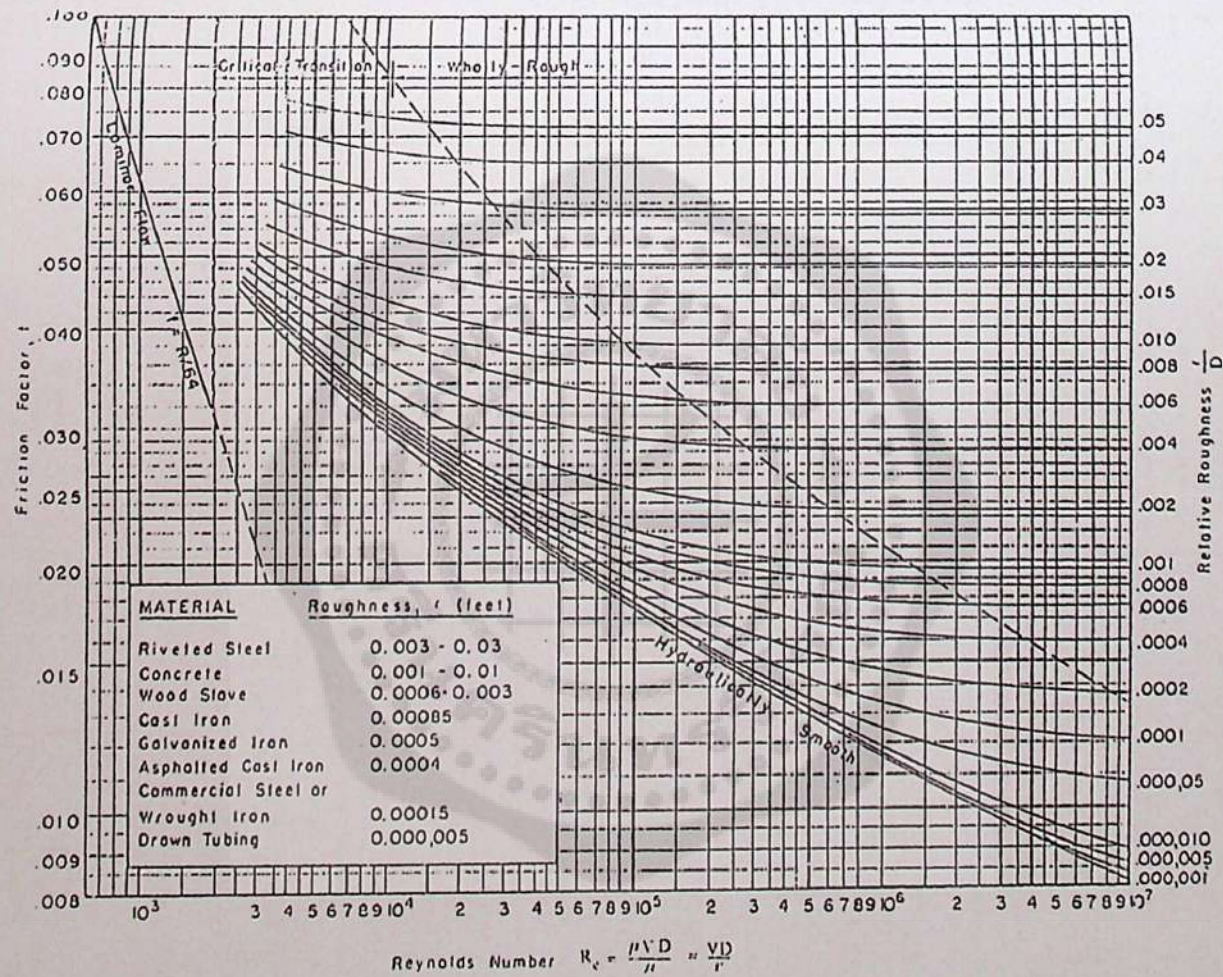
อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก จำเพาะ (γ : N/m ³)	ความหนาแน่น (ρ : kg/m ³)	ความหนืด พลวัต (μ : Pa·s 10 ⁻³)	ความหนืด เปรียบเทียบ (ν : cm ² /s 10 ⁻⁶)	หน่วยแรงตึงผิว (σ : N/m 100 σ)	ความตึงเื้อ (σ_v : kPa)	หัตถ์ยึดหยุ่น เชิงปริมาตร (K : GPa)
0	9805	999.9	1.792	1.792	7.02	0.6	2.04
5	9806	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.9	2.03
10	9808	999.7	1.308	1.308	7.43	1.2	2.11
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	1.7	2.14
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	2.5	2.20
25	9779	997.1	0.894	0.897	7.25	3.2	2.22
30	9767	995.7	0.801	0.804	7.18	4.3	2.23
35	9752	994.1	0.723	0.727	7.10	5.7	2.24
40	9737	992.2	0.656	0.661	7.01	7.5	2.27
45	9720	990.2	0.599	0.605	6.92	9.6	2.28
50	9697	988.1	0.549	0.555	6.82	12.4	2.30
55	9679	985.7	0.506	0.513	6.74	15.6	2.31
60	9658	983.2	0.469	0.477	6.68	19.9	2.28
65	9635	980.5	0.436	0.444	6.58	25.1	2.26
70	9610	977.2	0.405	0.415	6.50	31.4	2.25
75	9585	974.9	0.379	0.390	6.40	38.9	2.23
80	9557	971.6	0.357	0.367	6.30	47.7	2.21
85	9529	968.6	0.335	0.347	6.20	58.1	2.17
90	9499	965.3	0.317	0.328	6.12	70.4	2.16
95	9469	961.9	0.299	0.311	6.02	84.5	2.11
100	9433	958.4	0.284	0.295	5.94	101.3	2.07

