

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การสร้างและหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของอริฟิสโดยวิธีทดลอง**

**DESIGN AND EXAMINE COEFFICIENT OF ORIFICE DISCHARGE WITH TESTING**



โดย  
นาย ธีรยุทธ บาลี

รฟ.  
5641ก  
2550

เลขหมู่.....**81767**  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี...**24** ส.ย. 2551

b. **11937488**  
i. ....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

**ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างและหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสโดยวิธีทดลอง  
DESIGN AND EXAMINE COEFFICIENT OF ORIFICE DISCHARGE WITH  
TESTING



ปฏิญานี้พินธน์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสร้างและหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสโดยวิธีทดลอง

**DESIGN AND EXAMINE COEFFICIENT OF ORIFICE DISCHARGE WITH TESTING**

ผู้จัดทำ

นายธีรยุทธ บาลี

รหัสประจำตัว 46010319



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การสร้างและการหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสโดยวิธีทดลอง

นาย ชีรยุทธ บาลี 46010319

รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสมิเตอร์นี้แผ่นออริฟิสทำการออกแบบตามมาตรฐานสากลและสร้างขึ้นจากเหล็กสเตนเลสตีลซึ่งมีความหนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่น 67 มิลลิเมตรและช่องเปิด(ช่องออริฟิส)มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.7 มิลลิเมตร จากนั้นนำแมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู(U-tube Manometer)มาต่อเข้ากับชุดของออริฟิสมิเตอร์ซึ่งจะเป็นการต่อแบบ Corner Tappings แล้วนำชุดออริฟิสมิเตอร์มาติดตั้งเข้ากับระบบท่อและปั้มน้ำแล้วทำการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของน้ำโดยบันทึกค่าผลต่างของระดับความสูง(h)ของปรอทในแมนอมิเตอร์และปริมาตรของน้ำที่ตวงได้ในเวลา 30 วินาทีที่ระดับค่าความสูง h ต่างๆกัน ทำการทดลอง 7 ค่า ค่าละ 3 ครั้งจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของแต่ละค่า h แล้วนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส(Coefficient of Discharge, Cd)ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6365 เพื่อใช้คำนวณหาอัตราการไหลของน้ำตามทฤษฎีและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส(Cd)กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์(Re)จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส (Cd) จะเป็นผกผันกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) และค่าอัตราการไหลที่วัดได้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด  $\pm 3.9625$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DESIGN AND EXAMINE COEFFICIENT OF ORIFICE DISCHARGE WITH TESTING

Teerayut Balee  
 Assc.Prof.Chamlong Prabkeo Advisor

### ABSTRACT

This Orifice meter designed with ISO and created orifice plate with stainless steel . The thickness of the orifice plate was 3 mm,diameter of orifice plate was 67 mm and diameter of Orifice hole was 34.7mm. After that used U-tube Manometer to joint Orifice meter way Corner Tappings and joint to pump. Test measurement of fluid in pipe and note different higher. Test 7 value once 3 value after that to calculate to average flow rate of water for calculate to Coefficient of Discharge (Cd) that 0.6365 . Used Coefficient of Discharge to calculate to flow rate of water by theory and found the related between Coefficient of Discharge (Cd) and Reynolds Number (Re). Form studied found flow rate of water had been %error  $\pm 3.9625$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จเสร็จสิ้นลงได้ก็คือรศ.ดร.จำลอง ปรานแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือเอาใจใส่แนะนำและเป็นกำลังใจให้นักศึกษาด้วยความเป็นกันเองเสมอมาซึ่งผมซาบซึ้งและต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก และสุดท้ายที่ลืมเสียมิได้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้คือบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดีพร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ธีรยุทธ บาลี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	1
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.6 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานการอัดอัตรการไหลของออร์ฟิส	3
2.2 คำศัพท์ประสิทธิภาพ Discharge	6
2.3 แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู (U-tube Manometer)	6
2.4 Reliability และการเลือกใช้ให้เหมาะกับงาน	8
2.5 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อค่า Velocity ของ Flow ก่อนเข้าอุปกรณ์วัด	9
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	
3.1 ประเภทของแผ่นออร์ฟิส	11
3.1.1 แผ่นออร์ฟิสแบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice)	11
3.1.2 แผ่นออร์ฟิสแบบเซ็กเมนต์ (Segmental Orifice)	12
3.1.3 แผ่นออร์ฟิสแบบขอบคม (Sharp Edge Orifice)	12
3.2 โครงสร้างของแผ่นออร์ฟิส	14
3.3 การติดตั้งแผ่นออร์ฟิสวัดอัตราการไหล	15
3.4 การติดตั้งตัววัดความดันภายนอก	16
3.4.1 การติดตั้งตัววัดความดันแบบหัวมุม (Corner Tappings)	16
3.4.2 การติดตั้งตัววัดความดันแบบ D และ D/2 (D and D/2 Tappings)	17
3.4.3 การติดตั้งตัววัดความดันแบบ Flange Tappings	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## (สารบัญต่อ)

3.5	ขอบเขตของการใช้งาน	18
3.6	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออริฟิส	19
3.7	เหตุปัจจัยในการขยายตัว	19
3.8	ค่าความไม่แน่นอน	20
3.8.1	ค่าความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออริฟิส	20
3.8.2	ค่าความไม่แน่นอนของค่าปัจจัยการขยายตัว ( $\varepsilon$ )	20
3.9	ค่าความดันสูญเสีย	20
3.10	แผ่นออริฟิสและหน้าแปลนที่ออกแบบสำหรับใช้ในการทดลอง	21
บทที่ 4	การดำเนินงานวิจัย	
4.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
4.2	วิธีการทดลอง	24
4.2.1	ขั้นตอนการออกแบบ	24
4.2.2	ขั้นตอนการเก็บข้อมูล	24
4.2.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล	25
4.3	ผลการทดลอง	26
บทที่ 5	สรุปผลและวิจารณ์	
5.1	สรุปผล	28
5.2	วิจารณ์ผลการทดลอง	28
บรรณานุกรม		29
ภาคผนวก ก		30
ภาคผนวก ข		34
ภาคผนวก ค		38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสมิเตอร์	
ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดท่อ, ขนาดรูเจาะและความหนาของแผ่นออร์ฟิส	12
ตารางที่ 3.2 ค่าการเบี่ยงเบนของขนาดรูเจาะของช่องออร์ฟิสในย่านที่ยังใช้งานได้	13
ตารางที่ 3.3 แสดงขอบเขตการใช้งานของการติดตั้งจุดวัดความดันในรูปแบบที่ต่าง ๆ กัน	18
ตารางที่ 3.4 แสดงขอบเขตค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนค่าความขรุขระต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อส่งทางด้านหน้าของแผ่นออร์ฟิส	18
ตารางที่ 3.5 ค่าความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออร์ฟิส	20
ตารางที่ 3.6 ค่าความไม่แน่นอนของค่าปัจจัยการขยายตัว	20
ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ	30
ตารางที่ 2 ผลการทดลองการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทดลองและค่าอัตราการไหลที่ได้จากทฤษฎี	31
ตารางที่ 3 ผลการทดลองการคำนวณค่าอัตราการไหลในระบบท่อ และการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ )	32
ตารางที่ 4 ผลการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่าย ( $C_d$ ) และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ( $Re$ )	33
ตารางที่ 5 แสดงค่ามาตรฐานของแผ่นออร์ฟิสที่ขนาดต่างๆกัน	34
ตารางที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านการไหล	35
ตารางที่ 7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\beta$ , ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ และค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของแผ่นออร์ฟิส	36
ตารางที่ 8 แสดงค่าความขรุขระของผนังท่อที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน	37

## สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎี	
รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของของไหลผ่านแผ่นออริฟิส	3
รูปที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การไหล C และ $Re/C$ กับ $Re$ สำหรับมาตรวัดอัตราแบบเวนจูรี,แบบหัวฉีดและแบบออริฟิส	5
รูปที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การ Discharge	6
รูปที่ 2.4 แมนอนิมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู	6
รูปที่ 2.5 ส่วนโค้งที่ผิวของของเหลวจะเกิดขึ้นเนื่องจากค่าความตึงผิว	7
รูปที่ 2.6 แสดงหลักการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลโดยใช้แมนอนิมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูกับออริฟิสเพื่อหาค่าอัตราการไหลของน้ำ	8
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลกับอัตราการไหล	8
รูปที่ 2.8 การสูญเสียความดันของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออริฟิส	9
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงทิศทางของ Velocity ในข้อต่อและช่องอ้อมถึงอุปกรณ์แบบอื่นๆ	10
บทที่ 3 เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสมิเตอร์	
รูปที่ 3.1 แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice)	11
รูปที่ 3.2 แผ่นออริฟิสแบบเซ็กเมนต์ (Segmental Orifice)	12
รูปที่ 3.3 แผ่นออริฟิสแบบขอบคม (Sharp Edge Orifice)	13
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของแผ่นออริฟิส	14
รูปที่ 3.5 การติดตั้งแผ่นออริฟิสเพื่อวัดอัตราการไหล	15
รูปที่ 3.6 โครงสร้างของหน้าแปลนวัดความดันแบบ Corner Tappings	16
รูปที่ 3.7 โครงสร้างของหน้าแปลนวัดความดันแบบ D และ D/2	17
รูปที่ 3.8 โครงสร้างของหน้าแปลนวัดความดันแบบ Flange Tapping	17
รูปที่ 3.9 แผ่นออริฟิสและหน้าแปลนที่ออกแบบมาสำหรับการทดลอง	21
บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัย	
รูปที่ 4.1 ชุดระบบการวัดอัตราการไหลที่ได้ออกแบบและจะจัดทำขึ้น	22
รูปที่ 4.2 แสดงชุดทดลองที่ได้ประกอบขึ้นจริง	22
รูปที่ 4.3 แผ่นออริฟิสที่ติดตั้งเข้ากับชุดทดลอง	23
รูปที่ 4.4 แมนอนิมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู	23
รูปที่ 4.5 ถังตวงบอกปริมาตรน้ำ	23
รูปที่ 4.6 ปิมน้ำ	23
รูปที่ 4.7 แผ่นออริฟิส	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆมักจะพบวัตถุอันตรายหรือผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะของของเหลวหรือของไหลซึ่งคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องและเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการแปรรูปหรือการขนถ่ายวัตถุอันตรายดังกล่าวคือคุณสมบัติของการไหลหรืออัตราการไหลนั่นเองดังนั้นการติดตั้งเครื่องมือที่ช่วยในการวัดอัตราการไหลจึงมีความสำคัญและจำเป็นมากต่อกระบวนการแปรรูปและการขนถ่ายในกระบวนการผลิต ขณะเดียวกันเครื่องมือที่ติดตั้งนั้นจะต้องมีความแม่นยำและเที่ยงตรงรวมทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการดำเนินการที่ต่ำ และเพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีคุณสมบัติตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจึงควรทำการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องมือวัดแบบออริฟิสมิเตอร์ขึ้นมาเพื่อให้ได้เครื่องมือวัดที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม และห้องปฏิบัติการทั่วไปด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างแผ่นออริฟิสตามมาตรฐานสากล
2. หาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสโดยวิธีทดลอง
3. ทดสอบวัดอัตราการไหลเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสที่ได้จากการทดลอง

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

แผ่นออริฟิสที่สร้างขึ้นจะสามารถวัดอัตราการไหลโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสในการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทดลอง (calibration)

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ก่อนการศึกษาจำเป็นต้องคำนวณค่าอัตราการไหลตามทฤษฎีเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลจริง อัตราการไหลของน้ำผ่านออริฟิสนี้คำนวณได้จากสมการแบร์นูลลีจากนั้นจึงสร้างมาตรวัดแบบออริฟิสโดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองจากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลที่คำนวณจากทฤษฎีแบร์นูลลี

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างแผ่นออริฟิสตามมาตรฐานสากล
2. ใช้วัดอัตราการไหลผ่านท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41.5 มิลลิเมตร
3. การติดตั้งจุดวัดความดันแตกต่างกันจะเป็นลักษณะ Corner Tappings
4. แมนอมิเตอร์ที่ใช้วัดความดันอ่านค่าเป็นมิลลิเมตรปรอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสตามมาตรฐานสากล
2. ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิส
3. ทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมด
4. ทำการทดลองเพื่อหาค่าอัตราการไหลของของเหลวในท่อด้วยการ calibration
5. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส(Cd)และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์( $Re_d$ )
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบและสร้างแผ่นออร์ฟิส
2. ได้เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูง
3. เพื่อใช้เป็นสื่อในการสอนและแสดงให้เห็นแบบจำลองในการไหลของของเหลวผ่านออร์ฟิส
4. เพื่อลดต้นทุนในการสั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศ



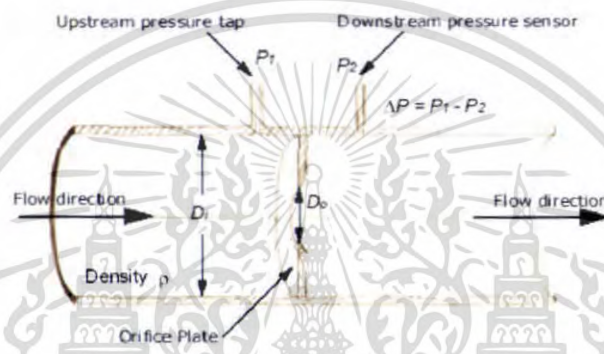
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานการวัดอัตราการไหลของออร์ฟิส

ออร์ฟิสมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลสำหรับของไหลในท่ออีกแบบหนึ่งโดยแผ่นออร์ฟิสจะมีลักษณะรูเจาะกลมตรง (Square Edged) และเจาะปากคม (Sharp Edged) พร้อมทั้งติดตั้งแมนอมิเตอร์แบบวัดผลต่างความดันของของไหลที่ไหลผ่านแผ่นออร์ฟิสดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของของไหลผ่านแผ่นออร์ฟิส

จากสมการแบร์นูลลีกล่าวไว้ว่า **ของไหลที่ปราศจากความเสียดทาน, ผลบวกของเอนทาลปี, เอนทาลปี และเอนทาลปี** **ความสูงในทุกจุดในเส้นทางการไหล จะมีค่าคงตัวเสมอ** หากสมการแบร์นูลลีจากรูปที่ 2.1 โดยเลือกหน้าตัด 1 เป็นหน้าตัดของท่อที่อยู่ด้านหน้าของแผ่นออร์ฟิส และหน้าตัด 2 เป็นหน้าตัดของวินาคอนแทรกต่า พบว่า

จากรูปที่ 2.1 สมการแบร์นูลลีระหว่างจุดที่ 1 กับจุดที่ 2 คือ

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \dots \dots (2.1)$$

เนื่องจาก  $Z_1 = Z_2$  เพราะว่าท่อวางอยู่ในแนวระดับเดียวกัน

เมื่อ  $A_2 < A_1$  และ  $V_2 > V_1$  ดังนั้น  $P_1 > P_2$  จัดสมการที่ (2.1) ใหม่

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{1}{2g} (V_2^2 - V_1^2) \dots \dots (2.2)$$

แทนค่า  $V_1 = \frac{Q}{A_1}$  และ  $V_2 = \frac{Q}{A_2}$  ลงในสมการที่ (2.2) และจัดสมการใหม่

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{Q^2}{2g \cdot A_2^2} \left( 1 - \frac{A_2^2}{A_1^2} \right) \dots \dots (2.3)$$

เนื่องจากเราสามารถหาระดับความดันแตกต่างระหว่างจุดที่ 1 และ 2 ในแมนอมิเตอร์ได้ว่า

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right) \cdot \Delta h_m \dots \dots (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.3) เท่ากับ สมการที่ (2.4)

$$\frac{Q^2}{A_2^2} \left( 1 - \frac{A_2^2}{A_1^2} \right) = 2g \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right) \cdot \Delta h_m$$

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \cdot \sqrt{2g \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right) \cdot \Delta h_m} \dots \dots \dots (2.5)$$

กำหนดให้พื้นที่การไหลเป็น  $A_2 = C_c A_{or}$  โดยที่

$A_{or}$  คือพื้นที่รูเจาะบนแผ่นออริฟิส

$C_c$  คือสัมประสิทธิ์คอนแทรกตา (Contracta Coefficient)

