1301 300: Mechanical Measurement and Instruments

การวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมเครื่องกล

Flow Measurement 2

การวัดและเครื่องมือวัดการไหล 2

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ธนรัฐ ศรีวีระกุล

การวัดอัตราการไหลของของเหลว 2

- เครื่องมือวัดการไหล (Flowmeter)
  - 2.3 Insertion Volume Flow Meters
    - Rotameters, Turbine meters, Vortex-Shedding, Positive Displacement, Electromagnetic
  - 2.4 Hotwire
    - Mass flow meter –Thermal Flowmeter
  - 2.5 Coriolis flow meter
  - 2.6 Ultrasonic flow meter
- การปรับเทียบเครื่องมือวัดอัตราการไหล

2.3 Insertion Volume Flow Meters

เครื่องมือวัดปริมาตรการไหลชนิดสอดใส่

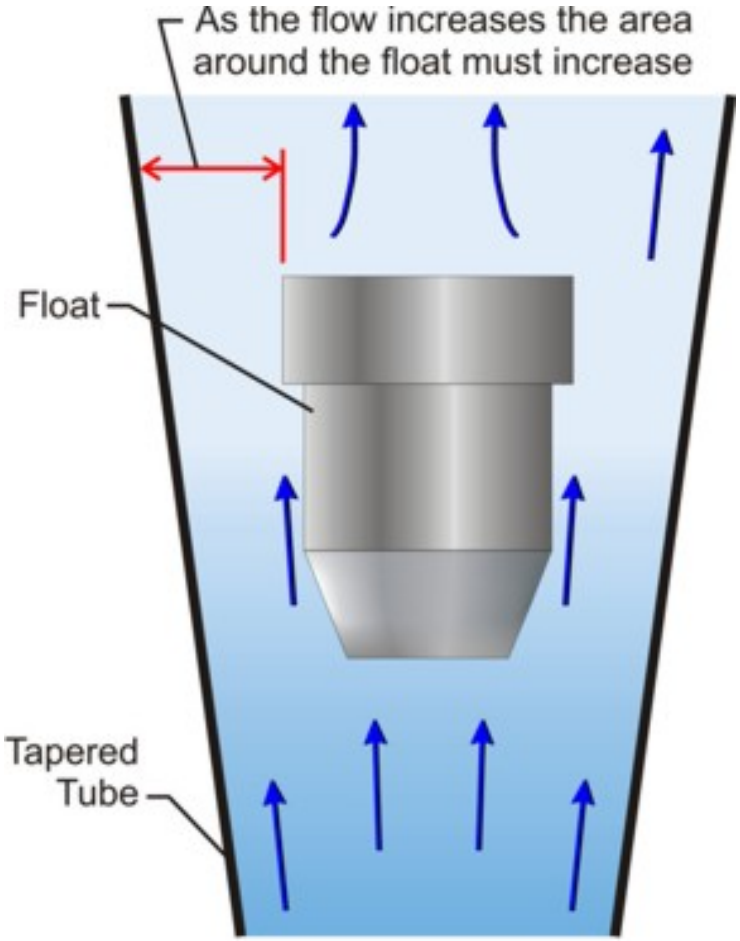
- เป็นการวัดความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่ไหลผ่านพื้นที่ควบคุมที่รู้ขนาดพื้นที่
- อุปกรณ์วัดถูกติดตั้งให้เข้าไปอยู่ในแนวการไหลของของเหลวซึ่งสามารถอ่านค่าออกมาได้โดยตรง
- มีใช้อยู่หลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น
  - Rotameters, Turbine meters, Vortex-Shedding, Positive Displacement, Electromagnetic.

2.3.1 Rotameters

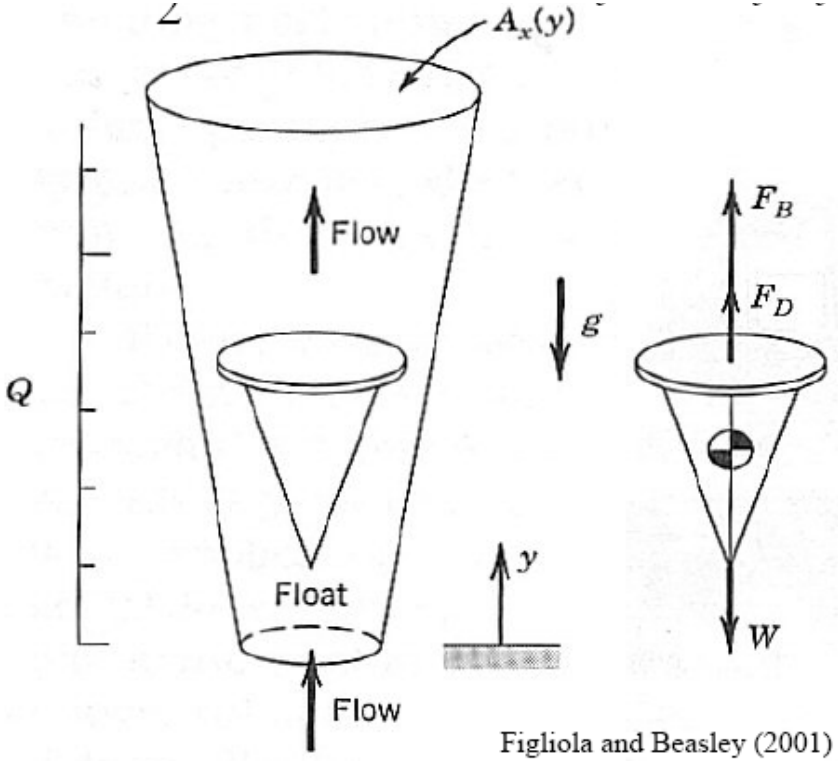
- ประกอบด้วยท่อเรียวและลูกลอย โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะอยู่ด้านล่างและขนาดใหญ่จะอยู่ด้านบน

Rotameters

- ของเหลวงไหลเข้าทางด้านล่างและไหลออกทางด้านบนที่ใหญ่กว่า
- ทำงานบนพื้นฐานของสมดุลระหว่าง แรงต้านของของเหลว แรงโน้มถ่วง และ แรงลอยตัว ที่สภาวะสมดุล
- ในการทำงานลูกลอยจะลอยไปถึงตำแหน่งที่เกิดสมดุลระหว่างแรงต้านทานของเหลว แรงโน้มถ่วงของลูกลอย และ แรงลอยตัวของลูกลอย
- ตำแหน่งความสูงของลูกลอยให้ค่าอัตราปริมาตรการไหลโดยตรง



