ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการการไหลแบบแผ่นเรียบ

(Design and Assembling Orifice Flow Meter)

โดย

นางสาวกนกวรรณ สนธิสุวรรณ รหัสนักศึกษา 41044459

นางสาวสุภาภรณ์ พึ่งโพธิ์สภ รหัสนักศึกษา 41044471

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

อาจารย์ที่ปรึกษา ..... 25 ก.ค. 45

(อาจารย์ สนธิสุข ธีระชัยชยุติ)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

(ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่..... เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18389

ระบบหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการการไหลแบบแผ่นเรียบ

(Design and Assembling Orifice Flow Meter)

T096645

โดย

นางสาวกนกวรรณ สนธิสุวรรณ รหัสนักศึกษา 41044459

นางสาวสุภาภรณ์ พึ่งโพธิ์สภ รหัสนักศึกษา 41044471

ปพ.
ก1250
2545

เสนอ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....96645
วัน,เดือน,ปี.....- 4 JUN 2003

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น.ส. กนกวรรณ สนธิสุวรรณ, น.ส.สุภาภรณ์ พึ่งโพธิ์สภ .2545: การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการการไหลแบบแผ่นเรียบ (Design and Assembling Orifice Flow Meter). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร.คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ , 46 หน้า

บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบแผ่นเรียบทำการออกแบบและสร้างขึ้นจากท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d_1) 5.4 เซนติเมตร ช่องเปิด (ช่องออริฟิค) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d_2) 2.5 เซนติเมตร จากนั้นนำมาโนมิเตอร์รูปตัวยู(U – tube Manometer)มาต่อเข้ากับอุปกรณ์ แล้วนำชุดวัดอัตราการไหลมาติดตั้งเข้ากับระบบท่อและปั๊มน้ำ แล้วทำการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของน้ำ โดยบันทึกผลต่างของระดับความสูง(h)ของของไหลในมาโนมิเตอร์ และปริมาตรของน้ำที่ตวงได้ในเวลา 30 วินาที ที่ระดับค่าความสูง h ต่างๆกันทำการทดลอง10 ค่าๆละ 7 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของแต่ละค่า h และนำมาคำนวณหาค่าอัตราการไหลตามทฤษฎี หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีค่ามากกว่าค่าจากการทดลอง จึงต้องมีการหาค่าปรับแก้หรือค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อย(Coefficient of Discharge , C_d) จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบแผ่นเรียบเครื่องนี้มีค่าปรับแก้ (C_d) เท่ากับ 0.755 จากนั้นทำการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำอีกครั้งด้วยอุปกรณ์ชุดนี้ เพื่อทำการตรวจสอบอุปกรณ์ จากการตรวจสอบพบว่าค่าอัตราการไหลที่วัดได้มีค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด ± 2.0373

.....

....

ลายมือนักศึกษา ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการการไหลแบบแผ่นเรียบ ได้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อ.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่า มาคอยแนะนำให้คำปรึกษา คอยชี้แนะแนวทางในการทำปัญหาพิเศษ รวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ: ผศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ และ ดร. พอใจ ถามากรซึ่งเป็นคณะกรรมการ ในการทำปัญหาพิเศษรวมทั้งให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังทรัพย์ในการทำงาน และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาตลอด

กนกวรรณ สนธิสุวรรณ
สุภาภรณ์ พึ่งโพธิ์สภ
20 มีนาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์	1
บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์	2
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	32
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก ก	36
ภาคผนวก ข	41
ภาคผนวก ค	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าเบี่ยงเบนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิค	18
ตารางที่ 2 ผลการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ (Q ทดลอง)	36
ตารางที่ 3 ผลการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ และการคำนวณค่า C_d	37
ตารางที่ 4 ผลการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ หลังคิดค่า C_d (รอบที่ 1)	38
ตารางที่ 5 ผลการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ หลังคิดค่า C_d (รอบที่ 2)	39
ตารางที่ 6 ผลการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ หลังคิดค่า C_d (รอบที่ 3)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 มาโนมิเตอร์รูปตัว U แสดงหลักการของมาโนมิเตอร์	5
ภาพที่ 2 มาโนมิเตอร์แบบที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันโดยเลื่อนแผ่นสเกล	7
ภาพที่ 3 ส่วนโค้งที่ผิวของของเหลว	8
ภาพที่ 4 ผลของค่าความตึงผิวของของเหลว	8
ภาพที่ 5 หลักการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลโดยใช้มาโนมิเตอร์รูปตัว U	8
ภาพที่ 6 แสดงการไหลตามทฤษฎีของ Bernoulli	10
ภาพที่ 7 แสดงค่า Discharge ของแผ่นออริฟิคแบบต่างๆ	12
ภาพที่ 8 ภาพจุดหน้าแปลนของออริฟิค	13
ภาพที่ 9 ภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับ β	14
ภาพที่ 10 ออริฟิสแผ่นบางขอบคม	15
ภาพที่ 11 การออกแบบแผ่นออริฟิค	15
ภาพที่ 12 ภาพตัดแสดงการติดตั้งออริฟิสแบบ Flange Taps	16
ภาพที่ 13 แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์	17
ภาพที่ 14 ออริฟิสแบบเซ็คเมนต์	17
ภาพที่ 15 ค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลที่ได้จากตัววัด	20
ภาพที่ 16 การสูญเสียความดันของอุปกรณ์วัด Flow แบบต่างๆ	21
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงทิศทางของ Velocity ในข้อต่อ และข้องอรวมถึงอุปกรณ์แบบอื่นๆ	22
ภาพที่ 18 การกำหนดจุดวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล	24
ภาพที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากการทดลองกับความสูง	28
ภาพที่ 20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากทฤษฎีกับความสูง	29
ภาพที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความสูง	30
ภาพที่ 23 แผ่นออริฟิคที่ออกแบบและสร้างขึ้น ใช้ในการทดลอง	44
ภาพที่ 22หลอดแก้วรูปตัว U	44
ภาพที่ 23การติดตั้งแผ่นออริฟิคเข้ากับท่อตรงกลางก่อนต่อกับระบบท่อ	45
ภาพที่ 24 ปั๊มน้ำ	45
ภาพที่ 25 การติดตั้งแผ่นออริฟิคเข้ากับท่อตรงกลาง และต่อกับชุดมาโนมิเตอร์	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหาร มักจะพบวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะของของเหลว หรือของไหล ซึ่งคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องและเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการแปรรูปหรือการขนถ่ายวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ดังกล่าวคือ คุณสมบัติของการไหล หรือ อัตราการไหลนั่นเอง ดังนั้นการติดตั้งเครื่องมือที่ช่วยในการวัดอัตราการไหลจึงมีความสำคัญและจำเป็นมากต่อกระบวนการแปรรูปและการขนถ่ายในกระบวนการผลิต ขณะเดียวกันเครื่องมือที่ติดตั้งนั้นจะต้องมีความแม่นยำ และเที่ยงตรง รวมทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการดำเนินการที่ต่ำ และเพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีคุณสมบัติตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จึงควรทำการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องมือชนิดนี้ขึ้นมาใช้งานเองภายในโรงงาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและการสร้างเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบแผ่นเรียบ
2. เพื่อศึกษาและหาสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น
3. เพื่อลดต้นทุนในการสั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทรรศน์

ความดันและหน่วยวัดความดัน

1. ความดันและหน่วยวัดความดัน (Pressure and is Measuring Units)

ความดันเป็นค่าตัวแปร (variable) ที่สำคัญมากตัวหนึ่ง ค่าของตัวแปรอื่นๆ ในระบบ (Process Measurement) สามารถวัดได้ในรูปของความดันทั้งสิ้น เช่น

- การวัดค่า Flow แบบใช้ตัววัดลักษณะออริฟิสทำให้เกิดความดันดิฟเฟอเรนเชียล
- การวัดระดับของของเหลวในภาชนะโดยใช้หลักการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล ที่เกิดจากสแตติกเฮด (Static Head)
- การวัดอุณหภูมิแบบเติมของเหลวในกระเปาะ (Filled Thermal) เปลี่ยนค่าอุณหภูมิเป็นความดันก่อนแล้วอ่านอุณหภูมิในรูปของความดัน

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำลงอย่างสม่ำเสมอ ในแนวตั้งฉากบนพื้นที่ที่กำหนด ถ้ากำหนดให้ F คือ แรงที่กระทำ A คือพื้นที่ที่ถูกกระทำ P คือ ความดันที่เกิดขึ้นจะได้

$$P = F/A \quad \text{.....} *$$

แรงที่กระทำอาจเกิดจากของเหลว (Liquids) ก๊าซหรือของแข็ง (Solids) ก็ได้

หน่วยมาตรฐานสากลของความดัน (S.I. Units)

แรงที่กระทำมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton) $1N = 1kg\ \frac{m}{s^2}$ กระทำลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะได้ความดัน = 1 ปาสคาล (เขียนย่อ Pa)

$$1Pa = 1\frac{N}{m^2}$$

ผู้ที่กำหนดหน่วยความดันนี้ขึ้นมาคือ Blaise Pascal แต่ปาสคาลเป็นหน่วยเล็ก ต่อมา Bar จึงได้กำหนดหน่วยในทางปฏิบัติขึ้น (Pascal และ Bar เป็นนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส)

$$1 \text{ bar} = 100{,}000 \text{ Pa} = 10^5 \text{Pa}$$

ค่าความดัน 1 bar นี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความดัน 1 บรรยากาศ และ $1kg/cm^2$ มาก หน่วยความดัน "bar" นี้ต่อไปจะเป็นหน่วยมาตรฐานสากลของทุกประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเปรียบเทียบกับหน่วยที่มีอยู่เดิม

ค่าความดัน บรรยากาศโดยประมาณ (Technical Atmosphere)

$1kg/cm^2 = 0.981$ bar

ค่าความดันบรรยากาศทางฟิสิกส์ (Physical Atmosphere)

1 atm = 1.01325 bar

หน่วยอังกฤษ

1psi = 0.068947 bar

ในรูปความสูงของน้ำและปรอท

$1mH_2O = 0.09806$ bar

$1inH_2O = 0.00249089$ bar

$1inH_g = 0.034531$ bar

โดยกำหนด 1 บรรยากาศ = 760 mmHg ที่ปรอท $0^{\circ}C$ และมีความเร่งอันเกิดแรงโน้มถ่วง $9.80665 m/s^2$

1 mmHg = ความดันอันเกิดจากความสูงของปรอท 1mm ที่ปรอท $0^{\circ}C$ มีค่าความหนาแน่น = $13.5951 g/cm^3$ และมีค่าความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง $9.80665 m/s^2$

$1 mH_2O$ = ความดันอันเกิดจากความสูงของน้ำ 1 เมตร มีค่าความหนาแน่นคงที่ $1 g/cm^3$ และมีค่าความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง = $9.80665 m/s^2$

2.รูปแบบของความดัน (Types of pressure)

รูปแบบของความดันแตกต่างกันไปตามจุดอ้างอิง (Reference) ที่มีค่าเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติจะมี 4 รูปแบบคือ

- ความดันสมบูรณ์ (Absotute Pressure)
- ความดันเกจ (Gauge Pressure)
- ความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure)
- Vacuum (ความดันในช่วงต่ำกว่าบรรยากาศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ค่าความดันสมบูรณ์

ค่าความดันสมบูรณ์มีจุดสูญญากาศ (Absolute Vacuum) ค่าที่กำหนดเป็นความดันสัมบูรณ์ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น "abs" หรือ "a" เช่น bar_{abs}, Psia หรือ $kg/cm^2{}_{abs}$ ค่าความดันสัมบูรณ์นี้เป็นค่าที่ใช้สำหรับการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิก เช่น การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Boiler)

2.2 ความดันเกจ (Guage Pressure)

ค่าความดันเกจจะอ้างอิงค่าศูนย์ (Zero Reference) ที่ความดันบรรยากาศ โดยค่าที่บอกจะเป็นค่าที่สูงกว่าความดันบรรยากาศขึ้นไป ซึ่งค่าความดันบรรยากาศนี้จะถือที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (Mean Sea Level) มีค่าเท่ากับ 1.01325 bar_{abs} ถ้าวัด ณ จุดใด บนพื้นโลกจะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 5% ในค่าที่กำหนดเป็นความดันเกจนี้ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น g หรือ G เช่น bar_g, $kg/cm^2{}_G$ หรือ Psig

ถ้าเปรียบเทียบค่าความดันสัมบูรณ์กับความดันเกจแล้ว ความดันสัมบูรณ์จะมีค่ามากกว่า 1.01325 bar หรือ 14.696 Psi

$$P_{abs} = P_g + \text{Atmosphere}$$

2.3 ความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure)

เป็นการบอกค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุด ความดันดิฟเฟอเรนเชียล จะมีค่าเป็นศูนย์ที่ความดันทั้งสองจุดที่วัดที่ค่าเท่ากัน

ค่าที่กำหนดเป็นความดันแตกต่างจะมีตัวย่อท้ายว่า d หรือ D เช่น $kg/cm^2{}_D$ Psid หรือ bar_d บางครั้งอาจเขียนย่อว่า ΔP ซึ่งหมายถึงค่าความดันดิพ่เฟอเรนเชียลเช่นเดียวกัน ในการใช้งานตัวกรองน้ำมัน (Starainer) เราสามารถกำหนดเวลาทำความสะอาดของตัวกรองนี้ได้โดยดูค่าความดันดิเฟอเรนเชียล ที่หน้าและหลังตัวเอง ถ้าค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลน้อยแสดงว่าตัวกรองยังสะอาดแต่ถ้าค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลสูงขึ้นแสดงว่ามีสิ่งสกปรกมาติดมากแล้ว จะชี้บอกว่าถึงเวลาจะเปลี่ยนตัวกรองได้หรือยัง

