

การศึกษาผลกระทบการเกิดควาวิเตชั่นในเครื่องวัดแบบออริฟิสโฟลมิเตอร์  
The experiment for studying effect of cavitation phenomenon  
in orifice flow meter



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาผลกระทบการเกิดคาวิตชันในเครื่องมือวัดแบบออร์ฟิสโฟลมิเตอร์

The experiment for studying effect of cavitation phenomenon  
in orifice flow meter



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The experiment for studying effect of cavitation phenomenon  
in orifice flow meter

Pruedtipas Thanaboon

Peerat Pookpanich

Apiwat Thiengthae



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาผลกระทบการเกิดควิเทชั่นในเครื่องมือวัดแบบออริฟิสโฟลมิเตอร์

The experiment for studying effect of cavitation phenomenon in orifice flow meter

ผู้จัดทำ

1. นาย พฤติภาส ธนาบุรณ์ 54010887
2. นาย พีรต์ถ์ ผูกพานิช 54010952
3. นาย อภิวัฒน์ เทียงแท้ 54011495



อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผศ.มณฑล ใจกุลศล )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก้นำไปใช้

การศึกษามลกระทบการเกิดควาวิตะชั้นในเครื่องมือวัดแบบออริฟิสโพลมิเตอร์

นาย พฤติภาส ธนาบุรณ 54010887

นาย พีรต์ ผูกพานิช 54010952

นาย อภิวัฒน์ เทียงแท้ 54011495

ผศ.มณฑล ใจกุลศล อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดทดลองควาวิตะชั้น เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ควาวิตะชั้น ในอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบแผ่นออริฟิส โดยวิธีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การไหลด้วยการใช้แผ่นออริฟิสที่มีขนาดรูต่างกัน 5 แผ่นและขนาดมุมเอียงต่างกัน 5 แผ่น ขนาดรูของแผ่นออริฟิสกำหนดเป็น อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของรูของแผ่นออริฟิสกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ ( $\beta$ ) คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และในส่วนของขนาดมุมเอียงของแผ่นออริฟิส ( $\alpha$ ) คือ  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  และ  $75^\circ$  ทดลองโดยการปรับอัตราการไหลเป็น 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 และ 80 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ การตรวจจับการเกิดควาวิตะชั้นจะทำการสังเกตด้วยตาเปล่า และใช้กล้องความเร็วสูง ผลที่ได้จะแสดงในรูปของภาพถ่ายและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $\beta$ ) และมุมเอียงของแผ่นออริฟิส ( $\alpha$ ) เทียบกับอัตราการไหลที่เกิดควาวิตะชั้น จากผลการทดลองพบว่าแผ่นออริฟิสที่มีค่า  $\beta = 0.1$  ไม่สามารถบันทึกผลได้เนื่องจากการไหลของน้ำไม่มีความเสถียร และเกิดฟองอากาศขึ้นที่ทางออกของแผ่นออริฟิสที่มีค่า  $\beta = 0.2$  และ  $0.3$  ที่อัตราการไหล 30 และ 65 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ จากมาตรฐานการออกแบบออริฟิสพบว่าแผ่นออริฟิสที่มี  $\beta = 0.1, 0.2$  และ  $0.3$  มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The experiment for studying effect of cavitation phenomenon in orifice flow meter

Mr. Pruedtipas Thanaboon 54010887

Mr. Peerat Pookpanich 54010952

Mr. Apiwat Thiengthae 54011495

Asst.Prof Monton Jhaikuson Advisor

Year 2557

### *Abstract*

This project comprises the design and assembly of cavitation experiment kit which used for study the cavitation phenomenon occurring in orifice by use 5 multi-sized orifices which expressed in diameter ratio ( $\beta$ ) and 5 multi-angles of bevel orifices. Diameter ratio of each orifices are 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 and angel of bevel of each orifices are 15°, 30°, 45°, 60° and 75°. This experiment is done by adjusting the flow rate of 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 and 80 liters per minute, respectively. The cavitation is detected by visual and high-speed camera. The results are shown in the form of photos and the relationship graphs between the ratio of the diameter ( $\beta$ ) and angle of the Orifice plate ( $\alpha$ ) relative to the flow rate which the cavitation has occurred. The results showed that the orifice plate  $\beta = 0.1$  cannot be record the value because the water flow is unstable. And bubbles are occur at the downstream of orifice plate  $\beta = 0.2$  and 0.3 at a flow rate of 30 and 65 liters per minute respectively. As the orifice plate's design standard found that a  $\beta = 0.1, 0.2$  and 0.3 have an orifice diameter less than the standard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณท่านอาจารย์มณฑล ใจกุลส ที่อนุญาติให้ดำเนินโครงการและให้คำแนะนำในการจัดทำโครงการ ขั้นตอนการทำงาน รวมถึงความรู้ความเข้าใจต่างๆที่จำเป็นต่อการทำโครงการ และขอขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำต่างๆในด้านวิชาการ เพื่อนำไปใช้ในการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณบริษัท Science Magic Grow จำกัด ที่เอื้อเฟื้อมาตรฐาน ISO 5167-2 และให้คำแนะนำต่างๆในด้านเทคนิค ซึ่งมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการทำโครงการให้แล้วเสร็จ

สุดท้ายนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ได้เลี้ยงดู อบรม และสนับสนุน ในด้านการศึกษาและในทุกๆด้านของชีวิต ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

พฤติภาส ธนาบุรณ  
พีรต์ ผูกพานิช  
อภิวัฒน์ เทียงแท้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV, V, VI
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แผ่นออริฟิส.....	3
2.1.1 ประเภทของแผ่นออริฟิส.....	3
2.2 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส.....	6
2.3 การออกแบบแผ่นออริฟิส.....	8
2.3.1 ลักษณะทั่วไป.....	8
2.3.2 จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่าง.....	9
2.3.2 การติดตั้งแผ่นออริฟิส.....	9
2.3.2.1 จุดต่อที่หน้าแปลนและจุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D.....	9
2.3.2.2 จุดต่อที่ corner.....	10
2.3.2 การติดตั้งแผ่นออริฟิส.....	11
2.4 การไหลในท่อปิด.....	11
2.4.1. การไหลแบบ Laminar Flow.....	12
2.4.2. การไหลแบบ Turbulent Flow.....	12

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 การคำนวณการสูญเสียรวมในท่อดูด.....	13
2.5.1 การสูญเสียเฮดหลัก.....	13
2.5.2 การสูญเสียเฮดรอง.....	14
2.6 เฮดด้านดูดสุทธิ (Net Positive Suction Head :NPSH).....	15
2.7 ปรากฏการณ์คาวิเทชัน(Cavitation).....	16
บทที่ 3 การออกแบบชุดทดลอง.....	17
3.1 ชุดทดลองการเกิดคาวิเทชันในอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออริฟิส.....	17
3.2 แผ่นออริฟิสสำหรับชุดทดลอง.....	21
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง.....	23
4.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	23
4.2 ผลการทดลอง.....	24
4.2.1 แผ่นออริฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า Diameter ratio.....	26
4.2.2 แผ่นออริฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า Angle of bevel.....	28
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	29
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นออริฟิสที่เปลี่ยนแปลง diameter ratio.....	29
5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีค่า $\beta = 0.1$ .....	30
5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีค่า $\beta = 0.2$ .....	30
5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีค่า $\beta = 0.3$ .....	30
5.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีค่า $\beta = 0.4$ และ $0.5$ .....	30
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นออริฟิสที่เปลี่ยนแปลง Angle of bevel.....	31
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	32
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	32
6.2 วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	34
ภาคผนวก ก.....	35
ภาคผนวก ข.....	36
ภาคผนวก ค.....	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณเสดของระบบและค่า NPSH.....	18
ตารางที่ 2 แสดงความต้องการความเป็นเส้นตรงของท่อ.....	19
ตารางที่ 3 แสดงขนาดแผ่นอริฟิสในการทดลอง.....	21
ตารางที่ 4 บันทึกผลสำหรับกรณีที่ทำกรเปลี่ยนแปลงขนาดรูของแผ่นอริฟิส.....	24
ตารางที่ 5 บันทึกผลสำหรับกรณีที่ทำกรเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของแผ่นอริฟิส.....	25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของ Concentric Orifice Plate.....	4
รูปที่ 2 แสดงรูปแบบของ Eccentric Orifice Plate.....	4
รูปที่ 3 แสดงรูปแบบของ Segmental Orifice Place.....	5
รูปที่ 4 แสดงรูปแบบของ Quadrant Orifice Plate.....	6
รูปที่ 5 แสดงการไหลผ่านแผ่นออริฟิส.....	6
รูปที่ 6 ลักษณะของแผ่นออริฟิส.....	8
รูปที่ 7 จุดต่อที่หน้าแปลนและจุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D.....	9
รูปที่ 8 จุดต่อที่ corner.....	10
รูปที่ 9 แสดงการไหลแบบ Laminar flow และ Turbulent flow.....	13
รูปที่ 10 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ควาเวชัน.....	16
รูปที่ 11 แบบจำลองชุดทดลองและอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลอง.....	20
รูปที่ 12 ชุดทดลองที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แล้ว.....	20
รูปที่ 13 ภาพฉายและแบบสามมิติของแผ่นออริฟิส.....	22
รูปที่ 14 ตัวอย่างแผ่นออริฟิสที่ใช้ในการทดลอง.....	22
รูปที่ 15 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลอง.....	23
รูปที่ 16 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ในแต่ละอัตราการไหล $\beta = 0.1$ .....	26
รูปที่ 17 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ที่อัตราการไหล 0 - 25 ลิตร/นาที $\beta = 0.2$ .....	26
รูปที่ 18 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ที่อัตราการไหล 30 - 35 ลิตร/นาที $\beta = 0.2$ .....	26
รูปที่ 19 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ที่อัตราการไหล 0 - 60 ลิตร/นาที $\beta = 0.3$ .....	27
รูปที่ 20 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ที่อัตราการไหล 65 - 70ลิตร/นาที $\beta = 0.3$ .....	27
รูปที่ 21 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ในแต่ละอัตราการไหล $\beta = 0.4$ และ $0.5$ .....	27
รูปที่ 22 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ในแต่ละอัตราการไหล $\alpha = 15^\circ 30^\circ 45^\circ 60^\circ$ และ $75^\circ$ .....	28
รูปที่ 23 กราฟแสดงผลการทดลองแผ่นออริฟิสที่เปลี่ยนแปลงค่า diameter ratio.....	29
รูปที่ 24 กราฟแสดงผลการทดลองแผ่นออริฟิสที่เปลี่ยนแปลง ค่า Angle of bevel.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอัตราการไหลเป็นตัวแปรที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตหลายๆประเภท ทั้งในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การกลั่นน้ำมัน และอุตสาหกรรมก๊าซธรรมชาติ อุปกรณ์การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส (Orifice flow meter) เป็นอุปกรณ์วัดการอัตราการไหลแบบพื้นฐานชนิดหนึ่งและมีการใช้งานกันอยู่ทั่วไป โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การไหลอย่างทันทีที่แผ่น orifice ทำให้ความดันบริเวณแผ่น orifice ลดลงอย่างมาก ในกรณีที่ความดันของของไหลลดลงต่ำกว่าความดันไอ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ควิเดชั่น ซึ่งปรากฏการณ์ควิเดชั่นนั้นจะเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้การวัดอัตราการไหลเกิดความผิดพลาดและทำให้ความแม่นยำในการวัดค่าลดลง การเกิดควิเดชั่นในอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออริฟิสจึงเป็นหัวข้อที่นำศึกษาและทำการทดลองเพื่อให้เข้าใจสาเหตุการเกิดและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ในการศึกษาและทดลองจะทำให้เข้าใจในหลักการการทำงานของอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสและการเกิดปรากฏการณ์ควิเดชั่นนอกเหนือจากการเรียนรู้ในภาคทฤษฎี และมีความเข้าใจและแนวคิดที่จะนำไปแก้ไขและป้องกันการเกิดควิเดชั่น เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการทำงานต่อไป

