



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

### เรื่อง

การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองเพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้วิชากลศาสตร์ของไหล

The Construction and Finding of the Efficiency of Experimental set for  
Development Learning Skills Fluid Mechanics

### คณะผู้วิจัย

นายอดิสร จรัสวรกุลวงศ์

นายชัยศร โลกิตสถาพร

ผศ. อำนาจ เจนจิตศิริ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี 2560  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองเพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้วิชากลศาสตร์ของไทย



นายอดิศร จรัสวรกุลวงศ์  
นายชัยศร โลกิตสถาพร  
ผศ. อำนาจ เจนจิตศิริ

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

The Construction and Finding of the Efficiency of Experimental set for Development  
Learning Skills Fluid Mechanics



Mr. Adisorn Jarunvorakunvong  
Mr. Chaisorn Lokitsathaporn  
ASIST. PROF.Amnat Chenjitsiri

Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Industril Education  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
Academic Year 2017

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองเพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้  
วิทยาศาสตร์ของไหล มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ  
และมีวัตถุประสงค์เพื่อหา หาประสิทธิภาพชุดทดลองเพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของ  
ไหล

ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อนี้ ประกอบด้วย โครงสร้างชุดทดลองขนาด  
ความกว้าง 86 เซนติเมตร ขนาดความยาว 120 เซนติเมตร ขนาดความสูง 171 เซนติเมตร และมี  
อุปกรณ์ชุดทดลองซึ่งประกอบด้วย เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ขนาด 0.5 แรงม้า 220 – 240 โวลต์ 1  
เครื่อง ถังบรรจุน้ำสำหรับใช้ในการทดลองจำนวน 28 ลิตร 1 ใบ ท่อชุดทดลองและข้อต่อ ขนาด 12  
นิ้ว และ ขนาด 1 นิ้ว เกทวาล์ว ขนาด 12 นิ้ว บอลวาล์ว ขนาด 1 นิ้ว 2 ตัว และมาโนมิเตอร์แบบตัวยู  
สำหรับวัดระดับความดันภายในชุดทดลอง

การทดลองจะดำเนินการทดลองตามใบงาน โดยมีการแบ่งการทดลองตามลักษณะ  
การหมุนเปิดเกทวาล์ว 2 ลักษณะ คือ การหมุนเปิดเกทวาล์วแบบเต็มที และการหมุนเปิดเกทวาล์ว  
เพียง 14 รอบ และทำการบันทึกค่าอัตราการไหลผ่านมาตรวัดน้ำ พร้อมทั้งทำการบันทึกผลจากการ  
สังเกตค่าความต่างของความสูงของของเหลวภายในมา โนมิเตอร์ และนำค่าบันทึกผลจากการทดลอง  
ทั้งหมดมาทำการหาค่าการสูญเสียการไหลภายในท่อ

ผลจากการทดลองใช้ ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ พบว่า ชุดทดลองนี้  
มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ป็นสื่อการสอนได้จริง โดยชุดทดลองนี้สามารถหาค่าความเร็ว  
ของไหลผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้วและ 1 นิ้วได้จริง และสามารถหาค่าการสูญเสียกำลังงาน  
ในการไหลที่เกิดขึ้นได้จริงจากการทำการทดลอง และสามารถสังเกตค่าความสูงของของเหลวเพื่อหา  
ค่าความแตกต่างของความดันบนมาโน มิเตอร์ได้จริงตรงตามวัตถุประสงค์ ทั้งนี้ ชุดทดลองได้ผ่านการ  
ประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ซึ่งผลการประเมินคุณภาพชุดทดลองโดยใช้ค่าดัชนีความ  
สอดคล้อง (IOC) มีค่าเฉลี่ยผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 จึงสรุปได้ว่าชุดทดลองนี้  
มีความเหมาะสม และสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นสื่อการสอนได้จริง

## Abstract

The Experiment Set of Pipe's Loss Flow is intended to design and create a trial version of the loss of flow in the pipe and the objective is to find the speed of the flow through the pipe by reading the difference of pressure

The Experiment Set of Pipe's Loss Flow is equipped with the structure of a width of 86 centimeters long 120 cm high 171 centimeters and have a trial version which contains the water pump, the Centrifugal pump size 0.5 HP 220 – 240 volt 1 set. The tanks for trial 28 liters

1 piece, the tube trial and water connection size 12 inch and 1-inch, gate valve size 12 inch , ball valve size 1 inch 2 sets and Manometer EU type for the measurement of the pressure within the trial.

The test will continue trial by the worksheet with the split of the trial by rotating the open the gate valve 2 way is to rotate the open gate valve fully and rotate open gate valve only 14 around and record the flow rate value through the water meter and save it as a result of the notice the difference of the height of the liquid within the nanometer and bring up the save the results from a trial all come to find the loss of flow in the pipe

The results from a test using a trial. The Experiment Set of Pipe's Loss Flow found that the trial is effective and can be used as teaching materials. by this trial to determine the speed of the flow through the pipe diameter 12 inch and 1-inch and be able to find the power loss in the flow that occurs from the trial. And be able to observe the height of the liquid to determine the difference of pressure on the manometer. The purpose of this trial through the assessment of the quality of the 3 Specialists, the results of the Assessment to Quality trial by using the index of conformity (IOC) is the average over the specified criteria with an average equal to 0.89 that indicates that the this trial is appropriate and can be used to convey the Teaching Model.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปประกอบ	ฅ
สารบัญแผนภูมิ	ฉ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2. เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	5
2.2 วัสดุต่างๆ ที่ใช้	6
2.3 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้	11
2.4 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล	24
2.5 มาโนมิเตอร์แบบง่าย (Simple Manometer)	46
2.6 การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง	49
2.7 วิธีสอนโดยใช้การทดลอง (Experiment)	51
บทที่ 3. วิธีดำเนินงาน	
3.1 ชั้นวิเคราะห์ปัญหา	56
3.2 ศึกษาข้อมูลของโครงการ	56
3.3 โครงสร้างและการออกแบบชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ	57

	สารบัญ (ต่อ)	หน้า
	3.4 ตัวอย่างการคำนวณ	58
	3.5 การจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์	62
	3.6 ดำเนินการสร้าง	64
บทที่ 4.	ผลการดำเนินงาน	
	4.1 ผลการทดลอง	75
	4.2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ จากผู้เชี่ยวชาญ	90
บทที่ 5.	สรุปปัญหาและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการทดลอง	97
	5.2 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดทดลองการสูญเสียการไหล ภายในท่อจากผู้เชี่ยวชาญ	98
	5.3 สรุปปัญหาจากการดำเนินงาน	99
	5.4 ข้อเสนอแนะ	100
	บรรณานุกรม	101
	บรรณานุกรมอิเล็กทรอนิกส์	102
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก . ตารางแสดงคุณสมบัติบางประการของน้ำที่ความดันปกติ	105
	ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่าความสูงของผิวขรุขระของท่อและสัมประสิทธิ์ ความขรุขระของผิวภายในท่อ	107
	ภาคผนวก ค. การออกแบบ โครงสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ	109
	ภาคผนวก ง. ใบความรู้	112
	ภาคผนวก จ . ใบงานบันทึกผลการทดลอง	126
	ภาคผนวก ฉ . คู่มือการใช้งานชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ	140
	ภาคผนวก ช . แบบประเมินคุณภาพสำหรับผู้เชี่ยวชาญ	147
	ภาคผนวก ซ. ประวัติผู้เชี่ยวชาญ	150

## สารบัญรูปประกอบ

รูปที่	หน้า	
2.1	เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมหรือเหล็กแป้นโปร่ง(Square Steel Tube)	6
2.2	ตารางแสดงขนาดของเหล็กกล่องสี่เหลี่ยม	7
2.3	ท่อพีวีซีสีฟ้า	8
2.4	ตารางแสดงขนาดของท่อน้ำ	9
2.5	ข้อต่อรูปแบบต่าง ๆ	10
2.6	ข้อต่อรูปแบบต่าง ๆ(ต่อ)	10
2.7	เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หรือ เครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง (Centrifugal Pump)	12
2.8	รูปแบบการไหลของเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง	12
2.9	บอลวาล์ว (Ball Valve)	14
2.10	แสดงหน้าที่การปิด – เปิดของบอลวาล์ว (Ball Valve)	15
2.11	เกตวาล์ว (Gate Valve)	15
2.12	โครงสร้างของเกตวาล์ว (Gate Valve)	16
2.13	ส่วนประกอบของมาตรวัดน้ำ	17
2.14	หน้าปัดมาตรวัดน้ำ	18
2.15	เซอร์กิตเบรกเกอร์	19
2.16	ลักษณะการทำงานของเทอร์โมลแมกเนติก ซีบี(Thermal Magnetic CB.)	20
2.17	ลักษณะการทำงานของโซลิดสเตตทริป ซีบี(Solid State Trip CB.)	21
2.18	มินิเอเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Miniature Circuit Breaker)	22
2.19	สายเปลือย	23
2.20	สายหุ้มฉนวน	23
2.21	ความสัมพันธ์ของความดัน	28
2.22	เสถียรภาพของเครื่องสูบ	30
2.23	การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)	32
2.24	การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)	32
2.25	แสดงตัวอย่างการไหลทิศทางเดียว ( One – dimensional Flow )	33
2.26	แสดงตัวอย่างการไหลสองทิศทาง( Two – dimensional Flow )	33
2.27	แสดงตัวอย่างการไหลสามทิศทาง( Three – dimensional Flow )	34



## สารบัญรูปประกอบ(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.28	แผนภาพของมูดี้ (Moody Chart)	37
2.29	สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย $K_L$ จากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ	39
2.30	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง	39
2.31	การสูญเสียเนื่องจากท่อลดขนาดลงทันที	40
2.32	ท่อค่อย ๆ ลดขนาด	41
2.33	ท่อลดขนาดเป็นรูปกรวย	41
2.34	การสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดทันที	42
2.35	การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆ เพิ่มขนาด	43
2.36	แสดงตัวอย่างของประตูน้ำแบบบาน (Gate valve)	45
2.37	แสดงตัวอย่างของประตูน้ำแบบกลม (Globe valve)	45
2.38	การวัดความดันด้วยมาตรไพโซมิเตอร์ (Piezometer) หรือ มาตรปลายเปิด	46
2.39	การวัดความดันด้วยมาตรปลายเปิดรูปถ้วย (U)	47
2.40	ความดันเกจ (Gauge Pressure)	47
2.41	ความดันสุญญากาศ (Vacuum Gauge Pressure)	48
2.42	แสดงระดับของไหลภายในมาโนมิเตอร์ซึ่งมีลักษณะต่างๆ	49
3.1	แบบโครงสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ	57
3.2	ทำการตัดเหล็กกล่องและเหล็กเพลทตามขนาดโครงสร้าง	64
3.3	ทำการเชื่อมโครงสร้างเข้าด้วยกัน	65
3.4	ทำการเชื่อมแผ่นเหล็กยึดติดกับโครงสร้าง	65
3.5	ทำการทาสีโครงสร้าง	66
3.6	ทำการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ	66
3.7	ทำการเจาะรูแผ่นเหล็ก	67
3.8	ทำการตัดท่อน้ำพีวีซี	67
3.9	ทำการวัดขนาดและเจาะรูถังบรรจุน้ำ	68
3.10	ทำการประกอบชุดท่อพีวีซีในส่วนที่อยู่ด้านล่าง	68
3.11	ทำการประกอบชุดท่อพีวีซีในส่วนที่อยู่ด้านบน	69
3.12	ทำการประกอบชุดท่อพีวีซีในส่วนที่อยู่ด้านบน	70
3.13	ทำการเจาะรูและต่อข้อต่อตรงที่ท่อทั้ง 3	71

## สารบัญรูปประกอบ(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.14	ทำการติดตั้งไม้อัดสำหรับเป็นฐานรองมาโนมิเตอร์	71
3.15	ทำการติดรางอลูมิเนียมและสายวัดขนาด	72
3.16	ทำการประกอบท่อสายยางความดันเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ	73
3.17	ทำการวัดขนาดและตัดปลายท่อยางเพื่อต่อเข้ากับบอลวาล์วทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง1/4	73
3.18	ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อที่มีความเสร็จสมบูรณ์	74



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	4
2.1	แสดงหน่วยของความหนาแน่น	25
2.2	แสดงหน่วยของน้ำหนักจำเพาะของไหล	25
2.3	สัมประสิทธิ์การสูญเสียย่อยจากท่อลดขนาด	40
2.4	สัมประสิทธิ์การสูญเสียย่อยของอุปกรณ์ต่าง ๆ	44
3.1	รายจ่ายวัสดุอุปกรณ์	62
4.1	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1    หาค่าอัตราการไหล (Q)	76
4.2	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2    หาค่าความเร็วในการไหล (V)	76
4.3	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3    หาค่าการสูญเสียรวม	79
4.4	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4    หาค่าความดันสัมบูรณ์	80
4.5	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5    การบันทึกค่าความดัน	81
4.6	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1    หาค่าอัตราการไหล (Q)	83
4.7	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2    หาค่าความเร็วในการไหล (V)	83
4.8	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3    หาค่าการสูญเสียรวม	86
4.9	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4    หาค่าความดันสัมบูรณ์	87
4.10	ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5    การบันทึกค่าความดัน	88
4.11	ค่าความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับด้านคุณสมบัติ ของโครงสร้างชุดทดลอง จากผู้เชี่ยวชาญ	91
4.12	ค่าความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับด้านการนำไปใช้ จากผู้เชี่ยวชาญ	92
4.13	ค่าความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับด้านความรู้ เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ จากผู้เชี่ยวชาญ	93
4.14	ค่าความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับด้านการบำรุงรักษา จากผู้เชี่ยวชาญ	94
4.15	สรุปรายการประเมินค่าความสอดคล้องโดยรวมจากผู้เชี่ยวชาญ	95

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล เป็นสาขาวิศวกรรมสาขาหนึ่ง ที่มีการศึกษาในด้านของ เทคโนโลยีต่างๆ โดยจัดอยู่ในวิชาชีพทางวิศวกรรม เช่น วิชาเทอร์โมไดนามิกส์ ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของความร้อน การรับและการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น เช่นเดียวกัน วิชากลศาสตร์ของไหล ซึ่งถือว่าเป็นวิชาทางวิศวกรรมวิชาหนึ่ง ที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของของไหล และแรงที่เกิดขึ้น ซึ่งมีรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน ตามกรณีในการศึกษา โดยของไหลในที่นี้จะ เป็นอยู่ในรูปของของเหลวและก๊าซ

ในการศึกษา วิชา กลศาสตร์ของไหล ในแต่ละกรณีนั้น ย่อมต้องมีการใช้สูตรทาง คณิตศาสตร์ เพื่อเข้ามาช่วยในการคำนวณ โดยใช้ในการพิจารณาค่าต่าง ๆ เช่น การหาค่าความหนาแน่น การหาค่าความเค้นในของไหล การหาค่าความหนืดและค่าแรงตึงผิว ฯลฯ จะเห็นได้ว่าการเรียนวิชากลศาสตร์ของไหลนั้น ค่าที่ได้ต่าง ๆ จะสามารถหาได้จากสูตรทางคณิตศาสตร์ทั้งสิ้น จากการที่ได้ศึกษาวิชากลศาสตร์ของไหล พบว่า ทางสาขา วิชาวิศวกรรมเครื่องกล ยังไม่มี สื่อที่ใช้เป็นชุดทดลองเฉพาะการหาค่าสูญเสีย การไหลภายในท่อ ซึ่งเป็นชุดทดลองรูปแบบหนึ่งที่จะสามารถแสดงให้เห็นถึงหลักการ ของการสูญเสียกำลังงานในการไหล ภายในท่อในกรณีต่าง ๆ เช่น การไหลผ่านท่อที่มีขนาดเล็กหรือมีขนาดใหญ่ การไหลภายในท่อโดยผ่านอุปกรณ์ที่จะทำให้ เกิดอุปสรรคในการไหล เป็นต้น และยังสามารถใช้เป็นชุดทดลอง ให้เห็นค่าต่าง ๆ ของการไหล ภายในท่อได้อย่างเป็นรูปธรรม

จากปัญหาดังกล่าว ทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะสร้าง “ชุดทดลองการสูญเสียการไหล ภายในท่อ” ขึ้น เพื่อใช้เป็นชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อโดยการแสดงให้เห็นค่าต่าง ๆ และใช้ในการศึกษาระบบการไหลของของไหลภายในท่อ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำมีความหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะสามารถเป็นประโยชน์สูงสุดต่อผู้เรียนในการศึกษาในวิชากลศาสตร์ของไหล

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ

1.2.2 เพื่อหาความเร็วของไหลผ่านท่อ เมื่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและความยาวท่อต่างกัน

1.2.3 เพื่อหาการสูญเสียกำลังงานในการไหล ซึ่งเกิดจากความต้านทานภายในท่อ

1.2.4 เพื่อหาความแตกต่างของความดัน โดยสังเกตจากมาโนมิเตอร์

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 โครงสร้าง “ ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ” มีขนาด 86ซ.ม.× 120 ซ.ม.× 171ซ.ม. (กว้าง×ยาว×สูง)

1.3.2 ปั๊มน้ำแบบหอยโข่ง ขนาด 0.5 HP2.7 A 220 – 240V

1.3.3 วัตต์มิเตอร์ไหลผ่านท่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1/2 นิ้วและขนาด 1 นิ้ว

1.3.4 วัดความเร็วของไหลผ่านท่อชุดทดลองที่ 1 มีความยาวท่อ 110 เซนติเมตร และท่อชุดทดลองที่ 2 มีความยาวท่อ 97 เซนติเมตร

1.3.5 ถังน้ำมีความจุ 40 ลิตร

1.3.6 วัตต์มิเตอร์ไหลด้วยมาตรวัดน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว

1.3.7 ปรับอัตราการไหลโดยการหมุนเกวาล์วได้ 4 ลักษณะ ได้แก่ เปิดแบบเต็มที่, เปิดเพียง 3/4, เปิดเพียง 1/2 และเปิดเพียง 1/4

1.3.8 วัดค่าการเปลี่ยนแปลงความดันด้วยมาโนมิเตอร์โดยการสังเกตค่าความต่างของความสูงภายในมาโนมิเตอร์ซึ่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

1.3.9 ทดลองกับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Fluid) ซึ่งเป็นน้ำเท่านั้น

1.3.10 มีคู่มือประกอบการใช้งานชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ

1.3.11 มีใบความรู้และใบงานประกอบการใช้งานชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อจำนวน 1 ชุด

1.4.2 สามารถเป็นชุดทดลองการไหลส่วนหนึ่งในการศึกษาการไหลภายในท่อในกรณีต่าง ๆ พร้อมแสดงค่าการทดสอบตามกรณีนั้นๆ

1.4.3 สามารถให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง จากการทดลองซึ่งเป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

1.4.4 สามารถเป็นชุดทดลองที่ช่วยให้ผู้สอนสื่อความหมายให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและเห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้น

1.4.5 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาและทำการทดลอง ไปใช้ในการดำเนินชีวิตและการประกอบอาชีพ

## บทที่ 2

### เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงการในครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่มีความเกี่ยวข้องต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดโครงการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

- 2.1 คำนิยามศัพท์เฉพาะ
- 2.2 วัสดุต่าง ๆ ที่ใช้
  - 2.2.1 เหล็กก่ด่อง(Steel Tube)
  - 2.2.2 ท่อพีวีซี(PVC)
- 2.3 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้
  - 2.3.1 เครื่องสูบน้ำ(Pump)
  - 2.3.2 วาล์ว (Valve)
  - 2.3.3 มาตรวัดน้ำ (Water Meter)
  - 2.3.4 เซอร์คิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)
  - 2.3.5 สายไฟฟ้า(Wire)
- 2.4 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล
  - 2.4.1 คุณสมบัติของของไหล
  - 2.4.2 ทฤษฎีการไหลของของไหล
  - 2.4.3 ทฤษฎีการไหลของของไหลในท่อ
- 2.5 มาโนมิเตอร์แบบง่าย (Simple Manometer)
- 2.6 การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง
- 2.7 วิธีสอนโดยใช้การทดลอง(Experiment)

#### 2.1 คำนิยามศัพท์เฉพาะของโครงการ

ชุดทดลอง หมายถึง ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ การสูญเสียการไหลภายในท่อ หมายถึง การสูญเสียกำลังงานในการไหลของของไหล ซึ่งเกิดจากความต้านทานภายในท่อโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง

## 2.2 วัสดุต่างๆที่ใช้

2.2.1 เหล็กกล่อง(Steel Tube)หรือเหล็กแป้นอุตสาหกรรม จัดอยู่ในประเภทเหล็กรูปพรรณ เหล็กที่มีรูปร่างแบบต่างๆ เพื่อตอบสนองต่อการใช้งาน โดยมีจุดประสงค์หลักคือ การเพิ่มคุณสมบัติของหน้าตัด เพื่อรับแรงต้านทานการเสยรูปขณะใช้งานได้ดีขึ้น ใช้เป็นเหล็กในโครงสร้างหลักหรือโครงสร้างอื่นๆ เช่น โครงหลังคาเหล็ก คานเหล็ก โดยเหล็กกล่อง (Steel Tube) ที่ใช้ในโครงการคือ เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม หรือ เหล็กแป้นโปร่ง (Square Steel Tube)



รูปที่2.1เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม หรือ เหล็กแป้นโปร่ง (Square Steel Tube)

เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม หรือ เหล็กแป้นโปร่ง ( Square Steel Tube)เป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวงแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความยาว 6,000 มิลลิเมตร/เส้น มีลักษณะเป็นท่อสี่เหลี่ยม มีมุมฉากที่เรียบคม ไม่นูนได้มุมฉาก 90 องศา ผิวเรียบไม่หยาบ ขนาดความยาวต้องวัดได้หน่วยมิลลิเมตร มีขนาดเท่ากันทุกเส้น เหมาะสำหรับงาน โครงสร้างทั่วไปที่ไม่รับน้ำหนักมาก เช่น เสา, นั่งร้าน เป็นต้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทั่วไป ทดแทนการใช้ไม้ คอนกรีต และเหล็กรูปพรรณชนิดอื่นๆ น้ำหนักเบา และมีคุณสมบัติที่แข็งแรงทนทาน

Size D x D		Thickness t(mm)	Weight		Sectional Area cm <sup>2</sup>
			Kg/m	Kg/6m	
25 x 25	2.3	1.53	9.18	1.950	
	3.2	1.93	11.88	2.526	
32x32	2.3	2.04	12.24	2.595	
	3.2	2.69	16.14	3.422	
38x38	2.3	2.47	14.82	3.147	
	3.2	3.29	19.74	4.190	
50x50	2.3	3.34	20.04	4.521	
	3.2	4.50	27.00	5.726	
60x60	2.3	4.06	24.36	5.171	
	3.2	5.50	33.00	7.006	
75x75	2.3	5.14	30.84	6.551	
	3.2	7.01	42.06	8.926	
	4.5	9.55	57.30	12.160	
90x90	3.2	8.51	51.06	10.840	
	4.5	11.67	70.02	14.860	
100x100	2.3	6.95	41.70	8.851	
	3.2	9.52	57.12	12.130	
	4.5	13.09	78.54	16.660	
150x150	3.2	14.54	87.24	18.520	
	4.5	20.15	120.90	25.660	
	6.0	26.40	158.40	33.630	

รูปที่ 2.2 ตารางแสดงขนาดของเหล็กกล่องสี่เหลี่ยม

2.2.2 ท่อพีวีซี(PVC)ย่อมาจากคำว่า โพลีไวนิลคลอไรด์ ( Polyvinyl chloride) เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น มีความเหนียวยืดหยุ่นตัวได้ ทนต่อแรงดันน้ำได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนของกรดหรือด่างได้ดี ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีเพราะไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เป็นวัสดุไม่ติดไฟ มีผิวมันเรียบช่วยให้การไหลของน้ำได้ดี มีน้ำหนักเบาและราคาถูก แต่มีข้อเสียคือ เปราะ กรอบ และแตกหักง่าย ไม่ทนทานต่อแรงกระแทกและแสงแดดหรือแสงยูวี ( UV) ท่อพีวีซี ที่ใช้กันในประเทศไทยส่วนใหญ่มีความยาวประมาณ 4 เมตร ยกเว้นท่อพีวีซีบางประเภท ซึ่งอาจยาว 3 หรือ 6 เมตร โดยท่อพีวีซี(PVC)ที่ใช้ในโครงการคือท่อพีวีซี(PVC)สีฟ้า





รูปที่ 2.3 ท่อพีวีซีสีฟ้า

2.2.2.1 ท่อพีวีซี(PVC)สีฟ้า ผลิตขึ้นตามมาตรฐาน มอก. 17-2532 (ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม) เป็นท่อที่นิยมใช้ในงานสุขาภิบาลในอาคาร เช่น ใช้เป็นท่อประปาสำหรับระบบน้ำดื่ม ซึ่งต้องรับแรงดันน้ำ หรือใช้กับระบบ สูบน้ำ หรืองานท่อระบายน้ำ มีความหนาตามระดับการรับแรงกดดันได้ของท่อ โดยมีหน่วยระบุถึงความสามารถในการรับแรงกดดันได้ของท่อ เป็น กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เช่น มาตรฐานท่อพีวีซีขนาด 8.5 หรือ 13.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (PVC-8.5 หรือ PVC-13.5) ใช้เป็นท่อประปาสำหรับระบบน้ำดื่มหรือระบบปั้มน้ำ ซึ่งต้องรับแรงดันน้ำมาก สำหรับท่อระบายน้ำ ทิ้งหรือท่อน้ำโสโครกซึ่งไม่มีแรงดันน้ำ นิยมใช้มาตรฐานท่อขนาด 5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (PVC-5) ท่อพีวีซีสีฟ้าเหล่านี้ เหมาะสำหรับใช้งานภายในอาคารหรือในที่ร่มเท่านั้น ไม่ควรใช้งานภายนอกอาคารที่ต้องสัมผัสกับแสงแดดเนื่องจากไม้ ทนต่ออุณหภูมิที่สูง และไม่ควรรใช้กับอาคารที่ทรุดตัวได้ง่าย เพราะจะทำให้ท่อแตกหักหรือฉีกขาดออกจากกันได้ (ที่มา :<http://www.uniserv.buu.ac.th>)

สำหรับขนาดของท่อน้ำ พีวีซี (PVC) นั้นมีให้เลือกใช้งานตั้งแต่ 1/2 นิ้ว หรือภาษาช่างมักเรียกว่า 4 หุน (1 นิ้ว มี 8 หุน) ไปจนถึง 24 นิ้ว ดังตารางที่แสดงในรูปที่ 2.4



Unit : mm

ชื่อขนาด NOMINAL SIZE	เส้นผ่าศูนย์กลาง ภายนอก (OD)	ความหนา (THICKNESS)			ความยาว ต่อท่อน (LENGTH)	น้ำหนักต่อท่อน-กิโลกรัม (WEIGHT PER LENGTH, Kg)		
		PVC 5	PVC 8.5	PVC 13.5		PVC 5	PVC 8.5	PVC 13.5
18 (1/2")	22±0.15	-	2.0±0.20	2.5±0.20	4,000 + 30 - 0	-	0.72	0.88
20 (3/4")	26±0.15	-	2.0±0.20	2.5±0.20		-	0.86	1.06
25 (1")	34±0.15	-	2.0±0.20	3.0±0.25		-	1.15	1.67
35 (1 1/4")	42±0.15	1.5±0.15	2.0±0.20	3.1±0.25		1.09	1.44	2.17
40 (1 1/2")	48±0.15	1.5±0.15	2.3±0.20	3.5±0.25		1.25	1.89	2.80
55 (2")	60±0.15	1.8±0.20	2.9±0.25	4.3±0.30		1.88	2.98	4.30
65 (2 1/2")	76±0.20	2.2±0.20	3.5±0.25	5.4±0.35		2.92	4.56	6.85
80 (3")	89±0.20	2.5±0.20	4.1±0.30	6.4±0.40		3.89	6.26	9.50
100 (4")	114±0.30	3.2±0.25	5.2±0.35	8.1±0.50		6.37	10.17	15.41
125 (5")	140±0.30	3.9±0.30	6.4±0.40	9.9±0.55		9.55	15.40	23.23
150 (6")	165±0.40	4.6±0.30	7.5±0.45	11.7±0.65		13.28	21.29	32.37
200 (8")	216±0.50	5.4±0.35	8.8±0.50	13.7±0.75		20.48	32.87	50.06
250 (10")	267±0.70	6.6±0.40	10.9±0.60	16.9±0.90		30.96	50.37	76.43
300 (12")	318±0.80	7.8±0.45	12.9±0.70	20.1±1.05		43.61	71.07	108.40
350 (14")	370±0.90	9.1±0.55	15.0±0.80	23.4±1.20		59.22	96.22	147.01
400 (16")	420±1.10	10.3±0.60	17.0±0.90	26.5±1.35		76.12	123.89	189.23
450 (18")	470±1.20	11.5±0.65	19.0±1.00	29.7±1.50		95.16	155.07	237.58
500 (20")	520±1.30	12.7±0.70	21.0±1.10	32.8±1.65		116.32	189.78	290.65
600 (24")	630±1.60	15.3±0.80	25.4±1.30	39.7±2.00		169.97	278.57	427.32

รูปที่ 2.4 ตารางแสดงขนาดของท่อน้ำ

จากตารางในรูปที่ 2.4 ตัวเลขที่ระบุชั้นคุณภาพท่อ พีวีซี 5, พีวีซี 8.5 และ พีวีซี 13.5 เป็นความดันใช้งาน (Working pressure) หมายถึงความดันสูงสุดที่กำหนดให้ใช้งานได้ติดต่อกันเป็นเวลานานที่อุณหภูมิ 27°C มีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (Kgf/cm<sup>2</sup>)

2.2.2.2 ข้อต่อรูปแบบต่างๆของท่อพีวีซี (PVC) สีฟ้า จะแสดงไว้ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6

1. ข้อต่อตรง (TS SOCKET)  ขนาด 18 มม. - 150 มม.	2. ข้อต่อลด (TS REDUCING SOCKET)  ขนาด 20x18 มม. - 100x80 มม.	3. ข้องอ 45° (TS 45° ELBOW)  ขนาด 18 มม. - 65 มม.	4. ข้องอ 90° (TS ELBOW)  ขนาด 18 มม. - 300 มม.	5. ข้องอ 90° ลด (TS REDUCING ELBOW)  ขนาด 20x18 มม. - 95x20 มม.
6. สามทาง 90° (TS TEE)  ขนาด 18 มม. - 300 มม.	7. สามทาง 90° ลด (TS REDUCING TEE)  ขนาด 20x18 มม. - 250x200 มม.	8. ข้อต่อเกลียวออก (TS VALVE SOCKET)  ขนาด 18 มม. - 100 มม.	9. ข้อต่อเกลียวใน (TS FAUCET SOCKET)  ขนาด 18 มม. - 100 มม.	10. สามทางเกลียวใน (TS FAUCET TEE)  ขนาด 18 มม. - 20 มม.
11. ข้อต่อเกลียวใน (TS FAUCET ELBOW)  ขนาด 18 มม. - 25 มม.	12. ข้อต่อเกลียวออก (TS VALVE ELBOW SOCKET)  ขนาด 18 มม. - 25 มม.	13. ฝาครอบ (TS CAP)  ขนาด 1.5 มม. - 200 มม. ขนาด 65-200 มม. ขนาด 18-55 มม.	14. ฝาครอบเกลียว (INTERNAL THREAD CAP)  ขนาด 18 มม. - 55 มม.	15. ข้อต่อหน้าจานพีวีซี (TS FLANGE)  ขนาด 55 มม. - 150 มม.
16. ยูเนียนพีวีซี (COMPRESSION COUPLING)  ขนาด 18 มม. - 55 มม.	17. กิ๊บจับท่อพีวีซี (PVC ANCHOR)  ขนาด 19 มม. - 25 มม.	18. คลิปจับท่อพีวีซีก้ามปู (PVC CLIP)  ขนาด 13 มม. - 26 มม.	19. ข้อต่อเกลียวใน ทองเหลือง (TS FAUCET SOCKET WITH BRONZE THREAD)  ขนาด 18 มม. - 55 มม.	20. สามทางเกลียวใน ทองเหลือง (TS FAUCET TEE WITH BRONZE THREAD)  ขนาด 18 มม. - 20 มม.

รูปที่ 2.5 ข้อต่อรูปแบบต่าง ๆ

21. ข้อต่อเกลียวในทองเหลือง (TS FAUCET ELBOW WITH BRONZE THREAD)  ขนาด 18 มม. - 25 มม.	22. นิปเปิลพีวีซี (PVC NIPPLE)  ขนาด 18 มม. - 26 มม.	23. ปลั๊กอุดพีวีซี (PVC VALVE PLUG)  ขนาด 18 มม. - 26 มม.
24. ประตุน้ำพีวีซี (TS STOP VALVE)  ขนาด 18 มม. - 20 มม.	25. หัวกระโหลกพีวีซี (FOOT VALVE)  ขนาด 25 มม. - 55 มม.	26. รั้วแยกพีวีซี (BRANCH SADDLE)  ขนาด 55x18 มม. - 150x35 มม.

รูปที่ 2.6 ข้อต่อรูปแบบต่าง ๆ (ต่อ)

## 2.3 อุปกรณ์ต่าง ๆที่ใช้

2.3.1 เครื่องสูบน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยส่งผ่านพลังงานจากแหล่งต้นกำเนิดไปยังของเหลว เพื่อให้ของเหลวเคลื่อนที่จาก ตำแหน่งหนึ่ง ไปยังอีก ตำแหน่งหนึ่งที่อยู่สูงกว่า หรือในระยะทาง

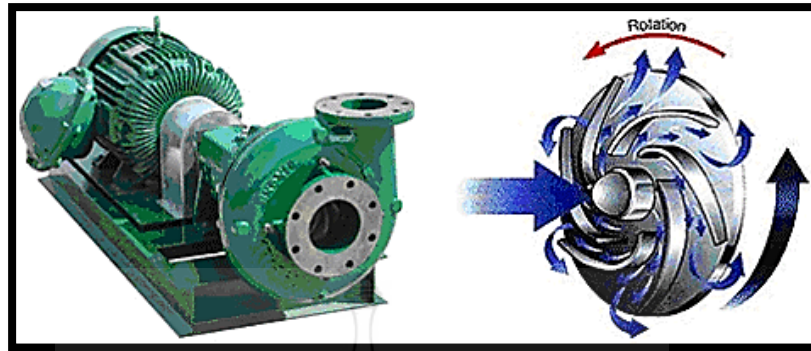


ที่ไกลออกไป ปัจจุบันเครื่อง สูบน้ำจัดเป็นอุปกรณ์เครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจัดส่งน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค การเกษตร คมนาคม อุตสาหกรรม ตลอดจนการบำบัดน้ำเสีย เพื่อรักษาภาวะแวดล้อม ที่ดีให้กับมนุษย์ ซึ่งวิวัฒนาการของเครื่อง สูบน้ำในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปจากเดิม ที่ใช้พลังงานจาก แหล่งธรรมชาติมาเป็น การใช้พลังงานจากไอน้ำ จากเครื่องยนต์ และที่นิยมกันมากคือ การใช้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

ประเภทของเครื่องสูบน้ำ (Type of Pump)ปัจจุบันมีการจัดแบ่งประเภทของเครื่องสูบน้ำหลายรูปแบบ และมีการเรียกชื่อแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมี การจัดหมวดหมู่ ออกได้เป็น 2 แบบคือ

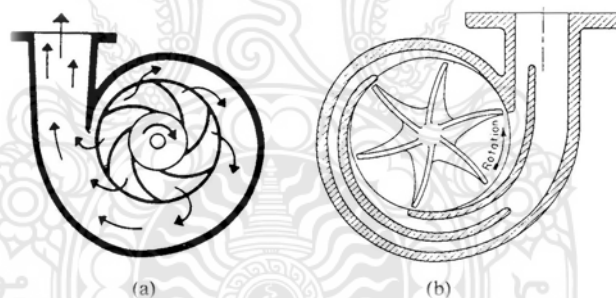
1.แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในเครื่องสูบน้ำ ได้แก่

- ก . ประเภทเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง หรือเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง(Centrifugal Pump) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เครื่องสูบน้ำแบบนี้ บางครั้งเรียกว่าแบบโรตา – ไดนามิกส์ (Rota – dynamic)
  - ข. ประเภทโรตารี (Rotary) เพิ่มพลังงาน โดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง
  - ค . ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating)เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ
  - ง . ประเภทพิเศษ (Special) เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษ ไม่สามารถจัดอยู่ในทั้งสามประเภทที่กล่าวมา
2. แยกตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในเครื่องสูบน้ำ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ
- ก. ประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Dynamic) เป็นเครื่องสูบน้ำประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและแบบพิเศษ
  - ข. ประเภททำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Positive Displacement) คือการเคลื่อนที่ โดยอาศัยชิ้นส่วนของเครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำประเภทนี้จะรวมเอาแบบโรตารีและแบบลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มด้วย



รูปที่ 2.7 เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หรือ เครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง (Centrifugal Pump)

เครื่องสูบน้ำชนิด หอยโข่ง เป็นแบบที่ของเหลวที่ไหลเข้ามาสู่ศูนย์กลางของใบพัดที่ทิศทางขนานกับแกนของเพลลา แล้วไหลออกทำมุม 90 องศา กับทิศทางที่ไหลเข้า ช่องทางเดินของของเหลวจากลิ้นของเรือน เครื่องสูบน้ำ มีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงในทิศทางการหมุนของใบพัด บางแบบมีการเพิ่มช่องทางเดินให้มากขึ้นเช่นในรูป ที่ 2.8 (b) การดัดแปลงดังกล่าวนี้จะช่วยให้แรงกดดันเพลลาของเครื่องสูบน้ำมีความสมดุลดีขึ้น



รูปที่ 2.8 รูปแบบการไหลของเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง

ลักษณะการทำงานของ เครื่องสูบน้ำ แบบแรงเหวี่ยง หนีศูนย์กลาง เป็นที่ได้รับความนิยมสูงสุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง เหมาะสมกับการใช้งานหลายประเภทประกอบกับการดูแลรักษาที่ง่าย ส่วนประกอบของเครื่อง มีใบพัดอยู่ในเสื้อ เครื่องรูปหอยโข่ง (Volute Casing) ให้พลังงานแก่ของเหลวโดยการหมุนของใบพัด ทำให้สามารถยกน้ำจากระดับต่ำขึ้นไปสู่ระดับสูงได้

หลักการการทำงานของเครื่อง พลังงานจะเข้าสู่ เครื่องสูบน้ำ โดยผ่านเพลลาซึ่งมีใบพัดติดอยู่ เมื่อใบพัดหมุนของเหลวภายในจะไหลจาก ส่วนกลางของใบพัด ไปสู่ส่วนปลายของใบพัด (Vane) จากการกระทำของแรงเหวี่ยง จากแผ่นใบพัดนี้ จะทำให้ เหนือความดัน (Pressure Head) ของเหลวเพิ่มขึ้น เมื่อของเหลวได้รับความเร่ง จากแผ่นใบพัด ก็จะทำให้มีเหนือความเร็วสูงขึ้น ส่งผลให้ของเหลวไหล

จากปลายของใบพัดเข้าสู่ส่วนเสี้ยวรูปหอยโข่ง แล้วออกไปสู่ทางออกของ เครื่องสูบ ในขณะที่เดียวกัน ก็เปลี่ยนเสี้ยวความเร็วเป็นเสี้ยวความดัน ดังนั้นเสี้ยวที่ให้แก่ของเหลวต่อหนึ่งหน่วยความหนักเรียกว่า **เสี้ยวรวมของปั๊ม**

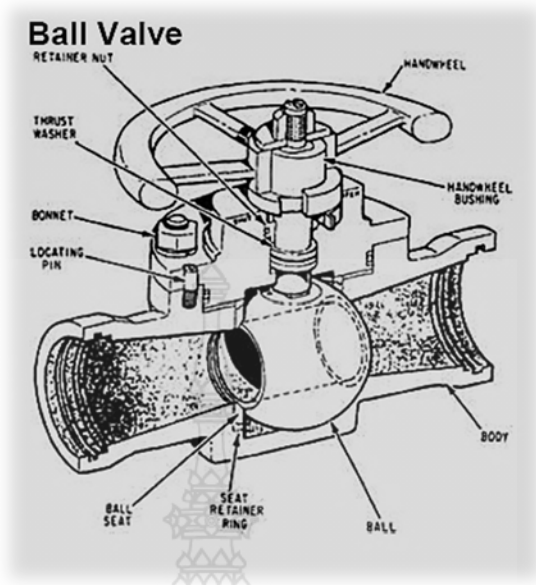
2.3.2 วาล์ว ( Valve)คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ กำหนดการเดินทางของน้ำว่าจะให้น้ำไป หรือไม่ให้ไป หน้าที่ของวาล์วที่สำคัญคือต้องสามารถกั้นการรั่วของของไหลระหว่างบ่าวาล์วกับ ลื่นวาล์ว และการกั้นรั่วกั้นวาล์วเพื่อป้องกันของไหลลัดลอด การกั้นรั่วจึงถือว่ามีค่าสำคัญมาก ในการเลือกใช้วาล์ว