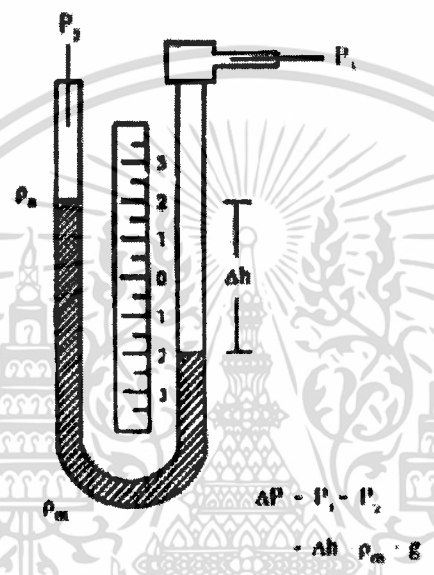
2.4 Vacuum (ความดันในช่วงต่ำกว่าบรรยากาศ)

จะอ้างอิงจุดศูนย์ที่ความดันบรรยากาศและค่าจะมากขึ้นเมื่อความดันลดลง ค่าจะได้สูงสุดที่จุดศูนย์ของความดันสัมบูรณ์ (Zero Absoluite) Vacuum นี้บางทีจะเรียกว่าความดันลบ (Negative Pressure) นิยมกำหนดหน่วยเป็นค่าความสูงของของเหลว เช่น mmHg , inHg หรือถ้ามีค่าน้อยๆ อาจกำหนดเป็น mmH_2O , inH_2O และจะมีตัวย่อต่อท้ายด้วย Vac เช่น 758 $mmHg_{Vac}$ ซึ่งหมายถึงมีค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศลงไป 758 mmHg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 มาโนมิเตอร์รูปตัว U (U – tube Manometer)

ตามรูปที่ 1 เมื่อมีความดันแตกต่าง ความดันด้านสูงจะดันให้ของเหลวจากด้านขวาของหลอดแก้วไหลไปยังอีกข้างหนึ่ง ของเหลวจะหยุดเมื่อแรงที่เกิดจากความดันแตกต่างสมดุลกับแรงที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลวในหลอดแก้วด้านซ้าย



ภาพที่ 1 มาโนมิเตอร์รูปตัว U แสดงหลักการของมาโนมิเตอร์

ถ้ากำหนดให้

g คือ แรงโน้มถ่วง

ρm คือ ความหนาแน่นของของเหลว

ρa คือ ความหนาแน่นของ Fluid เหนือของเหลวในที่นี้หมายถึงอากาศ

จะได้ $P_1 - P_2 = \Delta h\ (\rho m - \rho a) \cdot g$

เพราะเหตุว่า $\rho m >> \rho a$

ในทางปฏิบัติจึงถือว่า $\rho a = 0$

ดังนั้น $\Delta P = \Delta h \cdot \rho m \cdot g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการจะเห็นว่าผลต่างของความดันขึ้นอยู่กับความสูงแตกต่างของของเหลว และความหนาแน่นของของเหลว ดังนั้นการเลือกชนิดของของเหลววและการกำหนดความสูงของท่อแก้วจึงเป็นการกำหนดขนาของความดันที่วัด เช่น ถ้ากำหนดความสูงของท่อแก้ว 1 เมตร - น้ำจะใช้วัดความดันได้ 0 – 98.1 mbar ปรอทจะใช้วัดความดันได้ 0 – 1.3342 bar

ของเหลวที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ น้ำ ปรอท และน้ำมันผสมที่ไม่ระเหย

คุณสมบัติของของเหลวที่จะเติมลงในมาโนมิเตอร์จะต้องเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยา หรือรวมตัวกับสาร (Fluid) ที่ต้องการวัดความดันในระบบ จะต้องไม่เป็นพิษ ไม่กัดกร่อน แข็งตัวหรือเดือดในสภาวะใช้งาน

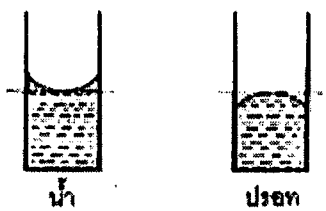
ความผิดพลาดของการวัดด้วยวิธีนี้ประมาณ $\pm$ 0.3% สำหรับการวัดที่ต้องการค่าแน่นอนอุณหภูมิที่ต่างไปจากค่ากำหนด (ค่า Reference) ความบริสุทธิ์ของของเหลว ความดันบรรยากาศ ณ จุดวัดที่อาจเปลี่ยนไปจะต้องนำมาคำนวณแก้ด้วย ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้จะทำให้ความหนาแน่นของของเหลวเปลี่ยนไป อันจะทำให้ค่าความผิดพลาดสูงขึ้นทั้งสิ้น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

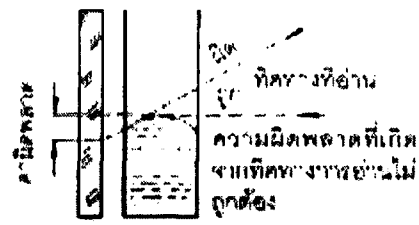
ภาพที่ 2 แบบที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันจะต้องปรับระดับศูนย์ก่อนใช้งานโดยเลื่อนแผ่นสเกล

ค่าความดึงของของเหลว (Surface Tension) ที่ใช้เติมลงในมาโนมิเตอร์จะทำให้ระดับของของเหลวไม่เรียบ น้ำหรือน้ำมันผสมมีค่าความดึงผิวต่ำ ทำให้มีน้ำบางส่วนเกาะกับผิวหนังภายในทอปรอทมีค่าความตึงผิวสูงทำให้ระดับใจกลางท่อสูงกว่าผิวผนังภายในท่อ ตามรูปที่ 3 ซึ่งผลของความตึงผิวนี้จะทำให้การอ่านค่าผิดไปได้ ค่าที่ถูกต้องต้องอ่านจากระดับจุดศูนย์กลางภายในท่อตามรูปที่ 4 การอ่านค่าที่ผิดลักษณะนี้เรียกว่า พาราแลกซ์ (Parallax)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

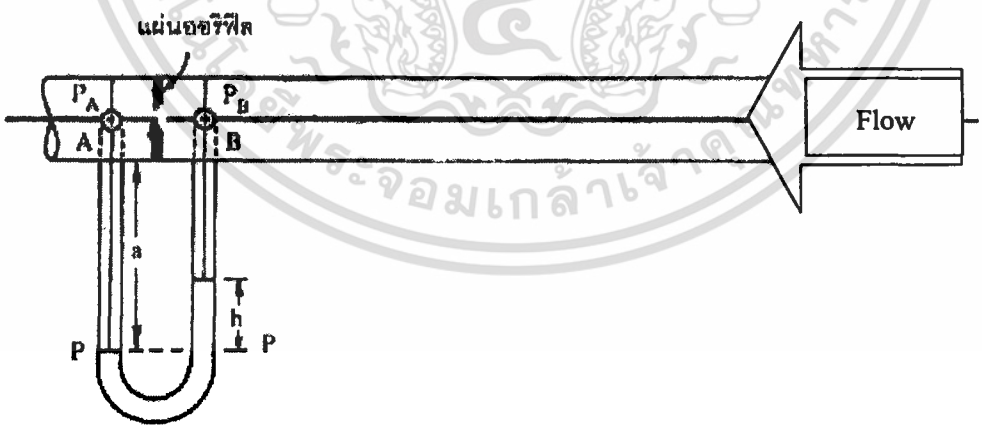


ภาพที่ 3 ส่วนโค้งที่ผิวของของเหลวจะเกิดขึ้นเนื่องจากค่าความตึงผิว



ภาพที่ 4 ผลของค่าความตึงผิวของของเหลวที่อาจทำให้การอ่านค่าผิดไปได้

มาโนมิเตอร์รูปตัว U นี้เป็นแบบที่ใช้วัดความดันแตกต่าง (ΔP) ถ้าด้านที่มีความดันต่ำเปิดสู่บรรยากาศ ค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้เป็นค่าความดันเกจ หรือจะใช้วัดค่า Vaccum ก็ได้ ย่านการใช้งานของมาโนมิเตอร์เริ่มจากค่าต่ำกว่าบรรยากาศ (Vaccum) จนถึงความดันประมาณ 1bar มาโนมิเตอร์รูปตัว U ใช้ในงานสอบเทียบค่า (Calibration) ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) และชี้บอกความดัน ณ จุดวัด (Local Indicator) ในกรณีที่ของไหล (Fluid) ในระบบเป็นของเหลว เช่น น้ำ หรือน้ำมัน โปรดสังเกตตามรูปที่ 5 เป็นการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลตกคร่อมตัววัดออริฟิสที่ต้องการหาอัตราการไหลของน้ำโดยใช้ปรอทเป็นสารที่ใช้เติมในมาโนมิเตอร์



ภาพที่ 5 แสดงหลักการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลโดยใช้มาโนมิเตอร์รูปตัว U กับออริฟิสเพื่อหาค่า Flow ของน้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ ρ_1 เป็นค่าความหนาแน่นของปรอท ρ_2 เป็นความหนาแน่นของน้ำ , g เป็นอัตราเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง

ความดันที่จุด P ด้านซ้าย $P_P = P_A + \rho_2 \cdot a \cdot g$ 1

ความดันที่จุด P ด้านซ้าย $P_P = P_B + \rho_2(a-h) \cdot g + \rho_1 \cdot h \cdot g$ 2

เนื่องจาก 1 = 2 ความดันที่ระดับ P ทั้งสองด้านเท่ากัน

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

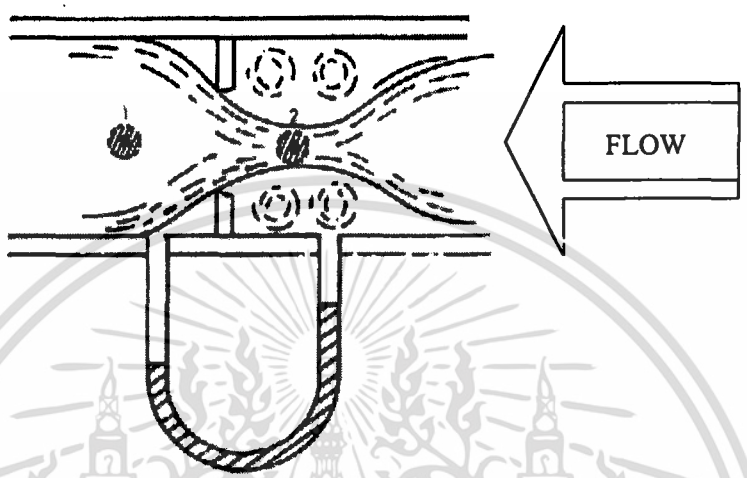
$$P_A - P_B = \rho_1 \cdot h \cdot g - \rho_2 \cdot h \cdot g = h \cdot g (\rho_1 - \rho_2)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ทฤษฎี Bernoulli สำหรับ Fluid ที่เป็นของเหลว

ทฤษฎีของ Bernoulli กล่าวว่า "ของไหลแบบ Steady (อัตราการไหลสม่ำเสมอหรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ) ที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้วผลบวก Velcity Head, Pressure Head และ Elevation Head ในทุกจุดของท่อจะเป็นค่าคงที่" ดังในภาพที่ 6



ภาพที่ 6

ถ้ากำหนดให้ V_1 คือ ความเร็วของ Fluid ที่จุด 1

V_2 คือ ความเร็วของ Fluid ที่จุด 2

P_1 คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 1

P_2 คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 2

Z_1 คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 1

Z_2 คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 2

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

γ คือ ค่าน้ำหนักจำเพาะของ Fluid

ตามสมการของ Bernoulli เปรียบเทียบที่จุด 1 และ จุด 2 จะได้

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_2} + Z_2 \quad \text{.....} \quad 1$$

จากสมการที่ 1 เนื่องจากระดับ $Z_1 = Z_2$ และ $\gamma_1 = \gamma_2$ $\therefore$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad \text{..... ..} \quad 2$$

เนื่องจากสภาพการไหลเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuity Flow) ดังนั้น P ปริมาณการไหลของ Fluid ที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด ณ จุดใดๆ ของท่อจะต้องมีค่าคงที่เสมอ นั่นคือปริมาณการไหลกล ณ จุด 1 และจุด 2 จะต้องมีค่าเท่ากัน

ถ้าให้ A_1 และ A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดที่จุด 2 ตามลำดับ

จะได้ $A_1 V_1 = A_2 V_2$ 3

จากสมการที่ 3 $V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2$ 4

นำค่า V_1 สมการที่ 4 แทนค่าในสมการที่ 2 จะได้ $V_2^2 \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] = 2g \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma}$ ... 5

∴ จะได้ $V_2 = \sqrt{\frac{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}}$ 6

V_2 เป็นความเร็วของ Fluid ผ่านออริฟิส ดังนั้นปริมาณการไหล $Q = A_2 V_2$

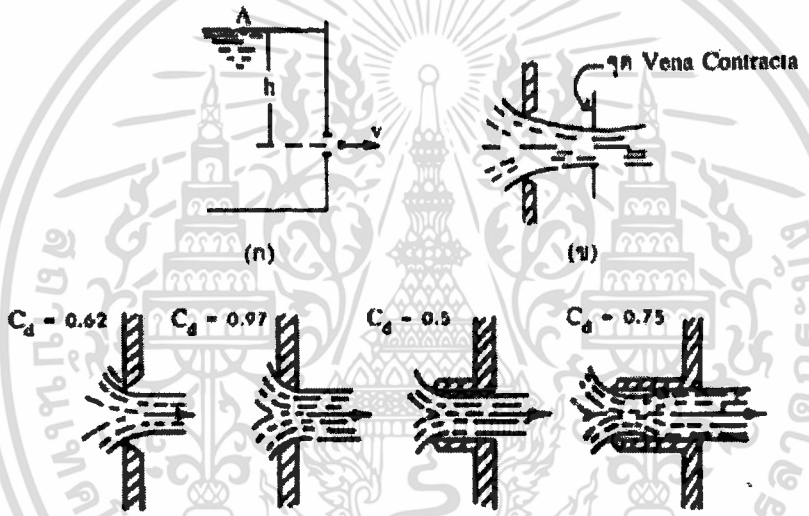
ดังนั้นจากสมการที่ 6 $A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}}$ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสมการ $$Q = A_2 C_d \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{\gamma} \Big/ \left(1-\beta^2\right)} \quad \text{.....8}$$