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาพฤติกรรมการเกิดควิเดชั่นในออริฟิสโพลมิเตอร์

1.2.2 ออกแบบชุดทดลองเพื่อศึกษาถึงปัญหาการเกิดควิเดชั่นที่เกิดขึ้นในออริฟิสโพลมิเตอร์

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตของงานวิจัยเรื่องผลกระทบของการเกิดควิเดชั่นในออริฟิสโพลมิเตอร์ จะศึกษาการเกิดควิเดชั่นบริเวณแผ่นออริฟิส โดยกำหนดให้สิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิคงที่ที่ 30 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ และตรวจจับการเกิดควิเดชั่นด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า และใช้กล้องความเร็วสูงในการถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ค้นหาหาข้อมูลเรื่องที่สนใจพร้อมทั้งตั้งหัวข้อโครงการ
- 1.4.2 หาข้อมูลและทฤษฎีของหัวข้อที่สนใจ
- 1.4.3 เสนอข้อมูลกับอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อหาแนวทางและวิธีการดำเนินงาน
- 1.4.4 ออกแบบชุดทดลองและแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO5167-2;2003
- 1.4.5 สร้างชุดทดลองและติดตั้งอุปกรณ์
- 1.4.6 ปรับปรุงแก้ไขชุดทดลอง
- 1.4.7 เริ่มทดลองโดยปรับอัตราการไหลที่กำหนดไว้
- 1.4.8 เก็บข้อมูลการทดลอง
- 1.4.9 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผล

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถเข้าใจถึงการทำงานของระบบของชุดทดลอง
- 1.5.2 สามารถเข้าใจการไหลของน้ำเมื่อผ่านแผ่นออริฟิส
- 1.5.3 สามารถเข้าใจการเกิดควาเฒ้ันในระบบการไหลเมื่อผ่านแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แผ่นออริฟิส

แผ่นออริฟิสมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูไว้สำหรับให้ของไหลผ่าน ในการติดตั้งจะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างหน้าแปลน (Orifice Flange) ของท่อในลักษณะตั้งฉากกับกระแสการไหล เนื่องจากมีการจัดทำได้ง่ายและมีราคาถูก จึงทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายนอกจากนั้นแล้วยังมีความเชื่อถือในการวัดอัตราการไหลเป็นอย่างดี แผ่นออริฟิสสามารถทำขึ้นจากวัสดุได้หลายชนิดรวมทั้งวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนจากของไหลที่นำไปใช้งาน

#### 2.1.1 ประเภทของแผ่นออริฟิส

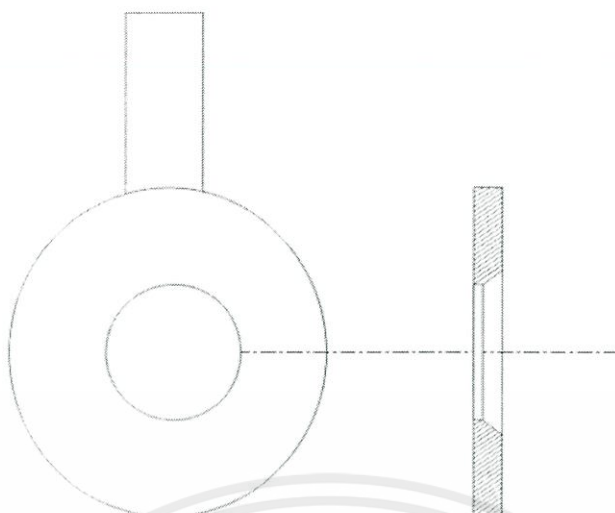
แผ่นออริฟิสมีหลายแบบให้เลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนี้ Concentric, Eccentric, Segmental และ Quadrant Orifice Plate ซึ่งจะนำออริฟิสประเภท Concentric Orifice Plate หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Square Edge มาใช้ในการศึกษาซึ่งของไหลที่จะใช้ในการทดลองนั้น จะใช้น้ำเป็นตัวที่จะมาทำการทดลอง เพื่อศึกษาการเกิดควิเตชั่นในออริฟิส

##### 2.1.1.1 Concentric Orifice Plate หรือ Square Edge

แผ่นออริฟิสประเภทนี้เป็นชนิดพื้นฐานของแผ่นออริฟิสและสามารถนำไปใช้กับของไหลได้เกือบทุกประเภท ยกเว้นของไหลที่มีสารแขวนลอย, มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง และของไหลที่มีความหนืดสูง

จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่างจากแผ่นออริฟิส สามารถใช้ได้หลายแบบดังนี้ แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps), แบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) และแบบต่อที่จุด Corner (Corner Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

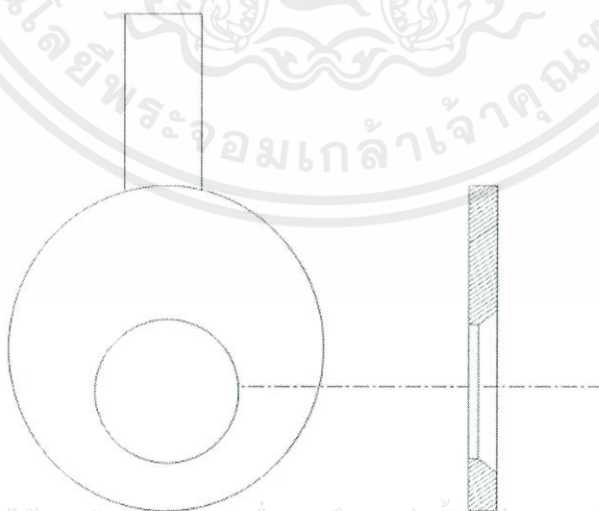


รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของ Concentric Orifice Plate

#### 2.1.1.2 Eccentric Orifice Plate

แผ่นออริฟิสแบบนี้จะมีรูเยื้องลงมาทางด้านล่างของแผ่นออริฟิสที่ติดตั้งอยู่ภายในท่อ เพื่อลดการตกค้างของสารแขวนลอยหรือการตกตะกอนที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นออริฟิส ซึ่งจะเหมาะสมกับของไหลที่มีสารแขวนลอย, มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง

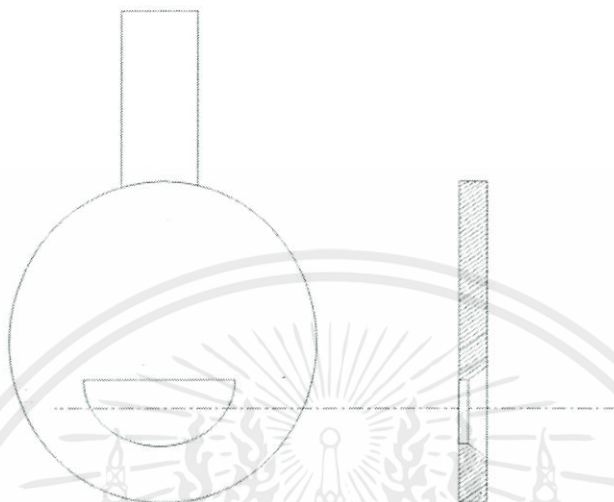
จุดต่อสำหรับวัดค่าความแตกต่างของความดันสามารถใช้ได้ทั้งแบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps) และแบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบของ Eccentric Orifice Plate

### 2.1.1.3 Segmental Orifice Place

แบบนี้จะมีลักษณะและการใช้งานคล้ายกับแบบ Eccentric Orifice Plate แต่จะมีช่องเป็นครึ่งวงกลม ลักษณะของแผ่นออริฟิซชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3

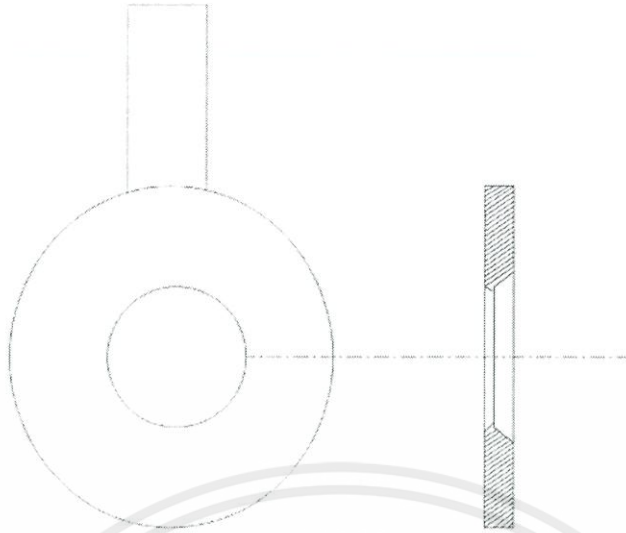


รูปที่ 3 แสดงรูปแบบของ Segmental Orifice Place

### 2.1.1.4 Quadrant Orifice Plate

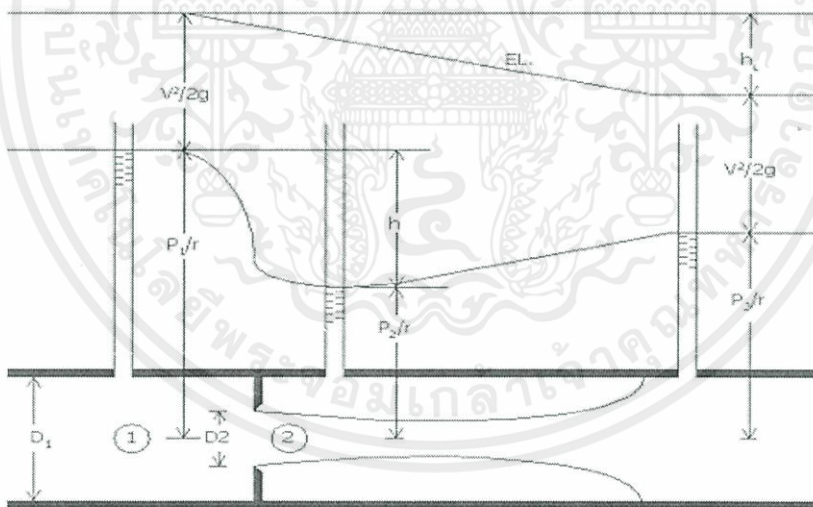
แผ่นออริฟิซแบบนี้รูทางด้านเข้าจะเอียงประมาณ  $1/4$  ของวงกลม และเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับของไหลที่มีความหนืดสูง ๆ หรือ มีค่า Reynolds ที่ต่ำ จุดต่อสำหรับวัดค่าความแตกต่างของความดันสามารถใช้ได้หลายแบบดังนี้ แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps), แบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) และแบบต่อที่จุด Corner (Corner Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิซชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงรูปแบบของ Quadrant Orifice Plate