$A_2$  คือพื้นที่หน้าตัดวินาคอนแทรกตา

$$Q = \frac{C_c A_{or}}{\sqrt{1 - \left( \frac{C_c A_{or}}{A_1} \right)^2}} \cdot \sqrt{2g \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right) \cdot \Delta h_m} \dots \dots \dots (2.6)$$

สมการที่ (2.6) เป็นสมการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงทฤษฎีสำหรับของไหลยุบตัวไม่ได้ผ่านออริฟิสที่ไม่คิดผลของความหนืดของของไหลและใช้ได้กับการไหลที่มีเลขเรย์โนลด์ส์สูงๆ สำหรับการไหลที่มีเลขเรย์โนลด์ส์ต่ำปานกลางจะคิดผลของความหนืดโดยพิจารณาผลของสัมประสิทธิ์ความเร็วจะได้สมการอัตราการไหลจริงเป็น

$$Q_{ac} = \frac{C_c C_v A_{or}}{\sqrt{1 - \left( \frac{C_c A_{or}}{A_1} \right)^2}} \cdot \sqrt{2g \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right) \cdot \Delta h_m} \dots \dots \dots (2.7)$$

ผลคูณของ  $C_c C_v$  เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของมาตรวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $C_d$  เขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$Q_{ac} = \frac{C_d A_{or}}{\sqrt{1 - \left( \frac{C_c A_{or}}{A_1} \right)^2}} \cdot \sqrt{2g \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right) \cdot \Delta h_m} \dots \dots \dots (2.8)$$

จากสมการที่ (2.8) จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของมาตรวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส  $C_d$  และค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว  $C_c$  ซึ่งเป็นค่าที่หาได้ยาก ดังนั้น ถ้ายุบเทอมใหม่เป็นดังสมการที่ 2.9 จะหาอัตราการไหลได้สะดวกขึ้น

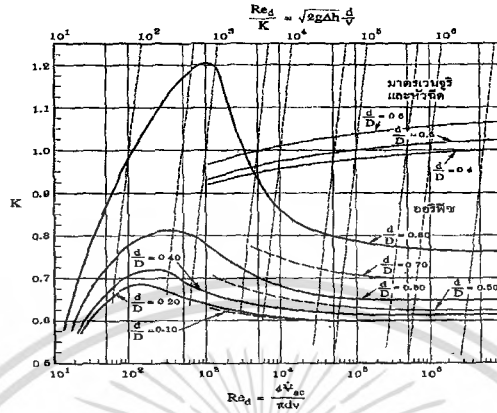
$$Q_{ac} = C A_{or} \cdot \sqrt{2g \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right) \cdot \Delta h_m} \dots \dots \dots (2.9)$$

โดยที่  $C = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \left( \frac{C_c A_{or}}{A_1} \right)^2}}$  คือสัมประสิทธิ์การไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $C_d$  คือสัมประสิทธิ์การจ่ายของมาตรวัดอัตราการไหลแบบออร์พิสค่าของ  $C_d$  นี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูออร์พิสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ  $\left(\frac{d}{D}\right)$  และเลขเรย์โนลด์ส์ (Re)

โดยที่  $Re = \frac{4Q_{ac}}{\pi d v}$  ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การไหล C และ Re/C กับ Re สำหรับมาตรวัดอัตราแบบเวนจูรี, แบบหัวฉีดและแบบออร์พิส

ถ้าทราบค่า  $Q_{ac}$  และ  $Re = \frac{4Q_{ac}}{\pi d v}$  ในรูปที่ 2.2 สเกลแนวนอนด้านล่างแสดงค่าของ Re ลากเส้นแนวดิ่งไปตัดกับเส้นอัตราส่วน  $d/D$  ของมาตรวัดอัตราการไหลแบบออร์พิสจะได้ค่าของ C ถ้าทราบค่า  $\Delta h_m$  แต่ไม่ทราบค่าอัตราการไหลจะทำได้ไม่สามารถคำนวณหา Re ได้ จึงเลือกพิจารณาในพจน์ของ Re/C แทน

กำหนดให้  $\left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m = \Delta h$  จากสมการที่ 2.9 แทนค่า  $A_{or} = \frac{\pi d^2}{4}$  ดังนั้นจะได้

$$Q_{ac} = C \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2g\Delta h} \dots \dots (2.10)$$

เนื่องจาก  $Re = \frac{4Q_{ac}}{\pi d v}$  แทนค่า  $Q_{ac}$  จากสมการที่ 2.10 จะได้

$$Re = C \frac{d}{v} \sqrt{2g\Delta h}$$

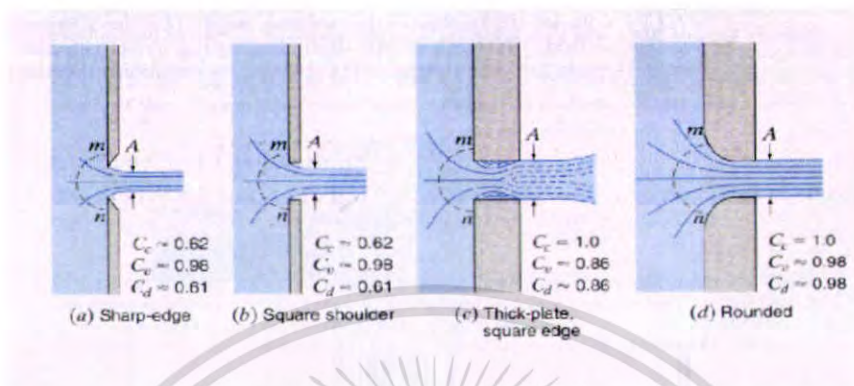
จัดสมการที่ 2.10 ใหม่จะได้

$$\frac{Re}{C} = \frac{d}{v} \sqrt{2g\Delta h} \dots \dots (2.11)$$

ดังนั้นถ้าทราบค่า  $\Delta h_m$  และ Re/C ซึ่งแสดงด้วยสเกลแนวนอนในรูปที่ 2.2 วงศ์เส้นกราฟ Re/C แสดงด้วยเส้นประเอียงไปทางด้านขวาเล็กน้อย ที่อัตราส่วนของ  $d/D$  ค่าหนึ่งตัดกับเส้นประเอียงของ Re/C ที่จุดหนึ่ง ที่จุดนี้จะทราบค่าของ C และ Re และสามารถนำมาคำนวณหา  $Q_{ac}$  ได้ในที่สุด

## 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การ Discharge

ของไหลเมื่อถูกบีบผ่านหน้าออริฟิสเกิดเป็นลำลักษณะดังรูปที่ 2.3 จุดที่แคบที่สุดของลำเรียกว่า Vena Contracta ค่าของ  $C_d$  จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะและความยาวของท่อออริฟิส

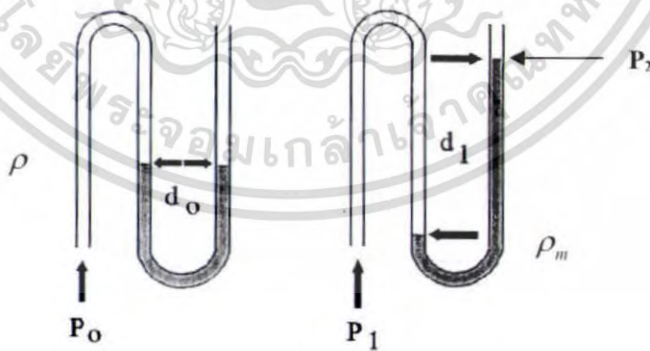


รูปที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การ Discharge

ตามรูปที่ 2.3 เมื่อค่าเรย์โนลด์สสัมเบอร์เปลี่ยนไปค่าของ  $C_d$  ก็เปลี่ยนไปด้วย โดยเฉพาะในย่านอัตราการไหลต่ำๆจะเปลี่ยนแปลงไปมาก

## 2.3 แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู

แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูนี้จะใช้หลอดแก้วตัดเป็นรูปตัวยู ตามรูปที่ 2.4 เมื่อมีความดันแตกต่างความดันด้านสูงจะดันให้ของเหลวจากด้านซ้ายของหลอดแก้วไหลไปยังอีกข้างหนึ่ง ขอบเหลวจะหยุดเมื่อแรงที่เกิดจากความดันแตกต่างสมดุลกับแรงที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลวในหลอดแก้วด้านขวาโดยจะพิจารณาจากหลักการที่ว่า "ในของเหลวชนิดเดียวกันที่ต่อเนื่องกันความดันที่ระดับความสูงเดียวกันย่อมต้องมีค่าเท่ากัน"



รูปที่ 2.4 แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู

กำหนดให้  $g$  คือ แรงโน้มถ่วง

$\rho_m$  คือ ความหนาแน่นของของเหลวภายในแมนอมิเตอร์

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหลเหนือของเหลวในที่นี้หมายถึงอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จะได้ว่า } P_1 - P_2 = \Delta h(\rho_m - \rho) \cdot g \dots \dots \dots (2.12)$$

เพราะเหตุว่า  $\rho_m \gg \rho$

ในทางปฏิบัติจึงถือว่า  $\rho = 0$

$$\text{ดังนั้นจะได้ว่า } \Delta P = \rho_m \cdot g \cdot \Delta h \dots \dots \dots (2.13)$$

จากสมการจะเห็นว่าผลต่างของความดันขึ้นอยู่กับความสูงแตกต่างของของเหลวและความหนาแน่นของของเหลว ดังนั้นการเลือกชนิดของของเหลวและการกำหนดความสูงของหลอดแก้วจึงเป็นการกำหนดขนาดของความดันที่วัด เช่น ถ้ากำหนดความสูงของหลอดแก้ว 1 เมตร น้ำจะใช้วัดความดันได้ 0-98.1 มิลลิบาร์ พรอทจะใช้วัดความดันได้ 0-1.3342 บาร์ ของเหลวที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่น้ำ พรอท และน้ำมันผสมที่ไม่ระเหย คุณสมบัติของของเหลวที่จะเติมลงในแมนอมิเตอร์จะต้องเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยา หรือรวมตัวกับสารที่ต้องการวัดความดันในระบบ และต้องไม่เป็นพิษไม่กัดกร่อนแข็งตัวหรือเดือดในสภาวะใช้งาน

ความผิดพลาดของการวัดด้วยวิธีนี้ประมาณ  $\pm 0.3\%$  สำหรับการวัดที่ต้องการค่าความแน่นอนอนุกรมที่ต่างไปจากค่ากำหนด ความบริสุทธิ์ของของเหลว ความดันบรรยากาศ ณ จุดวัดที่อาจเปลี่ยนไปจะต้องนำมาคำนวณแก้ด้วยซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้จะทำให้ความหนาแน่นของของเหลวเปลี่ยนไปอันจะทำให้ค่าความผิดพลาดสูงขึ้นทั้งสิ้น

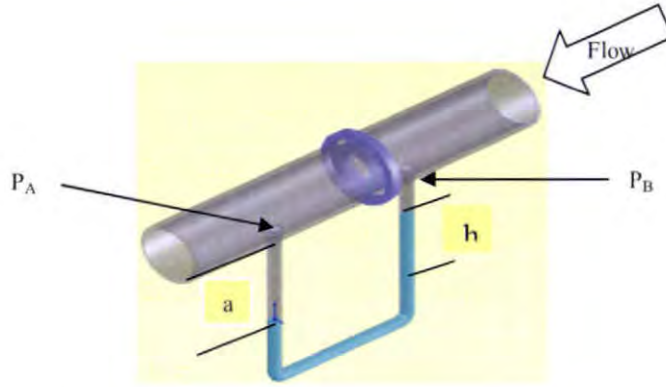
ค่าความตึงผิวของของเหลวที่ใช้เติมลงในแมนอมิเตอร์จะทำให้ระดับของของเหลวไม่เรียบน้ำหรือน้ำมันผสมมีค่าความตึงผิวต่ำทำให้มีน้ำบางส่วนเกาะกับผิวผนังภายในท่อ ส่วนพรอทจะมีค่าความตึงผิวสูงทำให้ระดับใจกลางท่อสูงกว่าผิวผนังภายในท่อตามรูปที่ 2.5 ซึ่งผลของความตึงผิวนี้นี้จะทำให้การอ่านค่าผิดไปได้ ค่าที่ถูกต้องต้องอ่านจากระดับจุดศูนย์กลางท่อ การอ่านค่าผิดลักษณะนี้เรียกว่า พาราแลกซ์(Parallax)



รูปที่ 2.5 ส่วนโค้งที่ผิวของของเหลวจะเกิดขึ้นเนื่องจากค่าความตึงผิว

แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูนี้เป็นแบบที่ใช้วัดความดันแตกต่างถ้าด้านที่มีความดันต่ำเปิดสู่บรรยากาศ ค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้เป็นค่าความดันเกจ หรือจะใช้วัดค่า Vacuum ก็ได้งานการใช้งานของแมนอมิเตอร์เริ่มจากค่าต่ำกว่าบรรยากาศจนถึงค่าความดันประมาณ 1 บาร์ แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูที่ใช้งานสอบเทียบค่า(Calibration)ในห้องปฏิบัติการและชี้บอกความดัน ณ จุดวัดในกรณีที่ของไหลในระบบเป็นของเหลว เช่น น้ำ หรือน้ำมัน จากรูปที่ 2.6 เป็นการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลของคร่อมตัววัดออร์ฟิสที่ต้องการหาอัตราการไหลของน้ำโดยใช้พรอทเป็นสารที่ใช้เติมในแมนอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงหลักการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลโดยใช้แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูกับออร์ทิสเพื่อหาค่าอัตราการไหลของน้ำ

ถ้ากำหนดให้  $\rho_1$  เป็นค่าความหนาแน่นของปรอท

$\rho_2$  เป็นความหนาแน่นของน้ำ

$g$  เป็นอัตราเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง

ความดันที่จุด P ด้านซ้าย  $P_p = P_A + \rho_2 \cdot a \cdot g$  ..... (2.14)

ความดันที่จุด P ด้านขวา  $P_p = P_B + \rho_2 (a-h) \cdot g + \rho_1 \cdot h \cdot g$  ..... (2.15)

เนื่องจาก 2.14 = 2.15 ความดันที่ระดับ P ทั้งสองด้านย่อมเท่ากัน

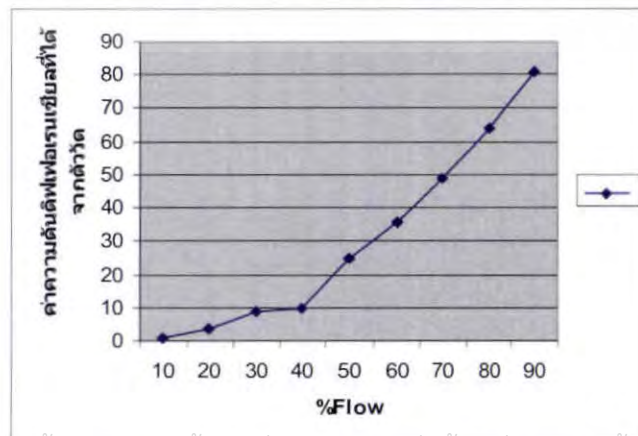
$$P_A + \rho_2 \cdot a \cdot g = P_B + \rho_2 (a-h) \cdot g + \rho_1 \cdot h \cdot g$$

$$P_A - P_B = \rho_1 \cdot h \cdot g - \rho_2 \cdot h \cdot g = h \cdot g (\rho_1 - \rho_2)$$

$$\Delta P = \Delta h (\rho_1 - \rho_2) \cdot g$$

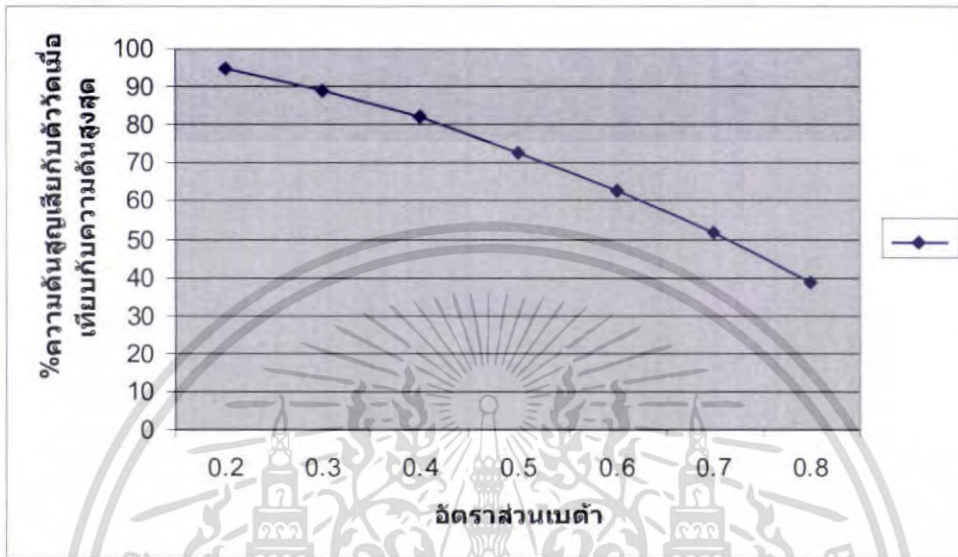
**2.4 Reliability และการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน**