#### ส่วนประกอบของวาล์วหลักๆที่ควรรู้

1. โครงสร้าง (Body)คือ โครงสร้างหลักนั่นเอง
2. หน้าแปลน (Flange)คือหน้าแปลนส่วนประกอบระหว่างท่อกับวาล์วในกรณีที่ว่าวาล์วมี ขนาดใหญ่ต้องใช้สลักยึด
3. แกนกลาง(Stem) คือแกนกลางในการหมุนวาล์วหรือที่เรียกว่าก้านนั่นเอง
4. ชิ้นส่วนกันรั่ว (Seal)คือชิ้นส่วนกันการรั่วไหลของน้ำมีชนิดที่เป็นยางและโลหะ
5. กลไก หรือ แขนที่ใช้ในการหมุน (Hand Wheel)หรือ Arm คือบริเวณที่เปิดปิดวาล์วใน กรณีที่เป็นสวิตช์ควบคุมด้วยกลไกไฟฟ้า (Solenoid)วาล์วจะเป็นการควบคุมโดยไฟฟ้า
6. ฟากัน (Wedge)ใช้ในการปิด-เปิดน้ำในบอลวาล์วชิ้นส่วนนี้จะมีลักษณะเป็นทรงกลม (Ball)

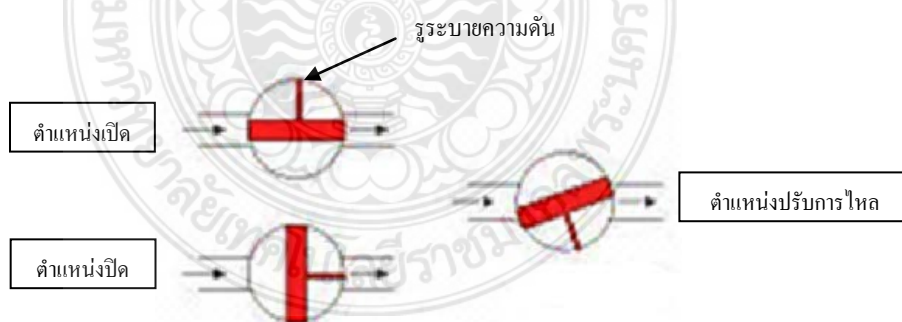
#### ประเภทของวาล์วที่ใช้

ทางคณะผู้จัดทำโครงการ ได้ทำการเลือกใช้วาล์วประเภทประตูน้ำ ( Valve) เพื่อเป็น อุปกรณ์ส่วนหนึ่งที่จะมาทำหน้าที่ในการปิด – เปิด และใช้ควบคุมอัตราการไหล ของน้ำภายใน ระบบของชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ โดยลักษณะของอุปกรณ์ต่างๆ มีรายละเอียดดัง รูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9บอลวาล์ว (Ball Valve)

บอลวาล์ว (Ball valve) เป็นวาล์วชนิดหนึ่งที่มีความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน จะสังเกตเห็นได้จากตามอาคารบ้านเรือนต่างๆ ซึ่งส่วนที่ทำหน้าที่ปิด - เปิด ของบอลวาล์ว (ball valve) คือตัวลูกบอลที่มีรูเจาะทะลุ (สีแดงในรูปที่ 2.10) อยู่ตรงกลาง โดยการหมุนให้รูเจาะทะลุอยู่ในแนวท่อ ก็จะเป็นการเปิดวาล์วเต็มที่ และการหมุนให้รูเจาะทะลุอยู่ในแนวตั้งฉากกับท่อ ก็จะเป็นการปิดวาล์ว การปรับอัตราการไหลทำได้โดยการบิดให้ลูกบอลทำมุมระหว่างตำแหน่งเปิดเต็มที่ และตำแหน่งปิด

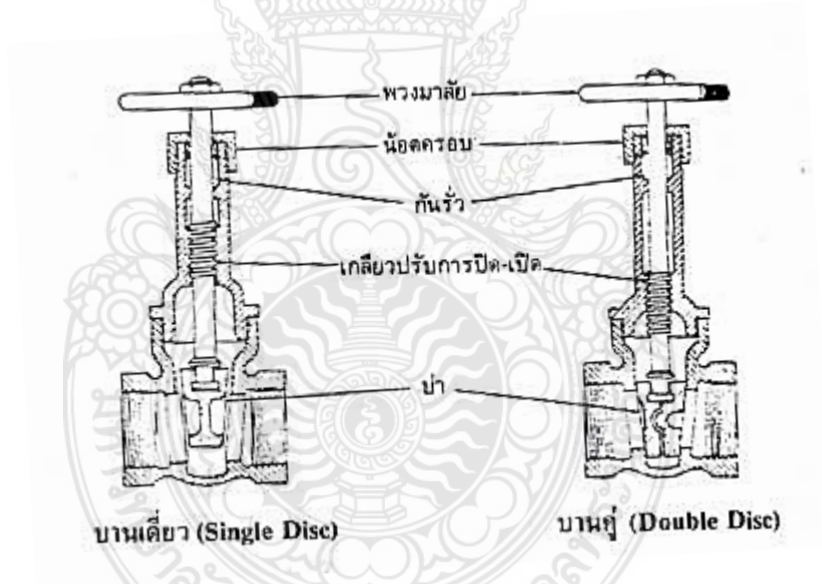


รูปที่ 2.10 แสดงหน้าที่การปิด - เปิดของบอลวาล์ว (Ball Valve)



รูปที่ 2.11 เกทวาล์ว (Gate Valve)

เกทวาล์ว (Gate valve) เป็นวาล์วชนิดที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดตัวหนึ่งจะสังเกตได้จากบริเวณทางข้อต่อก่อนเข้าและออกจากมาตรวัดน้ำ (Water Meter) โดยจะทำหน้าที่เป็นวาล์วปิด – เปิดการไหลของน้ำ หรือที่คนทั่วไปเรียกกันว่า “ประตุน้ำ”



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของเกทวาล์ว (Gate Valve)

โครงสร้างของวาล์วนั้นจะมีส่วนที่เป็นแผ่นจาน (disk หรือ gate ดังรูปที่ 2.12) ที่มีขนาดใหญ่มากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเล็กน้อย เลื่อนขึ้น -ลง ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล เมื่อวาล์วอยู่ในตำแหน่งปิด แรงดันของของไหลทางด้าน upstream จะดันตัว disk ให้ไปยันกับตัว body ของวาล์วที่อยู่ทางด้าน downstream เป็นการปิดผนึกไม่ให้ของไหลไหลผ่านไป

2.3.3 มาตรวัดน้ำ (Water Meter) เป็นระบบกลไกพื้นฐานธรรมดา มิใช่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ สักจึงไม่เกิดความผิดพลาดจากระบบไฟฟ้าแต่เป็นการทำงานขับเคลื่อนโดยใบพัดซึ่ง

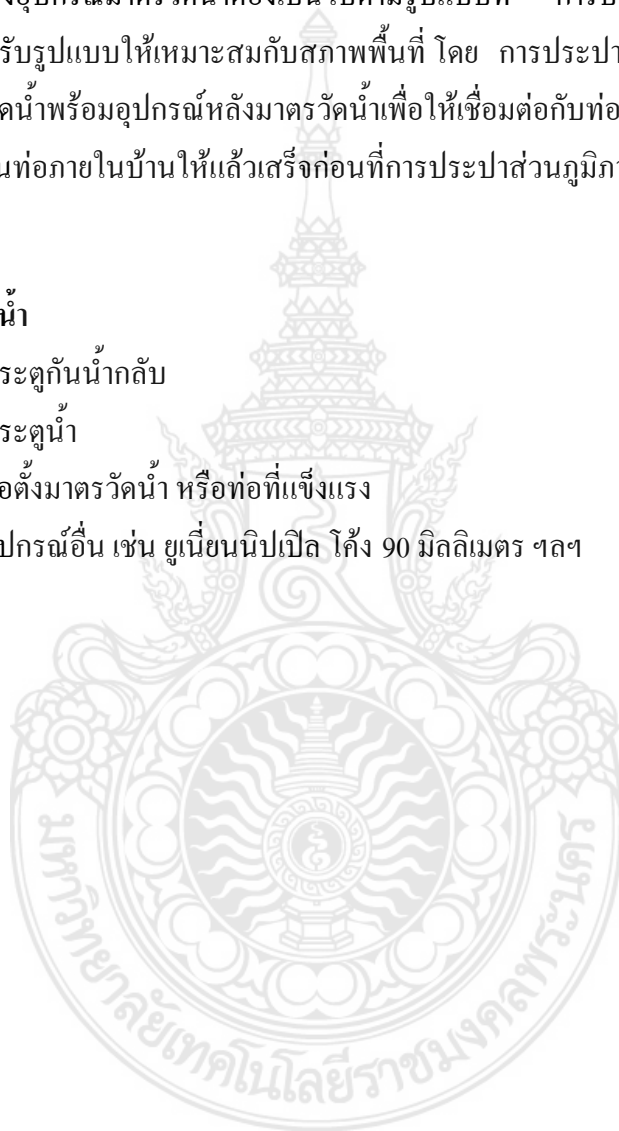


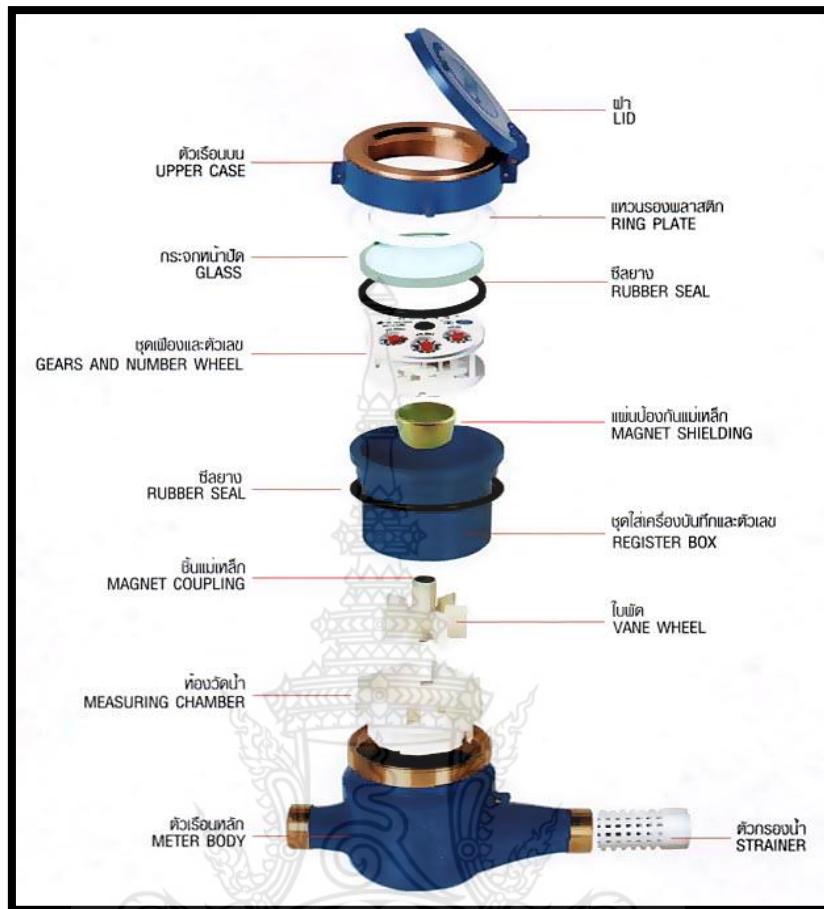
เป็นเหมือนกัณฑ์ เมื่อมีน้ำไหลผ่านก็จะทำให้ใบพัดหมุนตามทิศทางเป็นไปตามปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวมาตรวัดน้ำเข้าสู่บ้านของผู้ใช้น้ำ ใบพัดซึ่งติดตั้งไว้กับแกนซึ่งมีระบบเฟืองเชื่อมต่อไปยังแกนหมุนตัวเลข ตัวเลขที่หน้าปัดจึงขับเคลื่อน โดยปริมาณน้ำที่ไหลผ่านใบพัดนั่นเอง หน้าปัดของมาตรวัด จะมีช่องแสดงตัวเลข ซึ่งมีสองสี คือ สีดำกับสีแดง

การติดตั้งอุปกรณ์มาตรวัดน้ำต้องเป็นไปตามรูปแบบที่ การประปาส่วนภูมิภาค( กปภ.) กำหนด ซึ่งอาจปรับรูปแบบให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดย การประปาส่วนภูมิภาค( กปภ.) จะทำการติดตั้งมาตรวัดน้ำพร้อมอุปกรณ์หลังมาตรวัดน้ำเพื่อให้เชื่อมต่อกับท่อภายใน ทั้งนี้ ผู้ขอติดตั้งประปาจะต้องเดินท่อภายในบ้านให้แล้วเสร็จก่อนที่การประปาส่วนภูมิภาค(กปภ.)จะไปติดตั้งมาตรวัดน้ำให้

#### อุปกรณ์มาตรวัดน้ำ

1. ประตูกันน้ำกลับ
2. ประตุน้ำ
3. ขอตังมาตรวัดน้ำ หรือท่อที่แข็งแรง
4. อุปกรณ์อื่น เช่น ยูเนียนนิปเปิล โค้ง 90 มิลลิเมตร ฯลฯ





รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของมาตรวัดน้ำ

วิธีการอ่านมาตรวัดน้ำ



รูปที่ 2.14 หน้าปัดมาตรวัดน้ำ

**ตัวเลขสีดำ** หมายถึง จำนวนลูกบาศก์เมตร ใช้ในการคำนวณค่าน้ำ โดยอ่านเรียงจากซ้ายไปขวา มีตัวเลขอยู่ 4 หลัก

**ตัวเลขสีแดง** หมายถึง จำนวนลิตร เป็นการอ่านค่าที่ละเอียดกว่า ไม่นำมาคิดค่าน้ำจะมีไว้เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงของมาตรวัดน้ำเท่านั้น

**ตัวเลขสีแดงทั้งสามหลักแสดงถึง**

ทศนิยมตำแหน่งที่ 1 หรือหลักร้อย

ทศนิยมตำแหน่งที่ 2 หรือหลักสิบ

ทศนิยมตำแหน่งที่ 3 หรือหลักหน่วย

เมื่อตัวเลขสีแดงขึ้นครบ 3 หลักแล้วหมายถึงตัวเลขจะขึ้น .999 ลิตร แล้วเคลื่อนต่อไป ตัวเลขสีดำตำแหน่งที่ 1 ก็เริ่มปรากฏขึ้น 1 000 ลิตร หมายถึง 1 ลูกบาศก์เมตร(หรือ 1คิว) ตัวเลขสีแดง แสดงจำนวนลิตรจะหมุนกลับมาที่ 001

2.3.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำงานเปิดและปิดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติแต่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนดโดยไม่มี  
ความเสียหายเกิดขึ้นกับเซอร์กิตเบรกเกอร์

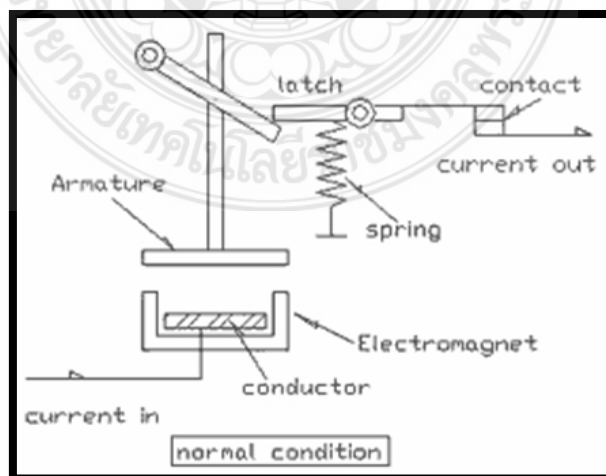
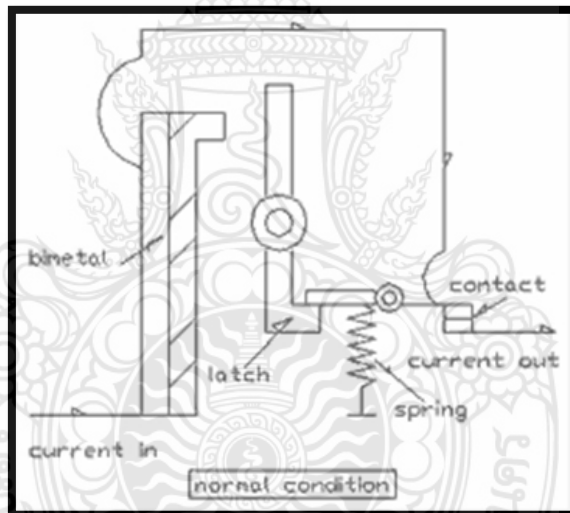
เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำหมายถึงเบรกเกอร์ที่ใช้กับแรงดันน้อยกว่า 1000 V แบ่งออก  
ได้หลายชนิดได้แก่

2.3.4.1 โมลเดสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Mold Case Circuit Breaker) หมายถึงเบรกเกอร์ที่ถูกห่อหุ้มมิดชิด โดยโมล 2 ส่วนมักทำด้วยฟีนอลิก (Phenolic) ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถทนแรงดันใช้งานได้เบรกเกอร์แบบนี้มีหน้าที่หลัก 2 ประการคือทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด - ปิดด้วยมือและเปิดวงจรโดยอัตโนมัติเมื่อมีกระแสไหลเกินหรือเกิดลัดวงจร โดยเบรกเกอร์จะอยู่ในภาวะทรี่ปซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างตำแหน่ง ON และ OFF เราสามารถรีเซ็ตใหม่ได้โดยกดคันโยกให้อยู่ในตำแหน่ง OFF เสียก่อนแล้วค่อยโยกไปตำแหน่ง ON การทำงานแบบนี้เรียกว่า Quick Make , Quick Break ลักษณะของเบรกเกอร์แบบนี้ที่พบเห็นโดยทั่วไปคือ Molded Case Circuit Breaker โมลเดสเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่พบบ่อยในท้องตลาดมี 2 ประเภทคือ Thermal Magnetic CB. และ Solid State Trip CB.



รูปที่ 2.15 เซอร์กิตเบรกเกอร์

2.3.4.2 Thermal Magnetic Molded Case Circuit Breaker!ปรกเกอร์แบบนี้มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ

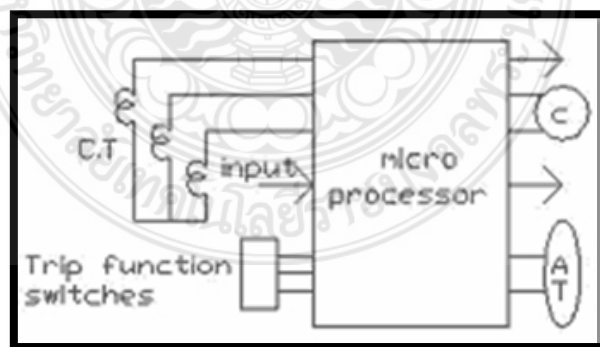
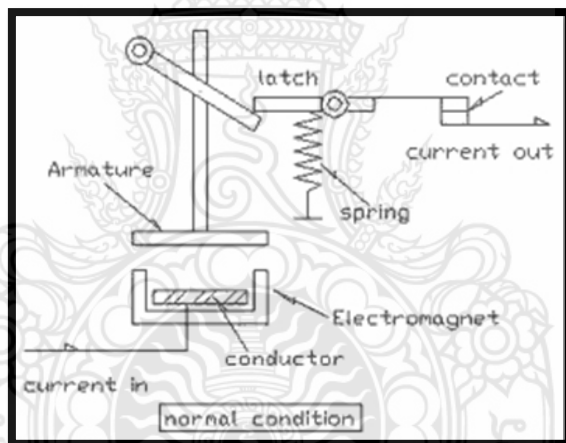


รูปที่ 2.16 ลักษณะการทำงานของเทอร์มอลแมกเนติกซีบี (Thermal Magnetic CB.)

**Thermal Unit** ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกินอันเนื่องมาจากการใช้โหลดมากเกินไปเมื่อมีกระแสเกินไหลผ่านโลหะ Bimetal (เป็น โลหะ 2 ชนิดที่มีสัมประสิทธิ์ทางความร้อนไม่เท่ากัน) จะทำให้ Bimetal โค้งตัวไปปลดอุปกรณ์ทางกลและทำให้ CB. ตัดวงจร เรียกว่าเกิดการทริปการปลดวงจรแบบนี้ต้องอาศัยเวลาพอสมควรขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าขณะนั้นและความร้อนที่เกิดขึ้นจนทำให้ Bimetal โค้งตัว

**Magnetic Unit** ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรหรือมีกระแสไฟฟ้าค่าสูงๆประมาณ 8-10 เท่าขึ้นไปไหลผ่านกระแสจำนวนมากจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงดึงให้อุปกรณ์การปลดวงจรทำงานได้การตัดวงจรแบบนี้เร็วกว่าแบบแรกมากโอกาสที่เบรกเกอร์จะชำรุดจากการตัดวงจรจึงมีน้อยกว่า

2.3.4.3 Solid State Trip or Electronic Trip Molded Case Circuit Breaker เป็นเบรกเกอร์ชนิดหนึ่งที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่วิเคราะห์กระแสไฟฟ้าเพื่อสั่งปลดวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 2.17 ลักษณะการทำงานของ โซลิดสเตตทริป ซีบี (Solid State Trip CB.)

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่ามี CT อยู่ภายในตัวเบรกเกอร์ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าให้ต่ำลงตามอัตราส่วนของ CT และมีไมโครโปรเซสเซอร์คอยวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าหากมีค่าเกินกว่าที่กำหนดจะสั่งให้ Tripping Coil ซึ่งหมายถึง Solenoid coil ดึงอุปกรณ์ทางกลให้ CB. ปลดวงจรที่

ด้านหน้าของเบรกเกอร์ชนิดนี้จะมีปุ่มปรับค่ากระแสไฟฟ้าปลดวงจรไฟฟ้าเวลาปลดวงจรไฟฟ้าและอื่น ๆ นอกจากนี้อาจติดตั้งอุปกรณ์เสริมที่เรียกว่า Amp Meter & Fault Indicator ซึ่งสามารถแสดงสาเหตุการ Fault ของวงจรและค่ากระแสไฟฟ้าได้ทำให้ทราบสาเหตุของการปลดวงจรไฟฟ้าได้

2.3.4.4 Miniature Circuit Breaker เป็นเบรกเกอร์ขนาดเล็กใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันร่วมกับแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (Load Center) หรือแผงจ่ายไฟฟ้าประจำห้องพักอาศัยเบรกเกอร์ชนิดนี้ไม่สามารถปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าปลดวงจรได้มีทั้งแบบ 1 Pole, 2 Poles และ 3 Poles อาศัยกลไกการปลดวงจรทั้งแบบ Thermal และ Magnetic มีรูปร่างทั่วไป



รูปที่ 2.18 มินิเซอร์เคอร์เกิตเบรกเกอร์ (Miniature Circuit Breaker)

### 2.3.5 สายไฟฟ้า (Wire)

สายไฟฟ้าที่เราใช้กันอยู่นั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ

2.3.5.1 ตัวนำไฟฟ้า (Conductor) คือส่วนที่เป็นทางเดินของอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้านั้นเองเพื่อไปยัง Load ทำให้เกิดงานขึ้นองค์ประกอบที่ใช้ทำตัวนำจะแบ่งได้ 2 อย่างซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.3.5.1.1 ทองแดง (Copper) จะใช้ในงานทั่วไปทั้งภายนอกและภายในอาคารและจะต้องมีส่วนผสมของทองแดงไม่น้อยกว่า 98% จะมีข้อดีคือทองแดงเป็นโลหะที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียม (สายไฟที่ดีที่สุดในการเป็นตัวนำคือทองบริสุทธิ์และเงินบริสุทธิ์ตามลำดับ) ซึ่งทองแดงนั้นมีความแข็งแรงเหนียวและทนต่อการกัดกร่อนได้ดีแต่ทองแดงก็ยังมีข้อเสียที่น้ำหนักและราคาสูงกว่าอะลูมิเนียมเพราะฉะนั้นทองแดงจึงไม่เหมาะสำหรับงานทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง

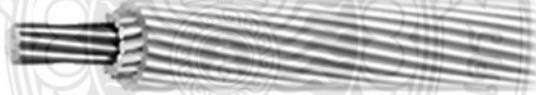


2.3.5.1.2 อลูมิเนียม (Aluminum) จะใช้งานเกี่ยวกับสายไฟฟ้าแรงสูงในระบบสายส่งและส่วนมากจะใช้เป็นสายเปลือยและต้องมีส่วนผสมของอะลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99.3% ข้อดีของมันเมื่อเทียบกับทองแดงคือน้ำหนักเบาและราคายังถูกกว่าถ้าทิ้งอะลูมิเนียมไว้ในอากาศจะทำให้เกิดออกไซด์ขึ้นที่อะลูมิเนียมแต่ตัวออกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นเหมือนฟิล์มที่ใช้เคลือบสายไฟเพื่อป้องกันการกัดกร่อนแต่การเชื่อมต่อนั้นจะเป็นไปได้ยาก

2.3.5.2 ฉนวน (Insulated) คือส่วนที่เป็นตัวป้องกันการสัมผัสกับสายไฟโดยตรงโดยสภาพแล้วฉนวนจะไม่นำไฟฟ้า ฉนวนจะต้องสามารถป้องกันตัวนำไฟฟ้าจากความร้อนหรือของเหลวที่สามารถกัดกร่อนตัวนำไฟฟ้าและสามารถกันน้ำได้ ฉนวนที่ใช้หุ้มตัวนำไฟฟ้าต้องมีความต้านทานสูงต้องไม่ถูกกรดหรือด่างกัดกร่อนได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 0 - 200 องศาฟาเรนไฮต์และต้องไม่ดูดความชื้นในอากาศ ฉนวนที่ใช้หุ้มตัวนำไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิดได้แก่ ใยหิน ยางทนความร้อน พลาสติก แต่วัสดุที่นิยมคือ PVC (Polyvinyl Chloride) และ XLPE (Cross Linked Polyethylene)

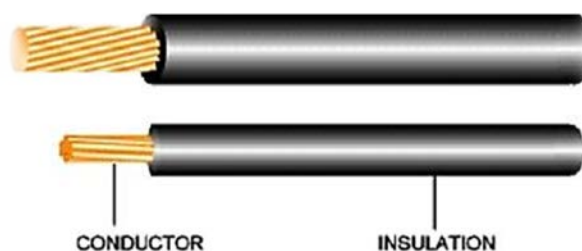
ประเภทของสายไฟฟ้าสายไฟจะแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ สายเปลือย (Bare Wire) คือสายไฟฟ้าที่ปราศจากสิ่งใดๆมาหุ้มที่ตัวนำสายไฟชนิดนี้ค่อนข้างจะอันตรายสามารถที่จะทำการแบ่งตามการใช้งานได้อีก

- ชนิดที่ใช้เกี่ยวกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าเช่น ลวดตัวนำที่พันอยู่ในมอเตอร์
- ชนิดที่ใช้กับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูง



รูปที่ 2.19 สายเปลือย

สายหุ้มฉนวน (Insulated Wire) จะเป็นสายไฟฟ้าที่ใช้งานกันโดยทั่วไปตามบ้านพักอาศัยตามโรงงานอุตสาหกรรมและอื่นๆ



รูปที่ 2.20 สายหุ้มฉนวน

## 2.4 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล

### 2.4.1 คุณสมบัติของของไหล

ของไหล (Fluid) หมายถึง สสารที่สามารถไหลได้ โดยมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ เมื่ออยู่ในสภาพสมดุลของไหลจะไม่สามารถรับแรงเฉือนได้ ของไหลทุกชนิดจะยุบตัวตามความกดดันได้เล็กน้อย ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปนี้

ของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน (Incompressible Fluid) หมายถึง ของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จนสามารถที่ไม่ต้องคำนึงถึงได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง หมายถึง ของไหลที่มีค่าความหนาแน่นคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อความดันของของไหลนั้นเปลี่ยนแปลง โดยปกติของเหลวจัดว่าเป็นของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน

ของไหลที่ยุบตัวตามความดัน (compressible Fluid) หมายถึง ของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปมาก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง หมายถึง ของไหลที่มีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อความดันของของไหลนั้นเปลี่ยนแปลง โดยปกติแก๊สจัดว่าเป็นของไหลที่ยุบตัวตามความดัน

ของไหลในจินตนาการ (Ideal Fluid) หมายถึง ของไหลที่มีความเสียดทานหรือมีความหนืดเป็นศูนย์ ดังนั้น ความดันของของไหลชนิดนี้ จะกระทำในทิศทางตั้งฉากกับภาชนะเสมอ ถึงแม้ว่าของไหลนี้จะมีการเคลื่อนที่ก็ตาม

ความหนาแน่น ของของไหล (Density,  $\rho$ ) หมายถึง มวลสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นเป็นลักษณะหนึ่งที่จะแสดงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของสสาร

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่น} &= \frac{\text{มวลปริมาตร}}{\text{ปริมาตร}} \text{ หรือ } \rho = \frac{m}{V} \\ \text{แต่} \quad m &= \frac{w}{g} \\ \rho &= \frac{m}{V} \text{ หรือ } \frac{w}{gV} \dots\dots\dots (2.1) \end{aligned}$$

ตารางที่ 2.1 แสดงหน่วยของความหนาแน่น

	ระบบอังกฤษ	ระบบ SI
มวล (m)	Slug	kg
ปริมาตร (V)	ft <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
ความหนาแน่น ( $\rho$ )	Slug/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>



$$\begin{aligned} \text{หมายเหตุ} \quad 1 \text{ Slug} &= \frac{1 \text{ lb} \cdot \text{sec}^2}{\text{ft}} \\ \rho \text{ ของน้ำ} &= 1.937 \text{ Slug /ft}^3 = 1,000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

น้ำหนักจำเพาะของของไหล (Specific Weight,  $\gamma$ ) หมายถึง แรงเนื่องจากการดึงดูดของโลก ซึ่งกระทำต่อมวลสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็นนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร  $\text{N/m}^3$  เนื่องจากน้ำหนัก ( $W$ ) มีความสัมพันธ์กับมวลสาร ( $m$ ) ตามสมการ  $W = mg$  เมื่อ  $g$  คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ  $9.81$  เมตร/วินาที<sup>2</sup> ( $\text{m/s}^2$ ) ดังนั้นน้ำหนักจำเพาะและความหนาแน่นของของไหลจึงมีความสัมพันธ์กัน

$$\text{น้ำหนักจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักปริมาตร} \times \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกปริมาตร}}$$

$$\gamma = \frac{w}{V} = \frac{mg}{V} \dots\dots\dots (2.2)$$

หรือ น้ำหนักจำเพาะ = ความหนาแน่นของของไหล  $\times$  ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$$\gamma = \rho g \dots\dots\dots (2.3)$$

ตารางที่ 2.2 แสดงหน่วยของน้ำหนักจำเพาะของของไหล

	ระบบอังกฤษ	ระบบ SI
น้ำหนัก ( $w$ )	lb	N
ปริมาตร ( $V$ )	ft <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
น้ำหนักจำเพาะของของไหล ( $\gamma$ )	lb/ft <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>

$$\text{หมายเหตุ} \quad \text{น้ำหนักจำเพาะของน้ำ} = 62.4 \text{ lb/ft}^3 = 9.81 \text{ kN/m}^3$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของของไหลและน้ำหนักจำเพาะของของไหล มีดังนี้

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad \text{หรือ} \quad \gamma = \rho g$$

$$\text{เมื่อ} \quad \rho = \text{ความหนาแน่นของของไหล}$$

$$\gamma = \text{น้ำหนักจำเพาะของของไหล}$$

$$g = \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก}$$

ปริมาตรจำเพาะของของไหล (Specific Volume,  $V_s$ ) หมายถึง ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยมวลสาร ซึ่งในระบบอังกฤษกำหนดเป็นปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารแต่ในระบบ SI กำหนดเป็นปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยของมวลสาร ซึ่งถือว่าเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม ( $\text{m}^3 / \text{kg}$ ) หรือสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรจำเพาะของของไหล} &= \frac{1}{\text{ความหนาแน่นของของไหล}} \\ V_s &= \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

ความถ่วงจำเพาะของของไหล (Specific Gravity, S) หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักของสารต่อน้ำหนักของน้ำ ที่มีปริมาตรเท่ากันหรือความหนาแน่นสารเมื่อเทียบกับความหนาแน่นน้ำ ดังนั้นหน่วยของความถ่วงจำเพาะของของไหลเป็นเทอมที่ปราศจากหน่วย

อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของของไหลเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดันที่ของไหลบรรจุอยู่ ตัวอย่างเช่น ที่ความดันบรรยากาศ ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 30°C เท่ากับ 996 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4°C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร สำหรับคุณสมบัติของของไหลที่สำคัญได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 (ภาคผนวก)

ความหนืด (Viscosity,  $\mu$ ) มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity) หมายถึง ความต้านทาน การเลื่อนในเนื้อของของไหล โดยปกติเมื่ออุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้นของไหลจะมีความหนืดลดลง

ความหนืดจลน์ (Kinetic Viscosity,  $\nu$ ) หมายถึง อัตราส่วนของความหนืดสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นของสารมีหน่วยเป็นตารางเมตร/วินาที ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเชิงจลน์และความหนืดสัมบูรณ์แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความหนืดจลน์} &= \frac{\text{ความหนืดสัมบูรณ์ความหนาแน่นของของไหล}}{\rho} \\ \nu &= \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ ความหนืดจลน์} &= \frac{\text{ความหนืดสัมบูรณ์น้ำหนักจำเพาะของของไหล}}{\text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก}} \\ \nu &= \frac{\mu}{\gamma/g} \dots\dots\dots (2.6) \end{aligned}$$

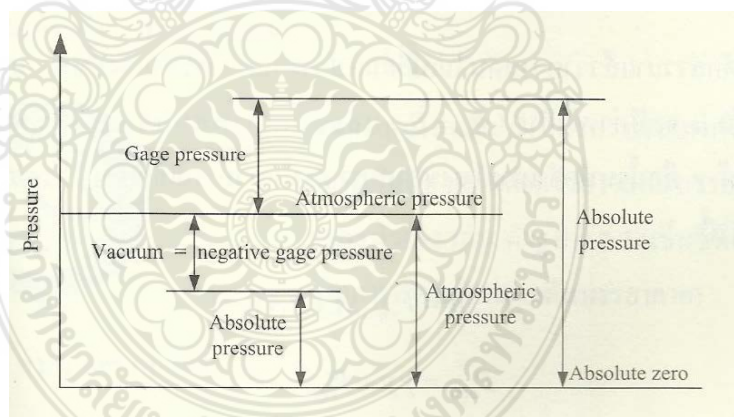
$$\begin{aligned} \text{หรือ ความหนืดจลน์} &= \frac{\text{ความหนืดสัมบูรณ์} \times \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกน้ำหนักจำเพาะของของไหล}}{\gamma} \\ \nu &= \frac{\mu g}{\gamma} \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

ความดัน (Pressure, P) หมายถึง แรงกระทำต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่ หน่วยที่ใช้วัดความดันมีหลายหน่วย เพราะความดันมีค่าตั้งแต่ความดันต่ำ ( Vacuum) จนถึงความดันสูงๆ หน่วยที่ใช้วัดความดัน เช่น นิวตัน/ตารางเมตร ( $\text{N}/\text{m}^2$ ), ปอนด์/ตารางนิ้ว ( $\text{lb}/\text{in}^2$ ), ปาสคาล (Pascal; Pa), กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) และบาร์ ( bar) ความสูงของลำปรอทในหลอดแก้วเป็น มิลลิเมตรปรอท (mm.Hg) หรือนิวปรอท (in.Hg)

1	ปาสคาล (Pa)	=	1	นิวตัน/ตารางเมตร (N/m <sup>2</sup> )
	กิโลปาสคาล (kpa)	× 0.145	=	ปอนด์/ตารางนิ้ว (psi)
	กิโลปาสคาล		=	6.895 × ปอนด์/ตารางนิ้ว
1	บาร์	=	10 <sup>5</sup>	นิวตัน/ตารางเมตร
1	บรรยากาศมาตรฐาน	=	760	มิลลิเมตรปรอท (1.013 บาร์)

ความดันมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ ความดันศูนย์แท้จริง (Absolute zero pressure) และความดันบรรยากาศเฉพาะที่ (Local atmospheric pressure) สำหรับการเทียบความดันแสดงได้ดังรูปที่ 2.21 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความดันศูนย์แท้จริง (Absolute zero pressure) คือ ความดันในสุญญากาศ ค่าความดันที่ใช้ความดันศูนย์แท้จริงเป็นหลักอ้างอิง เรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure, abs) ความดันบรรยากาศเฉพาะที่ (Local atmospheric pressure) คือ ความดันที่ให้ค่าความดันเฉพาะที่เป็นศูนย์สำหรับใช้เป็นหลักอ้างอิง เรียกว่า ความดันมาตร หรือ ความดันเกจ (Gage pressure,  $P_{gage}$ )



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ของความดัน

ที่มา : ชัยยุทธชินณะราศรี หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2556 :31

ถ้าความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศจะเรียกว่า ( Vacuum) และค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดความดัน (Gage) จะเป็นค่าลบ ในขณะที่ค่าความดันสัมบูรณ์จะเป็นค่าบวกเสมอ เนื่องจากการเปรียบเทียบกับความดันศูนย์สัมบูรณ์ คือ การไม่มีความดันใดๆ เลย ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน

สัมบูรณ์และความดันมาตรจึงเขียนได้เป็น

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} = \text{ความดันบรรยากาศเฉพาะที่} + \text{ความดันมาตร}$$

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gage} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

เฮด ( Head) หมายถึง พลังงานในรูปแบบความสูงของของเหลวมีความหมายเกี่ยวโยงโดยตรงกับ “ความดัน” ของของเหลว ทั้งเฮดและความดันสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ซึ่งหน่วยของเฮดจะเป็นฟุตของเหลว เมตรของเหลว หรืออื่นๆ การเปลี่ยนความดันของของเหลวไปเป็นค่าของเฮดนั้น เราสามารถเปลี่ยนโดยใช้สูตร

$$\text{เฮด (ฟุตของเหลว)} = \frac{2.31 \times \text{ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของของไหล}} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

พึงสังเกตว่า สำหรับน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 62 องศาฟาเรนไฮท์ ซึ่งเป็นสถานะที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 ความสูงของน้ำที่สถานะนี้เท่ากับ 2.31 ฟุต จะทำให้เกิดความดัน 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

**คำจำกัดความของเฮดแบบต่างๆ ที่เกี่ยวกับเครื่องสูบล**

เฮดความดัน (Pressure Head) คือ เฮดซึ่งเกิดจากความดันภายในระบบ ในที่นี้จะหมายถึงความดันที่กระทำอยู่นอผิวของของเหลว ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P และเฮดความดัน  $H_p$

$$H_p = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

- เมื่อ  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหล
- $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล
- $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

เฮดความเร็ว ( Velocity Head) เนื่องจากสสารทุกชนิดขณะเคลื่อนที่จะมีพลังงานอยู่ในตัวของมัน และเนื่องจากพลังงานสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ดังนั้นพลังงานจลน์ของของเหลวที่กำลังเคลื่อนที่ในระบบเครื่องสูบลของเรา จึงต้องนำมาคิดเป็นเฮดรูปหนึ่งเรียกว่า เฮดความเร็ว ซึ่งการหาว่าของเหลวความเร็วขนาดนั้นๆ จะมีเฮดเท่าไร เราจึงต้องคำนวณจากสูตร

$$H_v = \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

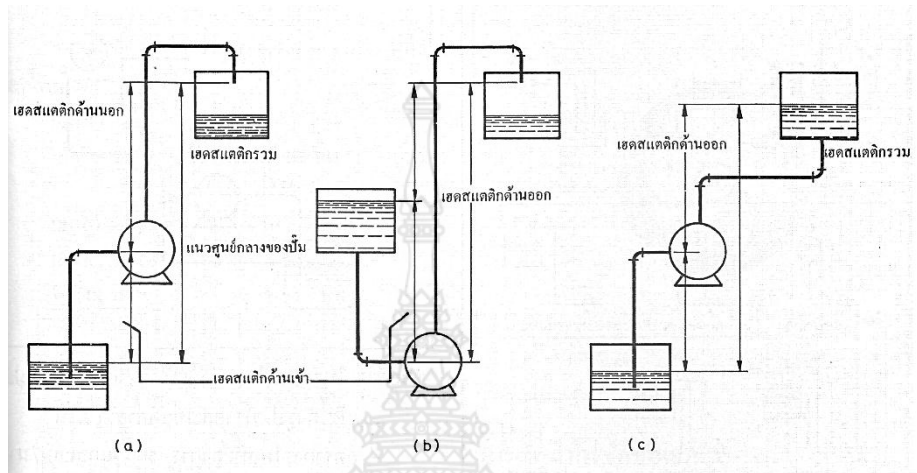
- เมื่อ  $V$  = ความเร็วของการไหล
- $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