## 2.2 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส



รูปที่ 5 แสดงการไหลผ่านแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.จากรูปที่ 5 สมการที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านแผ่นออริฟิส

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

เมื่อ  $A_1V_1 = A_2V_2$  จะได้

$$V_2 = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \right) \left( \sqrt{2g \left[ \left( \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \right) \right]} \right) \quad (2.2)$$

เมื่อ  $Q_2 = A_2V_2$  ดังนั้น อัตราการไหลผ่านแผ่น Orifice จะได้เป็น

$$Q_2 = A_2V_2 = \left( \frac{CA_2}{\sqrt{1 - (D_2/D_1)^4}} \right) \left( \sqrt{2g \left[ \left( \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \right) \right]} \right) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $Q =$  อัตราการไหลที่สภาวะทำงาน

$A =$  ขนาดพื้นที่หน้าตัด (Area)

$V =$  ความเร็วของไหลในท่อ (Velocity)

$C =$  ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (Discharge Coefficient)

$D =$  ขนาดท่อ (Diameter)

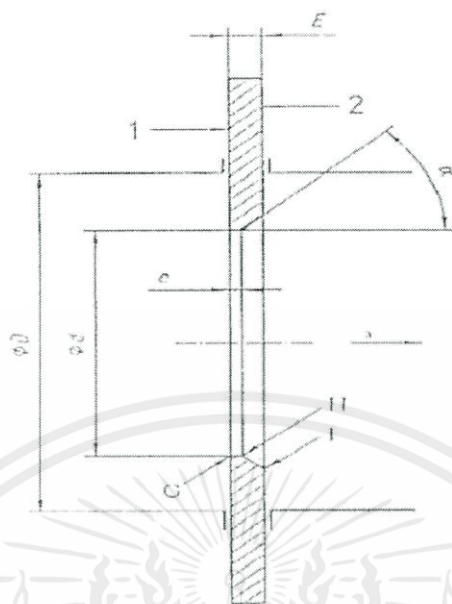
$P =$  ความดันที่จุดต่างๆ (Pressure)

$Z =$  ระดับจากจุดอ้างอิง

$\gamma =$  น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การออกแบบแผ่นออริฟิส



รูปที่ 6 ลักษณะของแผ่นออริฟิส

### 2.3.1 ลักษณะทั่วไป

แผ่นออริฟิส ควรมีลักษณะเป็นวงกลม และมีจุดศูนย์กลางเดียวกับจุดศูนย์กลางของท่อ และผิวหน้าของแผ่นออริฟิสควรมีลักษณะเรียบและขนานกัน

#### 2.3.1.1 ความหนาของ E และ e

$0.005D \leq e \leq 0.02D$  และผลต่างของค่า e ที่วัดได้ทุกจุดบนแผ่น orifice ไม่ควรมากกว่า  $0.001D$  ค่า  $e \leq E \leq 0.05D$  ถ้า  $50 \text{ mm} \leq D \leq 64 \text{ mm}$  สามารถใช้ค่า E ได้ถึง 3.2 mm

#### 2.3.1.2 มุมเอียง ( $\alpha$ )

ถ้าค่า E ของแผ่นออริฟิส มีค่ามากกว่า e แผ่นออริฟิสควรมีการทำมุมเอียงทางด้านน้ำออก มุมเอียงควรมีค่าประมาณ  $45^\circ \pm 15^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.3 เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแผ่นออริฟิส (d)

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแผ่นออริฟิสควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 12.5mm และค่า diameter ratio

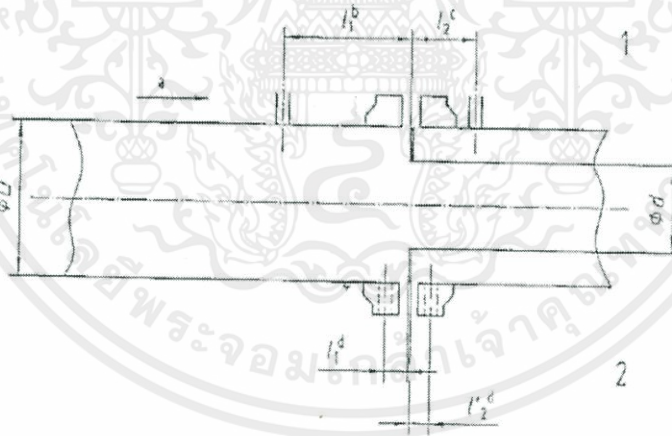
$$\beta = \frac{d}{D} \quad (2.4)$$

โดยค่าของ diameter ratio นั้นจะมีค่าอยู่ในช่วง  $0.01 \leq \beta \leq 0.7$

### 2.3.2 จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่าง (Pressure Tappings)

ในการใช้งานแผ่นออริฟิสสำหรับวัดอัตราการไหลจะต้องมีจุดต่อสำหรับใช้วัดค่าความดันความแตกต่าง ทางด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) อย่างน้อยด้านละหนึ่งจุด เพื่อใช้สำหรับต่อไปยังอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างที่ใช้วัดค่าความดันความแตกต่างที่เกิดจากแผ่นออริฟิส สามารถแบ่งลักษณะจุดต่อได้ 3 แบบ ดังนี้

#### 2.3.2.1 จุดต่อที่หน้าแปลนและจุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D



รูปที่ 7 จุดต่อที่หน้าแปลนและจุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

1. D and D/2 pressure tapings

2. Flange tapings

a. Direction of flow.

b.  $l_1 = D \pm 0.1D$

c.  $l_2 = 0.5D \pm 0.02D$

for  $\beta \leq 0.6$   $0.5D \pm 0.01D$  for  $\beta > 0.6$

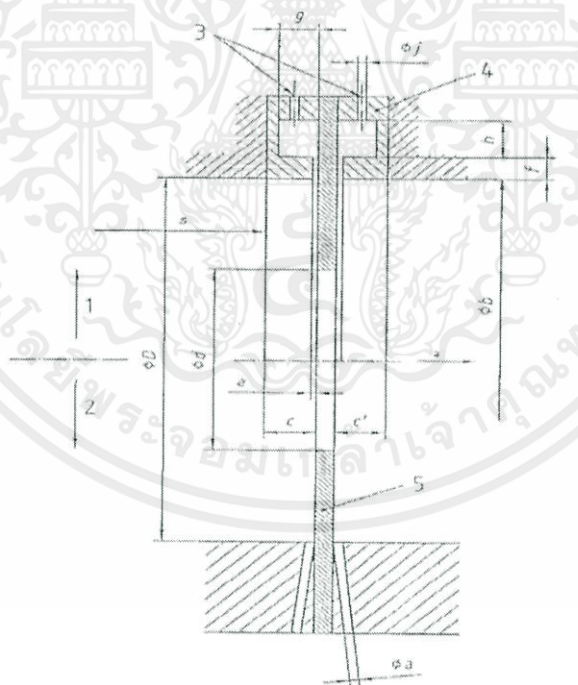
$l_1 = l'_2 = (25.4 \pm 0.5)$ mm

for  $\beta > 0.6$  and  $D < 150$  mm

$l_1 = l'_2 = (25.4 \pm 1)$ mm for  $\beta \leq 0.6$

$l_1 = l'_2 = (25.4 \pm 1)$ mm for  $\beta > 0.6$  and  $150 \text{ mm} \leq D \leq 1000$  mm

### 2.3.2.2 จุดต่อที่ corner



รูปที่ 8 จุดต่อที่ corner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

1. Carrier ring with annular slot
2. Individual tappings
3. Pressure tappings
4. Carrier ring
5. Orifice plate

$f$  = thickness of the slot

$c$  = length of upstream ring

$c'$  = length of the downstream ring

$b$  = diameter of the carrier ring

$a$  = width of annular slot or diameter of single tapping

$s$  = distance from upstream step to carrier ring

$g, h$  = dimensions of the annular chamber

$\phi_j$  = chamber tapping diameter

### 2.3.2 การติดตั้งแผ่นออริฟิส

ในการติดตั้งแผ่นออริฟิสจะต้องติดตั้งอยู่กับท่อในส่วนที่รูปแบบการไหล (Flow Profile) ของไหลไม่เปลี่ยนแปลงมาก ๆ ถ้ารูปแบบการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจะทำให้ผลต่อค่าอัตราการไหลที่วัดได้จากแผ่นออริฟิส ในโครงการก่อสร้างการติดตั้งท่อจะมีรูปแบบต่าง ๆ หลายรูปแบบ ซึ่งจะส่งผลต่อการวัดด้วยเช่นกัน ดังนั้นการวัดค่าอัตราการไหลในกระบวนการผลิตที่ต้องการความถูกต้อง จะต้องมีการจัดเตรียมท่อด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) ของแผ่นออริฟิสที่เป็นเส้นตรง ให้มีระยะความยาวตามมาตรฐานสากลที่ใช้อ้างอิงความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรง

## 2.4 การไหลในท่อปิด

การไหลในท่อปิดนั้น ความเร็วในการไหลของของไหลในท่อจะเป็นค่าตัวแปรที่กำหนดพฤติกรรมของการไหลของของไหลว่าจะเป็นไปในลักษณะใด โดยสามารถดูได้จากจำนวนเลขเรย์โนลด์ หรือ Reynolds Number (Re) ที่เป็นเลขดัชนีที่ชี้บอกสภาพปรากฏการณ์การไหลของของไหล ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นสัดส่วนของ inertia/viscous Reynolds Number จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วการไหล ความหนืด และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ การไหลในท่อปิดนั้นมีความสำคัญต่อการคำนวณการไหลในท่อปิด ไม่ว่าจะเป็นกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และความหนาแน่นของของไหล เราอาจเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้เป็น

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.5)$$

โดยที่

$V$  คือ ความเร็วของของไหลในท่อ มีหน่วยเป็น m/s

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็น m

$\nu$  คือ Kinematic viscosity ของของไหลมีหน่วย  $m^2/s$

Reynolds Number นั้นเป็นตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) และมีความสำคัญอย่างมาก ใช้เป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด

Re อยู่ในช่วง 0 – 2000 เป็นการไหลแบบ Laminar Flow

Re อยู่ในช่วง 2001 – 4000 เป็นการไหลแบบ Transition

Re มากกว่า 4000 เป็นการไหลแบบ Turbulent Flow

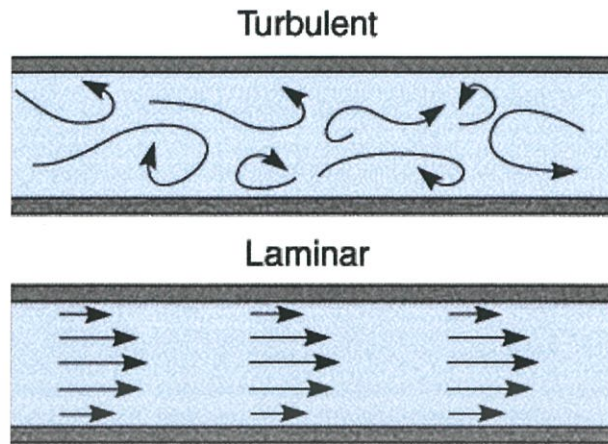
#### 2.4.1. การไหลแบบ Laminar Flow

หรือการไหลแบบสม่ำเสมอ คือ รูปแบบการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นของไหล ลักษณะการไหลแบบนี้ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีความหนืด (viscosity) สูงและไหลด้วยความเร็วต่ำ หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดใหญ่มาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ

#### 2.4.2. การไหลแบบ Turbulent Flow

หรือการไหลที่ไม่เป็นระเบียบ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืด (viscosity) ต่ำ และไหลด้วยความเร็วสูง หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ รูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน และมีการผสมกันระหว่างชั้นของไหลในขณะเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แสดงการไหลแบบ Laminar flow และ Turbulent flow

## 2.5 การคำนวณการสูญเสียรวมในท่อ duct

การไหลในท่อทั่วไปมีความผิดเพี้ยนขึ้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวท่อและข้อต่อ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียเฮด เรียกว่า การสูญเสียเฮด(Head loss) ซึ่งประกอบไปด้วยการสูญเสียหลัก (Major loss) ซึ่งเป็นการสูญเสียเนื่องจากความฝืด และการสูญเสียรอง (Minor loss) เป็นการสูญเสียเฮดตามอุปกรณ์และข้อต่อต่างๆ ทั้งนี้การสูญเสียรวมหาได้จากผลรวมระหว่างการสูญเสียเฮดหลักและการสูญเสียเฮดรอง

### 2.5.1 การสูญเสียเฮดหลัก

ในการคำนวณการสูญเสียเฮดหลักในเส้นท่อตรง ไม่ว่าจะการไหลจะเป็นแบบใด สามารถคำนวณได้จากสมการของ ดาซี-ไวส์แบช(Darcy-Weisbach)

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.6)$$

โดยที่

$f$  คือ สัมประสิทธิ์ความฝืด ไม่มีหน่วย สามารถหาได้

จาก Moody' Diagram หรือสมการโคล์บรูค(Colebrook's Equation)

$L$  คือ ความยาวของท่อ มีหน่วยเป็น m

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็น m

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วย  $m/s^2$

V คือ ความเร็วของของไหลในท่อ มีหน่วยเป็น m/s

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด เมื่อจำแนกคุณสมบัติของท่อและรูปแบบการไหลว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือการไหลแบบปั่นป่วน แล้วให้พิจารณาต่อไปนี้

ในการไหลแบบราบเรียบสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด ได้จากสมการ

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2.7)$$

หรือหาจาก Moody'Diagram ก็ได้

ในกรณีถ้าเป็นการไหลแบบปั่นป่วนค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดจะขึ้นอยู่กับทั้งค่าเรย์โนลด์ และค่าความขรุขระสัมพัทธ์ ( $\epsilon/D$ ) ซึ่งหาได้จากตารางในภาคผนวก ในกรณีนี้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดได้จากสมการของโคล์บรูค คือ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[ \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{\text{Re}} \right] \quad (2.8)$$

หรือหาจาก Moody'Diagram ก็ได้

### 2.5.2 การสูญเสียเฮดรอน

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ เช่น ข้องอ(Elbow), ข้อต่อตรง(Socket), วาล์วประตูน้ำ(Gate valve) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$H_m = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.9)$$

โดยที่

K คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์ เป็นตัวแปรไม่มีหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 เฮดด้านดูดสุทธิ (Net Positive Suction Head :NPSH)

ค่าเฮดด้านดูดสุทธิ คือ ความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) ทั้งหมด โดยบอกเป็นแห่งความสูงของของเหลว หรือเฮดที่หน้าห้องสูบที่ก่อให้เกิดการไหลของของเหลวเข้าไปในห้องสูบของปั๊ม ผลิตด้วยความดันไอของของเหลวนั้น โดยค่า NPSH มีอยู่ 2 ค่า

### 2.6.1 เฮดสุทธิด้านดูดที่ต้องการ (Net Positive Suction Head require :NPSHr)

เป็นค่าเฮดสุทธิด้านดูดที่ขึ้นอยู่กับารออกแบบปั๊ม ค่าดังกล่าวนี้บริษัทผู้ผลิตจะกำหนดมาให้

### 2.6.2 เฮดสุทธิด้านดูดที่มีอยู่จริง (Net Positive Suction Head available :NPSHa)

เป็นค่าเฮดสุทธิด้านดูดที่มีอยู่จริง ขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานของระบบซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$NPSH_a = \frac{P_{atm}}{\gamma} - z_1 - \sum h_L - \frac{P_v}{\gamma} \quad (2.10)$$

เมื่อ

$P_{atm}$  คือ ความดันบรรยากาศสัมบูรณ์ (Absolute Atmosphere pressure) มีหน่วยเป็น Pa

$z_1$  คือ ระยะดูดยก ซึ่งเป็นระยะความสูงจากผิวน้ำถึงศูนย์กลางปั๊ม (Static suction lift) มีหน่วยเป็น m

$P_v$  คือ ความดันไอของของเหลว (Vapor Pressure) ที่อุณหภูมิที่กำหนด มีหน่วยเป็น Pa

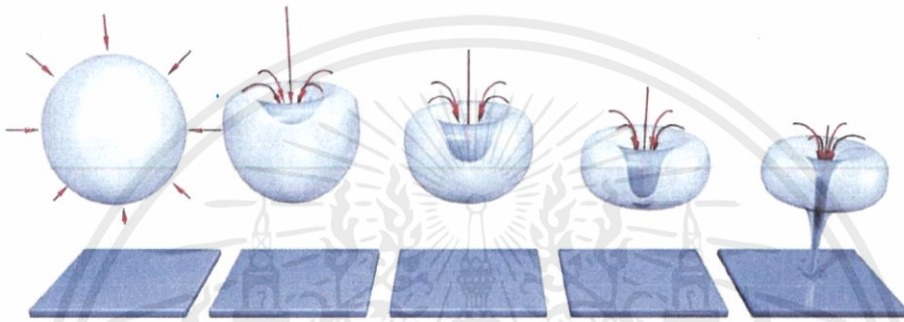
$\gamma$  คือ น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight) มีหน่วย  $N/m^3$   $\sum h_L$  คือ การสูญเสียเฮดรวม (Total Head loss) มีค่าเท่ากับผลรวมระหว่างการสูญเสียเฮดหลักและการสูญเสียเฮดรอง มีหน่วยเป็น m เนื่องจากการเกิดควิเตชันโดยทั่วไปแล้วเป็นไปตามสมการ

$$NPSH_a < NPSH_r \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ปรากฏการณ์คาวิเทชัน(Cavitation)

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากของเหลวมีการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างกะทันหัน เมื่อความดันของไหลต่ำกว่าความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิขณะนั้น จะทำให้เกิดการกลายเป็นไอของของเหลวในขณะที่ยังไหลอยู่ โดยสังเกตเห็นเป็นฟองอากาศ เมื่อฟองเหล่านี้เคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีความดันสูง ฟองเหล่านี้จะแตกใกล้กับพื้นผิวอุปกรณ์ เช่น ผิวของใบพัดปั๊ม ทำให้เกิดเสียงดังและสั่น และเมื่อเกิดการแตกตัวซ้ำๆ จะทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้



รูปที่ 10 แสดงการเกิดปรากฏการณ์คาวิเทชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบการทดลอง

#### 3.1 ชุดทดลองการเกิดคาวิตีเตชันในอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิส

โครงการนี้ได้จัดทำชุดทดลองการเกิดคาวิตีเตชันในอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิส โดยจะมีการสังเกตการณ์เกิดคาวิตีเตชันจากการเปลี่ยนความเร็วการไหลของของไหล ขนาดรูและมุมเอียงของแผ่นออร์ฟิส โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการสร้างชุดทดลองนั้นได้แก่ บีมแบบแรงเหวี่ยง, แผ่นออร์ฟิส, ท่อ, เหล็กโครงสร้าง

เมื่อเราทำการปรับอัตราการไหล ความเร็วของของไหลระบบท่อจะมีเร็วสูงขึ้น เมื่อความเร็วสูงขึ้นความดันในระบบจะน้อยลง ตามสมการแบร์นูลลี

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_1 \quad (3.1)$$

คาวิตีเตชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดเมื่อความดันของของไหลลดลงต่ำกว่าความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมินั้นๆ ซึ่งเราจะพบการเกิดคาวิตีเตชันในบีมแรงเหวี่ยงเป็นส่วนมาก แต่คาวิตีเตชันสามารถเกิดบริเวณแผ่นออร์ฟิสได้เช่นกัน เนื่องจากการลดพื้นที่การไหลอย่างรวดเร็ว ทำให้ความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นและความดันของของไหลลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งหากลดต่ำกว่าความดันไอ ก็จะเกิดคาวิตีเตชันเช่นเดียวกับในบีมแรงเหวี่ยง

เนื่องจากเราต้องการสังเกตการณ์การเกิดคาวิตีเตชันในอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิส จึงต้องทำการออกแบบและควบคุมไม่ให้เกิดคาวิตีเตชันในบีมแรงเหวี่ยงหรือในระบบท่อ โดยเราต้องคำนวณค่าเฮดสุทธิด้านดูดเพื่อเลือกช่วงอัตราการไหลที่ไม่เกิดคาวิตีเตชันในบีม มาเป็นช่วงอัตราการไหลที่จะใช้ทำการทดลอง โดยการคำนวณเฮดสุทธิด้านดูดเป็นไปตามสมการ

$$NPSHa = H_p - H_{vp} - H_z - H_f \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$H_p$  คือ ความดันสัมบูรณ์บนผิวของเหลวด้านดูด กำหนดให้เป็นความดัน 1 บรรยากาศ