Rotameters



Figliola and Beasley (2001)

$$\sum F_y = 0$$

$$0 = F_D + F_B - W$$

$$= \frac{1}{2} C_D \rho \bar{V}^2 A_x + g\rho V_f - g\rho_f V_f$$

($A_x(y)$)

$$\therefore \frac{1}{2} C_D \rho \bar{V}^2 A_x = g(\rho_f - \rho) V_f$$

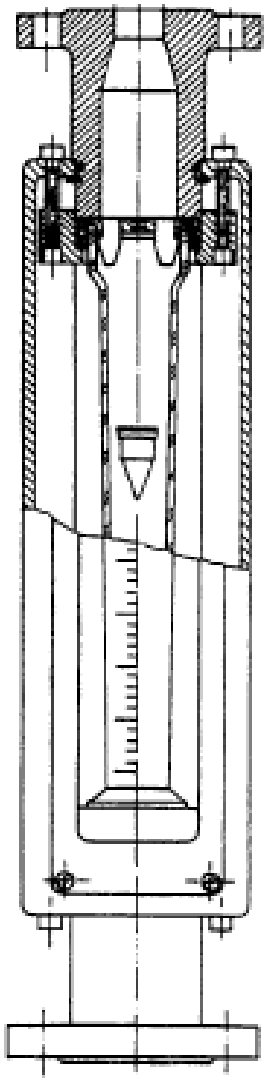
- C_D = สัมประสิทธิแรงเสียดทาน
- ρ = ความหนาแน่นของเหลว
- ρ_f = ความหนาแน่นของลูกลอย
- V = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลว
- V_f = ปริมาตรของลูกลอย
- A_x = พื้นที่หน้าตัดของท่อ

Rotameters

- ความสูงของลูกลอยในท่อจะสูงขึ้นเมื่อความเร็วของไหลเพิ่มขึ้น ดังนี้

$$Q = \bar{V} A_a(y) = (C_D K_1)^{1/2} A_a(y)$$

- ซึ่งค่า A_a คือพื้นที่หน้าตัดระหว่างลูกลอยและผนังท่อมีความสัมพันธ์เป็นความสูง y และ ค่า K_1 คือค่าคงที่ระหว่าง รูปร่างของลูกลอย, ความหนาแน่นของลูกลอย และ ของเหลว
- ใช้ในงานทั่วไปที่ความแม่นยำไม่ใช่เรื่องจำเป็น ความไม่แน่นอนของระบบ ±5%



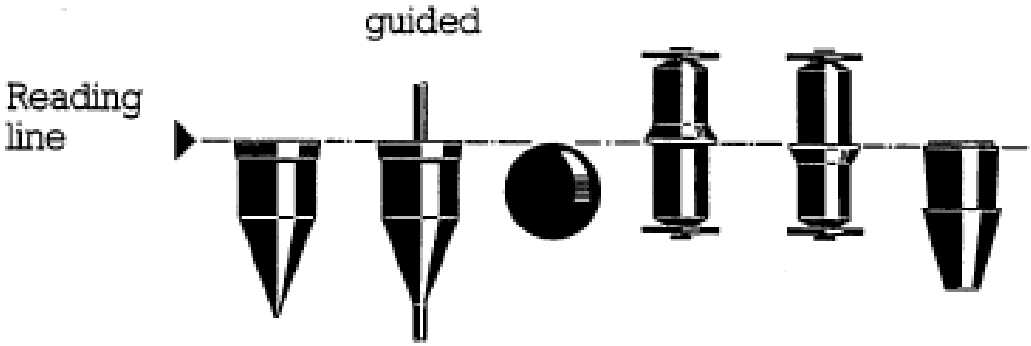
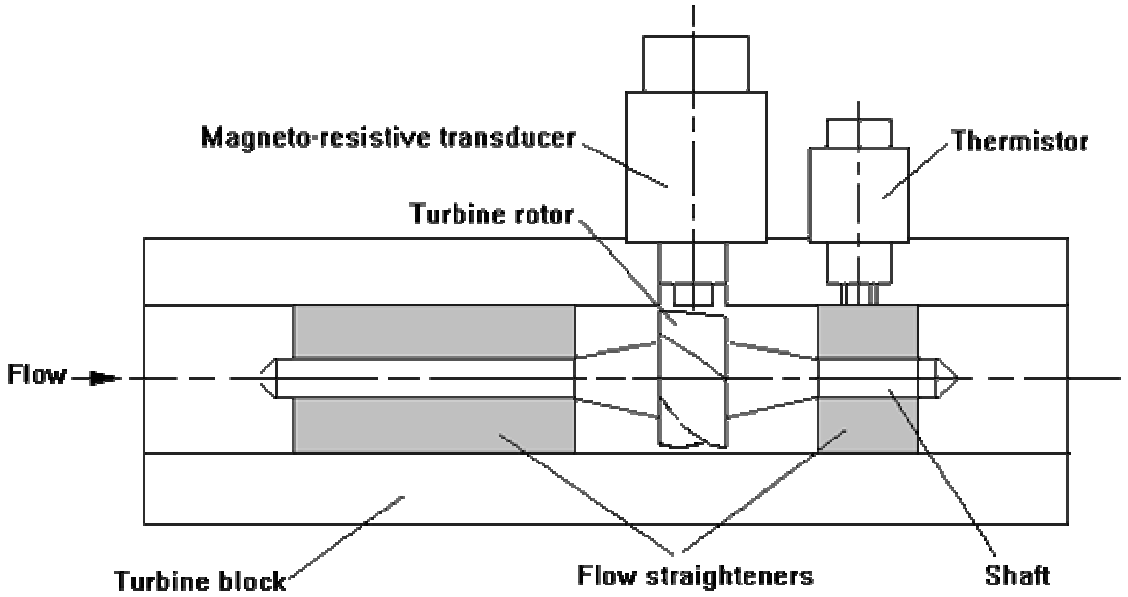


FIGURE 28.8 Typical rotameter bob geometries.