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลที่วัดได้เป็นแบบรากที่สอง  $Q_{ac} = K \sqrt{\Delta P}$  ซึ่งจะมีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือในย่านอัตราการไหลสูงๆมากกว่า 70%ขึ้นไปจะมีค่าถูกต้องมากกว่าย่านอัตราการไหลต่ำๆเนื่องจากในย่านอัตราการไหลสูงความแปรปรวนของความดันดิฟเฟอเรนเชียลจะเกิดขึ้นมากกว่าย่านอัตราการไหลต่ำๆโปรดสังเกตจากกราฟในรูปที่ 2.7 ที่ค่าอัตราการไหล 10% จะเกิด  $\Delta P$  ขึ้นเพียง 1 inH<sub>2</sub>O เท่านั้น ถ้ากำหนดให้เกิด  $\Delta P$  100 inH<sub>2</sub>O ที่อัตราการไหล 100% , ที่ค่าอัตราการไหล 50% จะเกิด  $\Delta P$  25 inH<sub>2</sub>O แต่ที่อัตราการไหล 90% จะเกิด  $\Delta P$  ถึง 81 inH<sub>2</sub>O ดังนั้นในย่านอัตราการไหลต่ำๆโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดมีมาก (เนื่องจากอุปกรณ์วัด  $\Delta P$  ในเครื่องวัดโดยทั่วไปในย่าน 10% แรกของสเกลจะให้ค่าผิดพลาดสูง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลกับอัตราการไหล  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะถ้าใช้ในการอ่านค่าหรือบันทึกค่าควรอยู่ในย่าน 20% ถึง 100% หรือมีค่า Reliability 5:1 หมายถึงอัตราส่วนของค่าอัตราการไหลสูงสุดต่อค่าอัตราการไหลต่ำสุด ซึ่งเป็นย่านที่ยอมรับกันโดยทั่วไป แต่ถ้าค่าที่วัดได้เป็นสัญญาณป้อนเข้าเครื่องควบคุมระบบ ค่า Reliability จะลดลงหรือ 3.5:1 นั่นคือย่านใช้งานอยู่ที่ 27% ถึง 95% จะเห็นว่า สำหรับงานควบคุมย่านการใช้งานจะแคบกว่างานอ่านค่าหรือบันทึกค่า ทั้งนี้เพราะเป็นงานที่สำคัญกว่าจึงเลือกใช้เฉพาะย่านที่มีค่าผิดพลาดน้อยกว่า



รูปที่ 2.8 การสูญเสียความดันของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิส

ออร์ฟิสจะมีค่าความดันสูญเสียมากกว่าตัววัดทุกแบบ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) ที่เบต้า ( $\beta$ ) ขนาดเล็ก ค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียล  $\Delta P$  เกือบทั้งหมดจะสูญเสียไปกับการวัด แต่ที่เบต้า ( $\beta$ ) ขนาดใหญ่ ค่าสูญเสียอาจลดลงเหลือต่ำกว่า 50% ของค่า  $\Delta P$  สูงสุดที่เกิดขึ้น แต่มีค่าน้อยกว่าในช่วงอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) ค่าสูงๆ

## 2.5 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อค่า Velocity ของอัตราการไหลก่อนเข้าอุปกรณ์ตัววัด

ความถูกต้องของการวัดมิได้อยู่ที่ตัวอุปกรณ์การวัดเท่านั้นแต่ยังมีส่วนอื่นอีกที่สามารถส่งผลกระทบต่อค่าที่วัดได้ เช่น การขดท่อ, การติดตั้งวาล์ว, ข้อต่อ, ข้องอ สิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลทำให้รูปร่างและทิศทางของ Velocity Head ผิดไปทั้งสิ้น

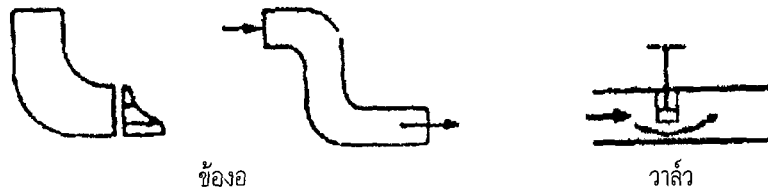


(ก) ส่วนที่เกิดการไหลวนแบบ Axial ในท่อลดขนาด



(ข) ส่วนที่เกิดการไหลวนแบบ Axial ในท่อเพิ่มขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



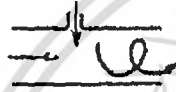
(ค) ส่วนที่เกิดการไหลวนในข้องอและในวาล์ว



(ง) การไหลจะเป็นแบบ Helix ในท่อเครื่องถ่ายเทความร้อน



(จ) เมื่อผ่าน Flow Meter แบบเทอร์ไบน์



(ฉ) เมื่อของเหลวไหลเข้าผสมกันในมุมตั้งฉาก



(ช) Spiral Welded Pipe



(ซ) ข้องอมากกว่า 2 ท่อน

รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงทิศทางของ Velocity ในข้อต่อและข้ออวมถึงอุปกรณ์แบบอื่นๆ

ข้อควรระวัง คือ การต่อเติมติดตั้ง Instrument แบบต่างๆที่กระทำในภายหลัง เช่น Thermowell หรือ Taps เพื่อวัดความดัน จะต้องติดตั้งให้ห่างจากความยาวท่อตรงทั้งด้านหน้าและด้านหลังตัววัดตามระยะที่กำหนด ท่อทางด้านไหลเข้าตัววัดจะมีอิทธิพลมากกว่าท่อทางด้านไหลออก การกำหนดความยาวของท่อทั้งด้านหน้าและด้านหลังตัววัด มาตรฐานของความยาวนี้กำหนดโดยประเทศที่เป็นแม่แบบทางอุตสาหกรรม แต่ตามมาตรฐานสากลนี้จะกำหนดให้มีระยะตรงห่างจากข้องอ 90 องศา ต่างๆกันไปตามค่าเบต้า ( $\beta$ )

## บทที่ 3

### เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสมิเตอร์

การใช้แผ่นออร์ฟิสมิเตอร์วัดอัตราการไหลเป็นที่รู้จักกันมานานแล้วตั้งแต่สมัยจูเลียส ซีซาร์ ครองอาณาจักรโรมัน ได้มีการใช้ออร์ฟิสมิเตอร์ใช้น้ำของพลเมือง ในต้นคริสตศตวรรษที่ 20 Thomas R Weymouth ได้ทำการทดลองใช้แผ่นออร์ฟิสมิเตอร์แบบที่มีจุดศูนย์กลางร่วม (Concentric) วัดอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติเขาใช้วิธีการ Flange Taps ห่างจากแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์ 1 นิ้วทั้งสองด้านซึ่งวิธีการนี้ต่อมาได้กลายเป็นแบบที่แพร่หลายที่สุดในวงการอุตสาหกรรมในอเมริกา ออร์ฟิสมิเตอร์ที่พบใช้งานกันอยู่ทั่วไปจะมีช่องทางด้านของไหลไหลเข้าเป็นมุมฉาก ทางด้านของไหลไหลออกจะผายออกประมาณ 45 องศา เพื่อเป็นการลดความเสียดทานลงให้เหลือเท่าที่จำเป็นสำหรับการวัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์จะมีผลโดยตรงต่อค่า Coefficient of Discharge แต่ค่าความหนาของแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์จะมีความหนากว่าระยะขอบในได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์มากขึ้นขนาดของแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์จะบอกเป็นอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเรียกว่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ )

แผ่นออร์ฟิสมิเตอร์ยังคงใช้งานกันอย่างกว้างขวางมากกว่าเครื่องมือวัดอัตราการไหลประเภทอื่น ๆ ในโลกและยังให้ค่าผลกำไรที่คุ้มค่ามากกว่าเครื่องมือวัดอัตราการไหลประเภทอื่นๆ อีกด้วย โดยเฉพาะกับงานขนาดใหญ่ นอกจากนี้แผ่นออร์ฟิสมิเตอร์ยังได้แสดงให้เห็นถึงค่าประสิทธิภาพ และค่าความน่าเชื่อถือที่ดีด้วย แถมยังมีราคาการติดตั้งที่ต่ำ ทั้งนี้แผ่นออร์ฟิสมิเตอร์ยังมีการแข่งขันและพัฒนาให้มีศักยภาพที่ดีขึ้นอยู่อย่างเสมออีกด้วย

#### 3.1 ประเภทของแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์

ประเภทของแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์จะแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานและการติดตั้งได้ 3 แบบคร่าวๆ ด้วยกันดังนี้

##### 3.1.1 แผ่นออร์ฟิสมิเตอร์แบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice)

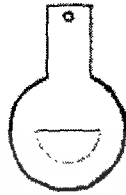
ช่องของรูออร์ฟิสมิเตอร์จะเป็นรูปกลม แต่จุดศูนย์กลางของรูจะค่อนมาทางด้านล่างของแผ่นเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องออร์ฟิสมิเตอร์จะมีค่าประมาณ 98% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของท่อ แผ่นออร์ฟิสมิเตอร์จะถูกเชื่อมต่อกับตัวตามจับซึ่งจะอยู่ตรงกลางระหว่างการติดตั้งกับหน้าแปลนที่ปิดกันอย่างแน่นสนิท ข้อมูลอย่างอื่นในการออกแบบ เช่น ความหนา ความคม ความเรียบ จะเหมือนกับแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์ประเภทอื่นๆ ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป สาเหตุที่ต้องเจาะช่องออร์ฟิสมิเตอร์เยื้องลงมาด้านล่างก็เพื่อแก้ปัญหาของของไหลบางอย่าง เช่น ของไหลที่มีสารแขวนลอย น้ำมันที่มีน้ำผสมอยู่ หรือมีไอน้ำ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการวัดของออร์ฟิสมิเตอร์แบบนี้จะให้ค่าผิดพลาดมากกว่าแบบอื่นๆ ได้ถึง 5 เท่า รูปร่างโดยทั่วไปของแผ่นออร์ฟิสมิเตอร์แบบเยื้องศูนย์กลางจะมีหน้าตาดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.1 แผ่นออร์ฟิสมิเตอร์แบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice) เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 แผ่นออริฟิสแบบเซ็คเมนต์ (Segmental Orifice)

แผ่นออริฟิสแบบนี้ใช้งานกับของไหลที่มีปัญหาแบบเดียวกันกับแบบเยื้องศูนย์กลาง แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้กันเท่าไรนัก โดยช่องของรูออริฟิสจะเจาะเป็นส่วนหนึ่งของครึ่งวงกลม (segment) ช่องของรูออริฟิสอาจจะถูกติดตั้งอยู่ด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะอยู่ทางด้านล่าง รูปร่างของแผ่นออริฟิสแบบเซ็คเมนต์จะมีรูปร่างเหมือนดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผ่นออริฟิสแบบเซ็คเมนต์ (Segmental Orifice)

### 3.1.3 แผ่นออริฟิสแบบขอบคม (Sharp Edge Orifice)

ช่องของรูออริฟิสจะเป็นแบบจุดศูนย์กลางร่วมกับท่อ แต่รูของแผ่นออริฟิสมีได้ตรงแต่จะผายออกทำมุม 45 องศาที่กระนาบของแผ่น ลักษณะค่ามาตรฐานระหว่างขนาดท่อและขนาดของรูเจาะแสดงได้ตารางในตารางที่ 3.1 ผลการเจาะช่องออริฟิสแบบนี้จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส (Cd) คงที่ที่ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re) ต่ำๆ ประมาณ 3000 ถึง 100000 การเปลี่ยนแปลงค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ประมาณ 0.5% เท่านั้นเหมาะสำหรับใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดิบ น้ำเชื่อม ที่มีค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ต่ำกว่า 100000

Pipe Size	150# "D"	300# "D"	600# "D"	900# "D"	1500# "D"	"T"
1/2"	1 7/8	2 1/8	2 1/8	2 1/2	2 1/2	1/8
3/4"	2 1/4	2 5/8	2 5/8	2 3/4	2 3/4	1/8
1"	2 3/8	2 5/8	2 5/8	2 7/8	2 7/8	1/8
1 1/4"	2 3/4	3	3	3 1/4	3 1/4	1/8
1 1/2"	3 1/8	3 1/2	3 1/2	3 5/8	3 5/8	1/8
2"	3 7/8	4 1/8	4 1/8	5 3/8	5 3/8	1/8
2 1/2"	4 5/8	4 7/8	4 7/8	6 1/4	6 1/4	1/8
3"	5 1/8	5 5/8	5 5/8	6 3/8	6 5/8	1/8
4"	6 5/8	6 3/4	7 3/8	7 7/8	8	1/8
5"	7 1/2	8 1/8	9 1/4	9 1/2	9 3/4	1/8
6"	8 1/2	9 1/2	10 1/4	11 1/8	10 7/8	1/8
8"	10 3/4	11 3/4	12 3/8	13 7/8	13 5/8	1/8
10"	13 1/8	13 7/8	15 1/2	16 7/8	16 7/8	3/16
12"	15 7/8	16 1/4	17 3/4	19 3/8	20 1/4	3/16
14"	17 1/2	18 3/4	19 1/8	20 1/4	22 1/2	1/4
16"	20	20 7/8	22	22 3/8	25	1/4
18"	21 3/8	23 1/8	23 7/8	24 7/8	27 1/2	1/4
20"	23 5/8	25 1/4	26 5/8	27 1/4	29 1/2	1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดท่อ, ขนาดรูเจาะและความหนาของแผ่นออริฟิส โยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องออริฟิสจะต้องทำที่อุณหภูมิ  $68^{\circ}F$  (หรือคำนวณหาเทียบค่าที่อุณหภูมินี้) ค่าที่ได้จะต้องใกล้เคียงกับค่าที่ใช้คำนวณเป็น Basic Orifice Factor มากที่สุดทำการวัด 3 จุดในตำแหน่งต่างๆ กัน ค่าทั้งสามที่ได้ต้องไม่แตกต่างกันกับค่าที่ใช้คำนวณ Basic Orifice Factor และค่าความผิดพลาดจะต้องไม่เกินค่าพิกัดที่ระบุไว้ในตารางในตารางที่ 3.2

ขนาดรูเจาะของช่องออริฟิส	ขนาดเบี่ยงเบนทั้งทางบวกและทางลบ
0.25"	0.0003"
0.375"	0.0004"
0.5"	0.0005"
0.625"	0.0005"
0.75"	0.0005"
0.875"	0.0005"
1"	0.0005"
Over 1"	0.0005" per inch of diameter

ตารางที่ 3.2 ค่าการเบี่ยงเบนของขนาดรูเจาะของช่องออริฟิสในย่านที่ยังใช้งานได้

ขอบรูเจาะของช่องออริฟิสทางด้านของไหลไหลเข้าจะต้องเป็นมุมฉาก คม ไม่มีลำแสงลอดออกมาเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบ (Orifice Edge Gauge) หรือลำแสงสะท้อนปรากฏออกมาที่ขอบเมื่อตรวจสอบด้วยการฉายแสงลงบนขอบโดยไม่ต้องใช้แว่นขยายและบนแผ่นออริฟิสจะต้องไม่มีสิ่งสกปรก น้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ มาเกาะ ที่ผิวหน้าจะต้องสะอาด จะต้องรักษาสภาพเช่นนี้ตลอดเวลาที่ใช้งาน และจุดศูนย์กลางของช่องออริฟิสจะต้องเป็นจุดเดียวกับของท่อด้านใน หรือ Fitting โดยพยายามรักษาให้มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 3% โดยเฉพาะกับท่อขนาดเล็กที่มีช่องออริฟิสขนาดใหญ่จะมีความสำคัญมากขึ้น การติดตั้งจะต้องทำด้วยความระมัดระวังให้มากที่สุด