ตารางภาคผนวกที่ 1.2 ความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อ

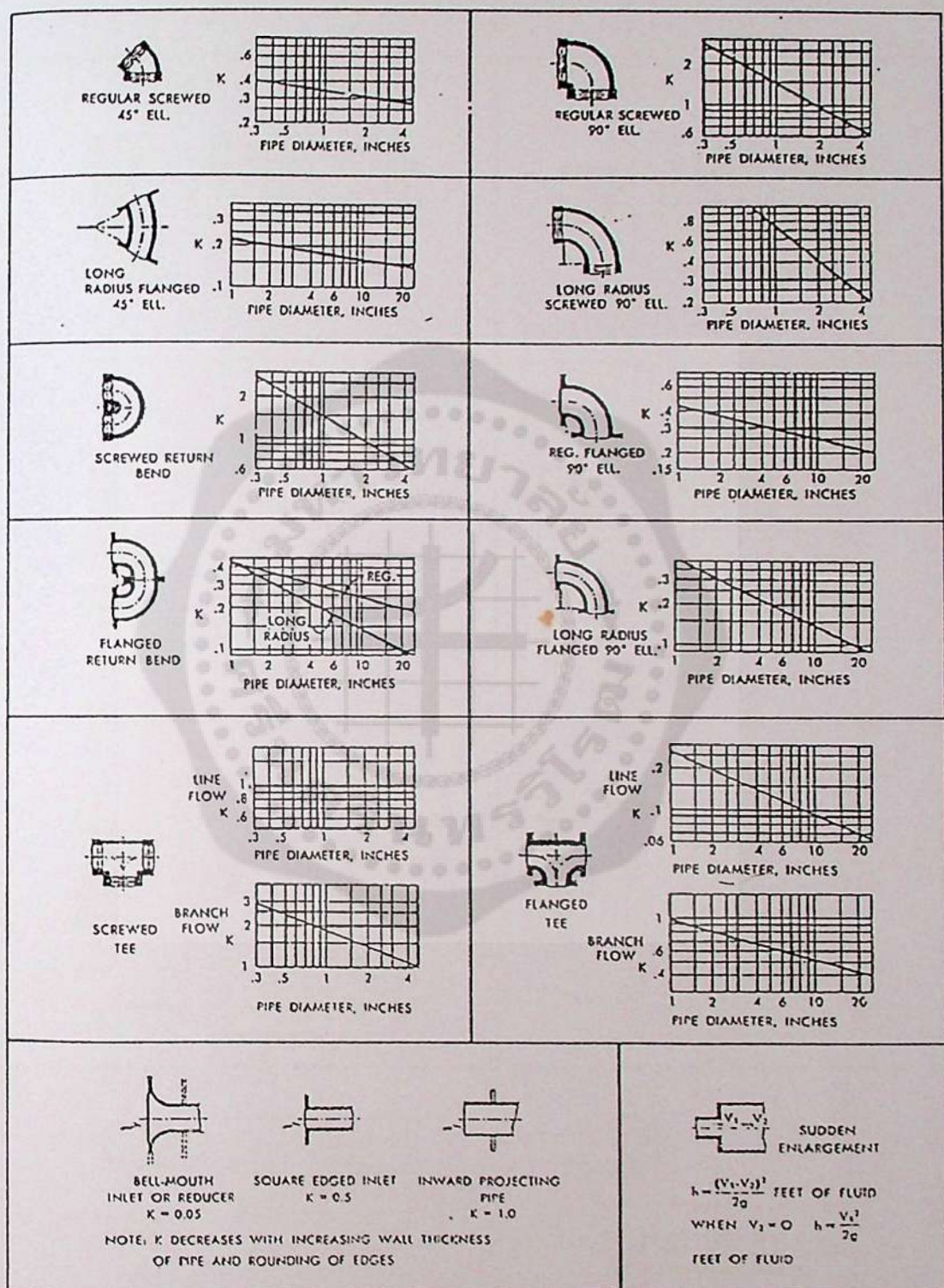
ชนิดของท่อ	$\epsilon(m/n)$
เหล็กขั้หมุด (riveted steel)	0.9 – 9
คอนกรีต (concrete)	0.3 – 3
ไม้ประกะบ (wood stave)	0.18 – 0.9
เหล็กหล่อ (cast iron)	0.25
เหล็กอาบสังกะสี (galvanized iron)	0.15
เหล็กหล่ออาบยางมะตอย (asphalted cast iron)	0.12
เหล็กตลาดหรือเหล็กเหนียว (commercial steel or wrought iron)	0.046
ท่อเรียบ (drawn tubing)	0.0015
ท่อพีวีซี (PVC: Polyvinyl – Chloride)	0.0015