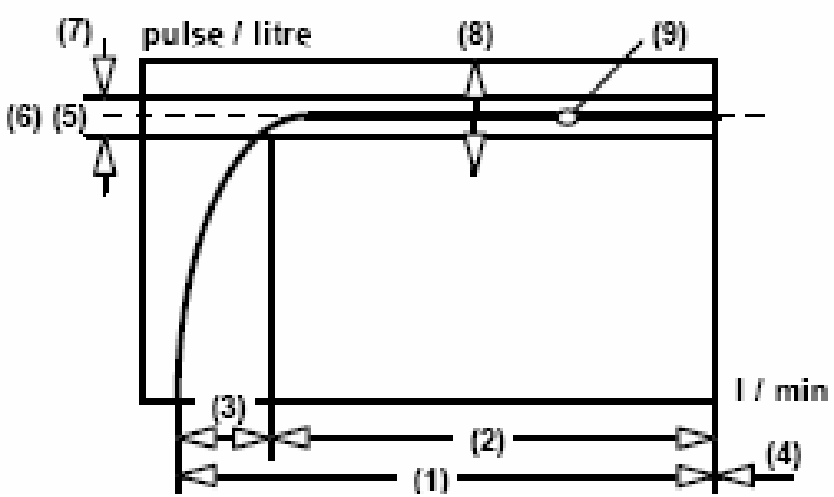
2.3.2 Turbine meters

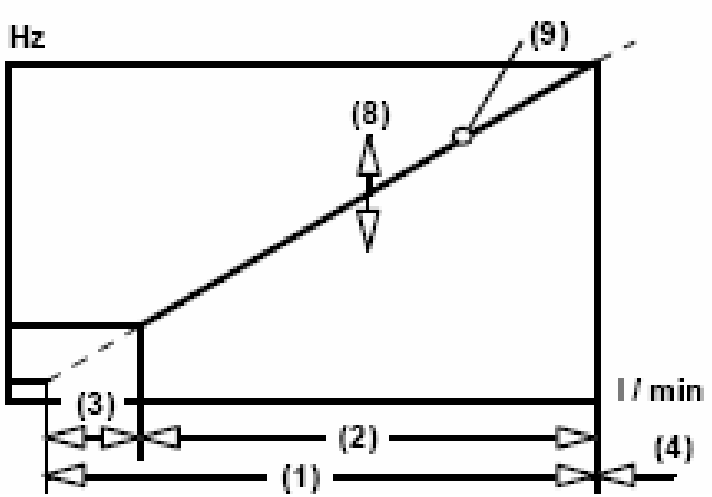
- ใช้ประโยชน์จากโมเมนตั้มเชิงมุมในการวัดการไหล
- ประกอบด้วยกระบอกและใบพัดวางอยู่ในแนวการไหล เมื่อของเหลวไหลผ่านใบพัดทำให้ใบพัดหมุนซึ่งได้สัดส่วนกับอัตราการไหล
- ใช้การอ่านค่าโดย ค่าแม่เหล็กหรือคอลย์ ในการวัดอัตราการหมุนของใบพัดและส่งสัญญานพัลสออกไปใช้วิเคราะห์ต่อไป



Turbine meters

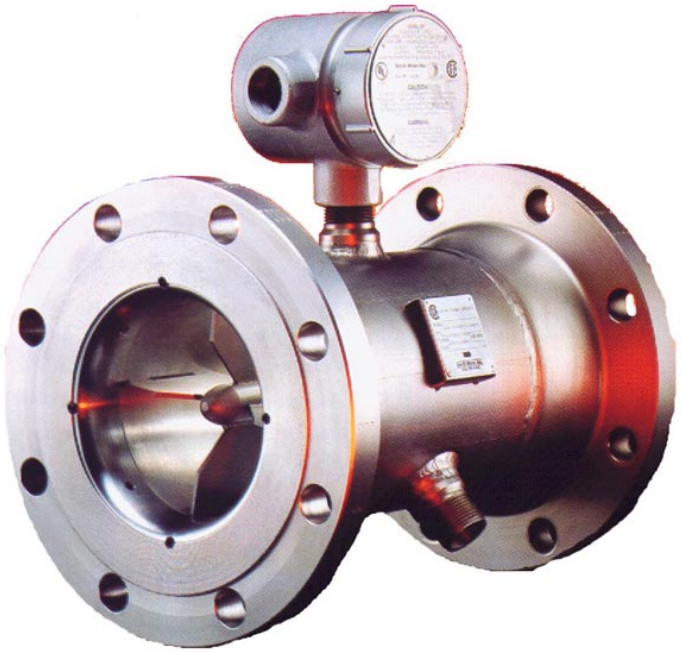
- ความเร็วเชิงมุมของใบพัดจะสัมพันธ์กับความเร็วของของไหล/อัตราการไหลและความหนืด
- ในทางปฏิบัติจะมีช่วงที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมและอัตราการไหลที่เป็นเส้นตรง



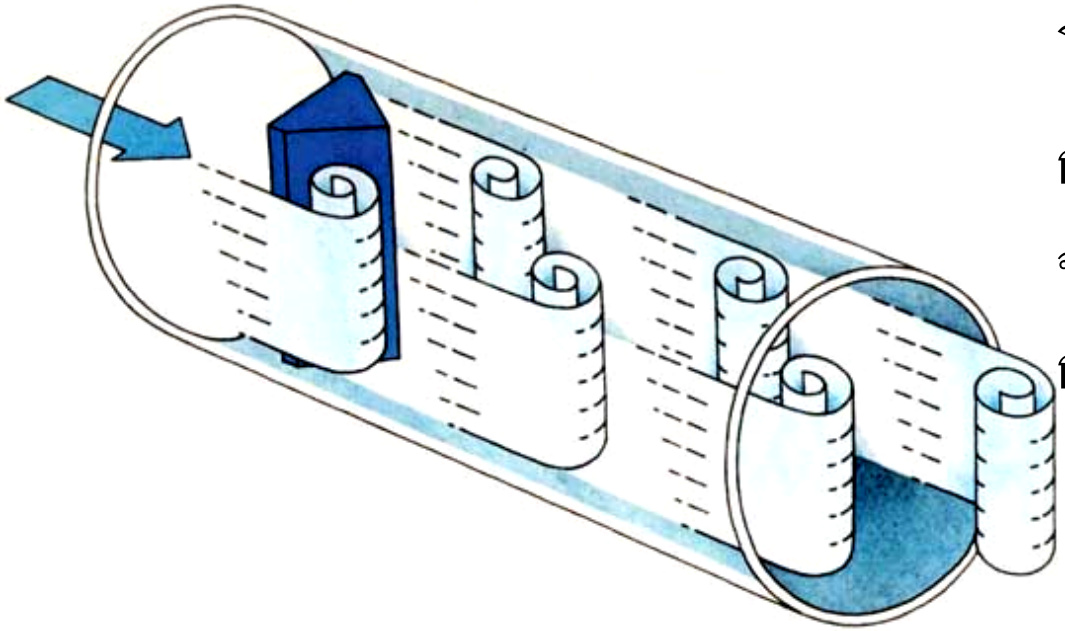


Turbine meters

- ข้อดี
  - ความดันตกคร่อมน้อย
  - ความเที่ยงตรงสูง ±0.25%
  - ใช้ความถี่ในการสอบเทียบกับเครื่องมือชนิดอื่น
- ข้อเสีย
  - ใช้ได้แต่ของเหลวที่สะอาด
  - อุณหภูมิมีผลกระทบกับค่าที่ปรับเทียบ



2.3.3 Vortex-Shedding



ใช้หลักการของกลศาสตร์ของไหล
โดยเมื่อวัตถุขวางการไหลจะสร้าง
กระแสวนเอ็ดดี้
จำนวนวงของกระแสวนจะขึ้นอยู่
กับอัตราเร็วของของไหลในระบบ

เครื่องจะทำการวัดจำนวนกระแสเอ็ดดี้และส่งสัญญานพัสล์ออกมาเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

Vortex-Shedding

Vortex-Shedding

- ข้อดี
  - ความดันตกคร่อมน้อย
- ข้อเสีย
  - ข้อจำกัดของขนาดท่อ
  - ข้อจำกัดของความหนืดของเหลว

2.3.4 Positive displacement

Positive displacement

- ข้อดี
  - เที่ยงตรงสูง (±0.3%)
  - ใช้ได้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง
  - ใช้เป็นอุปกรณ์ปรับเทียบค่ามาตรฐาน
- ข้อเสีย
  - ราคาแพง