5 ค่าสัมประสิทธิ์ของการ Discharge

ของไหลเมื่อถูกรีดผ่านหน้าออริฟิสเกิดเป็นลำ (Jet) ลักษณะจะเป็นดังรูปที่ 7 จุดที่คอดที่สุดของลำเรียกว่า Vena Contracta ค่าของ C_d จะแปรกเปลี่ยนไปตามลักษณะและความยาวของท่อออริฟิส



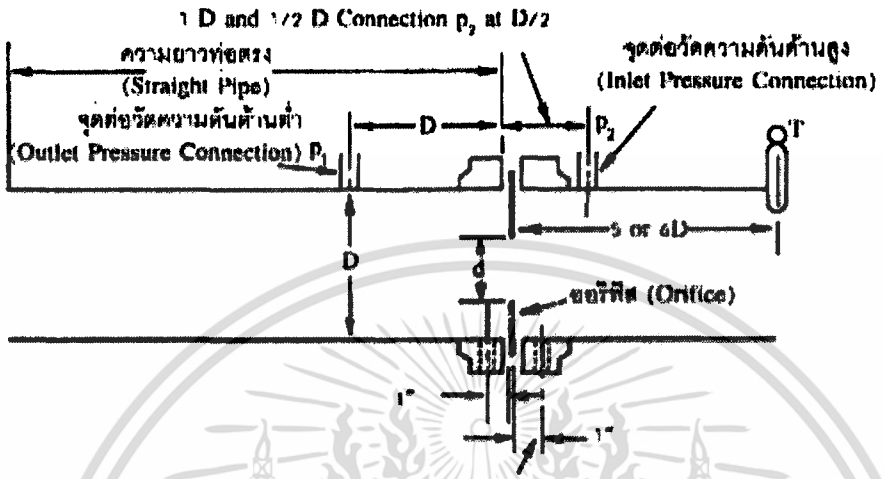
ภาพที่ 7

ตามภาพที่ 7 เมื่อค่า Reynolds number เปลี่ยนไปค่าของ C_d ก็จะเปลี่ยนไปด้วย โดยเฉพาะในย่าน Flow ต่ำๆ จะเปลี่ยนแปลงมาก

6 แบบออริฟิส

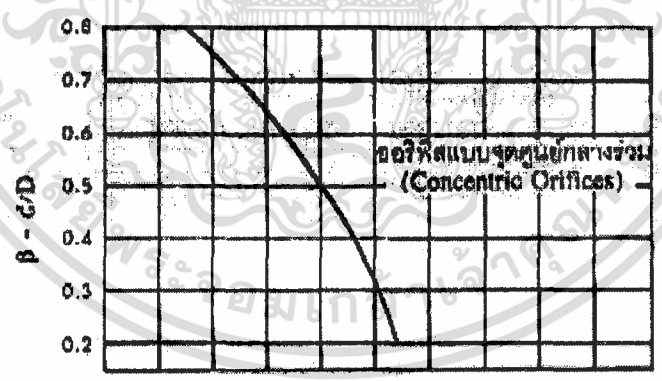
ตามภาพที่ 8 (ก) เป็นแบบแผ่นเรียบ ช่องออริฟิสเจาะเรียบตรง แต่ในแบบที่ใช้งานโดยทั่วไปอาจเป็นแบบผายช่องออริฟิส (Bevel) ซึ่งมีจุดประสงค์การออกแบบต่างออกไป เช่น ต้องการใช้ C_d มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วง R_D ต่ำๆ จุดต่อด้านหน้าออริฟิสจะต้องมีระยะห่างจากแผ่นออริฟิสสัมพันธ์กับค่า β ดังภาพที่ 8 (ข) ตาม ASME Power Test Codes "Instrument and Apparatus" part 5, Chapter 4, 1959

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จุดต่อหน้าแปลน (Flange Connection)

(ก)



(β หมายถึง อัตราส่วน ขนาด $\varnothing$ รูออริฟิค ต่อ ขนาด $\varnothing$ ของท่อ หรือ d / D)

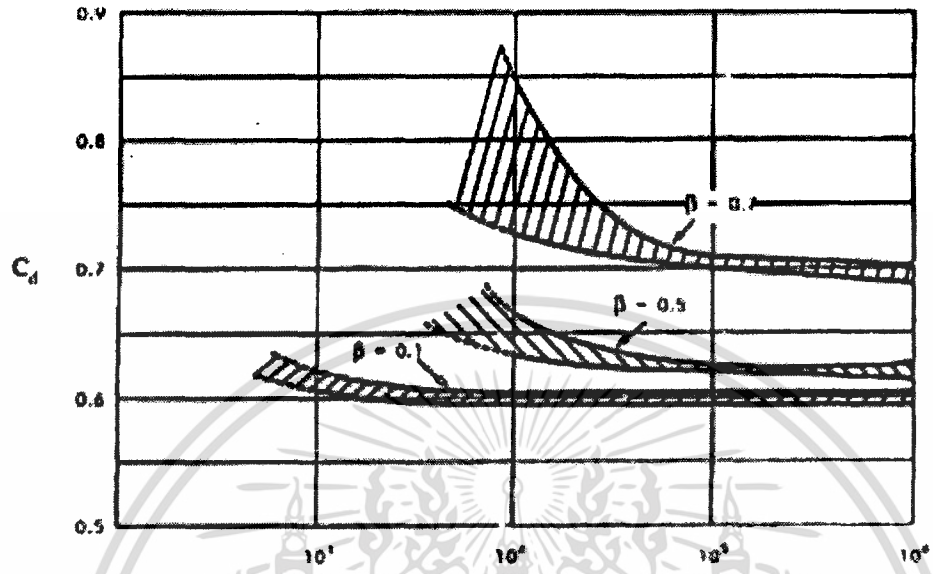
(ข) ระยะห่างของจุดต่อวัดด้านความดันสูงจากแผ่นออริฟิส เทียบกับความยาว $\varnothing$ ของท่อ

ภาพที่ 8

ความสัมพันธ์ของ C_d กับ R_D ของแบบออริฟิสจะเป็นไปตามภาพที่ 9 คือ ในย่าน R_D ต่ำๆ C_d จะสูงขึ้นและจะลดลงจนมีค่าเกือบคงที่ที่ R_D มากกว่า 10^5 ค่า β ของออริฟิสที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_d ค่อนข้างคงที่ในย่านกว้างกว่าแบบที่มี β ใหญ่กว่านี่เป็นเหตุผลอันหนึ่งในการกำจัดขนาดของ β สูงๆ จะให้ค่า C_d มากกว่า β ขนาดเล็ก



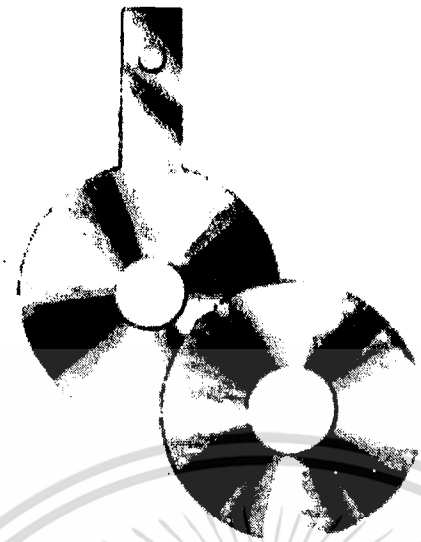
ภาพที่ 9

7 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

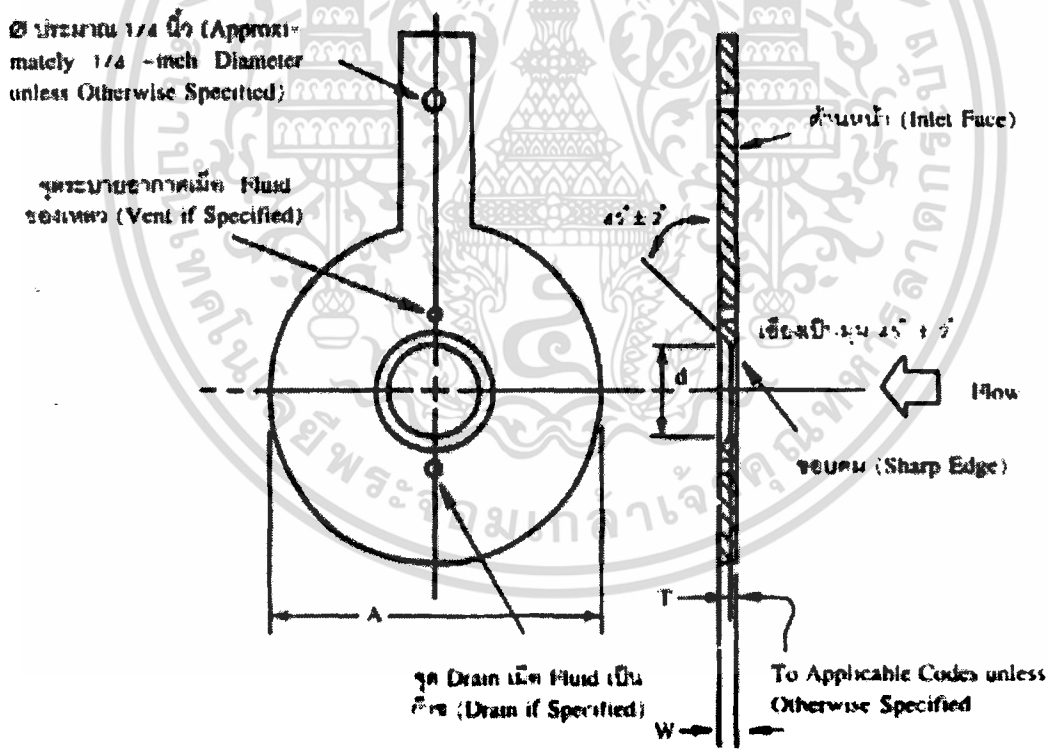
การใช้ออริฟิสวัดอัตราการไหล เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว ตั้งแต่สมัยจูเรียส ซีซาร์ครองอาณาจักรโรมัน ได้มีการใช้ออกริฟิสวัดการใช้น้ำของพลเมือง ในต้นคริสศตวรรษที่ 20 Thomas R Weymouth ได้ทำการทดลองใช้แผ่นออริฟิสแบบที่มีจุดศูนย์กลางร่วม (Concentric) วัด Flow ของก๊าซธรรมชาติเขาใช้วิธีการ Flange Taps ห่างจากแผ่นออริฟิส 1 นิ้วทั้งสองด้านซึ่งวิธีการนี้ต่อมาได้กลายเป็นแบบที่แพร่หลายที่สุดในวงการอุตสาหกรรมในอเมริกา ตามรูปที่ 10 เป็นออริฟิสที่มีใช้ในตอนต้านคริสศตวรรษที่ 20 แผ่นออริฟิสแบบมาตรฐานทำด้วยสเตนเลสสตีล มีความหนา $\frac{1}{8}$ ถึง $\frac{1}{2}$ นิ้วขึ้นอยู่กับขนาด $\varnothing$ ของท่อส่ง

ออริฟิสที่พบใช้งานอยู่โดยทั่วไปจะมีรูปร่างดังรูปที่ 11 ช่องออริฟิสทางด้าน Fluid ไหลเข้าจะเป็นมุมฉาก ทางด้านออกจะผายออกประมาณ 45° เพื่อเป็นการลดความเสียดทานลงให้เหลือเท่าที่จำเป็นสำหรับการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 ออริฟิสแผ่นบางขอบคม เป็นแบบดั้งเดิมที่มีใช้ตั้งแต่ต้นคริสศตวรรษที่ 20



ภาพที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของแผ่นออริฟิส

ความหนาของแผ่นออริฟิสจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของท่อหรือ ∅ของช่องออริฟิส ความหนาที่สำคัญคือ ขอบในออริฟิส (Orifice Edge) ระยะ T ตามภาพที่ 11 จะต้องมีค่าไม่เกินค่าเหล่านี้

$T \leq 0.02\,D$	เมื่อ	D	คือระยะ ∅ ด้านในของท่อ
หรือ $T \leq d/8$		d	คือระยะ ∅ ของช่องออริฟิส
(ใช้ค่าที่น้อยกว่า)		T	คือความหนา

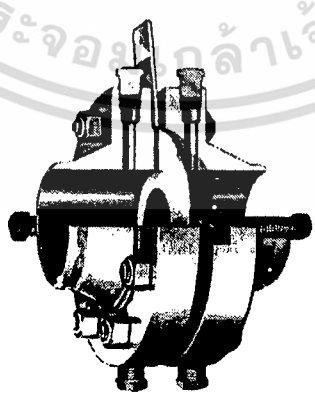
เพราะระยะ d จะมีผลโดยตรงต่อค่า Cofficient of Discharge แต่ค่าความหนาของแผ่นออริฟิสจะมีความหนากว่าระยะ T ได้ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของแผ่นออริฟิสมากขึ้นแต่หลังขอบในออริฟิสจะต้องผายปากออกประมาณ 45°

แผ่นออริฟิสจะต้องมีความหนาเท่ากับระยะ T และจุด Taps ทั้งสองจะต้องห่างจากออริฟิสเท่ากัน

ขนาดช่องออริฟิสจะบอกเป็นอัตราส่วนกับขนาด ∅ ในของท่อ (d / D) เรียกว่า อัตราส่วนเบาตา (β Ratio) ค่าของ β นี้มีขีดจำกัดเพื่อให้ผลของการวัดมีความเที่ยงตรง สำหรับ Fluid ที่เป็นของเหลวค่า β จะอยู่ระหว่าง 0.15 ถึง 0.75 และที่เป็นก๊าซหรือไอ เช่น ไอน้ำ ค่า β จะอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.70 แต่ค่าที่ดีที่สุดควรอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.6

ค่า β นี้ ขึ้นอยู่กับวิธีการต่อ Pressure Taps ด้วยถ้าเป็นแบบ Flang Taps (ต่อจุดวัด ΔP) ที่หน้าแปลนประกับออริฟิส) ค่า β สามารถกำหนดได้ระหว่าง 0.15 ถึง 0.70 แต่ถ้าเป็น Pipe Taps (ต่อจุดวัด ΔP ที่ท่อส่ง) ค่า β ควรอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.67

