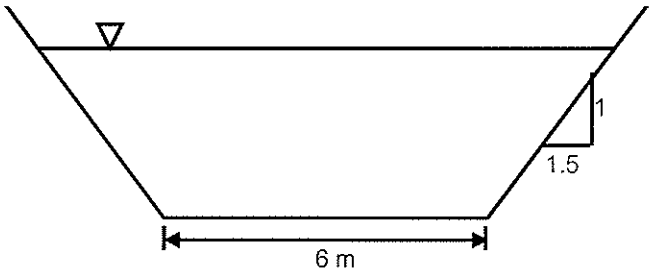
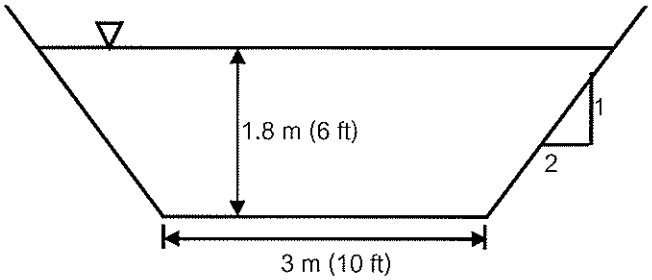
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7

1. คลองรูปสี่เหลี่ยมมีความกว้างท้องคลอง 20 ft และมีความลาดชัน S = 0.0001 จงคำนวณหาความลึกของการไหลเมื่อมีอัตราการไหล 400 ft^3/s และ n = 0.013

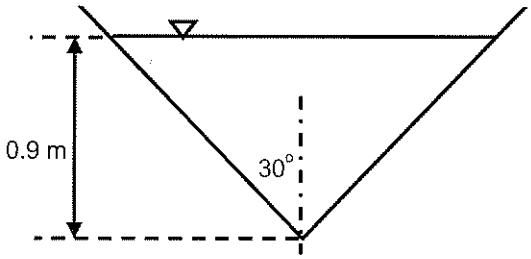
2. จงคำนวณหาความลึกของการไหล ในคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เมื่อมีอัตราการไหล 23 m^3/s, n = 0.014 และ S = 0.33 m/Km



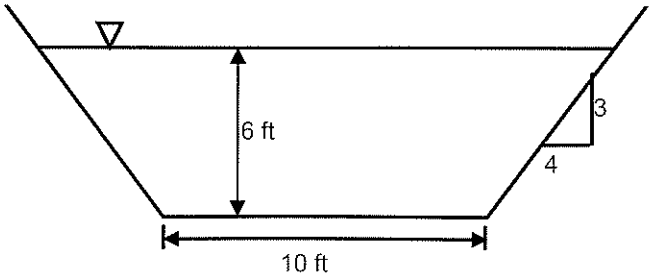
3. จงคำนวณหาอัตราการไหล ทั้งในหน่วย SI และหน่วยอังกฤษ สำหรับคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังภาพ เมื่อ S = 0.0001 และ n = 0.020



4. จากภาพ จงคำนวณหาอัตราการไหล เมื่อ S = 0.01 และ n = 0.0120

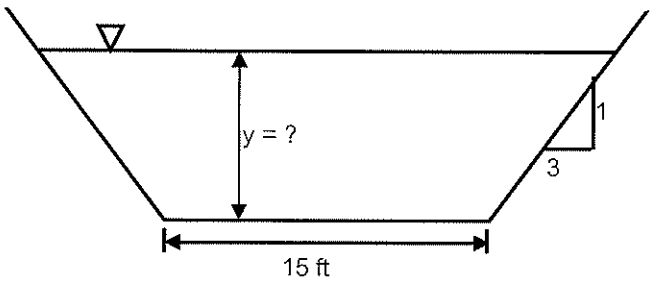


5. จากภาพ เป็นรูปแบบของคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีขนาดเท่าของจริง หากมีการจำลองแบบคลองนี้ด้วยอัตราส่วน 1:9 จงคำนวณหาอัตราการไหล ความกว้างท้องคลอง และ n ที่ต้องใช้ในการจำลองแบบนี้ เมื่อ S = 0.0009 และ n = 0.030



6. คลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 3.6 m อัตราการไหล 4.25 m^3/s n = 0.025 และ S = 1:4000 จงคำนวณหาความลึกของการไหล

7. จงคำนวณหาความลึกของการไหล ในคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 400 cfs S = 1:10,000 และ n = 0.025

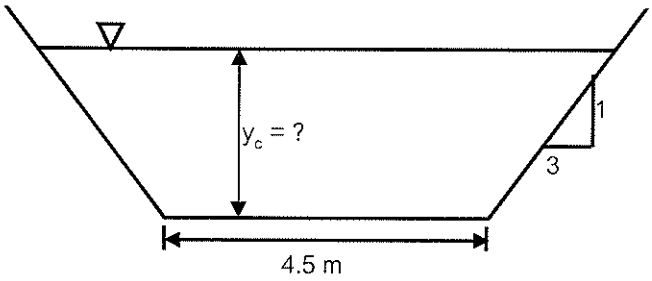


8. จงคำนวณหาพลังงานจำเพาะสำหรับคลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 10 ft และอัตราการไหล 225 cfs เมื่อ มีความลึกการไหล (ก) 1.5 ft (ข) 3 ft และ (ค) 6 ft

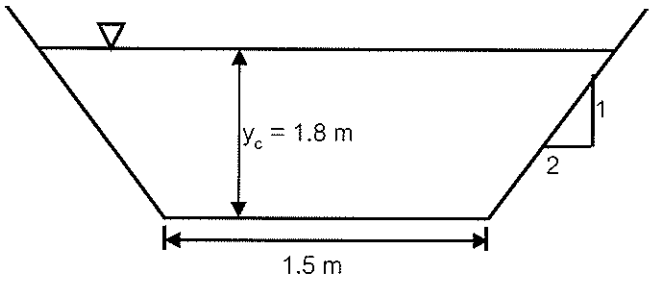
9. จงคำนวณหาความลึกของการไหลของคลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 1.8 m อัตราการไหล 0.85 m^3/s และพลังงานจำเพาะ 1.2 m

10. คลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 15 ft ความลึกการไหล 4 ft และอัตราการไหล 500 cfs จงหาว่าการไหลในสภาวะนี้เป็นแบบการไหลใต้วิกฤต หรือการไหลเหนือวิกฤต

11. จากภาพ จงคำนวณหาความลึกวิกฤตและความลาดชันของแนวคลอง เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 11 m^3/s และ n = 0.020



12. เมื่อ S = 0.002 จงพิจารณาว่าการไหลในคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นการไหลใต้วิกฤต หรือการไหลเหนือวิกฤต