2.3.5 Electromagnetic Flow Meter

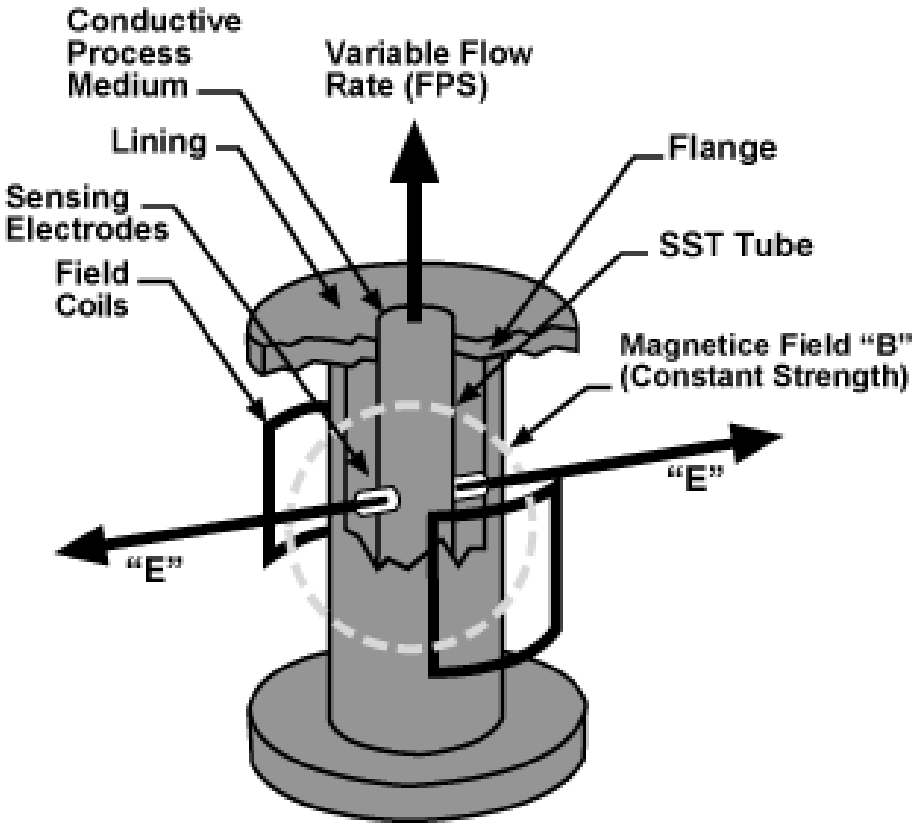
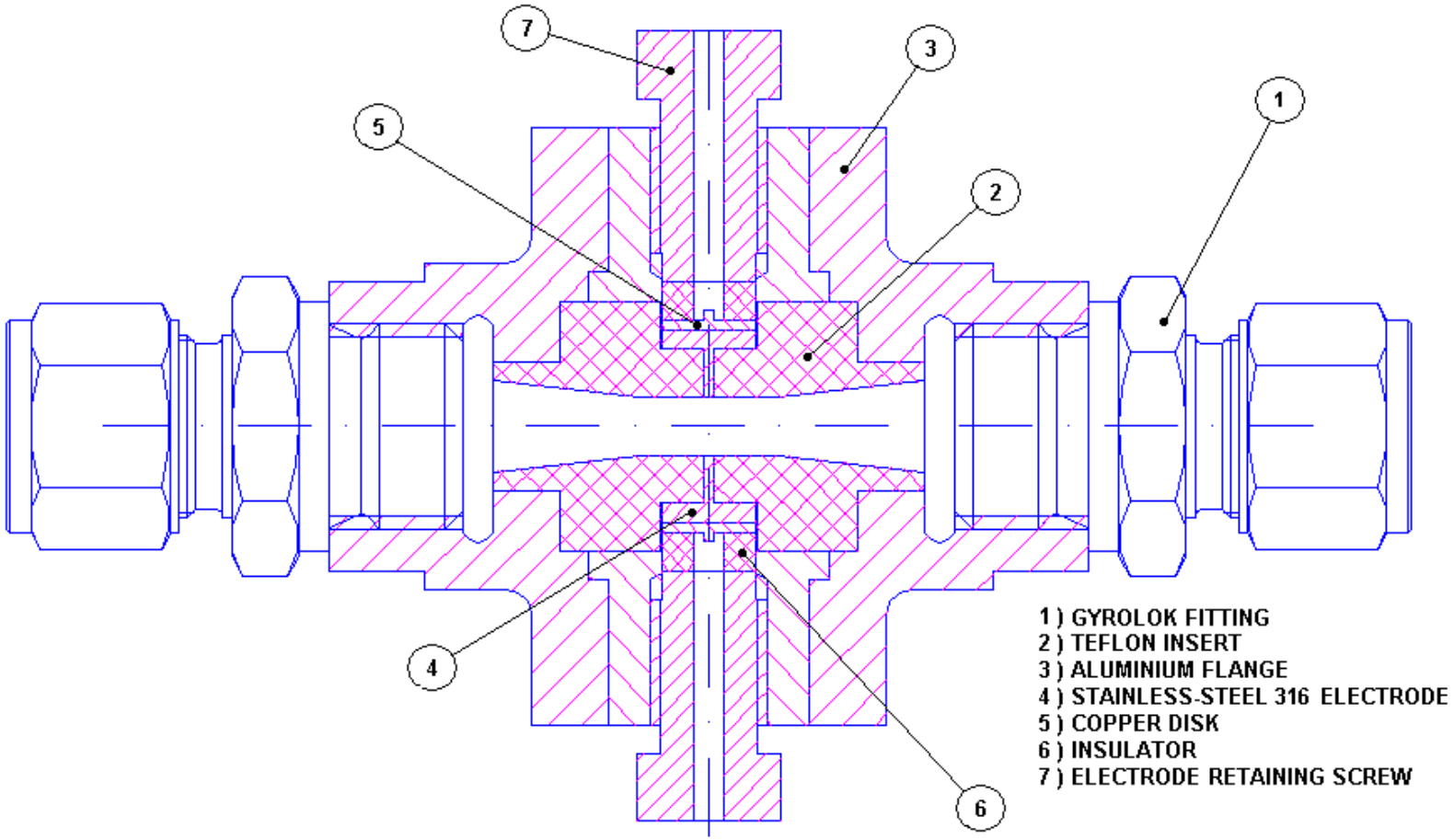