เฮดสถิต (Static Head) หมายถึง เฮดซึ่งเกิดจากความสูงของคอลัมน์ของน้ำที่กระทำต่อเครื่องสูบล ซึ่งแบ่งออกได้เป็น

เฮดสถิตด้านเข้า มีค่าเท่ากับความสูงจากแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบลไปยังผิวหน้าของของเหลวทางด้านเข้าของเครื่องสูบล ซึ่งอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

- ก. ถ้าผิวหน้าของของเหลวสูงกว่าแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบล จะมีค่าเป็นบวก

ข. ถ้าผิวหน้าของของเหลวต่ำกว่าแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบ จะมีค่าเป็นลบ  
 เสตสถิตด้านออก มีค่าเท่ากับความสูงจากแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบไปยังผิวหน้าของ  
 ของเหลวด้านออกของเครื่องสูบ



รูปที่ 2.22: เสตสถิตของเครื่องสูบ

ที่มา : หนังสือระบบท่อ วาล์ว ปั๊ม, 2548 :191

เสตความฝืด (Friction Head,  $H_f$ ) เป็นความดันที่แสดงในรูปของแรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่  
 ซึ่งรับแรงนั้น หรือแสดงอยู่ในรูปความสูง (เมตร) ของลำตัวของของไหล เสตความฝืดจะก่อให้เกิด  
 ความต้านทานต่อการไหลภายในระบบท่อและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ของระบบท่อ  
 เสตรวม ( Total Head,  $H_T$ ) หมายถึง ผลบวกของเสตสถิตด้านเข้าและด้านออก โดยเป็น  
 พลังงานที่เพิ่มขึ้นให้แก่ของไหลในเครื่องสูบ ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องสูบมีระดับต่ำกว่าบ่อดูด ซึ่ง  
 สามารถหาได้จากสูตร

$$H_T = H_p + H_v + H_s = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \times Z \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

เมื่อ  $H_p$  = เสตความดัน  
 $H_v$  = เสตความเร็ว

$H_s$  = เสตสถิต

ฉะนั้น เสตความฝืดระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะใช้ต้องคำนวณจากสูตร

$$H_T = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} + Z_1 - Z_2 \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

ในกรณีที่จุดที่ 1 อยู่ที่ทางเข้าของเครื่องสูบและจุดที่ 2 อยู่ที่ทางออกของเครื่องสูบ เสตที่  
 เพิ่มขึ้นก็คือ เสตที่เครื่องสูบให้น้ำ เสตที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า เสตของเครื่องสูบ ( Total Dynamic  
 Head) หรือ (Total Discharge Head,  $H_{RDH}$ ) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$H_{RDH} = H_{r2} - H_{r1} + H_r \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

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

หรือ  $H_{RDH}, TDH = H_S + h_L \quad \dots\dots\dots (2.15)$

$$= \left[ \left( \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \right) + \left( \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \right) \right] + \left[ (f) \frac{L-V^2}{2g} + k \frac{V^2}{2g} \right]$$

เสดปล่อยรวม ( Total Discharge Head,  $H_{TDH}$  ) สามารถหาได้จากการอ่านค่าความดัน (Pressure gage) ซึ่งติดตั้งที่บริเวณเกือบถึงปลายท่อปล่อยของเครื่องสูบ โดยแสดงอยู่ในรูปความสูงของของไหลนั้น แล้วนำมาบวกกับค่าเสดความเร็ว ณ จุดที่ทำการติดตั้งและวัดความดัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ พลังงานทั้งหมดที่จะต้องให้แก่ของไหล เพื่อให้ของไหลนั้นไหลผ่านท่อระบบได้ด้วยอัตราที่กำหนด

#### 2.4.2 ทฤษฎีการไหลของของไหล

เป็นการศึกษาถึงของไหลขณะที่เคลื่อนที่ การวิเคราะห์ของไหลขณะเคลื่อนที่ไม่สามารถที่จะกระทำได้โดยใช้คณิตศาสตร์แต่เพียงอย่างเดียว ในบางครั้งต้องอาศัยผลจากการทดลองร่วมด้วย ชนิดของการไหล ( Type of Flow )

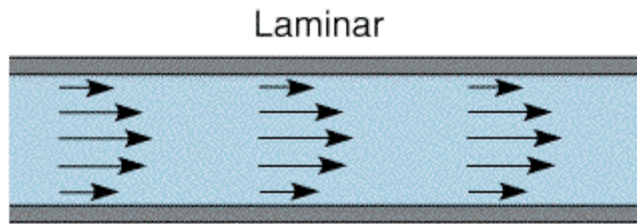
การแบ่งชนิดการไหลของของไหล สามารถกระทำได้หลายอย่างคือ

**แบบที่ 1** แบ่งเป็นการไหลสม่ำเสมอ ( Steady flow ) และการไหลไม่สม่ำเสมอ ( Unsteady flow )

การไหลสม่ำเสมอ ( Steady flow ) หมายถึง การไหลของของไหลชนิดที่ความเร็วในการไหล ณ จุดใด ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น เมื่อกำหนดถึงการไหลของของไหลที่ผ่านจุด A ไม่ว่าจะ เป็นเวลาใด ของไหลที่ผ่านจุด A นั้นจะมีความเร็วคงที่เสมอ และเมื่อพิจารณาที่จุด B ความเร็วในการไหลของของไหลที่ผ่านจุด B ก็คงที่ด้วย แต่ความเร็วที่จุด A และจุด B ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน เนื่องจากเหตุผลดังกล่าว ของไหลไม่สามารถจะขาดช่วงได้ เพราะจะทำให้ความเร็วของของไหล ณ จุดนั้น ๆ เปลี่ยนแปลง

การไหลไม่สม่ำเสมอ ( Unsteady flow ) หมายถึง การไหลของของไหล ชนิดที่ความเร็วในการไหล ณ จุดใด ๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือมีการขาดช่วงได้

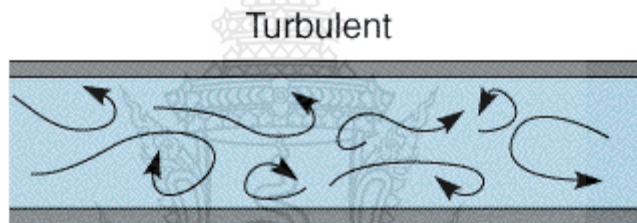
**แบบที่ 2** แบ่งเป็นการไหลแบบราบเรียบ ( Laminar flow ) และการไหลแบบปั่นป่วน ( Turbulent flow )



รูปที่ 2.23 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com>

การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) หมายถึง การไหลของของไหลชนิดที่อนุภาคของของไหล ไม่ว่าจะ เป็นอนุภาคเล็กหรือใหญ่ เคลื่อนที่ในลักษณะตามกัน ไปเป็นแผ่นหรือชั้นเรียบ ๆ โดยที่แผ่นหนึ่งเคลื่อนเรียบเหนือแผ่นอื่น ลักษณะการเกิดการไหลแบบราบเรียบ คือ การไหลของน้ำใต้ดิน การไหลของเลือด และการคูดน้ำของต้นไม้ เป็นต้น

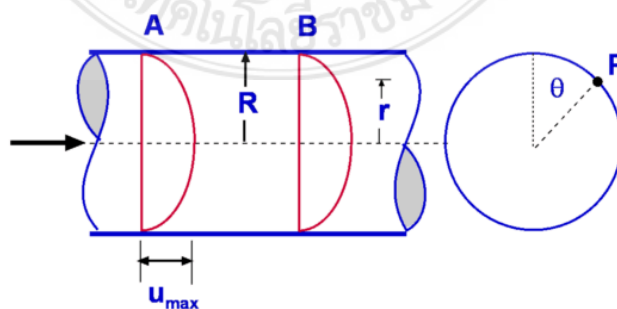


รูปที่ 2.24 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com>

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) หมายถึง การไหลของของไหลชนิดที่อนุภาคของของไหล เคลื่อนที่ในลักษณะหรือทิศทางที่ไม่แน่นอน มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงและมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม จากส่วนหนึ่งของของไหลไปยังส่วนอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น การไหลของแม่น้ำลำคลอง , การไหลของอากาศในท่อลม เป็นต้น

แบบที่ 3 แบ่งเป็นการไหลทิศทางเดียว, สองทิศทางและสามทิศทาง

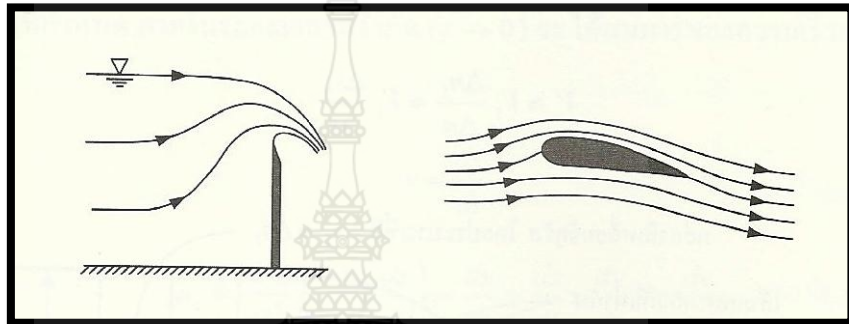


รูปที่ 2.25 แสดงตัวอย่างการไหลทิศทางเดียว (One – dimensional Flow)

ที่มา : <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk>



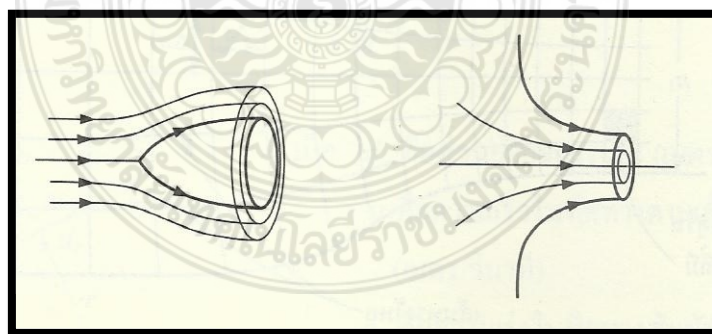
การไหลทิศทางเดียว ( One – dimensional Flow ) หมายถึง การไหลชนิดที่เส้นสัมผัสของทิศทางของความเร็วที่จุดต่างๆ เส้นการไหล (Streamlines) เคลื่อนที่ไปทางเดียว ซึ่งในการไหลชนิดนี้การเปลี่ยนแปลงของความดัน ความเร็ว ฯลฯ จะไม่เกิดขึ้นในทิศทางอื่น นอกจากเกิดขึ้นในเส้นการไหล ( Streamline) เท่านั้น การไหลทิศทางเดียวปกติจะพิจารณาในบริเวณที่ เส้นการไหล (Streamline) เป็นเส้นตรงและขนานกัน



รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างการไหลสองทิศทาง ( Two – dimensional Flow )

ที่มา : ชัยยุทธชินณะราศรี หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2556 :75

การไหลสองทิศทาง ( Two – dimensional Flow ) หมายถึง การไหลชนิดที่เส้นการไหล (Streamline) เคลื่อนที่ไปบนระนาบอันเดียวกัน แต่มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ ตัวอย่างเช่น การไหลของน้ำที่ล้นเขื่อน หรือการไหลของอากาศผ่านปีกของเครื่องบิน เป็นต้น ในการไหลสองทิศทางนี้ ความเร็ว, ความดัน ฯลฯ เปลี่ยนแปลงไปตามจุดที่พิจารณา



รูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่างการไหลสามทิศทาง ( Three – dimensional Flow )

ที่มา : ชัยยุทธชินณะราศรี หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2556 :75

การไหลสามทิศทาง ( Three – dimensional Flow ) หมายถึง การไหลชนิดที่เส้นการไหล (Streamline) มีการเปลี่ยนแปลงไปทั้งสามทิศทาง เมื่อมองตัดขวาง เส้นการไหล (Streamline) แล้วจะ



ออกมาในรูปของวงแหวน ลักษณะการเกิดการไหลสามทิศทางนี้ เช่น บริเวณที่ช่องไหลกำลังไหลเข้าสู่ท่อ หรือเมื่อของไหลปะทะวัตถุที่ขวางทิศทางของการไหล เช่น อากาศปะทะลูกปืน เป็นต้น

### 2.4.3 ทฤษฎีการไหลของของไหลในท่อ

กล่าวถึง การไหลของของไหลในท่อซึ่งเป็นการประยุกต์ทฤษฎีการไหลของของไหล , สมการการไหลสม่ำเสมอ และทฤษฎีของความต้านทานในการไหลของของไหลเข้าด้วยกัน ความต้านทาน การไหลของของไหลนี้ ไม่ใช่เพียงแต่เกิดจากความยาวของท่อแต่เพียงอย่างเดียว แต่จะเกิดเนื่องจาก ข้อต่อ , ข้องอ, ลิ้น และบริเวณที่ของไหลมีการปั่นป่วนด้วยประโยชน์ของการที่จะทราบความต้านทานดังกล่าวนี้ คือ สามารถนำมาคิดคำนวณปริมาณการไหล, กำลังที่ต้องการทำให้ของไหลมีการเคลื่อนที่และขนาดของท่อได้

#### 2.4.3.1 การสูญเสียกำลังงานในท่อ

การสูญเสียกำลังงานท่อ เนื่องจากความต้านทาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.4.3.1.1 การสูญเสียหลัก ( Major Loss ) ปกติการสูญเสียหลักนี้ เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ, ขนาดของท่อ, ความยาวของท่อและความเร็วในการไหล ถ้าของไหลไหลในผิวท่อที่ขรุขระ, ความยาวของท่อมากและความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียกำลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียกำลังงานจะลดลงถ้าท่อมีขนาดโตขึ้น

2.4.3.1.2 การสูญเสียรอง ( Minor Loss ) หมายถึง การสูญเสียกำลังงานเนื่องจากการไหลของของไหลในท่อเมื่อของไหลผ่านข้อต่อ, ข้องอ, ลิ้น ฯลฯ ปกติถ้าท่อมีความยาวมาก เช่น ในท่อประปา ค่าของการสูญเสียรองนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียหลักจะมีค่าน้อย แต่ถ้าท่อที่มีความยาวน้อย และมีการหักงอหรือท่อมีการลดขนาดหลายแห่ง เช่น ในท่อลมของระบบปรับอากาศ ค่าของการสูญเสียรองจะมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียหลัก

#### เรย์โนลด์นัมเบอร์(Reynold Number)

เป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย หาได้จากอัตราส่วนของแรงเนื่องจากความเฉื่อยและแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) นี้ เป็นตัวสำคัญในการที่จะบอกถึงลักษณะการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด คือ ไหลแบบราบเรียบ หรือไหลแบบปั่นป่วน และเป็นตัวสำคัญในการหาแฟคเตอร์ของความเสียดทาน ถ้า  $N_R$  น้อยกว่า 2000 การไหลของของไหลจะเป็นแบบราบเรียบ แต่ถ้าหาก  $N_R$  มากกว่า 2000 มาก ๆ การไหลของของไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน

#### การหา (Reynold Number) สำหรับท่อกลม

$$\text{จากสูตร} \quad N_R = \frac{DV\rho}{\mu} \quad \text{หรือ} \quad \frac{VD}{\nu} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

เมื่อ  $N_R = \text{Reynold Number}$

$D =$  เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีหน่วยเป็น (m)

$V =$  ความเร็วในการไหลของของไหล มีหน่วยเป็น (m/s)

$\rho =$  ความหนาแน่นของของไหล มีหน่วยเป็น ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu =$  ความหนืดสมบูรณ์ของของไหลมีหน่วยเป็น ( $\text{N.s/m}^2$ )

$\nu =$  ความหนืดจลน์มีหน่วยเป็น ( $\text{m}^2/\text{s}$ )



### แฟกเตอร์ของความเสียดทาน (f)

เป็นแฟกเตอร์ที่ไม่มีหน่วย ใช้สำหรับหาการสูญเสียหลัก ปกติแฟกเตอร์ของความเสียดทานนี้แปรผกผันกับ เรย์โนลด์นัมเบอร์(Reynold Number)

แฟกเตอร์ของความเสียดทานของการไหลแบบราบเรียบ ในกรณีที่ของไหลมีการไหลแบบราบเรียบ ก็มามีค่า  $N_R$  น้อยกว่า 2,000 จะหาได้จากสูตร

$$f = \frac{64}{N_R} \dots\dots\dots (2.17)$$

แฟกเตอร์ของความเสียดทานของการไหลแบบปั่นป่วน ปกติในการไหลของของไหลแบบปั่นป่วน ไม่มีสูตรหาค่า f ที่แน่นอนเช่นเดียวกับในการไหลแบบราบเรียบเพียงแต่ทราบว่า f เป็นฟังก์ชันของ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) และความขรุขระของท่อ ( $\epsilon$ ) เท่านั้น ดังนั้นค่าของ f ที่ใช้จึงต้องหาจากกราฟที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 2 (ภาคผนวก) ซึ่งจะต้องทราบค่า เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) และค่าของอัตราส่วนของความขรุขระต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ( $\epsilon/D$ ) เสียก่อน

ความขรุขระของท่อ ( $\epsilon$ ) ไม่มีสูตรคำนวณแน่นอน ตัวเลขที่ได้ทั้งหมดมาจากการทดลอง โดยทำการทดลองท่อชนิดต่าง ๆ ซ้ำกันหลาย ๆ ทน การทำการทดลองที่ได้ผลดีกระทำโดยวิศวกรชาวเยอรมัน ชื่อ นิกูราดเซอ (Nikuradse) ทำการทดลองโดยเคลือบผิวของท่อขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อให้ได้ความขรุขระที่ไม่เหมือนกัน ผลการทดลองหาค่า ( $\epsilon$ ) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 (ภาคผนวก)

### ลำดับการหาแฟกเตอร์ของความเสียดทาน

1. หา เรย์โนลด์นัมเบอร์(Reynold Number)จากสูตร  $N_R = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$
2. ถ้า  $N_R$  น้อยกว่า 2,000 หาแฟกเตอร์ของความเสียดทาน จากสูตร  $f = \frac{64}{N_R}$
3. ถ้า  $N_R$  มากกว่า 2,000 หาแฟกเตอร์ของความเสียดทานตามลำดับคือ
  - 3.1 หาค่าความขรุขระของท่อ  $\epsilon$  จากชนิดของวัสดุที่ทำท่อ
  - 3.2 หาอัตราส่วน  $\epsilon/D$  คือความขรุขระ / เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ
  - 3.3 หาค่า f จากแผนภาพมูดี้(Moody Chart) โดยใช้  $N_R$  และ  $\epsilon/D$  โดยสามารถดูได้จาก รูปที่ 2.28

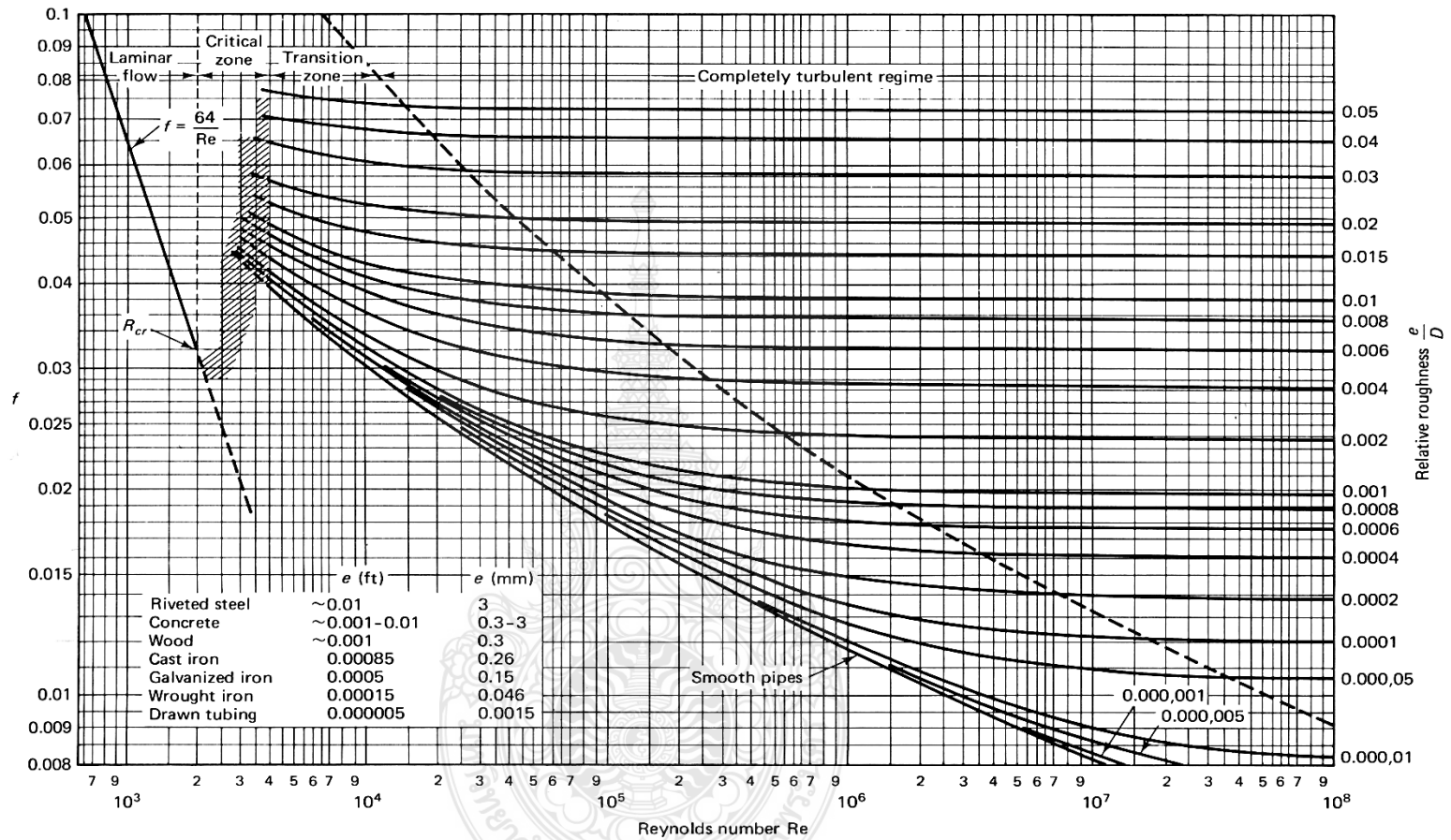


Figure 7.13 Moody diagram. (From L. F. Moody, *Trans. ASME*, Vol. 66, 1944.)

รูปที่ 2.28 แผนภาพของมูดี้ (Moody Chart)

ที่มา: <http://me1065.wikidot.com>

### การหาค่าการสูญเสียหลัก

การสูญเสียหลักในท่อกลม ท่อกลมเป็นท่อที่ใช้ในงานวิศวกรรมเป็นส่วนใหญ่ การหาค่าการสูญเสียหลักในท่อชนิดดังกล่าวสามารถหาได้จากสูตร

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots (2.18)$$

- เมื่อ  $h_L$  = การสูญเสียหลัก มีหน่วยเป็น (m)
- $f$  = แฟคเตอร์ของความเสียดทาน ไม่มีหน่วย
- $L$  = ความยาวท่อมมีหน่วยเป็น(m)
- $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมมีหน่วยเป็น(m)
- $V$  = ความเร็วในการไหลของของไหลมีหน่วยเป็น(m/s)
- $g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าเท่ากับ  $9.81(m/s^2)$

### การหาค่าการสูญเสียรอง

ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นว่า การสูญเสียรองเกิดขึ้นเนื่องจากการโค้งงอ , การเพิ่มหรือลดขนาดของท่อ ฯลฯ และในกรณีที่เป็นท่อสั้น ๆ การสูญเสียรองนี้จะมีผลต่อการไหลของของไหลมาก สูตรของการหาค่าการสูญเสียรองหาได้จากสูตร คือ

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.19)$$

- เมื่อ  $h_L$  = การสูญเสียรองมีหน่วยเป็น (m)
- $K_L$  = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียไม่มีหน่วย
- $V$  = ความเร็วในการไหลของของไหล มีหน่วยเป็น(m/s)
- $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าเท่ากับ  $9.81(m/s^2)$

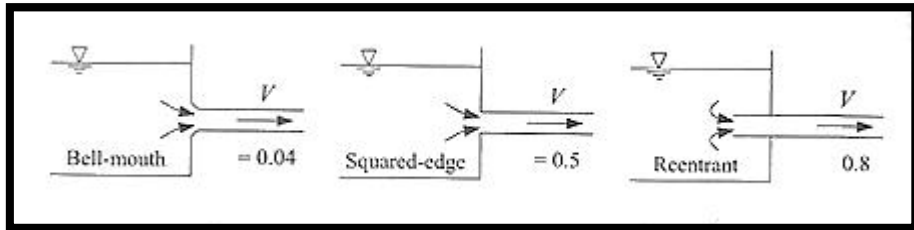
#### 2.4.3.2 การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ

เมื่อของไหลไหลจากถังเก็บเข้าสู่ท่อ ของไหลจะพยายามเข้าสู่ท่ออย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดกระแสน้ำปั่นป่วนขึ้นหลังจากที่ของไหลเข้าสู่ท่อได้สักระยะหนึ่ง จึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นอย่างมากภายในบริเวณดังกล่าว เมื่อเทียบกับการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานธรรมดาในระยะทางเท่ากัน

การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อนี้ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของการต่อระหว่างถังและ

ท่อซึ่งมี 3 รูปแบบ คือ รอยต่อมีความโค้ง (Bell - mouth) , รอยต่อเป็นมุม (Squared - edge), รอยต่อมีส่วนยื่นเข้าในถัง (Reentrant) เมื่อหาค่า  $h_L$  จากสูตร ค่า  $V$  ที่ใช้คือความเร็วของของไหลใน

ท่อซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.29

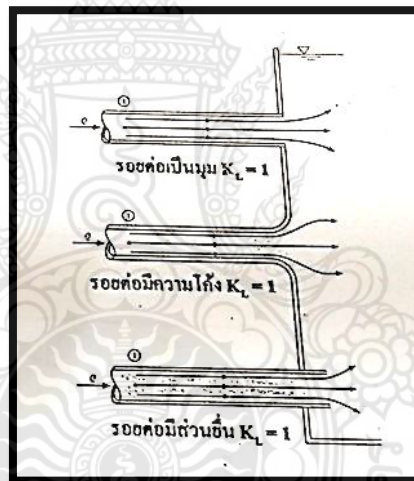


รูปที่ 2.29 สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย  $K_L$  จากกรไหลจากถังเข้าสู่ท่อ

ที่มา : ชัยยุทธชินณะราศรี หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2556: 214

### 2.4.3.3 การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง

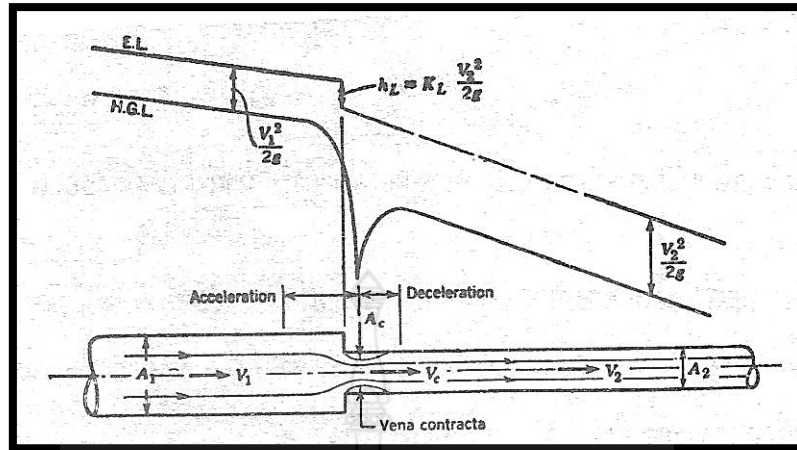
เมื่อของไหลไหลออกจากท่อเข้าสู่ถังเก็บความเร็วของของไหลจะเปลี่ยนจาก  $V$  เป็น 0 ดังนั้น พลังงานจลน์ที่แฝงอยู่ในของไหลจึงถูกกระจายออกไป ในกรณีนี้จึงถือค่า  $K_L = 1$  เมื่อหาค่า  $h_L$  จากสูตร ค่า  $V$  ที่ใช้คือความเร็วของของไหลภายในท่อ



รูปที่ 2.30 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง

ที่มา : Esposito, 1998: p.341

### 2.4.3.4 การสูญเสียเนื่องจากท่อลดขนาดลงทันที



รูปที่ 2.31 การสูญเสียเนื่องจากท่อลดขนาดลงทันที

ที่มา : ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์ หนังสือกลศาสตร์ของไหล, ไม่ปรากฏปี: 126

การสูญเสียในกรณีคล้าย ๆ กับกรณีของการสูญเสียเมื่อของไหลจากถังเข้าสู่ท่อ คือของไหลจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นและความดันลดลง ทั้งทำให้เกิดกระแสน้ำวนขึ้นในของไหล แต่ในกรณีนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของท่อที่มีการลดขนาดด้วย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

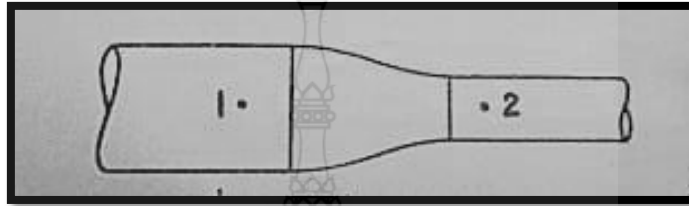
ตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์การสูญเสียย่อยจากท่อลดขนาด

$\frac{A_2}{A_1}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$K_L$	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.28	0.22	0.15	0.06	0.00

จากตารางที่ 2.4 เมื่อทราบอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของท่อ  $A_2/A_1$  แล้ว สามารถใช้

$K_L$  ได้ จากสูตร  $h_L = K \frac{V^2}{2g}$  โดยใช้ค่า  $V$  คือความเร็วของของไหลในท่อเล็ก

#### 2.4.3.5 การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆ ลดขนาด

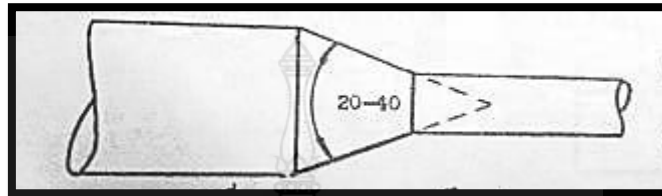


รูปที่ 2.32 ท่อค่อย ๆ ลดขนาด

ในท่อชนิดที่ค่อย ๆ ลดขนาด การสูญเสียกำลังงานของของไหล จะเกิดขึ้นในช่วงที่มีการเปลี่ยนขนาดของท่อ ส่วนในช่วงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดการสูญเสียกำลังงานจะสูญเสีย เหมือนกับการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานธรรมดา ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย  $K_L$  ปกติ ประมาณ 0.04 และเมื่อแทนค่า  $K_L$  ลงในสูตร  $h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$  ในที่นี้  $V$  คือความเร็วของของไหลในท่อเล็ก

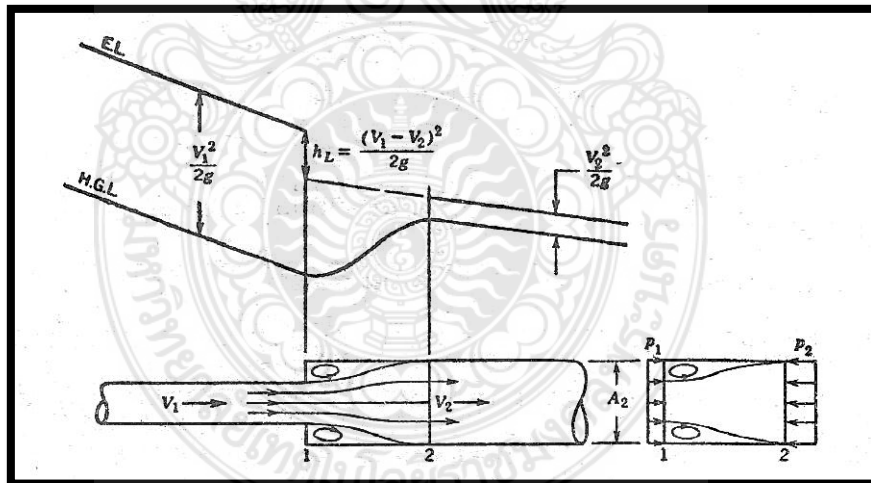
ในการใช้งานจริง ๆ ส่วนโค้งของท่อขณะที่มีการลดขนาดไม่ได้ทำให้มีส่วนโค้งตาม เส้น การไหล(Stream line)คือโค้งงอไม่ทำให้ของไหลไม่เกิดการปั่นป่วน แต่ส่วนที่มีการลดขนาด มักจะทำเป็นรูปกรวย ซึ่งทำให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นกว่าแบบข้างต้น ถ้ามุมของกรวยมากขึ้นเกินไป การลดขนาดของท่อจะเป็นแบบลดลงทันที ในกรณีที่ท่อลดขนาดเป็นรูปกรวยและมีมุมของกรวย อยู่ในช่วง 20 ถึง 40 องศา  $K_L = 0.1$  และ  $V$  คือความเร็วของของไหลในท่อเล็กเช่นเดียวกัน





รูปที่ 2.33 ท่อลดขนาดเป็นรูปกรวย

2.4.3.6 การสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดทันที



รูปที่ 2.34 การสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดทันที

ที่มา : ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์ หนังสือกลศาสตร์ของไหล, ไม่ปรากฏปี: 128

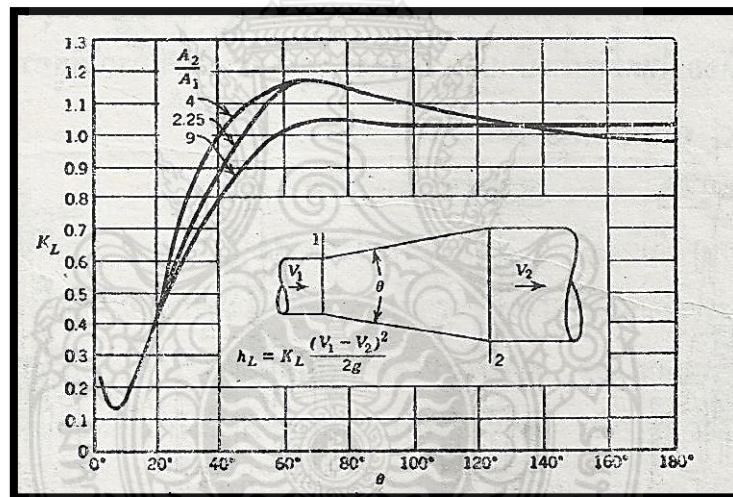
เมื่อของไหล ไหลผ่านจากท่อขนาดเล็กเข้าสู่ท่อขนาดใหญ่ ความเร็วของของไหลจะลดลง ดังนั้นความดันของของไหลในท่อใหญ่จะเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงแรกความดันยังไม่เพิ่มขึ้นโดยทันที เพราะเนื่องจากมีกระแสน้ำวนในช่วงนั้นมาก จึงทำให้เกิดการสูญเสียมาก

การหาการสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดทันที สามารถใช้สูตร  $h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$  ได้แต่ในกรณีนี้  $V$  คือความเร็วที่เปลี่ยนแปลง มีค่าเท่ากับ  $V_1 - V_2$  ดังนั้น สูตรการหาการสูญเสีย จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$h_L = K_L \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \dots\dots\dots (2.20)$$

- เมื่อ  $h_L$  = การสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดทันที  
 $V_1$  = ความเร็วของการไหลในท่อเล็ก  
 $V_2$  = ความเร็วของการไหลในท่อใหญ่  
 $K_L$  = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย กรณีนี้มีค่าประมาณ 1

#### 2.4.3.7 การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆ เพิ่มขนาด



รูปที่ 2.35 การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆ เพิ่มขนาด

ที่มา : ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์ หนังสือกลศาสตร์ของไหล, ไม่ปรากฏปี: 129

การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆ เพิ่มขนาด สามารถใช้สูตรเดียวกับ การสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดโดยทันที แต่ค่าของ  $K_L$  ขึ้นอยู่กับมุม  $\theta$  ของกรวย และอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของท่อทั้งสอง ถ้ามุมของกรวยประมาณ  $40 - 50^\circ$  ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะใกล้เคียงกับการเพิ่มขนาดทันที และค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะมีค่าสูงสุดเมื่อ  $\theta$  มีค่าประมาณ  $40 - 50^\circ$

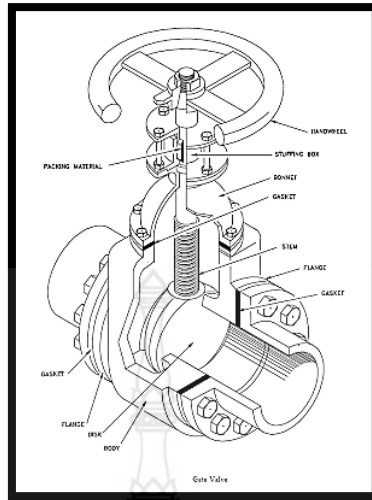
#### 2.4.3.8 การสูญเสียในข้อต่อของท่อและอุปกรณ์

เมื่อของไหลไหลผ่านข้อต่อและอุปกรณ์ของท่อต่างๆ ไป จะเกิดการสูญเสียกำลังงานในการไหลขึ้น เพราะความขรุขระหรือรูปร่างของข้อต่อที่ทำให้ของไหลเกิดการปั่นป่วน การหาการสูญเสีย ยังสามารถใช้สูตร  $h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$  ได้ โดยใช้ค่า  $K_L$  ดังตารางที่ 2.4

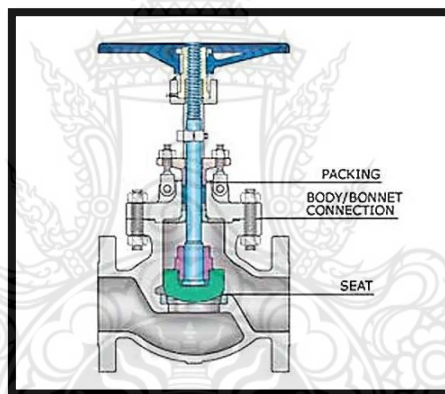
ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียรองของอุปกรณ์ต่างๆ

ชนิดของลิ้นและข้อต่อ	สัมประสิทธิ์ $K_L$
ประตูน้ำแบบกลม (Globe valve)10.0*	
ประตูน้ำตรงมุม (Angle valve)5.0*	
ประตูน้ำแบบบาน (Gate valve)0.19*	
เปิด 3/4	1.1
เปิด 1/2	5.6
เปิด 1/4	24.0
ประตูน้ำแบบบานพับ (Swing check valve)2.5*	
ประตูน้ำแบบลูกปืน (Ball valve)	0.05*
เปิด 2/3	206.0
เปิด 1/3	5.47
ข้องอกลับ (Close return bend)	2.2
ข้องอสามทางมาตรฐาน (Standard tee)	1.8
ข้องอมาตรฐาน (ข้องอ 90°) (Standard elbow)	0.9
ข้องอมาตรฐาน (ข้องอ 45°) (Standard elbow)	0.42
ข้องอปานกลาง (Medium sweep elbow)	0.75
ข้องอกว้าง (Long sweep elbow)	0.60

หมายเหตุ \* หมายถึง สัมประสิทธิ์เมื่อประตูน้ำเปิดเต็มที่



รูปที่ 2.36 แสดงตัวอย่างของประตูน้ำแบบบาน (Gate valve)



รูปที่ 2.37 แสดงตัวอย่างของประตูน้ำแบบกลม (Globe valve)

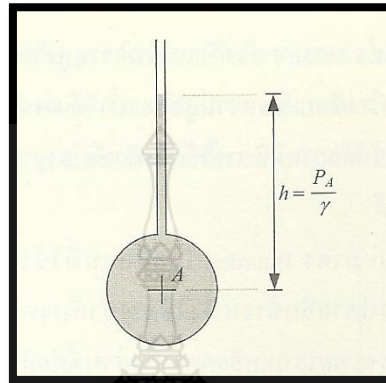
#### 2.4.3.9 การสูญเสียในท่อโค้งและข้องอ