นอกจากนี้ค่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta = d/D$ ) ตามข้อแนะนำจะต้องมีค่าไม่เกิน

1. เมื่อการต่อจุดวัดค่าความดันเป็นแบบการวัดค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลที่หน้าแปลนประกบกับแผ่นออริฟิส (Flange Tapping) ค่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.15 ถึง 0.70
2. เมื่อการต่อจุดวัดค่าความดันเป็นแบบการวัดค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลที่ท่อ (Pipe Tapping) ค่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.67

ซึ่งทั้งแบบ Flange Tapping และแบบ Pipe Tapping ค่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) อาจลดลงได้ถึง 0.1 แต่ในแบบ Flange Tapping ค่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) จะต้องไม่สูงเกินกว่า 0.75 และในแบบ Pipe Tapping ค่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) จะต้องไม่สูงเกินกว่า 0.7 เพราะค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณจะเริ่มผิดไปจากค่าความเป็นจริงเกินพิกัด จึงควรหลีกเลี่ยงค่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) ที่เกินค่าที่กำหนดในข้อที่แล้ว รูปร่างของแผ่นออริฟิสแบบขอบคมจะมีรูปร่างดังรูปที่ 3.3

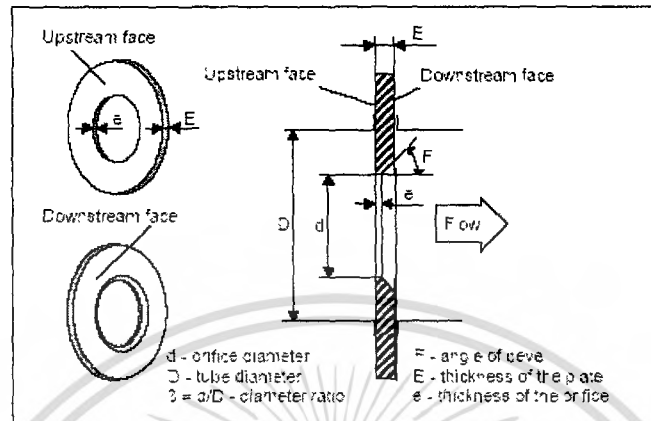


รูปที่ 3.3 แผ่นออริฟิสแบบขอบคม (Sharp Edge Orifice)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 โครงสร้างของแผ่นออริฟิส

นี่คือมาตรฐานโดยเฉพาะของแผ่นออริฟิสที่ใช้ติดตั้งจุดวัดความดันแบบหัวมุม (Corner Tapping), แบบ D กับ D/2 (D and D/2 Tapping) และแบบวัดค่าความดันที่หน้าแปลน (Flange Tapping)



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของแผ่นออริฟิส

A : ด้านหน้าของแผ่นออริฟิสด้านของไหลไหลเข้า (Upstream face)

ด้านหน้าของแผ่นออริฟิสจะมีค่าความขรุขระมาตรฐานอยู่ที่  $Ra \leq 0.001d$  ขนาดรูภายในของแผ่นออริฟิสต้องไม่น้อยกว่า  $1.5d$

B : ด้านหลังของแผ่นออริฟิสด้านของไหลไหลออก (Downstream face)

ด้านหลังของแผ่นออริฟิสจะราบเรียบและขนานกับด้านหลังแผ่นและไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติเหมือนกับด้านหน้าแผ่น

G : ขอบคมด้านต้นน้ำ (Upstream edge)

ขอบด้านต้นน้ำจะมีความคมโดยจะมีค่าความยาวไม่เกิน  $0.0004d$

H : ขอบคมด้านน้ำไหลออก (Downstream edge)

d : เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิส (Diameter of orifice)

เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร โดยอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจะเรียกว่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ ) โดยจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.2-0.23 แต่ไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75-0.8 ( $0.2 - 0.23 \leq \beta \leq 0.75 - 0.8$ ) ขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นออริฟิสที่ใช้

E : ความหนาของแผ่นออริฟิส (Thickness of the plate)

ความหนาของแผ่นออริฟิสจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของท่อหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องออริฟิสมีค่าอยู่ระหว่าง  $e$  ถึง  $0.05D$  ( $e \leq E \leq 0.05D$ )

e : ความหนาของขอบ (Thickness of edge)

ความหนาของขอบจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.005D ถึง 0.02D

F : มุมของปากที่ผายออกของแผ่นออริฟิส (Angle of bevel)

ความหนาของแผ่นออริฟิสมีค่ามากกว่าความหนาของขอบดังนั้นแผ่นออริฟิสจะมีมุมลาดโดยมุมลาดมีค่าอยู่ระหว่าง 30 องศาถึง 45 องศา ( $30^\circ \leq F \leq 45^\circ$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การติดตั้งแผ่นออริฟิสเพื่อวัดอัตราการไหล

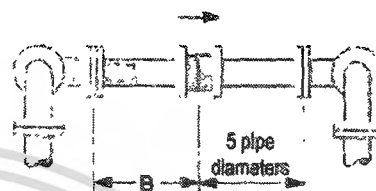
เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสเกือบจะทั้งหมดมีความจำเป็นที่ต้องการทราบค่าระยะทางที่แน่นอนของจุดที่จะติดตั้งแผ่นออริฟิสเพื่อไม่ให้กีดขวางการไหลในท่อของของไหลทั้งทางด้านต้นน้ำ และด้านปลายน้ำ โดยจะมีการกำหนดระยะทางที่แน่นอนและต้องปฏิบัติตามโดยไม่มีข้อยกเว้น การทำงานของแผ่นออริฟิสตั้งอยู่บนรากฐานของการคาดการณ์ล่วงหน้า ดังนั้นการติดตั้งแผ่นออริฟิสจึงมีความสำคัญมาก ตามมาตรฐาน BS 1042 และตามมาตรฐาน ISO 5167 ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5

Minimum number of pipeline diameters required upstream of M410 orifice plate.

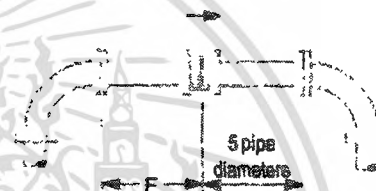
$$\beta = \frac{d \text{ (orifice diameter mm)}}{D \text{ (pipe diameter mm)}}$$

For guidance a  $\beta$  ratio of 0.7 should be used

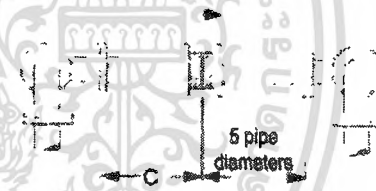
$\beta$	<0.32	0.45	0.55	0.63	0.70	0.77	0.84
A	12	12	13	16	20	27	38
B	15	18	22	28	36	46	57
C	35	38	44	52	63	76	89
E	18	20	23	27	32	40	49
F	10	13	16	22	28	44	56



Two bends at right angles with straightening veins



Right angle bends

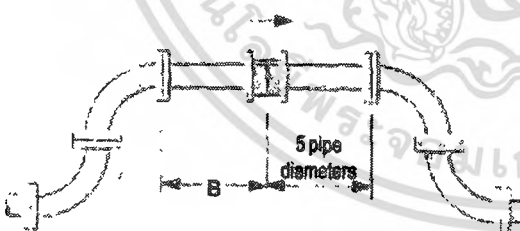


Two bends at right angles

Correct installation is the key to accurate metering!



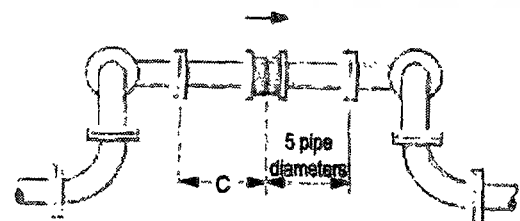
Fully open fullway valve



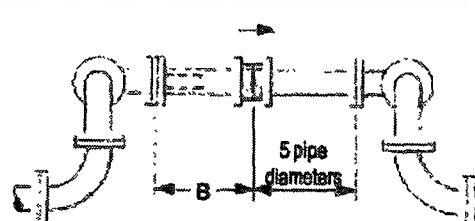
Two right angle bends in same plane



Branches



Three bends at right angles



Three bends at right angles with straightening veins

รูปที่ 3.5 การติดตั้งแผ่นออริฟิสเพื่อวัดอัตราการไหล

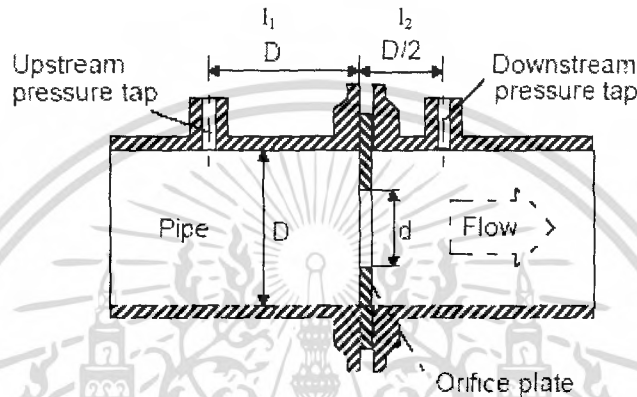
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนการเว้นระยะห่างของจุดวัดความดันทั้งทางด้านของไหลไหลเข้า และทางด้านของไหลไหลออกจะมีตำแหน่งที่ตั้งโดยมีระยะทาง  $1/2$  ของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องวัดความดัน (a) หรือ  $1/2$  ของความกว้างของช่องเล็กยาวที่เป็นวงกลมจากทางด้านของไหลไหลเข้า และทางด้านของไหลไหลออกตามลำดับ

**3.4.2 การติดตั้งตัววัดความดันแบบ D และ D/2 (D and D/2 Tappings)**

การติดตั้งตัววัดความดันแบบนี้จุดศูนย์กลางของท่อวัดความดันจะตั้งฉากกับจุดศูนย์กลางของท่อส่ง โดยที่จุดวัดความดันจะมีรูปกลมที่ผนังท่อด้านใน และจะเสมอกัน หรืออยู่ในระดับเดียวกันกับผิวด้านในของผนังท่อ ที่สำคัญต้องแน่ใจว่ามีการกำจัดเศษของโลหะที่เหลืออยู่จากการหล่อโลหะออกให้หมด ซึ่งโดยมากการเจาะรูวัดความดันจะทำการเจาะโดยใช้ส่วนที่ด้านบนหรือด้านล่างของท่อก็ได้



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของหน้าแปลนวัดความดันแบบ D และ D/2

การเว้นระยะห่างของจุดวัดความดันแบบนี้ระยะห่างของท่อวัดความดันทางด้านของไหลไหลเข้า ( $I_1$ ) จะมีค่า  $D \pm 0.1D$  ส่วนการเว้นระยะห่างของจุดวัดความดันด้านของไหลไหลออก ( $I_2$ ) จะมีค่าดังต่อไปนี้

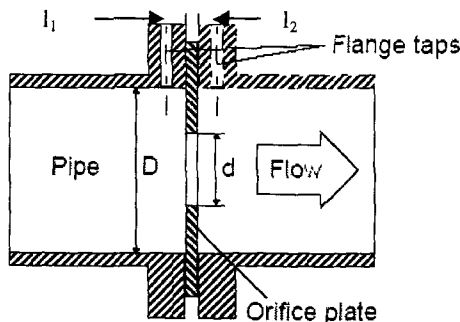
เมื่อ  $\beta \leq 0.6$  จะมีค่า  $0.5D \pm 0.02D$  และ

เมื่อ  $\beta > 0.6$  จะมีค่า  $0.5D \pm 0.01D$

ซึ่งการเว้นระยะห่างทั้งทางด้านของไหลไหลเข้า ( $I_1$ ) และทางด้านของไหลไหลออก ( $I_2$ ) จะเริ่มวัดจากด้านหน้าของแผ่นออริฟิส

**3.4.3 การติดตั้งตัววัดความดันแบบการต่อจุดวัดความดันที่หน้าแปลนประกบกับแผ่นออริฟิส (Flange Tapping)**

การติดตั้งตัววัดความดันแบบนี้จุดศูนย์กลางของท่อวัดความดันจะตั้งฉากกับจุดศูนย์กลางของท่อส่ง โดยที่จุดวัดความดันจะมีรูปกลมที่ผนังท่อด้านใน และจะเสมอกัน หรืออยู่ในระดับเดียวกันกับผิวด้านในของผนังท่อ ที่สำคัญต้องแน่ใจว่ามีการกำจัดเศษของโลหะที่เหลืออยู่จากการหล่อโลหะออกให้หมด ซึ่งโดยมากการเจาะรูวัดความดันจะทำการเจาะโดยใช้ส่วนที่ด้านบนหรือด้านล่างของท่อก็ได้ เหมือนกันกับแบบ D และ D/2



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของหน้าแปลนวัดความดันแบบ Flange Tapping

ส่วนการเว้นระยะห่างทั้งทางด้านของไหลไหลเข้า ( $I_1$ ) และทางด้านของไหลไหลออก ( $I_2$ ) จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.8 โดยการเว้นระยะห่างของท่อวัดความดันด้านของไหลไหลเข้าจะวัดจากด้านหน้าของแผ่นออริฟิส และการเว้นระยะห่างของท่อวัดความดันด้านของไหลไหลออกจะวัดจากด้านหลังของแผ่นออริฟิสซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ  $\beta > 0.6$  และ  $D < 150\text{mm}$  ค่า  $l = 25.4\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

เมื่อ  $\beta \leq 0.6$  หรือ  $\beta > 0.6$  แต่  $150\text{mm} \leq D \leq 1000\text{mm}$  ค่า  $l = 25.4\text{mm} \pm 1\text{mm}$

### 3.5 ขอบเขตของการใช้งาน

รูปแบบของการติดตั้งท่อวัดความดันจากภายนอกตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น จะใช้งานได้โดยจะมีขอบเขตของการใช้งานตามตารางที่ 3.3

	Corner Tapping	D and D/2 Tapping	Flange Tapping
เส้นผ่านศูนย์กลางของรูออริฟิส(d)(mm)	$d \geq 12.5$	$d \geq 12.5$	$d \geq 12.5$
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ(D)(mm)	$50 \leq D \leq 1000$	$50 \leq D \leq 1000$	$50 \leq D \leq 1000$
ค่าอัตราส่วนเบต้า ( $\beta$ )	$0.1 \leq \beta \leq 0.75$	$0.1 \leq \beta \leq 0.75$	$0.1 \leq \beta \leq 0.75$
ค่าเรย์โนลด์สจำนวนเบอร์ (Re)	เมื่อ $0.23 \leq \beta \leq 0.45$ $5000 \leq Re \leq 10^8$ เมื่อ $0.45 < \beta \leq 0.77$ $10000 \leq Re \leq 10^8$ เมื่อ $0.77 < \beta \leq 0.80$ $20000 \leq Re \leq 10^8$	$1260\beta^2 D \leq Re \leq 10^8$	$1260\beta^2 D \leq Re \leq 10^8$

ตารางที่ 3.3 แสดงขอบเขตการใช้งานของการติดตั้งจุดวัดความดันในรูปแบบที่ต่าง ๆ กัน

เมื่อ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ(D) และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูออริฟิส (d) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรเพิ่มเติม ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระสำหรับความยาวของท่อส่งที่มีความยาวในช่วง 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ( $k/D$ ) ทางด้านของไหลไหลเข้าหน้าแผ่นออริฟิสจะมีค่าความสัมพันธ์ตามตารางที่ 3.4

$\beta$	$\leq 0.3$	0.32	0.34	0.36	0.38	0.4	0.45	0.5
Corner Taps $10^4 k/D$	25	18	13	10	8.3	7.1	5.6	4.9
D and D/2 Tap $10^4 k/D$	25	18	13	10	10	10	10	10
Flange Taps $10^4 k/D$	25	18	13	10	10	10	10	10

ตารางที่ 3.4 แสดงขอบเขตค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนค่าความขรุขระต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อส่งทางด้านหน้าของแผ่นออริฟิส

นอกจากค่าความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างค่าความขรุขระต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ( $k/D$ ) ที่กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้นยังมีค่าความขรุขระที่จะเกิดขึ้นในแต่ละชนิดของวัสดุที่ใช้ทำท่อส่งดังจะแสดงให้ดูในตารางที่ 8 ในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออริฟิส

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออริฟิส ( $C_d$ ) จะหาได้จากสมการดังนี้

$$C_d = 0.5961 + 0.0261\beta^2 - 0.216\beta^8 + 0.000521\left(\frac{10^6\beta}{Re}\right)^{0.7} + (0.0188 + 0.0063A)\beta^{3.5}\left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0.3} \\ + (0.043 + 0.080e^{-10L_1} - 0.123e^{-7L_1})(1 - 0.11A)\frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0.031(M_2' - 0.8M_2'^{1.1})\beta^{1.3} \dots (3.1)$$

เมื่อ  $C_d$  คือค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออริฟิส

$\beta$  คือค่าอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อส่ง ( $d/D$ )

$Re$  คือค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

$L_1$  คือค่าอัตราส่วนระหว่างระยะทางจากจุดวัดความดันทางด้านของไหลไหลเข้าหน้าแผ่นออริฟิสต่อความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$L_2'$  คือค่าอัตราส่วนระหว่างระยะทางจากจุดวัดความดันทางด้านของไหลไหลออกด้านหลังของแผ่นออริฟิสต่อความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

เมื่อการเว้นระยะห่างระหว่างแผ่นออริฟิสกับจุดวัดค่าความดันตามที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้นนั้น ค่าของ  $L_1$  และ  $L_2'$  ที่ใช้แทนค่าในสมการที่ 3.1 จะมีค่าตามนี้

สำหรับจุดวัดความดันแบบ Corner Tapping  $L_1=L_2'=0$

สำหรับจุดวัดความดันแบบ D and D/2 Tapping  $L_1=1, L_2'=0.47$

สำหรับจุดวัดความดันแบบ Flange Tapping  $L_1=L_2'=25.4/D$

### 3.7 เหตุปัจจัยในการขยายตัว

สำหรับจุดวัดความดันแบบ Corner Tapping จะมีเหตุปัจจัยในการขยายตัวโดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon = 1 - (0.3707 + 0.3184\beta^4) \left(1 - \tau^x\right)^{0.935} \dots (3.2)$$

และสำหรับจุดวัดความดันแบบ D and D/2 Tapping และแบบ Flange Tapping ก็จะมีเหตุปัจจัยในการขยายตัวโดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \frac{1}{x} (1 - \tau) \dots (3.3)$$

จากสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.3 จะสามารถประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

1. ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูออริฟิส, ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อส่ง, ค่าอัตราส่วนเบต้า และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์มีค่าขอบเขตตามที่กำหนดในตาราง 3.3

2. ค่า  $\frac{P_1}{P_2} \geq 0.75$   $\left(\frac{P_1}{P_2} = \tau, P_2 = P_1 - \Delta P\right)$

3. สมการที่ 3.2 และ 3.3 จะใช้สำหรับอากาศ, ไอน้ำ และแก๊สธรรมชาติเท่านั้น แต่อาจจะสามารถประยุกต์ใช้กับไอหรือแก๊ส isentropic ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 ค่าความไม่แน่นอน

#### 3.8.1 ค่าความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออริฟิส (Cd)

เมื่อค่าอัตราส่วนเบต้า, ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อส่ง และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ สมมติว่าปราศจากค่าความผิดพลาด และค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความขรุขระต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อส่งไม่เกินขอบเขตที่กำหนดไว้ในตารางในรูปที่ 3.2 ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ค่าความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออริฟิส (Cd) จะมีค่าตามตารางที่ 3.5

$\beta$	Corner Tapping	D and D/2 Tapping	Flange Tapping
$\beta \leq 0.6$	$\pm 0.6$	$\pm 0.6$	$\pm 0.6$
$0.6 \leq \beta \leq 0.8$	$\pm \beta$	-	-
$0.6 \leq \beta \leq 0.75$	-	$\pm \beta$	$\pm \beta$

ตารางที่ 3.5 ค่าความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแผ่นออริฟิส

#### 3.8.2 ค่าความไม่แน่นอนของค่าปัจจัยการขยายตัว ( $\epsilon$ )

เมื่อค่าอัตราส่วนเบต้า และค่า  $x$  ( $x = \Delta P/P$ ) สมมติว่าปราศจากค่าความผิดพลาด ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความไม่แน่นอนของค่าปัจจัยการขยายตัวจะแสดงได้ดังตารางที่ 3.6

$\beta$	%ค่าความไม่แน่นอน
$\beta \leq 0.75$	$\pm 4x$
$0.75 < \beta \leq 0.8$ (Corner Taps)	$\pm 8x$

ตารางที่ 3.6 ค่าความไม่แน่นอนของค่าปัจจัยการขยายตัว

### 3.9 ค่าความดันสูญเสีย

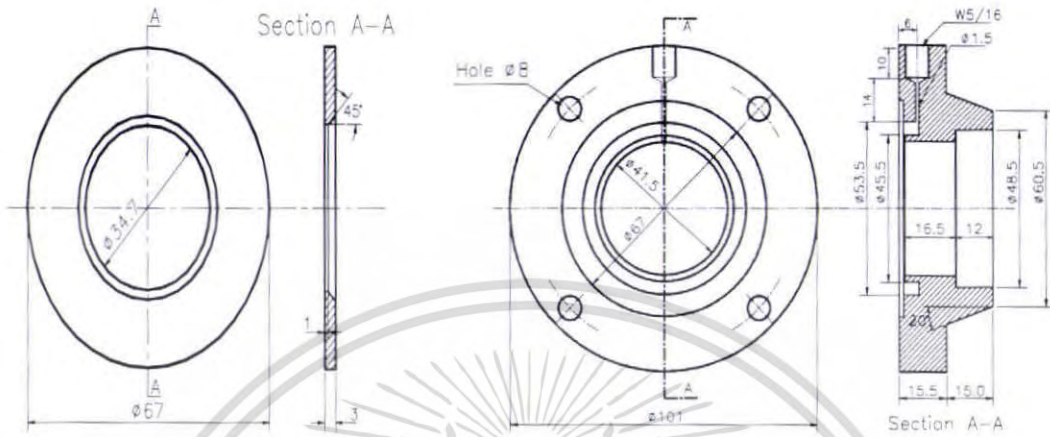
ค่าความดันสูญเสีย ( $\Delta \omega$ ) โดยประมาณสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.4

$$\Delta \omega = \frac{1 - \alpha \beta^2}{1 + \alpha \beta^2} \cdot \Delta p \dots \dots \dots (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.10 แผ่นออริฟิสและหน้าแปลนที่ออกแบบสำหรับการทดลอง

แผ่นออริฟิสมาตรฐานทำด้วยสแตนเลสสตีล มีความหนา 0.125 ถึง 0.5 นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่ง แผ่นออริฟิสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีรูปร่างดังรูปที่ 3.9



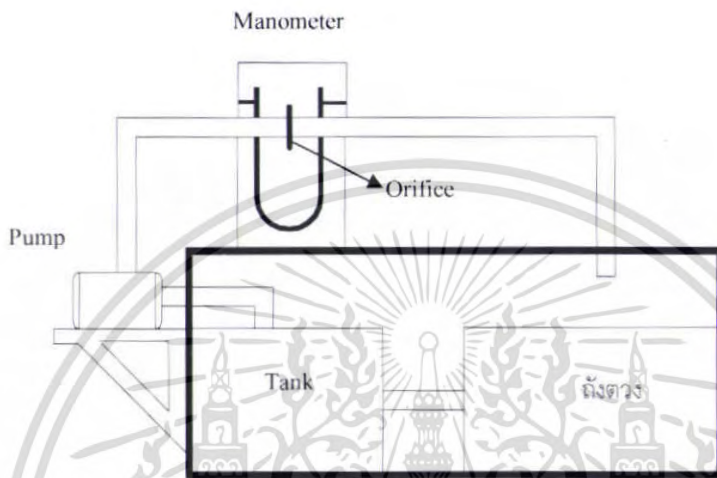
รูปที่ 3.9 แผ่นออริฟิสและหน้าแปลนที่ออกแบบสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การดำเนินงานวิจัย

ในโครงการนี้ได้จัดทำระบบการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านแผ่นออริฟิสและสามารถใช้ทดสอบวัดอัตราการไหลของน้ำได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ชุดระบบการวัดอัตราการไหลที่ได้ออกแบบและจะจัดทำขึ้น

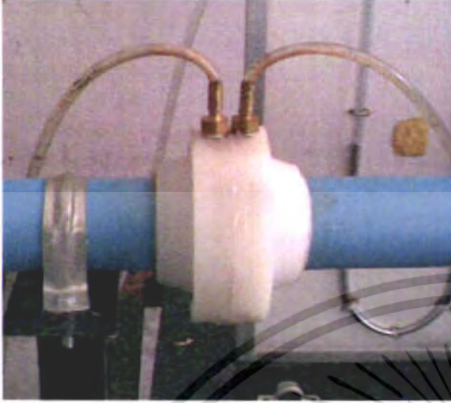


รูปที่ 4.2 แสดงชุดทดลองที่ได้ประกอบขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

ขั้นตอนต่อจากนี้คือการจัดเตรียมอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิส เพื่อให้ได้มาตรฐานจึงพิจารณากับมาตรฐานสากลโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 แผ่นออร์ฟิสที่ติดตั้งเข้ากับชุดทดลอง



รูปที่ 4.4 แมนอนิเมเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู



รูปที่ 4.5 ถังตวงบอกปริมาตรน้ำ



รูปที่ 4.6 ปั๊มน้ำ



รูปที่ 4.7 แผ่นออร์ฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แผ่นออริฟิส เป็นช่องหรือรูที่เจาะไว้บนแผ่นวัตถุที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนท่อเพื่อใช้วัดอัตราการไหลของของไหล ในการทดลองนี้กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิส 67 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ 34.7 มิลลิเมตร
2. แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู ซึ่งภายในบรรจุปรอท เพื่อใช้วัดค่าความแตกต่างของความดันระหว่างทางเข้าและทางออกของแผ่นออริฟิสโดยตรง
3. ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 41.5 มิลลิเมตร
4. ชุดทดลองวัดอัตราการไหลเพื่อวัดอัตราการไหลจริง ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้
  - 4.1 เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงซึ่งมีขีดความสามารถดังนี้
    - $Q_{max}$  600 l/min
    - 1 ~ Mot V 220-240 ~ Hz 50 2900 mint
    - KW 1.5 HP 2 ln 9.5 A 2100 W<sub>max</sub>
    - c 40  $\mu$ F VL 450 V
  - 4.2 ถังตวงขนาด 0 2103 ลูกบาศก์เมตร

## 4.2 วิธีการทดลอง

### 4.2.1 ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์

1. ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องมือวัดแบบออริฟิสมิเตอร์  
รวบรวมข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแผ่นออริฟิส และแมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูรวมทั้งเลือกชนิดของวัสดุ และกำหนดขนาดของแผ่นออริฟิสที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ และติดตั้งหน้าแปลนอุปกรณ์อื่นๆที่ประกอบเข้ากับชุดปั๊มน้ำ และระบบท่อ
2. ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัด  
นำข้อมูลที่รวบรวมได้แล้วมาทำการสรุปและเขียนแบบเครื่องมือออริฟิสมิเตอร์ลงในกระดาษเขียนแบบ แล้วจัดหาอุปกรณ์มาเพื่อลงมือทำตามแบบที่เขียนไว้ ส่วนแมนอมิเตอร์สามารถจัดซื้อมาได้เลย
3. ทำการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ทั้งหมด  
เมื่อได้เครื่องมือ และอุปกรณ์มาแล้วนั้น ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือให้เสร็จเรียบร้อย แล้วทำการตรวจสอบการติดตั้ง และการทำงานของระบบในทุกๆส่วนก่อนการทดลองจริง

### 4.2.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1. ประกอบแผ่นออริฟิสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ 34.7 มิลลิเมตรเข้ากับชุดทดลองที่สร้างขึ้น
2. ตรวจสอบความพร้อมของชุดทดลองก่อนเดินเครื่อง เช่น ระดับน้ำในถัง หรือรอยรั่วตามข้อต่อต่างๆที่อาจเกิดขึ้นได้
3. ต่อสะพานไฟและกดปุ่มเดินเครื่อง ปรับการไหลของน้ำในท่อจนกระทั่งน้ำไหลเต็มท่อและไม่มีฟองอากาศในท่อ
4. ปรับความดันตกคร่อมระหว่างแผ่นออริฟิสโดยอ่านความสูงแตกต่างของปรอทจากแมนอมิเตอร์เริ่มแรกที่ 20 มิลลิเมตรปรอท แล้วตวงน้ำที่ไหลออกจากระบบท่อด้วยการจับเวลา 30 วินาที แล้วจดบันทึกปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากระบบท่อทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย
5. ทำการทดลองเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ โดยการปรับวาล์วควบคุมการไหลให้เพิ่มอัตราการไหลให้มากขึ้น และเปลี่ยนระดับความสูงแตกต่างของลำปรอทในแมนอมิเตอร์เป็น 40,60,80,100,120 และ 140 มิลลิเมตรปรอท และต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำด้วยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1. คำนวณหาอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำจากการทดลองในแต่ละระดับความสูงที่ทำการทดลอง
2. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส (Cd)

จากสมการ  $Q_{ac} = \frac{C_d A_{or}}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \sqrt{2g \left( \frac{\rho_m}{\rho} - 1 \right) \cdot \Delta h_m}$

เมื่อ  $A_{or} = \frac{\pi}{4} (34.7 \times 10^{-3})^2 = 9.457 \times 10^{-4} m^2$

$\beta = \frac{d}{D} = \frac{34.7}{41.5} \approx 0.8$

$g = 9.81 m/s^2$

$\rho_m = \rho_{ปรอท} = 13.6 \times 10^3$

$\rho = \rho_{น้ำ} = 997.1$  (น้ำที่ 25 องศาเซลเซียส)

แทนค่าในสมการข้างต้นได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$Q_{ac} = 0.0208222 \cdot C_d \cdot \sqrt{\Delta h} \dots \dots \dots (4.1)$

จากนั้นแทนค่าอัตราการไหลเฉลี่ยในแต่ละระดับความสูงที่คำนวณไว้ ( $Q_{ac}$ ) และค่าความสูงแตกต่างของลำปรอทในแมนอมิเตอร์ ( $\Delta h$ ) ลงในสมการที่ 4.1 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ )

3. คำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำจากทฤษฎี เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าระดับความสูงแตกต่างของลำปรอทในแมนอมิเตอร์ ( $\Delta h$ ) แล้วก็สามารถหาค่าอัตราการไหลของน้ำตามทฤษฎีโดยใช้สมการที่ 4.1

4. นำค่าอัตราการไหลจากทฤษฎีและค่าอัตราการไหลจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับกัน และคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ของแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง

5. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าระดับความสูงแตกต่างของลำปรอทในแมนอมิเตอร์

6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) กับค่าอัตราการไหลของน้ำตามทฤษฎี

7. คำนวณหาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

จากสมการ  $\frac{Re}{C} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \cdot \frac{d}{v}$

$\left( \frac{Re}{C_d / \sqrt{1-\beta^4}} \right) = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \cdot \frac{d}{v}$

$Re = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \cdot \frac{d}{v}$

เมื่อค่า  $v = 8.97 \times 10^{-7} m^3/s$  (น้ำที่ 25 องศาเซลเซียส)

แทนค่าในสมการข้างต้นได้สมการความสัมพันธ์ใหม่ดังนี้

$Re = (239576.8629) \cdot C_d \cdot \sqrt{\Delta h} \dots \dots \dots (4.2)$

เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าความสูงแตกต่างของลำปรอทในแมนอมิเตอร์ ( $\Delta h$ ) แล้วแทนลงในสมการที่ 4.2 ก็จะทราบค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