$H_{vp}$  คือ ความดันไอของเหลว กำหนดให้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการทดลองมีอุณหภูมิ 30°C

$H_z$  คือ ความสูงต่างระหว่างระดับผิวของของเหลวกับศูนย์กลางของปั๊ม โดยได้ออกแบบให้ระดับของเหลวสูงจากจุดศูนย์กลางของปั๊ม 0.7 เมตร

$H_f$  คือ ผลรวมของการสูญเสียเฮดที่เสียไปในท่อด้านดูดทั้งหมด

เมื่อแทนค่าลงไปในการสมการจะได้

$$NPSHa = 10.33 - 0.43 + 0.7 - H_f \quad (3.3)$$

ผลการคำนวณจากสมการ (3.3) จะแสดงดังตารางที่ 1

Q (LPM)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Re	H <sub>f</sub> (m)	NPSH <sub>r</sub>	NPSH <sub>a</sub>
10	0.00017	6639.79	0.11149	2.4	10.4865
15	0.00025	9959.68	0.16802	2.5	10.43
20	0.00033	13279.6	0.22502	2.6	10.373
25	0.00042	16599.5	0.28247	2.7	10.3155
30	0.0005	19919.4	0.34036	2.8	10.2576
35	0.00058	23239.3	0.39867	2.9	10.1993
40	0.00067	26559.2	0.4574	3	10.1406
45	0.00075	29879.1	0.51653	3.1	10.0815
50	0.00084	33198.9	0.57607	3.2	10.0219
55	0.00092	36518.8	0.636	3.3	9.962
60	0.001	39838.7	0.69632	3.4	9.90168
65	0.00109	43158.6	0.75702	3.5	9.84098
70	0.00117	46478.5	0.8181	3.6	9.7799
75	0.00125	49798.4	0.87956	3.7	9.71844
80	0.00134	53118.3	0.94139	3.8	9.65661

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณเฮดของระบบและค่า NPSH  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุผลแบบสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองในโครงการนี้ผู้ทดลองได้กำหนดช่วงอัตราการไหลที่ใช้สำหรับการทดลองไว้ที่ 10-80 ลิตรต่อวินาที จากตารางจะพบว่าช่วงอัตราการไหลที่ใช้สำหรับทดลองไม่เกิดควิตะขึ้นขึ้นที่บีบ จึงสามารถทำการทดลองที่ช่วงอัตราการไหลนี้ได้

ตามมาตรฐานการทำอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสนั้นจะมีข้อกำหนดเรื่องความ ต้องการความเป็นเส้นตรงของท่อด้านหน้าและด้านหลังตัวแผ่นออร์ฟิส ดังตารางที่ 2

**Table 3 — Required straight lengths between orifice plates and fittings without flow conditioners**  
Values expressed as multiples of internal diameter, D

Diameter ratio β	Upstream (inlet) side of orifice plate														Downstream (outlet) side of orifice plate											
	Single 90° bend		Two 90° bends in the same plane		Two 90° bends in the same plane; staggered configuration (10D > S > 5D) <sup>a</sup>		Two 90° bends in perpendicular planes (5D > S > 5D) <sup>a</sup>		Two 90° bends in perpendicular planes (5D > S > 5D) <sup>a</sup>		Single 45° bend		Two 45° bends in the same plane; staggered configuration (S > 2D) <sup>a</sup>			Concentric reducer 2D to D over a length of 1.5D to 3D	Concentric expander 0.5D to D over a length of D to 2D	Full bore ball valve or gate valve fully open	Abrupt symmetrical reduction	Thermometer pocket or well of diameter < 0.025 D <sup>d</sup>	Fittings (columns 2 to 11) and the densimeter pocket					
	A <sup>e</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>e</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>e</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>e</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>e</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>e</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>e</sup>	B <sup>f</sup>												
≤ 0.20	6	3	10	9	10	9	15	16	34	17	2	9	7	9	5	9	6	9	12	5	20	15	5	3	4	2
0.40	16	3	10	9	10	9	44	18	50	25	9	3	20	9	5	9	12	9	12	6	20	15	5	3	6	3
0.50	22	9	16	10	22	10	44	15	75	34	15	9	30	18	6	5	20	9	12	5	20	15	5	3	6	3
0.60	42	10	30	15	42	15	44	15	65 <sup>h</sup>	25	25	18	30	18	5	5	26	14	14	7	20	15	5	3	7	3,5
0.87	44	20	44	18	44	20	44	20	90	18	38	18	44	18	12	6	28	14	18	9	20	15	5	3	7	3,5
0.75	44	20	44	18	44	22	44	20	75	18	44	18	44	18	8	35	16	24	12	20	15	5	3	8	4	

NOTE 1: The minimum straight length required was the length between the fitting located upstream of the orifice plate and the orifice plate itself. Straight lengths shall be measured from the downstream end of the curved section of the reduced diameter bend or of the orifice downstream end of the curved or conical portion of the reducer or expander.

NOTE 2: Most of the bends on which the lengths in this table are based had a ratio of curvature equal to 18:1.

<sup>a</sup> In the staggered configuration the two bends must be set from the downstream end of the conical portion of the upstream bend to the upstream end of the reduced diameter bend downstream.

<sup>b</sup> This is not a good practice; a minimum of a two-bend configuration is recommended.

<sup>c</sup> The installation of a reducer that passes or wets will not allow the rack to reduce an upstream straight length; fittings for the other fittings.

<sup>d</sup> A thermometer pocket or well of diameter between 0.025 and 0.1 D may be installed provided that the values in Columns A and B are increased to 20 and 10 respectively. Such an installation is not, however, recommended.

<sup>e</sup> Do not use A for each fitting; lengths corresponding to "no additional uncertainty" values (see 6.2.3).

<sup>f</sup> Do not use B for each fitting; lengths corresponding to "0.5% additional uncertainty" values (see 6.2.4).

<sup>g</sup> The straight length in Column A gives zero additional uncertainty; that are not available (conical straight lengths) which could be used to give the required straight lengths for Column B.

<sup>h</sup> 90° is required for 20 > 2 × 10<sup>3</sup> & 3 < 20.

**ตารางที่ 2 แสดงความต้องการความเป็นเส้นตรงของท่อ**

จากตารางจะพบว่าความต้องการความเป็นเส้นตรงของท่อด้านหน้าและหลังแผ่นออร์ฟิสจะขึ้นกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ(D) ค่า β และลักษณะการ fitting ของระบบท่อ ค่าต่างๆที่จำเป็นในการออกแบบท่อตรง กำหนดให้

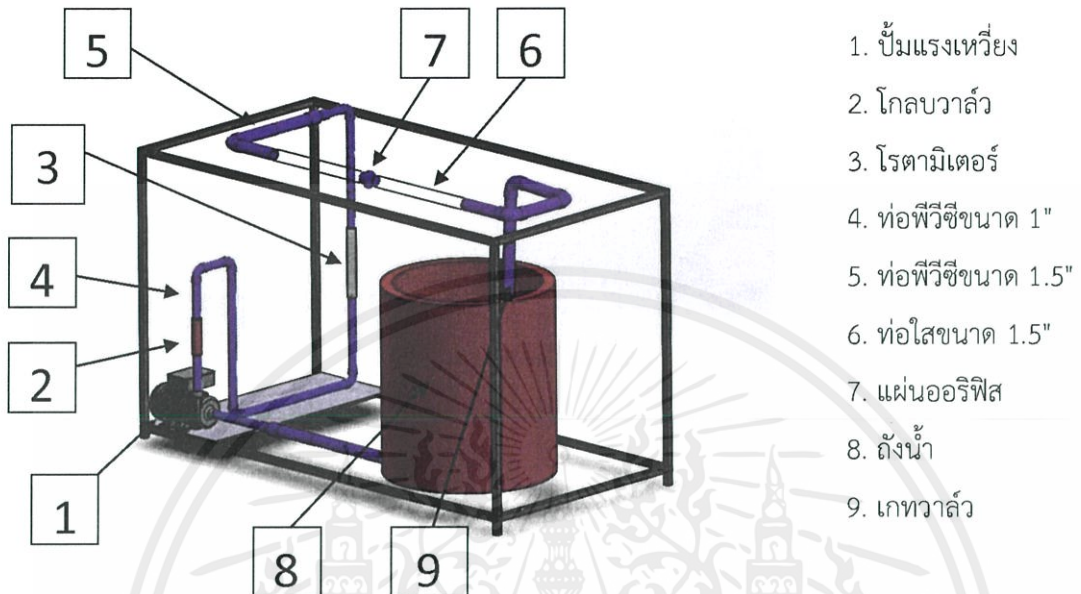
- 1.เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ D = 0.04 เมตร
- 2.อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อกับเส้นผ่านศูนย์กลางของรูออร์ฟิสที่มากที่สุด β = 0.5

ลักษณะการ fitting ของระบบท่อ เป็นการต่อตรงอยู่ระหว่างข้องอ 90 องศา 2ข้อที่อยู่ในระนาบเดียวกัน (Two 90° bend in the same plane) จึงมีความต้องการความเป็นท่อตรงด้านหน้าแผ่นออร์ฟิสอย่างน้อย 10D และด้านหลังแผ่นออร์ฟิสอย่างน้อย 6D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการอ้างอิงเท่านั้น มิใช่เอกสารที่ควรนำมาใช้โดยตรงในการคำนวณค่าต่างๆ

ไม่ว่าการ ความยาวท่อด้านหน้าและด้านหลังแผ่นออร์ฟิสจึงควรมีความยาวอย่างน้อย 0.4 เมตรและ 0.24 เมตรตามลำดับ ผู้ทำโครงการจึงเลือกใช้ความยาวท่อด้านหน้าและด้านหลังแผ่นออร์ฟิสเป็น 0.6 ไปใช้

เมตรและ0.6เมตร หลังจากที่ได้ทำออกแบบและคำนวณความยาวท่อที่ต้องการทดลองและเป็นไปตามมาตรฐานการสร้างอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาจำลองเป็นแบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม SolidWork แบบจำลองของชุดทดลองเป็นไปตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 แบบจำลองชุดทดลองและอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลอง



รูปที่ 12 ชุดทดลองที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลอกเลียนแบบเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