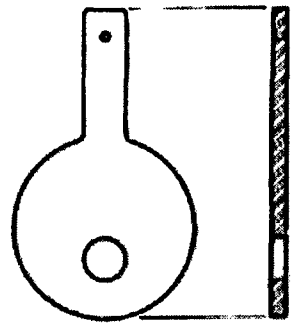
การกำหนด β ในทางปฏิบัติจะต้องกำหนดจาก ΔP สูงสุดที่ต้องการ เมื่อค่า Flow ในระบบสูงสุด ΔP สูงสุด 100 inH_2O แล้วคำนวณย้อนกลับมาหาค่า β



ภาพที่ 12 ภาพตัดแสดงการติดตั้งออริฟิสแบบ Flange Taps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96645



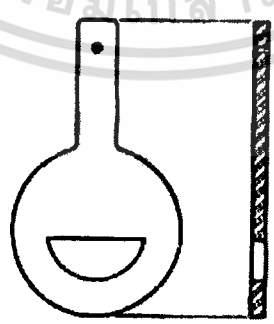
ภาพที่ 13 แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์เพื่อช่วยลดปัญหาในการวัด Flow ของ Fluid ที่มีสารแขวนลอย

7.1 ออริฟิสแบบเยื้องศูนย์ (Ecentric Orifice)

ช่องออริฟิสเป็นรูปกลม แต่จุดศูนย์กลางของรูจะอยู่ค่อนมาทางด้านล่างของแผ่น ∅ ของช่องออริฟิสประมาณ 98% ของขนาด ∅ ในของท่อ ข้อมูลอย่างอื่นในการออกแบบเช่นความหนา ความคม ความเรียบ เหมือนกับแบบแรก สาเหตุที่ต้องเจาะช่องออริฟิสเยื้องลงมาด้านล่างก็เพื่อแก้ปัญหาของ Fluid บางอย่าง เช่น Fluid ที่มีสารแขวนลอย น้ำมันที่มีน้ำผสมอยู่ หรือไอน้ำขึ้น (Wet Steam) อย่างไรก็ดีผลการวัดของออริฟิสแบบนี้อาจให้ค่าผิดพลาดมากกว่าแบบแรกถึง 5 เท่า

7.2 ออริฟิสแบบเซ็คเมนต์ (segmental Orifice)

ออริฟิสแบบนี้ใช้งานกับ Fluid ที่มีปัญหาแบบเดียวกับแบบเยื้องศูนย์ โดยช่องออริฟิสจะเจาะเป็นส่วนของวงกลม (Segment) ช่องออริฟิสอาจถูกติดตั้งอยู่ด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะอยู่ทางด้านล่างดังรูปที่ 14



ภาพที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ออริฟิสแบบผายปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Edge Orifice)

ช่องออรฟิสเป็นแบบจุดศูนย์กลางร่วมกับท่อ แต่การผายช่องออริฟิสมิได้ตรงและทำมุม 45° กับระนาบของแผ่นแต่จะมนโค้งเป็น ¼ ของวงกลม (Quadrant) ลักษณะการเจาะช่องออริฟิสตามรูปที่ 15 ซึ่งผลการเจาะช่องออริฟิสแบบนี้จะทำให้ได้ค่า C_d (Coefficient of Discharge) คงที่ที่ค่า R_D (Reynold Number) ต่ำๆ ประมาณจาก 3,000 ถึง 100,000 การเปลี่ยนแปลงค่า R_D ประมาณ 0.5% เท่านั้นเหมาะสำหรับใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันเตา, น้ำมันดิบ , น้ำเชื่อม (Syrup) ที่มีค่า R_D ต่ำกว่า 100,000

ตารางที่ 1 ค่าการเบี่ยงเบนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของออริฟิสในย่านที่ยังใช้งานได้

ขนาดรูออริฟิส	ขนาดเบี่ยงเบนทั้งทางบวกและทางลบ
0.250	0.0003″
0.375	0.0004″
0.500	0.0005″
0.625	0.0005″

ขนาดรูออริฟิส	ขนาดเบี่ยงเบนทั้งทางบวกและทางลบ
0.750	0.0005″
0.875	0.0005″
1.000	0.0005″
Over 1.000	0.0005″ per inch of Diameter

- ขอบรูออริฟิสทางด้าน H ไหลเข้าจะต้องเป็นมุมฉาก คม ไม่มีลำแสงลอดผ่านออกมาเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบ (Orifice Edge Gauge) หรือลำแสงสะท้อนปรากฏออกมาที่ขอบเมื่อตรวจสอบด้วยการฉายแสงลงบนขอบโดยไม่ต้องใช้แว่นขยายและบนแผ่นออริฟิสจะต้องไม่มีสิ่งสกปรกน้ำมันหรือสิ่งแปลกปลอมอื่นมาเกาะ ที่ผิวหน้าจะต้องสะอาด จะต้องรักษาสภาพเช่นนี้ตลอดช่วงเวลาใช้งาน
- จุดศูนย์กลางของช่องออริฟิสจะต้องเป็นจุดเดียวกับของท่อด้านในหรือ Fitting โดยพยายามรักษาให้มีค่าผิดพลาดไม่เกิน 3% โดยเฉพาะกับท่อขนาดเล็กที่มีช่องออริฟิสขนาดใหญ่จะมีความสำคัญมากขึ้น การติดตั้งจะต้องทำด้วยความระมัดระวังให้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องออริฟิสจะต้องทำที่อุณหภูมิ $68^{\circ}F$ (หรือคำนวณเทียบค่ามาที่อุณหภูมินี้) ค่าที่ได้จะต้องใกล้เคียงกับค่าที่ใช้คำนวณเป็น Basic Orifice Factor มากที่สุดทำการวัด 3 จุดในตำแหน่งต่างกัน ค่าทั้งสามที่ได้ต้องไม่แตกต่างกันกับค่าที่ใช้คำนวณ Basic Orifice Factor และค่าผิดพลาดจะต้องไม่เกินค่าพิกัดที่ระบุในตารางที่ 1

- อัตราส่วน = $\frac{d}{D}$ หรือที่เรียกว่า ค่าเบาตาตามข้อแนะนำจะต้องมีขนาดไม่เกิน

  (1) เมื่อเป็นแบบ Flange Taps β ควรมีค่าระหว่าง 0.15 ถึง 0.7

  (2) เมื่อเป็นแบบ Pipe Tape β ควรมีค่าระหว่าง 0.20 ถึง 0.67

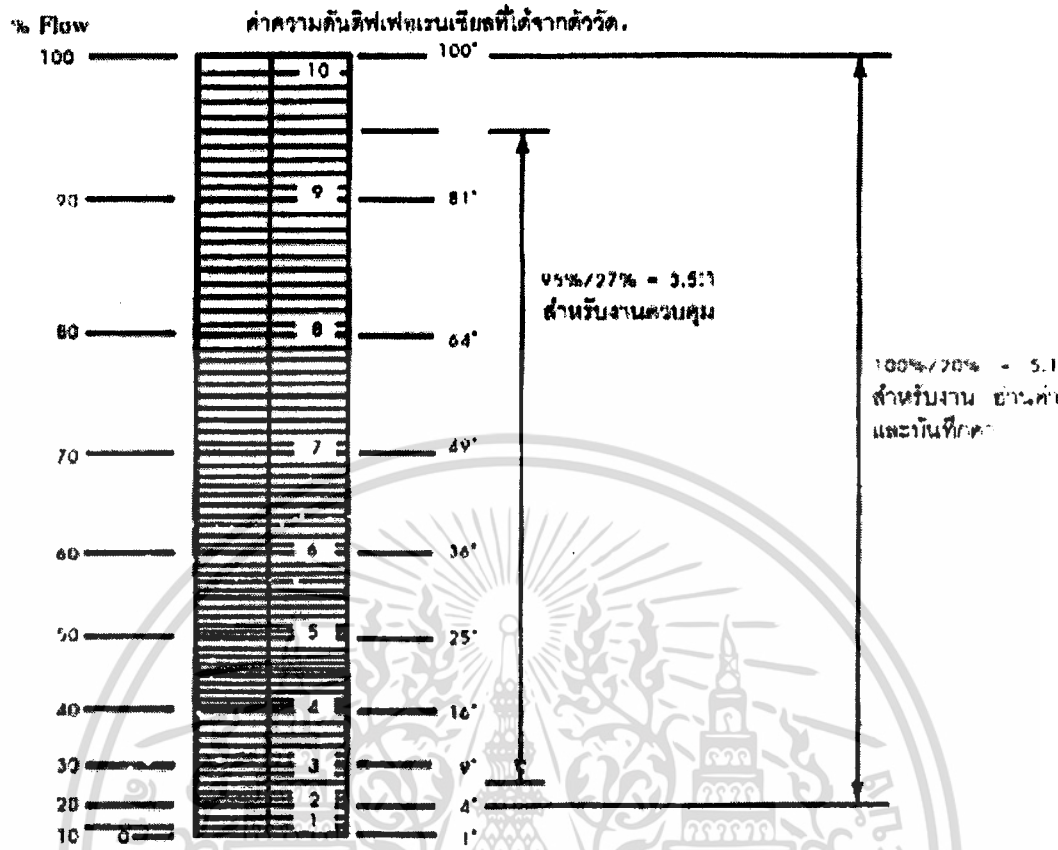
- ทั้งแบบ Flange Taps■ Pipe Taps ค่า β อาจลดลงได้ถึง 0.1 แต่แบบ Flange Taps ค่า β จะต้องไม่สูงกว่า 0.75 และไม่เกิน 0.7 ในแบบ Pipe Taps เพราะค่าคงที่ต่างๆ (Flow constants) ที่ใช้ในการคำนวณจะเริ่มผิดไปจากความเป็นจริงเกินพิกัด จึงควรหลีกเลี่ยงค่า β เกินค่าที่กำหนดในข้อที่แล้ว

- Pipe Taps หมายถึง การต่อจุดวัดค่าความดันดิฟเฟนเรนเชียลที่ท่อ
- Flange Taps หมายถึง การต่อจุดวัดค่าความดันดิฟเฟนเรนเชียลที่หน้าแปลนประกับแผ่นออริฟิส

8. Rengeability และการเลือกใช้ให้เหมาะกับงาน

■สัมพันธ์ระหว่างค่า Flow กับค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลที่วัดได้เป็นแบบรากที่สอง $Q = K\sqrt{\Delta P}$ ซึ่งจะมีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ ในย่าน Flow สูงๆมากกว่า 70% ขึ้นไป จะมีค่าถูกต้องมากกว่าย่าน Flow ต่ำๆเนื่องจากในย่าน Flow สูง ความแปรปรวนของความดันดิฟเฟอเรนเชียลจะเกิดขึ้นมากกว่าย่าน Flow ต่ำๆ โปรดสังเกตจากกราฟในรูปที่ ที่ค่า Flow 10% จะเกิด ΔP ขึ้นเพียง 1 inH_2O เท่านั้น ถ้ากำหนดให้เกิด ΔP 100 inH_2O ที่ Flow 100%, ที่ค่า Flow 50% จะเกิดΔP 25 inH_2O แต่ที่ Flow 90% จะเกิด ΔP ถึง 81 inH_2O ดังนั้นในย่าน Flow ต่ำๆ โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดมีมาก (เนื่องจากอุปกรณ์วัด ΔP ในเครื่องวัดโดยทั่วๆไปในย่าน 10% แรกของสเกลจะให้ค่าผิดพลาดสูง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

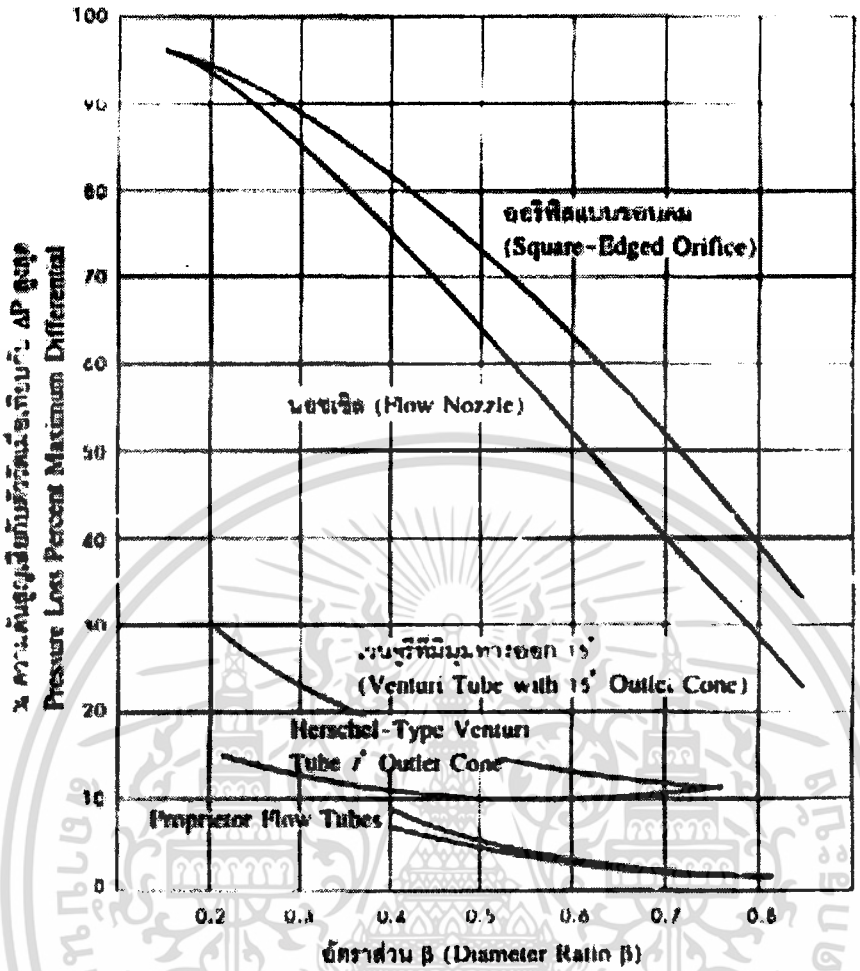


ภาพที่ 15

ข้อแนะนำ : ถ้าใช้ในการอ่านค่าหรือบันทึกค่าควรอยู่ในย่าน 20% ถึง 100% หรือมีค่าRengeability 5 : 1 หมายถึงอัตราส่วนของค่า Flow สูงสุดต่อค่า Flow ต่ำสุด ซึ่งเป็นย่านที่ยอมรับกัน โดย ทั่วไป แต่ถ้านำค่าที่วัดได้ไปเป็นสัญญาณป้อนเข้าเครื่องควบคุมระบบ ค่า Rengeability จะลดลงหรือ 3.5 : 1 นั้นคือย่านใช้งานอยู่ที่ 27% ถึง 95% จะเห็นว่า สำหรับงานควบคุมย่านการใช้งานจะแคบกว่างานอ่านค่าหรือบันทึกค่า ทั้งนี้เพราะเป็นงานที่สำคัญกว่าจึงเลือกใช้เฉพาะย่านที่มีค่าผิดพลาดน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18389