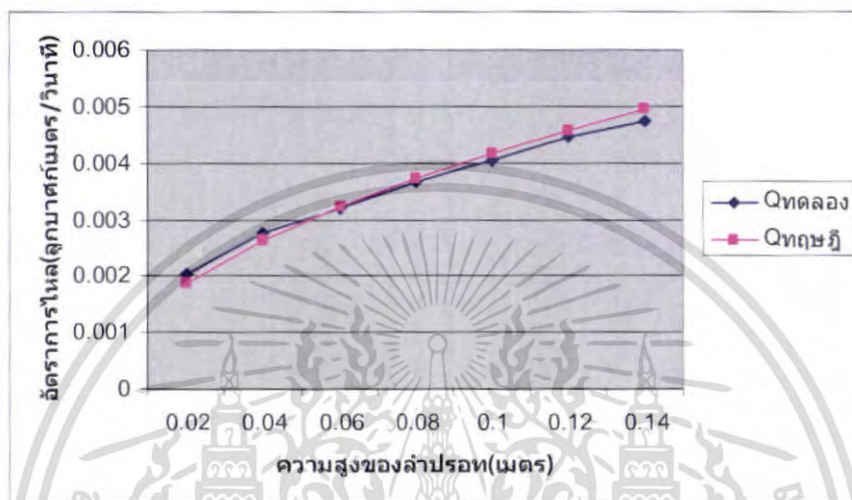
8. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

9. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองหรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

1.ผลการทดลองการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ

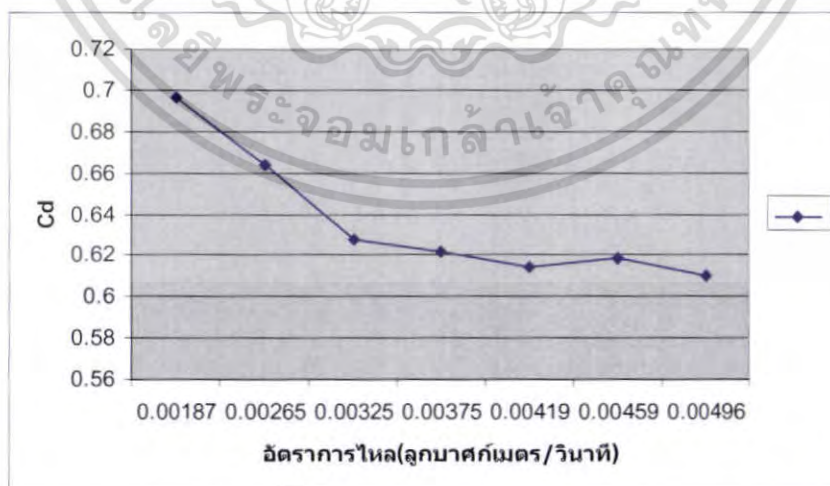
จากการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อโดยการตวงน้ำที่ไหลออกจากระบบท่อภายในเวลา 30 วินาที ซึ่งทำการทดลองทั้งสิ้น 7 ระดับความสูงของลำปรอทในแมนอมิเตอร์ระดับความสูงละ 3 ครั้ง และการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อโดยวิธีการคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความสูงของลำปรอทในแมนอมิเตอร์

2.ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) กับค่าอัตราการไหลตามทฤษฎี

จากการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) ที่ได้จากการคำนวณ ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.9

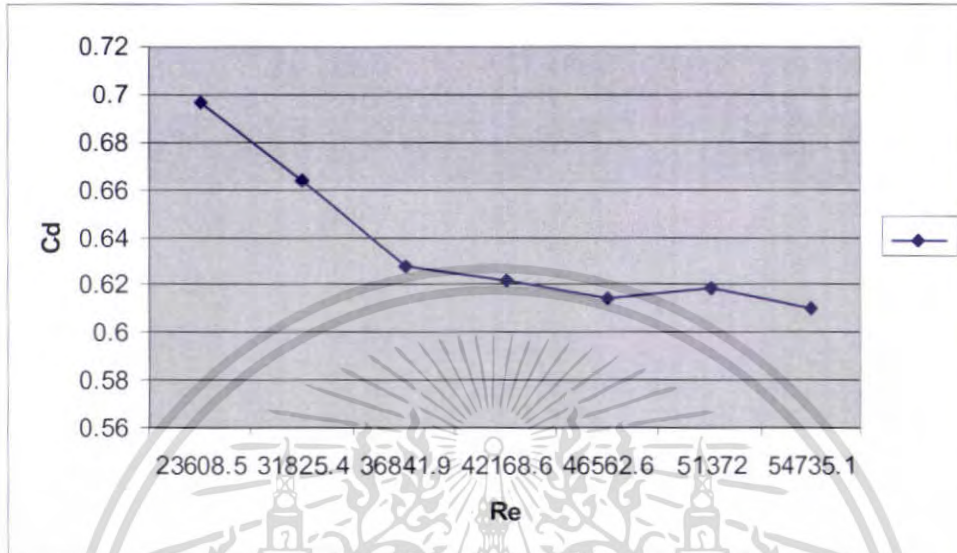


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าอัตราการไหลตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส ( $C_d$ ) กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส ( $C_d$ ) กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re) ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส ( $C_d$ ) กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสร้างแผ่นออริฟิสวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ และใช้ปรอทเป็นของเหลวในแมนอมิเตอร์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส ( $C_d$ ) ที่หาได้จากการทดลองมีค่า 0.6365 จากการทดสอบแผ่นออริฟิสที่สร้างขึ้นโดยการวัดอัตราการไหลของน้ำเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของแผ่นออริฟิสที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ประมาณ  $\pm 3.9625$  ซึ่งตามหลักการแล้วนั้น อัตราการไหลของน้ำที่ได้จากการทดลองต้องมีค่าน้อยกว่าอัตราการไหลที่คำนวณได้จากทฤษฎี เพราะอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีนั้นจะไม่มีแรงเสียดทานมาเกี่ยวข้อง และจากการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส ( $C_d$ ) และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์จะเห็นว่ามีความสอดคล้องกันตามทฤษฎี

#### 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. อัตราการไหลของน้ำที่หาได้จากการวัดด้วยถังตวงนั้นอาจจะได้ค่าที่ไม่ถูกต้องแน่นอนนักเพราะเมื่อปิดบีบให้น้ำหยุดไหลเมื่อครบเวลา 30 วินาทีแล้วนั้น อาจมีปริมาณน้ำเพิ่มมาอีกเล็กน้อยจึงทำให้ปริมาณน้ำที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อย
2. เราไม่สามารถหาบริเวณพื้นที่ที่ลำน้ำคอดตัวมากที่สุด (Venacontracta) ได้เพราะการจะหาพื้นที่บริเวณนั้นเป็นการทดลองที่ทำได้ยากมากทีเดียว เพราะต้องใช้กล้องที่มีความละเอียดสูงมากๆ เพื่อถ่ายภาพลำน้ำที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิสออกมา และกล้องก็มีราคาแพงมากอีกด้วย เราจึงประมาณค่าพื้นที่บริเวณที่คอดตัวมากที่สุด (Venacontracta) นี้ให้มีพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่รูระบายของแผ่นออริฟิส เพราะตามทฤษฎีแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกันพอสมควร

## บรรณานุกรม

- (1) Bruce R.Munson,Donald F.Young and Theodore H.Okiishi.**Fundamentals of Fluid Mechanics**.4<sup>th</sup> ed.Singapore:John Wiley & Sons,2001.
- (2) รศ.ดร.มนตรี พิรุณเกษตร.**กลศาสตร์ของไหล**.พิมพ์ครั้งที่ 2 : บริษัทอุณหพลศาสตร์ จำกัด,2547.
- (3) ISO 5167-2:2003(E),**Measurement of fluid flow by means of pressure differential device inserted in circular-cross section conduits running full-Orifice plate**.1th ed.Switzerland.TISI Library.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ

ลำดับที่	h(m)	Qทดลอง ( $m^3/s$ )			Qเฉลี่ย ( $m^3/s$ )
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	0.02	0.001986	0.002108	0.002062	0.002052
2	0.04	0.002693	0.002705	0.0029	0.002766
3	0.06	0.003098	0.003275	0.003233	0.003202
4	0.08	0.003701	0.003585	0.003709	0.003665
5	0.1	0.003978	0.004102	0.004061	0.004047
6	0.12	0.004398	0.004484	0.004513	0.004465
7	0.14	0.004698	0.004809	0.004764	0.004757

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทดลองและค่าอัตราการไหลที่ได้จากทฤษฎี

ลำดับที่	h(m)	Qทดลอง ( $m^3/s$ )	Qtฤษฎี ( $m^3/s$ )	%error
1	0.02	0.002052	0.001874	-9.4984
2	0.04	0.002766	0.002651	-4.338
3	0.06	0.003202	0.003246	1.3355
4	0.08	0.003665	0.003749	2.292
5	0.1	0.004047	0.004191	3.436
6	0.12	0.004465	0.004591	2.7445
7	0.14	0.004757	0.004959	4.0734

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการคำนวณค่าอัตราการไหลในระบบท่อ และการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส ( $C_d$ )

ลำดับที่	h(m)	Q ทฤษฎี ( $m^3/s$ )	Cd	Avg.Cd
1	0.02	0.001874	0.6968	0.6365
2	0.04	0.002651	0.6642	
3	0.06	0.003246	0.6278	
4	0.08	0.003749	0.6223	
5	0.1	0.004191	0.6146	
6	0.12	0.004591	0.619	
7	0.14	0.004959	0.6106	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่าย ( $C_d$ ) และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ( $Re$ )

ลำดับที่	h(m)	$C_d$	$Re$
1	0.02	0.6968	23608.4793
2	0.04	0.6642	31825.3905
3	0.06	0.6278	36841.8823
4	0.08	0.6223	42168.6472
5	0.1	0.6146	46562.6222
6	0.12	0.619	51371.9612
7	0.14	0.6106	54735.0717

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ 5 แสดงค่ามาตรฐานของแผ่นออริฟิสที่ขนาดต่างๆกัน

	BS 4504 PN16	BS 4504 PN25	BS 4504 PN40	BS10 Table H	ANSI 150	ANSI 300	ANSI 600	JIS20	KS20	Weight (see note 6)
Size	A	A	A	A	A	A	A	A	A	kg
DN25	73	73	73	71.4	66.7	73.0	73.0	74	74	2.36
DN40	94	94	94	88.9	85.7	95.3	95.3	89	89	3.72
DN50	109	109	109	111.1	104.7	111.1	111.1	104	104	4.91
DN65	129	129	129	130.1	123.8	130.2	130.2	124	124	6.21
DN80	144	144	144	149.2	136.5	149.3	149.3	140	140	7.91
DN100	164	170	170	174.6	174.6	181.0	193.7	165	165	13.75
DN125	194	196	196	215.9	196.9	216.0	241.3	203	203	20.98
DN150	220	226	226	241.3	222.3	250.9	266.7	238	238	23.51
DN200	275	286	293	304.9	279.4	308.0	320.6	383	383	31.25
DN250	331	343	355	358.8	339.7	361.9	400.0	356	356	47.95
DN300	386	403	420	415.9	409.6	422.2	457.1	406	400	58.74
DN350	446	460	477	469.9	450.8	485.7	492.1	450	450	60.20
DN400	498	517	549	527.0	574.3	539.7	585.1	570	570	85.99
DN450	559	567	574	581.0	549.2	596.8	612.7	575	575	94.38
DN500	620	627	631	644.5	606.4	654.0	682.6	630	630	117.69
DN600	737	734	750	749.3	717.5	774.7	790.6	734	734	146.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านการไหล

$$\text{Loss Coefficients for Pipe Components } \left( h_L = K_L \cdot \frac{V^2}{2g} \right)$$

Component	$K_L$	
<b>a. Elbows</b>		
Regular 90°, flanged	0.3	
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
<b>b. 180° return bends</b>		
180° return bend, flanged	0.2	
180° return bend, threaded	1.5	
<b>c. Tees</b>		
Line flow, flanged	0.2	
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
<b>d. Union, threaded</b>		
	0.08	
<b>e. Valves</b>		
Globe, fully open	10	
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, 1/4 closed	0.26	
Gate, 1/2 closed	2.1	
Gate, 3/4 closed	17	
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, 1/3 closed	5.5	
Ball valve, 2/3 closed	210	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเบต้า, ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ และค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของแผ่นออริฟิส

Diam- eter ratio $\beta$	Discharge coefficient, C, for $Re_D$ equal to											
	$5 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	$2 \times 10^4$	$3 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$7 \times 10^4$	$1 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^7$	$1 \times 10^8$	$\infty$
0,10	0,600 6	0,599 0	0,598 0	0,597 6	0,597 2	0,597 0	0,596 9	0,596 6	0,596 5	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,12	0,601 4	0,599 5	0,598 3	0,597 9	0,597 5	0,597 3	0,597 1	0,596 8	0,596 6	0,596 5	0,596 5	0,596 5
0,14	0,602 1	0,600 0	0,598 7	0,598 2	0,597 7	0,597 5	0,597 3	0,596 9	0,596 8	0,596 6	0,596 6	0,596 6
0,16	0,602 8	0,600 5	0,599 1	0,598 5	0,598 0	0,597 8	0,597 6	0,597 1	0,596 9	0,596 8	0,596 8	0,596 8
0,18	0,603 6	0,601 1	0,599 5	0,598 9	0,598 3	0,598 1	0,597 8	0,597 4	0,597 1	0,597 0	0,597 0	0,596 9
0,20	0,604 5	0,601 7	0,600 0	0,599 3	0,598 7	0,598 4	0,598 1	0,597 6	0,597 4	0,597 2	0,597 2	0,597 1
0,22	0,605 3	0,602 3	0,600 5	0,599 8	0,599 1	0,598 7	0,598 5	0,597 9	0,597 6	0,597 4	0,597 4	0,597 4
0,24	0,606 2	0,603 0	0,601 0	0,600 2	0,599 5	0,599 1	0,598 8	0,598 2	0,597 9	0,597 7	0,597 6	0,597 6
0,26	0,607 2	0,603 8	0,601 6	0,600 7	0,599 9	0,599 6	0,599 2	0,598 6	0,598 2	0,598 0	0,597 9	0,597 9
0,28	0,608 3	0,604 6	0,602 2	0,601 3	0,600 4	0,600 0	0,599 7	0,599 0	0,598 6	0,598 3	0,598 2	0,598 1
0,30	0,609 5	0,605 4	0,602 9	0,601 9	0,601 0	0,600 5	0,600 1	0,599 4	0,598 9	0,598 6	0,598 5	0,598 4
0,32	0,610 7	0,606 3	0,603 6	0,602 6	0,601 6	0,601 1	0,600 6	0,599 8	0,599 3	0,599 0	0,598 8	0,598 7
0,34	0,612 0	0,607 3	0,604 4	0,603 3	0,602 2	0,601 7	0,601 2	0,600 3	0,599 8	0,599 3	0,599 2	0,599 1
0,36	0,613 5	0,608 4	0,605 3	0,604 0	0,602 9	0,602 3	0,601 8	0,600 8	0,600 2	0,599 7	0,599 6	0,599 4
0,38	0,615 1	0,609 6	0,606 2	0,604 9	0,603 6	0,603 0	0,602 4	0,601 3	0,600 7	0,600 1	0,599 9	0,599 8
0,40	0,616 8	0,610 9	0,607 2	0,605 8	0,604 4	0,603 7	0,603 1	0,601 9	0,601 2	0,600 6	0,600 3	0, 600 1
0,42	0,618 7	0,612 2	0,608 3	0,606 7	0,605 2	0,604 4	0,603 8	0,602 5	0,601 7	0,601 0	0,600 7	0,600 5
0,44	0,620 7	0,613 7	0,609 4	0,607 7	0,606 1	0,605 2	0,604 5	0,603 1	0,602 2	0,601 4	0,601 1	0,600 8
0,46	0,622 8	0,615 2	0,610 6	0,608 7	0,607 0	0,606 1	0,605 3	0,603 7	0,602 7	0,601 9	0,601 5	0,601 2
0,48	0,625 1	0,616 9	0,611 8	0,609 8	0,607 9	0,606 9	0,606 1	0,604 3	0,603 3	0,602 3	0,601 9	0,601 5
0,50	0,627 6	0,618 6	0,613 1	0,610 9	0,608 8	0,607 8	0,606 9	0,605 0	0,603 8	0,602 7	0,602 2	0,601 8
0,51	0,628 9	0,619 5	0,613 8	0,611 5	0,609 3	0,608 2	0,607 3	0,605 3	0,604 0	0,602 9	0,602 4	0,601 9
0,52	0,630 2	0,620 4	0,614 4	0,612 1	0,609 8	0,608 7	0,607 7	0,605 6	0,604 3	0,603 0	0,602 5	0,602 0
0,53	0,631 6	0,621 3	0,615 1	0,612 6	0,610 3	0,609 1	0,608 0	0,605 9	0,604 5	0,603 2	0,602 6	0,602 1
0,54	0,633 0	0,622 3	0,615 8	0,613 2	0,610 8	0,609 5	0,608 4	0,606 1	0,604 7	0,603 3	0,602 7	0,602 1
0,55	0,634 4	0,623 2	0,616 5	0,613 8	0,611 2	0,609 9	0,608 8	0,606 4	0,604 9	0,603 4	0,602 8	0,602 2
0,56	—	0,624 2	0,617 2	0,614 3	0,611 7	0,610 3	0,609 1	0,606 6	0,605 0	0,603 5	0,602 8	0,602 2
0,57	—	0,625 2	0,617 9	0,614 9	0,612 1	0,610 7	0,609 5	0,606 9	0,605 2	0,603 6	0,602 8	0,602 2
0,58	—	0,626 2	0,618 5	0,615 5	0,612 6	0,611 1	0,609 8	0,607 0	0,605 3	0,603 6	0,602 8	0,602 1
0,59	—	0,627 2	0,619 2	0,616 0	0,613 0	0,611 4	0,610 1	0,607 2	0,605 4	0,603 6	0,602 8	0,602 0
0,60	—	0,628 2	0,619 8	0,616 5	0,613 4	0,611 7	0,610 3	0,607 3	0,605 4	0,603 5	0,602 7	0,601 9
0,61	—	0,629 2	0,620 5	0,617 0	0,613 7	0,612 0	0,610 6	0,607 4	0,605 4	0,603 4	0,602 5	0,601 7
0,62	—	0,630 2	0,621 1	0,617 5	0,614 0	0,612 3	0,610 8	0,607 5	0,605 4	0,603 3	0,602 3	0,601 4
0,63	—	0,631 2	0,621 7	0,617 9	0,614 3	0,612 5	0,610 9	0,607 5	0,605 2	0,603 0	0,602 1	0,601 1
0,64	—	0,632 1	0,622 2	0,618 3	0,614 5	0,612 6	0,611 0	0,607 4	0,605 1	0,602 8	0,601 7	0,600 7
0,65	—	0,633 1	0,622 7	0,618 6	0,614 7	0,612 7	0,611 0	0,607 3	0,604 8	0,602 4	0,601 3	0,600 2
0,66	—	0,634 0	0,623 2	0,618 9	0,614 8	0,612 8	0,611 0	0,607 1	0,604 5	0,602 0	0,600 8	0,599 7
0,67	—	0,634 8	0,623 6	0,619 1	0,614 9	0,612 7	0,610 8	0,606 8	0,604 1	0,601 4	0,600 2	0,599 0
0,68	—	0,635 7	0,623 9	0,619 3	0,614 9	0,612 6	0,610 6	0,606 4	0,603 6	0,600 8	0,599 5	0,598 3
0,69	—	0,636 4	0,624 2	0,619 3	0,614 7	0,612 4	0,610 4	0,605 9	0,603 0	0,600 1	0,598 7	0,597 4
0,70	—	0,637 2	0,624 4	0,619 3	0,614 5	0,612 1	0,610 0	0,605 3	0,602 3	0,599 2	0,597 8	0,596 4
0,71	—	0,637 8	0,624 5	0,619 2	0,614 2	0,611 7	0,609 4	0,604 6	0,601 4	0,598 2	0,596 7	0,595 3
0,72	—	0,638 3	0,624 4	0,618 9	0,613 8	0,611 1	0,608 8	0,603 8	0,600 5	0,597 1	0,595 5	0,594 0
0,73	—	0,638 8	0,624 3	0,618 6	0,613 2	0,610 4	0,608 0	0,602 8	0,599 3	0,595 8	0,594 2	0,592 6
0,74	—	0,639 1	0,624 0	0,618 1	0,612 5	0,609 6	0,607 1	0,601 6	0,598 0	0,594 3	0,592 6	0,591 0
0,75	—	0,639 4	0,623 6	0,617 4	0,611 6	0,608 6	0,606 0	0,600 3	0,596 5	0,592 7	0,590 9	0,589 2