ในการไหลผ่านส่วนโค้งหรือข้องอ ความดันภายในท่อจะสูงขึ้นทางด้านนอกและลดลงทางด้านใน ทำให้เกิดสภาพไม่สมดุลขึ้น ส่งผลให้เกิดการไหลซ้อน (Secondary flow) นอกเหนือจากการไหลในทิศทางตามยาว ดังนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านท่อโค้งจะเกิดการไหลแบบเกลียวคู่ การคำนวณหาค่าการสูญเสียจะจัดให้อยู่ในรูป  $h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$  ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์  $K_L$  ในกรณีนี้สามารถดูได้จาก ตารางที่ 2.4

#### 2.5 มาโนมิเตอร์แบบง่าย (Simple Manometer)

มาตรมาโนมิเตอร์ หรือ มาตรของเหลว เป็นเครื่องมือที่ใช้ค่าของเหลวสำหรับหาความแตกต่างของความดันมาตร รูปแบบที่ง่ายที่สุดเรียกว่า มาตรไพโซมิเตอร์ (Piezometer) หรือมาตรปลายเปิด โดยเครื่องมือประกอบด้วยหลอดแก้วตรงต่อเข้ากับผนังด้านข้างของภาชนะหรือท่อที่

บรรจุของเหลว ความดันภายในภาชนะหรือท่อจะจับให้ของเหลวไหลเข้าสู่หลอดแก้วจนเข้าสู่ระดับสมดุลที่ความสูง  $h$  ดังรูปที่ 2.38



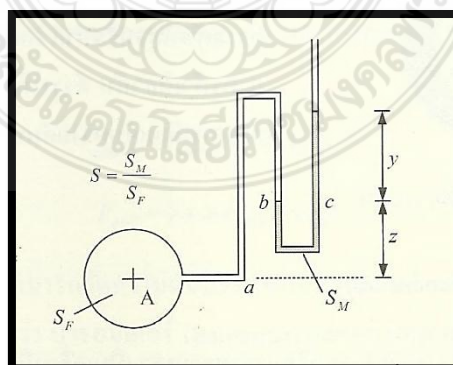
รูปที่ 2.38 การวัดความดันด้วยมาตรไพโซมิเตอร์ (Piezometer) หรือ มาตรปลายเปิด

ที่ระดับความสูง  $h$  ความดันที่กระทำจะเท่ากับความดันภายในภาชนะ จึงทำให้สามารถคำนวณหาความดันภายในภาชนะนั้นได้ด้วยความสัมพันธ์ของความดันและความสูง ดังนี้

ความดันที่จุด A = น้ำหนักจำเพาะของของไหล  $\times$  ค่าระดับความสูงของของเหลว

$$P_A = \gamma h \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

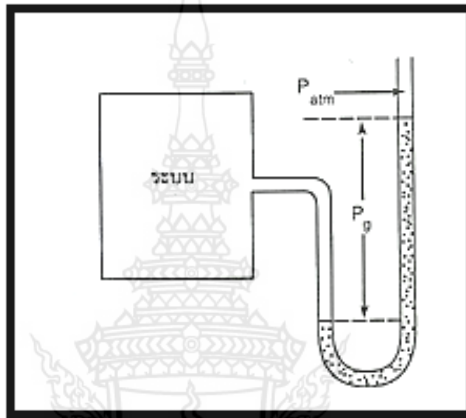
ข้อเสียเปรียบของมาตรปลายเปิด คือ ไม่สะดวกที่จะใช้วัดของไหลภายใต้ความดันสูงๆ เนื่องจากระดับความสูง  $h$  จะสูงเกินไป ทำให้ไม่สะดวกต่อการอ่านค่าความดัน สำหรับการแก้ปัญหานี้ ทำได้ด้วยการใช้มาตรที่ทำด้วยท่อที่ดัดเป็นรูปตัว (U) และการบรรจุของเหลวที่มีความหนาแน่นแตกต่างกับความหนาแน่นของของไหลที่ต้องการวัดความดัน ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.39 การวัดความดันด้วยมาตรปลายเปิดรูปตัว (U)

ถ้าของเหลวที่บรรจุอยู่ในท่อรูปตัวยูมีความหนาแน่นมาก ระดับความสูงที่วัดได้ก็จะมีค่าไม่มาก แต่การแปลผลอาจมีความผิดพลาดได้ง่าย ในทางกลับกันถ้าของไหลที่บรรจุอยู่ในหลอดรูปตัวยู(U) มีความหนาแน่นน้อย ระดับความสูงที่วัดได้ก็จะมีค่ามาก ดังนั้นมาตรปลายเปิดรูปตัวยู (U) จึงเหมาะกับการวัดความดันที่ต้องการความละเอียดสูง

การหาความดันของระบบโดยมาโนมิเตอร์แบบหลอดรูปตัว ( U) สามารถสังเกตและแบ่งวิธีการหาความดันสัมบูรณ์จากสูตรได้ 2 กรณี คือ

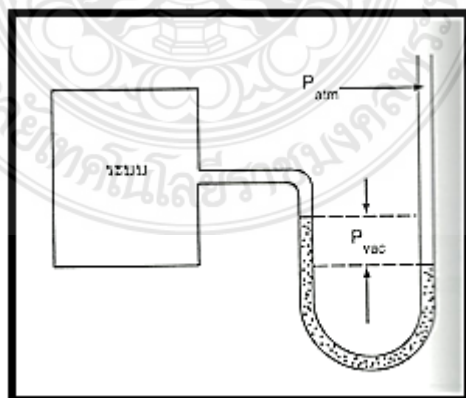


รูปที่ 2.40 ความดันเกจ (Gauge Pressure)

กรณีที่ 1 ถ้าความดันของระบบสูงกว่าความดันของบรรยากาศ ความดันที่อ่านได้จากมาตรวัดเรียกว่า ความดันเกจ (Gauge Pressure) ซึ่งจะสามารถหาความดันสัมบูรณ์ของระบบได้ ดังนี้

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = P_{\text{gauge}} - P_{\text{atm}} \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

(สูตรนี้ใช้เมื่อความดันของระบบสูงกว่าความดันของบรรยากาศ)



รูปที่ 2.41 ความดันสุญญากาศ (Vacuum Gauge Pressure)

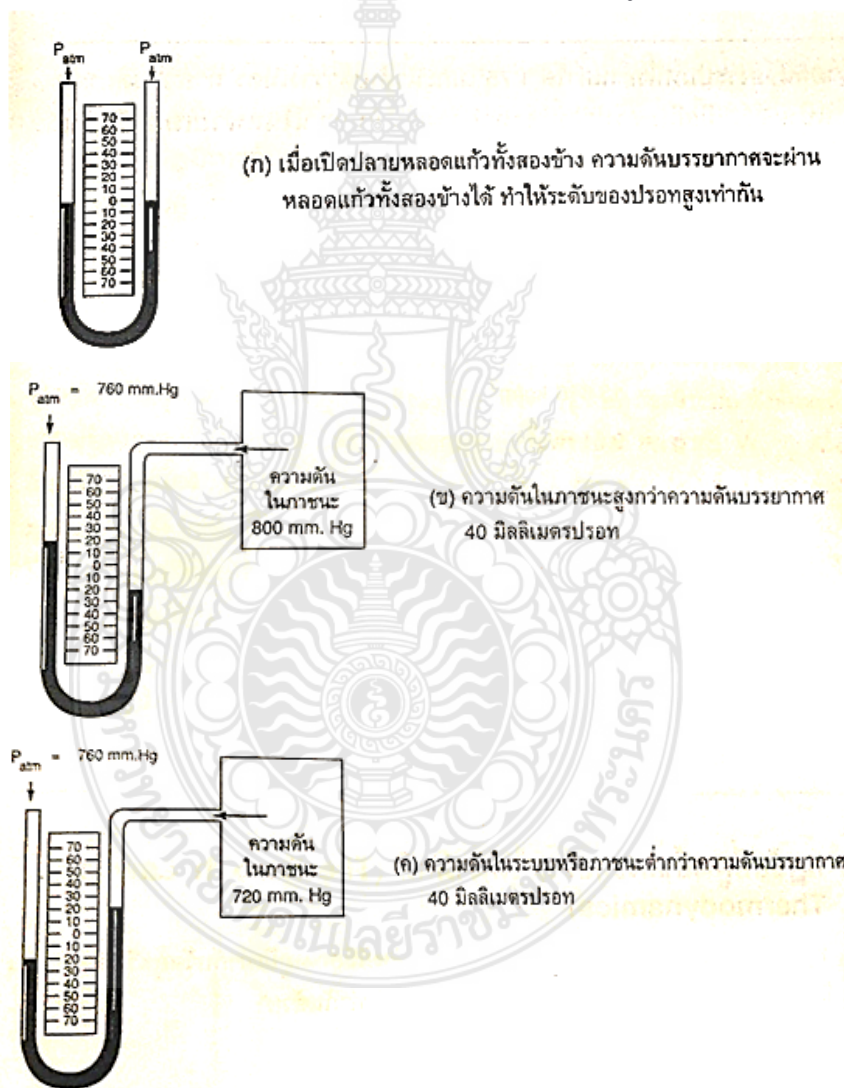


กรณีที่ 2 ถ้าความดันของระบบต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ ความดันที่อ่านได้จากมาตรวัดเรียกว่า ความดันสุญญากาศ ( Vacuum Gauge Pressure) ซึ่งจะสามารถหาความดันสัมบูรณ์ของระบบได้ ดังนี้

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{vacuum}} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

(สูตรนี้ใช้เมื่อความดันของระบบต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ)

วิธีการสังเกตลักษณะระดับของไหลซึ่งมีลักษณะต่างๆ สามารถสังเกตได้จากรูปที่ 2.42 โดยจะเป็นการแสดงให้เห็นถึงระดับของไหลภายในมาตร เมื่ออยู่ในลักษณะต่างๆ



รูปที่ 2.42 แสดงระดับของไหลภายในมาตรที่มีลักษณะต่างๆ

## 2.6 การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

ทางคณะผู้จัดโครงการ ได้ทำการเลือกวิธีการหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง โดยการนำชุดทดลอง ไปประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญและให้ทำการทดลองใช้ ซึ่งผลจากการประเมินการหาประสิทธิภาพ จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดคุณภาพของชุดทดลอง ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับประสิทธิภาพของชุดทดลอง มี 3 ระดับ คือ สูงกว่าเกณฑ์ เท่าเกณฑ์ และต่ำกว่าเกณฑ์

ดัชนีความสอดคล้อง ( Index of Consistency หรือ IOC) เป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย หรือทั่วไปเรียกว่าการตรวจสอบหาคุณภาพของเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัยโดย IOC จะเป็นการตรวจสอบ 3 ส่วน ได้แก่ ความตรงเฉพาะหน้า (Face Validity) ความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความตรงตามโครงสร้าง (Construct Validity) ซึ่งจะใช้ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญกับสิ่งที่จะวัดเป็นผู้ทำการตรวจสอบ โดยทั่วไปมักจะใช้จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิร่วมตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดประมาณ 3-5 คน วิธีการหาค่า IOC ของเครื่องมือวัด ผู้จัดทำโครงการจะนำเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมาให้ผู้ทรงคุณวุฒิ หรือผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านตรวจสอบและให้คะแนนรายข้อตามดุลยพินิจของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยการให้คะแนนรายข้อของผู้ทรงคุณวุฒินั้นจะมี 3 ค่า คือ

ค่า +1 คือผู้ตรวจสอบแน่ใจว่าข้อคำถามนั้นสามารถใช้วัดค่าตัวแปรที่จะศึกษาได้

ค่า 0 คือผู้ตรวจสอบไม่แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นสามารถใช้วัดค่าตัวแปรที่จะศึกษาได้หรือไม่

ค่า -1 คือผู้ตรวจสอบแน่ใจว่าข้อคำถามนั้นไม่สามารถใช้วัดค่าตัวแปรที่จะศึกษาได้

เมื่อได้ผลคะแนนจากผู้ทรงคุณวุฒิครบทุกท่านแล้ว ให้นำข้อมูลที่ได้นำมาทำการคำนวณตามสูตรการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

IOC หมายถึง ดัชนีความสอดคล้อง

R หมายถึง ค่าคะแนนรายข้อตามดุลยพินิจของผู้ตรวจสอบหรือผู้ทรงคุณวุฒิ

N หมายถึง จำนวนผู้ตรวจสอบหรือทรงคุณวุฒิ

เกณฑ์การแปลผลความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจากการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง ( IOC) ได้ความหมาย ดังนี้

มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 แสดงว่า ชุดทดลองตรงตามจุดประเมินที่ตั้งไว้

น้อยกว่า 0.5 แสดงว่า ชุดทดลองต้องปรับปรุงแก้ไข

ผลที่ได้จากการคำนวณนั้นควรมีค่าดัชนีความสอดคล้องมากกว่าหรือเท่ากับ + 0.5 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเป็นข้อคำถามที่สามารถนำไปใช้งานได้ แต่หากค่า IOC น้อยกว่า + 0.5 และผู้จัดทำ



โครงการ อาจมีความจำเป็นต้องใช้ข้อความนั้น โดยให้ผู้จัดทำโครงการทำการพัฒนาปรับปรุงข้อความนั้นให้เหมาะสมขึ้นตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิที่ทำการตรวจสอบ

## 2.7 วิธีสอนโดยใช้การทดลอง (Experiment)

วิธีสอนโดยใช้การทดลองคือกระบวนการที่ผู้สอนใช้ในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยการให้ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลองและลงมือทดลองปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นเก็บรวบรวมข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลสรุปอภิปรายผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ที่ได้จากการทดลอง

### 2.7.1 วัตถุประสงค์

วิธีสอนโดยใช้การทดลองเป็นวิธีการที่มุ่งช่วยให้ผู้เรียนรายบุคคลหรือรายกลุ่มเกิดการเรียนรู้โดยการเห็นผลประจักษ์ชัดจากการคิดและการกระทำของตนเองทำให้การเรียนรู้นั้นตรงกับความ เป็นจริงมีความหมายสำหรับผู้เรียนและจำได้นาน

### 2.7.2 องค์ประกอบสำคัญ (ที่ขาดไม่ได้) ของวิธีสอน

2.7.2.1 มีปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง

2.7.2.2 มีวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

2.7.2.3 มีการทดลอง

2.7.2.4 มีผลการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

### 2.7.3 ขั้นตอนสำคัญ (ที่ขาดไม่ได้) ของการสอน

2.7.3.1 ผู้สอน / ผู้เรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง

2.7.3.2 ผู้สอนให้ความรู้ที่จำเป็นต่อการทดลองให้ขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองแก่ผู้เรียนโดยใช้วิธีการต่างๆตามความเหมาะสม

2.7.3.3 ผู้เรียนลงมือทดลองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นตามขั้นตอนที่กำหนดและบันทึกข้อมูลการทดลอง

2.7.3.4 ผู้เรียนวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

2.7.3.5 ผู้สอนและผู้เรียนอภิปรายผลการทดลองและสรุปการทดลอง

### 2.7.4 เทคนิคและข้อเสนอแนะต่างๆในการใช้วิธีสอนโดยใช้การทดลองให้มีประสิทธิภาพ

2.7.4.1 การเตรียมการผู้สอนจะต้องกำหนดจุดมุ่งหมายกำหนดตัวปัญหาที่จะใช้ในการทดลองและกระบวนการหรือขั้นตอนในการดำเนินการทดลองให้ชัดเจนรวมทั้งจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองให้พร้อมและลองซ้อมทำการทดลองด้วยตนเองเพื่อจะได้เรียนรู้ประเด็นปัญหาข้อขัดข้องหรืออุปสรรคต่างๆให้รัดกุมขึ้นผู้สอนอาจจำเป็นต้องทำเอกสารคู่มือการทดลองให้ผู้เรียนและควรจัดทำประเด็นคำถามที่จะให้ผู้เรียนหาคำตอบหรือแนวทางที่จะให้ผู้เรียน

สังเกตผลการทดลองนอกจากนั้นในบางกรณีที่ต้องการทดลองต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ที่จำเป็นซึ่งหากผู้เรียนขาดความรู้ดังกล่าวจึงควรมีการตรวจสอบความรู้ผู้เรียนก่อนให้ทำการทดลองโดยผู้สอนจะต้องจัดเตรียมแบบทดสอบไว้ด้วย

2.7.4.2 การนำเสนอเรื่อง / ตัวปัญหาที่จะใช้ในการทดลองผู้สอนอาจเป็นผู้นำเสนอปัญหาที่จะใช้ในการทดลองแต่ถ้าทำให้ผู้เรียนมีความรู้สึกว่าเป็นปัญหาจากตัวผู้เรียนเองได้ก็จะยิ่งดี

จะทำให้การเรียนรู้หรือการทดลองนั้นมีความหมายสำหรับผู้เรียนมาก

2.7.4.3 การให้ความรู้ / ขั้นตอน / รายละเอียดในการทดลองผู้สอนอาจเป็นผู้กำหนดขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองเอง

2.7.4.4 การทดลองสามารถทำได้หลายแบบผู้สอนอาจให้ผู้เรียนลงมือทดลองตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมดโดยครูทำหน้าที่สังเกตและให้คำแนะนำหรือให้ข้อมูลแก่ผู้เรียนหรือผู้สอนอาจลงมือทำการทดลองเองแล้วให้ผู้เรียนสังเกตเมื่อผู้เรียนดูจนจบกระบวนการแล้วให้ผู้เรียนไปทำการทดลองด้วยตนเองผู้เรียนจะเรียนด้วยวิธีนี้ได้ดีหากมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นโดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวมี 13 ทักษะดังนี้

1. ทักษะการสังเกต
2. ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล
3. ทักษะการจำแนกประเภท
4. ทักษะการวัด
5. ทักษะการใช้ตัวเลข
6. ทักษะการสื่อความหมาย
7. ทักษะการพยากรณ์
8. ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปส (space) กับเวลา
9. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร
10. ทักษะการตั้งสมมติฐาน
11. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร
12. ทักษะการทดลอง
13. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป

2.7.5 การรวบรวมข้อมูลผู้สอนควรให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนในการสังเกตการทดลองบันทึกข้อมูลการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ

2.7.6 การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ ผู้สอนควรให้ผู้เรียนมีการวิเคราะห์อภิปรายเกี่ยวกับกระบวนการในการแสวงหาความรู้กระบวนการทำงานและกระบวนการอื่นๆและสรุปการเรียนรู้ร่วมกันด้วย

### 2.7.7 ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีสอน โดยใช้การทดลอง

#### ข้อดี

1. เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงได้ผ่านกระบวนการต่างๆได้พิสูจน์ทดสอบและเห็นผลประจักษ์ด้วยตนเองจึงเกิดการเรียนรู้ได้ดีมีความเข้าใจและจะจดจำการเรียนรู้นั้นได้มาก

2. เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนมีโอกาสได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการต่างๆจำนวนมาก เช่น ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์รวมทั้งได้พัฒนาลักษณะนิสัยใฝ่รู้

3. เป็นวิธีสอนมีส่วนร่วมในกิจกรรมมากจะทำให้เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนรู้

#### ข้อจำกัด

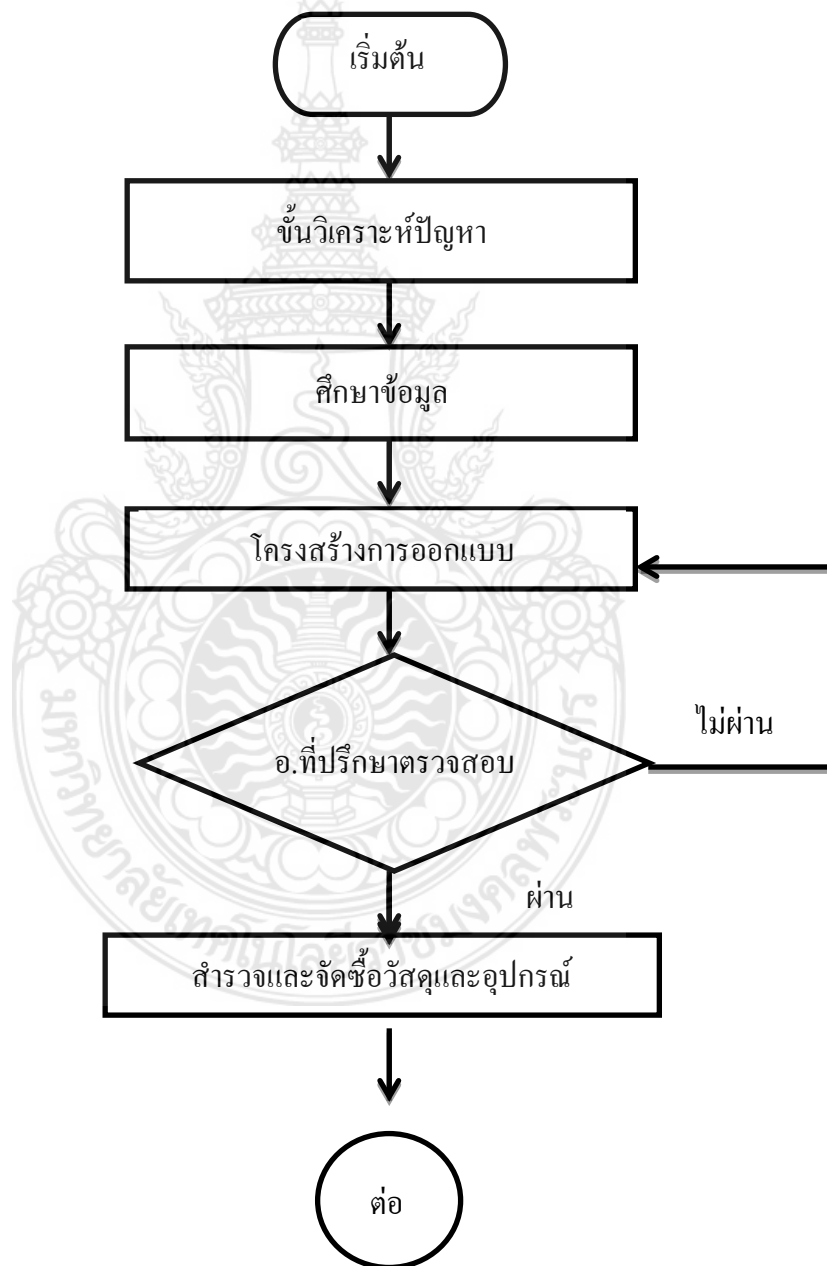
1. เป็นวิธีสอนที่มีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เครื่องมือวัสดุสำหรับผู้เรียนจำนวนมาก

2. เป็นวิธีสอนที่ใช้เวลามากเนื่องจากการดำเนินการแต่ละขั้นตอนต้องใช้เวลา

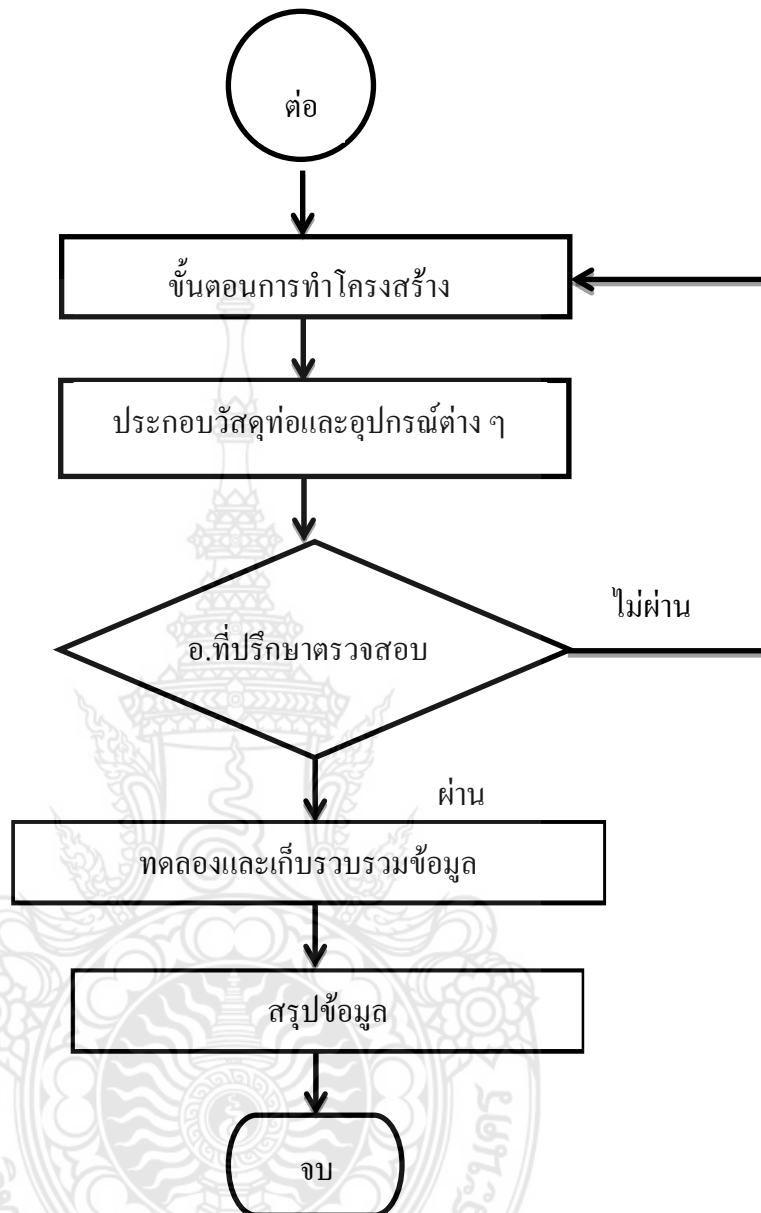
3. เป็นวิธีสอนที่ผู้สอนต้องมีความรู้ความเข้าใจและมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จึงจะสามารถสอนและฝึกฝนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี

### บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

ในการดำเนินการจัดทำโครงการชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ในครั้งนี้คณะผู้จัดทำได้พิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตของโครงการและผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ จึงสามารถแบ่งลำดับขั้นตอนการดำเนินงานได้ ดังนี้



แผนภูมิที่ 3.1 แผนภูมิวิธีดำเนินการจัดทำโครงการ



แผนภูมิที่ 3.1 แผนภูมิวิธีดำเนินการจัดทำโครงการ (ต่อ)

### 3.1 ชั้นวิเคราะห์ปัญหา

สืบเนื่องมาจากทางสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีการศึกษาในวิชาที่มีความเกี่ยวข้องกับด้านวิชาทางวิศวกรรม ซึ่งถือได้ว่าวิชาทางวิศวกรรมนั้นมีความสำคัญต่อผู้เรียนเป็นอย่างมาก และจากการที่ได้ศึกษาในวิชา

กลศาสตร์ของไหล ซึ่งเป็นวิชาที่ต้องอาศัยการคำนวณเป็นหลัก และยังคงคิดหรือจินตนาการให้เห็น ลักษณะของการไหลของของไหลในรูปแบบต่างๆ เป็นต้น ซึ่งจากการที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า ทางสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ยังไม่มีสื่อซึ่งเป็นชุดทดลองเฉพาะการหาค่าการสูญเสียที่ใช้ในการเรียนการสอนอย่างเป็นทางการ

ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะสร้าง ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ขึ้น เพื่อให้ผู้เรียนสามารถทำการทดลองประกอบการเรียนการสอนในวิชา กลศาสตร์ของไหล ได้ ทั้งยังสามารถให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจได้จากสื่อที่ใช้นี้ได้อย่างเป็นรูปธรรม

### 3.2 ศึกษาข้อมูลของโครงการชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ

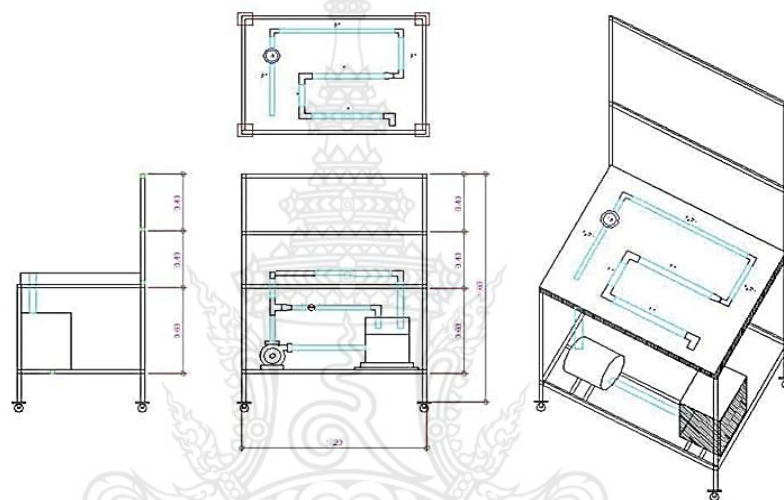
3.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ โดยการปรึกษามาชิกในกลุ่ม และขอคำแนะนำ จากอาจารย์ที่ปรึกษา เช่น การปรึกษากันระหว่างสมาชิกภายในกลุ่มในช่วงแรกของการคิดที่จะสร้าง ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ซึ่งได้วางรูปแบบเบื้องต้นของชุดทดลองว่าควรจะมี ลักษณะอย่างไร มีหลักการทำงานแบบไหน หลังจากนั้นทางคณะผู้จัดทำก็นำเอาความคิดและ รูปแบบเบื้องต้นของชุดทดลอง ไปทำการปรึกษาและขอคำแนะนำกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ เพื่อหารูปแบบชุดทดลองที่จะมีความเป็นไปได้ ก่อนจะนำไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

3.2.2 ศึกษาข้อมูลจากเอกสาร, ตำราวิชาการ, สิ่งพิมพ์และรูปเล่มโครงการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และเป็นประโยชน์ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดวัตถุประสงค์ , ขอบเขตและแผนการดำเนินงาน โครงการ เช่น ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลจากเอกสาร หนังสือทางวิชาการเกี่ยวกับวิชา กลศาสตร์ของไหล และหนังสือที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบท่อ วาล์ว เครื่องสูบล ฯลฯ ซึ่งเมื่อ ทำการศึกษาข้อมูลต่างๆ ทางคณะผู้จัดทำก็เริ่มที่จะสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตของ โครงการในขั้นต้นได้ เพื่อที่จะสามารถทำให้การดำเนินการสร้างชุดทดลองเป็นไปอย่างมีแบบแผน

### 3.3 โครงสร้างและการออกแบบชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ

เมื่อทางคณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการศึกษาข้อมูลและออกแบบโครงสร้างเบื้องต้นของ ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อแล้ว ก็ได้นำเอาแบบ โครงสร้างเบื้องต้นไปทำการปรึกษา และขอคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ เพื่อนำกลับมาทำการปรับปรุงแก้ไขรูปแบบ โครงสร้างให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น และเมื่อกำหนดโครงสร้างได้เรียบร้อยแล้ว ทางคณะผู้จัดทำ ก็เริ่มวางตำแหน่งของชุดระบบท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับโครงสร้างของชุด ทดลอง

หลังจากทำการออกแบบโครงสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 3.1 อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการได้ให้คำแนะนำ ในขั้นตอนของการสำรวจราคาและจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ ซึ่งได้ให้ไปสำรวจราคาจากหลายๆ ร้าน และนำกลับมาพิจารณาถึงความคุ้มค่าก่อนทำการจัดซื้อ และให้คำนึงถึงความสำคัญของวัสดุและอุปกรณ์นั้นๆ ว่ามีความจำเป็นหรือไม่ และเมื่อได้รายการจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมแล้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการจึงอนุมัติให้ทางคณะผู้จัดทำโครงการทำการจัดซื้อได้



รูปที่ 3.1 แบบ โครงสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ

### 3.4 ตัวอย่างการคำนวณ

ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ เป็นโครงการชุดทดลองประกอบการศึกษาในวิชา กลศาสตร์ของไหล ชุดหนึ่ง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลที่อยู่ภายในท่อ โดยชุดทดลองนี้ เป็นชุดทดลองเพื่อหาค่าการสูญเสียเมื่อมีการเกิดการไหลผ่านท่อที่มีลักษณะความแตกต่างกันของขนาด เช่น การไหลผ่านท่อที่มีขนาดเล็ก การไหลผ่านท่อที่มีขนาดใหญ่ เป็นต้น และการไหลผ่านท่อที่มีลักษณะหรือรูปแบบต่างๆ เช่น การไหลผ่านข้องอ การไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ จากการที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถแบ่งรายละเอียดของการคำนวณได้ตามหัวข้อ ดังนี้

3.4.1 คุณสมบัติของน้ำสำหรับใช้ในการทดลอง โดยเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (จากตารางแสดงคุณสมบัติบางประการของน้ำที่ความดันปกติ) และน้ำที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน 28 ลิตร

- ความหนาแน่น ( $\rho$ ) เท่ากับ  $995.7 \text{ kg/m}^3$



- น้ำหนักจำเพาะ ( $\gamma$ ) เท่ากับ  $9,767 \text{ N/m}^3$
- ความหนืดสัมบูรณ์ ( $\mu$ ) เท่ากับ  $0.801 \times 10^{-3} \text{ kg/m/s}$
- ความหนืดจลน์ ( $\nu$ ) เท่ากับ  $0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

3.4.2 กำหนดให้ใช้ค่าความดันบรรยากาศมาตรฐาน ( atmospheric pressure) สำหรับใช้ในการทดลอง มีค่าเท่ากับ 1.013 bar

3.4.3 สำหรับชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ สามารถแบ่งรายละเอียดการคำนวณการหาค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง ตามลำดับขั้นตอนของตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้

ตัวอย่าง เมื่อทำการเปิดเครื่องชุดทดลอง ทำการเปิดวาล์วประตูน้ำในลักษณะเปิดเต็มที่ ทำการสังเกตมาตรวัดน้ำและจับเวลาในการทดลองเป็นเวลา 60 วินาที และทำการทดลองการหาค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง ที่ท่อขนาด 1/2 นิ้ว มีความยาว 71 เซนติเมตร โดยมีการไหลผ่านข้องอมาตรฐาน 90 องศา จำนวน 2 ตัว และให้ทำการสังเกตค่าความดันภายในท่อและทำการบันทึกรายละเอียดลงใบงานสำหรับชุดทดลอง

#### ผลการทดลองพบว่า

หาอัตราการไหล ( Q) โดยการสังเกตจากมาตรวัดน้ำ และใช้วิธีการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา กำหนดให้จับเวลาในการทดลองเป็นเวลา 60 วินาที และทำการตรวจสอบและสังเกตอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจะมีหน่วยเป็น (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

เปิดวาล์วประตูน้ำเต็มที่ จับเวลา 60 วินาที จะได้อัตราการไหล (Q)

$$Q = 0.016 \text{ m}^3/\text{min}$$

ทำการแปลงหน่วย

$$Q = 0.000266 \text{ m}^3/\text{s}$$

หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ( D) โดยการเปิดตารางแสดงขนาดของท่อน้ำและสังเกตขนาดท่อที่มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร ซึ่งจะอยู่คู่กับขนาดหน่วย นิ้วของขนาดท่อ หลังจากนั้นให้ทำการแปลงหน่วยเป็นหน่วย เมตร

#### ผลการเปิดตารางพบว่า

ท่อขนาด 1/2 นิ้ว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ

$$D = 18 \text{ mm}$$

แปลงหน่วยเรียบร้อยแล้ว  $D = 0.018 \text{ m}$

หาความเร็วในการไหลของน้ำ (  $V$  ) ซึ่งเป็นการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ โดยการหาความเร็วในการไหลของน้ำ (  $V$  ) จะนำเอาค่า อัตราการไหล (  $Q$  ) และพื้นที่หน้าตัดท่อ (  $A$  ) มาแทนในสูตร ดังนี้

$$V = \frac{Q}{A} \text{ m/s}$$

นำค่าอัตราการไหล (  $Q$  ) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (  $D$  ) มาแทนในสูตร

$$V = \frac{0.000266 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4}(0.018^2 \text{ m}^2)}$$

$$V = 1.046 \text{ m/s}$$

หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) สำหรับท่อกลมซึ่งเป็นการหาลักษณะของการไหลว่าเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าได้ ดังนี้

ถ้า  $N_R$  น้อยกว่า 2000 การไหลของของไหลจะเป็นแบบราบเรียบ

แต่ ถ้าหาก  $N_R$  มากกว่า 2000 มาก ๆ การไหลของของไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน

จากสูตร  $N_R = \frac{DV\rho}{\mu}$  หรือ  $\frac{VD}{\nu}$  ไม่มีหน่วย

นำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (  $D$  ), ความเร็วในการไหลของน้ำ (  $V$  ) และค่าคุณสมบัติของน้ำได้แก่ ความหนาแน่น ( $\rho$ ) ความหนืดสัมบูรณ์ ( $\mu$ ) ที่กำหนดไว้ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนำมาแทนค่าในสูตรข้างต้น

$$N_R = \frac{1.046 \text{ m/s} \times 0.018 \text{ m} \times 995.7 \text{ kg/m}^3}{0.801 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$N_R = 23,404 \text{ ไม่มีหน่วย}$$

$$N_R = 2.340 \times 10^4 \text{ ไม่มีหน่วย}$$

จากการคำนวณและการเปรียบเทียบค่าที่หาจากสูตรข้างต้น

ค่า  $N_R = 2.340 \times 10^4$  เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

หาแฟคเตอร์ความเสียดทาน (  $f$  ) จะเป็นค่าส่วนหนึ่งที่จะใช้สำหรับการหาค่าการสูญเสียหลัก ดังนั้น เราจึงต้องทำการหาค่า แฟคเตอร์ความเสียดทาน (  $f$  ) เสียก่อน โดยการทำตาม ลำดับการหาแฟคเตอร์ของความเสียดทานดังนี้

1. หาค่าความขรุขระของท่อ  $\epsilon$  จากตารางชนิดของวัสดุที่ทำท่อ

จากตารางพบว่า

ท่อที่ทำจากวัสดุพลาสติก มีค่า  $\varepsilon = 0.0$

2. หาอัตราส่วน  $\varepsilon/D$  คือความขรุขระ / เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.0}{0.018 \text{ m}}$$
$$\frac{\varepsilon}{D} = 0$$

(ค่าอัตราส่วน  $\varepsilon/D$  นี้ต่ำมากจึงถือว่าเป็นท่อเรียบ)

3. หาค่า  $f$  จากแผนภาพของมูดี้ (Moody Chart) โดยใช้  $N_R$  และ  $\varepsilon/D$  พบว่า

$$(f) = 0.025$$

การหาค่าการสูญเสียหลัก (Major Loss) ซึ่งจากการหาค่าต่างๆ มาแล้วข้างต้น ก็จะสามารถนำค่าเหล่านั้นมาทำการแทนค่าในสูตรการหาค่าการสูญเสียหลักในท่อกลม ได้ดังนี้

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$$
$$h_L = 0.025 \frac{0.71 \text{ m} \times 1.046^2 \text{ (m/s)}^2}{0.018 \text{ m} \times 2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} \quad \text{m of water}$$
$$h_L = 0.0549 \quad \text{m of water}$$

ตอบ การหาค่าการสูญเสียหลักของท่อ ขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.0549 เมตรของน้ำ การหาค่าการสูญเสียรอง (Minor Loss) จากตัวอย่างชุดทดลองนี้ จะสังเกตได้ว่าช่วงท่อที่นำมาเป็นตัวอย่างจะมีการไหลผ่านอุปกรณ์ ซึ่งมาตรฐาน 90 องศา จำนวน 2 ตัว โดยส่วนนี้จะมีการเพิ่มเติมในการหาค่าสัมประสิทธิ์ ( $K_L$ ) การสูญเสียย่อยของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะต้องทำการหาค่าจากตาราง และจึงนำมาแทนค่าเพื่อทำการหาค่าการสูญเสียรอง โดยสามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$$

ผลการหาค่าจากตาราง

$$K_L = 0.9 \times 2$$

$$K_L = 1.8$$

นำค่าสัมประสิทธิ์ ( $K_L$ ), ความเร็วในการไหลของน้ำ ( $V$ ) มาแทนในสูตร

$$h_L = 1.8 \times \frac{1.046^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.1004 \quad \text{m of water}$$

ตอบ การหาค่าการสูญเสีย รองของท่อ ขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.1004 เมตรของน้ำ

การหาค่าการสูญเสียรวม โดยการนำเอาค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองมาทำการรวมกัน

$$h_L = 0.0549 + 0.1004$$

$$h_L = 0.1553 \quad \text{m of water}$$

ตอบ การหาค่าการสูญเสีย รวม ขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.1553 เมตรของน้ำ

จากการสังเกตค่าความแตกต่างของความสูงภายในมาโนมิเตอร์ พบว่า ท่อชุดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของความสูงเท่ากับ 5 เซนติเมตร และเป็นแบบความดันเกจ (Gauge Pressure) ซึ่งจะสามารถหาค่าความดันสัมบูรณ์ของระบบได้จากสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์ } P_{abs} = P_{gauge} + P_{atm} \quad \text{bar}$$