ภาคผนวกที่ 2
แสดงรูปต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

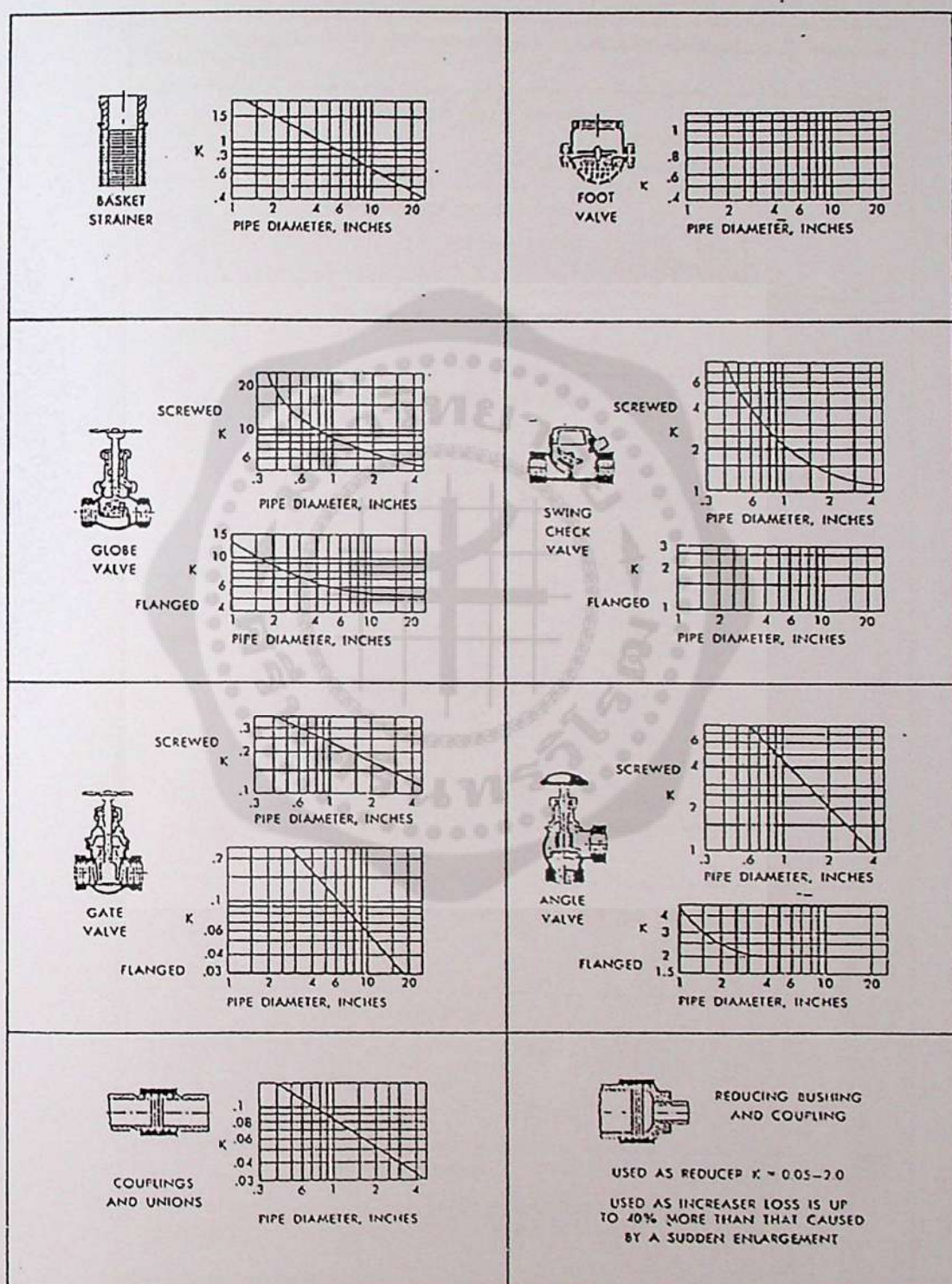




รูปภาพภาคผนวกที่ 2.1 แสดง Mody Diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียด

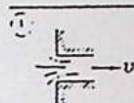


รูปภาพภาคผนวกที่ 2.2 แสดงสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล



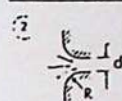
รูปภาพภาคผนวกที่ 2.2 (ต่อ) แสดงสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล

Use the equation $h_e = kv^2/2g$ unless otherwise indicated. Energy loss E_L equals h_e head loss in feet.



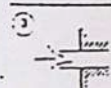
Perpendicular square entrance:

$$k = 0.50 \text{ if edge is sharp.}$$



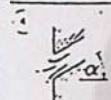
Perpendicular rounded entrance:

$R/d =$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
$k =$	0.25	0.17	0.08	0.05	0.04



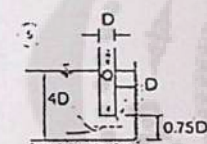
Perpendicular reentrant entrance:

$$k = 0.8$$



Additional loss due to skewed entrance:

$$k = 0.505 + 0.303 \sin \alpha + 0.226 \sin^2 \alpha$$



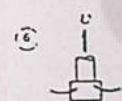
Suction pipe in sump with conical mouthpiece:

$$E_L = D + \frac{5.6Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Without mouthpiece:

$$E_L = 0.53D + \frac{4Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Width of sump shown: $3.5D$



Strainer bucket:

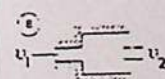
$$k = 10 \text{ with foot valve}$$

$$k = 5.5 \text{ without foot valve}$$



Standard Tee, entrance to minor line

$$k = 1.8$$

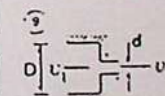


Sudden expansion:

$$E_L = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$$

or

$$E_L = \left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$$



Sudden contraction:

$(d/D)^2 =$	0.01	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
$k =$	0.5	0.5	0.42	0.33	0.25	0.15

รูปภาพภาคผนวกที่ 2.2 (ต่อ) แสดงสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล

Confusor:

$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

$\alpha^\circ =$	20	40	60	80
$k =$	0.20	0.28	0.32	0.35

Diffusor:

$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

$\alpha^\circ =$	6	10	20	40	60	80	100	120	140
k for $D = 3d$	0.12	0.16	0.39	0.80	1.0	1.06	1.04	1.04	1.04
$D = 1.5d$	0.12	0.16	0.39	0.96	1.22	1.16	1.10	1.06	1.04

Sharp elbow:

$$k = 67.6 \times 10^{-4} (\alpha^\circ)^{1.7}$$

Bends:

$$k = (0.13 + 1.85(r/R)^{1.5}) \sqrt{\alpha^\circ/180^\circ}$$

Close return bend:

$$k = 2.2$$

Gate valve:

$e/D =$	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
$k =$	0.15	0.26	0.81	2.06	5.52	17.0	97.8

Globe valve:

$$k = 10 \quad \text{when fully open}$$

Rotary valve:

$\alpha^\circ =$	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$k =$	0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	52.6	206	485	∞

Check valves:

Swing type	$k = 2.5$	When fully open
Ball type	$k = 70.0$	
Lift type	$k = 12.0$	

Angle valve:

$$k = 5.0 \quad \text{if fully open}$$

รูปภาพภาคผนวกที่ 2.2 (ต่อ) แสดงสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล

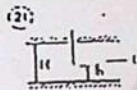
Segment gate in rectangular conduit:



$$k = 0.8 + 1.3 \left[\left(\frac{1}{n} \right) - n \right]^2$$

where $n = \varphi/\varphi_0$ = the rate of opening with respect to the central angle.

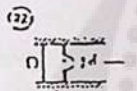
Sluice gate in rectangular conduit:



$$k = 0.3 + 1.9 \left[\left(\frac{1}{n} \right) - n \right]^2$$

where $n = h/H$.

Measuring nozzle:

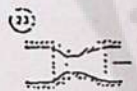


$$E_L = 0.3 \Delta p \quad \text{for} \quad d = 0.8D$$

$$E_L = 0.95 \Delta p \quad \text{for} \quad d = 0.2D$$

where Δp is the measured pressure drop.

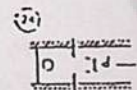
Venturi meter:



$$E_L = 0.1 \Delta p \quad \text{to} \quad 0.2 \Delta p$$

where Δp is the measured pressure drop.

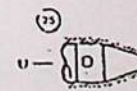
Measuring orifice, square edged:



$$E_L = \Delta p \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^3 \right)$$

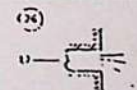
where Δp is the measured pressure drop.

Conusor outlet:



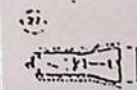
$$\frac{d/D}{k} = \begin{vmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.9 \\ 5.5 & 4 & 2.55 & 1.1 \end{vmatrix}$$

Exit from pipe into reservoir:



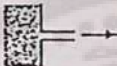
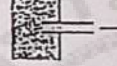
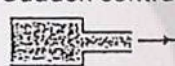
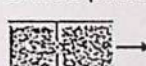
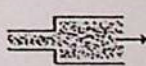
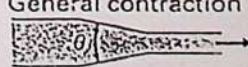
$$k = 1.0$$

Diffuser outlet for $D/d > 2$:



$$\frac{\alpha^*}{k} = \begin{vmatrix} 8 & 15 & 30 & 45 \\ 0.05 & 0.18 & 0.5 & 0.6 \end{vmatrix}$$

รูปภาพภาคผนวกที่ 2.2 (ต่อ) แสดงสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล

Type of fitting <i>Diameter</i>	Screwed			Flanged		
	1 in.	2 in.	4 in.	2 in.	4 in.	8 in.
Globe valve (fully open)	8.2	6.9	5.7	8.5	6.0	5.8
(half open)	20	17	14	21	15	14
(one-quarter open)	57	48	40	60	42	41
Angle valve (fully open)	4.7	2.0	1.0	2.4	2.0	2.0
Swing check valve (fully open)	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0
Gate valve (fully open)	0.24	0.16	0.11	0.35	0.16	0.07
Return bend	1.5	.95	.64	0.35	0.30	0.25
Tee (branch)	1.8	1.4	1.1	0.80	0.64	0.58
Tee (line)	0.9	0.9	0.9	0.19	0.14	0.10
Standard elbow	1.5	0.95	0.64	0.39	0.30	0.26
Long sweep elbow	0.72	0.41	0.23	0.30	0.19	0.15
45° elbow	0.32	0.30	0.29			
Square-edged entrance 			0.5			
Reentrant entrance 			0.8			
Well-rounded entrance 			0.03			
Pipe exit			1.0			
Area ratio						
Sudden contraction ^b 	2:1		0.25			
	5:1		0.41			
	10:1		0.46			
Area ratio A/A_0						
Orifice plate 	1.5:1		0.85			
	2:1		3.4			
	4:1		29			
	$\geq 6:1$		$2.78 \left(\frac{A}{A_0} - 0.6 \right)^2$			
Sudden enlargement ^c 			$\left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$			
90° miter bend (without vanes) 			1.1			
(with vanes) 			0.2			
General contraction 	(30° included angle)		0.02			
	(70° included angle)		0.07			

^aValues for other geometries can be found in *Technical Paper 410*, The Crane Company, 1957.