Figure 2.21 - The Magnetic Head Flow Meter

Electromagnetic Flow Meter

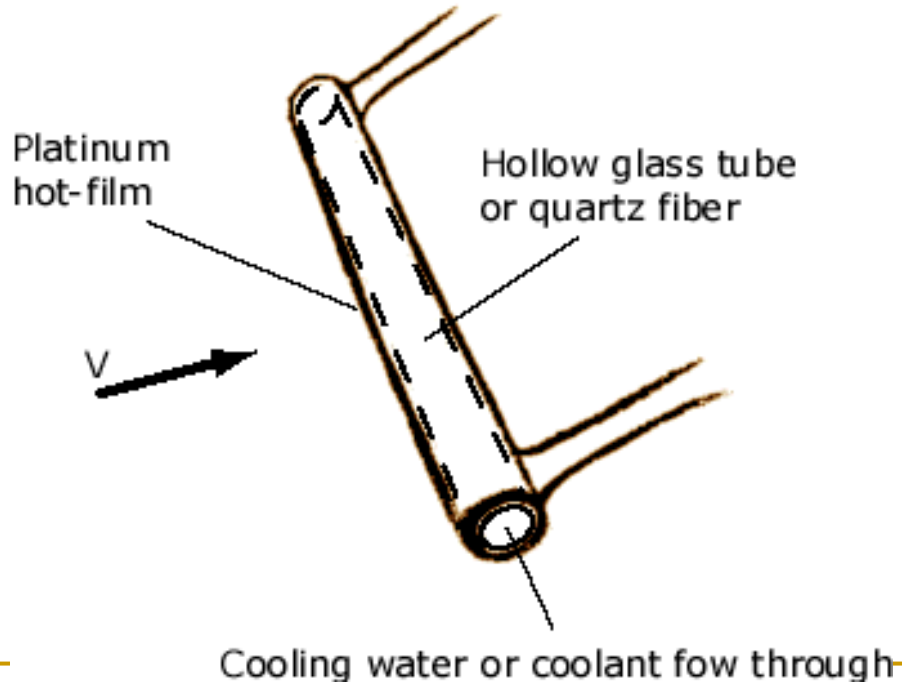


Electromagnetic Flow Meter

- ข้อดี
  - มีความดันตกคร่อมน้อย
  - มีความเที่ยงตรงสูง(±0.25%)
  - ใช้วัดสารที่มีการกัดกร่อนและมีตะกอนได้
  - วัดได้ทั้งช่วง laminar และ turbulent
- ข้อเสีย
  - ราคาแพง
  - ของเหลวต้องนำไฟฟ้า
  - ต้องทำการปรับศูนย์ก่อนการใช้งาน

2.4 Hot Wire Anemometer

- ใช้หลักการถ่ายเทพลังงานระหว่างพื้นผิวที่ร้อนกับของเหลวที่เย็นกว่า ซึ่งค่าการนำความร้อนจะดีกว่าเมื่อมีของเหลวไหลผ่านที่อัตราสูงกว่า ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิแตกต่างระหว่างพื้นผิวกับของเหลว



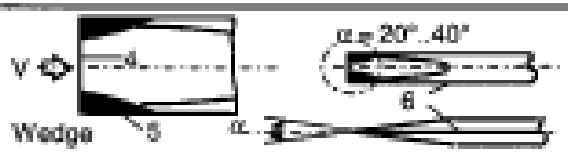
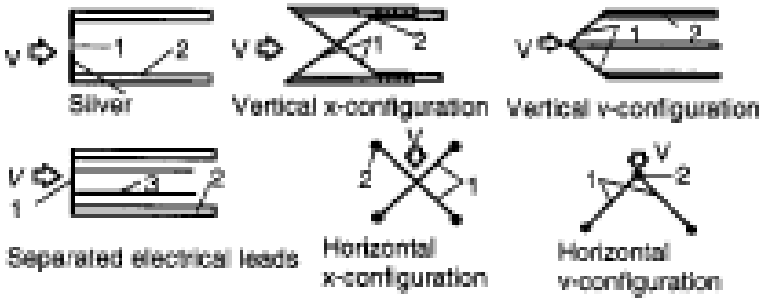
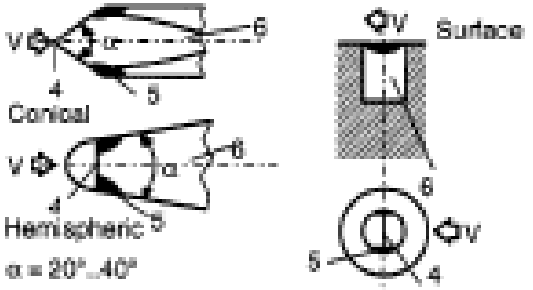
Hot Wire Anemometer

- โดยใช้วงจร Wheatstone Bridge ต่อเข้ากับ RTD เพื่อที่จะอ่านค่าอุณหภูมิแตกต่างระหว่างของเหลวและพื้นผิว
- โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ให้เกิดความร้อนบนพื้นผิว
- ก็จะสามารถวัดคความเร็วของของเหลวได้จากแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในวงจรบริจต์

Hot Wire Anemometer

- ข้อดี
  - ให้การตอบสนองได้ดีในระบบที่มีพลวัตรสูง
- ข้อเสีย
  - ระบบต้องมีความสะอาดมาก(ฝุ่นฝังอาจจะให้การถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนไป)
  - แตกหักง่าย

TABLE 28.15 Typical Hot-Wire and Hot-Film Sensors (1, hot-wire; 2, sensor supports; 3, electric leads; 4, hot-film; 5, contact caps; 6, quartz rod)

HOT-WIRE SENSORS	HOT-FILM SENSORS
BASIC SHAPE OF THE SENSOR ELEMENT	
	
FURTHER SHAPES OF THE SENSOR ELEMENT	
	

Hotwire
Mass flow meter –Thermal Flow Meter

- ทำงานโดยใช้ใส่พลังงานความร้อนให้กับของไหล เพื่อที่จะดูผลกระทบในรูปอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

Hotwire
Mass flow meter –Thermal Flow Meter

- อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสามารถนำมาคำณวนหาประมาณมวลของเหลวที่ไหลผ่านโดยใช้สมการพลังงาน

$$\dot{E} = \dot{m} C_p \Delta T$$

Hotwire
Mass flow meter –Thermal Flow Meter

- ข้อดี
  - ความเที่ยงตรงสูง (±0.5%)
  - ความน่าเชื่อถือดี
  - ไม่มีความดันตกคร่อม
- ข้อเสีย
  - เนื่องจากค่า C_p ถูกสมมุติให้คงที่ตลอดการวัดอาจจะมีความผิดพลาดจากอุณหภูมิได้

2.5 Coriolis Mass Flow Meter

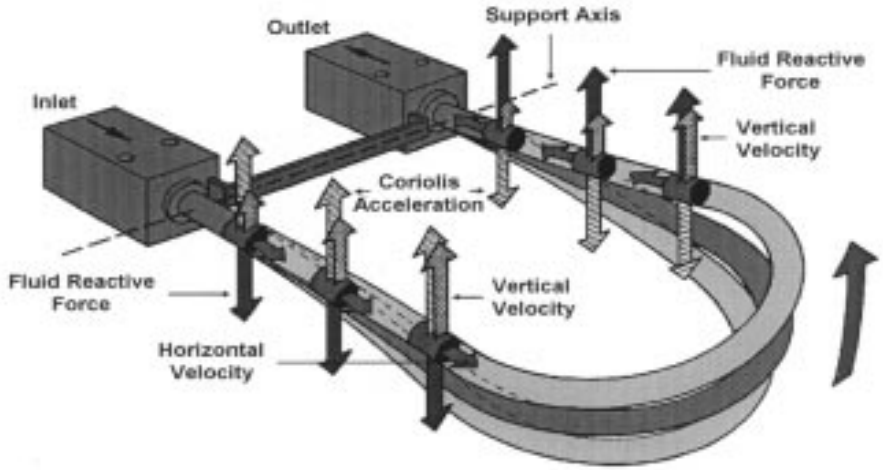


FIGURE 28.81 Flow tube response to Coriolis acceleration.