ภาพที่ 16 การสูญเสียความดันของอุปกรณ์วัด Flow แบบต่างๆ

ออริฟิคจะมีค่าความดันสูญเสียมากกว่าตัววัดทุกแบบ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วน β ที่ β ขนาดเล็ก ค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียล (ΔP) เกือบทั้งหมดจะสูญเสียไปกับการวัด แต่ที่ β ขนาดใหญ่ ค่าสูญเสียอาจจะลดลงเหลือต่ำกว่า 50% ของค่า ΔP สูงสุดที่เกิดขึ้น ในตัววัดแบบน๊อสเซิล การสูญเสียจะเกิดในลักษณะเดียวกับ

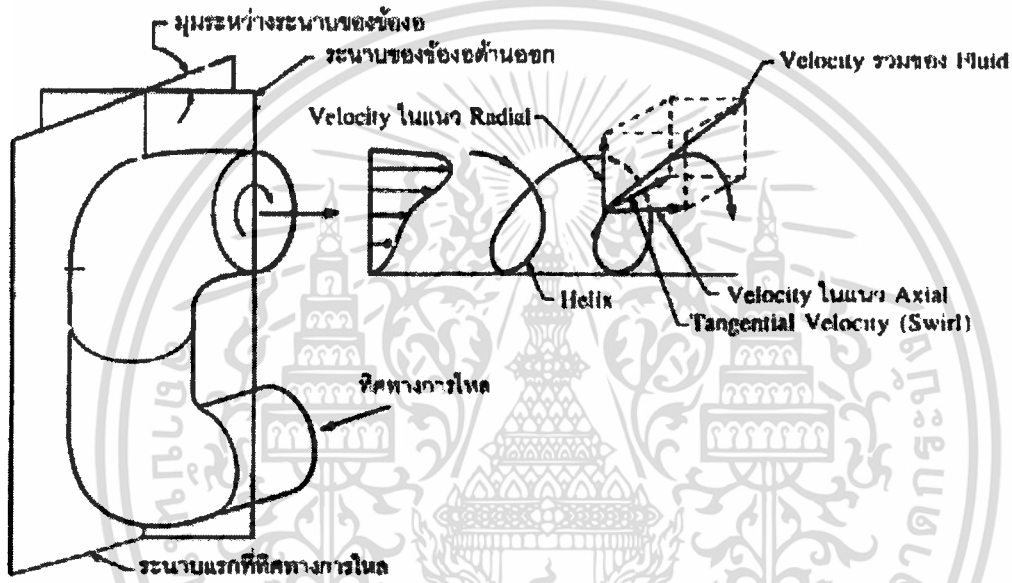
ออริฟิค แต่มีค่าน้อยกว่าในช่วงอัตราส่วน β ค่าสูงๆ สำหรับเวนจูรี ค่าความดันสูญเสียจะเกิดขึ้นน้อยกว่าสองแบบแรก ค่าสูญเสียขึ้นอยู่กับมุมทางด้านออกของตัววัด ที่มุมทางออก 7^0 จะสูญเสียน้อยกว่าแบบ 15^0 ทั้งนี้ เพราะการเปลี่ยนแปลงของ Pressure Head ต่อระยะทางความยาวของกรวยทางออกด้านนอกมีค่าน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ราชบุรี

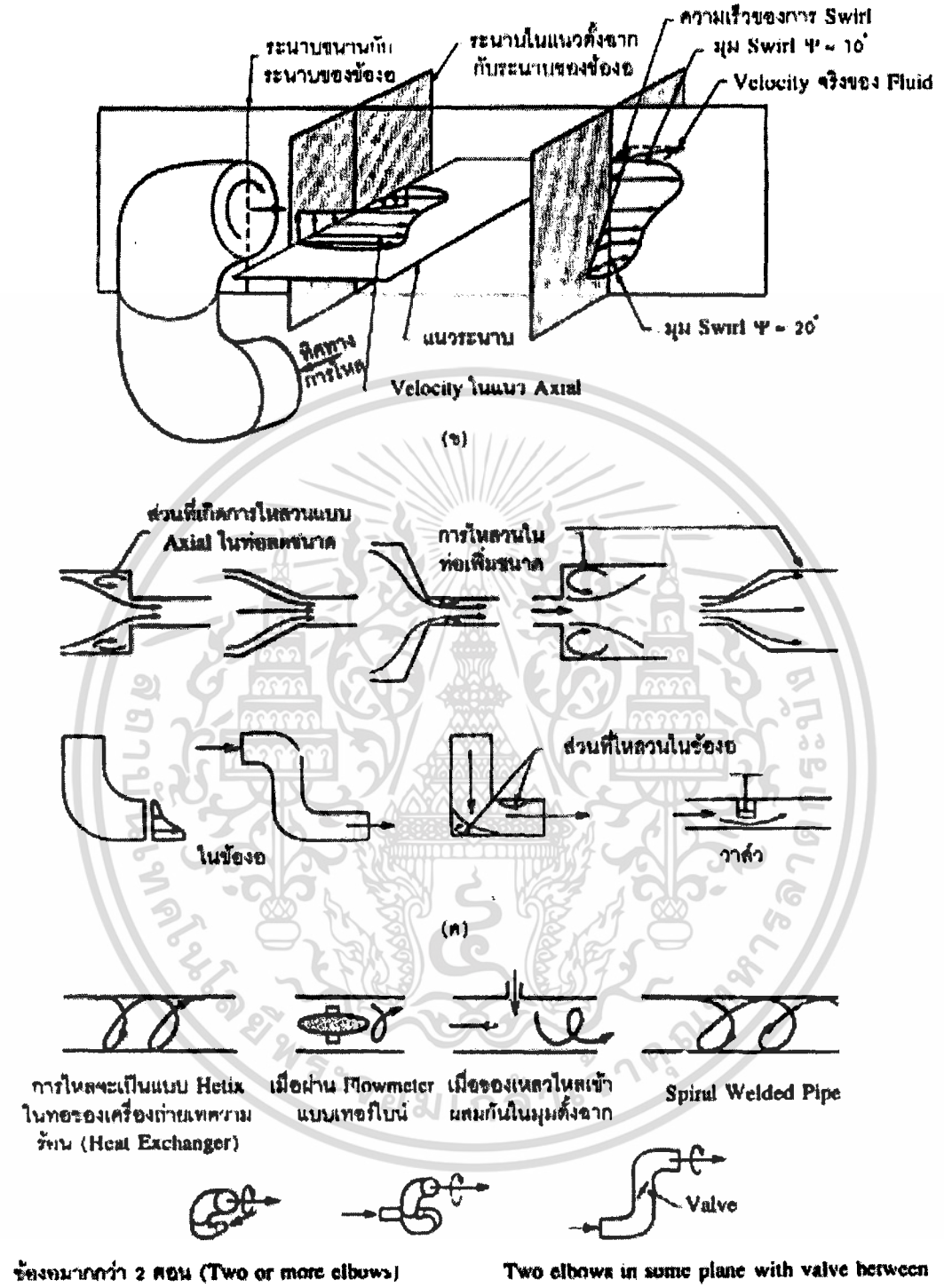
9. สิ่งที่มีอิทธิพลต่อค่า Velocity ของ Flow ก่อนเข้าอุปกรณ์วัด

ความถูกต้องของการวัดมิได้อยู่ที่ตัวอุปกรณ์การวัดเท่านั้นแต่ยังมีส่วนอื่นๆ (Disturbances) ที่สามารถส่งผลกระทบต่อค่าที่วัดได้ เช่น การขดท่อ , การติดตั้งวาวล์ , ข้อต่อ , ข้องอ สิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลทำให้รูปร่างและทิศทางของ Velocity Head ผิดไปทั้งสิ้น



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงทิศทางของ Velocity ในข้อต่อและข้องอรวมถึงอุปกรณ์แบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 17 (ต่อ)

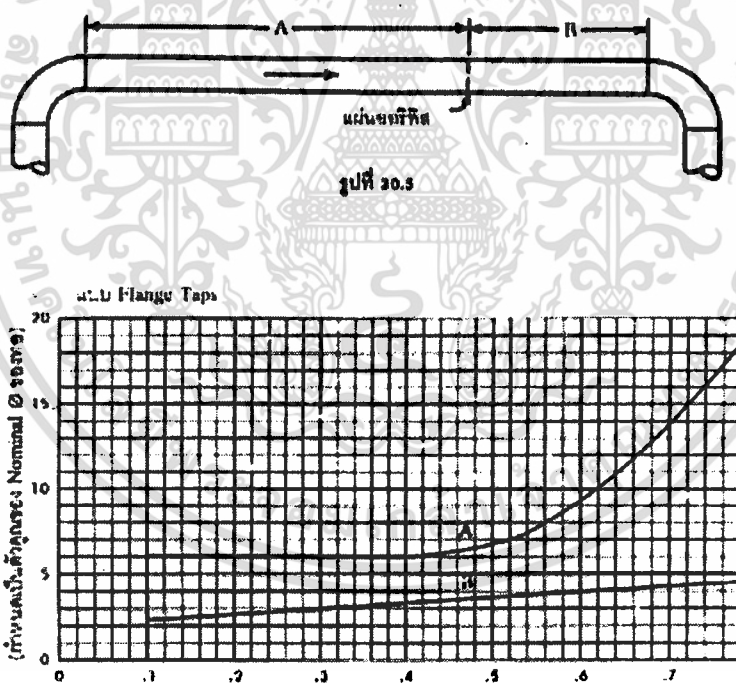
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง คือ การต่อเติมติดตั้ง Instrument ต่างๆ ที่กระทำในภายหลัง เช่น Thermowell หรือ Taps เพื่อวัดความดัน จะต้องติดตั้งให้ห่างจากความยาวท่อตรงทั้งด้านหน้าและด้านหลังตัววัดตามระยะที่กำหนดดังจะกล่าวในตอนต่อไป

ท่อทางด้านไหลเข้าตัววัดจะมีอิทธิพลมากกว่าท่อทางด้านไหลออก การกำหนดค่าความยาวของท่อทั้งด้านหน้าและด้านหลังตัววัด มาตรฐานของความยาวนี้ กำหนดโดยประเทศที่เป็นแม่แบบทางอุตสาหกรรม เป็นการแสดงการเปรียบเทียบความยาวของท่อตรงทางด้านไหลเข้าตัววัดของยุโรปและอเมริกา โดยกำหนดให้มีระยะตรงห่างจากข้องอ 90° ต่างๆ กันไปตามค่า β จะเห็นว่าทางด้านยุโรปกำหนดแตกต่างไปจากอเมริกามากโดยเฉพาะค่า β สูงๆ ทั้งนี้เพราะยุโรปยังรักษาแบบฉบับดั้งเดิม (Conservative) ไว้

10. การกำหนดจุดวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลตามมาตรฐาน AGA

AGA (American Gas Association Standard) ได้กำหนดรายละเอียดของการงอแบบต่างๆ ของท่อทางด้านเข้า ดังจะกล่าวต่อไป ซึ่งข้อมูลอันนี้เป็นที่ยึดถือในการออกแบบท่อกันอยู่โดยทั่วไป



ภาพที่ 18

* เมื่อเป็นแบบ Pipe Taps ความยาว A จะต้องเพิ่มขึ้น 2 เท่าและความยาว B จะต้องเพิ่มขึ้นอีก 8 เท่าของค่า Nominal $\varnothing$ ของท่อ
* ในกรณีที่ต้องเปลี่ยนขนาดของออริฟิสบางขณะจะต้องใช้ค่า β สูงสุดเป็นตัวกำหนดระยะ A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 แผ่นออริฟิค

1.2 ปั๊มน้ำ LOWARA รุ่น CEA 80 / 5

1.3 มาโนมิเตอร์ (Manometer U – Tube)

1.4 ของไหล (Fluid) น้ำ

1.5 กระบอกตวง ขนาด 2000 มิลลิลิตร

1.6 ถังน้ำ

1.7 นาฬิกาจับเวลา

2.วิธีการทดลอง

2.1 ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องมือ Orifice Meter

รวบรวมข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแผ่นออริฟิค และ มาโนมิเตอร์ชนิดหลอดแก้วรูปตัว U รวมทั้งเลือกชนิดของวัสดุ และกำหนดขนาดของแผ่นออริฟิคที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ และติดตั้งหน้าแปลน , อุปกรณ์อื่นๆที่ประกอบเข้ากับชุดปั๊มน้ำ และระบบท่อ

2.2 ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือ

นำข้อมูลที่รวบรวมไว้แล้วมาทำการสรุปและเขียนแบบเครื่องมือ Orifice Meter ลงในกระดาษเขียนแบบ แล้วส่งแบบให้ช่างกลึงอุปกรณ์ สำหรับมาโนมิเตอร์ก็เช่นเดียวกัน แต่ส่งแบบให้กับช่างเป่าแก้วเพื่อทำการเป่าเป็นรูปตัว U

2.3 ทำการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ทั้งหมด

เมื่อได้เครื่องมือ และอุปกรณ์มาแล้วนั้น ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือให้เสร็จเรียบร้อย แล้วทำการตรวจสอบการติดตั้งและการทำงานของระบบในทุกๆส่วนก่อนการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทำการทดลองเพื่อหาค่าน้ำหนักจำเพาะ (γ) ของน้ำมันในมาโนมิเตอร์