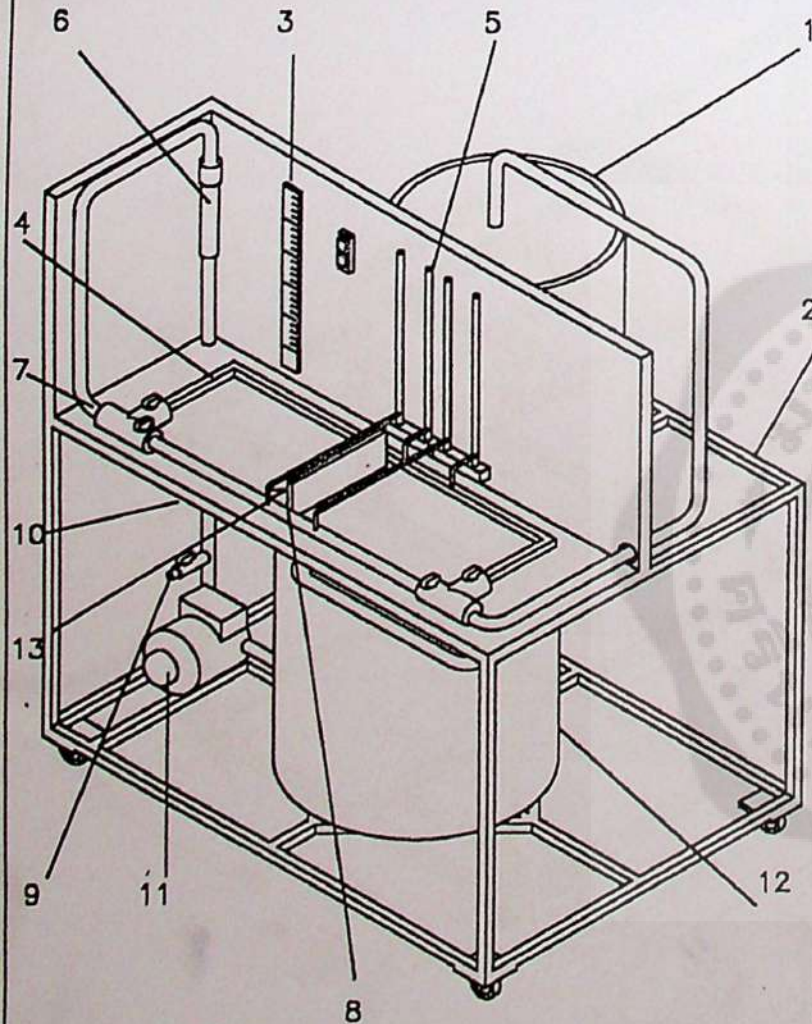
^bBased on exit velocity V_2 .

^cBased on entrance velocity V_1 .

รูปภาพภาคผนวกที่ 2.2 (ต่อ) แสดงสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล

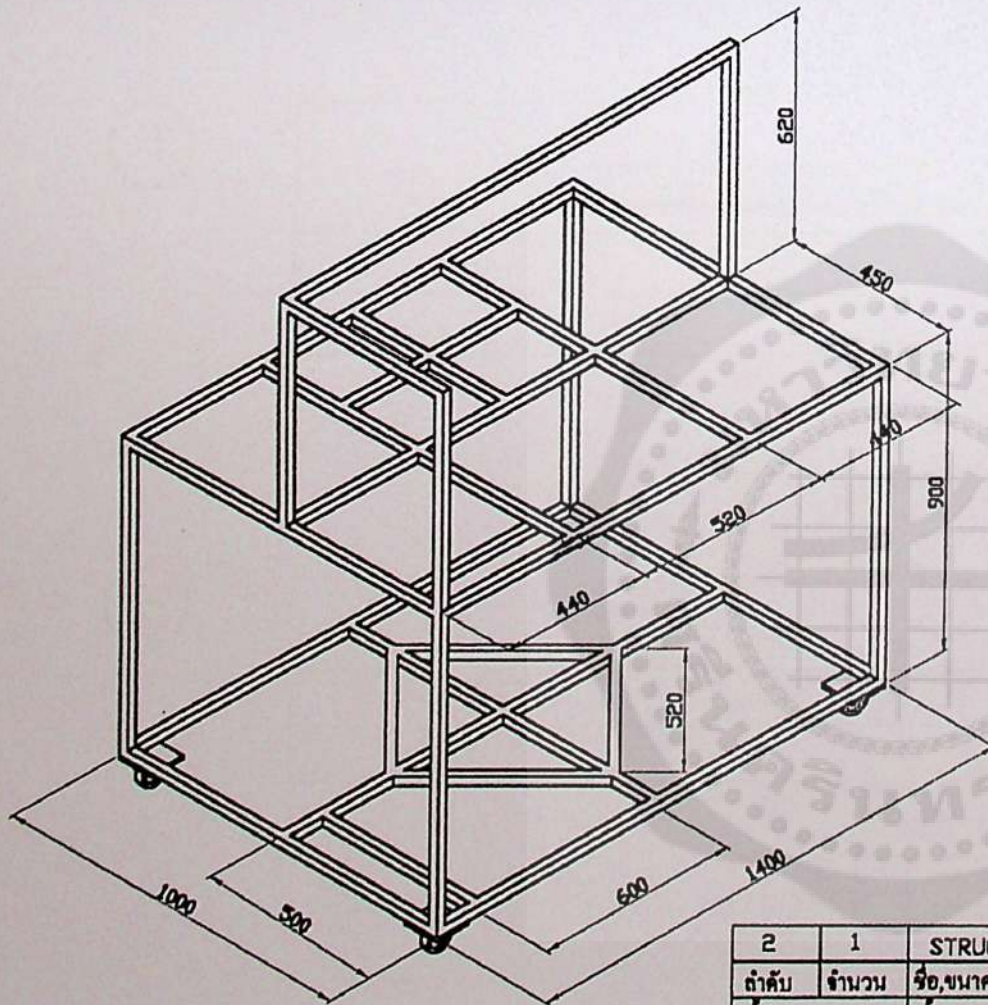


ภาคผนวกที่ 3
แบบประกอบและแยกชิ้นส่วน



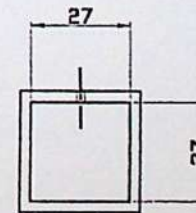
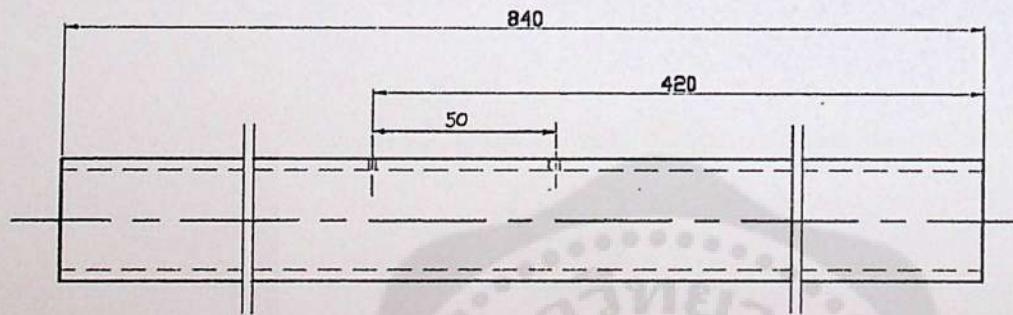
13	4	PITOT TUBE	
12	1	SOURCE TANK	
11	1	PUMP	
10	1	VALVE	
9	1	BLOW PIPE	
8	1	PITOT TUBE GAUGE	
7	1	CIRCLE PIPE	
6	1	ROTAMETER	
5	4	MANOMETER	
4	1	SQUARE PIPE	
3	1	CALIBRATE METER	
2	1	STRUCTURE	
1	1	CALIBRATE TANK	

ลำดับ	จำนวน	ชื่อ,ขนาด,วัสดุ	มาตรฐาน 1:25	
ผู้เขียน วิศวกร	ผู้ตรวจ นิติศักดิ์, กนิ่ง	ผู้อนุมัติ อาจารย์ ประชา	วันที่ 19/03/44	
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อรายงาน ชุดสารคดีลักษณะการไหลภายในท่อ	
			หมายเลขแบบ No.01	แก้ไขครั้งที่ 1