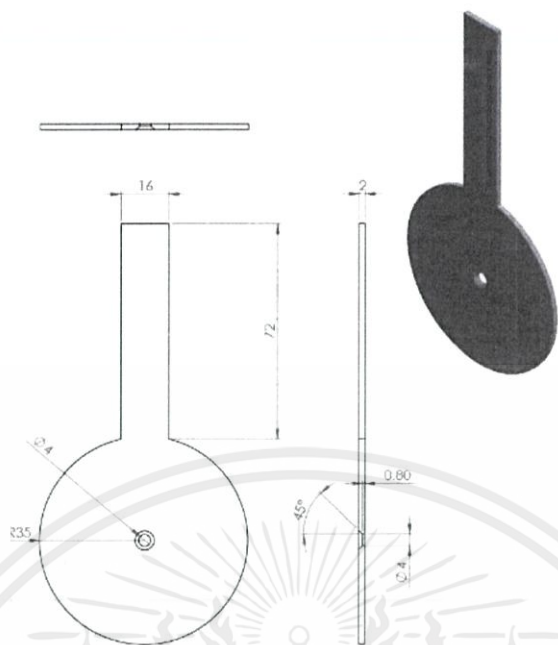
### 3.2 แผ่นออร์ฟิสสำหรับชุดทดลอง

จากทฤษฎีการทำแผ่นออร์ฟิสในบทที่ 2 การทำแผ่นออร์ฟิสจะมีข้อกำหนดต่างๆที่เหมาะสมในการทำแผ่นออร์ฟิส แผ่นออร์ฟิสที่ใช้ทำการทดลองได้ทำการออกแบบทั้งที่เป็นไปตามมาตรฐานและไม่เป็นไปตามมาตรฐานทั้งหมด 10 แผ่น โดย 5 แผ่นแรกจะทำการปรับเปลี่ยนขนาดของออร์ฟิสโดยแผ่นที่ 1 2 และ 3 นั้นเป็นแผ่นออร์ฟิสที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานเนื่องจากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูมีค่าน้อยกว่า 12.5mm ส่วนแผ่นที่ 4 และ 5 เป็นออร์ฟิสที่ออกแบบตามมาตรฐาน และอีก 5 แผ่นจะทำการปรับเปลี่ยนขนาดของมุมเอียง โดยแผ่นที่ 7 8 และ 9 เป็นแผ่นออร์ฟิสที่ออกแบบตามมาตรฐาน ส่วนแผ่นที่ 6 และ 10 เป็นแผ่นออร์ฟิสที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานเนื่องจากมีค่ามุมเอียงของแผ่นอยู่นอกช่วง  $45^{\circ} \pm 15^{\circ}$  ตามที่มาตรฐานกำหนด โดยรายละเอียดจะแสดงดังตารางที่ 3

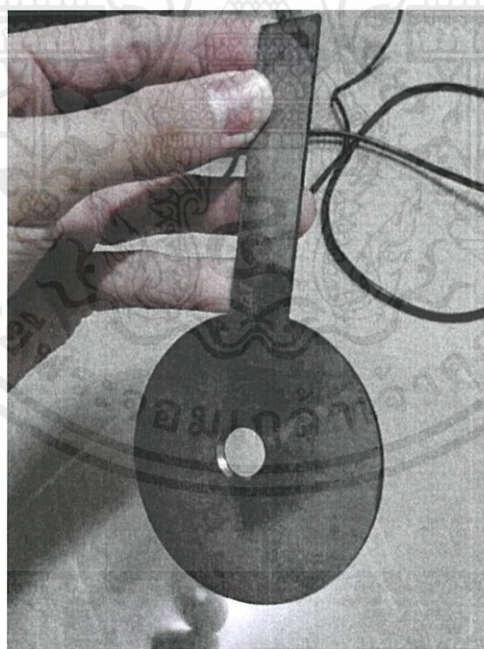
	Plate 1	Plate 2	Plate 3	Plate 4	Plate 5
D(mm)	40	40	40	40	40
d(mm)	4	8	12	16	20
e(mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
E(mm)	2	2	2	2	2
$\beta$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
a	$45^{\circ}$	$45^{\circ}$	$45^{\circ}$	$45^{\circ}$	$45^{\circ}$
	Plate 6	Plate 7	Plate 8	Plate 9	Plate 10
D(mm)	40	40	40	40	40
d(mm)	16	16	16	16	16
e(mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
E(mm)	2	2	2	2	2
$\beta$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
a	$15^{\circ}$	$30^{\circ}$	$45^{\circ}$	$60^{\circ}$	$75^{\circ}$

ตารางที่ 3 แสดงขนาดแผ่นออร์ฟิสในการทดลอง

เมื่อกำหนดรายละเอียดของแผ่นออร์ฟิสทุกแผ่นแล้ว จึงทำการเขียนแบบของแผ่นออร์ฟิสทุกแผ่นที่จะใช้ทำการทดลองขึ้นด้วยโปรแกรม Solid Work ภาพฉายและแบบสามมิติของแผ่นออร์ฟิสเอกสารนี้จะแสดงดังรูปที่ 13 และตัวอย่างแผ่นออร์ฟิสที่ใช้ในการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 14 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 ภาพฉายและแบบสามมิติของแผ่นออริฟิส



รูปที่ 14 ตัวอย่างแผ่นออริฟิสที่ใช้ในการทดลอง

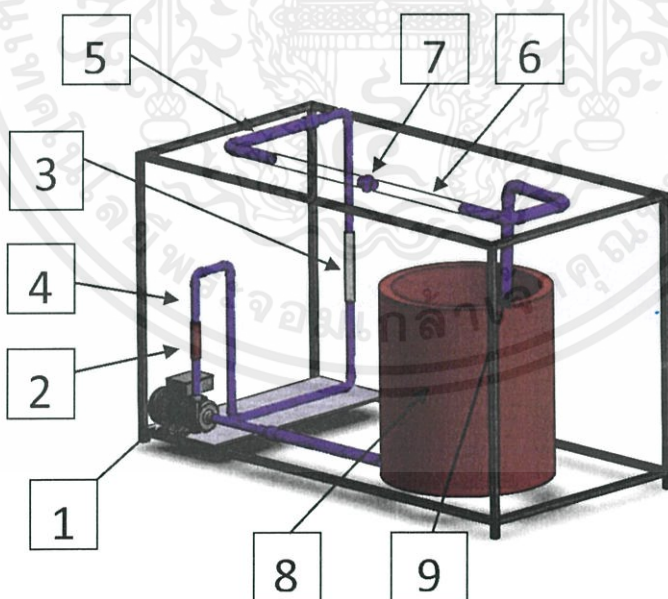
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ใส่แผ่นออริฟิสแผ่นที่ต้องการทดลอง บริเวณหน้าแปลน (หมายเลข 7) จากนั้นทำการขันแน่นให้เรียบร้อย
2. เปิดปั๊มแรงเหวี่ยง (หมายเลข 1)
3. เปิด Valve (หมายเลข 2) โดยก่อนที่จะทำการทดลอง จำเป็นต้องเปิดระบบให้ดำเนินไปในระยะหนึ่งก่อน (ประมาณ 1 นาที) เพื่อไล่อากาศที่อยู่ในระบบ และเพื่อให้น้ำเต็มท่อ
4. หมุนปรับ Valve (หมายเลข 2) เพื่อปรับอัตราการไหล ที่สามารถอ่านค่าได้จาก Rotameter (หมายเลข 3) ตามตารางการทดลอง และสังเกตพฤติกรรมของน้ำที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิส บริเวณท่อไอ (หมายเลขที่ 6)
5. บันทึกผลการทดลองโดยบันทึกว่าเกิดควาเวตชัน หรือไม่เกิดควาเวตชัน หรือไม่สามารถบันทึกผลได้
6. ทำการถอด/เปลี่ยน แผ่นออริฟิส



รูปที่ 15 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลอง ผลการทดลองจะเป็นการสังเกตการเกิดฟองด้านทางออกของแผ่นออริฟิส แบบต่างๆผ่านท่อคริลิคใส ณ อัตราการไหลที่กำหนด โดยใช้ภาพถ่ายในการบันทึกผล ผลการทดลองที่ได้ จะแสดงดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

Q (LPM)	Re	$\beta (\theta = 45^\circ)$				
		0.1(d=4 mm)	0.2(d=8mm)	0.3(d=12mm)	0.4(d=16mm)	0.5(d=20mm)
0	0					
5	3319.895					
10	6639.789					
15	9959.684					
20	13279.58					
25	16599.47					
30	19919.37					
35	23239.26					
40	26559.16					
45	29879.05					
50	33198.95					
55	36518.84					
60	39838.74					
65	43158.63					
70	46478.53					
75	49798.42					
80	53118.32					



เกิดควาิเดชั่น  
ไม่เกิดควาิเดชั่น  
ไม่สามารถบันทึกผลได้

ตารางที่ 4 บันทึกผลสำหรับกรณีทำการเปลี่ยนแปลงขนาดรู ( $\beta$ ) ของแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q (LPM)	Re	Angle of bevel ( $\beta = 0.4$ )(d=16mm)				
		15°	30°	45°	60°	75°
0	0					
5	3319.895					
10	6639.789					
15	9959.684					
20	13279.58					
25	16599.47					
30	19919.37					
35	23239.26					
40	26559.16					
45	29879.05					
50	33198.95					
55	36518.84					
60	39838.74					
65	43158.63					
70	46478.53					
75	49798.42					
80	53118.32					



ตารางที่ 5 บันทึกผลสำหรับกรณีทำการเปลี่ยนแปลงมุมเอียง ( $\alpha$ ) ของแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1. ผลการทดลองของแผ่นอริฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า Diameter ratio, $d/D$ ( $\beta$ )



รูปที่ 16 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ในแต่ละอัตราการไหล  $\beta = 0.1$



รูปที่ 17 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ที่อัตราการไหล 0 - 25 ลิตร/นาที  $\beta = 0.2$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 18 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ที่อัตราการไหล 30 - 35 ลิตร/นาที  $\beta = 0.2$   
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ที่อัตราการไหล 0 - 60 ลิตร/นาที  $\beta = 0.3$



รูปที่ 20 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ที่อัตราการไหล 65 - 70 ลิตร/นาที  $\beta = 0.3$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 21 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ในแต่ละอัตราการไหล  $\beta = 0.4$  และ  $0.5$  ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น

#### 4.2.2. ผลการทดลองของแผ่นออร์ฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า Angle of bevel ( $\alpha$ )



รูปที่ 22 ภาพถ่ายที่บันทึกได้ในแต่ละอัตราการไหล  $\alpha = 15^\circ 30^\circ 45^\circ 60^\circ$  และ  $75^\circ$