โดยนำน้ำมันที่จะใส่ในมาโนมิเตอร์มาทำการชั่งน้ำหนัก (m) และวัดปริมาตร (V)ในปริมาตรที่เท่ากันจากนั้นนำค่าปริมาตรที่หาได้มาหารด้วยน้ำหนักที่ชั่งได้ (V / m) ก็จะได้ค่าน้ำหนักจำเพาะ (γ) ของน้ำมันในมาโนมิเตอร์

2.5 ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของ Fluid ในท่อ

2.5.1 ทำการเปิดปั๊ม เพื่อให้น้ำไหลผ่านเข้าไปภายในระบบท่อ

2.5.2 หมุนเปิดวาล์วควบคุมการไหล โดยให้เริ่มเปิดวาล์วที่อัตราการไหลต่ำก่อน

2.5.3 ตวงน้ำที่ไหลออกจากระบบท่อด้วยการจับเวลา 30 วินาที ขณะเดียวกันก็อ่านค่าความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์ แล้วจดบันทึกปริมาตรน้ำที่ไหลออกจากระบบท่อเป็นอัตราการไหลในเวลา 30 วินาทีจากการทดลองและความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์

2.5.4 ทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยการปรับวาล์วควบคุมการไหลให้เพิ่มอัตราการไหลมากขึ้นทำการทดลองจนกระทั่งได้ระดับความสูง 10 ระดับๆละ 7 ครั้ง

2.6 ทำการคำนวณเพื่อหาอัตราการไหลของ Fluid ในท่อ

2.6.1 คำนวณหาอัตราการไหลเฉลี่ยจากการทดลอง โดยในแต่ละระดับความสูงที่ทำการทดลองนั้นให้ตัดค่าอัตราการไหลที่สูงหรือต่ำกว่าค่าอื่นมากที่สุดออก 1-2 ค่า แล้วจึงนำค่าที่เหลือมาทำการหาค่าเฉลี่ย

2.6.2 คำนวณหาอัตราการไหลจากทฤษฎี โดยอาศัยความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์ในแต่ละระดับ

2.6.3 นำค่าอัตราการไหลจากการทดลอง และอัตราการไหลจากทฤษฎีมาหาค่า C_d ในแต่ละระดับความสูง

2.6.4 หาค่า C_d เฉลี่ยของอุปกรณ์ชุดนี้ โดยนำ C_d ที่ได้ในแต่ละระดับความสูงมาทำการหาค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยที่ได้ออกมานี้ก็จะเป็น C_d ของอุปกรณ์ชุดนี้

2.7 ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบ C_d ที่คำนวณได้ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5 ที่ระดับความสูงทั้งหมด 10 ระดับๆ ละ 3 ครั้ง แต่ทำการทดลองเป็นรอบๆละ 10 ระดับๆ ละ 1 ครั้ง ทั้งหมด 3 รอบ บันทึกเป็นอัตราการไหลจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ทำการคำนวณค่าอัตราการไหล

2.8.1 คำนวณค่าอัตราการไหลจากทฤษฎี โดยอาศัยความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์ในแต่ละระดับ

2.8.2 คำนวณค่าอัตราการไหลจากทฤษฎี โดยอาศัยอัตราการไหลจากการทดลอง

2.9 นำค่าอัตราการไหลจากทฤษฎีทั้ง 2 ค่า มาเปรียบเทียบกัน และคำนวณค่า % ความคลาดเคลื่อน (% ERROR) ของแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง รวมทั้ง ค่า % ความคลาดเคลื่อน (% ERROR) รวมของการทดลองด้วย

2.10 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์

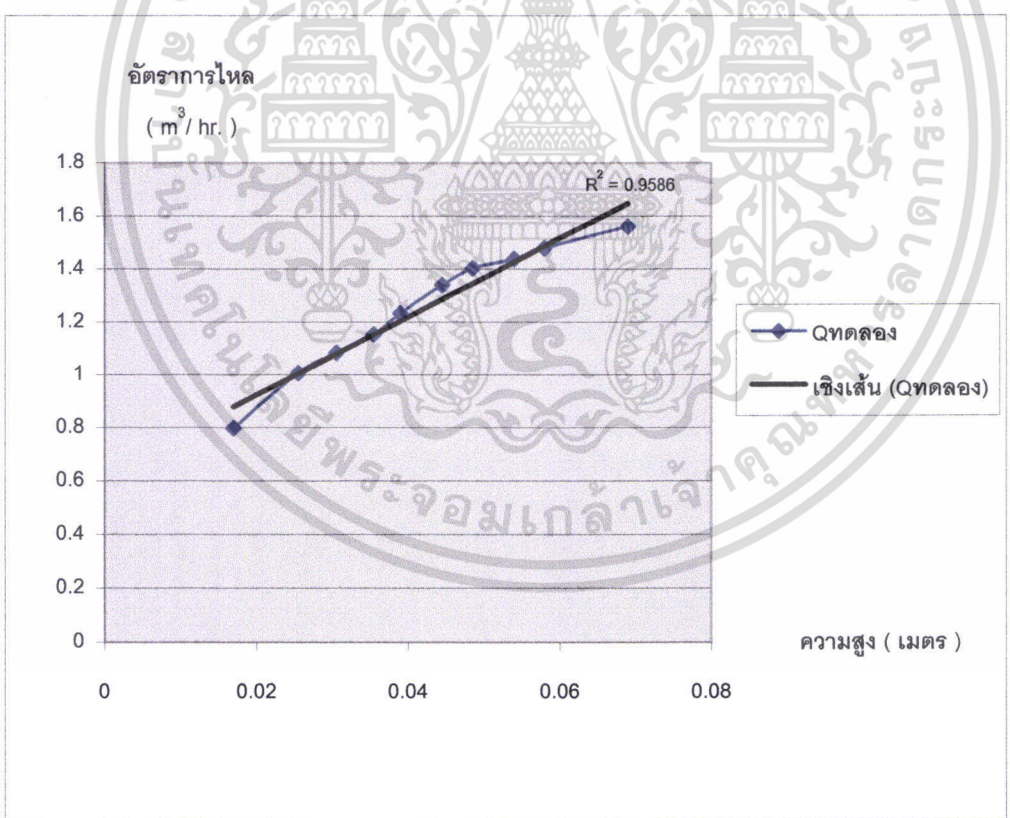
2.11 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ (Q ทดลอง)

จากการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ (Q ทดลอง) โดยการตวงน้ำที่ไหลออกจากระบบท่อภายในเวลา 30 วินาที ซึ่งทำทั้งสิ้น 10 ระดับความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์ ระดับความสูงละ 7 ครั้ง ได้ผลดังภาพที่ 19 เป็นการศึกษาแนวโน้มของอัตราการไหลกับความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์ที่เพิ่มขึ้น

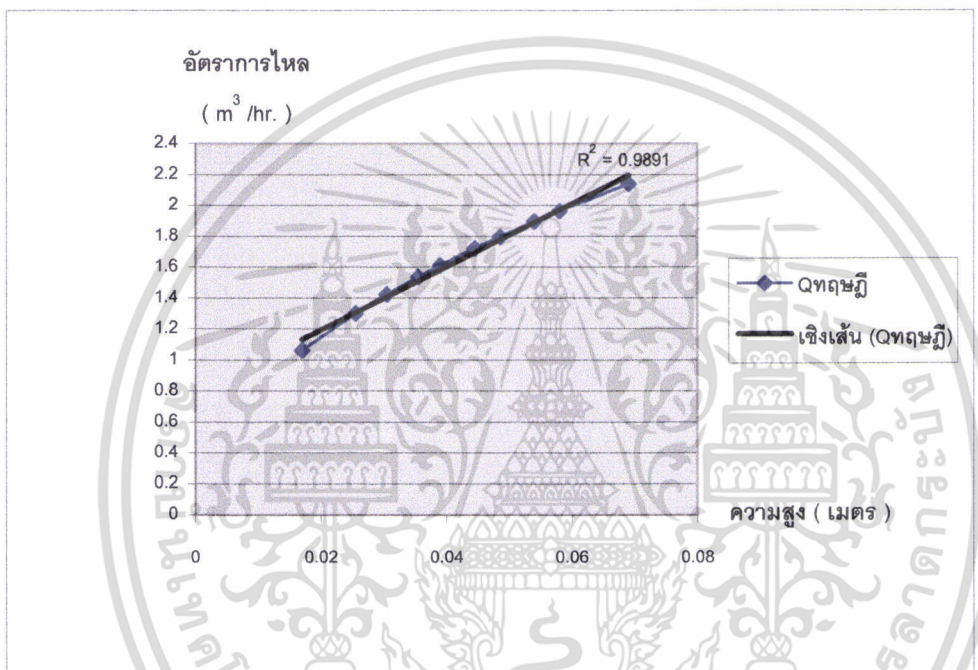


ภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากการทดลองกับความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองศึกษาการคำนวณอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ (Q ทฤษฎี)

จากการศึกษาการคำนวณอัตราการไหลโดยใช้สมการประยุกต์ของ Bernoulli นั้นได้ผลดังภาพที่20

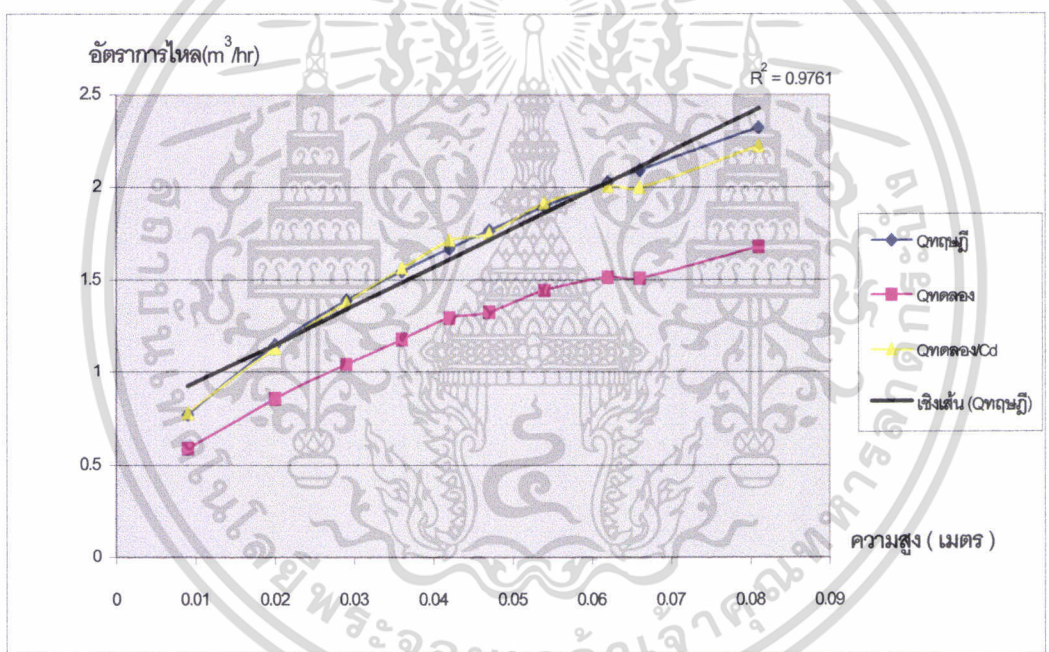


ภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากทฤษฎีกับความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

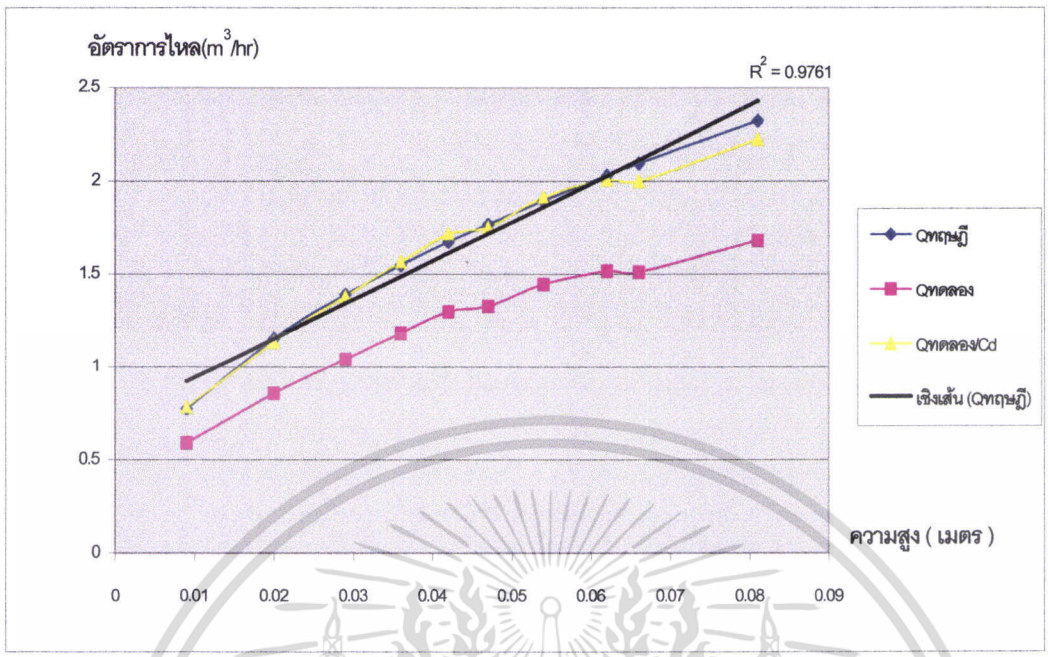
4.3 ผลการทดลองศึกษาการตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ หลังจากคิดค่า C_d