ทำการหาค่าความดันเกจ (Gauge Pressure,  $P_{gauge}$ ) จากสูตร

$$P_{gauge} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$

ทำการแปลงหน่วย  $z = 5 \quad \text{cm.}$

$$z = 0.05 \quad \text{m.}$$

แทนค่า  $P_{gauge} = 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.05 \text{ m}$

ทำการแปลงหน่วย  $P_{gauge} = 488.39 \quad \text{N/m}^2$

ทำการแปลงหน่วย  $P_{gauge} = 0.0049 \quad \text{bar}$

นำค่า  $P_{gauge}$  และค่า  $P_{atm}$  มาทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์ } P_{abs} = 0.0049 + 1.013 \quad \text{bar}$$

$$P_{abs} = 1.0179 \quad \text{bar}$$

ตอบ ความดันสัมบูรณ์จากมาโนมิเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นค่าความดันเกจ มีค่าเท่ากับ 1.0179 บาร์

### 3.5การจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์

ตารางที่ 3.1รายจ่ายวัสดุอุปกรณ์

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงินรวม
1	เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ขนาด 0.5 แรงม้า	1 เครื่อง	1200	1,200
2	มาตรวัดน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2	1 เรือน	439	439
3	ถังบรรจุน้ำ ขนาด 40 ลิตร	1 ใบ	500	500

4	ท่อพีวีซีขนาด 1/2 นิ้ว	1 เส้น	30	30
5	ท่อพีวีซีขนาด 1 นิ้ว	1 เส้น	70	70
6	ข้องอพีวีซี 90 องศา ขนาด 1/2 นิ้ว	3 ตัว	9.40	28.20
7	ข้องอพีวีซี 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว	5 ตัว	10	50
8	ข้อต่อตรงพีวีซีขนาด 1/2 นิ้ว	1 ตัว	10	10
9	ข้อต่อตรงพีวีซีขนาด 1 นิ้ว	1 ตัว	10	10
10	ข้อต่อตรงลดขนาดพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว เป็น 1/2 นิ้ว	2 ตัว	6	12
11	ข้อต่อตรงเกลียวนอก พีวีซี ขนาด 1 นิ้ว	3 ตัว	10	30

ตารางที่ 3.1 รายจ่ายวัสดุอุปกรณ์(ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงินรวม
12	ข้อต่อตรงเกลียวในพีวีซี ขนาด 1/2 นิ้ว	2 ตัว	13.50	27
13	ข้อต่อสามทางพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว	1 ตัว	13.75	13.75
14	เกทวาล์ว ทองเหลือง ขนาด 1/2 นิ้ว	1 ตัว	109	109
15	บอลวาล์ว ผิวชุบนิกเกิล ขนาด 1 นิ้ว	1 ตัว	169	169
16	บอลวาล์วพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว	1 ตัว	90	90
17	ท่อยางความดัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร	10 เมตร	200	200
18	บอลวาล์ว (ท่อความดัน) ทองเหลือง ขนาด 1/4 นิ้ว	6 ตัว	75	450
19	ข้อต่อตรง ทองเหลือง ขนาด 1/4 นิ้ว	3 ตัว	20	60
20	ข้อต่อ ทองเหลืองเกลียวใน ขนาด 1/4 นิ้ว	6 ตัว	30	180
21	ข้อต่อสามทาง ทองเหลือง ขนาด 1/4 นิ้ว	3 ตัว	55	165
22	อุปกรณ์กรองสิ่งสกปรก	3 ตัว	20	60
23	เบรกเกอร์และกรอบพลาสติกครอบ ขนาด 15 A, 220 V	1 ชุด	115	115
24	สายไฟพร้อมหัวปลั๊กเสียบ	1 ชุด	55	55
25	แผ่นอะคริลิก ขนาดหนา 3 มิลลิเมตร	1 แผ่น	750	750
26	เหล็กกล่อง ขนาด 1x1 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตร	3 เส้น	350	1,050
27	แผ่นเหล็ก หนา 1.2 มิลลิเมตร	1 เส้น	450	450
28	ลื้อ	4 ตัว	55	220
29	รางอลูมิเนียม	1 เส้น	80	80

30	ขอบนากอลูมิเนียม	1 เส้น	80	80
31	น็อต	8 ชุด	10	80
32	เบ็ดเตล็ด			2,700
	รวม		9,383.95 บาท	

เมื่อจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างชิ้นงาน โดยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ตามลักษณะของชิ้นงานพร้อมขั้นตอนการติดตั้งดังต่อไปนี้

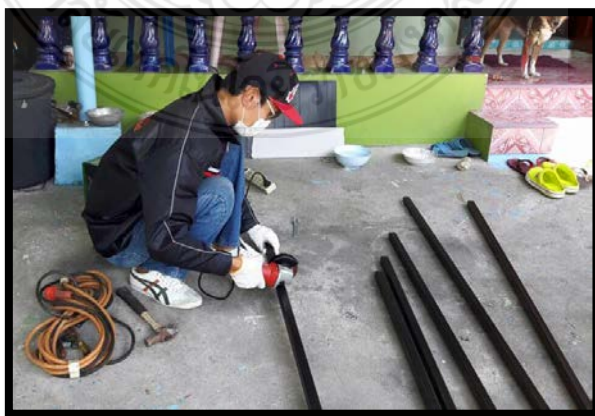
### 3.6 ดำเนินการสร้าง

สำหรับในขั้นตอนการดำเนินการสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลผ่านในท่อ ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการตามแผนการดำเนินงานจัดทำโครงการดังที่แสดงไว้ในแผนภูมิที่ 3.1 ซึ่งเริ่มต้นดำเนินงานตั้งแต่ขั้นตอนของการศึกษาข้อมูลการสร้างชุดทดลอง และทำการออกแบบโครงสร้างเบื้องต้นเพื่อใช้ในการประเมินราคาในส่วนของขั้นตอนการสำรวจและจัดซื้ออุปกรณ์ ซึ่งเมื่อทำการสำรวจและจัดซื้อเรียบร้อยแล้ว ทางคณะผู้จัดทำจึงเริ่มดำเนินการสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ โดยจะขอกล่าวเป็นขั้นตอนการดำเนินการสร้าง ดังนี้

#### 3.6.1 ตัดเหล็กกล่องและประกอบโครงสร้าง

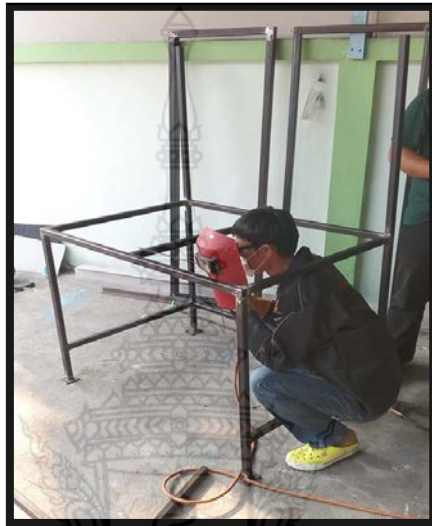
ทำการตัดเหล็กกล่องและเหล็กเพลทตามขนาดความยาว ดังนี้

- ตัดเหล็กกล่องขนาดความยาว 120 เซนติเมตร จำนวน 5 เส้น
- ตัดเหล็กกล่องขนาดความยาว 80 เซนติเมตร จำนวน 9 เส้น
- ตัดเหล็กกล่องขนาดความยาว 160 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น
- ตัดเหล็กกล่องขนาดความยาว 37 เซนติเมตร จำนวน 4 เส้น
- ตัดเหล็กเพลทขนาด(กว้าง×ยาว)6.5 เซนติเมตร × 7.5 เซนติเมตร จำนวน 4 ชิ้น



รูปที่ 3.2 การตัดเหล็กกล่องและเหล็กเพลทตามขนาดโครงสร้าง

และ นำเอาเหล็กเพลททั้ง 4 ชั้นมาทำการเจาะรู ให้ได้ตามขนาดของ น็อตที่ใช้ยึดติดระหว่างเหล็กเพลทและชุดล้อเลื่อน เมื่อดำเนินการตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงนำเหล็กกล่องและเหล็กเพลทที่ทำการตัดเรียบร้อยแล้ว มาทำการเชื่อมเข้าด้วยกันทั้งหมดให้ได้ตาม โครงสร้างที่ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ทำการเชื่อม โครงสร้างเข้าด้วยกัน

### 3.6.2 ติดแผ่นเหล็กและทาสี

ใช้แผ่นเหล็กขนาดความกว้าง 86 เซนติเมตร × ยาว 120 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น นำมาเชื่อมประกอบเข้ากับ โครงสร้างที่ทำขึ้นมาดังรูป 3.4 จากนั้นทำการลบคมด้วยตะไบและทำการทาสี โครงสร้างทั้งหมด ดังรูปที่ 3.5 หลังจากสีที่ทาแห้งแล้ว ต่อมาก็ทำการติดตั้งล้อเลื่อน เพื่อให้เกิดความสะดวกในการดำเนินงานสร้างในส่วนอื่นๆ





รูปที่ 3.4 ทำการเชื่อมแผ่นเหล็กยึดติดกับ โครงสร้าง



รูปที่ 3.5 ทำการทาสีโครงสร้าง

### 3.6.3 การติดตั้งเครื่องสูบน้ำและประกอบท่อชุดทดลอง

เมื่อทำการประกอบโครงสร้างและทาสี เรียบร้อยแล้ว ต่อมาจะเป็นขั้นตอนในการทำการติดตั้งเครื่องสูบน้ำและประกอบท่อพีวีซี. สำหรับส่งน้ำ ซึ่งมีขั้นตอนการประกอบดังนี้

3.6.3.1 นำเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ขนาด 0.5 แรงม้าจำนวน 1 ตัว นำมาติดตั้งเข้ากับโครงสร้าง ในบริเวณ ที่เตรียมไว้ จากนั้นทำการติดตั้งสายไฟของเครื่องสูบน้ำเข้ากับชุดเบรกเกอร์ และทำการเดินสายไฟให้มีความเรียบร้อย และทำการยึดเครื่องสูบน้ำด้วยน็อตดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ทำการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ

3.6.3.2 ทำการเจาะรูที่แผ่นเหล็กให้ได้ตามขนาดของท่อน้ำ เพื่อที่จะต่อท่อพีวีซีให้สามารถ  
ลอดผ่านแผ่นเหล็กได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ทำการเจาะรูแผ่นเหล็ก

3.6.3.3 ทำการตัดท่อน้ำพีวีซีขนาด 1 นิ้ว และ 1/2 นิ้วให้ได้ตามขนาดที่กำหนดไว้ตามแบบ  
เพื่อนำมาประกอบต่อกับข้อต่อและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับชุดทดลอง



รูปที่ 3.8 ทำการตัดท่อน้ำพีวีซี

3.6.3.4 ทำการวัดขนาดและเจาะรูถังบรรจุน้ำ โดยใช้สำหรับต่อเข้ากับข้อต่อตรงเกลียวใน  
เพื่อเป็นท่อทางส่งน้ำจากถังสู่อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ทำการวัดขนาดและเจาะรูถังบรรจุน้ำ

3.6.3.5 ทำการประกอบชุดท่อพีวีซีในส่วนที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งเริ่มจากการต่อข้อต่อตรงเกลียว นอกจำนวน 3 ตัว โดยต่อเข้ากับถังบรรจุน้ำจำนวน 1 ตัว และต่อเข้ากับเครื่องสูบน้ำทางเข้าและทางออกอีกจำนวน 2 ตัว และทำการประกอบท่อขนาด 1 นิ้ว เพื่อเชื่อมต่อจากถังบรรจุน้ำมายังข้อต่อเครื่องสูบน้ำทางเข้า และส่วนของด้านทางออกจากเครื่องสูบน้ำจะต่อเข้ากับข้อต่อสามทาง โดยทางด้านหนึ่งจะเป็นต่อท่อขึ้นสู่ด้านบนของชุดทดลอง อีกทางหนึ่งจะแยกออกผ่านท่อขนาด 1 นิ้ว และต่อเข้ากับข้อต่อตรงเกลียวนอกและต่อเข้ากับบอลวาล์ว ผิวชุนนิกเกิล และเมื่อออกจากบอลวาล์วก็จะผ่านข้อต่อตรงเกลียวนอกอีก 1 ตัว และส่งผ่านท่อมายังข้อต่อ 90° เพื่อใช้ส่งน้ำกลับลงถังบรรจุน้ำ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ทำการประกอบชุดท่อพีวีซีในส่วนที่อยู่ด้านล่าง

3.6.3.6 ทำการประกอบชุดท่อ พีวีซีในส่วนที่อยู่ด้านบน ซึ่งเริ่มจากการต่อข้อต่อ 90° เข้ากับท่อขนาด 1 นิ้ว ที่ต่อผ่านข้อต่อสามทางขึ้นมาจากด้านล่าง เมื่อทำการต่อเสร็จ ปลายท่ออีกด้านหนึ่งของข้อต่อ 90° จะต่อด้วยท่อขนาด 1 นิ้ว และต่อเข้ากับข้อต่อลดขนาดจาก 1 นิ้ว เป็น ขนาด 1/2

ต่อมาเมื่อทำการลดขนาดแล้ว ในส่วนต่อไปก็จะทำการต่อท่อพีวีซีขนาด 1/2 และต่อเข้ากับข้อต่อตรงเกลียวใน เพื่อใช้สำหรับต่อเข้ากับเกทวาล์วและมาตรวัดน้ำ ส่วนทางด้านออกจากมาตรวัดน้ำจะต่อเข้ากับข้อต่อตรงเกลียวในขนาด 1/2 อีก 1 ตัว และต่อผ่านท่อมายังข้องอ 90° ขนาด 1/2 ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การประกอบชุดท่อพีวีซีในส่วนที่อยู่ด้านบน

3.6.3.7 เมื่อทำการต่อข้องอ 90° ขนาด 1/2 เสร็จ หลังจากนั้นก็นำท่อพีวีซีขนาด 1/2 ที่ตัดไว้แล้ว มาต่อเข้ากับข้องอ 90° ต่อมาก็ให้นำข้องอ 90° อีก 1 ตัว มาต่อเข้ากับปลายท่อพีวีซีอีกด้านหนึ่ง เมื่อต่อเรียบร้อยแล้ว ในส่วนของทางออกก็จะต่อด้วยท่อพีวีซีขนาด 1/2 เพื่อต่อเข้ากับข้องอ 90° อีก 1 ตัว จากนั้นก็ทำการเพิ่มขนาดด้วยข้อต่อตรงแบบค่อยๆ เพิ่มขนาด จำนวน 1 ตัว และต่อเข้ากับท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว ส่งผ่านมายังข้องอ 90° ขนาด 1 นิ้ว และในส่วนของทางออกก็จะส่งผ่านท่อขนาด 1 นิ้วมายังข้องอ 90° ขนาด 1 นิ้ว อีกจำนวน 1 ตัว เพื่อเข้าสู่ท่อชุดทดลองท่อสุดท้าย โดยเมื่อส่งผ่านท่อขนาด 1 นิ้วมาก็จะต่อเข้ากับบอลวาล์วพีวีซีขนาดเดียวกัน และในส่วนของทางออกก็จะถูกส่งผ่านท่อมายังข้องอ 90° ขนาด 1 นิ้ว

3.6.3.8 ซึ่งเมื่อได้ทำการต่อข้องอ 90° เสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นก็จะเป็นการวัดขนาดเพื่อจะรู้สำหรับส่งปลายท่อชุดทดลองท่อสุดท้าย ให้เป็นทางออกในการส่งน้ำตลอดชุดทดลองด้านบนลงสู่ถังบรรจุน้ำ ดังรูปที่ 3.12





รูปที่ 3.12 ทำการประกอบชุดท่อพีวีซีในส่วนที่อยู่ด้านบน

### 3.6.4 การสร้างและประกอบมาโนมิเตอร์เข้ากับชุดทดลอง

เมื่อประกอบชุดท่อ สำหรับทดลองได้ตามที่ต้องการแล้ว ต่อมาจะเป็นขั้นตอนในส่วนของการสร้างและประกอบมาโนมิเตอร์เข้ากับชุดทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

#### 3.6.4.1 ทำการวัดขนาดและเจาะรูท่อชุดทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ท่อที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ทำการเจาะรู จำนวน 1 รู
- ท่อที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ทำการเจาะรู จำนวน 1 รู
- ท่อที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ทำการเจาะรู จำนวน 1 รู

เมื่อทำการเจาะรูตามรายละเอียดข้างต้นแล้ว จากนั้นก็จะเป็นการต่อข้อต่อตรงทองเหลืองขนาด 1/4 เข้ากับท่อทั้ง 3 ที่ทำการเจาะ และนำเอาท่ออย่างความดันมาสวมที่ปลายข้อต่ออีกด้านหนึ่ง

ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ทำการเจาะรูและต่อข้อต่อตรงที่ท่อทั้ง 3

3.6.4.2 นำแผ่นอะคริลิก ที่เตรียมไว้ ติดตั้งเข้ากับ โครงสร้างด้านบน ซึ่งอยู่ถัดจากท่อชุดทดลอง โดยการ ใช้สกรูเป็นตัวยึดแน่นเข้ากับ โครงสร้างเหล็ก ดังรูปที่ 3.13 จากนั้นนำแผ่นไม้อัดที่ตัดได้ขนาดยึดติดเข้ากับแผ่นอะคริลิก เพื่อที่จะเป็นฐานรองสำหรับมาโนมิเตอร์ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ทำการติดตั้งไม้อัดสำหรับเป็นฐานรองมาโนมิเตอร์

3.6.4.3 ทำการวัดขนาดและหาจุดที่จะติดรางอลูมิเนียม เพื่อใช้สำหรับติดท่ออย่างความดันที่ใช้ในการอ่านค่า ต่อมาทำการติดรางอลูมิเนียม จำนวน 6 รางและทำการติดสายวัดขนาดเข้ากับด้านข้างของรางอลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ทำการติดรางอลูมิเนียมและสายวัดขนาด

3.6.4.4 ทำการประกอบท่อสายยางความดันที่ออกมาจากท่อชุดทดลองทั้ง 3 เข้ากับอุปกรณ์กรองสิ่งสกปรก และต่อกับข้อต่อสามทางทองเหลือง ขนาด 1/4 นิ้ว ซึ่งปลายด้านหนึ่งของท่อสามทางจะต่อเข้ากับชุดบอลวาล์วทองเหลือง ขนาด 1/4 นิ้ว ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ไล่อากาศ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของท่อสามทางจะต่อกับท่อยางความดัน ซึ่งท่อยางความดันนี้จะถูกต่อข้ามมายังด้านหน้าของชุดทดลอง เพื่อเข้ามาติดตั้งที่รางอลูมิเนียมที่ได้ทำการติดกับแผ่นไม้ไว้ก่อนหน้านี้ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ทำการประกอบท่อสายยางความดันเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ



3.6.4.5 สำหรับการติดตั้งท่ออย่างความดัน เริ่มต้นจากการติดท่ออย่างให้เข้าไปในร่องของราง อลูมิเนียม โดยให้มีลักษณะเป็นตัวยู ดังรูปที่ 3.17ซึ่งในการทำจะต้องติดท่ออย่าง ทั้ง 3 ชุด ให้มีความ เสมอกัน จากนั้นทำการวัดขนาดของปลายท่ออย่างอีกด้านหนึ่ง เพื่อทำการตัดและต่อเข้ากับบอล วาล์วทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการไล่อากาศออกจากท่อ อย่างความดัน



**รูปที่ 3.17**ทำการวัดขนาดและตัดปลายท่ออย่าง เพื่อต่อเข้ากับบอลวาล์วทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 ในภายหลังได้ทำการติดแผ่นไม้ เพื่อปิดโครงสร้างด้านหลังให้มีความเรียบร้อยมากขึ้น พร้อมทั้งทำการติดสวิตช์เกอร์รายละเอียดของโครงการ และเครื่องหมายทิศทางการไหลของน้ำ ภายในชุดทดลอง พร้อมทั้งเก็บรายละเอียดในส่วนอื่นๆ อีกเล็กน้อยเพื่อให้ชุดทดลองมีความ สมบูรณ์ ดังรูปที่ 3.18

3.6.5 โครงการเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 3.18 ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ความเสร็จสมบูรณ์



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

จุดประสงค์หลักของการทดลองในชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ คือ การศึกษา การสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อมีการไหลผ่านท่อ โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การหาค่าการสูญเสียหลักของท่อชุดทดลอง
2. การหาค่าการสูญเสียรองของท่อชุดทดลอง
3. การสังเกตผลต่างของความดันภายในท่อ ซึ่งเป็นความสูงของของไหลภายใน มาโนมิเตอร์

จากการที่ได้กล่าวมาข้างต้น การหาค่าการสูญเสียหลักและการหาค่าการสูญเสียรองจะต้อง มีการหาค่าส่วนประกอบอื่นๆ ของสมการก่อน จึงจะสามารถหาค่าการสูญเสียดังกล่าวได้ และจาก การที่ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองแล้ว จะขอเสนอผลการดำเนินงานซึ่งมี รายละเอียดในการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทดลอง

การแสดงผลจากการทดลองชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ทางคณะผู้จัดทำได้ ทำการทดลองตามคู่มือการใช้งานชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ และศึกษาทฤษฎีจากใบ ความรู้ก่อนลงมือปฏิบัติ และเมื่อทำการทดลองในส่วนต่างๆ จนครบแล้ว ทางคณะผู้จัดทำจึงจะ ทำการบันทึกผลลงในใบงานแบบบันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลองที่จะกล่าวในส่วนนี้ เป็นผลการทดลองของชุดทดลองการสูญเสียการไหล ภายในท่อ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ทำการปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และทำการพิจารณา เพื่อทำการทดลองเพียง 2 ลักษณะของการหมุนเปิดเกทวาล์ว โดยมีการแบ่งผลการทดลอง ออกเป็น 2 ใบงาน ตามการหมุนเปิดเกทวาล์วในลักษณะ ดังนี้

1. เปิดเต็มที่ คือ ทำการหมุนเกทวาล์ว 4 รอบ และกับอีก 1/2 รอบ
2. เปิดเพียง 1/4 คือ ทำการหมุนเกทวาล์ว 1 รอบ และกับอีก 1/8 รอบ

แบบบันทึกผลการทดลอง

หาค่าอัตราการไหล (Q)

4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

ลักษณะการเปิด เกทวาล์ว	จับเวลาและทำการสังเกต ค่าอัตราการไหล (Q) (m <sup>3</sup> /min)		สรุปค่าอัตราการไหล (Q) (m <sup>3</sup> /min)
เปิดเต็มที่	ค่าเดิม	12.773	0.046 m <sup>3</sup> /min
	ค่าใหม่	12.799	

หาค่าความเร็วในการไหล (V)

4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

ท่อ ชุดทดลอง ขนาด (นิ้ว)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในท่อ(D) (m)	ค่าอัตราการไหล (Q) ที่ได้ จากตารางบันทึกผลการ ทดลองที่ 1.1(m <sup>3</sup> /s)	ค่าความเร็วในการไหลของ น้ำ (V) จากสูตร $V = \frac{Q}{A}$ (m/s)
1/2	0.018	0.000766m <sup>3</sup> /s	3.012 m/s
1	0.025	0.000766m <sup>3</sup> /s	1.561 m/s

หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์(Reynold Number) สำหรับท่อกลม

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } N_R = \frac{DV\rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{0.018 \text{ m} \times 3.012 \text{ m/s} \times 995.7 \text{ kg/m}^3}{0.801 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$N_R = 67,394 = 6.739 \times 10^4 \text{ ไม่มีหน่วย}$$

สรุป  $N_R$  มีค่ามากกว่า 2,000 เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } N_R = \frac{DV\rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{0.025 \text{ m} \times 1.561 \text{ m/s} \times 995.7 \text{ kg/m}^3}{0.801 \times 10^3 \text{ kg/m.s}}$$

$$N_R = 48,511 = 4.851 \times 10^4 \text{ ไม่มีหน่วย}$$

สรุป  $N_R$  มีค่ามากกว่า 2,000 เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

### หาแฟคเตอร์ความเสียดทาน (f)

หาค่าความขรุขระของท่อ  $\epsilon$  จากตารางชนิดของวัสดุที่ทำท่อ

ท่อที่ทำจากวัสดุพลาสติก มีค่า  $\epsilon = 0.0$

หาอัตราส่วน  $\epsilon/D$  คือความขรุขระ / เส้นผ่านศูนย์กลางของภายในท่อ

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีอัตราส่วน  $\epsilon/D = 0.0 / 0.018 = 0$

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว มีอัตราส่วน  $\epsilon/D = 0.0 / 0.025 = 0$

หาค่า f จากแผนภาพของมูดี้ (Moody Chart) โดยใช้  $N_R$  และ  $\epsilon/D$

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีค่า  $f=0.019$

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว มีค่า  $f=0.021$

### หาค่าการสูญเสียหลัก (Major Loss)

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } h_L = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

$$h_L = 0.019 \frac{1.1 \text{ m} \times 3.012^2 (\text{m/s})^2}{0.018 \text{ m} \times 2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.537 \text{ m of water}$$

ตอบ ค่าการสูญเสียหลักของท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.537 เมตรของน้ำ

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } h_L = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

$$h_L = 0.021 \frac{0.97 \text{ m} \times 1.561^2 (\text{m/s})^2}{0.025 \text{ m} \times 2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.101 \text{ m of water}$$

ตอบ ค่าการสูญเสียหลักของท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.101 เมตรของน้ำ

### หาค่าการสูญเสียรอง (Minor Loss)

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$$

ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ ( $K_L$ ) จากตารางที่ 1 ของใบความรู้ในส่วนของ (ทฤษฎี) ซึ่งสังเกตจากขอบเขตของท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว โดยมีอุปกรณ์และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ดังนี้

1. การเปิดเกทวาล์ว แบบเปิดเต็มที่ มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 0.19$  ไม่มีหน่วย
2. ข้อต่อมาตรฐาน 90 องศา จำนวน 3 ตัว มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 0.9 \times 3 = 2.7$  ไม่มีหน่วย
3. ข้อต่อท่อแบบค่อยๆ เพิ่มขนาด จำนวน 1 ตัว มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 0.28$  ไม่มีหน่วย

นำค่า  $K_L$  ในส่วนด้านบนมารวมกัน  $(0.19 + 2.7) = 2.89$  ไม่มีหน่วย

จึงจะสามารถนำเอาค่า  $K_L = 2.89$  ไปทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ทำการแทนค่า } h_L = 2.89 \frac{3.012^2 (\text{m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 1.323 \quad \text{m of water}$$

สำหรับการหาค่าการสูญเสียของข้อต่อท่อแบบค่อยๆ เพิ่มขนาด สามารถหาได้จาก

$$\text{จากสูตร } h_L = K_L \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad \text{m of water}$$

$$h_L = 0.28 \frac{(3.012 - 1.561)^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.030 \quad \text{m of water}$$

ตอบ ค่าการสูญเสียของท่อขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าเท่ากับ  $1.323 + 0.030 = 1.353$  เมตรของน้ำ  
ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } h_L = K_L \frac{v^2}{2g}$$

ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ ( $K_L$ ) จากตารางที่ 1 ของใบความรู้ในส่วนของ (ทฤษฎี) ซึ่งสังเกตจากขอบเขตของท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว โดยมีอุปกรณ์และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ดังนี้

1. การเปิดเกทวาล์ว แบบเปิดเต็มที่ มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 0.19$  ไม่มีหน่วย
2. ข้อต่อมาตรฐาน 90 องศา จำนวน 2 ตัว มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 0.9 \times 2 = 1.8$  ไม่มีหน่วย

นำค่า  $K_L$  ในส่วนด้านบนมารวมกัน  $(0.19 + 1.8) =$  ไม่มีหน่วย

จึงจะสามารถนำเอาค่า  $K_L = 1.99$  ไปทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ทำการแทนค่า } h_L = 1.99 \frac{1.561^2 (\text{m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.217 \quad \text{m of water}$$

ตอบ ค่าการสูญเสียของท่อขนาด 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ  $0.217$  เมตรของน้ำ

### หาค่าการสูญเสียรวม

#### 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3

ท่อ ชุดทดลองขนาด (นิ้ว)	การสูญเสียหลัก (m of water)	การสูญเสียรอง (m of water)	การสูญเสียรวม (m of water)
1/2	0.537	1.353	1.890
1	0.101	0.217	0.318
รวมค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตของท่อชุดทดลอง			2.208

### แบบบันทึกผลการทดลอง

#### หาค่าความดันสัมบูรณ์

#### 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4

คำชี้แจง การบันทึกค่าความดัน เมื่อไม่มีการปรับเพิ่มความดันภายในท่อด้วยบอลวาล์ว (เปิดเต็มที่ปกติ)

ท่อชุด ทดลอง ที่	ค่าอัตราการไหล (Q)(m <sup>3</sup> /s)	การสังเกตมาโนมิเตอร์	
		ลักษณะของความดัน ภายในท่อชุดทดลอง	ค่าความต่างของความสูงภายใน มาโนมิเตอร์(m)
1	0.000766m <sup>3</sup> /s	ความดันเกจ	0.020m.
2		ความดันสุญญากาศ	0.100m.

ท่อชุดทดลองที่ 1

ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลองที่ 1 เป็นแบบความดันเกจ (Gauge Pressure)

สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{จากสูตร ความดันสัมบูรณ์ } P_{\text{abs}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}}$$

ทำการหาค่าความดันเกจจากสูตร

$$P_{\text{gauge}} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$



$$P_{\text{gauge}} = 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.020 \text{ m}$$

$$P_{\text{gauge}} = 195.356 \text{ N/m}^2$$

ทำการแปลงหน่วย  $P_{\text{gauge}} = 195.356 \times 10^{-5} \text{ bar}$

$$P_{\text{gauge}} = 0.00195 \text{ bar}$$

ทำการแทนค่าในสูตร

ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = 0.00195 + 1.013 \text{ bar}$

ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = 1.014 \text{ bar}$

ท่อชุดทดลองที่ 2

ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลองที่ 2 เป็นแบบความดันสุญญากาศ (Vacuum

Gauge Pressure)สามารถหาได้จากสูตร

จากสูตร ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{vacuum}}$

ทำการหาค่าความดันสุญญากาศจากสูตร

$$P_{\text{vacuum}} = (\rho)(g)(z) \text{ bar}$$

$$P_{\text{vacuum}} = 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.100 \text{ m}$$

$$P_{\text{vacuum}} = 976.782 \text{ N/m}^2$$

ทำการแปลงหน่วย  $P_{\text{vacuum}} = 976.782 \times 10^{-5} \text{ bar}$

$$P_{\text{vacuum}} = 0.00976 \text{ bar}$$

ทำการแทนค่าในสูตร

ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = 1.013 - 0.00976 \text{ bar}$

ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = 1.003 \text{ bar}$

4.5ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5

คำชี้แจง การบันทึกค่าความดัน เมื่อมีการปรับเพิ่มความดันภายในท่อด้วยโดยการเปิดบอลวาล์วเพียงครั้งหนึ่ง (2/3)

ท่อชุดทดลองที่	ค่าอัตราการไหล (Q)(m <sup>3</sup> /s)	การสังเกตมาโนมิเตอร์	
		ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลอง	ค่าความต่างของความสูงภายในมาโนมิเตอร์(m)
1	0.000766m <sup>3</sup> /s	ความดันเกจ	0.0282 m.
2		ความดันเกจ	0.0770 m.

ท่อชุดทดลองที่ 1

ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลองที่ 1 เป็นแบบความดันเกจ (Gauge Pressure)

สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{จากสูตร ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}}$$

ทำการหาค่าความดันเกจจากสูตร

$$P_{\text{gauge}} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$

$$P_{\text{gauge}} = 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.0282 \text{ m}$$

$$P_{\text{gauge}} = 275.452 \text{ N/m}^2$$

$$\text{ทำการแปลงหน่วย} \quad P_{\text{gauge}} = 275.452 \times 10^{-5} \text{ bar}$$

$$P_{\text{gauge}} = 0.00275 \quad \text{bar}$$

ทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = 0.00275 + 1.013 \quad \text{bar}$$

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = 1.015 \quad \text{bar}$$

ท่อชุดทดลองที่ 2

ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลองที่ 2 เป็นแบบความดันเกจ (Gauge Pressure)

สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{จากสูตร ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}}$$

ทำการหาค่าความดันเกจจากสูตร

$$P_{\text{gauge}} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$

$$P_{\text{gauge}} = 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.0770 \text{ m}$$

$$P_{\text{gauge}} = 752.122 \text{ N/m}^2$$

$$\text{ทำการแปลงหน่วย} \quad P_{\text{gauge}} = 752.122 \times 10^{-5} \text{ bar}$$

$$P_{\text{gauge}} = 0.00752 \quad \text{bar}$$

ทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = 0.00752 + 1.013 \quad \text{bar}$$

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = 1.020 \quad \text{bar}$$

แบบบันทึกผลการทดลอง

หาค่าอัตราการไหล (Q)

4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

ลักษณะการเปิด เกทวาล์ว	จับเวลาและทำการสังเกต ค่าอัตราการไหล (Q) (m <sup>3</sup> /min)		สรุปค่าอัตราการไหล (Q) (m <sup>3</sup> /min)
เปิดเพียง 1/4	ค่าเดิม	11.376	0.016 m <sup>3</sup> /min
	ค่าใหม่	11.392	

หาค่าความเร็วในการไหล (V)

4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

ท่อ ชุดทดลอง ขนาด (นิ้ว)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในท่อ(D) (m)	ค่าอัตราการไหล (Q) ที่ได้ จากตารางบันทึกผลการ ทดลองที่ 1.1(m <sup>3</sup> /s)	ค่าความเร็วในการไหลของ น้ำ (V) จากสูตร $V = \frac{Q}{A}$ (m/s)
1/2	0.018	0.000266m <sup>3</sup> /s	1.046 m/s
1	0.025	0.000266m <sup>3</sup> /s	0.542 m/s

หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์(Reynold Number) สำหรับท่อกลม

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } N_R = \frac{DV\rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{0.018 \text{ m} \times 1.046 \text{ m/s} \times 995.7 \text{ kg/m}^3}{0.801 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$N_R = 23,404 = 2.340 \times 10^4 \text{ ไม่มีหน่วย}$$

สรุป  $N_R$  มีค่ามากกว่า 2,000 เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } N_R = \frac{DV\rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{0.025 \text{ m} \times 0.542 \text{ m/s} \times 995.7 \text{ kg/m}^3}{0.801 \times 10^3 \text{ kg/m.s}}$$

$$N_R = 16,843 = 1.684 \times 10^4 \text{ ไม่มีหน่วย}$$

สรุป  $N_R$  มีค่ามากกว่า 2,000 เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

### หาแฟคเตอร์ความเสียดทาน (f)

หาค่าความขรุขระของท่อ  $\epsilon$  จากตารางชนิดของวัสดุที่ทำท่อ

ท่อที่ทำจากวัสดุพลาสติก มีค่า  $\epsilon = 0.0$

หาอัตราส่วน  $\epsilon/D$  คือความขรุขระ / เส้นผ่านศูนย์กลางของภายในท่อ

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีอัตราส่วน  $\epsilon/D = 0.0 / 0.018 = 0$

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว มีอัตราส่วน  $\epsilon/D = 0.0 / 0.025 = 0$

หาค่า f จากแผนภาพของมูดี้ (Moody Chart) โดยใช้  $N_R$  และ  $\epsilon/D$

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีค่า  $f=0.025$

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว มีค่า  $f=0.027$

### หาค่าการสูญเสียหลัก (Major Loss)

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } h_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$h_L = 0.025 \frac{1.1 \text{ m} \times 1.046^2 (\text{m/s})^2}{0.018 \text{ m} \times 2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.085 \text{ m of water}$$

ตอบ ค่าการสูญเสียหลักของท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.085 เมตรของน้ำ

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } h_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$h_L = 0.021 \frac{0.97 \text{ m} \times 0.542^2 (\text{m/s})^2}{0.025 \text{ m} \times 2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.012 \text{ m of water}$$

ตอบ ค่าการสูญเสียหลักของท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.012 เมตรของน้ำ

### หาค่าการสูญเสียรอง (Minor Loss)

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } h_L = K_L \frac{v^2}{2g}$$

ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ ( $K_L$ ) จากตารางที่ 1 ของใบความรู้ในส่วนของ (ทฤษฎี) ซึ่งสังเกตจากขอบเขตของท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว โดยมีอุปกรณ์และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ดังนี้

1. การเปิดเทวาล์ว แบบเปิดเพียง 1/4 มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 24.0$  ไม่มีหน่วย
2. ข้อต่อมาตรฐาน 90 องศา จำนวน 3 ตัว มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 0.9 \times 3 = 2.7$  ไม่มีหน่วย
3. ข้อต่อท่อแบบค่อยๆ เพิ่มขนาด จำนวน 1 ตัว มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 0.28$  ไม่มีหน่วย

นำค่า  $K_L$  ในส่วนด้านบนมารวมกัน  $(24.0 + 2.7) = 26.7$  ไม่มีหน่วย

จึงจะสามารถนำเอาค่า  $K_L = 26.7$  ไปทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ทำการแทนค่า } h_L = 26.7 \frac{1.046^2 (\text{m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 1.489 \quad \text{m of water}$$

สำหรับการหาค่าการสูญเสียของข้อต่อท่อแบบค่อยๆ เพิ่มขนาด สามารถหาได้จาก

$$\text{จากสูตร } h_L = K_L \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad \text{m of water}$$

$$h_L = 0.28 \frac{(1.046 - 0.542)^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.00362 \quad \text{m of water}$$

ตอบ ค่าการสูญเสียของท่อขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าเท่ากับ  $1.4890 + 0.0036 = 1.492$  เมตรของน้ำ

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว

$$\text{จากสูตร } h_L = K_L \frac{v^2}{2g}$$

ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ ( $K_L$ ) จากตารางที่ 1 ของใบความรู้ในส่วนของ (ทฤษฎี) ซึ่งสังเกตจากขอบเขตของท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว โดยมีอุปกรณ์และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ดังนี้

1. การเปิดเทวาล์ว แบบเปิดเต็มที่ มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 24.0$  ไม่มีหน่วย
2. ข้อต่อมาตรฐาน 90 องศา จำนวน 2 ตัว มีค่าสัมประสิทธิ์  $K_L = 0.9 \times 2 = 1.8$  ไม่มีหน่วย

นำค่า  $K_L$  ในส่วนด้านบนมารวมกัน  $(24.0 + 1.8) = 25.8$  ไม่มีหน่วย

จึงจะสามารถนำเอาค่า  $K_L = 25.8$  ไปทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ทำการแทนค่า } h_L = 25.8 \frac{0.542^2 (\text{m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0.386 \quad \text{m of water}$$

ตอบ ค่าการสูญเสียของท่อขนาด 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.386 เมตรของน้ำ

### หาค่าการสูญเสียรวม

#### 4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3

ท่อ ชุดทดลองขนาด (นิ้ว)	การสูญเสียหลัก (m of water)	การสูญเสียรอง (m of water)	การสูญเสียรวม (m of water)
1/2	0.085	1.492	1.577
1	0.012	0.386	0.398
รวมค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตของท่อชุดทดลอง			1.975

### แบบบันทึกผลการทดลอง

#### หาค่าความดันสัมบูรณ์

#### 4.9 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4

คำชี้แจง การบันทึกค่าความดัน เมื่อไม่มีการปรับเพิ่มความดันภายในท่อด้วยบอลวาล์ว (เปิดเต็มที่ปกติ)

ท่อชุด ทดลอง ที่	ค่าอัตราการไหล (Q)(m <sup>3</sup> /s)	การสังเกตมาโนมิเตอร์	
		ลักษณะของความดัน ภายในท่อชุดทดลอง	ค่าความต่างของความสูงภายใน มาโนมิเตอร์(m)
1	0.000266m <sup>3</sup> /s	ความดันสุญญากาศ	0.01 m.
2		ความดันสุญญากาศ	0.01 m.