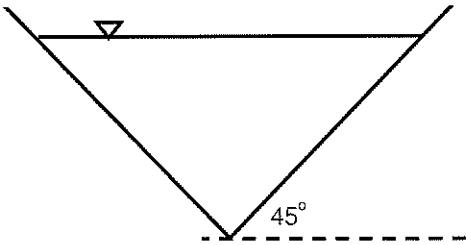


13. คลองรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 8 ft n = 0.015 และ S = 0.0035 จากข้อมูลที่ให้มาข้างล่างนี้ จงหาว่าหน้าตัดที่ 1 และ 2 ห่างกันเท่าใด

หน้าตัด	ความลึกการไหล (ft)	ความเร็ว (ft/s)	รัศมีชลศาสตร์ (ft)	พลังงานจำเพาะ (ft)
1	3.00	15.00	1.715	6.49
2	3.20	14.06	1.775	6.26

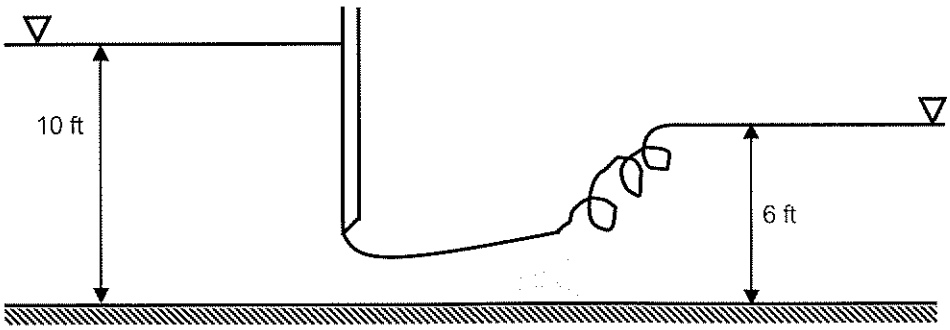
14. น้ำไหลในคลองรูปสี่เหลี่ยม แล้วเกิดปรากฏการณ์น้ำกระโดด เมื่อความลึกของการไหลก่อนและหลังการเกิดปรากฏการณ์น้ำกระโดด เท่ากับ 0.6 m และ 1.5 m ตามลำดับ จงคำนวณหาความลึกวิกฤต

15. น้ำไหลในคลองรูปสามเหลี่ยม (V-shaped) ดังภาพ แล้วเกิดปรากฏการณ์น้ำกระโดด เมื่อความลึกของการไหลก่อนและหลังการเกิดปรากฏการณ์น้ำกระโดด เท่ากับ 0.9 m และ 1.2 m ตามลำดับ จงคำนวณหาอัตราการไหล



16. เมื่อเกิดปรากฏการณ์น้ำกระโดดในคลองรูปสี่เหลี่ยม และความลึกของการไหลก่อนและหลังการเกิดปรากฏการณ์น้ำกระโดด เท่ากับ 3 ft และ 8 ft ตามลำดับ จงคำนวณหาพลังงานที่สูญเสียจากการเกิดปรากฏการณ์น้ำกระโดดนี้ เมื่อระยะทางของการเกิดปรากฏการณ์น้ำกระโดดเท่ากับ 200 ft

17. จากภาพ เมื่อน้ำไหลจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่คลองส่งน้ำรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างท้องคลอง 5 ft จงคำนวณหาอัตราการไหล



18. ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแห่งหนึ่งมีความสูง 2 ft และความกว้าง 4 ft ถ้าผลการวัดความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝายได้ค่าที่ได้ไม่ถูกต้องเท่ากับ 0.38 ft ในขณะที่ค่าที่ถูกต้องเท่ากับ 0.40 ft จงหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลผ่านฝายสันคมนี้

19. น้ำไหลผ่านฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (C_w = 3.30) ที่มีความยาวสันฝาย 4 ft ด้วยอัตราการไหล 10 cfs จงหาว่า ถ้าระดับน้ำเหนือสันฝายผิด โดยวัดได้สูงกว่าค่าจริง 0.02 ft จะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการคำนวณอัตราการไหลเท่าไร

20. จากข้อ 19 แต่เป็นการไหลผ่านฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม (C_d = 0.58) ที่มีมุมสันฝาย 60°

บทที่ 8
การวัดการไหล

เครื่องมือวัดการไหล สามารถวัดค่าการไหลได้ทั้งในรูปเฮด ความเร็ว และอัตราการไหล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ และความเหมาะสมของเครื่องมือวัดการไหล และคุณสมบัติของของไหลที่พิจารณา ปัจจัยที่ควรพิจารณาสำหรับการเลือกวิธีการวัดการไหล ประกอบด้วย

1. ช่วงของข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือและที่เหมาะกับงานที่จะวัดการไหล โดยทั่วไปสามารถวัดการไหลได้ตั้งแต่มิลลิเมตรต่อวินาที
2. ความถูกต้องที่ยอมรับได้ ซึ่งจะพิจารณาว่ามีค่าความละเอียดมากน้อยเพียงใด เช่น 5% หรือ 2%
3. การสูญเสียความดันที่วัดจากการไหลผ่านเครื่องวัดที่แตกต่างกัน จะมีค่าการสูญเสียที่แตกต่างกัน
4. ชนิดของข้อมูลที่ต้องการวัด เช่น เครื่องวัดความเร็วการไหล เครื่องวัดอัตราการไหล เป็นต้น
5. ในการวัดชนิดของของไหลที่ต้องการวัด จำเป็นที่จะต้องทราบว่าของไหลนั้นเป็นของเหลวหรือกาซ
6. การตรวจสอบเครื่องมือและผลการวัด เพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีมาตรฐาน
7. อื่น ๆ

โดยในระบบท่อเครื่องมือวัดการไหลที่นิยมนำมาใช้ มีดังต่อไปนี้

8.1 เวนจูรี่ (Venturi tube)

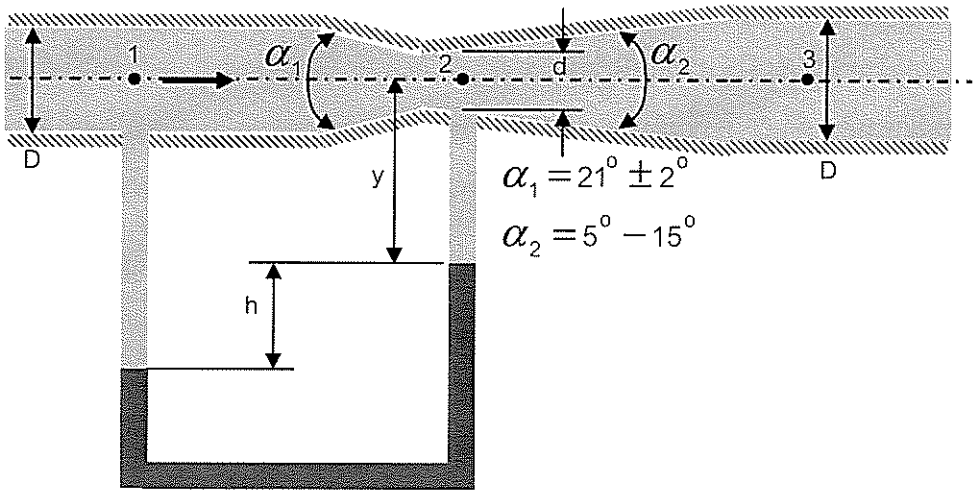
เวนจูรี่เป็นเครื่องมือวัดการไหลด้วยค่าเฮด หรือความสูงของของเหลวที่วัด เมื่อพิจารณาภาพพร้อมกับสมการพลังงานและสมการต่อเนื่องจากหน้าตัดที่ 1 ไปยังหน้าตัดที่ 2 ดังภาพที่ 8.1 จะได้