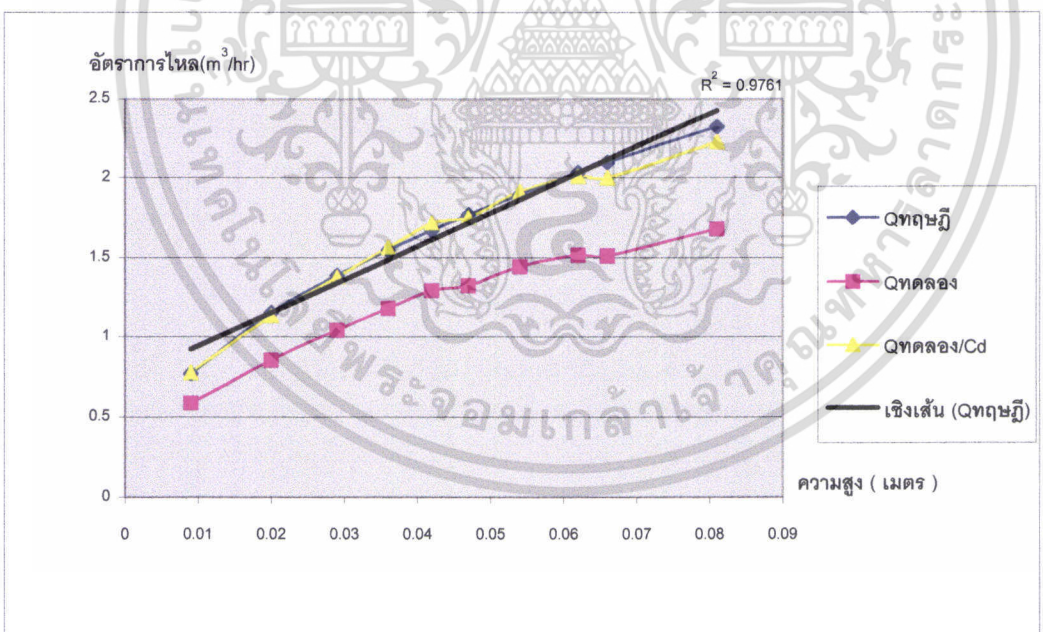
จากการศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการวัดอัตราการไหลปกติ แต่เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบค่า C_d ที่คำนวณได้ โดยทำการทดลองที่ระดับความสูงทั้งหมด 10 ระดับๆ ละ 3 ครั้ง แต่ทำการทดลองเป็นรอบๆละ 10 ระดับๆ ละ 1 ครั้ง ทั้งหมด 3 รอบ ได้ผลดังภาพที่ 21



<u>ภาพที่ 21</u> (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากทฤษฎี อัตราการไหลจากการทดลอง และอัตราการไหลจากการทดลอง / C_d (รอบที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาพที่ 21 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากทฤษฎี อัตราการไหลจากการทดลอง และอัตราการไหลจากการทดลอง / C_d (รอบที่ 2)

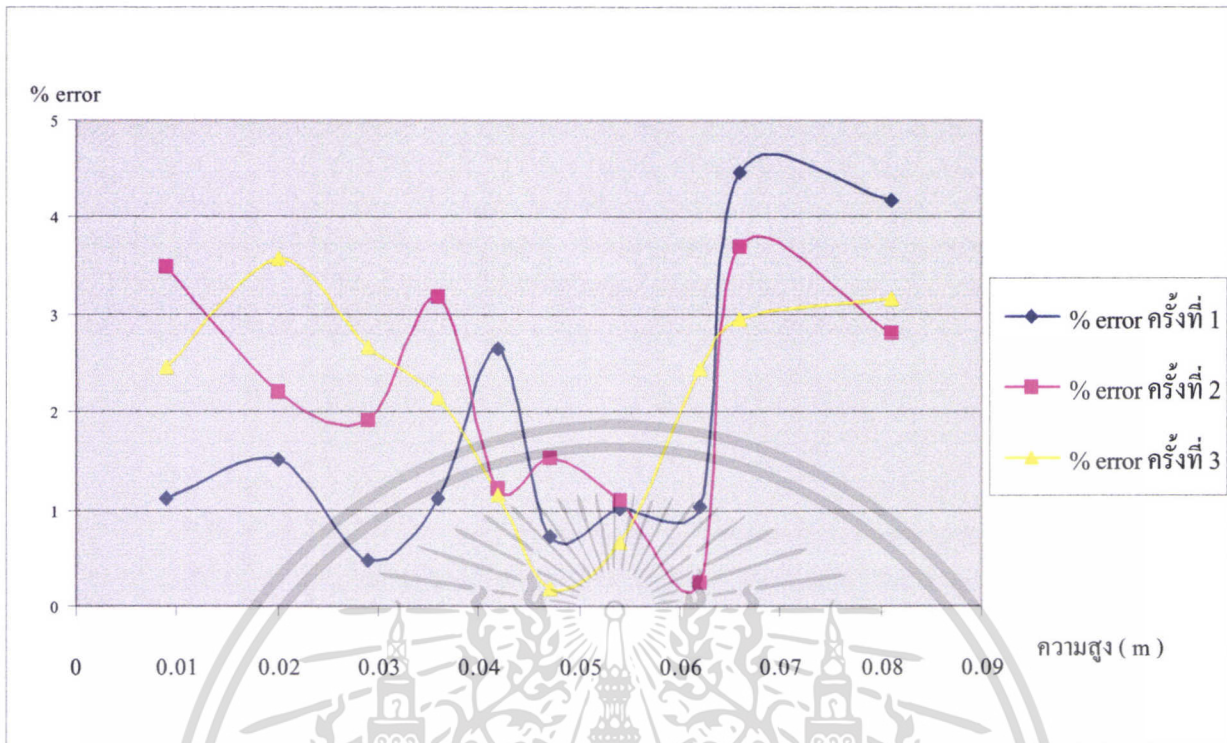
ภาพที่ 21 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากทฤษฎี อัตราการไหลจากการทดลอง และอัตราการไหลจากการทดลอง / C_d (รอบที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองใช้แผ่นออริฟิส (orifice) วัดอัตราการไหลของน้ำและใช้น้ำมันเป็นของเหลว (ความหนาแน่น 854 kg /m^2s) เป็นของเหลวในมาโนมิเตอร์ พบว่ามีช่วงของการใช้งานที่ระดับความสูงตั้งแต่ 0.9-8.1 เซนติเมตร หรือ ที่ช่วงความดัน 793.97-2381.92 N / m^2 เป็นตัววัดอัตราการไหล โดยการทำให้เกิดความดันแตกต่างระหว่างน้ำที่เข้าและออกจากแผ่นออริฟิส (orifice) พบว่าอัตร เการไหลของน้ำในระบบท่อที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณ ตามสมการของ Bounulli เป็นผลเนื่องมาจากค่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าทางทฤษฎี ที่ได้มีการศึกษามาแล้วว่าไม่มีแรงเสียดทาน แต่จากการทดลองได้มีการชดเชยการสูญเสียเนื่องมาจากแรงสียดทานที่เกิดขึ้น โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Coefficient of Discharge) มาคูณกับ
สมการของ Bounulli ได้ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเท่ากับ 0.7551706 และจากการทดลอง 3 ครั้ง ๆละ 10 ซ้ำ พบว่ามี %ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย $\pm$ 2.0373 (ดังภาพที่ 22) แต่ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้นี้สามารถใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ระบบท่อที่ใช้ในการทดลองเท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ระบบท่อใหม่ สามารถใช้แผ่นออริฟิส (orifice)ได้แต่ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Coefficient of Discharge) ต้องมีการคำนวณใหม่ทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % error กับความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เมื่อนำมาใช้งานจริง อาจทำให้อัตราการไหลมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทข้างต้น

แนวทางแก้ไข คือ ระบบท่อควรมีการต่อให้มีลักษณะเป็นท่อตรง เพื่อให้อัตราการไหลคงที่หรือสม่ำเสมอ ก่อนเข้าสู่ช่องออริฟิส (orifice) ซึ่งมีผลทำให้ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นมีค่าถูกต้องมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการปรับระดับอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อมีความต่อเนื่อง และมีช่วงการใช้งานที่กว้างขึ้น สำหรับวัสดุที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไม่ควรใช้เหล็ก ควรเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Giles, R. W.: *Fluid Mechanics and Hydraulics*, 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1962

Hickstein, E. O.: " Flow of Air through Thin-Plate Orifices, " *Trans. ASME*, vol. 37, p. 765, 1915.

Spink, L. K.: *Principles and Practice of Flowmeter Engineering*, 9 th ed., The Foxboro Company, Foxboro, Mass.,1967

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดลองศึกษาการวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ (Q ทดลอง)

ระดับความสูงที่	อัตราการไหล (Q) (ml / 30 s)							ผลรวม 5ค่า	*Q เฉลี่ย (ml / 30 s)	Q เฉลี่ย (m^3 / s)	*Q เฉลี่ย (m^3 / hr)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7				
1	5360	6650	6660	6700	6810	6440	6820	33260	6652	0.000221733	0.79824
2	8900	8400	8350	8450	8350	8360	8250	41910	8382	0.000279400	1.00584
3	8800	9190	8950	8900	9060	9060	9250	45160	9032	0.000301067	1.08384
4	9750	9690	9700	9500	9600	9550	9420	48040	9608	0.000320267	1.15296
5	10350	10300	10250	10350	10150	10350	10150	51400	10280	0.000342667	1.2336
6	11600	11240	11070	11050	11350	11100	10950	55810	11162	0.000372067	1.33944
7	11880	11600	11650	11800	11800	11600	11350	58450	11690	0.000389667	1.4028
8	12200	12150	12150	11900	11800	11900	11700	59900	11980	0.000399333	1.4376
9	12550	12450	12350	12210	12250	12300	12200	61560	12312	0.000410400	1.47744
10	14650	13400	12850	12850	12950	13000	12800	65050	13010	0.000433667	1.5612

* ดังแสดงใน ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 3 ผลการทดลองศึกษาการคำนวณอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ และการคำนวณค่า C_d

ความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์			***ค่าคงที่	** Q จาก	Q จากการทดลอง		****C_d	Avg. C_d
h (mm.)	h (m.)	$\sqrt{h}$	จากสูตร	ทฤษฎี m^3/s	m^3/s	$m^3/hr.$		
17.00	0.0170	0.13038405	0.002266312	0.000295491	0.000221733	0.798238800	0.750389	0.7551706
25.50	0.0255	0.15968719	0.002266312	0.000361901	0.000279400	1.005840000	0.772034	
30.50	0.0305	0.17464249	0.002266312	0.000395794	0.000301067	1.083841200	0.760665	
35.50	0.0355	0.18841444	0.002266312	0.000427006	0 000320267	1.152961200	0.750029	
39.00	0.0390	0.19748418	0.002266312	0.000447561	0.000322667	1.161601200	0.720946	
44.50	0.0445	0.21095023	0.002266312	0.000478079	0.000372067	1.339441200	0.778254	
48.50	0.0485	0.22022716	0.002266312	0.000499103	0.000389667	1.402801200	0.780734	
54.00	0.0540	0.23237900	0.002266312	0.000526643	0.000399333	1.437598800	0.758261	
58.00	0.0580	0.24083189	0.002266312	0.0005458	0.000410400	1.477440000	0.751923	
69.00	0.0690	0.26267851	0.002266312	0.000595311	0.000433667	1.561201200	0.728471	
							7.551706	

** , *** , **** ดังแสดงใน ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4 ผลการทดลองศึกษาการตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ หลังจากคิดค่า C_d (รอบที่ 1)

ระดับความสูง h (m.)	***ค่าคงที่ของสูตร	*****Q จากทฤษฎี		Q ทดลอง ครั้งที่1			
		m^3 / s	m^3/hr.	ml /30s	m^3/hr	******Q ทดลอง / Cd (m^3 / hr.)	******* %error
0.009	0.002266	0.000214972	0.773897887	4925	0.591	0.782604205	1.1249957
0.020	0.002266	0.000320461	1.153658856	7150	0.858	1.136166511	1.5162494
0.029	0.002266	0.000385886	1.389189222	8700	1.044	1.382468342	0.4837988
0.036	0.002266	0.000429943	1.547795774	9850	1.182	1.56520841	1.1249957
0.042	0.002266	0.000464392	1.671810511	10800	1.296	1.716167596	2.6532364
0.047	0.002266	0.000491257	1.768525537	11050	1.326	1.755893698	0.7142582
0.054	0.002266	0.000526571	1.895654937	12050	1.446	1.914798105	1.0098446
0.062	0.002266	0.000564229	2.031226019	12650	1.518	2.01014075	1.0380563
0.066	0.002266	0.000582146	2.095725386	12600	1.512	2.002195529	4.462887
0.081	0.002266	0.000644915	2.321693662	14000	1.68	2.224661699	4.1793611
							±1.8307683

, * , ***** ดังแสดงใน ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 5 ผลการทดลองศึกษาการตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ หลังจากคิดค่า C_d (รอบที่ 2)

ระดับความสูง h (m.)	***ค่าคงที่ของสูตร	*****Q จากทฤษฎี		Qทดลอง ครั้งที่2			
		m^3/s	$m^3/hr.$	ml/30s	m^3/hr	******Qทดลอง/Cd ($m^3/hr.$)	******* %error
0.009	0.002266	0.000214972	0.773897887	4700	0.564	0.746850713	3.494927998
0.020	0.002266	0.000320461	1.153658856	7100	0.852	1.12822129	2.204946916
0.029	0.002266	0.000385886	1.389189222	8575	1.029	1.362605291	1.913629262
0.036	0.002266	0.000429943	1.547795774	10050	1.206	1.596989291	3.178295066
0.042	0.002266	0.000464392	1.671810511	10650	1.278	1.692331935	1.22749701
0.047	0.002266	0.000491257	1.768525537	11300	1.356	1.7956198	1.532025551
0.054	0.002266	0.000526571	1.895654937	11800	1.416	1.875072004	1.085795349
0.062	0.002266	0.000564229	2.031226019	12750	1.53	2.02603119	0.255748443
0.066	0.002266	0.000582146	2.095725386	12700	1.524	2.01808597	3.704655976
0.081	0.002266	0.000644915	2.321693662	14200	1.704	2.256442581	2.810494863
							±2.140802

, * , ***** ดังแสดงใน ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 6 ผลการทดลองศึกษาการตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ หลังจากคิดค่า C_d (รอบที่ 3)

ระดับความสูง h (m.)	ค่าคงที่ของสูตร	*****Q จากทฤษฎี		Qทดลอง ครั้งที่3			
		m^3 / s	m^3/hr.	ml/30s	m^3/hr	******Qทดลอง/Cd (m^3/hr.)	******* %error
0.009	0.002266	0.000214972	0.773897887	4750	0.57	0.754795934	2.4682783
0.020	0.002266	0.000320461	1.153658856	7000	0.84	1.11233085	3.582342
0.029	0.002266	0.000385886	1.389189222	8510	1.0212	1.352276504	2.6571411
0.036	0.002266	0.000429943	1.547795774	9950	1.194	1.58109885	2.1516454
0.042	0.002266	0.000464392	1.671810511	10400	1.248	1.652605834	1.1487353
0.047	0.002266	0.000491257	1.768525537	11150	1.338	1.771784139	0.1842553
0.054	0.002266	0.000526571	1.895654937	11850	1.422	1.883017224	0.6666674
0.062	0.002266	0.000564229	2.031226019	12470	1.4964	1.981537956	2.4462104
0.066	0.002266	0.000582146	2.095725386	12800	1.536	2.033976411	2.9464249
0.081	0.002266	0.000644915	2.321693662	14150	1.698	2.24849736	3.1527114
							±2.1404412

, * , ***** ดังแสดงใน ภาคผนวก ข.