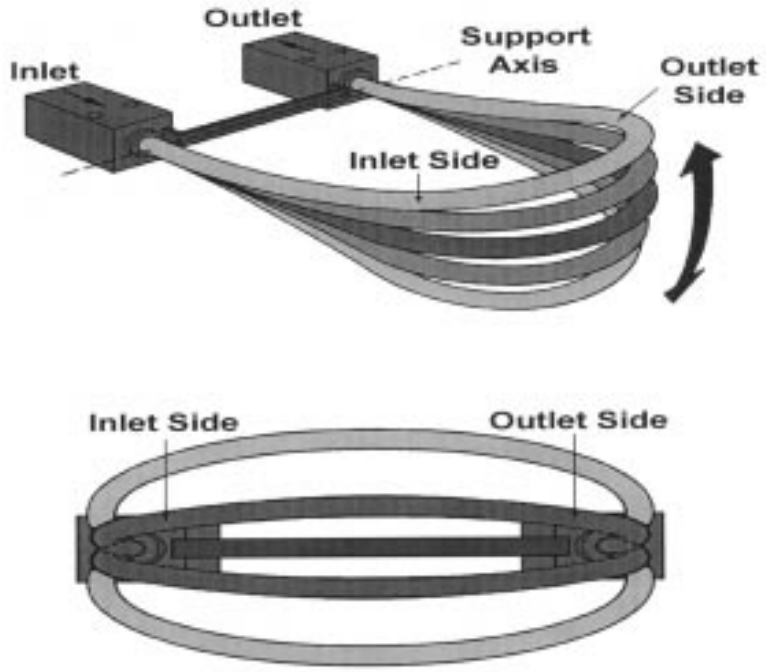


FIGURE 28.82 Two views of an oscillating flow tube with no flow.

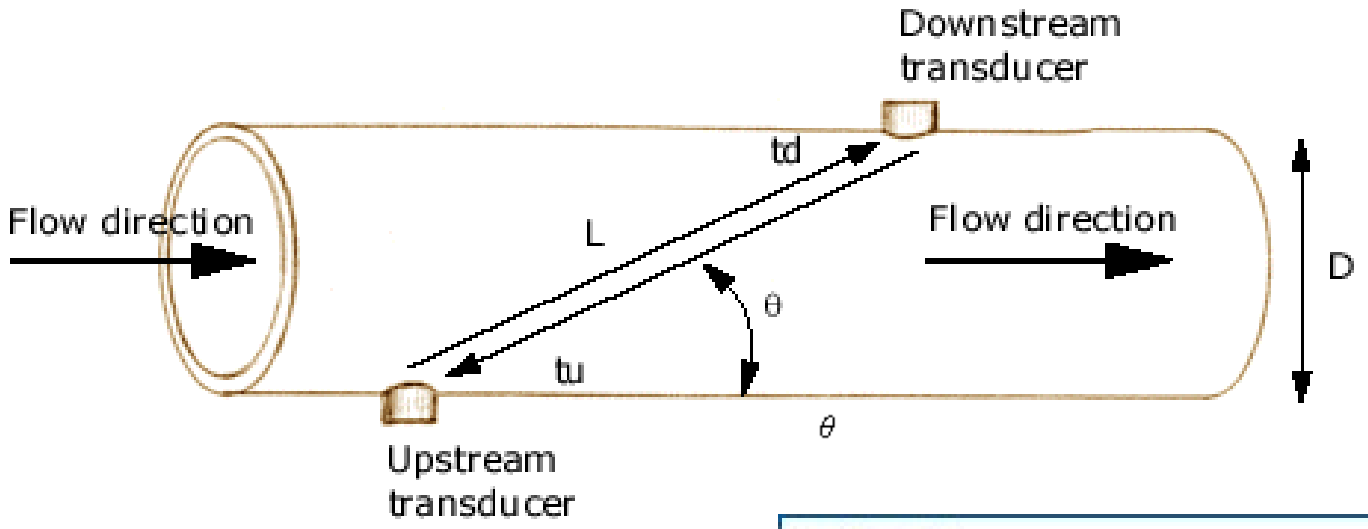
Coriolis Mass Flow Meter

- ข้อดี
  - ความเที่ยงตรงสูงมาก (±0.1%)
  - ความน่าเชื่อถือดี
  - ไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิของเหลว
- ข้อเสีย
  - มีการสั่นสะเทือนจากท่อที่อ่อนตัวได้
  - ช่วงเปลี่ยนจาก laminar ไป turbulent ไม่สามารถวัดได้

2.6 Ultrasonic flow meter

- Counterpropagating (Transit time model)
  - ใช้หลักความแตกต่างของความเร็วในการเดินทางของคลื่นความถี่เหนือสียง
  - ความเร็วจะมากขึ้นเมื่อทิศทางการไหลและทิศทางของคลื่นความถี่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และจะลดลงเมื่อทิศทางการไหลและทิศทางของคลื่นความถี่ไหลกลับกัน
- Doppler
  - ใช้หลักการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่เหนือสียงเมื่อส่งไปกระทบกับอนุภาคของสารที่ปะปนมากับของเหลว
  - ค่าความถี่เหนือสียงแปรผันตรงกับค่าความเร็วในการไหล
  - อาจใช้ทรานซดิวเซอร์ตัวเดียวทำหน้าที่ทั้งรับและส่งคลื่นความถี่ก็ได้

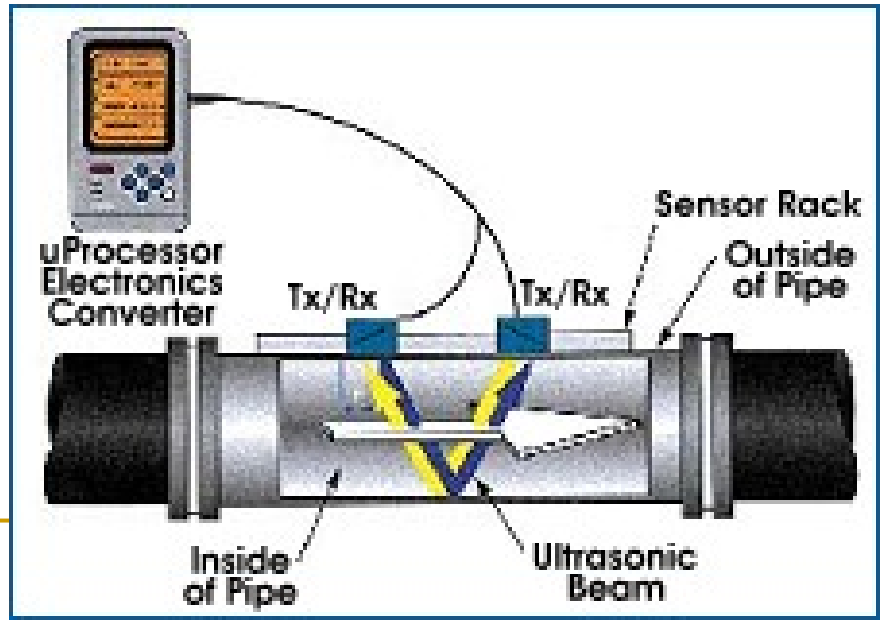
Counterpropagating (Transit time model)