$$\frac{P_1}{\gamma}+z_1+\frac{v_1^2}{2g}-h_L=\frac{P_2}{\gamma}+z_2+\frac{v_2^2}{2g}$$

$$Q=A_1v_1=A_2v_2$$

$$\frac{v_2^2-v_1^2}{2g}=\frac{P_1-P_2}{\gamma}+(z_1-z_2)-h_L$$

$$v_2^2-v_1^2=2g\left[\frac{P_1-P_2}{\gamma}+(z_1-z_2)-h_L\right]$$



ภาพที่ 8.1 เครื่องมือวัดการไหลแบบเวนจูรี่

แต่ $$v_2^2 = v_1^2\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

$$v_1^2\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right] = 2g\left[\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + (z_1 - z_2) - h_L\right]$$

$$\therefore v_1 = \sqrt{\frac{2g\left[\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + (z_1 - z_2) - h_L\right]}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

เพราะว่า $z_1 = z_2$ และพิจารณา h_L รวมไปเป็นค่าคงที่ C ที่เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

ดังนั้น $$v_1 = C\sqrt{\frac{2g\left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma}\right)}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} \qquad (8.1)$$

เมื่อ $$Q = A_1 v_1$$

จะได้ $$Q = CA_1\sqrt{\frac{2g\left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma}\right)}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} \qquad (8.2)$$

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล "C" เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่ขึ้นจริงกับความเร็วที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ดังนั้น ค่า C นี้จึงมีค่าน้อยกว่า 1.0 นอกจากนี้ สำหรับการไหลในท่อสายหลัก ค่า C ยังขึ้นกับค่าเรโนลด์ ถ้าค่าเรโนลด์ มากกว่า 2×10^5 จะได้ค่า C ประมาณ 0.984 โดยทั่วไปแล้วค่านี้ได้ถูกนำไปใช้กับเวนจูรี ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อตั้งแต่ 100 mm ถึง 1200 mm (4.0 in ถึง 48.0 in) และตรงคอของท่อ ค่า $\frac{d}{D}$ ควรมีค่าตั้งแต่ 0.30 ถึง 0.75

มานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้วัดความแตกต่างของความดันระหว่างส่วนท่อและส่วนคอของเวนจูรี จากภาพที่ 8.1 เมื่อกำหนดให้

γ_f คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหลในท่อ

γ_m คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหลในมานอมิเตอร์

y คือ ระยะในแนวดิ่งจากแนวเส้นกลางของท่อจนถึงผิวบนของของเหลวในมานอมิเตอร์

สมการสำหรับมานอมิเตอร์ คือ

$$P_1 + \gamma_f y + \gamma_f h - \gamma_m h - \gamma_f y = P_2$$

$$P_1 - P_2 = -\gamma_f h + \gamma_m h = \gamma_m h - \gamma_f h = h(\gamma_m - \gamma_f)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_f} = \frac{h(\gamma_m - \gamma_f)}{\gamma_f} = h\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_f} - 1\right)$$

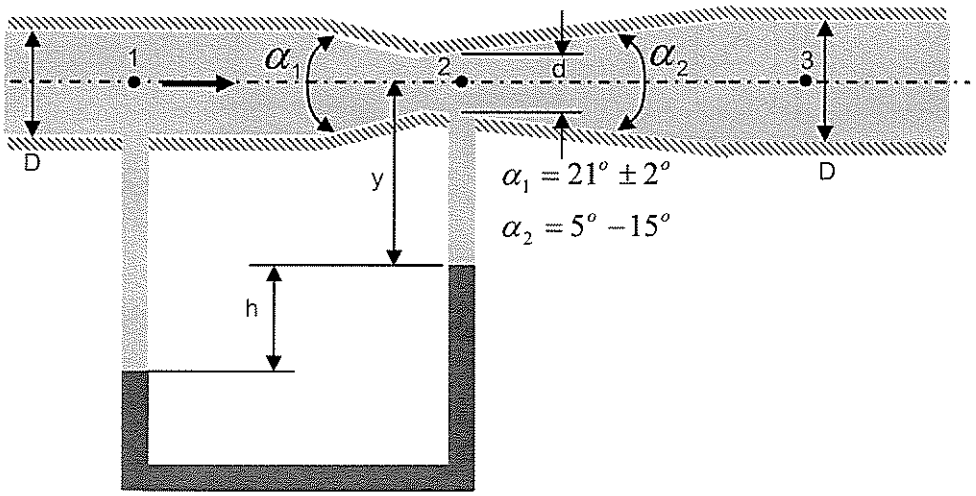
จากสมการที่ (8.1) จะได้

$$v_1 = C\sqrt{\frac{2gh\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_f} - 1\right)}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} \qquad (8.3)$$

ตัวอย่าง 8.1 จากภาพ จงคำนวณหาอัตราการไหล เมื่อ

ในท่อ: น้ำที่ 60°C, γ = 9.65 kN/m^3, υ = 4.67 x 10^{-7} m^2/s, D = 128 mm, A = 1.291 x 10^{-2} m^2, ε = 0.438, C = 0.984

มานอมิเตอร์: ปรอท (S = 13.54) ส่วนคอมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 56 mm (A = 0.0025 m^2)



วิธีทำ

จาก $$v_1 = C\sqrt{\frac{2gh\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_f}-1\right)}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2-1}}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{1.291\times10^{-2}\,m^2}{0.0025\,m^2} = 5.164$$

$$\frac{\gamma_m}{\gamma_w} - 1 = \frac{130.66\,\frac{kN}{m^3}}{9.65\,\frac{kN}{m^3}} - 1 = 12.54$$

$$\therefore v_1 = 0.984\sqrt{\frac{2\left(9.81\frac{m}{s^2}\right)(0.18\,m)(12.54)}{(5.164)^2-1}} = 1.293\,m/s$$

$$Q = A_1 v_1 = \left(0.0129\,m^2\right)\left(1.293\frac{m}{s}\right) = 0.0167\,m^3/s$$

8.2 หัวฉีด (Flow Nozzle)

หัวฉีดเป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลด้วยค่าเฮดอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งการไหลผ่านหัวฉีดสามารถใช้สมการได้เช่นเดียวกับการไหลในเวนจูรี และมานอมิเตอร์ คือ