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

*หาอัตราการไหลเฉลี่ย (Q เฉลี่ย)

ที่ ระดับความสูงที่ 1 (h = 0.009 เมตร)

$$Q\ \text{เฉลี่ย} = \frac{6650 + 6660 + 6700 + 6810 + 6440}{5}$$

$$= 6652\ \text{ml} / 30\ \text{s}$$

$$= 0.79824\ \text{m}^3 / \text{hr.}$$

จากสูตร $*Q = A_2 \sqrt{[2g(\Delta P)/\gamma] / (1 - \beta^2)}$

$$Q = A_2 \sqrt{[2g\ (\rho_{oil} g \Delta h)/\gamma_{water}] / [1 - (d/D)^2]}$$

Q = ปริมาณการไหล หรือ อัตราการไหล

A_2 = พื้นที่หน้าตัดบริเวณ Vena Contracta (มีเส้นผ่านศูนย์กลาง = d)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

γ = ค่าน้ำหนักจำเพาะของ Fluid

ΔP = ค่าความดันแตกต่างที่ได้จากการวัดโดย Manometer U - Tube

β = อัตราส่วนเบต้า ได้จากอัตราส่วนระหว่างขนาดของช่องออริฟิคกับขนาด Ø ด้านในของท่อ (d / D)

ρ = ความหนาแน่นของของไหลใน Manometer

h = ความสูงของของไหลใน Manometer

แทนค่า

$A_2 = \pi d^2 / 4 = \pi (2.5\times10^{-2}) / 4 = 4.91\times10^{-4}\ \text{m}^2$

$g = 9.8\ \text{m/s}^2$

$\gamma_{oil} = \rho g = 8{,}369.2\ \text{kg/m}^2\text{s}^2$

$\gamma_{water} = 9{,}800\ \text{kg/m}^2\text{s}^2$

$\beta = d/D = (2.5\times10^{-2}) / (5.4\times10^{-2})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $Q = (4.91\times10^{-4}) \sqrt{\frac{[2(9.8)(8{,}369.2\,\Delta h)/9800]}{[1-[(2.5\times10^{-2})/(5.4\times10^{-2})]^2}}$

$Q_{\text{ทฤษฎี}} = (2.266\times10^{-3})\sqrt{h}$

นั่นคือ ค่าคงที่จากสูตร เท่ากับ *2.266×10^{-3}

** หา $Q_{\text{ทฤษฎี}} =$ *** $(2.266\times10^{-3})\sqrt{h}$

ที่ ระดับความสูงที่ 1 (h = 0.017 เมตร)

$\therefore \sqrt{h} = 0.130384$

แทนค่า $Q_{\text{ทฤษฎี}} = (2.266\times10^{-3})\sqrt{h}$

$= (2.266\times10^{-3})(0.130384)$

$= 0.0002945491\ m^3/s$

$Q_{\text{ทฤษฎี}} = 1.063620518\ m^3/hr.$

$Q_{\text{ทดลอง}} = 0.798238800\ m^3/hr.$

หาค่า C_d

จาก **** $C_d = \frac{Q_{\text{ทดลอง}}}{Q_{\text{ทฤษฎี}}}$

ที่ h = 0.017 เมตร

จะได้ $C_d = \frac{0.798238800\ m^3/hr.}{1.063620518\ m^3/hr.}$

$C_d = 0.75038911$

การคำนวณ เพื่อตรวจสอบค่า C_d

หา $Q_{\text{ทฤษฎี}}$ โดยอาศัยความสูงของน้ำมันในมาโนมิเตอร์

ที่ระดับความสูง h = 0.009 เมตร

***** $Q_{\text{ทฤษฎี}} = (2.266\times10^{-3})\sqrt{h}$

$= (2.266\times10^{-3})\sqrt{0.009}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= \quad 0.000214972 \quad m^3/s$

$*****Q_{ทฤษฎี1} = \quad 0.773897887 \quad m^3/hr.$

$$C_d = \frac{Q_{ทดลอง}}{Q_{ทฤษฎี}}$$

$$Q_{ทฤษฎี} = \frac{Q_{ทดลอง}}{C_d}$$

หา $Q_{ทฤษฎี2}$ โดยอาศัย $Q_{ทดลอง}$

$$******Q_{ทฤษฎี2} = \frac{0.591}{0.7551706}$$

$$******Q_{ทฤษฎี2} = 0.782604205 \ m^3/hr.$$

หา % ความคลาดเคลื่อน (% error)

$$*******\%\ error = \pm \frac{(Q_{ทฤษฎี1} - Q_{ทฤษฎี2}) \times 100\ \%}{Q_{ทฤษฎี1}}$$

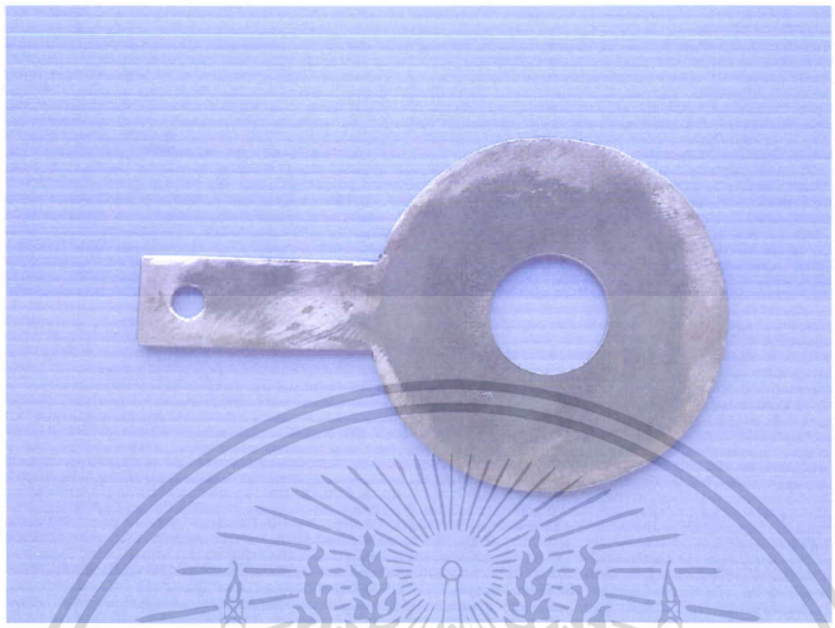
ที่ระดับความสูง h = 0.009 เมตร

$$\%\ error = \pm \frac{(Q_{ทฤษฎี1} - Q_{ทฤษฎี2}) \times 100\ \%}{Q_{ทฤษฎี1}}$$

$$= \pm \frac{(0.773897887 - 0.782604205) \times 100\ \%}{0.773897887}$$

$$= \pm 1.1249957$$

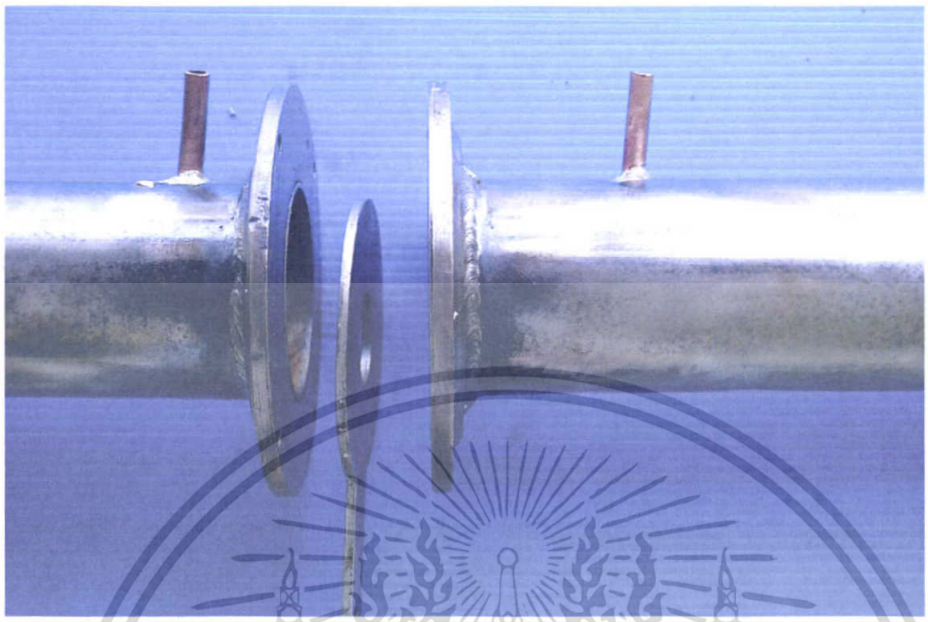
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



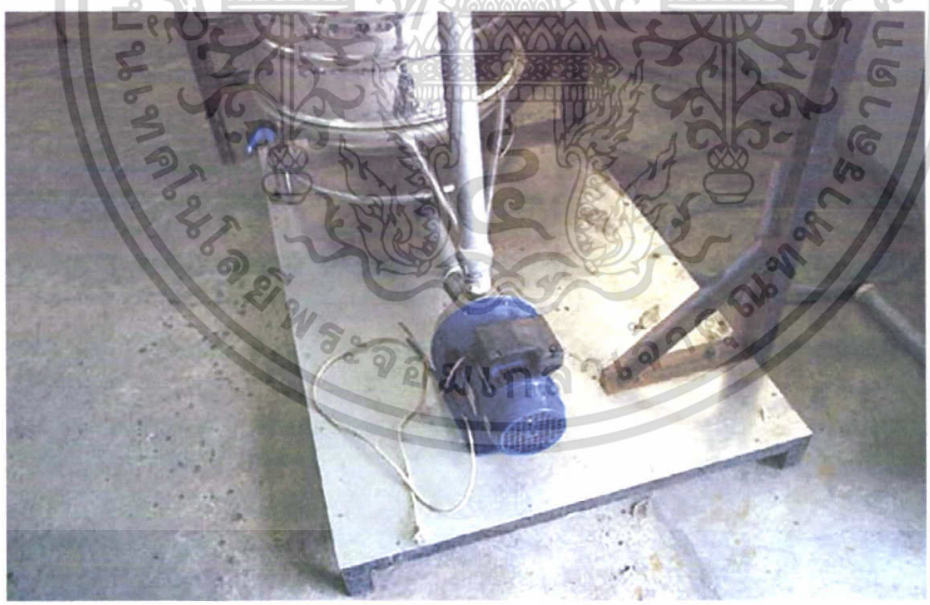
ภาพที่ 22 แผ่นออริฟิคที่ออกแบบและสร้างขึ้น ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 23 หลอดแก้วรูปตัว U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

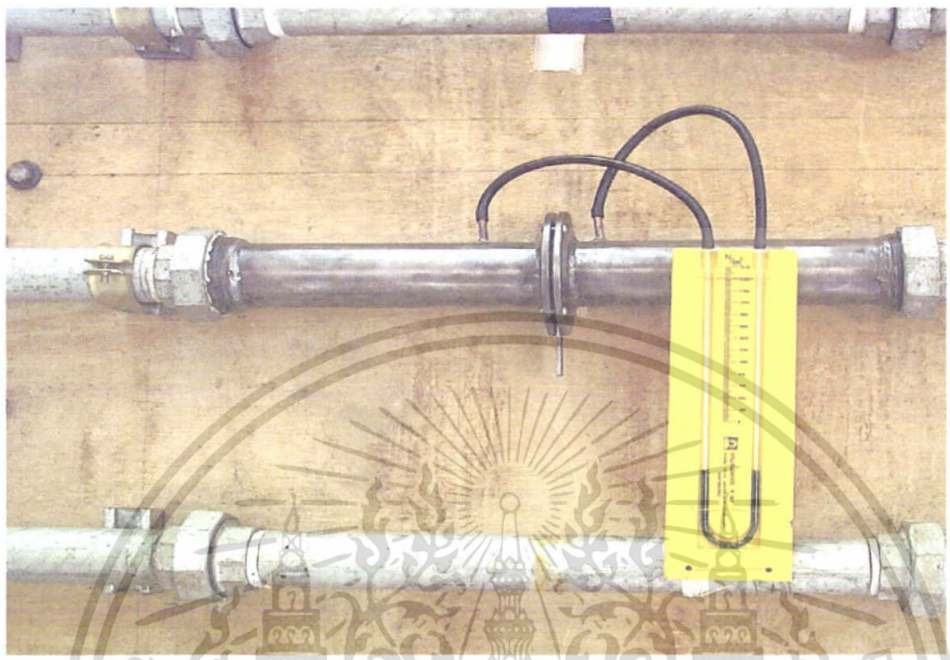


ภาพที่ 24 การติดตั้งแผ่นออริฟิคเข้ากับท่อตรงกลางก่อนต่อกับระบบท่อ



ภาพที่ 25 ปั๊มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 26 การติดตั้งแผ่นออริฟิคเข้ากับท่อตรงกลาง และต่อกับชุดมาโนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. นางสาวกนกวรรณ สนธิสุวรรณ

เกิดวันที่ 3 ธันวาคม 2522

ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 1032/187 ซอยร่วมศิริมิตร ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900

การศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี

ปัจจุบัน ศึกษาอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. นางสาวสุภาภรณ์ พึ่งโพธิ์สภ

เกิดวันที่ 30 มิถุนายน 2523

ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 8 หมู่12 แขวงกระทุ่มลาย เขตหนองจอก จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10530

การศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนบ้านบางกะปิ กรุงเทพมหานคร

ปัจจุบัน ศึกษาอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้