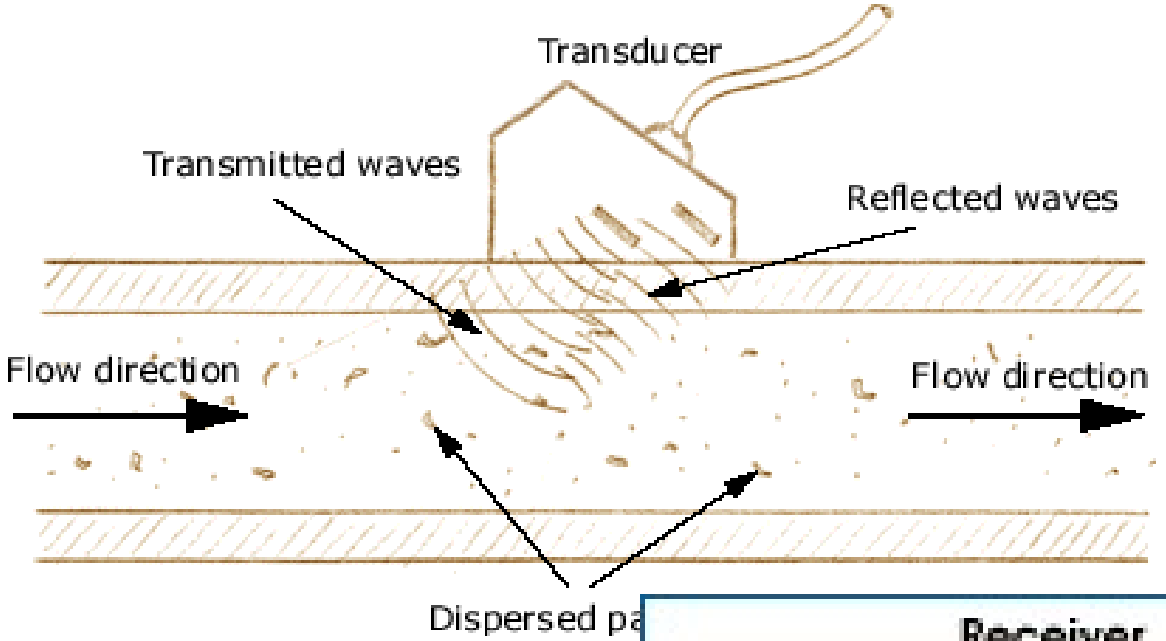
$(X = L\cos\theta)$.

$$v = \frac{L^2}{8X}\left[\frac{(t_u + t_d)^2 (t_u - t_d)}{t_u^2 t_d^2}\right]$$

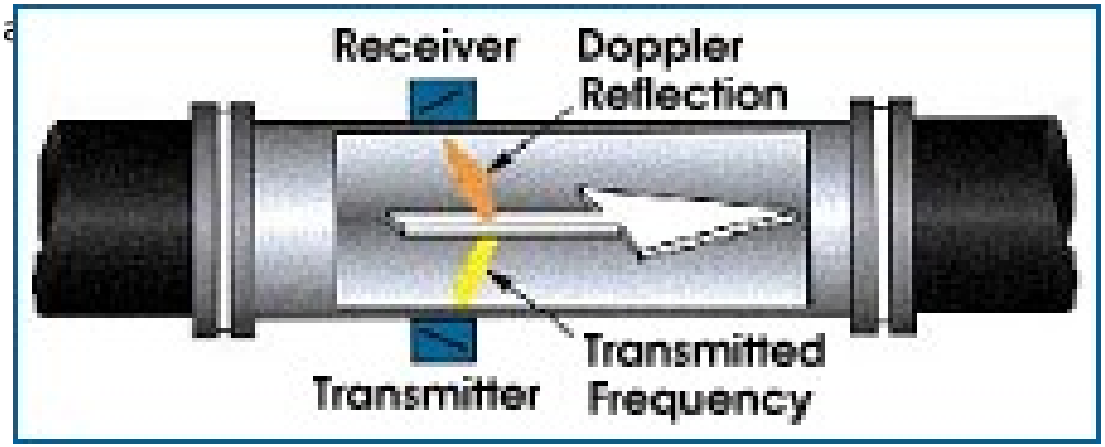
$$\approx \frac{L^2 \Delta t}{2X t_u t_d}$$



Doppler



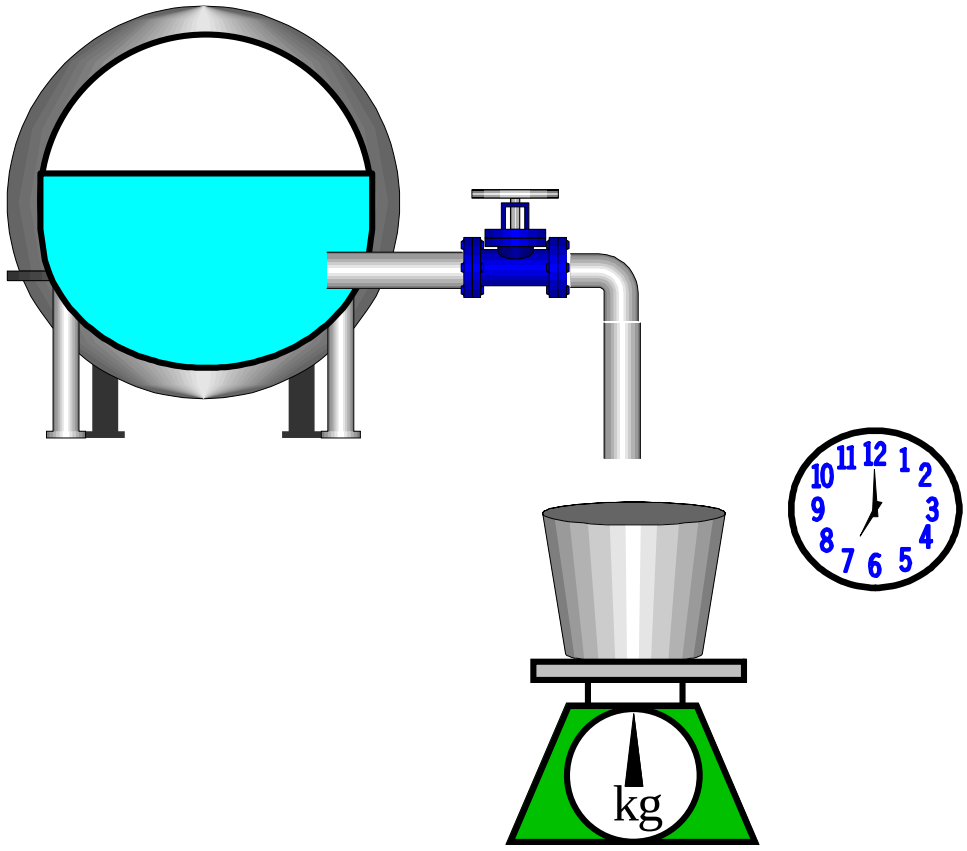
$$V = \frac{c\Delta f}{2f\cos\theta}$$



- ข้อดี
  - ความเที่ยงตรงสูงมาก
  - การติดตั้งทำได้สะดวก และไม่ต้องติดตั้งเข้าไปในระบบ สามารถทำการวัดที่ผิวของท่อได้เลย
  - การบำรุงรักษาทำได้ง่ายและถูก
  - สามารถเคลื่อนที่ไปใช้วัดที่จุดอื่นได้
  - ใช้กับของไหลที่สกปรก มีสารเจือปนได้
  - ใช้กับการไหลที่มีค่า Re ในช่วงกว้างได้
- ข้อเสีย
  - อุปกรณ์มีราคาสูง