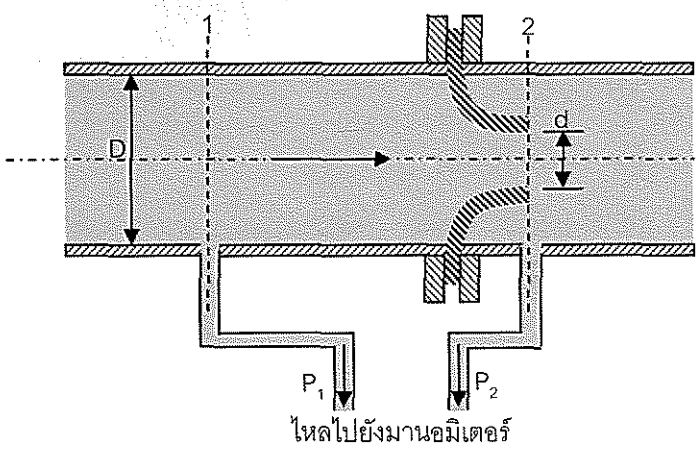
$$v_1 = C\sqrt{\frac{2g\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma}}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

$$Q = CA_1\sqrt{\frac{2g\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma}}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

$$v_1 = C\sqrt{\frac{2gh\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_f} - 1\right)}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

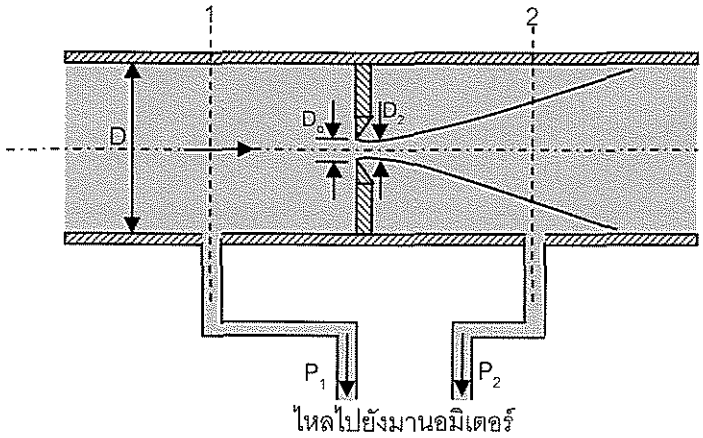
สำหรับค่า C ที่นิยมใช้สามารถหาค่าได้จากสมการ (เมื่อ $\varepsilon = 0.50$) ดังนี้

$$C = 0.9975 - 6.53\sqrt{\frac{\beta}{N_R}} \quad \text{เมื่อ } \beta = \frac{d}{D}$$



ภาพที่ 8.2 การไหลในท่อผ่านหัวฉีด

8.3 ช่องเปิดขอบคม (Orifice)



ภาพที่ 8.3 การไหลในท่อผ่านช่องเปิดขอบคม

ช่องเปิดขอบคมเป็นเครื่องมือวัดการไหลด้วยค่าเฮดอีกชนิดหนึ่ง เมื่อพิจารณาการไหลด้วยสมการของเบอร์นูลลี่จากหน้าตัดที่ (1) ไปยังหน้าตัดที่ (2) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ลำการไหลหดตัวมากที่สุด จะได้ $\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_{21}^2}{2g}+Z_2$

จากสมการสภาพต่อเนื่อง และสัมประสิทธิ์การหดตัว $C_o=A_2/A_o$ จะได้

$$v_1\frac{\pi}{4}D_1^2=v_2\frac{\pi}{4}D_2^2=v_2C_c\frac{\pi}{4}D_o^2$$

$$v_1=C_c\cdot\left(\frac{D_o}{D_1}\right)^2 v_2$$

แทนค่า v_1 ในสมการเบอร์นูลลี่

จะได้ $$\frac{v_2^2}{2g}\left[1-C_c\left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4\right]=\frac{P_1-P_2}{\gamma}$$

$$v_2=\sqrt{\frac{2g\left(\frac{P_1-P_2}{\gamma}\right)}{1-C_c^2\left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4}} \qquad (8.4)$$

ความเร็วที่แท้จริงตรงตำแหน่งที่ 2 คือ $v_{2a}=C_v\cdot v_2$

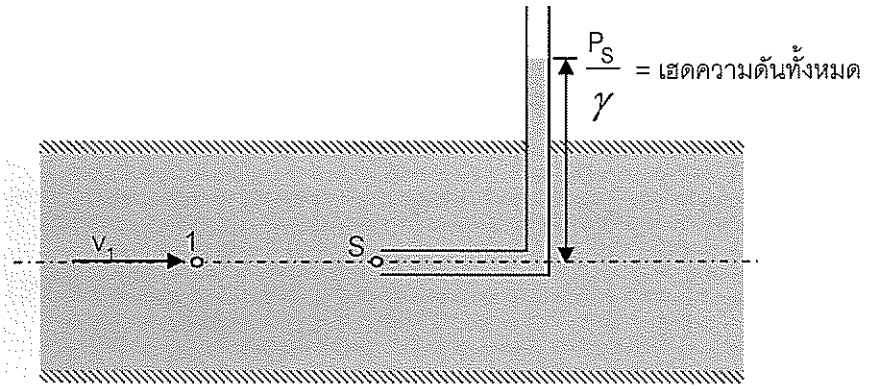
$$v_{2a} = C_v \sqrt{\frac{2g\left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma}\right)}{1 - C_c^2\left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4}} \qquad (8.5)$$

อัตราการไหล คือ $Q = v_{2a} \cdot C_c \cdot A_o = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2g\left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma}\right)}{1 - C_c^2\left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4}}$

เมื่อ $C_d = C_v \cdot C_c$

8.4 หลอดปิโตร (Pitot tube)

เมื่อของไหลที่ไหลมาต้องหยุดเพราะมีสิ่งมากีดขวาง จะทำให้มีความดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความดันที่เพิ่มขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กันกับความเร็ว โดยหลักการดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาใช้กับหลอดปิโตร



ภาพที่ 8.4 เครื่องมือวัดการไหลแบบหลอดปิโตร

จากภาพที่ 8.4 และสมการพลังงาน จากจุดที่ 1 ไปยังจุด S

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_S}{\gamma} + z_2 + \frac{v_S^2}{2g}$$