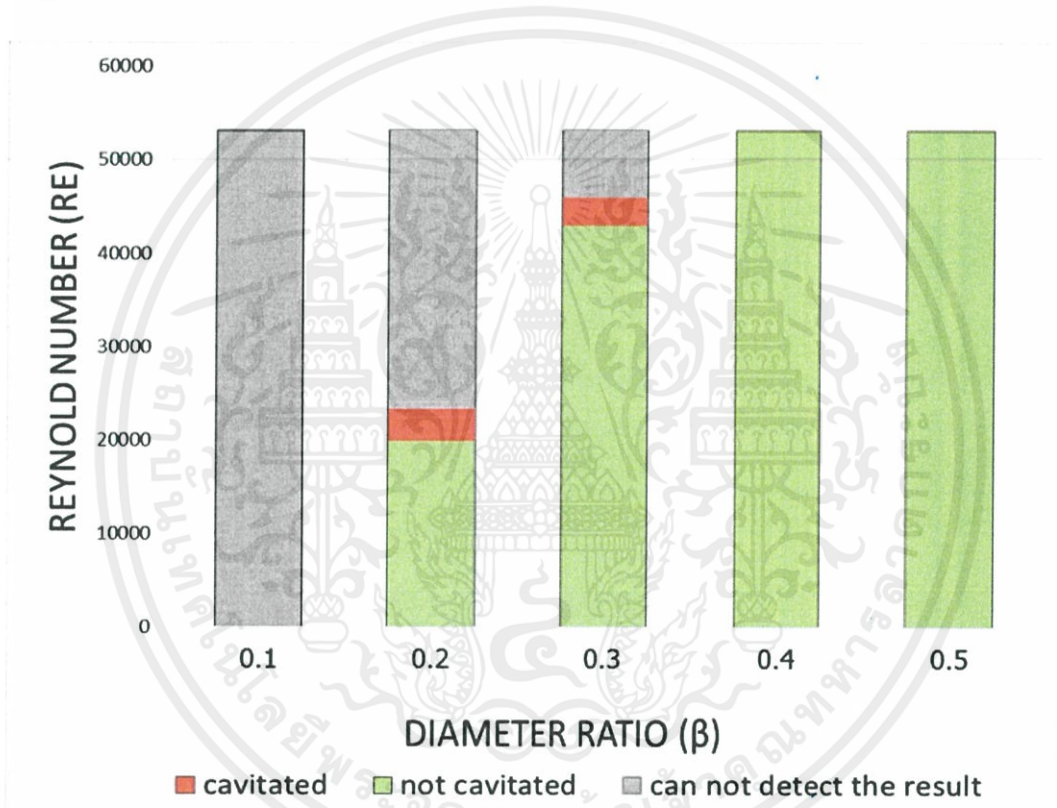
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 5.1 วิเคราะห์ผลการทดลองของชุดแผ่นออริฟิสที่เปลี่ยนแปลง diameter ratio ( $\beta$ )

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะวิเคราะห์จากการนำผลการทดลองมาแสดงเป็นแผนภูมิแท่ง Reynolds Number ค่าต่างๆ ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ สามารถวิเคราะห์กับของไหลได้สำหรับทุกขนาด



รูปที่ 23 กราฟแสดงผลการทดลองแผ่นออริฟิสที่เปลี่ยนแปลงค่า diameter ratio ,d/D ( $\beta$ )

จากแผนภูมิแท่งที่แสดงผลการทดลองในรูปที่ 23 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองแผ่นออริฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลง ค่า  $\beta$  ในแต่ละค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีค่า $\beta = 0.1$ ( $d < 12.5\text{mm}$ )

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าไม่สามารถทำการบันทึกผลการทดลองได้ เนื่องจากน้ำด้านทางออกของแผ่นออริฟิสมีลักษณะการไหลเป็นลำน้ำเล็กๆ (water jet) และมีการไหลแบบไม่เสถียร จึงไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากการวิเคราะห์นั้นต้องทำการวิเคราะห์ที่การไหลที่มีลักษณะการไหลแบบเต็มท่อและมีโปรไฟล์ของความเร็วการไหลที่สม่ำเสมอ (fully-developed)

### 5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีค่า $\beta = 0.2$ ( $d < 12.5\text{mm}$ )

จะสังเกตเห็นว่าเมื่อทำการปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้นจนมีค่า 30 ลิตร/นาที่ หรือมีค่า Reynolds Number เท่ากับ 19919.37 น้ำที่ไหลออกจากด้านทางออกของแผ่นออริฟิสจะมีลักษณะการไหลแบบ 2 สถานะ มีฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากไหลปนอยู่ในกระแส น้ำ หรือเรียกว่าเกิดปรากฏการณ์คาวิเตชัน (Cavitation) และเมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลขึ้นไปเรื่อยๆ ปรากฏว่าเราสามารถปรับอัตราการไหลจนถึงแค่ 35 ลิตร/นาที่ เนื่องจากพื้นที่การไหลมีขนาดลดลง อัตราการไหลสูงสุดของน้ำในระบบจึงลดลง

### 5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีค่า $\beta = 0.3$ ( $d < 12.5\text{mm}$ )

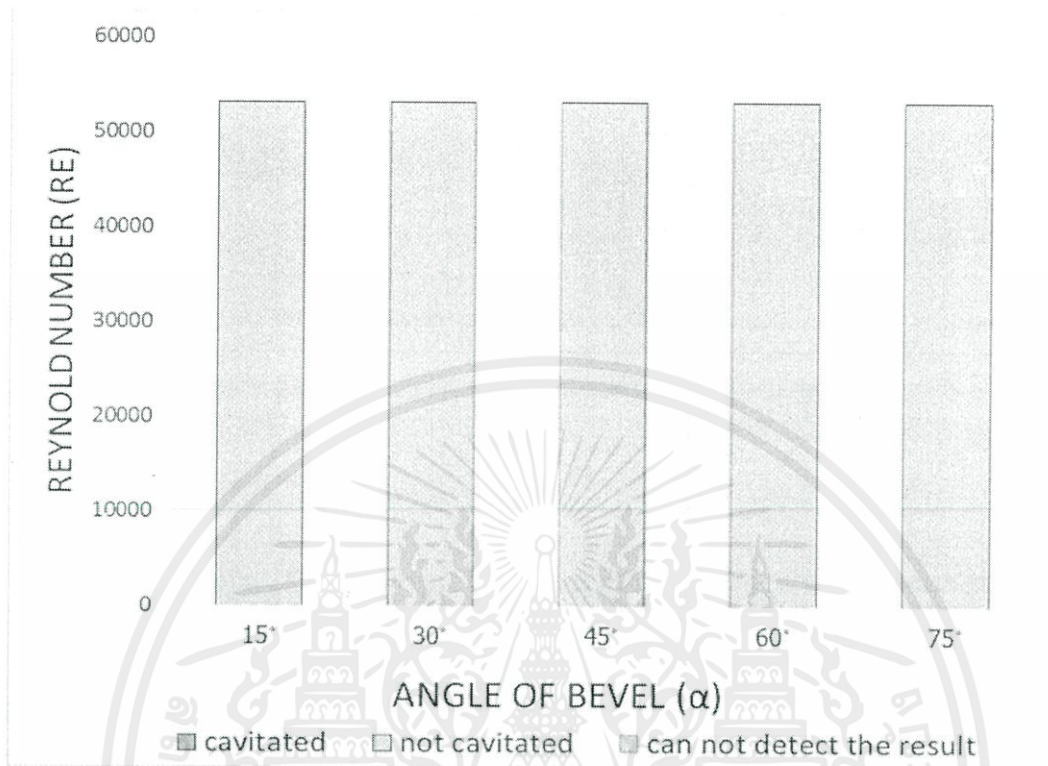
จะพบว่า เกิดคาวิเตชัน ( cavitation ) เมื่ออัตราการไหลในท่อมมีค่า 65 ลิตร/นาที่ หรือ Reynolds Number มีค่าเท่ากับ 43158.63 และเมื่อเราปรับให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะปรับได้สูงสุดอยู่ที่ 70 ลิตร/นาที่ เนื่องจากพื้นที่การไหลมีขนาดลดลง อัตราการไหลสูงสุดของน้ำในระบบจึงลดลง

### 5.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีค่า $\beta = 0.4$ และ $0.5$ ( $d \geq 12.5\text{mm}$ )

เมื่อทำการทดลองโดยใช้แผ่นออริฟิสที่มีขนาดดังกล่าว จะพบว่าไม่เกิดปรากฏการณ์คาวิเตชันทางด้านออกของแผ่นออริฟิสในทุกๆค่าอัตราการไหลและ Reynolds Number เนื่องจากการใช้ขนาดของแผ่นที่มีค่า  $d \geq 12.5\text{mm}$  ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 5167-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 วิเคราะห์ผลการทดลองของชุดแผ่นออริฟิสที่เปลี่ยนแปลง Angle of bevel ( $\alpha$ )



รูปที่ 24 กราฟแสดงผลการทดลองแผ่นออริฟิสที่เปลี่ยนแปลง ค่า Angle of bevel ( $\alpha$ )

จากแผนภูมิแท่งที่แสดงผลการทดลองในรูปที่ 24 จะแสดงให้เห็นว่าแผ่นออริฟิสทั้ง 5 แผ่นที่ใช้ในการทดลองที่มี Angle of bevel ( $\alpha$ ) ต่างกัน ไม่เกิดปรากฏการณ์คาวิตชันขึ้นที่ด้านออกของแผ่นออริฟิสในทุกๆ อัตราการไหลและทุกค่าของ Reynolds Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

กรณีทีหนึ่ง คือ แผ่นออริฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลง diameter ratio ( $\beta$ ) จากการทดลองพบว่า แผ่นออริฟิสที่มีค่า  $\beta = 0.1, 0.2, 0.3$  ซึ่งมีค่า  $d < 12.5\text{mm}$  นั้นเป็นแผ่นออริฟิสที่มีการออกแบบไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เกิดปรากฏการณ์ควิตซ์ขึ้นเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น ส่วนแผ่นออริฟิสที่มีค่า  $\beta = 0.4$  และ  $0.5$  ซึ่งมีค่า  $d \geq 12.5\text{mm}$  เป็นแผ่นออริฟิสที่ออกแบบตามมาตรฐาน ไม่เกิดปรากฏการณ์ควิตซ์ขึ้น ณ อัตราการไหล และ Reynolds number ใดๆ

กรณีที่สอง คือ แผ่นออริฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลง Angle of bevel ( $\alpha$ ) จากการทดลองพบว่าแผ่นออริฟิสที่มีค่า  $\alpha = 15^\circ$  และ  $75^\circ$  ซึ่งเป็นแผ่นออริฟิสที่มีการออกแบบไม่เป็นไปตามมาตรฐาน และแผ่นออริฟิสที่มีค่า  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  และ  $60^\circ$  ซึ่งเป็นแผ่นออริฟิสที่มีการออกแบบตามมาตรฐานไม่เกิดปรากฏการณ์ควิตซ์ขึ้น