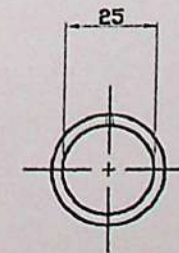
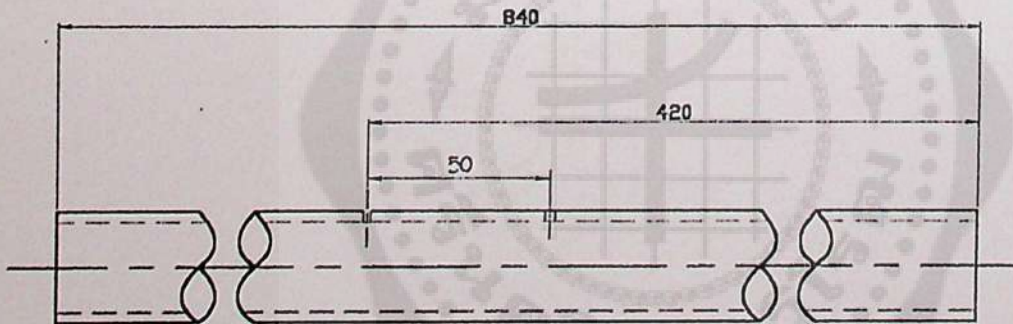


2	1	STRUCTURE				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ,ขนาด,วัสดุ			มาตรฐาน	1:20
ผู้เขียน วิศวกร	ผู้ตรวจ นิติศักดิ์, กปิ่ง	ผู้อนุมัติ อาจารย์ ประชา			วันที่ 19/03/44	
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อโรงงาน ชุตชาติลักษณะการไหลภายในท่อ			
			หมายเลขแบบ No.02	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 2	

4

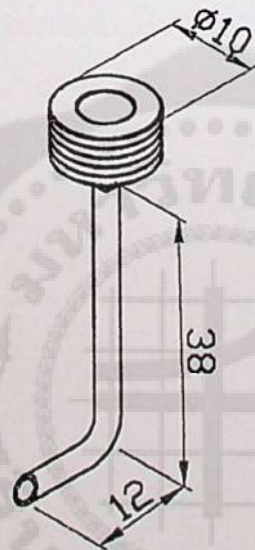


7



7	1	CIRCLE PIPE	
4	1	SQUARE PIPE	

ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ	มาตรฐาน	1:2
ผู้เขียน วิศวกรรม	ผู้ตรวจ นิติศาสตร์, คมิง	ผู้ออกแบบ อาจารย์ ประชา	วันที่	19/03/44
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อโรงงาน	ชุดสถิติลักษณะการไหลภายในท่อ
			หมายเลขแบบ	No.03
			แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 3



13	4	PITOT TUBE				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ,นามสกุล,วัสดุ			มาตรฐาน 1:1	
ผู้เขียน วิศวกร	ผู้ตรวจ นิเทศก์, คุม	ผู้อนุมัติ อาจารย์ประจำ			วันที่ 19/03/44	
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อโรงงาน ชุดสาริตลักษณะการไหลภายในท่อ			
			หมายเลขแบบ No.04		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 4

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ	นายกนึ่ง มีศรีสรรค์
การศึกษา	ป.ว.ช. วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี แผนก ช่างกลโรงงาน ป.ว.ส. วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี สาขาช่างเทคนิคการผลิต
ที่อยู่	117 หมู่ 2 ต. ชะอม อ.แก่งคอย จ.สระบุรี
ชื่อ	นายนิติศักดิ์ อยู่ภักดี
การศึกษา	ป.ว.ช. เทคโนโลยีสยาม แผนกช่างยนต์ ป.ว.ส. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ แผนกช่างยนต์
ที่อยู่	136/72 ซ.ประชากรราษฎร์ 16 แขวงบางซื่อ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800
ชื่อ	นายศิริศาสตร์ ศิริโยธา
การศึกษา	ป.ว.ช. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น แผนกช่างเขียนแบบ ป.ว.ส.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ แผนกช่างเขียนแบบ
ที่อยู่	101 หมู่ 7 ต.บ้านบาก อ.ศรีสมเด็จ จ.ร้อยเอ็ด 45000