ท่อชุดทดลองที่ 1

ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลองที่ 1 เป็นแบบความดันสุญญากาศ (Vacuum

Gauge Pressure) สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{จากสูตร ความดันสัมบูรณ์ } P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{vacuum}}$$

ทำการหาค่าความดันสุญญากาศจากสูตร

$$P_{\text{vacuum}} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$

$$P_{\text{vacuum}} = 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.01 \text{ m}$$

$$P_{\text{vacuum}} = 97.678 \text{ N/m}^2$$

ทำการแปลงหน่วย  $P_{\text{vacuum}} = 97.678 \times 10^{-5} \text{ bar}$

$$P_{\text{vacuum}} = 0.000976 \text{ bar}$$

ทำการแทนค่าในสูตร

ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = 1.013 - 0.000976 \text{ bar}$

ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = 1.012 \text{ bar}$

ท่อชุดทดลองที่ 2

ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลองที่ 2 เป็นแบบความดันสุญญากาศ (Vacuum Gauge Pressure) สามารถหาได้จากสูตร

จากสูตร ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{vacuum}}$

ทำการหาค่าความดันสุญญากาศจากสูตร

$$P_{\text{vacuum}} = (\rho)(g)(z) \text{ bar}$$

$$P_{\text{vacuum}} = 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.01 \text{ m}$$

$$P_{\text{vacuum}} = 97.678 \text{ N/m}^2$$

ทำการแปลงหน่วย  $P_{\text{vacuum}} = 97.678 \times 10^{-5} \text{ bar}$

$$P_{\text{vacuum}} = 0.000976 \text{ bar}$$

ทำการแทนค่าในสูตร

ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = 1.013 - 0.000976 \text{ bar}$

ความดันสัมบูรณ์  $P_{\text{abs}} = 1.012 \text{ bar}$

#### 4.10 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5

คำชี้แจง การบันทึกค่าความดัน เมื่อมีการปรับเพิ่มความดันภายในท่อด้วยโดยการเปิดบอลวาล์วเพียงครั้งหนึ่ง (2/3)

ท่อชุดทดลองที่	ค่าอัตราการไหล (Q)(m <sup>3</sup> /s)	การสังเกตมาโนมิเตอร์	
		ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลอง	ค่าความต่างของความสูงภายในมาโนมิเตอร์(m)
1	0.000266m <sup>3</sup> /s	ความดันเกจ	0.0175 m.
2		ความดันเกจ	0.0150 m.

ท่อชุดทดลองที่ 1



ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลองที่ 1 เป็นแบบความดันเกจ (Gauge Pressure) สามารถ

หาได้จากสูตร

$$\text{จากสูตร ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}}$$

ทำการหาค่าความดันเกจจากสูตร

$$\begin{aligned} P_{\text{gauge}} &= (\rho)(g)(z) \quad \text{bar} \\ P_{\text{gauge}} &= 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.0175 \text{ m} \\ P_{\text{gauge}} &= 170.936 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{ทำการแปลงหน่วย } P_{\text{gauge}} = 170.936 \times 10^{-5} \text{ bar}$$

$$P_{\text{gauge}} = 0.00171 \quad \text{bar}$$

ทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = 1.013 + 0.00171 \quad \text{bar}$$

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = 1.0147 \quad \text{bar}$$

ท่อชุดทดลองที่ 2

ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลองที่ 1 เป็นแบบความดันเกจ (Gauge Pressure) สามารถ

หาได้จากสูตร

$$\text{จากสูตร ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}}$$

ทำการหาค่าความดันเกจจากสูตร

$$\begin{aligned} P_{\text{gauge}} &= (\rho)(g)(z) \text{bar} \\ P_{\text{gauge}} &= 995.7 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.0150 \text{ m} \\ P_{\text{gauge}} &= 146.517 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{ทำการแปลงหน่วย } P_{\text{gauge}} = 146.517 \times 10^{-5} \text{ bar}$$

$$P_{\text{gauge}} = 0.00146 \quad \text{bar}$$

ทำการแทนค่าในสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = 1.013 + 0.00146 \quad \text{bar}$$

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = 1.0144 \quad \text{bar}$$

#### 4.2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดทดสอบการสูญเสียการไหลภายในท่อจากผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินประสิทธิภาพของชุดทดสอบ ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการสร้างแบบประเมิน สำหรับผู้เชี่ยวชาญขึ้น และทำการเชิญผู้เชี่ยวชาญและผู้ชำนาญการจำนวน 3 ท่านมาทำการประเมิน คุณภาพชุดทดสอบ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบคุณภาพและทำการประเมินประสิทธิภาพลงในแบบประเมินที่เตรียมไว้ ซึ่งผลที่ได้จากการประเมินทางคณะผู้จัดทำจะนำมารวบรวมและทำการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยมีรายละเอียดของการประเมินประสิทธิภาพของชุดทดสอบ ดังนี้

การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลแบบประเมินคุณภาพชุดทดสอบ จากผู้เชี่ยวชาญ

1. ทำการเชิญผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินคุณภาพชุดทดสอบ
2. ทำการสาธิตการใช้งานชุดทดสอบ และให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินคุณภาพของชุดทดสอบ
3. ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพที่ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ทำการประเมิน และนำไปหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งมีกำหนดเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

คะแนนพิจารณา	+1	หมายถึง	เมื่อแน่ใจว่าเหมาะสม
0		หมายถึง	เมื่อไม่แน่ใจเหมาะสมหรือไม่
	-1	หมายถึง	เมื่อแน่ใจว่าไม่เหมาะสม

และนำผลที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยโดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) คำนวณค่า

ตามสูตร

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

IOC	หมายถึง	ดัชนีความสอดคล้อง
R	หมายถึง	คะแนนการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ
$\sum R$	หมายถึง	ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
N	หมายถึง	จำนวนผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ

ซึ่งเกณฑ์การแปลผลความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจากการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ได้ความหมาย ดังนี้

มากกว่าหรือเท่ากับ	0.5	แสดงว่า ชุดทดสอบตรงตามจุดประเมินที่ตั้งไว้
น้อยกว่า	0.5	แสดงว่า ชุดทดสอบต้องปรับปรุงแก้ไข

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน สามารถสรุปได้ ดังนี้

ตารางที่ 4.11 ค่าความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับด้านคุณสมบัติของโครงสร้างชุดทดลอง จากผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อประเมิน ข้อที่ 1. ด้านคุณสมบัติของโครงสร้าง	นาย สุวรรณ ภูติวิเศษย์	นาย วัชรินทร์ ภู่อ่างษ์	นาย วิทยา โทณแก้ว	ผลรวม $\sum R$	$IOC = \frac{\sum R}{N}$
1.1 ความเหมาะสมของขนาดชุดทดลอง	0	+1	+1	2	0.67
1.2 ความเหมาะสมในการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์	+1	+1	+1	3	1
1.3 ความคงทนแข็งแรง	+1	0	+1	2	0.67
1.4 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน	+1	+1	+1	3	1
1.5 ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	+1	0	0	1	0.3
<b>สรุปผลด้านคุณสมบัติของโครงสร้าง</b>					0.59

จากตารางที่ 4.11 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการทั้ง 3 ท่าน มีความคิดเห็นในหัวข้อประเมินความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับคุณสมบัติของโครงสร้างชุดทดลอง มีค่าเฉลี่ย 0.59 ซึ่งมีค่า IOC มากกว่า 0.5 ดังนั้นคุณภาพด้านคุณสมบัติของโครงสร้างชุดทดลองสามารถนำไปใช้ได้

ตารางที่ 4.12 ค่าความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับด้านการนำไปใช้ จากผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อประเมิน ข้อที่ 2. ด้านการนำไปใช้	นาย สุวรรณ ภูดิฉนชัย	นาย วิชรินทร์ ภู่อารงษ์	นาย วิทยา โทนแก้ว	ผลรวม $\sum R$	$IOC = \frac{\sum R}{N}$
2.1 ลำดับขั้นตอนการใช้ชุดทดลองมีความเหมาะสมเข้าใจง่าย	+1	+1	+1	3	1
2.2 เหมาะสมกับวัตถุประสงค์	+1	+1	+1	3	1
2.3 เวลาในการใช้ชุดทดลองมีความเหมาะสม	+1	+1	+1	3	1
2.4 ใช้เป็นชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ได้จริง	+1	+1	+1	3	1
<b>สรุปผลด้านการนำไปใช้งาน</b>					1.00

จากตารางที่ 4.12 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการทั้ง 3 ท่าน มีความคิดเห็นในหัวข้อประเมินด้านความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับคุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน มีค่าเฉลี่ย 1.00 ซึ่งมีค่า IOC มากกว่า 0.5 ดังนั้นคุณภาพด้านการนำไปใช้งานของชุดทดลองสามารถนำไปใช้ได้

ตารางที่ 4.13 ค่าความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ จากผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อประเมิน ข้อที่ 3. ด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการ ไหลภายในท่อ	นาย สุวรรณ ภูดิฉนิษฐ์	นาย วิชรินทร์ ภู่อ่างษ์	นาย วิทยา โทนแก้ว	ผลรวม $\sum R$	$IOC = \frac{\sum R}{N}$
3.1 การหาค่าอัตราการไหลผ่าน มาตรวัดน้ำด้วยการจับเวลา	+1	+1	+1	3	1
3.2 การอ่านค่าความต่างของความ สูงของของเหลวภายใน มาโนมิเตอร์	+1	+1	+1	3	1
3.3 การเลือกใช้ท่อที่มีขนาด เหมาะสมกับชุดทดลอง	0	+1	+1	2	0.67
<b>สรุปผลด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ</b>					<b>0.89</b>

จากตารางที่ 4.13 พบว่าผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการทั้ง 3 ท่าน มีความคิดเห็นในหัวข้อประเมินด้านความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับคุณสมบัติด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ มีค่าเฉลี่ย 0.89 ซึ่งมีค่า IOC มากกว่า 0.5 ดังนั้นคุณภาพด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ สามารถนำไปใช้ได้

ตารางที่ 4.14 ค่าความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับด้านการบำรุงรักษา จากผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อประเมิน ข้อที่ 4. ด้านการบำรุงรักษา	นาย สุวรรณ ภูติฉิมขัย	นาย วัชรินทร์ ภู่อาทงษ์	นาย วิทยา โทณแก้ว	ผลรวม $\sum R$	$IOC = \frac{\sum R}{N}$
4.1 มีความสะดวกในการบำรุงรักษา	+1	+1	+1	3	1
4.2 มีคู่มือแนะนำวิธีการใช้และวิธีการบำรุงรักษา	+1	+1	+1	3	1
4.3 เมื่ออุปกรณ์ภายในชุดทดลองเกิดการชำรุด เสียหาย สามารถหาซื้ออุปกรณ์ในการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมได้ง่าย	+1	+1	+1	3	1
4.4 การทำความสะอาดอุปกรณ์สามารถทำได้สะดวก	+1	+1	+1	3	1
<b>สรุปผลด้านการบำรุงรักษา</b>					1.00

จากตารางที่ 4.14 พบว่าผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการทั้ง 3 ท่าน มีความคิดเห็นในหัวข้อประเมินด้านความสอดคล้องระหว่างคุณภาพของชุดทดลองกับคุณสมบัติด้านการบำรุงรักษา มีค่าเฉลี่ย 1.00 ซึ่งมีค่า IOC มากกว่า 0.5 ดังนั้นคุณภาพด้านการบำรุงรักษา สามารถนำไปใช้ได้

ตารางที่ 4.15สรุปรายการประเมินค่าความสอดคล้องโดยรวม จากผู้เชี่ยวชาญ

สรุปรายการประเมิน	นาย สุวรรณ ภูดิวัฒน์ชัย	นาย วัชรินทร์ ภู่อาทงษ์	นาย วิทยา โททนแก้ว	ผลรวม $\sum R$	$IOC = \frac{\sum R}{N}$
<b>1. ด้านคุณสมบัติของโครงสร้าง</b>					
1.1 ความเหมาะสมของขนาดชุดทดลอง	0	+1	+1	2	0.67
1.2 ความเหมาะสมในการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์	+1	+1	+1	3	1
1.3 ความคงทนแข็งแรง	+1	0	+1	2	0.67
1.4 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน	+1	+1	+1	3	1
1.5 ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	+1	0	0	1	0.3
<b>2. ด้านการนำไปใช้งาน</b>					
2.1 ลำดับขั้นตอนการใช้ชุดทดลองมีความเหมาะสมเข้าใจง่าย	+1	+1	+1	3	1
2.2 เหมาะสมกับวัตถุประสงค์	+1	+1	+1	3	1
2.3 เวลาในการใช้ชุดทดลองมีความเหมาะสม	+1	+1	+1	3	1
2.4 ใช้เป็นชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ได้จริง	+1	+1	+1	3	1
<b>3. ด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ</b>					
3.1 การหาค่าอัตราการไหลผ่านมาตรวัดน้ำด้วยการจับเวลา	+1	+1	+1	3	1



ตารางที่ 4.15สรุปรายการประเมินค่าความสอดคล้องโดยรวม จากผู้เชี่ยวชาญ(ต่อ)

สรุปรายการประเมิน	นาย สุวรรณ ภูดิฉนชัย	นาย วัชรินทร์ ภูราหงษ์	นาย วิทยา โทนแก้ว	ผลรวม $\sum R$	$IOC = \frac{\sum R}{N}$
<b>3. ด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ (ต่อ)</b>					
3.2 การอ่านค่าความต่างของความสูงของของเหลวภายในมาโนมิเตอร์	+1	+1	+1	3	1
3.3 การเลือกใช้ท่อที่มีขนาดเหมาะสมกับชุดทดลอง	0	+1	+1	2	0.67
<b>4. ด้านการบำรุงรักษา</b>					
4.1 มีความสะดวกในการบำรุงรักษา	+1	+1	+1	3	1
4.2 มีคู่มือแนะนำวิธีการใช้และวิธีการบำรุงรักษา	+1	+1	+1	3	1
4.3 เมื่ออุปกรณ์ภายในชุดทดลองเกิดการชำรุด เสียหาย สามารถหาซื้ออุปกรณ์ในการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมได้ง่าย	+1	+1	+1	3	1
4.4 การทำความสะอาดอุปกรณ์สามารถทำได้สะดวก	+1	+1	+1	3	1
<b>สรุปผลประสิทธิภาพชุดทดลองจากผู้เชี่ยวชาญ</b>					0.89

จากตารางที่ 4.15พบว่า ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีความคิดเห็นตามรายการประเมิน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยเมื่อนำมาสรุปทั้ง 4 หัวข้อในภาพรวม มีค่าเฉลี่ย 0.89 ซึ่งมีค่า IOC มากกว่า 0.5 ดังนั้นสรุปได้ว่าชุดทดลองมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปเป็นสื่อการสอนได้

## บทที่ 5 สรุปปัญหาและข้อเสนอแนะ

การจัดทำโครงการ ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ มีวัตถุประสงค์ในการสร้าง ขึ้น เพื่อใช้ในการเรียนการสอนในวิชา กลศาสตร์ของไหล ซึ่งชุดทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ เรียนการสอนในเนื้อหาที่มีความเกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลภายในท่อ โดยชุดทดลองที่ทาง คณะผู้จัดทำสร้างขึ้นนี้ จะสามารถสร้างความรู้และความเข้าใจได้อย่างเป็นรูปธรรม

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการใช้งาน ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ โดยการทดลองตาม ลักษณะการหมุนเปิดเกทวาล์ว 2 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะการหมุนเปิดเกทวาล์วแบบเปิดเต็มที่และ แบบเปิดเพียง 1/4 ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของใบงาน และ วัตถุประสงค์ของใบงานนี้ยังมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการ ในส่วนของผลการ ทดลองสามารถสรุปเป็นรายละเอียดตามลักษณะการหมุนเปิดเกทวาล์วได้ ดังนี้

#### 5.1.1 การหมุนเปิดเกทวาล์วแบบเปิดเต็มที่ พบว่า ที่อัตราการไหล $0.000766 \text{ m}^3/\text{s}$

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีความเร็วในการไหล เท่ากับ  $3.012 \text{ m/s}$  เมื่อทำการ ทดลองโดยการเปิดวาล์วปรับความดัน (แบบเต็มทีปกติ) ค่าความต่างของความสูงของ ของเหลวที่อ่านได้ มีความต่างเท่ากับ  $0.020 \text{ m}$  มีค่าความดันสัมบูรณ์ เท่ากับ  $1.014 \text{ bar}$  และเมื่อทำ การปรับวาล์วเพื่อเพิ่มความดัน ค่าความต่างของความสูงของของเหลวที่อ่านได้ มีความต่าง เท่ากับ  $0.0282 \text{ m}$  มีค่าความดันสัมบูรณ์ เท่ากับ  $1.015 \text{ bar}$  ในส่วนของค่าการสูญเสียกำลังงานภายใน ท่อที่เกิดขึ้น ค่าการสูญเสียหลัก มีค่าเท่ากับ  $0.537 \text{ m of water}$  สำหรับค่าการสูญเสียรอง มีค่าเท่ากับ  $1.353 \text{ m of water}$

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว มีความเร็วในการไหล เท่ากับ  $1.561 \text{ m/s}$  เมื่อทำการทดลอง โดยการเปิดวาล์วปรับความดัน(แบบเต็มทีปกติ) ค่าความต่างของความสูงของของเหลวที่อ่าน ได้ มีความต่างเท่ากับ  $0.100 \text{ m}$  มีค่าความดันสัมบูรณ์ เท่ากับ  $1.003 \text{ bar}$  และเมื่อทำการปรับวาล์ว เพื่อเพิ่มความดัน ค่าความต่างของความสูงของของเหลวที่อ่านได้ มีความต่างเท่ากับ  $0.0770 \text{ m}$

มีค่าความดันสัมบูรณ์ เท่ากับ 1.020 bar ในส่วนของค่าการสูญเสียกำลังงานภายในท่อที่เกิดขึ้น ค่าการสูญเสียหลัก มีค่าเท่ากับ 0.101m of water สำหรับค่าการสูญเสียรอง มีค่าเท่ากับ 0.217 m of water

#### 5.1.2 การหมุนเปิดเกตวาล์วแบบเปิดเพียง 1/4 ที่อัตราการไหล 0.000266m<sup>3</sup>/s

ท่อชุดทดลองขนาด 1/2 นิ้ว มีความเร็วในการไหล เท่ากับ 1.046 m/s เมื่อทำการทดลองโดยการเปิดวาล์วปรับความดัน (แบบเปิดเต็มที่ปกติ) ค่าความต่างของความสูงของของเหลวที่อ่านได้ มีความต่างเท่ากับ 0.01 m มีค่าความดันสัมบูรณ์ เท่ากับ 1.012 bar และเมื่อทำการปรับวาล์วเพื่อเพิ่มความดัน ค่าความต่างของความสูงของของเหลวที่อ่านได้ มีความต่างเท่ากับ 0.0175 m มีค่าความดันสัมบูรณ์ เท่ากับ 1.0147 bar ในส่วนของค่าการสูญเสียกำลังงานภายในท่อที่เกิดขึ้น ค่าการสูญเสียหลัก มีค่าเท่ากับ 0.085 m of water สำหรับค่าการสูญเสียรอง มีค่าเท่ากับ 1.492 m of water

ท่อชุดทดลองขนาด 1 นิ้ว มีความเร็วในการไหล เท่ากับ 0.542 m/s เมื่อทำการทดลองโดยการเปิดวาล์วปรับความดัน (แบบเปิดเต็มที่ปกติ) ค่าความต่างของความสูงของของเหลวที่อ่านได้ มีความต่างเท่ากับ 0.01 m มีค่าความดันสัมบูรณ์ เท่ากับ 1.012 bar และเมื่อทำการปรับวาล์วเพื่อเพิ่มความดัน ค่าความต่างของความสูงของของเหลวที่อ่านได้ มีความต่างเท่ากับ 0.0150 m มีค่าความดันสัมบูรณ์ เท่ากับ 1.0144 bar ในส่วนของค่าการสูญเสียกำลังงานภายในท่อที่เกิดขึ้น ค่าการสูญเสียหลัก มีค่าเท่ากับ 0.012 m of water สำหรับค่าการสูญเสียรอง มีค่าเท่ากับ 0.386 m of water

## 5.2 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ จากผู้เชี่ยวชาญ

การสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ จากตารางที่ 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 สามารถสรุปผลการประเมินความเห็นของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการทั้ง 3 ท่าน ออกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

5.2.1 ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านคุณสมบัติโครงสร้าง ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการสรุปว่าคุณภาพด้านคุณสมบัติโครงสร้างของชุดทดลองสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5

5.2.2 ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการนำไปใช้งาน ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการสรุปว่าคุณภาพด้านการนำไปใช้งานของชุดทดลอง สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00

5.2.3 ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการสรุปว่าคุณภาพด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อของชุดทดลอง สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.89

5.2.4 ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการบำรุงรักษา ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการสรุปว่าคุณภาพด้านการบำรุงรักษาของชุดทดลอง สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00

### 5.3 สรุปปัญหาจากการดำเนินงาน

จากการออกแบบสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ เพื่อศึกษาการหาค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองของท่อชุดทดลอง และศึกษาความแตกต่างของความดันภายในท่อชุดทดลองขนาดต่างๆ ด้วยมาโนมิเตอร์ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

5.3.1 การออกแบบสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อไม่ได้เป็นไปตามแบบที่กำหนดไว้ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของท่อชุดทดลอง การต่อท่อชุดทดลอง และการวางรูปแบบลักษณะการเดินท่อหลายครั้ง จึงทำให้ไม่เป็นไปตามแบบที่กำหนดไว้ในตอนแรก

5.3.2 ในช่วงขั้นตอนของการสร้างชุดทดลองมีความล่าช้ามาก เนื่องจากทางคณะผู้จัดทำมีสถานที่ที่ไม่สะดวกและมีเครื่องมือไม่พร้อมสำหรับการสร้างชุดทดลอง ทำให้ทางคณะผู้จัดทำต้องทำการหาซื้อเครื่องมือเพื่อนำมาใช้สำหรับการดำเนินงาน

5.3.3 การออกแบบโครงสร้างชุดทดลองมีขนาดใหญ่ จึงทำให้ไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายชุดทดลองขึ้น - ลงในอาคารสถานที่

5.3.4 ในขั้นตอนของการจัดพิมพ์รูปเล่มโครงการ พบปัญหาในส่วนของ การออกแบบโครงสร้างในภาคผนวก เนื่องจากทางคณะผู้จัดทำพึ่งจะทำการศึกษาวิชา การเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ ในภาคการศึกษาเดียวกัน จึงทำให้เกิดปัญหาในการสร้างแบบโครงสร้างชุดทดลองเพื่อที่จะนำมาใส่ในภาคผนวก

5.3.5 ทางคณะผู้จัดทำพบปัญหา ในการหาผู้เชี่ยวชาญและการเชิญผู้เชี่ยวชาญมาทำการประเมินชุดทดลอง เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านต้องทำงานในเวลาปกติ จึงไม่สะดวกที่จะมาทำการประเมินในวันเวลาที่ทางคณะผู้จัดทำได้เตรียมการไว้ ทำให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินงาน

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

การจัดทำชุดทดลองในครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำโครงการได้มองเห็นประโยชน์ ของโครงการ และเห็นความสามารถที่จะพัฒนาหรือปรับปรุงในอีกหลายๆจุดด้วยกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

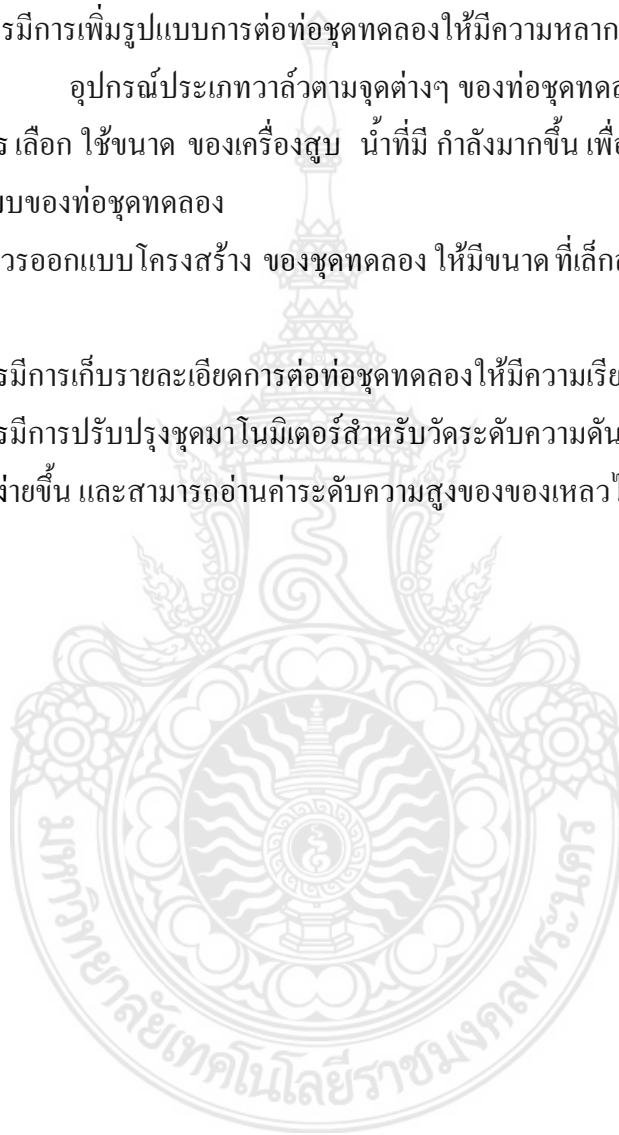
5.4.1 ควรมีการเพิ่มรูปแบบการต่อท่อชุดทดลองให้มีความหลากหลาย และควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ประเภทวาล์วตามจุดต่างๆ ของท่อชุดทดลอง

5.4.2 ควรเลือก ใช้ขนาด ของเครื่องสูบน้ำ ที่มี กำลังมากขึ้น เพื่อเพิ่ม แรงดัน ให้มีความเหมาะสมกับระบบของท่อชุดทดลอง

5.4.3 ควรออกแบบโครงสร้าง ของชุดทดลอง ให้มีขนาด ที่เล็กลง เพื่อที่จะสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

5.4.4 ควรมีการเก็บรายละเอียดการต่อท่อชุดทดลองให้มีความเรียบร้อยมากขึ้น

5.4.5 ควรมีการปรับปรุงชุดมาโนมิเตอร์สำหรับวัดระดับความดัน ให้มีลักษณะการสังเกต และบันทึกค่าได้ง่ายขึ้น และสามารถอ่านค่าระดับความสูงของของเหลวได้อย่างชัดเจน



## บรรณานุกรม

ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ: ศึกษาสัมพันธ์, ม.ป.ป.

ชัยยุทธชินณะราศรี. กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: แอปเปิ้ลเอ็กเพอร์ตคอร์เปอร์เรชั่น, 2556.

ทวิช จิตรสมบูรณ์, กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ:แมคกรอ – ฮิล, 2553.

ประสิทธิ์ เวียงแก้ว, คู่มืองานท่อ. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2550.

ประเสริฐ เทียนนิมิตร, วิวัฒน์ ภัททิยธนี และปานเพชร ชินินทร . ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์ . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2554.

พุทธธิดา บุญเสมา, ชูริพร สายบัวต่อ และระจิต คงแก้ว. 2557. “ชุดสาธิตหัวฉีดรถจักรยานยนต์ระบบ PGM – FI”. โครงการตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมกรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มนตรี พิรุณเกษตร, กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒนา, 2554.

ระบบท่อ วาล์ว ป้อน ชุดที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด้อ, 2546.

ระบบท่อ วาล์ว ป้อน ชุดที่ 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด้อ, 2555.

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, กลศาสตร์ของไหล . พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

อนุตร จำลองกุล, เครื่องสูบลมและระบบจ่าย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ทริปเพิ้ล กรุ๊ป, 2555.

เกรียงไกร ไชยบุตร, สกลวัน บุญพงษ์ และสุริยา คำกล่อมใจ. 2544. “ชุดทดลองแรงปะทะของลำของไหล”. โครงการตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมกรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## บรรณานุกรมอิเล็กทรอนิกส์

### ประเภทอินเทอร์เน็ต

“การไหลของเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง.” 2555. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.ablewaterpump.com>, 15 ธันวาคม 2558

“การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow).” 2544. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.foodnetworksolution.com>, 19 มกราคม 2559

“การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow).” 2546. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.foodnetworksolution.com>, 15 มกราคม 2559

“ความรู้พื้นฐานก่อนการเลือกใช้วาล์ว.” 2557. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

[www.maekuanguodomthara.com](http://www.maekuanguodomthara.com), 20 ธันวาคม 2558

“ความรู้เรื่องท่อ.” 2555. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://kromchol.rid.go.th>, 6 ธันวาคม 2558

“ตารางแสดงขนาดของท่อน้ำ.” 2556. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.inventor.in.th>, 8 ธันวาคม 2558

“ส่วนประกอบของมาตรวัดน้ำ.” 2545. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://pathumtani.pwa.co.th>, 2 มกราคม 2559

“สายหุ้มฉนวน.” 2544. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

[www.valvedee.com](http://www.valvedee.com), 12 มกราคม 2559

“สายเปลือย.” 2550. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

[www.thaicablewires.com](http://www.thaicablewires.com), 10 มกราคม 2559

“เกทวาล์ว.” 2549. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

[www.directoshop.com](http://www.directoshop.com), 20 ธันวาคม 2558

“เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง.” 2556. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.9engineer.com>, 12 ธันวาคม 2558

## บรรณานุกรมอิเล็กทรอนิกส์(ต่อ)

### ประเภทอินเทอร์เน็ต

“เซอร์กิตเบรกเกอร์.” 2546. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

[www.research-system.siam.edu](http://www.research-system.siam.edu), 5 มกราคม 2559

“เหล็กกล่องหรือเหล็กแป๊ปอุตสาหกรรม.” 2557. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://heiphar.blogspot.com>, 6 ธันวาคม 2558

“แผนภาพของมู้ดดี (Moody Chart).” 2547. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://me1065.wikidot.com>, 25 มกราคม 2559

“แสดงตัวอย่างการไหลทิศทางเดียว (One – dimensional Flow) ” 2550. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www-mdp.eng.cam.ac.uk>, 19 มกราคม 2559

“แสดงตัวอย่างของประตูน้ำแบบกลม.” 2548. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.insseal.com>, 1 กุมภาพันธ์ 2559

“แสดงตัวอย่างของประตูน้ำแบบบาน (Gate Valve).” 2545. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.rangsitpipe.com>, 1 กุมภาพันธ์ 2559

“โครงสร้างของเกทวาล์ว.” 2545. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://202.129.59.73/th>, 2 มกราคม 2559





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ตารางแสดงคุณสมบัติบางประการของน้ำที่ความดันปกติ



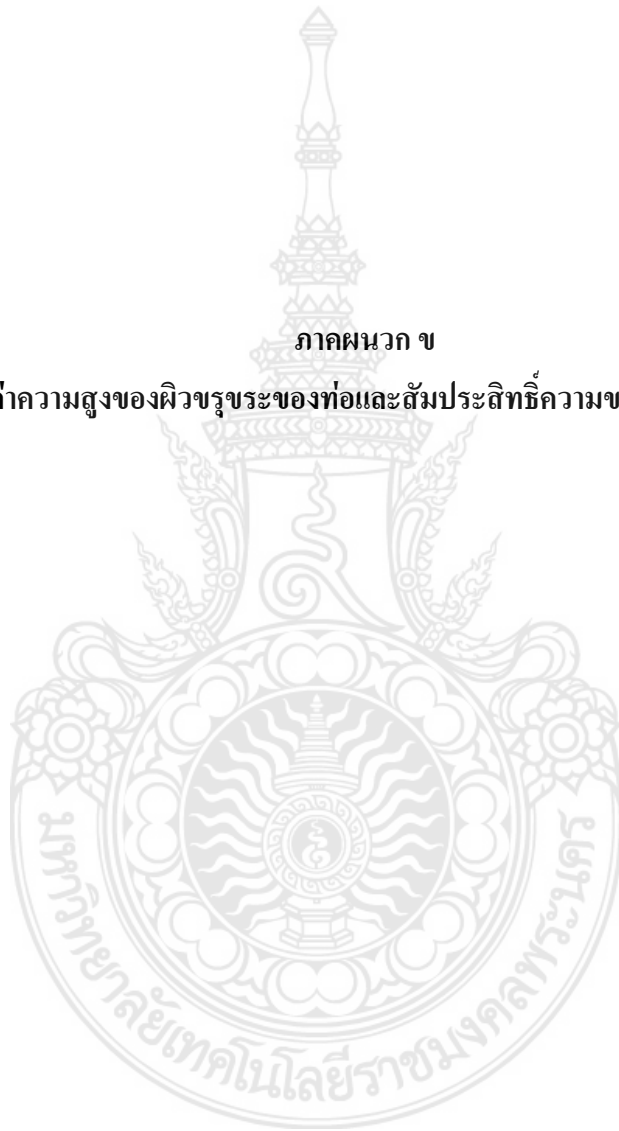
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติบางประการของน้ำที่ความดันปกติ

อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก จำเพาะ $\gamma$ ( $N/m^3$ )	ความ หนาแน่น $\rho$ ( $kg/m^3$ )	ความหนืด สัมบูรณ์ $\mu$ ( $kg/m.s$ ) $10^3 \mu$	ความหนืด เชิงจลน์ $\nu$ ( $m^2/s$ ) $10^6 \nu$	ความตึงผิว $\sigma$ ( $N/m$ ) $100\sigma$	ความดัน ไอ $P_v/\gamma$ ( $m$ )	พิกัดการเปลี่ยน ถิ่นตัวเชิง ปริมาตร $E_v$ ( $N/m^2$ ) $10^{-7} E_v$
0	9,805	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204
5	9,806	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206
10	9,803	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211
15	9,798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214
20	9,789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220
25	9,779	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222
30	9,767	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223
35	9,752	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224
40	9,737	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227
45	9,720	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229
50	9,697	988.1	0.599	0.605	6.92	0.98	230
55	9,679	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231
60	9,658	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228
65	9,635	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226
70	9,600	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225
75	9,589	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223
80	9,557	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221
85	9,529	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217
90	9,499	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216
95	9,469	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211
100	9,438	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207

ที่มา:ดร.ชัยยุทธ ชินณะราศรี หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2556: 216

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงค่าความสูงของผิวขรุขระของท่อและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อ



ตารางที่ 2 ค่าความสูงของผิวขรุขระของท่อและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อ

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำท่อ	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อ $\varepsilon$ (mm)
เหล็กกล้าตะเข็บหมุดย้ำ (riveted steel)	0.9 - 9.0
คอนกรีต	0.3 - 3.0
ท่อ ไม้ (wood stave)	0.18 - 0.9
เหล็กหล่อ (cast iron)	0.25
ผิวท่อเคลือบสังกะสี	0.15
เหล็กกล้าทั่วไป (เหล็กเหนียว, wrought iron)	0.046
ท่อรีด (drawn tubing)	0.0015
พลาสติก	0.0
แก้ว	0.0

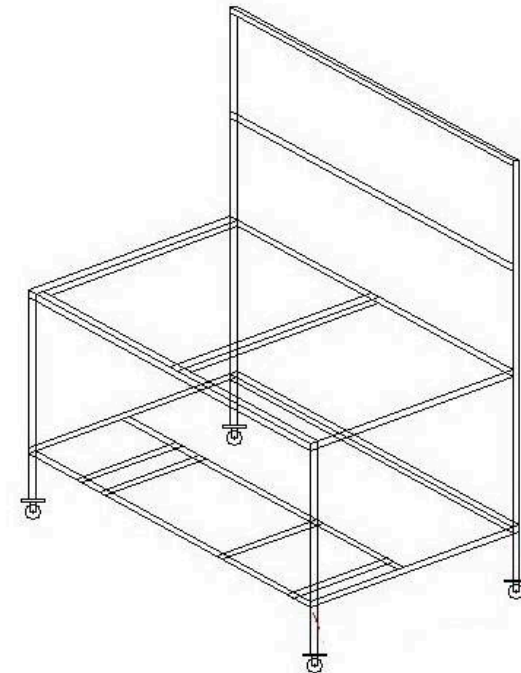
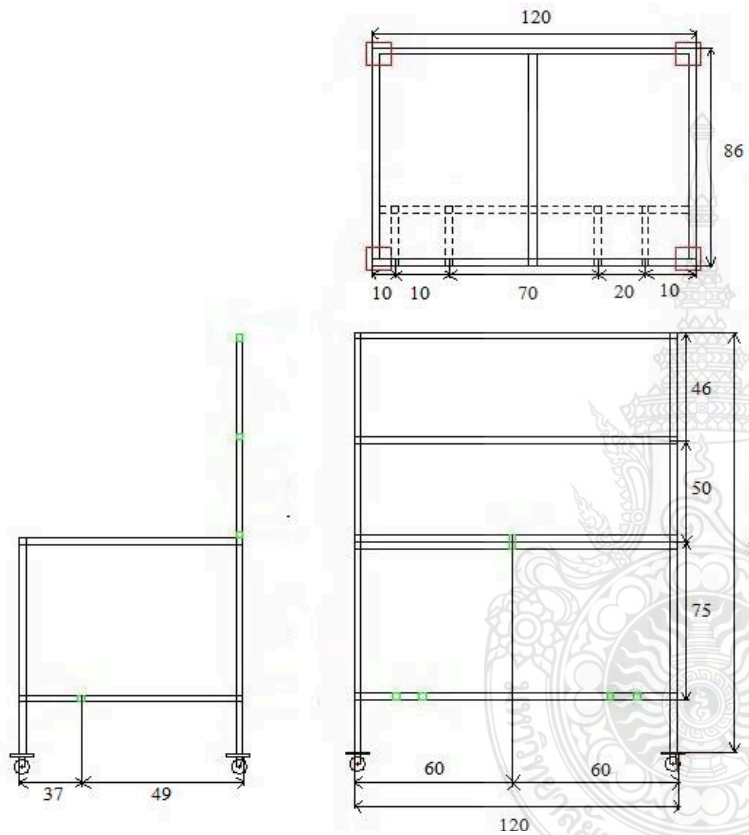
ที่มา: ร่องศาสตราจารย์ มนตรี พิรุณเกษตร หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2554: 303

หมายเหตุ : นิกูลาดเซอ วิศวกรชาวเยอรมันได้ทำการทดลองศึกษาผลกระทบของความขรุขระสัมพัทธ์ ( $\varepsilon / D$ ) ขนาดต่างๆ ระหว่าง 0.000985 จนถึง 0.0333 ที่มีผลต่อการไหลภายในท่อ โดยอาศัยการพ่นเม็ดทรายขนาดต่างๆ ลงบนผิวท่อตามที่กำหนดไว้ เพื่อหาความสัมพันธ์ของ  $f = f(\text{Re}, \varepsilon / D)$  ซึ่งความขรุขระสมมูลของผิวท่อใหม่ที่ทำจากวัสดุต่างๆ กำหนดไว้ในตารางที่ 2 ข้างต้น

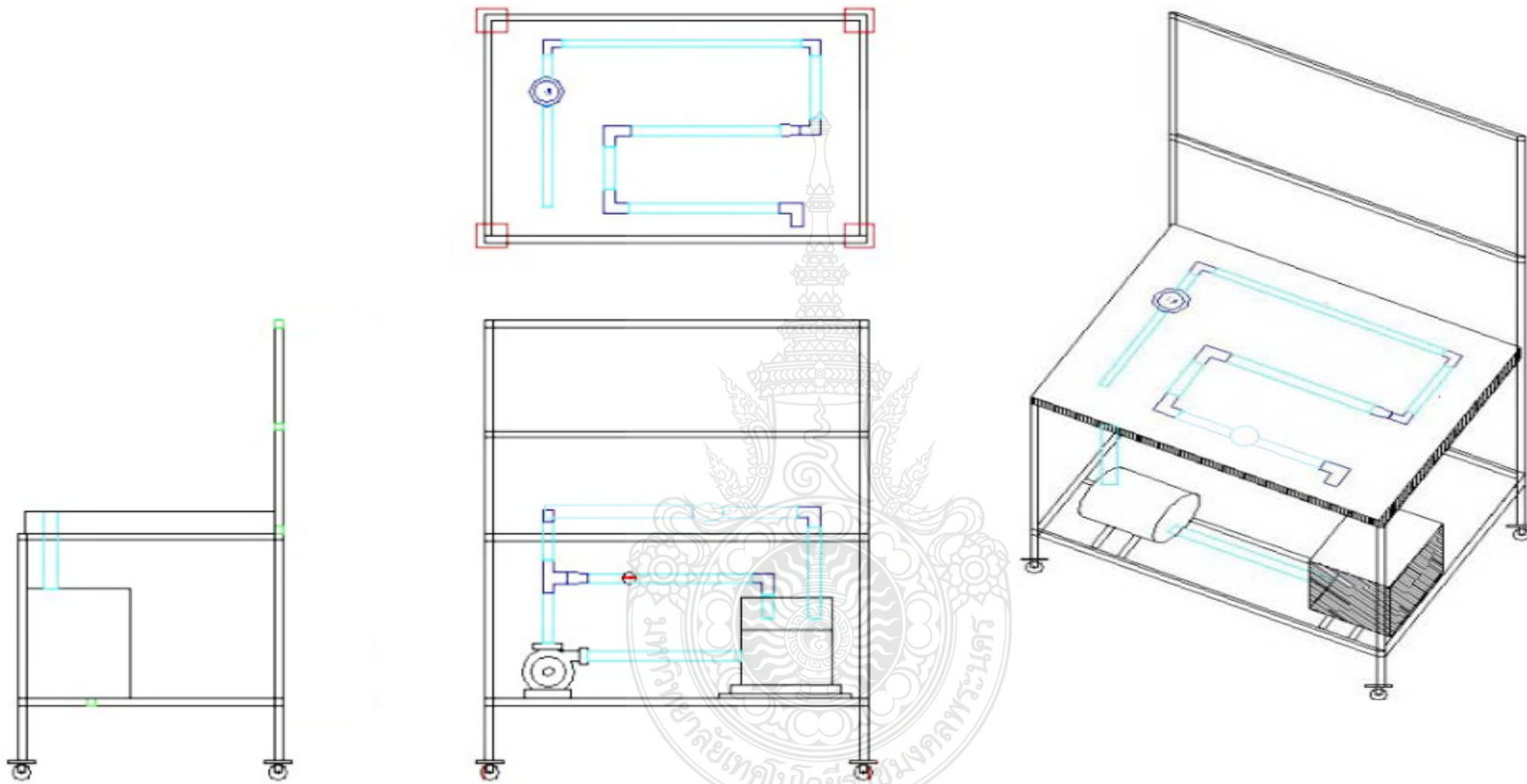
ภาคผนวก ค

การออกแบบโครงสร้างชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร		
ชื่อชิ้นงาน : โครงสร้างชุดทดลอง		
ผู้เขียนแบบ	อนุสรณ์ กมิมูล	หน่วย : เซนติเมตร
ผู้ออกแบบ	อนุสรณ์ กมิมูล	มาตราส่วน 1:30
ผู้ตรวจแบบ	อ.อดิศร จรัสวรกุลวงศ์	
วัสดุ	เหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว	