$\because v_S = 0,\ z_1 = z_2,\ h_L \approx 0$

จะได้ $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_S}{\gamma}$

เมื่อ P_1 คือ ความดันสถิตภายในท่อหลัก

$\frac{P_1}{\gamma}$ คือ เฮดความดันสถิต หรือ Static pressure head

P_s คือ ความดันทั้งหมด หรือ Stagnation pressure

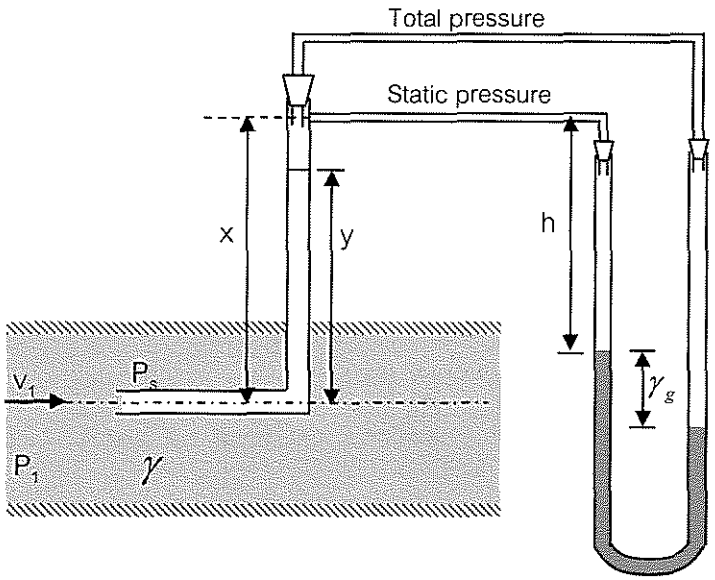
$\frac{P_s}{\gamma}$ คือ เฮดความดันทั้งหมด หรือ Total pressure head

$\frac{v_1^2}{2g}$ คือ เฮดความเร็ว

จะได้ว่า

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g(P_S - P_1)}{\gamma}} \tag{8.6}$$

จากสมการดังกล่าวข้างบน พบว่า ค่า P_1 - P_s เป็นค่าที่จะต้องทราบเพื่อที่จะได้หาค่าความเร็ว ดังนั้น จึงได้นำมานอมิเตอร์มาต่อเข้ากับท่อปิโตร ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 8.5 เครื่องมือวัดการไหลแบบหลอดปิโตรที่ต่อเข้ากับมานอมิเตอร์

พิจารณามานอมิเตอร์

$$P_1 - \gamma x + \gamma y + \gamma_g h - \gamma h - \gamma y + \gamma x = P_S$$

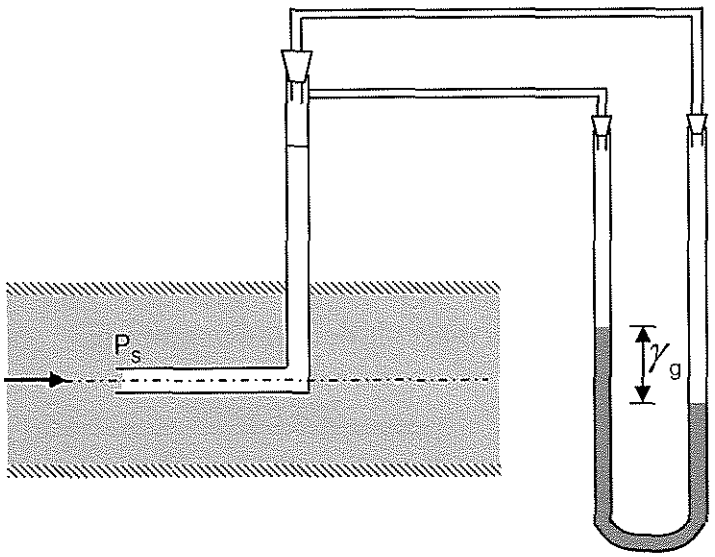
$$P_S - P_1 = \gamma_g h - \gamma h = h(\gamma_g - \gamma)$$

จากสมการที่ (8.6)

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh(\gamma_g - \gamma)}{\gamma}} \tag{8.7}$$

ตัวอย่าง 8.2 จากภาพ ในท่อสายหลักบรรจุน้ำที่อุณหภูมิ 60°C และของเหลวในมานอมิเตอร์เป็นปรอท ที่มีความถ่วงจำเพาะ 13.54 จงคำนวณหาความเร็วของน้ำ

กำหนดให้ น้ำที่อุณหภูมิ 60°C มีน้ำหนักจำเพาะ 9.65 kN/m^3



วิธีทำ

จาก $v_1 = \sqrt{\dfrac{2gh(\gamma_g - \gamma)}{\gamma}}$

$$v_1 = \sqrt{2\left(9.81\frac{m}{s^2}\right)(0.264\,m)\frac{\left(13.54\times 9.81\frac{kN}{m^3}\right)-\left(9.65\frac{kN}{m^3}\right)}{9.65\frac{kN}{m^3}}} = 8.13\,m/s$$ ตอบ

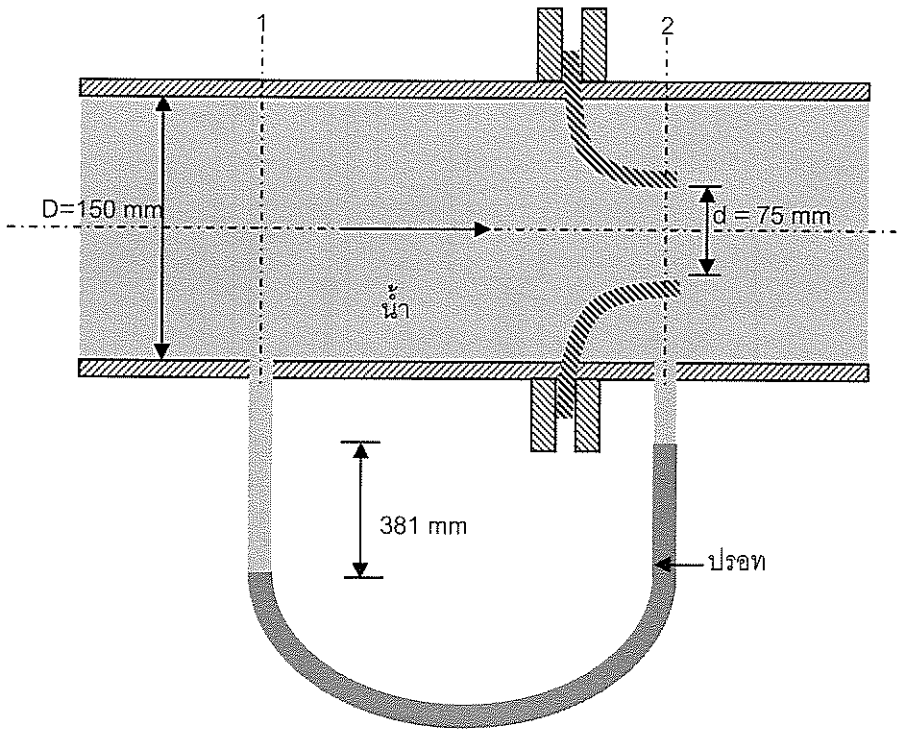
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8

1. น้ำที่ 68°F ไหลผ่านเครื่องวัดเวนจูรี่ที่วางในแนวระดับ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (D_1) และส่วนคอ (d_2) เท่ากับ 12 in และ 6 in ตามลำดับ เมื่อความดันที่วัดได้ในท่อ (P_1) และในส่วนคอ (P_2) เท่ากับ 30 psi และ 20 psi ตามลำดับ และ C = 0.985 จงคำนวณหาอัตราการไหลและพลังงานที่สูญเสียไป