การปรับเทียบเครื่องมือวัดอัตราการไหล

- ทำการปรับเทียบโดยเทียบกับ
  - เวลา
  - น้ำหนักของเหลวที่ใช้
  - เครื่องมือวัดปริมาตร

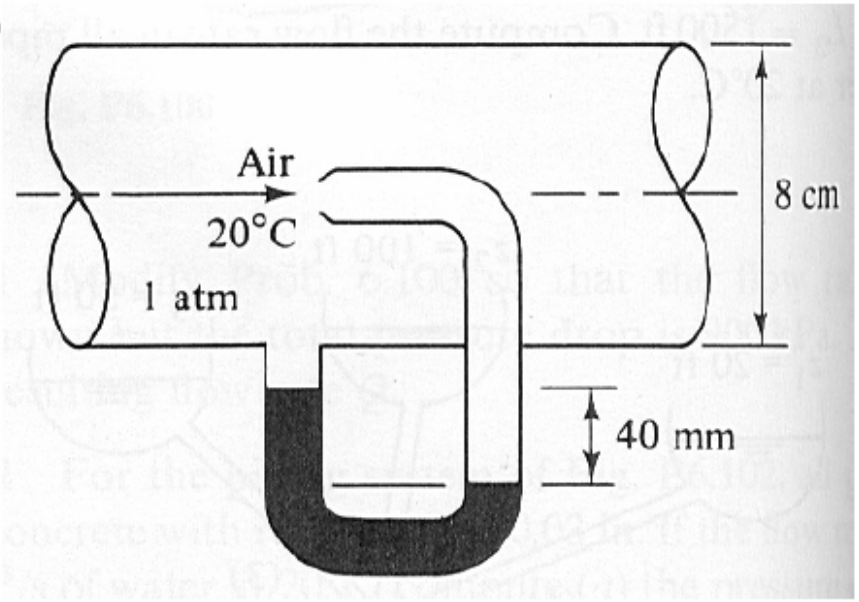


การบ้าน 3 ข้อ

- ส่งวันจันทร์ที่ 5 กุมภาพันธ์ 2550

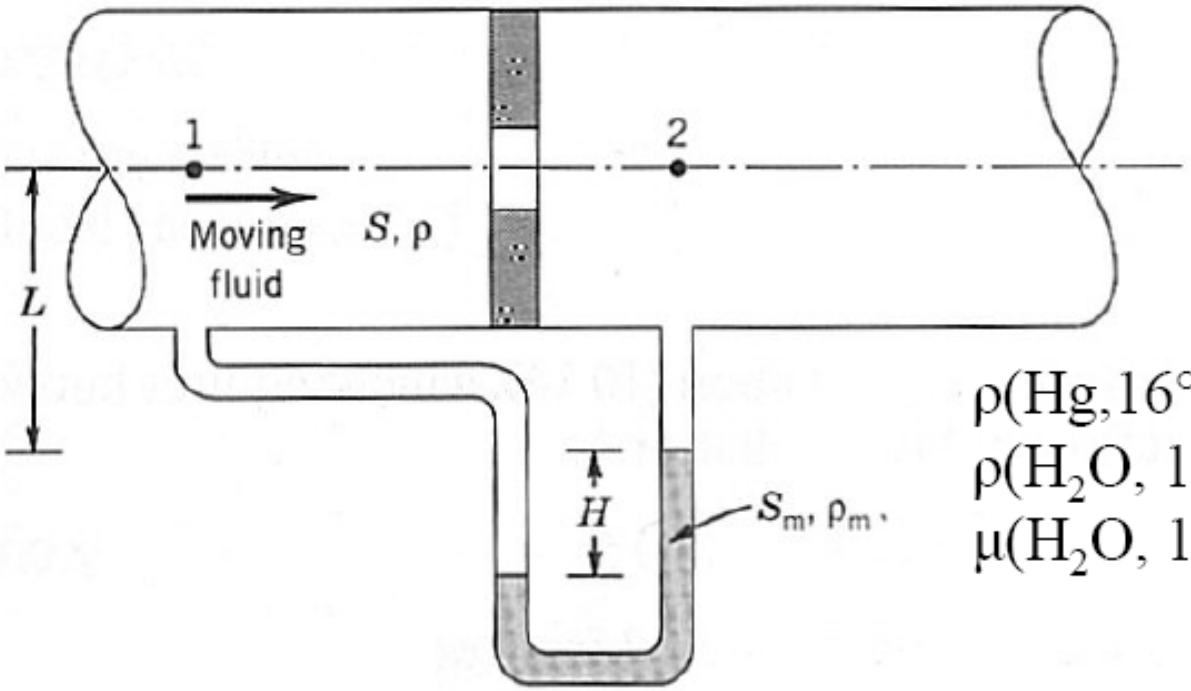
แบบฝึกหัด 1) Pitot tube

White (1986)



For the pitot tube pictured, calculate the (a) centreline fluid velocity and (b) the pipe volumetric flow rate. The manometer fluid is water at 20°C. Assume $C_p = 1.00$ and negligible variations in flow velocity across the tube cross-section. (ρ(air, 20°C) = 1.21kg/m^3; ρ(water, 20°C) = 998kg/m^3)

แบบฝึกหัด 2) Orifice plate



$d_1 = 20$ cm
$d_o = 10$cm
H = 50 cm Hg

$\rho(Hg, 16°C) = 13500$ kg/m^3
$\rho(H_2O, 16°C) = 999$ kg/m^3
$\mu(H_2O, 16°C) = 1.08\times10^{-3}$ Ns/m^2

A 10cm diameter square edged orifice plate with flange taps is used to meter the steady-state flow of 16°C water through a 20cm pipe. The pressure drop is assessed at 50cm Hg using a manometer. Determine the volumetric flow rate. Assume steady-state, incompressible flow.

แบบฝึกหัด 3) rotameter

A rotameter uses a cylindrical stainless steel float 1cm in height and 2cm in diameter (ρ = 7600kg/m^3). The maximum and minimum inside diameters of the rotameter tube are 7cm and 3cm, respectively, and the tube length is 15cm. The discharge coefficient is 1.1. For this configuration:

(a)What is the flow rate when the float is 10cm from the bottom of the tube using water as the fluid (ρ = 998kg/m^3).

(b)If this rotameter is used with 27°C air (ρ = 1.2kg/m^3), determine the maximum flow rate.

$$\therefore \frac{1}{2} C_D \rho \bar{V}^2 A_x = g(\rho_f - \rho) V_f$$