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร		
ชื่อชิ้นงาน : ชุดทดลองเสร็จสมบูรณ์		
ผู้เขียนแบบ	อนุสรณ์ กมิมูล	หน่วย : เซนติเมตร  มาตราส่วน 1:30
ผู้ออกแบบ	อนุสรณ์ กมิมูล	
ผู้ตรวจแบบ	อ.อดิสร จรรย์วรกุลวงศ์	
วัสดุ	เหล็กกล่องและท่อ PVC	



ภาคผนวก ง  
ใบความรู้



## ใบความรู้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์เทเวศร์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

วิชา กลศาสตร์ของไหล

เรื่อง การสูญเสียการไหลภายในท่อ

### บทนำ

การศึกษาในวิชา กลศาสตร์ของไหล ในบทเรียนที่มีความเกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลภายในท่อ จะเป็นการศึกษาทฤษฎีของความต้านทานในการไหลของของไหล เมื่อไหลผ่านท่อที่มีขนาดต่างกัน ไหลผ่านข้อต่อ, ข้องอและอุปกรณ์ต่างๆ และนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อศึกษาการหาค่าการสูญเสียในการไหลภายในท่อ

การทดลองการหาค่าการสูญเสียการไหลภายในท่อ สามารถแบ่ง ออกเป็น 2 ประเภท คือ การหาค่าการสูญเสียหลักและการหาค่าการสูญเสียรอง ซึ่งในการหาค่าการสูญเสียทั้งสองส่วนนั้น จะมีขั้นตอนการหาค่าเป็นไปตามลำดับ โดยการทำการทดลองและบันทึกผล และนำมาทำการแทนค่าในสมการต่างๆ ตามสูตรการหาค่าที่กำหนด

### ทฤษฎี

#### 1.คุณสมบัติของของไหล

ของไหล ( Fluid) หมายถึง สสารที่สามารถไหลได้ โดยมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ เมื่ออยู่ในสภาพสมดุลของไหลจะไม่สามารถรับแรงเฉือนได้ ของไหลทุกชนิดจะยุบตัวตามความกดดันได้เล็กน้อย ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปนี้

ของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน ( Incompressible Fluid) หมายถึง ของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จนสามารถที่ไม่ต้องคำนึงถึงได้ โดยปกติของเหลวจัดว่าเป็นของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน

ของไหลที่ยุบตัวตามความดัน ( compressible Fluid) หมายถึง ของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปมาก โดยปกติแก๊สจัดว่าเป็นของไหลที่ยุบตัวตามความดัน

ของไหลในจินตนาการ(Ideal Fluid) หมายถึง ของไหลที่มีความเสียดทานหรือมีความหนืดเป็นศูนย์ ดังนั้น ความดันของของไหลชนิดนี้ จะกระทำในทิศทางตั้งฉากกับภาชนะเสมอ ถึงแม้ว่าของไหลนี้จะมีการเคลื่อนที่ก็ตาม

ความหนาแน่นของของไหล( Density, $\rho$ ) หมายถึง มวลสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นเป็นลักษณะหนึ่งที่จะแสดงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของสสาร มีหน่วยเป็น

กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร(kg/m<sup>3</sup>)

น้ำหนักจำเพาะของของไหล(Specific Weight,  $\gamma$ )หมายถึง แรงเนื่องจากการดึงดูดของโลก ซึ่งกระทำต่อมวลสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรมีหน่วยเป็น นิวตัน/ลูกบาศก์เมตร (N/m<sup>3</sup>)

ความหนืด(Viscosity,  $\mu$ ) มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความหนืดสัมบูรณ์ ( absolute viscosity) หมายถึง ความต้านทาน การเลื่อนในเนื้อของของไหล โดยปกติเมื่ออุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้นของไหลจะมีความหนืดลดลงมีหน่วยเป็น( kg/m/s)

ความหนืดจลน์(Kinetic Viscosity,  $\nu$ ) หมายถึง อัตราส่วนของความหนืดสัมบูรณ์ต่อความหนาแน่นของสารมีหน่วยเป็นตารางเมตร/วินาที (m<sup>2</sup> /s)

ซึ่งในส่วนของคุณสมบัติของน้ำสำหรับการทดลอง จะใช้ค่าโดยเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (จากตารางแสดง คุณสมบัติบางประการของน้ำที่ความดันปกติ ) และน้ำที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน 28 ลิตร ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมีรายละเอียด ดังนี้

- ความหนาแน่น( $\rho$ )เท่ากับ995.7kg/m<sup>3</sup>
- น้ำหนักจำเพาะ( $\gamma$ )เท่ากับ9,767N/m<sup>3</sup>
- ความหนืดสัมบูรณ์( $\mu$ )เท่ากับ 0.801×10<sup>3</sup> kg/m/s
- ความหนืดจลน์( $\nu$ )เท่ากับ 0.804×10<sup>6</sup>m<sup>2</sup>/s

ความดัน (Pressure, P)หมายถึง แรงกระทำต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่ หน่วยที่ใช้วัดความดันมีหลายหน่วย เพราะความดันมีค่าตั้งแต่ความดันต่ำ ( Low Pressure) จนถึงความดันสูงๆ หน่วยที่ใช้วัดความดัน เช่น นิวตัน/ตารางเมตร (N/m<sup>2</sup>),ปอนด์/ตารางนิ้ว (lb/in<sup>2</sup>), ปาสคาล (Pascal; Pa), กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (kg/cm<sup>2</sup>)และบาร์ ( bar) ความสูงของลำปรอทในหลอดแก้วเป็น มิลลิเมตรปรอท (mm.Hg) หรือนิ้วปรอท (in.Hg)

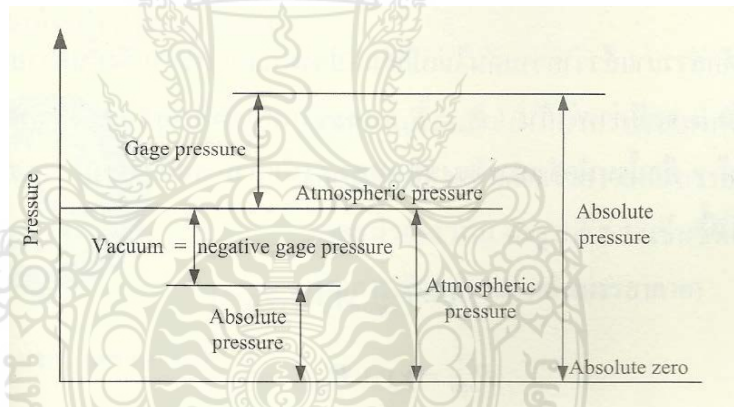
1	ปาสคาล (Pa)	=	1	นิวตัน/ตารางเมตร (N/m <sup>2</sup> )
กิโลปาสคาล (kpa)	×0.145	=		ปอนด์/ตารางนิ้ว (psi)
กิโลปาสคาล		=	6.895 ×	ปอนด์/ตารางนิ้ว
2	บาร์	=	10 <sup>5</sup>	นิวตัน/ตารางเมตร
1	บรรยากาศมาตรฐาน	=	760	มิลลิเมตรปรอท (1.013 บาร์)

ความดันมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ ความดันศูนย์แท้จริง (Absolute zero pressure) และความดันบรรยากาศเฉพาะที่ (Local atmospheric pressure) สำหรับการเทียบความดันแสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความดันศูนย์แท้จริง (Absolute zero pressure) คือ ความดันในสุญญากาศ ค่าความดันที่ใช้ความดันศูนย์แท้จริงเป็นหลักอ้างอิง เรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure, abs)

ความดันบรรยากาศเฉพาะที่ (Local atmospheric pressure) คือ ความดันที่ให้ค่าความดันเฉพาะที่เป็นศูนย์สำหรับใช้เป็นหลักอ้างอิง เรียกว่า ความดันมาตร หรือ ความดันเกจ (Pressure Gage,  $P_{gauge}$ )

ค่าความดันบรรยากาศมาตรฐาน (atmospheric pressure) สำหรับใช้ในการทดลอง มีค่าเท่ากับ 1.013 bar



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของความดัน

ที่มา : ชัยยุทธ ชินณะราศรี หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2556 :31

## 2. ทฤษฎีการไหลของของไหล

เป็นการศึกษาถึงของไหลขณะที่เคลื่อนที่ การวิเคราะห์ของไหลขณะเคลื่อนที่ไม่สามารถที่จะกระทำได้โดยใช้คณิตศาสตร์แต่เพียงอย่างเดียว ในบางครั้งต้องอาศัยผลจากการทดลองร่วมด้วย

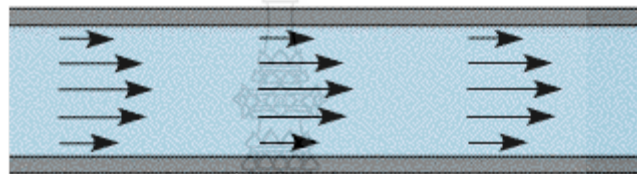
ชนิดของการไหล (Type of Flow)

การแบ่งชนิดการไหลของของไหล สามารถกระทำได้ 3 แบบ คือ แบบที่ 1

การไหลสม่ำเสมอ ( Steady flow ) หมายถึง การไหลของของไหลชนิดที่ความเร็วในการไหล ณ จุดใด ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และของไหลไม่สามารถจะขาดช่วงได้ เพราะจะทำให้ความเร็วของของไหล ณ จุดนั้น ๆ เปลี่ยนแปลง

การไหลไม่สม่ำเสมอ ( Unsteady flow ) หมายถึง การไหลของของไหล ชนิดที่ความเร็วในการไหล ณ จุดใด ๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือมีการขาดช่วงได้

แบบที่ 2  
Laminar

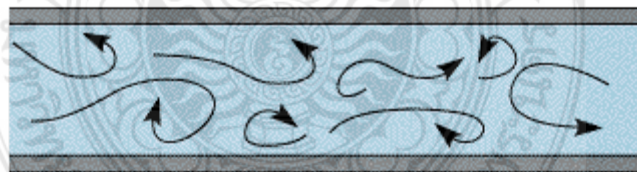


รูปที่ 2 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com>

การไหลแบบราบเรียบ ( laminar flow) หมายถึง การไหลของของไหลชนิดที่อนุภาคของของไหล ไม่ว่าจะ เป็นอนุภาคเล็กหรือใหญ่ เคลื่อนที่ในลักษณะตามกันไปเป็นแผ่นหรือชั้นเรียบ ๆ โดยที่แผ่นหนึ่งเลื่อนเรียบเหนือแผ่นอื่น ลักษณะการเกิดการไหลแบบราบเรียบ คือ การไหลของน้ำใต้ดิน การไหลของเลือด เป็นต้น

Turbulent

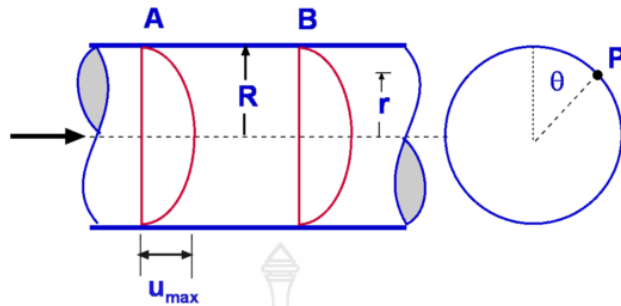


รูปที่ 3 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com>

การไหลแบบปั่นป่วน ( Turbulent flow) หมายถึง การไหลของของไหลชนิดที่อนุภาคของของไหล เคลื่อนที่ในลักษณะหรือทิศทางไม่แน่นอน มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงและมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม จากส่วนหนึ่งของของไหลไปยังส่วนอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น การไหลของแม่น้ำลำคลอง เป็นต้น

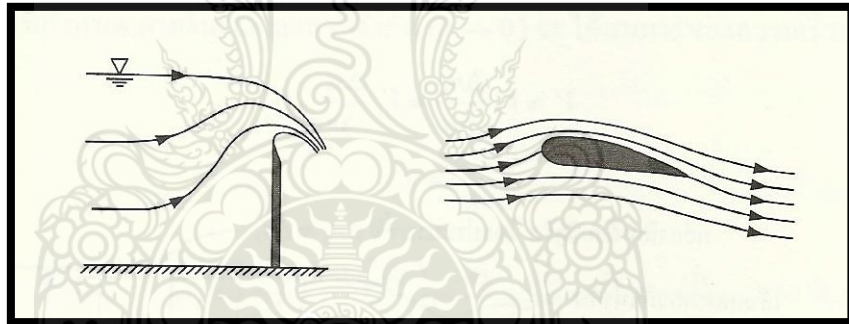
แบบที่ 3



รูปที่4แสดงตัวอย่างการไหลทิศทางเดียว ( One – dimensional Flow )

ที่มา : <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk>

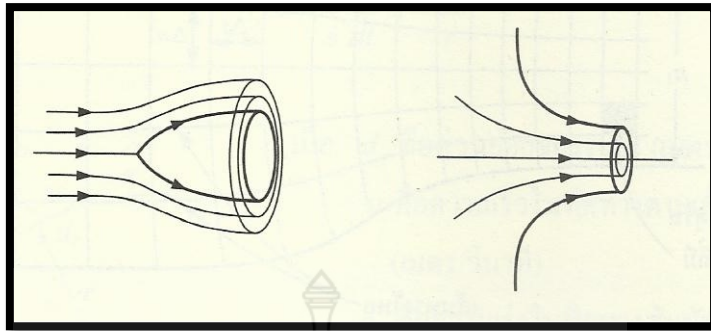
การไหลทิศทางเดียว ( One – dimensional Flow ) หมายถึง การไหลชนิดที่เส้นสัมผัสของทิศทางของความเร็วที่จุดต่างๆ เส้นการไหล (Streamlines) เคลื่อนที่ไปทางเดียว ซึ่งในการไหลชนิดนี้การเปลี่ยนแปลงของความดัน ความเร็ว ฯลฯ จะไม่เกิดขึ้นในทิศทางอื่น นอกจากเกิดขึ้นในเส้นการไหล (Streamline) เท่านั้น การไหลทิศทางเดียวปกติจะพิจารณาในบริเวณที่ เส้นการไหล (Streamline) เป็นเส้นตรงและขนานกัน



รูปที่5แสดงตัวอย่างการไหลสองทิศทาง( Two – dimensional Flow )

ที่มา : ชัยยุทธ ชินณะราศรี หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2556 :75

การไหลสองทิศทาง( Two – dimensional Flow ) หมายถึง การไหลชนิดที่ เส้นการไหล (Streamline)เคลื่อนที่ไปบนระนาบอันเดียวกัน แต่มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ ตัวอย่างเช่น การไหลของน้ำที่ล้นเขื่อน หรือการไหลของอากาศผ่านปีกของเครื่องบิน เป็นต้น ในการไหลสองทิศทางนี้ ความเร็ว, ความดัน ฯลฯ เปลี่ยนแปลงไปตามจุดที่พิจารณา



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการไหลสามทิศทาง ( Three – dimensional Flow )

ที่มา : ژیยุทธ ชินณะราศรี หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2556 : 75

การไหลสามทิศทาง ( Three – dimensional Flow ) หมายถึง การไหลชนิดที่เส้นการไหล (Streamline) มีการเปลี่ยนแปลงไปทั้งสามทิศทาง เมื่อมองตัดขวาง เส้นการไหล (Streamline) แล้ว จะออกมาในรูปของวงแหวน ลักษณะการเกิดการไหลสามทิศทางนี้ เช่น บริเวณที่ของไหลกำลังไหลเข้าสู่ท่อ หรือเมื่อของไหลปะทะวัตถุที่ขวางทิศทางของการไหล เช่น อากาศปะทะลูกปืน เป็นต้น

### 3. ทฤษฎีการไหลของของไหลในท่อ

การไหลของของไหลในท่อซึ่งเป็นการประยุกต์ทฤษฎีการไหลของของไหล , สมการการไหลสม่ำเสมอ และทฤษฎีของความต้านทานในการไหลของของไหลเข้าด้วยกัน

ความต้านทานการไหลของของไหลนี้ ไม่ใช่เพียงแต่เกิดจากความยาวของท่อแต่เพียงอย่างเดียว แต่จะเกิดเนื่องจาก ข้อต่อ , ข้องอ, ลิ้น และบริเวณที่ของไหลมีการปั่นป่วนด้วย ประโยชน์ของการที่จะทราบความต้านทานดังกล่าวนี้ คือ สามารถนำมาคิดคำนวณปริมาณการไหล , กำลังที่ต้องการทำให้ของไหลมีการเคลื่อนที่และขนาดของท่อได้

#### 3.1 การสูญเสียกำลังงานในท่อ

การสูญเสียกำลังงาน ในท่อ เนื่องจากความต้านทาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.1.1 การสูญเสียหลัก ( Major Loss ) ปกติการสูญเสียหลักนี้ เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ, ขนาดของท่อ, ความยาวของท่อและความเร็วในการไหล ถ้าของไหลไหลในผิวท่อที่ขรุขระ , ความยาวของท่อมากและความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียกำลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียกำลังงานจะลดลงถ้าท่อมีขนาดโตขึ้น

การสูญเสียหลักในท่อกลมท่อกลมเป็นท่อที่ใช้ในงานวิศวกรรมเป็นส่วนใหญ่ การหาค่าการสูญเสียหลักในท่อกลมชนิดดังกล่าวสามารถหาได้จากสูตร

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$$



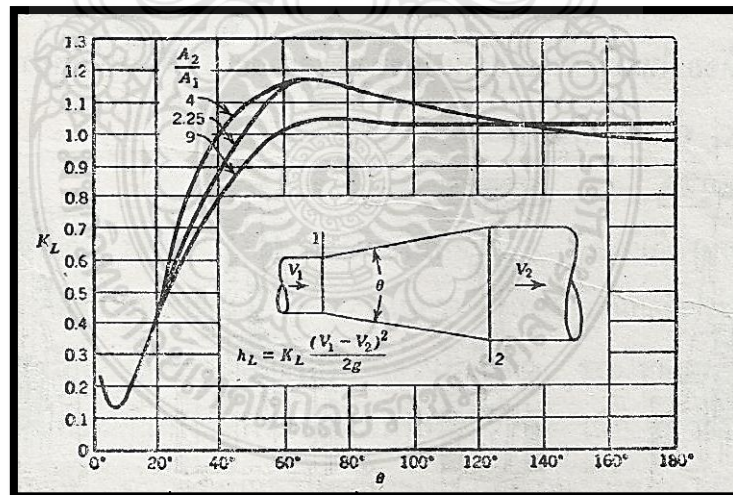
- เมื่อ  $h_L$  = การสูญเสียหลัก มีหน่วยเป็น (m)  
 $f$  = แฟคเตอร์ของความเสียดทาน ไม่มีหน่วย  
 $L$  = ความยาวท่อ มีหน่วยเป็น (m)  
 $D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อ มีหน่วยเป็น (m)  
 $V$  = ความเร็วในการไหลของของไหล มีหน่วยเป็น (m/s)  
 $g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ  $9.81(m/s^2)$

3.1.2 การสูญเสียรอง (Minor Loss) หมายถึง การสูญเสียกำลังงานเนื่องจากการไหลของของไหลในท่อเมื่อของไหลผ่านข้อต่อ, ข้องอ, ถิ้น ฯลฯ ปกติถ้าท่อมีความยาวมาก เช่น ในท่อประปา ค่าของการสูญเสียรองนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การสูญเสียหลักจะมีค่าน้อย แต่ถ้าท่อที่มีความยาวน้อย และมีการหักงอหรือท่อมีการลดขนาดหลายแห่ง สามารถหาได้จากสูตร

$$h_L = K_L \frac{v^2}{2g}$$

- เมื่อ  $h_L$  = การสูญเสียรอง มีหน่วยเป็น (m)  
 $K_L$  = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย ไม่มีหน่วย  
 $V$  = ความเร็วในการไหลของของไหล มีหน่วยเป็น (m/s)  
 $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ  $9.81(m/s^2)$

สำหรับการสูญเสียรองเนื่องจากท่อค่อย ๆ เพิ่มขนาด



รูปที่ 7 การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆ เพิ่มขนาด

ที่มา : ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์ หนังสือกลศาสตร์ของไหล, ไม่ปรากฏปี: 129

การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆ เพิ่มขนาด สามารถใช้สูตรเดียวกับ การสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดโดยทันที แต่ค่าของ  $K_L$  ขึ้นอยู่กับมุม  $\theta$  ของกรวย และอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของท่อ



ทั้งสอง ถ้ามุมของกรวยประมาณ 40 – 50 องศา ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะใกล้เคียงกับการเพิ่มขนาดทันที และค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะมีค่าสูงสุดเมื่อ  $\theta$  มีค่าประมาณ 40 – 50 องศา ซึ่งภายในชุดทดลอง ได้กำหนดค่ามาให้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเท่ากับ 0.28

$$h_L = K_L \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

\* ในที่นี้  $V_1$  คือความเร็วของของไหลในท่อเล็ก

\* ในที่นี้  $V_2$  คือความเร็วของของไหลในท่อใหญ่

การสูญเสียในข้อต่อของท่อและอุปกรณ์

เมื่อของไหลไหลผ่านข้อต่อและอุปกรณ์ของท่อต่างๆ ไป จะเกิดการสูญเสียกำลังงานในการไหลขึ้น เพราะความขรุขระหรือรูปร่างของข้อต่อที่ทำให้ของไหลเกิดการปั่นป่วน การหาการสูญเสีย ยังสามารถใช้สูตร  $h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$  ได้ โดยใช้ค่า  $K_L$  ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของท่อและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองภายในขอบเขต

รายละเอียดของท่อและอุปกรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ( $K_L$ )
ประตูน้ำแบบบาน (Gate valve)	0.19*
เปิด $\frac{3}{4}$	1.1
เปิด $\frac{1}{2}$	5.6
เปิด $\frac{1}{4}$	24.0
ข้อต่อท่อแบบค้อยๆ เพิ่มขนาด	0.28
ข้องอมาตรฐาน (ข้องอ 90°) (Standard elbow)	0.9
การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ - รอยต่อมีส่วนยื่นเข้าในถัง (Reentrant)	0.8

ที่มา : ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. หนังสือกลศาสตร์ของไหล, ไม่ปรากฏปี: 221

หมายเหตุ \* หมายถึง สัมประสิทธิ์เมื่อประตูน้ำเปิดเต็มที่

เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) เป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย หาได้จากอัตราส่วนของแรงเนื่องจากความเฉื่อยและแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number)

นี่ เป็นตัวสำคัญในการที่จะบอกถึงลักษณะการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด คือ

ถ้า  $N_R$  น้อยกว่า 2000 การไหลของของไหลจะเป็นแบบราบเรียบ

แต่ ถ้าหาก  $N_R$  มากกว่า 2000 มาก ๆ การไหลของของไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน

แฟกเตอร์ของความเสียดทาน ( $f$ ) เป็นแฟกเตอร์ที่ไม่มีหน่วย ใช้สำหรับหาการสูญเสียหลัก  
ปกติแฟกเตอร์ของความเสียดทานนี้แปรผกผันกับ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number)

แฟกเตอร์ของความเสียดทานของการไหลแบบปั่นป่วนปกติในการไหลของของไหล  
แบบปั่นป่วน ไม่มีสูตรหาค่า  $f$  ที่แน่นอนเช่นเดียวกับในการไหลแบบราบเรียบเพียงแต่ทราบว่า  $f$   
เป็นฟังก์ชันของ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) และความขรุขระของท่อ ( $\epsilon$ ) เท่านั้น ดังนั้น  
ค่าของ  $f$  ที่ใช้จึงต้องหาจากกราฟที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 2 (ภาคผนวก) ซึ่งจะต้องทราบค่า  
เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) และค่าของอัตราส่วนของความขรุขระต่อขนาดเส้นผ่าน  
ศูนย์กลางของท่อ ( $\epsilon/D$ ) เสียก่อน

ความขรุขระของท่อ ( $\epsilon$ ) ไม่มีสูตรคำนวณแน่นอน ตัวเลขที่ได้ทั้งหมดมาจากการทดลอง  
โดยทำการทดลองท่อชนิดต่าง ๆ ซ้ำกันหลาย ๆ ทน การทำการทดลองที่ได้ผลดีกระทำโดยวิศวกร  
ชาวเยอรมัน ชื่อ นิกูราดเซอ (Nikuradse) ทำการทดลองโดยเคลือบผิวของท่อขนาดต่าง ๆ กัน  
เพื่อให้ได้ความขรุขระที่ไม่เหมือนกัน ผลการทดลองหาค่า ( $\epsilon$ ) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความสูงของผิวขรุขระของท่อและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อ

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำท่อ	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อ $\epsilon$ (mm)
เหล็กกล้าตะเข็บหมุดย้า (riveted steel)	0.9 - 9.0
คอนกรีต	0.3 - 3.0
ท่อ ไม้ (wood stave)	0.18 - 0.9
เหล็กหล่อ (cast iron)	0.25
ผิวท่อเคลือบสังกะสี	0.15
เหล็กกล้าทั่วไป (เหล็กเหนียว, wrought iron)	0.046
ท่อรีด (drawn tubing)	0.0015
พลาสติก	0.0
แก้ว	0.0

ที่มา: มนตรี พิรุณเกษตร หนังสือกลศาสตร์ของไหล, 2554: 303

ลำดับการหาแฟกเตอร์ของความเสียดทาน

4. หา เรย์โนลด์นัมเบอร์(Reynold Number)จากสูตร  $N_R = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$
5. ถ้า  $N_R$  น้อยกว่า 2,000 หาแฟกเตอร์ของความเสียดทาน จากสูตร  $f = \frac{64}{N_R}$
6. ถ้า  $N_R$  มากกว่า 2,000 หาแฟกเตอร์ของความเสียดทานตามลำดับคือ

6.1 หาค่าความขรุขระของท่อ  $\epsilon$  จากชนิดของวัสดุที่ทำท่อ

6.2 หาอัตราส่วน  $\epsilon/D$  คือความขรุขระ / เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

3.3 หาค่า  $f$  จากแผนภาพมู้ดดี (Moody Chart) โดยใช้  $N_R$  และ  $\epsilon/D$  โดยสามารถดูได้

จาก รูปที่ 8

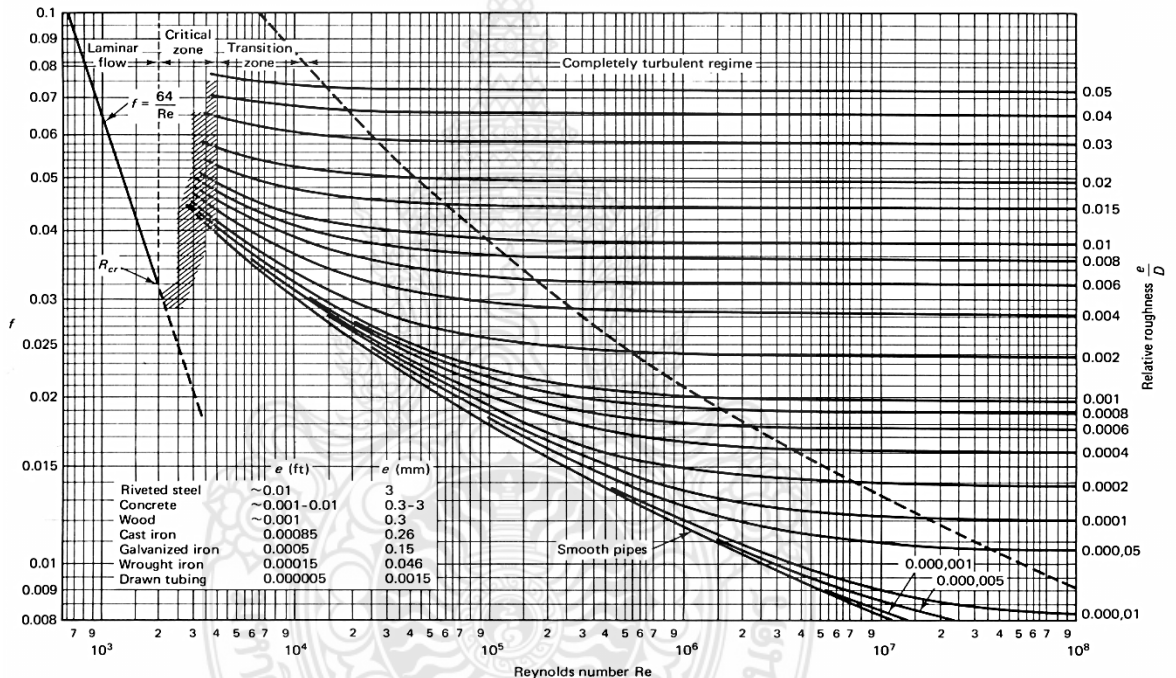


Figure 7.13 Moody diagram. (From L. F. Moody, *Trans. ASME*, Vol. 66, 1944.)

รูปที่ 8 แผนภาพของมู้ดดี (Moody Chart)

ที่มา: <http://me1065.wikidot.com>

#### 4. มาตรวัดความดันมาโนมิเตอร์

เป็นเครื่องมือที่ใช้ค่าของเหลวสำหรับหาความแตกต่างของความดัน

การหาค่าความดันสัมบูรณ์ ( Absolute Pressure) ความดันสัมบูรณ์ คือความดันที่วัดได้ หรืออ่าน ได้เมื่อเทียบกับความดันศูนย์

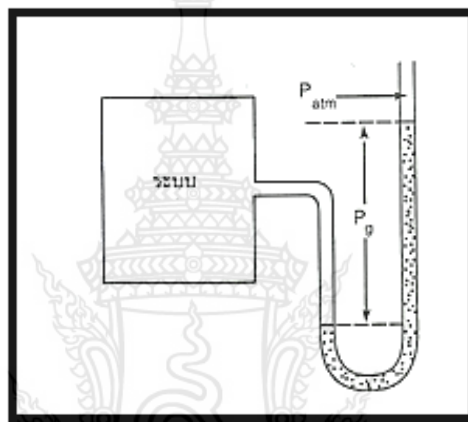
การหาค่าความดันสัมบูรณ์ภายในท่อของชุดทดลอง จะเป็นการอ่านค่าความต่างของความสูงของระดับน้ำที่อยู่ภายในมาโนมิเตอร์รูปตัว U ( Manometer) ทั้งสองด้าน โดยทำการ

เปรียบเทียบความต่าง ซึ่งจะมีหน่วยเป็น เซนติเมตร และนำค่าความสูงนั้นมาแทนในสูตรการหาค่าความดันสัมบูรณ์โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้



การหาค่าความดันสัมบูรณ์ ( Absolute Pressure) ความดันสัมบูรณ์ คือความดันที่วัดได้หรืออ่านได้เมื่อเทียบกับความดันศูนย์

การหาค่าความดันสัมบูรณ์ภายในท่อของชุดทดลอง จะเป็นการอ่านค่าความต่างของความสูงของระดับน้ำที่อยู่ภายในมาโนมิเตอร์รูปตัวยู ( Manometer) ทั้งสองด้าน โดยทำการเปรียบเทียบความต่าง ซึ่งจะมีหน่วยเป็น เซนติเมตร และนำค่าความสูงนั้นมาแทนในสูตรการหาค่าความดันสัมบูรณ์โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น2กรณี ดังนี้



รูปที่9 ความดันเกจ (Gauge Pressure)

ที่มา : ประเสริฐ เทียนนิมิตร. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์, 2554 : 38

กรณีที่ 1 ถ้าความดันของระบบสูงกว่าความดันของบรรยากาศ ความดันที่อ่านได้จากมาตรวัดเรียกว่า ความดันเกจ (Gauge Pressure) ซึ่งจะสามารถหาความดันสัมบูรณ์ของระบบได้จากสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์ } P_{\text{abs}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}} \quad \text{bar}$$

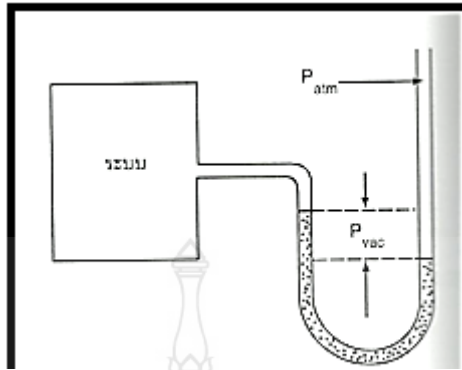
$$P_{\text{gauge}} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหลภายในมาโนมิเตอร์มีค่าเท่ากับ  $995.7 \text{ kg/m}^3$

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ m/s}^2$

$z$  = ค่าความสูงของของไหลภายในมาโนมิเตอร์ มีหน่วยเป็น m

(สูตรนี้ใช้เมื่อความดันของระบบสูงกว่าความดันของบรรยากาศ)



รูปที่10ความดันสุญญากาศ (Vacuum Gauge Pressure)

ที่มา : ประเสริฐ เทียนนิมิตร. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์, 2554 : 38

กรณีที่ 2 ถ้าความดันของระบบต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ ความดันที่อ่านได้จากมาตรวัดเรียกว่า ความดันสุญญากาศ ( Vacuum Gauge Pressure) ซึ่งจะสามารถหาความดันสัมบูรณ์ของระบบได้จากสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{vacuum}} \quad \text{bar}$$

$$P_{\text{vacuum}} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหลภายในมาโนมิเตอร์มีค่าเท่ากับ  $995.7 \text{ kg/m}^3$

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ m/s}^2$

$z$  = ค่าความสูงของของไหลภายในมาโนมิเตอร์ มีหน่วยเป็น m

(สูตรนี้ใช้เมื่อความดันของระบบต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ)

ภาคผนวก จ  
ใบงานบันทึกผลการทดลอง





## ใบงาน

### บันทึกผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์เทเวศร์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

วิชา กลศาสตร์ของไหล

เรื่อง การสูญเสียการไหลภายในท่อ

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการหาค่าการสูญเสียหลักของท่อชุดทดลอง
2. เพื่อศึกษาการหาค่าการสูญเสียรองของท่อชุดทดลอง
3. เพื่อศึกษาความแตกต่างของความดันภายในท่อชุดทดลองขนาดต่างๆ ด้วยมาโนมิเตอร์

### บทนำ

การศึกษาในวิชา กลศาสตร์ของไหล ในบทเรียนที่มีความเกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลภายในท่อ จะเป็นการศึกษาทฤษฎีของความต้านทานในการไหลของของไหล เมื่อไหลผ่านท่อที่มีขนาดต่างกัน ไหลผ่านข้อต่อ, ข้ออและอุปกรณ์ต่างๆ และนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อศึกษาการหาค่าการสูญเสียในการไหลภายในท่อ

การทดลองการหาค่าการสูญเสียการไหลภายในท่อ สามารถแบ่ง ออกเป็น 2 ประเภท คือ การหาค่าการสูญเสียหลักและการหาค่าการสูญเสียรอง ซึ่งในการหาค่าการสูญเสียทั้งสองส่วนนั้น จะมีขั้นตอนการหาค่าเป็นไปตามลำดับ โดยการทำการทดลองและบันทึกผล และนำมาทำการแทนค่าในสมการต่างๆ ตามสูตรการหาค่าที่กำหนด

### ข้อกำหนดและขอบเขตของชุดทดลอง

1. คุณสมบัติของน้ำสำหรับการทดลอง โดยเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (จากตารางแสดงคุณสมบัติบางประการของน้ำที่ความดันปกติ) และน้ำที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน 28 ลิตร ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมีรายละเอียด ดังนี้

- ความหนาแน่น( $\rho$ )เท่ากับ  $995.7 \text{ kg/m}^3$
- น้ำหนักจำเพาะ( $\gamma$ )เท่ากับ  $9,767 \text{ N/m}^3$
- ความหนืดสัมบูรณ์( $\mu$ )เท่ากับ  $0.801 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$
- ความหนืดจลน์( $\nu$ )เท่ากับ  $0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

2. กำหนดให้ใช้ค่าความดันบรรยากาศมาตรฐาน ( atmospheric pressure) สำหรับใช้ในการทดลอง มีค่าเท่ากับ 1.013 bar

3. กำหนดให้ใช้ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g) โดยมีค่าเท่ากับ  $9.81\text{m/s}^2$

สำหรับชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ สามารถแบ่งรายละเอียดการคำนวณการหาการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง ตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. หาอัตราการไหล (Q) โดยการเปิดวาล์วและปรับอัตราการไหล และทำการสังเกตมาตรวัดน้ำ พร้อมกับจับเวลาด้วยนาฬิกา กำหนดให้จับเวลาในการทดลองเป็นเวลา 60 วินาที และทำการสังเกตอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจะมีหน่วยเป็น (ลูกบาศก์เมตร/นาที)

ลักษณะการเปิดก่ทวาล์ว เป็นแบบ .....

$$Q = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{min}$$

2. หาความเร็วในการไหลของน้ำ ( V) ซึ่งเป็นการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ โดยการหาความเร็วในการไหลของน้ำ (V) จะนำเอาค่า อัตราการไหล (Q) มาแทนในสูตร ดังนี้

$$V = \frac{Q}{A} \text{ m/s}$$

3. หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ( Reynold Number) สำหรับท่อกลม ซึ่งเป็นการหาลักษณะของการไหลว่าเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าได้ ดังนี้

ถ้า  $N_R$  น้อยกว่า 2000 การไหลของของไหลจะเป็นแบบราบเรียบ

แต่ ถ้าหาก  $N_R$  มากกว่า 2000 มาก ๆ การไหลของของไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน

จากสูตร  $N_R = \frac{DV\rho}{\mu}$  หรือ  $\frac{VD}{\nu}$  ไม่มีหน่วย

นำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D), ความเร็วในการไหลของน้ำ ( V) และค่าคุณสมบัติของน้ำ ได้แก่ ความหนาแน่น ( $\rho$ )ความหนืดสัมบูรณ์ ( $\mu$ )หรือ ความหนืดจลน์ ( $\nu$ )ที่กำหนดไว้ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง นำมาแทนค่าในสูตรข้างต้น

จากการคำนวณและการเปรียบเทียบค่าที่หาจากสูตร

ค่า  $N_R = \dots\dots\dots$  เป็นการไหลแบบ.....