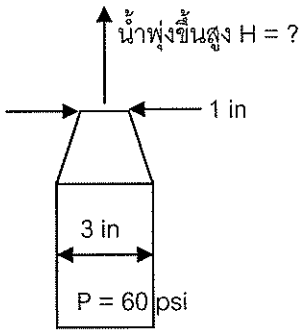
2. น้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะ 0.86 ไหลผ่านเครื่องวัดเวนจูรี่ที่วางในแนวระดับ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (D) และส่วนคอ (d) เท่ากับ 150 mm และ 75 mm ตามลำดับ ด้วยอัตราการไหล 7.6 L/s จงคำนวณหาเฮดความดัน และการสูญเสียพลังงาน เมื่อมีอุณหภูมิ 27°C (C = 0.96) และ 49 °C (C = 0.97)

3. อัตราการไหลสูงสุดผ่านท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D_1) 250 mm มีค่า 142 L/s จงคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนคอ (d_2) เมื่อ $\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}$ = 11.44 m และ C = 0.98

4. น้ำที่อุณหภูมิ 20 °C ไหลผ่านหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 mm ซึ่งต่อเข้ากับท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 mm และต่อเข้ากับมอนอมิเตอร์ที่บรรจุปรอทและน้ำ ดังภาพ จงคำนวณหาอัตราการไหลผ่านหัวฉีดและพลังงานสูญเสียเนื่องจากหัวฉีด (C = 0.99)



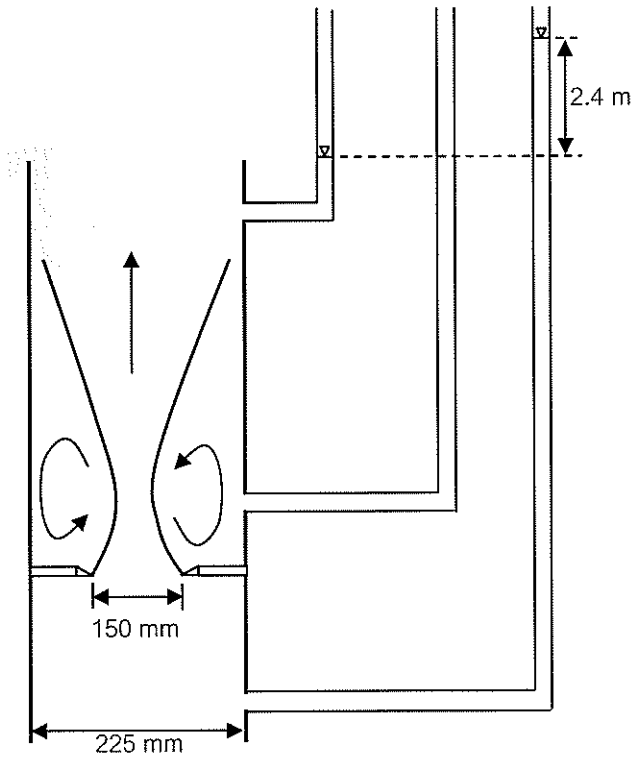
5. หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 in (C = 0.98) ต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 in จงคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ ความเร็วของน้ำที่หัวฉีด พลังงานที่สูญเสียที่หัวฉีด และความสูงมากที่สุดที่น้ำจะขึ้นไปได้ เมื่อท่อนี้มีความดัน 60 psi และไม่คิดการสูญเสียเนื่องจากอากาศ



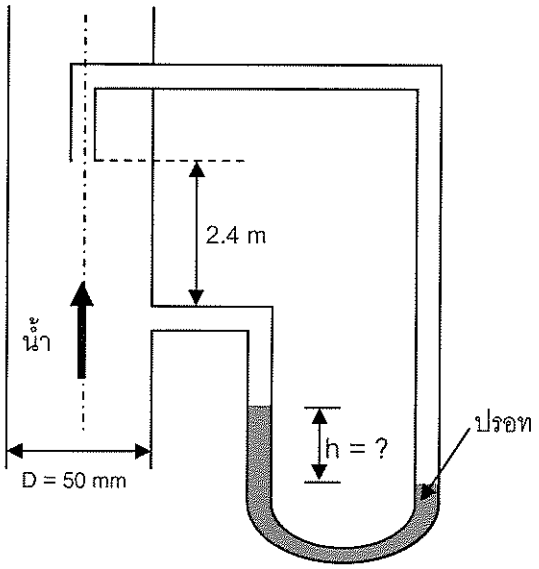
6. น้ำไหลผ่านช่องเปิดขอบคมต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 mm ด้วยอัตราการไหล 0.28 m^3/s พลังงานความสูญเสียสูงสุดที่ยอมให้ได้เท่ากับ 7.6 m จงคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดขอบคม เมื่อ $C_v = 1$

7. น้ำไหลผ่านช่องเปิดขอบคมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 in ต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 in ด้วยอัตราการไหล 5.30 cfs ความดันเกจที่วัดได้จากท่อมีค่าเท่ากับ 58.0 psi และความดันที่วัดได้ ณ จุด Vena contracta เท่ากับ 60.0 psi จงคำนวณหา C_c และ C_v

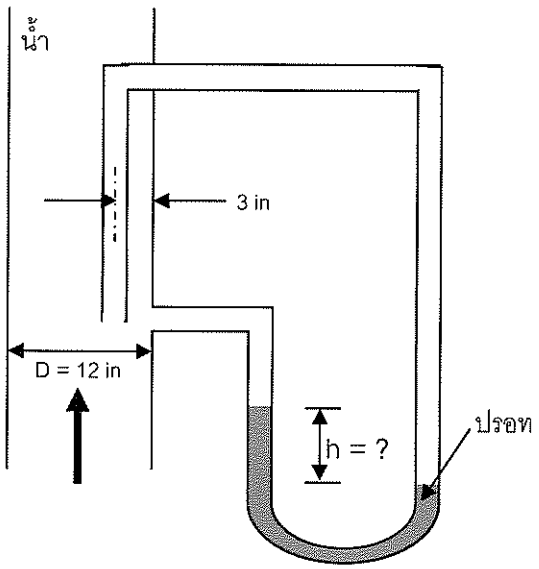
8. จากภาพ จงคำนวณหาตำแหน่งของน้ำในหลอดไพโซมิเตอร์หลอดกลาง เมื่อ $C_c = 0.668$ และ $C_v = 0.97$