สรุปได้ว่าในช่วงอัตราการไหลที่ใช้ในการทดลอง แผ่นออริฟิสที่มีขนาด  $\beta$  หรือ  $d$  ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดจะเกิดปรากฏการณ์ควิตซ์ขึ้น อาจทำให้เกิดปัญหาในการนำไปใช้งาน ในขณะที่แผ่นออริฟิสที่มีการออกแบบเป็นไปตามมาตรฐานจะสามารถใช้งานได้ปกติ ในส่วนของแผ่นออริฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลง Angle of bevel ( $\alpha$ ) แม้ว่าจะออกแบบไม่เป็นไปตามมาตรฐานก็ไม่ส่งผลกระทบให้เกิดปรากฏการณ์ควิตซ์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองนี้เป็นการบันทึกผลการทดลองด้วยการสังเกตและการใช้ภาพถ่ายอาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและความไม่ละเอียดซึ่งอาจจะส่งผลต่อความแม่นยำในการบันทึกผลการทดลอง ในการทดลองครั้งถัดไปควรใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับการเกิดฟอง เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำมากขึ้น
2. ในการทดลองครั้งถัดไปอาจมีการทดลองในเรื่องของแผ่นออริฟิสที่มีการเปลี่ยนแปลง Angle of bevel ( $\alpha$ ) โดยให้ค่า  $\beta$  หรือ d ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด หรือเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ เพื่อเพิ่มกรณีศึกษา
3. สำหรับแผ่นออริฟิสที่มีค่า ค่า  $\beta = 0.4, 0.5$  และ แผ่นออริฟิสที่ทำการปรับเปลี่ยนมุมเอียง อาจเกิดควาวิเตชันขึ้นได้ในอัตราการไหล หรือ Reynolds number ที่มีค่ามากกว่าค่าอัตราการไหลที่ใช้ในการทดลองนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] M.G. De Giorgi, A. Ficarella, M. Tarantino. (2013). International journal Of Heat and Fluid Flow, 160-172
- [2] ชวัลนัฐ ร้อนภาค, ชุติพงศ์ รูปกลม และธีรภัทร รักประยูร (2556).การออกแบบชุดทดลองการเกิดควิตะชันในปั๊มแรงเหวี่ยง
- [3] Reid F. Stearns, Russell R. Johnson, Robert M. Jackson, Charles A. Larson, (2507), Flow Measurement with Orifice Meters
- [4] International Standard ISO 5167-2, (2003), Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular-cross section conduits running full Part 2:
- [5] ThailandIndustry.com (2010), [www.thailandindustry.com](http://www.thailandindustry.com)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

**Table 3 --- Required straight lengths between orifice plates and fittings without flow conditioners**  
Values expressed as multiples of internal diameter, *D*

Diameter ratio <i>D</i>	Upstream (inlet) side of orifice plate														Downstream (outlet) side of the orifice plate											
	Single 90° bend		Two 90° bends in the same plane		Two 90° bends in perpendicular planes		Two 50° bends in perpendicular planes		Two 90° bends in perpendicular planes		Single 90° tee with or without extension		Single 45° bend			Concentric reducer 2D to D over a length of 1.5D to 3D	Concentric expander 0.5D to D over a length of D to 2D	Full core ball valve or gate valve fully open	Abrupt symmetrical reduction	Thermometer pocket or well 5 of diameter $\leq 0.03D$ <sup>g</sup>	Fittings (columns 2 to 11) and the differential thermometer pocket					
	A <sup>a</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>f</sup>	A <sup>a</sup>	B <sup>f</sup>												
0.20	6	3	10	5	10	9	19	16	34	17	3	9	7	9	5	9	6	7	12	5	20	15	5	3	4	2
0.40	16	3	10	5	10	9	44	16	50	25	9	3	30	9	5	9	12	9	12	6	20	15	5	3	6	3
0.50	22	9	18	10	22	10	41	15	75	34	15	9	30	18	5	5	20	9	12	9	20	15	5	3	6	3
0.80	42	13	30	13	42	18	44	15	65 <sup>h</sup>	25	25	16	30	18	5	5	26	11	14	7	20	15	5	3	7	3.5
1.07	44	20	44	13	44	20	44	20	60	18	38	10	44	18	5	28	14	18	9	20	15	5	3	7	3.5	
0.75	44	20	44	13	44	22	44	20	75	18	44	18	44	18	5	35	18	24	12	20	15	5	3	8	4	

**NOTE 1:** The upstream straight length required for the 90° tee depends on the fitting located just upstream or downstream of the orifice plate and the orifice plate itself. Straight lengths shall be measured from the downstream end of the curved portion of the reducer or the straight length of the straight pipe with end of the curved portion of the reducer or the expander.

**NOTE 2:** Most of the bends in which the lengths in this table are based had a radius of curvature equal to 1.5D.

**a** Is the span for full-bore flange heads measured from the downstream end of the curved portion of the upstream bend to the upstream end of the curved portion of the downstream bend.

**b** This is not a good accuracy installation; a good contractor should be used where possible.

**c** The installation of a reducer after pockets or wells will not affect the location of the upstream pipeline length. Example for the other fittings.

**d** A thermowell pocket or well of diameter between 0.02D and 0.1D may be installed provided that the values in Columns A and B are increased to 20 and 10 respectively. Such an installation is not however recommended.

**e** Columns A for each fitting gives lengths corresponding to zero additional uncertainty, i.e. 1.5D (see 3.2.3).

**f** Column B for each fitting gives lengths corresponding to 10.5% additional uncertainty, i.e. 1.5D (see 3.2.4).

**g** The straight length in Column A gives zero additional uncertainty; data are not available for shorter straight lengths which could be used to give the required straight lengths for Column B.

**h** 90° is required for  $0.2 < D < 2.0$ .

ภาคผนวก ข1 ตารางแสดงความเป็นเส้นตรงของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค.

การทดลองการศึกษาผลกระทบการเกิดคาวิตีชันในเครื่องมือวัดแบบ

ออริฟิสโฟลมิเตอร์

The experiment for studying effect of cavitation phenomenon  
in orifice flow meter

### 1. วัตถุประสงค์

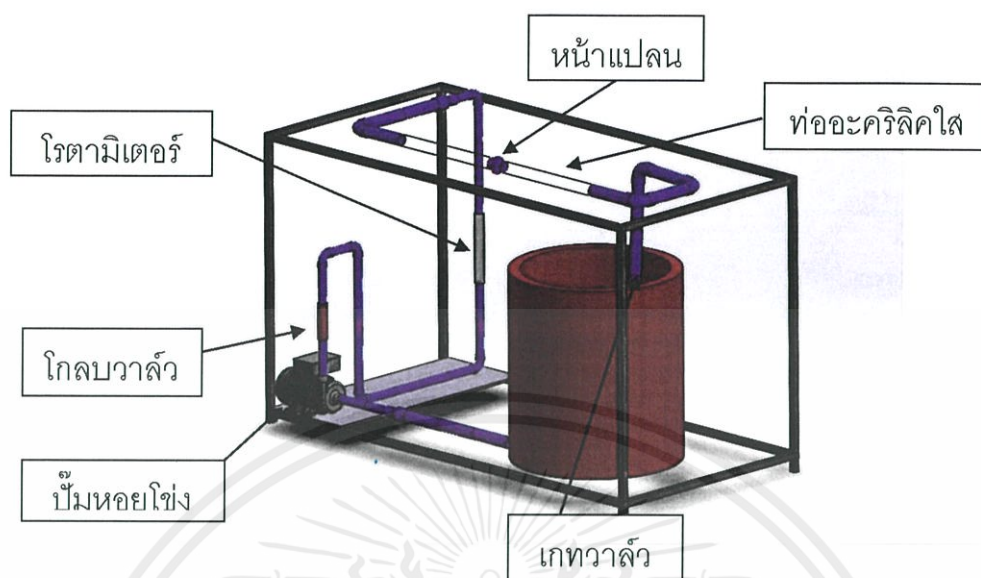
เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดคาวิตีชันในออริฟิสโฟลมิเตอร์ โดยจากการสังเกต และการจัด  
ภาพด้วยกล้องความเร็วสูง

### 2. ทฤษฎี

ปรากฏการณ์คาวิตีชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากของเหลวมีการเปลี่ยนแปลงความ  
ดันอย่างกะทันหัน เมื่อความดันของไหลต่ำกว่าความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิขณะนั้น จะทำให้เกิด  
การกลายเป็นไอของของเหลวในขณะที่ยังไหลอยู่ โดยสังเกตเห็นเป็นฟองอากาศ เมื่อฟองเหล่านี้  
เคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีความดันสูง ฟองเหล่านี้จะแตกใกล้กับพื้นผิวอุปกรณ์ เช่น ผิวของใบพัดปั๊ม ทำให้  
เกิดเสียงดังและสั่น และเมื่อเกิดการแตกตัวซ้ำๆ จะทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. วิธีทำการทดลอง



รูปที่ 28 แสดงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

#### 3.1 วิธีเตรียมการทดลอง

- 1.) ใส่แผ่นออริฟิสที่จะทำการทดลองที่บริเวณหน้าแปลน โดยใส่แผ่นประกั้นเพื่อป้องกันการรั่ว เมื่อใส่แผ่นออริฟิสแล้ว ให้ขันแน่นด้วยประแจเลื่อน
- 2.) เตรียมน้ำประปาโดยเปิดน้ำประปาใส่บริเวณถังเก็บน้ำให้อยู่ในระดับ  $\frac{3}{4}$  ของถัง
- 3.) ตรวจสอบว่าเกลียววาล์ว อยู่ในสถานะเปิด (เล็กน้อย)
- 4.) ตรวจสอบว่าเกตวาล์ว อยู่ในสถานะเปิด (เล็กน้อย)
- 5.) เตรียมแผ่นออริฟิสสำหรับการทดลอง

#### 3.2 การทดลองการเกิดควาวิเตชั่น

- 1.) ทำการเตรียมการทดลอง
- 2.) เสียบสายไฟของปั๊มหอยโข่งกับเต้ารับ เพื่อเริ่มการทำงานของปั๊มหอยโข่ง รอเวลาประมาณ 30 วินาที เพื่อให้อากาศออกจากระบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.) หมุนปรับโกลบวาล์ว ตามทิศทวนเข็มนาฬิกา เพื่อเพิ่มอัตราการไหลตามตารางการทดลอง โดยอ่านค่าจากโรตاميเตอร์
- 4.) บันทึกพฤติกรรมการควิตะขึ้นที่เกิดขึ้นจากการสังเกตบริเวณท่ออะคริลิกใส
- 5.) ปรับอัตราการไหลเพิ่มตามตารางการทดลอง เพื่อบันทึกผลการทดลองตามขอบเขตการศึกษา
- 6.) ทำการเปลี่ยนแผ่นออริฟิส เพื่อทำการบันทึกผลในส่วนต่อไป
- 7.) วิเคราะห์ สรุป และวิจารณ์ผลที่เกิดขึ้นจากการบันทึกผลการทดลอง

#### 4. ผลการทดลอง

##### 4.1 นำผลการทดลองที่สังเกตได้ลงไปในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองประเภทที่ 1

Q (LPM)	Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Re	$\beta (\theta = 45^\circ)$				
					0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0									
5									
10									
15									
20									
25									
30									
35									
40									
45									
50									
55									
60									
65									
70									
75									
80									

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองประเภทที่ 2

Q (LPM)	Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Re	Angle of bevel ( $\beta = 0.4$ )				
					15°	30°	45°	60°	75°
0									
5									
10									
15									
20									
25									
30									
35									
40									
45									
50									
55									
60									
65									
70									
75									
80									

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. วิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้