4. หาแฟคเตอร์ความเสียดทาน (f) จะเป็นค่าส่วนหนึ่งที่จะใช้สำหรับการหาการสูญเสียหลัก ดังนั้น เราจึงต้องทำการหาค่า แฟคเตอร์ความเสียดทาน (f) เสียก่อน โดยการทำตามลำดับการหาแฟคเตอร์ของความเสียดทาน ดังนี้

4.1 หาค่าความขรุขระของท่อ  $\epsilon$  จากตารางชนิดของวัสดุที่ทำท่อ  
ท่อที่ทำจากวัสดุพลาสติก มีค่า  $\epsilon = 0.0$

4.2 หาค่าอัตราส่วน  $\epsilon/D$  คือความขรุขระ / เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

4.3 หาค่า  $f$  จากแผนภาพมูดี้(Moody Chart) โดยใช้  $N_R$  และ  $\epsilon/D$  สามารถสังเกตได้จากรูปที่ 6

5. การหาค่าการสูญเสียหลัก (Major Loss) ซึ่งจากการหาค่าต่างๆ มาแล้วข้างต้น ก็จะสามารถนำค่าเหล่านั้นมาทำการแทนค่าในสูตรการหาค่าการสูญเสียหลักในท่อกลม ได้ดังนี้

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{m of water}$$

6. การหาค่าการสูญเสียรอง (Minor Loss) โดยส่วนนี้จะมีการเพิ่มเติมในการหาค่าสัมประสิทธิ์ ( $K_L$ ) การสูญเสียย่อยของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะต้องทำการหาค่าจากตาราง ที่ 1 และจึงนำมาแทนค่าเพื่อทำการหาค่าการสูญเสียรอง โดยสามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

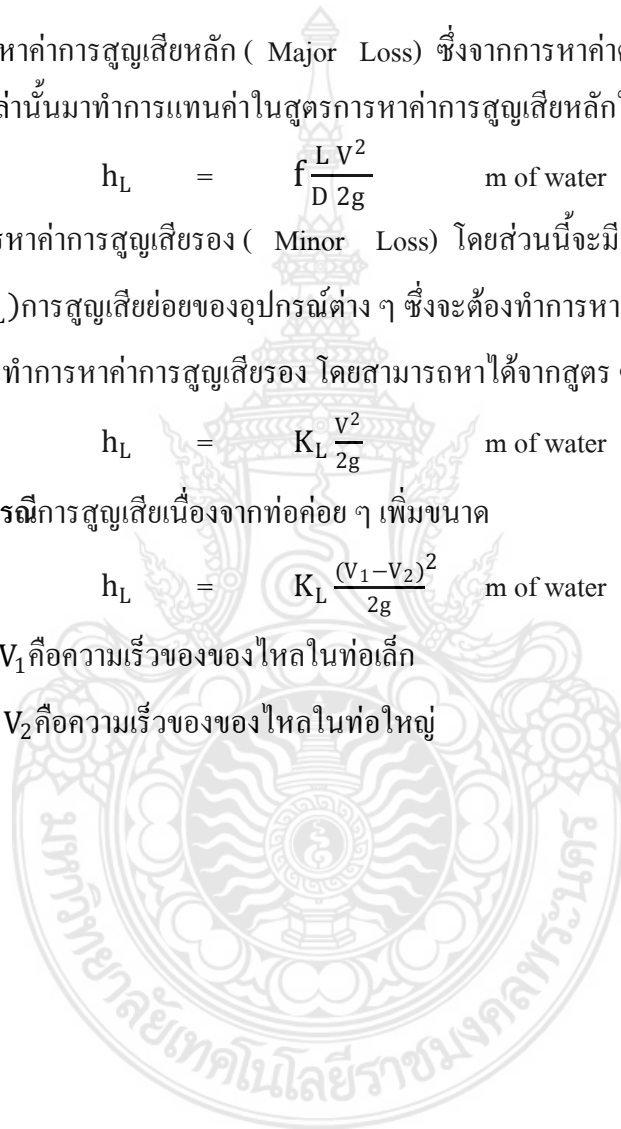
$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad \text{m of water}$$

เฉพาะกรณีการสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆ เพิ่มขนาด

$$h_L = K_L \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad \text{m of water}$$

\* ในที่นี้  $V_1$  คือความเร็วของของไหลในท่อเล็ก

\* ในที่นี้  $V_2$  คือความเร็วของของไหลในท่อใหญ่



ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของท่อและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองภายใน  
 ขอบเขต

รายละเอียดของท่อและอุปกรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ( $K_L$ )
ประตูน้ำแบบบาน (Gate valve)	0.19*
เปิด $\frac{3}{4}$	1.1
เปิด $\frac{1}{2}$	5.6
เปิด $\frac{1}{4}$	24.0
ข้อต่อท่อแบบค้อยๆ เพิ่มขนาด	0.28
ข้องอมาตรฐาน (ข้องอ $90^\circ$ ) (Standard elbow)	0.9
การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ - รอยต่อมีส่วนยื่นเข้าในถัง (Reentrant)	0.8

ที่มา : ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. หนังสือกลศาสตร์ของไหล, ไม่ปรากฏปี: 221

หมายเหตุ \* หมายถึง สัมประสิทธิ์เมื่อประตูน้ำเปิดเต็มที่

7. การหาค่าการสูญเสียรวม เป็นการนำเอาค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง ที่เกิดขึ้น  
 ภายในขอบเขตของท่อชุดทดลองมาทำการรวมกัน ซึ่งสามารถทำได้ตามขั้นตอน ดังนี้

การสูญเสียหลักรวม เป็นการนำเอาค่าการสูญเสียหลักของท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่าน  
 ศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว มาทำการรวมกัน

$$h_L = \dots\dots\dots \text{ m of water}$$

การสูญเสียรองรวม เป็นการนำเอาค่าการสูญเสียรองของท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่าน  
 ศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว มาทำการรวมกัน

$$h_L = \dots\dots\dots \text{ m of water}$$

การสูญเสียรวม เป็นการนำเอาค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตของท่อชุด  
 ลองที่ใช้ในการหาค่ามาทำการรวมกัน

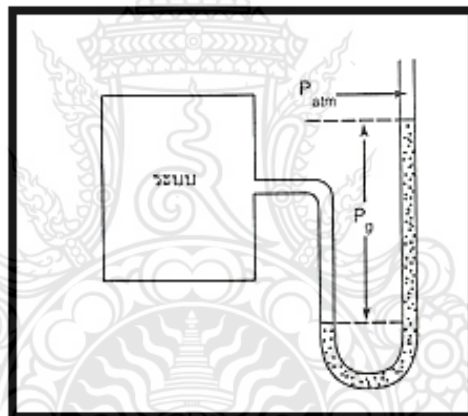
$$h_L = \dots\dots\dots \text{ m of water}$$

8. การหาค่าความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) ความดันสัมบูรณ์ คือความดันที่วัดได้

หรืออ่านได้เมื่อเทียบกับความดันศูนย์ สำหรับการทดลองในชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายใน  
 ท่อนี้ จะเป็นการหาค่าความดันสัมบูรณ์ภายในระบบท่อชุดทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชุดดังนี้  
 ท่อชุดทดลองที่ 1 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว) คือ ท่อชุดทดลองที่มีขนาดเส้นผ่าน  
 ศูนย์กลางภายในเท่ากับ 18 มิลลิเมตร

ท่อชุดทดลองที่ 2 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว) คือ ท่อชุดทดลองที่มีขนาดเส้นผ่าน  
 ศูนย์กลางภายในเท่ากับ 25 มิลลิเมตร

การหาค่าความดันสัมบูรณ์ภายในท่อของชุดทดลอง จะเป็นการอ่านค่าความต่างของความ  
 สูงของระดับน้ำที่อยู่ภายในมาโนมิเตอร์รูปตัวยู (Manometer) ทั้งสองด้าน โดยทำการเปรียบเทียบ  
 ความต่าง ซึ่งจะมีหน่วยเป็น เซนติเมตร และนำค่าความสูงนั้นมาแทนในสูตรการหาค่าความดัน  
 สัมบูรณ์โดยสามารถแบ่งแยะได้เป็น 2 กรณี ดังนี้



รูปที่ 1 ความดันเกจ (Gauge Pressure)

ที่มา : ประเสริฐ เทียนนิมิตร. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์, 2554 : 38

กรณีที่ 1 ถ้าความดันของระบบสูงกว่าความดันของบรรยากาศ ความดันที่อ่านได้จาก  
 มาตรวัดเรียกว่า ความดันเกจ (Gauge Pressure) ซึ่งจะสามารถหาความดันสัมบูรณ์ของระบบได้จาก  
 สูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์ } P_{\text{abs}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}} \quad \text{bar}$$

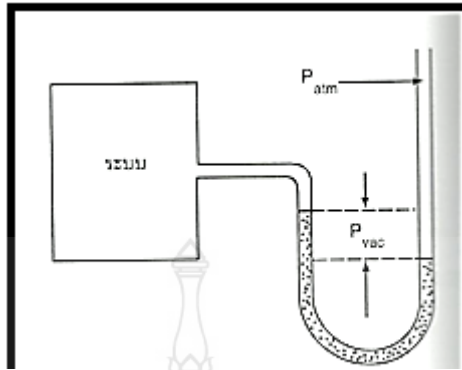
$$P_{\text{gauge}} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหลภายในมาโนมิเตอร์มีค่าเท่ากับ  $995.7 \text{ kg/m}^3$

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ m/s}^2$

$z$  = ค่าความสูงของของไหลภายในมาโนมิเตอร์ มีหน่วยเป็น m

(สูตรนี้ใช้เมื่อความดันของระบบสูงกว่าความดันของบรรยากาศ)



รูปที่ 2 ความดันสุญญากาศ (Vacuum Gauge Pressure)

ที่มา : ประเสริฐ เทียนนิมิตร. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์, 2554 : 38

กรณีที่ 2 ถ้าความดันของระบบต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ ความดันที่อ่านได้จากมาตรวัดเรียกว่า ความดันสุญญากาศ (Vacuum Gauge Pressure) ซึ่งจะสามารถหาความดันสัมบูรณ์ของระบบได้จากสูตร

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} \quad P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{vacuum}} \quad \text{bar}$$

$$P_{\text{vacuum}} = (\rho)(g)(z) \quad \text{bar}$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหลภายในมาโนมิเตอร์มีค่าเท่ากับ  $995.7 \text{ kg/m}^3$

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ m/s}^2$

$z$  = ค่าความสูงของของไหลภายในมาโนมิเตอร์ มีหน่วยเป็น m

(สูตรนี้ใช้เมื่อความดันของระบบต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ)

แบบบันทึกผลการทดลอง

หาค่าอัตราการไหล (Q)

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 หาค่าอัตราการไหล (Q)

ลักษณะการเปิด เกทวาล์ว (รอบ)	จับเวลาและทำการสังเกต ค่าอัตราการไหล (Q) (m <sup>3</sup> /min)		สรุปค่าอัตราการไหล (Q) (m <sup>3</sup> /min)
	ค่าเดิม		
	ค่า ใหม่		

สรุปผลการหาค่าอัตราการไหล (Q) ที่ได้จากการจับเวลาและทำการสังเกตจากมาตรวัดน้ำ โดยสรุป  
ค่าอัตราการไหล จากตารางที่ 1 ดังนี้

วิธีทำ

สรุปค่าอัตราการไหล (Q) = ค่าใหม่ - ค่าเดิม

= .....m<sup>3</sup>/min

สรุปค่าอัตราการไหล (Q) = .....m<sup>3</sup>/min

หาค่าความเร็วในการไหล (V)

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2 หาค่าความเร็วในการไหล (V)

ท่อ ชุดทดลอง ขนาด (นิ้ว)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในท่อ(D) (m)	ค่าอัตราการไหล (Q)ที่ได้ จากตารางบันทึกผลการ ทดลองที่ 1.1 (m <sup>3</sup> /s)	ค่าความเร็วในการไหลของน้ำ (V) จากสูตร $V = \frac{Q}{A}$ (m/s)
$\frac{1}{2}$			
1			

**หาค่า (Reynold Number) สำหรับท่อกลม**

ท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

ท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**หาแฟคเตอร์ความเสียดทาน (f)**

หาค่าความขรุขระของท่อ  $\epsilon$  จากตารางชนิดของวัสดุที่ทำท่อ

ท่อที่ทำจากวัสดุพลาสติก มีค่า  $\epsilon = \dots\dots\dots$

หาอัตราส่วน  $\epsilon/D$  คือความขรุขระ / เส้นผ่านศูนย์กลางของภายในท่อ

ท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว มีอัตราส่วน  $\epsilon/D = \dots\dots\dots$

ท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีอัตราส่วน  $\epsilon/D = \dots\dots\dots$

หาค่า f จากแผนภาพมู้ดดี (Moody Chart) โดยใช้  $N_R$  และ  $\epsilon/D$

ท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว มีค่า  $f = \dots\dots\dots$

ท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีค่า  $f = \dots\dots\dots$

**หาค่าการสูญเสียหลัก ( Major Loss )**

ท่อชุดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว



ท่อดูดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

หาค่าการสูญเสียรอง ( Minor Loss )

ท่อดูดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว

ท่อดูดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

หาค่าการสูญเสียรวม

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3 หาค่าการสูญเสียรวม

ท่อ ชุดทดลองขนาด (นิ้ว)	การสูญเสียหลัก (m of water)	การสูญเสียรอง (m of water)	การสูญเสียรวม (m of water)
$\frac{1}{2}$			
1			
รวมค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตของท่อชุดทดลอง			



ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5

คำชี้แจง การบันทึกค่าความดัน เมื่อมีการปรับเพิ่มความดันภายในท่อด้วยโดยการเปิดบอลวาล์ว เพียงครึ่งหนึ่ง  $\frac{2}{3}$

ท่อชุดทดลองที่	ค่าอัตราการไหล (Q) (m <sup>3</sup> /s)	การสังเกตมาโนมิเตอร์	
		ลักษณะของความดันภายในท่อชุดทดลอง	ค่าความต่างของความสูงภายในมาโนมิเตอร์(m)
1			
2			

ท่อชุดทดลองที่ 1

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ท่อชุดทดลองที่ 2

.....

.....

.....

.....

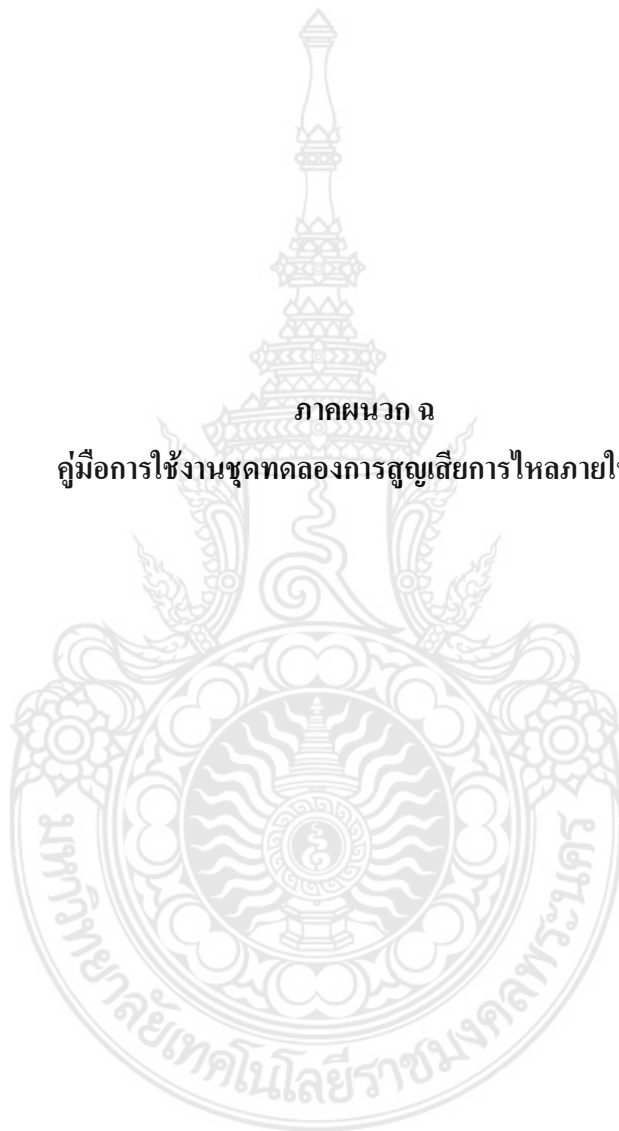
.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ฉ  
คู่มือการใช้งานชุดทดสอบการสูญเสียการไหลภายในท่อ





## คู่มือการใช้งาน

### ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ (Experiment Set of Pipe's Loss Flow)



## คำนำ

คู่มือการใช้งานชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อฉบับนี้ มีจุดประสงค์เพื่ออธิบายวิธีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ วิธีการใช้งานชุดทดลอง และการบำรุงรักษาชุดทดลอง ซึ่งผู้ปฏิบัติการทดลองสามารถนำคู่มือไปใช้ร่วมกับใบความรู้ และใบงานของชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อนี้ได้ ทั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำมีความหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือการใช้งานชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อนี้ จะสามารถเป็นประโยชน์สูงสุดต่อผู้ปฏิบัติการทดลอง



## สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
1. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	1
2. วิธีการทดลอง	4
3. การบำรุงรักษาชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ	10



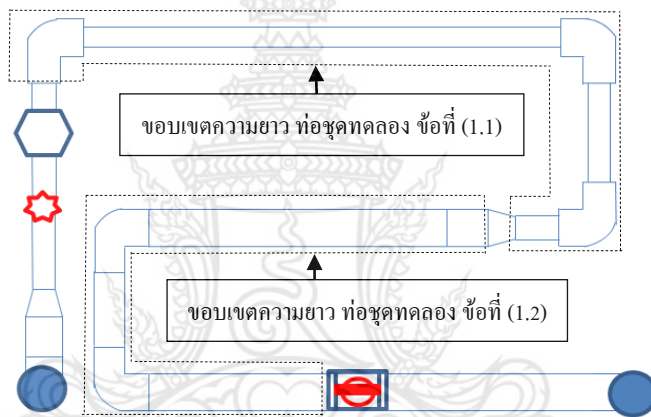


## 1. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

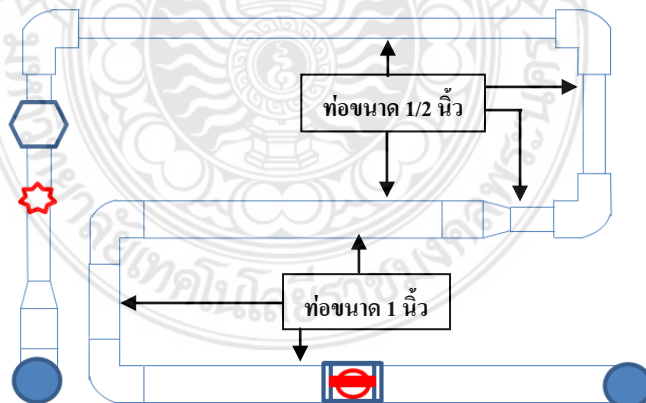
1.1 ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ( Flow loss in pipes Experimental set) ประกอบด้วยท่อชุดทดลองซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.1.1 ท่อชุดทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 18 มิลลิเมตร และมีขอบเขตของความยาวที่ใช้สำหรับการหาค่าการสูญเสียหลักทั้งหมด เท่ากับ 110 เซนติเมตร (1.1 เมตร) สามารถสังเกตได้จากรูปที่ 1 และ 2

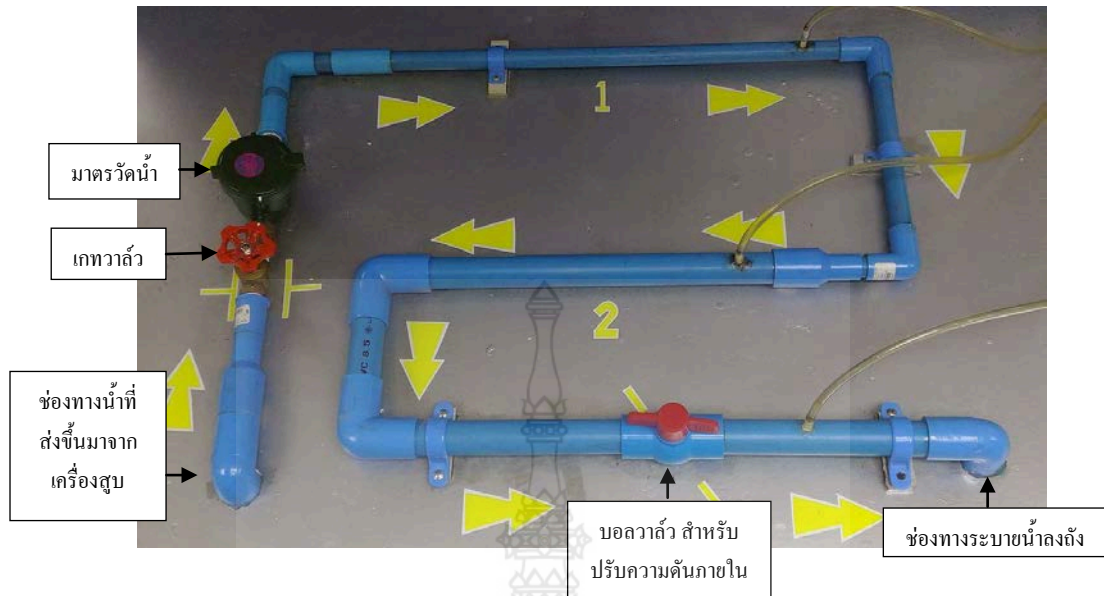
1.1.2 ท่อชุดทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร และมีขอบเขตของความยาวที่ใช้สำหรับการหาค่าการสูญเสียหลักทั้งหมด เท่ากับ 97 เซนติเมตร (0.97 เมตร) สามารถสังเกตได้จากรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 แสดงขอบเขตการหาค่าการสูญเสียหลักของท่อชุดทดลอง



รูปที่ 2 แสดงขนาดท่อชุดทดลองที่อยู่ในขอบเขตสำหรับการหาค่าการสูญเสีย



รูปที่ 3 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1.2 มาตรวัดน้ำ (Water Meter) สังเกตได้จากรูปที่ 3

1.3 เกทวาล์ว (Gate Valve) สำหรับปรับอัตราการไหล สังเกตได้จากรูปที่ 3

1.4 บอลวาล์ว (Ball Valve) สำหรับระบายน้ำก่อนการทดลอง สังเกตได้จากรูปที่ 3

1.5 บอลวาล์ว (Ball Valve) สำหรับปรับความดันภายในท่อชุดทดลอง สังเกตได้จากรูปที่ 3

1.6 มาตรวัดมาโนมิเตอร์ (Manometer) สำหรับวัดความดันภายในท่อชุดทดลอง สังเกตได้

จากรูปที่ 4



รูปที่ 4 มาตรวัดมาโนมิเตอร์ (Manometer)

1.7 ถังบรรจุน้ำที่ใช้สำหรับการทดลอง โดยบรรจุน้ำจำนวน 28 ลิตร สังเกตได้จากรูปที่ 5



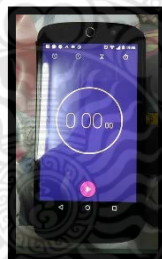
รูปที่ 5 ถังบรรจุน้ำที่ใช้สำหรับการทดลอง

1.8 เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ขนาด 0.5 แรงม้า 220 – 240 โวลต์ สังเกตได้จากรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง

1.9 นาฬิกาจับเวลาหรือโทรศัพท์มือถือที่สามารถทำการจับเวลาได้ สังเกตได้จากรูปที่ 7



รูปที่ 7 โทรศัพท์มือถือที่สามารถทำการจับเวลาได้

1.10 เครื่องคิดเลข สำหรับใช้ในการคำนวณ สังเกตได้จากรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องคิดเลข

## 2. วิธีการทดลอง

1. ทำการเสียบปลั๊กสายไฟของชุดทดลองเข้ากับปลั๊กภายในบริเวณที่จะทำการทดลอง  
สังเกตจากรูปที่ 9



รูปที่ 9 เสียบปลั๊กสายไฟของชุดทดลอง  
เข้ากับปลั๊กภายในบริเวณที่จะทำการทดลอง

2. ทำการหมุนเกทวาล์วให้อยู่ที่ตำแหน่งปิดสนิท สังเกตจากรูปที่ 10 พร้อมกับทำการเปิด  
บอลวาล์วระบายน้ำด้านล่าง สังเกตจากรูปที่ 11

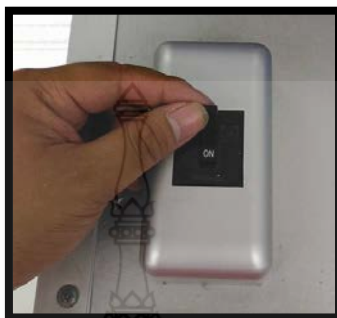


รูปที่ 10 หมุนเกทวาล์วให้อยู่ที่ตำแหน่งปิดสนิท



รูปที่ 11 เปิดบอลวาล์วระบายน้ำด้านล่าง

3. ทำการเปิดเบรกเกอร์ให้ไปที่ตำแหน่งเริ่มการทำงาน( ON)เพื่อเปิดเครื่องสูบให้เตรียมพร้อมสำหรับการทดลองสังเกตได้จากรูปที่ 12



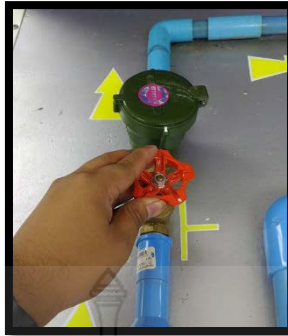
รูปที่ 12 เปิดเบรกเกอร์ให้ไปที่ตำแหน่งเริ่มการทำงาน (ON)

4. ทำการเปิดวาล์วไต่ลมของมาโนมิเตอร์ทุกตัว (ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง) และรอนระดับน้ำภายในมาโนมิเตอร์แต่ละชุดมีระดับที่เท่ากัน



รูปที่ 13 เปิดวาล์วไต่ลมของมาโนมิเตอร์ทุกตัว (ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง)

5. เริ่มทำการทดลองโดยการหมุนเกวาล์วตามลักษณะการเปิด สังเกตได้จากรูปที่ 14 โดยลักษณะการเปิดแต่ละครั้งจะแบ่งออกเป็นครั้งละ 1 ใบงาน ซึ่งวิธีการเปิดสามารถทำตามได้ดังนี้



รูปที่ 14 เริ่มทำการทดลองโดยการหมุนเกทวาล์ว

5.1 เปิดเต็มที่ คือ ทำการหมุนเกทวาล์ว 4 รอบ และกับอีก  $\frac{1}{2}$  รอบ

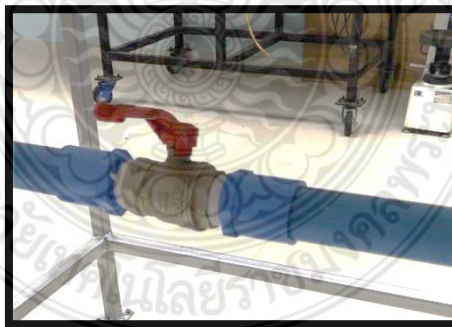
5.2 เปิดเพียง  $\frac{3}{4}$  คือ ทำการหมุนเกทวาล์ว 3 รอบ และกับอีก  $\frac{3}{8}$  รอบ

5.3 เปิดเพียง  $\frac{1}{2}$  คือ ทำการหมุนเกทวาล์ว 2 รอบ และกับอีก  $\frac{1}{4}$  รอบ

5.4 เปิดเพียง  $\frac{1}{4}$  คือ ทำการหมุนเกทวาล์ว 1 รอบ และกับอีก  $\frac{1}{8}$  รอบ

หมายเหตุ : สาเหตุที่ต้องทำการหมุนเกทวาล์วตามลักษณะข้างต้น เนื่องจากทุกลักษณะการหมุนมีผลต่อการหาค่าการสูญเสียการไหลภายในท่อ ซึ่งถูกกำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความแตกต่างกัน จึงต้องทำการกำหนดระยะเวลาของการหมุนตามวิธีการข้างต้น

6. ค่อยๆ ทำการปิดวาล์วระบายน้ำด้านล่าง สังเกตได้จากรูปที่ 15 และปิดวาล์วไถ่ลม (ด้านหลัง) ทุกตัวของมาโนมิเตอร์



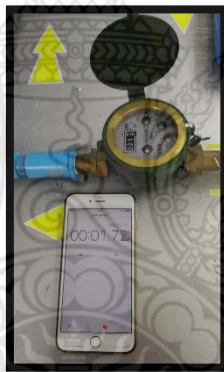
รูปที่ 15 ปิดวาล์วระบายน้ำด้านล่าง





รูปที่ 16 ปิดวาล์วได้ลม (ด้านหลัง) ทุกตัวของมาโนมิเตอร์

7. ทำการสังเกตมาตรวัดน้ำและทำการจับเวลา สังเกตได้จากรูปที่ 17 พร้อมทั้งให้ผู้ทดลองทำการบันทึกค่าอัตราการไหลทั้งก่อนทำการจับเวลา และหลังทำการจับเวลา ลงในแบบบันทึกผลการทดลองในส่วนต่างๆของใบงานซึ่งรายละเอียดสามารถดูได้จากในส่วนของทฤษฎี



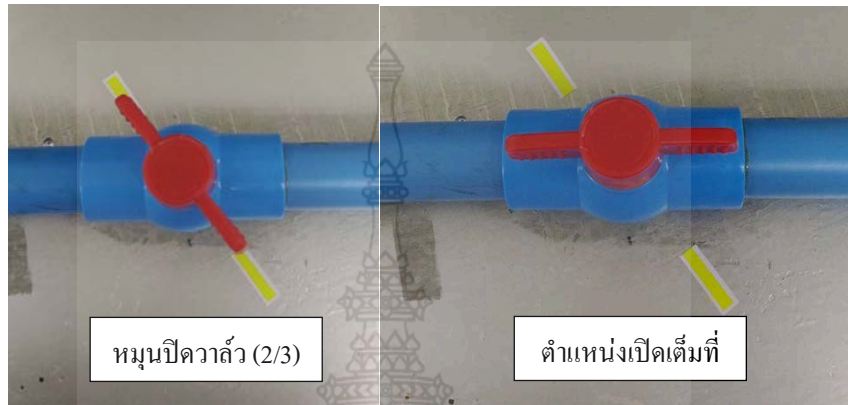
รูปที่ 17 สังเกตมาตรวัดน้ำและทำการจับเวลา

8. ทำการปิดวาล์วได้ลมทางด้านหน้าของมาโนมิเตอร์ และทำการสังเกตค่าความต่างของระดับน้ำภายในมาโนมิเตอร์ สังเกตได้จากรูปที่ 18 พร้อมทั้งทำการบันทึกลงในแบบบันทึกผลการทดลอง



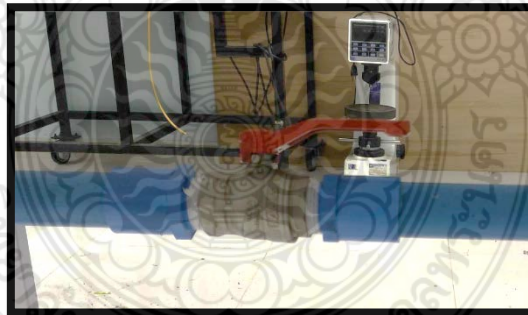
รูปที่ 18 ปิดวาล์วได้ลมทางด้านหน้าของมาโนมิเตอร์  
และทำการสังเกตค่าความต่างของระดับน้ำ

9. ทำการปรับความดันด้วยบอลวาล์วที่ท่อชุดทดลองด้านบน โดยทำการหมุนปิดบอลวาล์วไปประมาณครึ่งหนึ่ง หรือ  $\frac{2}{3}$  รอบ และทำการสังเกตค่าความต่างของระดับน้ำภายในมาโนมิเตอร์ พร้อมทำการบันทึกลงในแบบบันทึกผลการทดลองเมื่อบันทึกค่าเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการหมุนบอลวาล์วให้กลับไปอยู่ตำแหน่งเปิดเต็มที่ดังเดิม



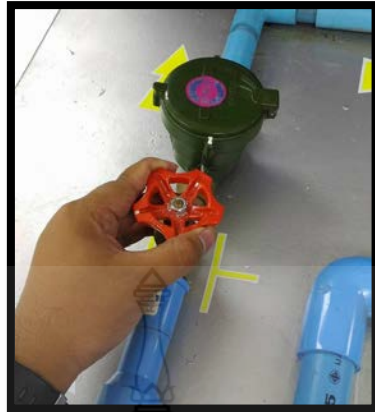
รูปที่ 19 ปรับความดันด้วยบอลวาล์วที่ท่อชุดทดลอง

10. หลังจากทำการทดลองหาอัตราการไหลและสังเกตค่าความต่างของระดับน้ำภายในมาโนมิเตอร์แล้ว ให้ค่อยๆ ทำการเปิดวาล์วระบายน้ำด้านล่างและค่อยๆ ทำการหมุนปิดเกตวาล์วด้านบน สังเกตได้จากรูปที่ 20 และ 21 เพื่อเตรียมการทดลองการเปิดวาล์วลักษณะอื่นในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 20 เปิดวาล์วระบายน้ำด้านล่าง





รูปที่ 21 หมุนปิดเกทวาล์วด้านบน

11. ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 4 – 10 จนครบตามลักษณะการเปิดเกทวาล์วที่ 5.1 – 5.4
12. เมื่อทำการทดลองครบตามลักษณะการเปิดเกทวาล์วที่ 5.1 – 5.4 เรียบร้อยแล้ว ซึ่งการใช้ชุดทดลองจะต้องดำเนินมาจนถึงขั้นตอนที่ 10 และผู้ทดลองจึงจะทำการปิดเบรกเกอร์มาที่ตำแหน่งหยุดทำงาน(OFF)เพื่อหยุดการทำงานของเครื่องสูบ โดยสังเกตได้จากรูปที่ 22



รูปที่ 22 ปิดเบรกเกอร์มาที่ตำแหน่งหยุดทำงาน (OFF)

13. ทำการตรวจสอบท่อชุดทดลองในส่วนต่างๆ ให้อยู่ในสภาพปกติ และทำการถอดปลั๊กสายไฟออกมาเก็บให้เรียบร้อยที่ชุดทดลอง สังเกตได้จากรูปที่ 23



รูปที่ 23 ถอดปลั๊กสายไฟเก็บให้เรียบร้อย

หมายเหตุ : วิธีการทดลองนี้จะไม่ได้กล่าวถึง ขั้นตอนของการนำผลการทดลองไปทำการคำนวณในการหาการสูญเสียการไหลภายในท่อ แต่การคำนวณจะบอกเป็นวิธีการอยู่ในส่วนของทฤษฎีในใบความรู้

### **3. การบำรุงรักษา ชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ**

1. เมื่อมีการเรียนการสอนที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับชุดทดลอง ผู้ปฏิบัติการทดลองควรเตรียมชุดทดลองให้มีความพร้อมสำหรับการใช้งาน โดยเริ่มจากการทำความสะอาดถังบรรจุน้ำให้มีความสะอาด พร้อมกับเติมน้ำที่มีความสะอาด เพื่อเป็นการรักษาความสะอาดภายในระบบท่อของชุดทดลอง
2. ก่อนทำการใช้งานชุดทดลองทุกครั้ง ผู้ทำการทดลองควรตรวจสอบสภาพท่อชุดทดลอง และตรวจสอบระดับน้ำที่มีอยู่ภายในถังบรรจุ โดยให้มีความพร้อมสำหรับการใช้งานเสมอ
3. เมื่อทำการใช้งานชุดทดลอง ผู้ทำการทดลองควรศึกษาวิธีการใช้งานชุดทดลองจากใบงานก่อนทุกครั้ง เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในระบบ
4. เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว ผู้ทำการทดลองควรทำความสะอาดชุดทดลองทุกครั้ง เพื่อให้เกิดความเรียบร้อยและพร้อมใช้สำหรับการทดลองในครั้งต่อไป
5. หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นตามเนื้อหาของใบงานหรือใบความรู้แล้ว ผู้ปฏิบัติการทดลองควรทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่บรรจุอยู่ภายในถังออกทุกครั้ง
6. เมื่ออุปกรณ์ภายในชุดทดลอง เกิดความเสื่อมสภาพหรือเกิดการเสียหาย ผู้ใช้งานควรทำการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ และควรทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีความพร้อมก่อนการทดลอง

ภาคผนวก ช  
แบบประเมินคุณภาพสำหรับผู้เชี่ยวชาญ



## แบบประเมินคุณภาพสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

**คำชี้แจง:** แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญ เพื่อใช้ในการประเมินความเหมาะสมของชุด

ทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ หลังจากที่ท่านได้ทำการทดลองใช้งานแล้ว

โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ในช่องที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมที่สุด

คะแนนพิจารณา	+ 1	หมายถึง	เมื่อแน่ใจว่าเหมาะสม
0		หมายถึง	เมื่อไม่แน่ใจว่าเหมาะสมหรือไม่
	- 1	หมายถึง	เมื่อแน่ใจว่าไม่เหมาะสม

รายการประเมิน	คะแนนการพิจารณา		
	+1	0	-1
<b>1. ด้านคุณสมบัติของโครงสร้าง</b>			
1.1 ความเหมาะสมของขนาดชุดทดลอง			
1.2 ความเหมาะสมในการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์			
1.3 ความคงทนแข็งแรง			
1.4 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน			
1.5 ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย			
<b>2. ด้านการนำไปใช้งาน</b>			
2.1 ลำดับขั้นตอนการใช้ชุดทดลองมีความเหมาะสมเข้าใจง่าย			
2.2 เหมาะสมกับวัตถุประสงค์			
2.3 เวลาในการใช้ชุดทดลองมีความเหมาะสม			
2.4 ใช้เป็นชุดทดลองการสูญเสียการไหลภายในท่อ ได้จริง			
<b>3. ด้านความรู้เรื่องการสูญเสียการไหลภายในท่อ</b>			
3.1 การหาค่าอัตราการไหลผ่านมาตรวัดน้ำด้วยการจับเวลา			
3.2 การอ่านค่าความต่างของความสูงของของเหลวภายในมาโนมิเตอร์			
3.3 การเลือกใช้ท่อที่มีขนาดเหมาะสมกับชุดทดลอง			
รายการประเมิน	คะแนนการพิจารณา		
	+1	0	-1
<b>4. ด้านการบำรุงรักษา</b>			

4.1 มีความสะดวกในการบำรุงรักษา			
4.2 มีคู่มือแนะนำวิธีการใช้และวิธีการบำรุงรักษา			
4.3 เมื่ออุปกรณ์ภายในชุดทดลองเกิดการชำรุด เสียหาย สามารถหาซื้ออุปกรณ์ในการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมได้ง่าย			
4.4 การทำความสะอาดอุปกรณ์สามารถทำได้สะดวก			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

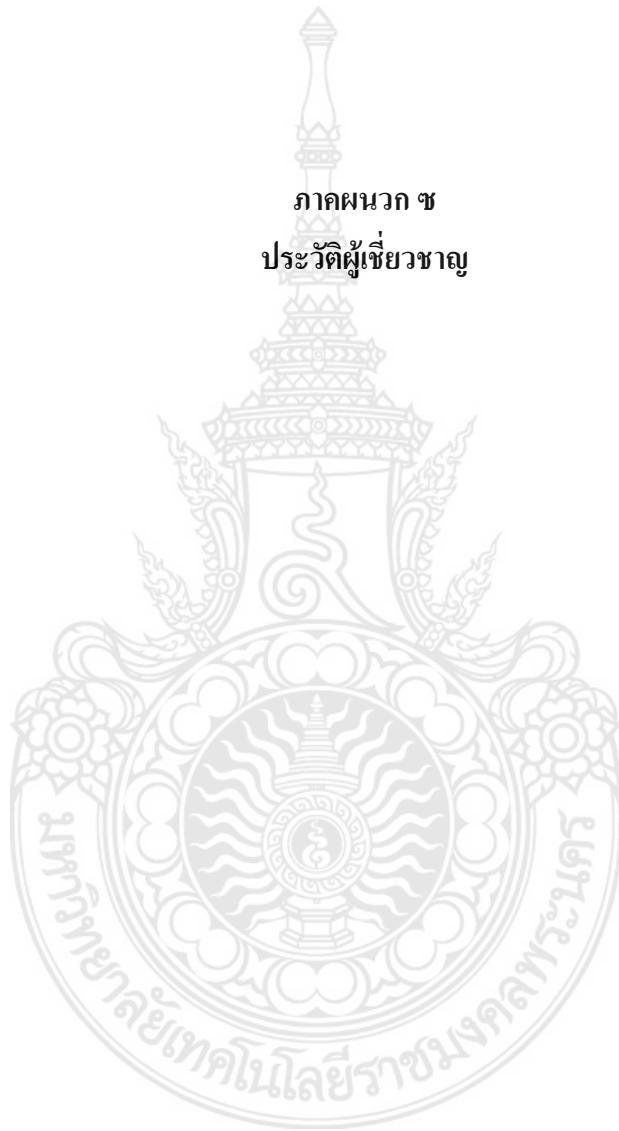
.....

ผู้เชี่ยวชาญ.....

( )



ภาคผนวก ข  
ประวัติผู้เชี่ยวชาญ



## ประวัติผู้เชี่ยวชาญ



ชื่อ – นามสกุล  
ประวัติการศึกษา  
สถานที่ทำงาน

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน  
เบอร์โทรศัพท์

นาย สุวรรณ ภูติวิชย์  
ปริญญาโท  
สถาบันพัฒนาครู คณาจารย์  
และบุคลากรทางการศึกษา  
นักพัฒนาทรัพยากรบุคคล  
087 - 5192485



## ประวัติผู้เชี่ยวชาญ



ชื่อ-นามสกุล นาย วชิรินทร์ ภู่อำหงษ์  
ประวัติการศึกษา  
สถานที่ทำงาน

เศรษฐกิจ แขวง บางแคเหนือ  
เขตบางแค กรุงเทพฯ  
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน  
เอชทีเค  
เบอร์โทรศัพท์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง  
ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอชทีเค  
401/11-12 ถ.หมู่บ้าน

10610

ผู้จัดการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด

081 - 6181586





## ประวัติผู้เชี่ยวชาญ



ชื่อ-นามสกุล นาย วิทยา โทนแก้ว

ประวัติการศึกษา

สถานที่ทำงาน

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน

ประกอบอาชีพส่วนตัว

เบอร์โทรศัพท์

ปริญญาตรี

-

(ข้าราชการบำนาญ)

092 - 6940082