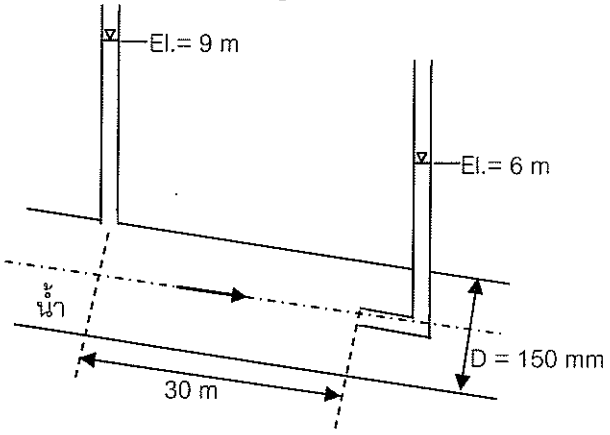
9. จากภาพ เมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) = 0.025 และความเร็วของน้ำเท่ากับ 3 m/s จงคำนวณหาความแตกต่างของความสูงของปรอทในมานอมิเตอร์



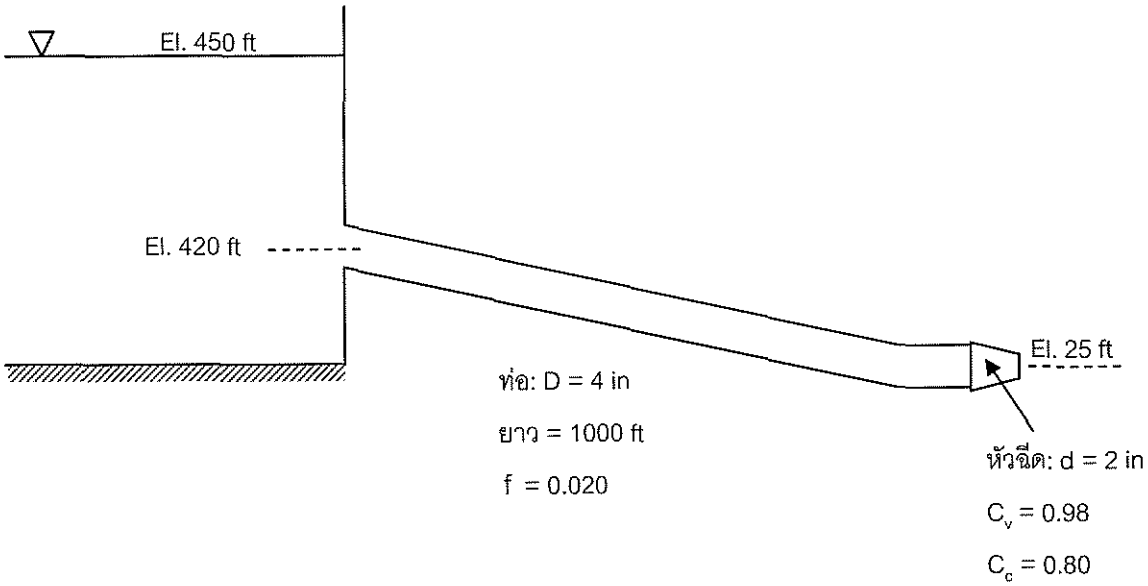
10. เมื่อของไหลที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.80 และความหนืด 0.00401 ft^2/s ไหลด้วยความเร็วเฉลี่ย 8.02 ft/s จงคำนวณหาความแตกต่างของความสูงของปรอทในมานอมิเตอร์



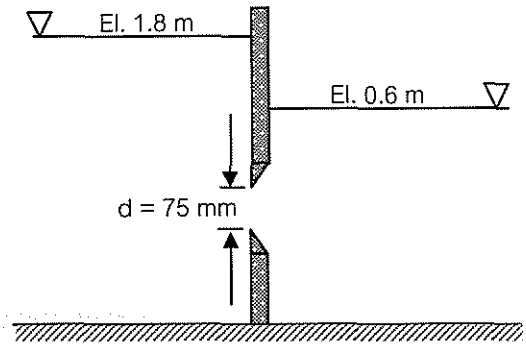
11. จากภาพ จงคำนวณหาพลังงานที่สูญเสียไปต่อความยาว 30 m เมื่อ f = 0.022



12. จากภาพและข้อมูลที่ให้มา จงคำนวณหา (ก) อัตราการไหลในท่อและหัวฉีด (ข) กำลังม้าของของไหลจากหัวฉีด และ (ค) กำลังม้าที่สูญเสียไปในท่อและหัวฉีด



13. น้ำไหลจากถังเก็บน้ำหนึ่งไปยังอีกถังเก็บน้ำหนึ่ง โดยผ่านช่องเปิดขอบคมที่อยู่ระหว่างสองถังนี้ เมื่อ $C_v = 0.95$ และ $C_c = 0.62$ จงคำนวณหาอัตราการไหล



14. ช่องเปิดขอบคมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 in ติดตั้งอยู่ที่ปลายของท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 in โดยที่ภายในท่อมีความดัน 10 psi วัดอัตราการไหลของน้ำที่พ่นออกจากช่องเปิดได้ 0.60 ft^3/s และความเร็วของลำการไหลที่วัดโดยหลอดปีโตรมีค่า 39.2 ft/s จงคำนวณหา C_v, C_c, C_d และการสูญเสียเฮดในช่วงการไหลผ่านช่องเปิด

15. หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 in ติดตั้งเข้ากับท่อส่งน้ำขนาด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 in น้ำมีอุณหภูมิ 80°F ถ้ามานอมิเตอร์น้ำ-อากาศ อ่านค่าความแตกต่างระดับได้ 2 in จงคำนวณหาอัตราการไหลในท่อและค่า C

บทที่ 9
แรงจากการเคลื่อนที่ของของไหล แรงยก และแรงหน่วง

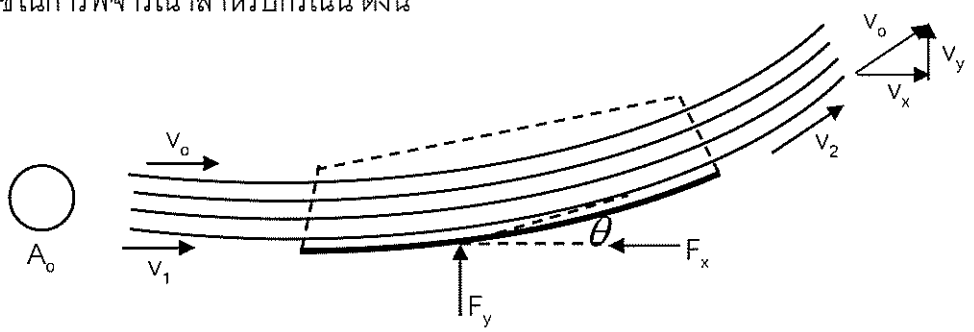
เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านของไหล ทั้งของไหลนั้นหยุดนิ่งและของไหลเคลื่อนที่ และในทางตรงกันข้ามเมื่อของไหลไหลผ่านวัตถุ ทั้งวัตถุนั้นหยุดนิ่งและวัตถุนั้นเคลื่อนที่ แรงจากการเคลื่อนที่ดังกล่าวที่สามารถเกิดขึ้นได้ และพิจารณาในบทนี้ประกอบด้วย แรงกระทบของลำของไหล โดยพิจารณาจากการกระทบบนใบจักร แรงหน่วง และแรงยก ดังแสดงในหัวข้อต่ไปนี้