NOTE This table is given for convenience. The values given are not intended for precise interpolation. Extrapolation is not permitted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงค่าความขรุขระของผนังท่อที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน

Materials	Condition	k(mm)
Brass,Copper,Glass Aluminium,Plastic	Smooth,without sediments	<0.03
Steel	New,seamless cold drawn New,seamless hot drawn	<0.03
	New,seamless rolled New,welded longitudinally	0.05-0.1
	New,welded spirally	0.1
	Slightly rusted	0.1-0.2
	Rusty	0.2-0.3
	Encrusted	0.5-2
	With heavy incrustations	>2
	Bituminized (new)	0.03-0.05
	Bituminized ,normal	0.1-0.2
	Galvanized	0.13
Cast iron	New	0.25
	Rusty	1-1.5
	Encrusted	>1.5
	Bituminized,new	0.03-0.05
Asbestos cement	Insulated and not insulated,(new)	<0.03
	Not insulated,normal	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

สืบค้นข้อมูลออนไลน์ของบทความและปริิญาณิพนธ์ได้ที่

www.kmitl.info

บทความประกอบวิชา 01053025 Project 2 ภาคเรียนที่ 2/2550 วันจันทร์ที่ 17 มีนาคม 2551



## การสร้างและการหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสโดยวิธีการทดลอง<sup>1</sup>

ธีรยุทธ บาลี<sup>2</sup>, รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสมีเตอร์นี้แผ่นออริฟิสทำการออกแบบตามมาตรฐานสากลและสร้างขึ้นจากเหล็กสแตนเลสตีลซึ่งมีความหนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่น 67 มิลลิเมตรและช่องเปิด(ช่องออริฟิส)มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.7 มิลลิเมตร จากนั้นนำแมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู(U-tube Manometer)มาต่อเข้ากับชุดของออริฟิสมีเตอร์ซึ่งจะเป็นการต่อแบบCorner Tappingsแล้วนำชุดออริฟิสมีเตอร์มาติดตั้งเข้ากับระบบท่อและปั้มน้ำแล้วทำการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของน้ำโดยบันทึกค่าผลต่างของระดับความสูง(h)ของปรอทในแมนอมิเตอร์และปริมาตรของน้ำที่ตรงได้ในเวลา 30 วินาทีที่ระดับค่าความสูงต่างๆกัน ทำการทดลอง 7 ค่า ค่าละ 3 ครั้งจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของแต่ละค่า h แล้วนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส(Coefficient of Discharge, Cd)ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6365 เพื่อใช้คำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำตามทฤษฎีและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส(Cd)กับเรย์โนลด์นัมเบอร์(Re)จากการศึกษาพบว่าค่าอัตราการไหลที่วัดได้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด  $\pm 3.9625$

### Abstract

This Orifice meter designed with ISO and created orifice plate with stainless steel . The thickness of the orifice plate was 3 mm,diameter of orifice plate was 67 mm and diameter of Orifice hole was 34.7mm. After that used U-tube Manometer to joint Orifice meter way Corner Tappings and joint to pump. Test measurement of fluid in pipe and note different higher. Test 7 value once 3 value after that to calculate to average flow rate of water for calculate to Coefficient of Discharge (Cd) that 0.6365 . Used Coefficient of Discharge to calculate to flow rate of water by theory and found the related between Coefficient of Discharge (Cd) and Reynolds Number (Re). Form studied found flow rate of water had been %error  $\pm 3.9625$

© 2007 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

### 1.บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆมักจะมีพบวัตถุติดหรือผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะของของเหลวหรือของไหลซึ่งคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องและเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการแปรรูปหรือการขนถ่ายวัตถุติดและผลิตภัณฑ์ดังกล่าวคือคุณสมบัติของการไหลหรืออัตราการไหลนั่นเองดังนั้นการติดตั้งเครื่องมือที่ช่วยในการวัดอัตราการไหลจึงมีความสำคัญและจำเป็นมากต่อกระบวนการแปรรูปและการขนถ่ายในกระบวนการผลิต ขณะเดียวกันเครื่องมือที่ติดตั้งนั้นจะต้องมีความแม่นยำและเที่ยงตรงรวมทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการดำเนินการที่ต่ำ และเพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีคุณสมบัติตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจึงควรทำการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องมือวัดแบบออริฟิสมีเตอร์ขึ้นมาเพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม

<sup>1</sup> ชื่ออังกฤษ "Study an orifice discharge coefficient with method"

<sup>2</sup> นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง G รหัส 46010319

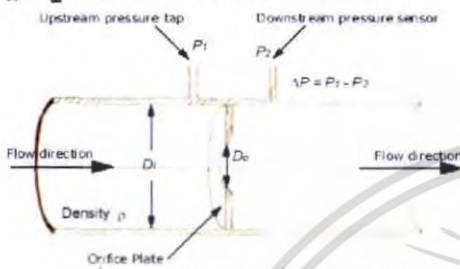
<sup>3</sup> รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. โทร 0 2326 4197

2.วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างแผ่นออริฟิสตามมาตรฐานสากล
2. ทาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสโดยวิธีทดลอง
3. ทดสอบวัดอัตราการไหลเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิสที่ได้จากการทดลอง

3.หลักการและทฤษฎี

3.1ทฤษฎีพื้นฐานการวัดอัตราการไหลของออริฟิส



รูปที่ 3.1 มาตรฐานการวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส

จากรูปที่ 3.1 สมการแบร์นูลลีระหว่างจุดที่ 1 กับจุดที่ 2 คือ

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \dots\dots\dots(3.1)$$

เนื่องจาก \$Z\_1 = Z\_2\$ เพราะว่าท่อวางอยู่ในแนวระดับเดียวกัน

เมื่อ \$A\_2 < A\_1\$ และ \$V\_2 > V\_1\$ ดังนั้น \$P\_1 > P\_2\$ จัดสมการที่ (3.1) ใหม่

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{1}{2g} (V_2^2 - V_1^2) \dots\dots\dots(3.2)$$

แทนค่า \$V\_1 = \frac{Q}{A\_1}\$ และ \$V\_2 = \frac{Q}{A\_2}\$ ลงในสมการที่ (3.2)

และจัดสมการใหม่

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{Q^2}{2g \cdot A_2^2} \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right) \dots\dots\dots(3.3)$$

เนื่องจากเราสามารถหาระดับความดันแตกต่างกันระหว่างจุดที่ 1

และ 2 ในแมนอมิเตอร์ได้ว่า

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m \dots\dots\dots(3.4)$$

สมการที่ (3.3) เท่ากับ สมการที่ (3.4)

$$\frac{Q^2}{A_2^2} \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right) = 2g \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m$$

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{2g \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m} \dots\dots\dots(3.5)$$

กำหนดให้พื้นที่การไหลเป็น \$A\_2 = C\_c A\_{or}\$ โดยที่

\$A\_{or}\$ คือพื้นที่รูเจาะบนแผ่นออริฟิส

\$C\_c\$ คือสัมประสิทธิ์คอนแทรกตา (Contracta Coefficient)

\$A\_2\$ คือพื้นที่หน้าตัดวินาคอนแทรกตา

$$Q = \frac{C_c A_{or}}{\sqrt{1 - \left(\frac{C_c A_{or}}{A_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{2g \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m} \dots\dots\dots(3.6)$$

สมการที่ (3.6) เป็นสมการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงทฤษฎี

สำหรับของไหลยวตัวไม่ได้ผ่านออริฟิสที่ไม่เกิดผลของความหนืดของของไหลและใช้ได้กับการไหลที่มีเลขเรย์โนลด์สูงๆ สำหรับการไหลที่มีเลขเรย์โนลด์ต่ำปานกลางจะเกิดผลของความหนืดโดยพิจารณาผลของสัมประสิทธิ์ความเร็วจะได้สมการ อัตราไหลจริงเป็น

$$Q_{ac} = \frac{C_c C_v A_{or}}{\sqrt{1 - \left(\frac{C_c A_{or}}{A_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{2g \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m} \dots\dots\dots(3.7)$$

ผลคูณของ \$C\_c C\_v\$ เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของมาตรวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส ซึ่งมีค่าเท่ากับ \$C\_d\$ เขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$Q_{ac} = \frac{C_d A_{or}}{\sqrt{1 - \left(\frac{C_c A_{or}}{A_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{2g \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m} \dots\dots\dots(3.8)$$

จากสมการที่ (3.8) จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของมาตรวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส \$C\_d\$ และค่าสัมประสิทธิ์การคอดตัว \$C\_c\$ ซึ่งเป็นค่าที่หาได้ยาก ดังนั้นถ้าผู้ทอใหม่เป็นดังสมการที่ (3.9) จะหาอัตราการไหลได้สะดวกขึ้น

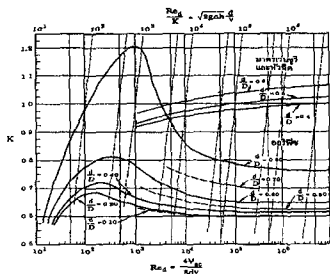
$$Q_{ac} = C A_{or} \cdot \sqrt{2g \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m} \dots\dots\dots(3.9)$$

โดยที่ \$C = \frac{C\_d}{\sqrt{1 - \left(\frac{C\_c A\_{or}}{A\_1}\right)^2}}\$ คือสัมประสิทธิ์การไหล

โดยที่ \$C\_d\$ คือสัมประสิทธิ์การจ่ายของมาตรวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสค่าของ \$C\_d\$ นี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูออริฟิสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ \$\left(\frac{d}{D}\right)\$ และเลขเรย์โนลด์

(Re) โดยที่ \$Re = \frac{4Q\_{ac}}{\pi d \nu}\$ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 สัมประสิทธิ์การไหล C และ Re/C กับ Re สำหรับมาตรวัดอัตราแบบ เวนจรี, แบบหัวฉีดและแบบออร์ฟิส

ถ้าทราบค่า  $Q_{ac}$  และ  $Re = \frac{4Q_{ac}}{\pi d v}$  ในรูปที่ 3.2 สเกลแนวนอน ด้านล่างแสดงค่าของ Re ลากเส้นแนวดิ่งไปตัดกับเส้นอัตราส่วน  $d/D$  ของมาตรวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสจะได้ค่าของ C ถ้าทราบค่า  $\Delta h_m$  แต่ไม่ทราบค่าอัตราการไหลจะทำให้ไม่สามารถคำนวณหา Re ได้ จึงเลือกพิจารณาในพจน์ของ Re/C แทน

กำหนดให้  $\left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \Delta h_m = \Delta h$  จากสมการที่ 3.9 แทนค่า

$A_{or} = \pi d^2 / 4$  ดังนั้นจะได้

$$Q_{ac} = C \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2g\Delta h} \dots \dots \dots (3.10)$$

เนื่องจาก  $Re = \frac{4Q_{ac}}{\pi d v}$  แทนค่า  $Q_{ac}$  จากสมการที่ 3.10 จะได้

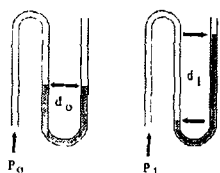
$$Re = C \frac{d}{v} \sqrt{2g\Delta h}$$

จัดสมการที่ 3.10 ใหม่จะได้

$$\frac{Re}{C} = \frac{d}{v} \sqrt{2g\Delta h} \dots \dots \dots (3.11)$$

**3.2 แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู(U-tube manometer)**

แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูนี้จะใช้หลอดแก้วดัดเป็นรูปตัวยูตามรูปที่ 3.3 เมื่อมีความดันแตกต่างความดันด้านสูงจะดันให้ของเหลวจากด้านซ้ายของหลอดแก้วไหลไปยังอีกข้างหนึ่ง ของเหลวจะหยุดเมื่อแรงที่เกิดจากความดันแตกต่างสมดุลกับแรงที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลวในหลอดแก้วด้านขวาโดยจะพิจารณาจากหลักการที่ว่า “ในของเหลวชนิดเดียวกันที่ต่อเนื่องถึงกันความดันที่ระดับความสูงเดียวกันย่อมต้องมีค่าเท่ากัน”



รูปที่ 3.3 แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู

กำหนดให้

$g$  คือ แรงโน้มถ่วง

$\rho_m$  คือ ความหนาแน่นของของเหลวภายในแมนอมิเตอร์

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหลเหนือของเหลว

จะได้ว่า  $P_1 - P_2 = \Delta h(\rho_m - \rho) \cdot g \dots \dots \dots (3.12)$

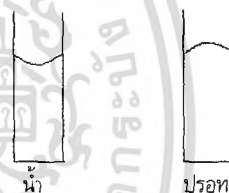
เพราะเหตุว่า  $\rho_m \gg \rho$

ในทางปฏิบัติจึงถือว่า  $\rho = 0$

ดังนั้นจะได้ว่า  $\Delta P = \rho_m \cdot g \cdot \Delta h \dots \dots \dots (3.13)$