9.1 แรงกระทบของลำของไหลบนใบจักร (Impact of jet on vanes)

แรงกระทบของลำของไหลบนใบจักรที่พิจารณามีอยู่ 2 กรณี ดังนี้

9.1.1 กรณีใบจักรอยู่ติดกับที่ (Fixed vanes)

เมื่อลำของไหลพุ่งเข้ากระทบกับใบจักรผิวโค้งเรียบซึ่งหยุดนิ่ง ดังภาพที่ 9.1 หลังจากกระทบใบจักรแล้วลำของไหลจะมีทิศทางเปลี่ยนแปลงไปทำให้โมเมนตัมของไหลเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมนี้มีค่าเท่ากับแรงที่ลำของไหลกระทำต่อใบจักร เงื่อนไขในการพิจารณาสำหรับกรณีนี้ ดังนี้



ภาพที่ 9.1 การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมจากลำน้ำไหลพุ่งกระทบใบจักร

1 ลำของไหล (Jet) กระทบแผ่นในจักรอย่างนิ่งนวล
2 ไม่มีความฝืดระหว่างแผ่นกับลำของไหล
3 การกระจายความเร็วเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ
4. $z_1 = z_2$
5. น้ำหนักของลำของไหลน้อยมาก ๆ
6. ความดันของอากาศรอบ ๆ แผ่นใบจักรและลำของไหล เท่ากันหมด
7. ความเร็วของ ณ หน้าตัดที่พิจารณาเท่ากัน นั่นคือ $v_1 = v_2$

$F_x = \rho Q(v_2 \cos\theta - v_1) \quad \because v_2 = v_1$

จะได้ $F_x = \rho Q v(\cos\theta - 1) \quad F_y = \rho Q v_2 \sin\theta$

เมื่อ F_x , F_y คือ แรงที่แผ่นกระทำกับน้ำในแนวแกน x และ y

9.1.2 **กรณีใบจักรเคลื่อนที่** (Moving vanes)

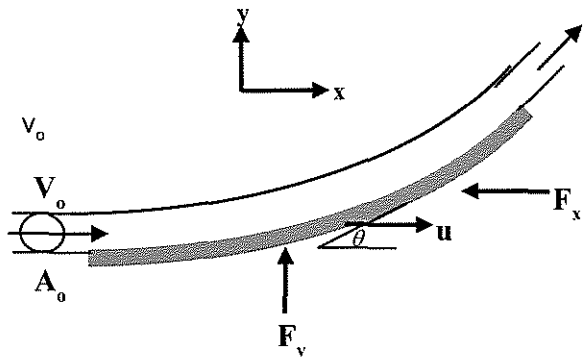
โดยทั่ว ๆ ไป เครื่องจักรกลของไหลจะใช้ผลจากการกระทบของลำของไหลของใบจักรเคลื่อนที่ เพราะถ้าหากใบจักรไม่เคลื่อนที่ก็จะไม่มีงานเกิดขึ้น

การคำนวณหาแรงที่ลำของไหลกระทำกับใบจักรเคลื่อนที่ สามารถทำได้ในทำนองเดียวกันกับกรณีของใบจักรอยู่ติดกับที่ แตกต่างกันเฉพาะความเร็วที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นความเร็วสัมพัทธ์

ความเร็วสัมบูรณ์ คือ ความเร็วของวัตถุที่พิจารณาเทียบกับพื้นโลก

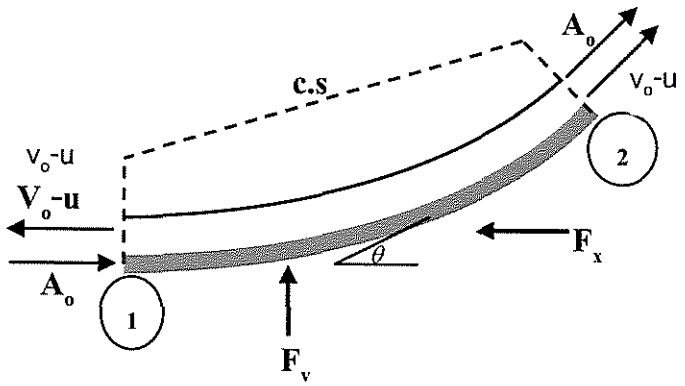
ความเร็วสัมพัทธ์ คือ ความเร็วของวัตถุชนิดหนึ่งเทียบกับวัตถุออกชนิด ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นความเร็วเทียบกับพื้นโลกได้

เมื่อมีลำของไหลพุ่งเข้าในแนวสัมผัสกระทบกับใบจักร ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว u โดยมีแรงประกอบที่ใบจักรกระทำต่อของไหลในแนวแกน X และแกน Y เป็น F_X และ F_Y ตามลำดับ ดังภาพที่ 9.2

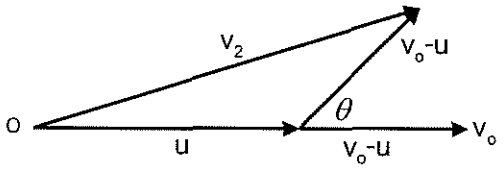


ภาพที่ 9.2 ลำของไหลพุ่งเข้ากระทบกับใบจักรเคลื่อนที่

จากภาพที่ 9.3 การวิเคราะห์การไหลทำได้โดยพิจารณาความเร็วในเชิงความเร็วสัมพัทธ์ ซึ่ง ความเร็วสัมพัทธ์ คือ $v_r = v_0 - u$



ภาพที่ 9.3 การแปลงความเร็วของลำของไหลกับความเร็วของใบจักรเป็นความเร็วสัมพัทธ์



ภาพที่ 9.4 แผนภาพเวคเตอร์ความเร็ว

จากภาพที่ 9.4 เวคเตอร์ความเร็วสัมบูรณ์เริ่มต้นจากจุด 0 และ เวคเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์($\vec{v_0} - \vec{u}$) เบี่ยงเบนไปเป็นมุม θ เท่ากับมุมของใบพัด และ $\vec{v_2}$ เป็นความเร็วสัมบูรณ์ที่ออกจากใบพัด

สมการโมเมนตัมในแนวแกน X (สำหรับใบจักรเดี่ยว)

$$\sum F_x = (\rho Q v_x)_{out} - (\rho Q v_x)_{in}$$

$$-F_x = \rho A_o (v_0 - u)(v_0 - u)\cos\theta - \rho A_o (v_0 - u)(v_0 - u)$$

$$F_x = \rho (v_o - u)^2 A_o (1 - \cos\theta) \qquad (9.1)$$

สมการโมเมนตัมในแนวแกน Y

$$\sum F_y = (\rho Q v_y)_{out} - (\rho Q v_y)_{in}$$

$$-F_y = \rho A_o (v_0 - u)(v_0 - u)\sin\theta - 0$$

$$F_y = \rho (v_o - u)^2 A_o \sin\theta \qquad (9.2)$$