คุณสมบัติของของเหลวที่จะเติมลงในแมนอมิเตอร์จะต้องเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยา หรือรวมตัวกับสารที่ต้องการวัดความดันในระบบ และต้องไม่เป็นพิษไม่กัดกร่อนแข็งตัวหรือเดือดในสภาวะใช้งาน

น้ำหรือน้ำมันผสมมีค่าความตึงผิวต่ำทำให้มีน้ำบางส่วนเกาะกับผิวผนังภายในท่อ ส่วนปรอทจะมีค่าความตึงผิวสูงทำให้ระดับใจกลางท่อสูงกว่าผิวผนังภายในท่อตามรูปที่ 3.4 ซึ่งผลของความตึงผิวนี้จะทำให้การอ่านค่าผิดไปได้ ค่าที่ถูกต้องต้องอ่านจากระดับจุดศูนย์กลางท่อ การอ่านค่าผิดลักษณะนี้เรียกว่า พาราแลกซ์(Parallax)

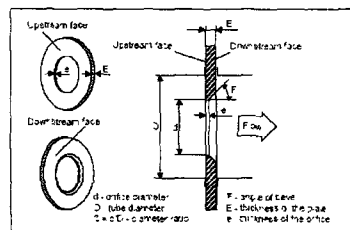


รูปที่ 3.4 ส่วนโค้งที่ผิวของเหลวจะเกิดขึ้นเนื่องจากค่าความตึงผิว

**4.การออกแบบแผ่นออร์ฟิสตามมาตรฐานสากล**

แผ่นออร์ฟิสมาตรฐานทำด้วยสแตนเลสสตีล มีความหนา 0.125 ถึง 0.5 นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่ง ซ็อกของออร์ฟิสทางด้านของไหลไหลเข้าจะเป็นมุมฉากทางด้านออกจะผายออกประมาณ 45องศาเพื่อเป็นการลดความเสียดทานลงให้เหลือเท่าที่จำเป็นสำหรับกรวัด

**4.1 โครงสร้างของแผ่นออร์ฟิส**



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของแผ่นออร์ฟิส

A : ด้านหน้าของแผ่นออร์ฟิสด้านของไหลไหลเข้า (Upstream face)

B : ด้านหลังของแผ่นออร์ฟิสด้านของไหลไหลออก (Downstream face)

d : เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิส(Diameter of orifice)

เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร

E : ความหนาของแผ่นออริฟิส (Thickness of the plate)

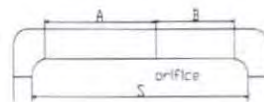
มีค่าอยู่ระหว่าง e ถึง 0.05D ( $e \leq E \leq 0.05D$ )

e : ความหนาของขอบ (Thickness of edge)

ความหนาของขอบจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.005D ถึง 0.02D

F : มุมของปากที่ผายออกของแผ่นออริฟิส (Angle of bevel)

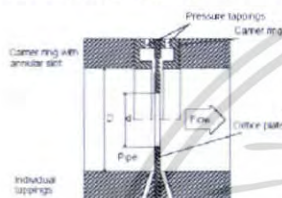
$$30^\circ \leq F \leq 45^\circ$$



รูปที่ 4.3 การกำหนดจุดติดตั้งออริฟิสตามมาตรฐานเยอรมัน(DIN)

### 4.2 การติดตั้งตัววัดความดันแบบหัวมุม (Corner Tappings)

จุดวัดความดันแต่ละอันอาจจะเป็นแบบท่อเดี่ยวหรือเป็นช่องเล็กยาวที่เป็นวงกลมดังรูปที่ 4.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อวัดความดัน (a) หรือความกว้างของช่องเล็กยาวจะสามารถหาได้ดังนี้



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของหน้าแปลนวัดความดันแบบ(Corner Tappings)

สำหรับของไหลและไอน้ำบริสุทธิ์

เมื่อ  $\beta \leq 0.65$       $0.005D \leq a \leq 0.03D$

เมื่อ  $\beta > 0.65$       $0.01D \leq a \leq 0.02D$

สำหรับค่าอื่นของเบต้า  $\beta$

ของไหลบริสุทธิ์  $1mm \leq a \leq 10mm$

ไอน้ำ  $1mm \leq a \leq 10mm$

ไอของแก๊สเหลว  $4mm \leq a \leq 10mm$

ส่วนค่าความหนาของช่องเล็กยาว (t) จะมีค่าสอดคล้องกับ  $f \geq 2a$

$4mm \leq j \leq 10mm$  เส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าแปลนด้านใน (b)

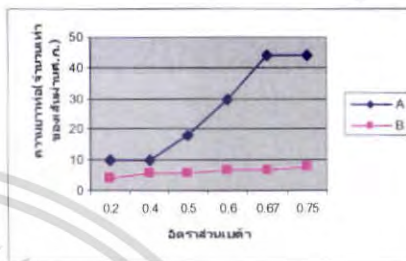
ของท่อส่งจะต้องมีค่าดังนี้  $D \leq b \leq 1.04D$  ซึ่งจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{b-D}{D} \times \frac{C}{D} \times 100 \leq \frac{0.1}{0.1+2.3\beta^4}$$

เมื่อ C คือ ค่าความหนาของแหวนด้านต้นน้ำ

### 4.3 การกำหนดจุดติดตั้งออริฟิสตามมาตรฐานเยอรมัน(DIN)

ตามมาตรฐานเยอรมันได้กำหนดรายละเอียดของการติดตั้งออริฟิสมีเตอร์ของช่องแบบ 90°ตามแนวราบไว้ ซึ่งเป็นข้อมูลในการออกแบบท่อที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยที่  $10D \leq S \leq 30D$



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\beta$  กับความยาวท่อ

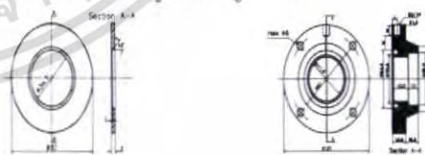
### 4.4 ขอบเขตของการใช้งาน

รูปแบบของการติดตั้งตัววัดความดันจากภายนอกตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น จะใช้งานได้โดยจะมีขอบเขตของการใช้งานตามนี้

- $d \geq 12.5mm$
- $35mm \leq D \leq 1000mm$
- $0.1 \leq \beta \leq 0.8$
- $Re \geq 5000$  สำหรับ  $0.1 \leq \beta \leq 0.56$
- $Re \geq 16000\beta^2$  สำหรับ  $\beta > 0.56$

### 4.5 แผ่นออริฟิสและหน้าแปลนที่ออกแบบสำหรับการทดลอง

แผ่นออริฟิสและหน้าแปลนที่ออกแบบตามมาตรฐานสากลสำหรับการใช้ในการทดลองในครั้งนี้มีรูปร่างดังรูปที่ 4.5

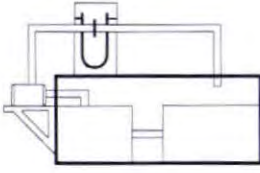


$\beta = 0.8$

รูปที่ 4.5 แผ่นออริฟิสและหน้าแปลนที่ออกแบบสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 5.1 ชุดระบบการวัดอัตราการไหลที่ได้ออกแบบและจะจัดทำขึ้น



รูปที่ 5.2 แสดงชุดทดลองที่ได้ประกอบขึ้นจริง

5.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. แผ่นออร์ฟิสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออร์ฟิส 67 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ 34.7 มิลลิเมตร
2. แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู
3. ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 41.5 มิลลิเมตร
4. ชุดทดลองวัดอัตราการไหลเพื่อวัดอัตราการไหลจริง
  - 4.1 เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงซึ่งมีขีดความสามารถดังนี้
    - $Q_{max}$  600 l/min
    - 4.2 ถึงตวงขนาด 0.2103 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 5.3 แผ่นออร์ฟิสที่ติดตั้งเข้ากับชุดทดลอง



รูปที่ 5.4 แผ่นออร์ฟิส



รูปที่ 5.5 แมนอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู



รูปที่ 5.6 ถึงตวงบอกปริมาตรน้ำ



รูปที่ 5.7 ปั๊มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิธีการทดลอง

5.2.1 ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์

1. ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องมือวัดแบบออร์ฟิสมิเตอร์
2. ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัด
3. ทำการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ทั้งหมด

5.2.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1. ประกอบแผ่นออร์ฟิสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 34.7 มิลลิเมตรเข้ากับชุดทดลองที่สร้างขึ้น
2. ตรวจสอบความพร้อมของชุดทดลองก่อนเดินเครื่อง เช่น ระดับน้ำในถัง หรือรอยรั่วตามข้อต่อต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้
3. ต่อสะพานไฟและกดปุ่มเดินเครื่อง ปรับการไหลของน้ำในท่อจนกระทั่งน้ำไหลเต็มท่อและไม่มีฟองอากาศในท่อ
4. ปรับความดันตกคร่อมระหว่างแผ่นออร์ฟิสโดยอ่านความสูงแตกต่างของปรอทจากแมนอมิเตอร์เริ่มแรกที่ 20 มิลลิเมตรปรอท แล้วตวงน้ำที่ไหลออกจากระบบท่อด้วยการจับเวลา 30 วินาที แล้วจดบันทึกปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากระบบท่อทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
5. ทำการทดลองเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ โดยการปรับวาล์วควบคุมการไหลให้เพิ่มอัตราการไหลให้มากขึ้น และเปลี่ยนระดับความสูงแตกต่างของลำปรอทในแมนอมิเตอร์เป็น 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 มิลลิเมตรปรอท และต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำด้วย

5.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1. คำนวณหาอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำจากการทดลองในแต่ละระดับความสูงที่ทำการศึกษาทดลอง
2. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ )

จากสมการ 
$$Q_{ac} = \frac{C_d A_{or}}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \sqrt{2g \left( \frac{\rho_m}{\rho} - 1 \right) \cdot \Delta h_m}$$

เมื่อ 
$$A_{or} = \frac{\pi}{4} (34.7 \times 10^{-3})^2 = 9.457 \times 10^{-4} m^2$$

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{34.7}{41.5} \approx 0.84$$

$$g = 9.81 m/s^2$$

$$\rho_m = \rho_{ปรอท} = 13.6 \times 10^3$$

$$\rho = \rho_{น้ำ} = 997.1 \text{ (น้ำที่ } 25 \text{ องศาเซลเซียส)}$$

แทนค่าในสมการข้างต้นได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q_{ac} = 0.0208222 \cdot C_d \cdot \sqrt{\Delta h} \dots \dots \dots (5.1)$$

จากนั้นแทนค่าอัตราการไหลเฉลี่ยในแต่ละระดับความสูงที่คำนวณไว้ ( $Q_{ac}$ ) และค่าความสูงแตกต่างของลำปรอทในแมนอมิเตอร์ ( $\Delta h$ ) ลงในสมการที่ 4.1 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ )

3.คำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำจากทฤษฎี เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าระดับความสูงแตกต่างกันของลำปรอทในแมนอมิเตอร์ ( $\Delta h$ ) แล้วก็สามารถห้ออัตราการไหลของน้ำตามทฤษฎีโดยใช้สมการที่ 5.1

4.นำค่าอัตราการไหลจากทฤษฎีและค่าอัตราการไหลจากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน และคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ของแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง

5.เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าระดับความสูงแตกต่างกันของลำปรอทในแมนอมิเตอร์

6.เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) กับค่าอัตราการไหลของน้ำตามทฤษฎี

7.คำนวณหาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

$$\text{จากสมการ } Re = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \cdot \frac{d}{\nu}$$

เมื่อค่า  $\nu = 8.97 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (น้ำที่ 25 องศาเซลเซียส) แทนค่าในสมการข้างต้นได้สมการความสัมพันธ์ใหม่ดังนี้

$$Re = (239576.8629) C_d \cdot \sqrt{\Delta h} \dots \dots \dots (5.2)$$

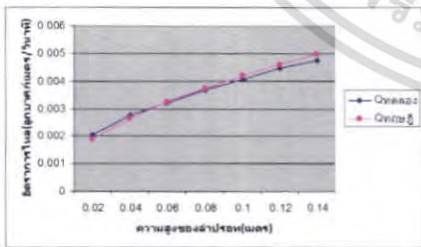
เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าความสูงแตกต่างกันของลำปรอทในแมนอมิเตอร์ ( $\Delta h$ ) แล้วแทนลงในสมการที่ 5.2 ก็จะได้หาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

8.เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

9.สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

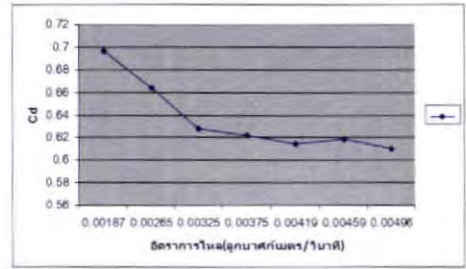
**5.3 ผลการทดลอง**

**5.3.1 ผลการทดลองการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ**



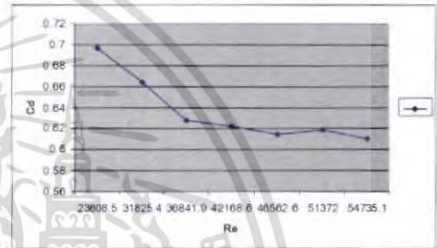
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความสูงของลำปรอทในแมนอมิเตอร์

**5.3.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) กับค่าอัตราการไหลตามทฤษฎี**



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าอัตราการไหลตามทฤษฎี

**5.3.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)**



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)

**6.สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง**

**6.1สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองสร้างแผนออร์ฟิสวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ และใช้ปรอทเป็นของเหลวในแมนอมิเตอร์ พบว่าอัตราการไหลของน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลของน้ำที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ประมาณ  $\pm 3.9625$  ซึ่งตามหลักการแล้วนั้น อัตราการไหลของน้ำที่ได้จากการทดลองต้องมีค่าน้อยกว่าอัตราการไหลที่คำนวณได้จากทฤษฎี เพราะว่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีนั้นจะไม่มีแรงเสียดทานมาเกี่ยวข้อง แต่จากการทดลองและศึกษาพบว่าได้มีการชดเชยการสูญเสียเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นโดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) ขึ้นมาโดยมีค่า 0.6365 ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการไหลได้ง่ายขึ้นอีกด้วย และความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายของออร์ฟิส ( $C_d$ ) และค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re) มีค่าแปรผกผันกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. อัตราการไหลของน้ำที่หาได้จากการวัดด้วยถังตวงนั้นอาจจะได้ค่าที่ไม่ถูกต้องแน่นอนนักเพราะเมื่อปิดปั๊มให้น้ำหยุดไหลเมื่อครบเวลา 30 วินาทีแล้วนั้น อาจมีปริมาณน้ำเพิ่มมาอีกเล็กน้อยจึงทำให้ปริมาณน้ำที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

2. เราไม่สามารถหาบริเวณพื้นที่ที่ลำนํ้าคอดตัวมากที่สุด (Venacontracta) ได้เพราะการจะหาพื้นที่บริเวณนั้นเป็นการทดลองที่ทำได้ยากมาทีเดียว เพราะต้องใช้กล้องที่มีค่าความละเอียดสูงมากๆ เพื่อถ่ายภาพลำนํ้าที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิซออกมา และกล้องก็มีราคาแพงมากอีกด้วย เราจึงประมาณค่าพื้นที่บริเวณที่คอดตัวมากที่สุด (Venacontracta) นี้ให้มีพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่รูระบายของแผ่นออริฟิซ เพราะตามทฤษฎีแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกันพอสมควร

## เอกสารอ้างอิง

- (1) Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okiishi. **Fundamentals of Fluid Mechanics**. 4<sup>th</sup> ed. Singapore: John Wiley & Sons, 2001.
- (2) รศ.ดร.มนตรี พิรุณเกษตร. **กลศาสตร์ของไหล**. พิมพ์ครั้งที่ 2 : บริษัทจูนพับลิชชิ่ง จำกัด, 2547.
- (3) ISO 5167-2:2003(E). **Measurement of fluid flow by means of pressure differential device inserted in circular-cross section conduits running full-Orifice plate**. 1<sup>th</sup> ed. Switzerland. TISI Library.