

Lesson 13 Pipe flow

Sucharit Koontanakulvong

Hydraulics 1

2017

บทนี้จะกล่าวถึงการสูญเสียพลังงานในลักษณะต่าง ๆ ของการไหลของท่อ การคำนวณหาพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ในระบบท่อต่าง ๆ

เนื้อหา/ประเด็น

1. แรงเสียดทานของของไหล (Major Losses)
2. การสูญเสียเฮดในลักษณะต่าง ๆ กัน (Minor Losses)
 - เฮดที่สูญเสียจากการเปลี่ยนขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นแบบกระทันหัน
 - เฮดที่สูญเสียจากการลดขนาดท่อให้เล็กลงอย่างกระทันหัน
 - เฮดที่สูญเสียเนื่องจากสิ่งกีดขวางภายในท่อ
 - เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลเข้าท่อ
 - เฮดที่สูญเสียเนื่องจากท่อโค้ง ข้อต่อ ข้องอ
 - เฮดที่สูญเสียเนื่องจากวาล์ว
 - เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลออกจาท่อ

เนื้อหา/ประเด็น

1. แรงเสียดทานของของไหล (Major Losses)

2. การสูญเสียเฮดในลักษณะต่าง ๆ กัน (Minor Losses)

- เฮดที่สูญเสียจากการเปลี่ยนขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นแบบกระทันหัน
- เฮดที่สูญเสียจากการลดขนาดท่อให้เล็กลงอย่างกระทันหัน
- เฮดที่สูญเสียเนื่องจากสิ่งกีดขวางภายในท่อ
- เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลเข้าท่อ
- เฮดที่สูญเสียเนื่องจากท่อโค้ง ข้อต่อ ข้องอ
- เฮดที่สูญเสียเนื่องจากวาล์ว
- เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลออกจากท่อ

3. การไหลในท่อยาว

4. การไหลของน้ำในท่อที่ขนานกัน

5. การไหลของน้ำในท่อที่ต่อขนานกันหลาย ๆ ท่อ

6. ท่อที่เชื่อมโยงต่อกัน

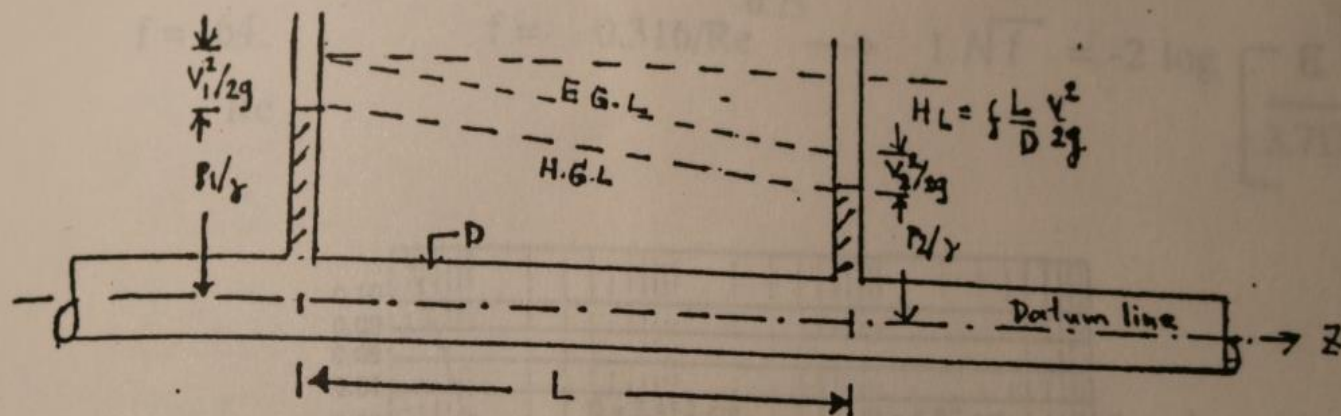
7. กาลักน้ำ

8. ระบบโครงข่ายท่อ (Pipe Network)

9. วอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer)

แรงเสียดทานของของไหล (Major Losses)

ทบทวนทฤษฎีพลังงาน



การไหลในท่อเมื่อประยุกต์ใช้ทฤษฎีพลังงาน จะแสดงได้ดังรูป

พลังงานศักย์ + พลังงานความเร็ว + พลังงานความดัน = คงที่

แต่ในการไหลจริง จะเกิดการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากการไหล

เขียนใหม่ได้

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + H_L$$

ค่า H_L นี้ เป็นการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความเสียดทานทั้งจากผิวของของเหลวเองและระหว่างผิวของของเหลวข้างขอบวัสดุ

ค่า H_L นี้ เป็นการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความเสียดทานทั้งจากผิวของของเหลวเองและระหว่างผิวของของเหลวข้างขอบวัสดุ

ในปี 1850 Reynold Osborne ได้ทำการทดลองให้น้ำไหลผ่านท่อที่มีหน้าตัดคงที่ ยาวและตรง พบว่า

$$H_L \propto \frac{V^2}{2g} \quad H_L \propto L \quad H_L \propto \frac{L}{D}$$

$$H_L \propto \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$H_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

สมการของคาร์ซี-ไวสบิด (Darcy-Weisbach)

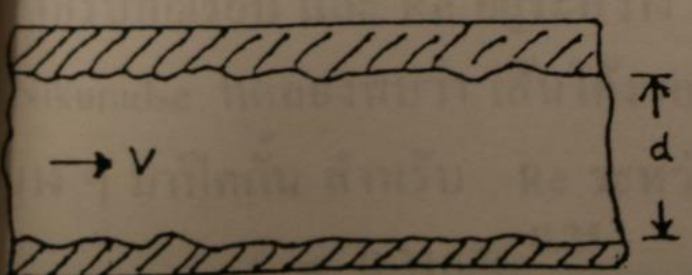
f : friction factor*

ในการทดลอง หาค่า f พบว่าขึ้นอยู่กับค่าความหยาบของผิวท่อ (ϵ) เป็นส่วนใหญ่ และยังขึ้นอยู่กับ ความเร็วของกระแสน้ำ (V) และเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) และค่าความหนืดของของเหลวในท่อด้วย

ให้ ϵ/D = relative roughness

$$Re = \frac{D \Delta P}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad : \text{Reynolds no.}$$

$$f = \phi (Re, \epsilon/D) \dots \dots \dots *$$

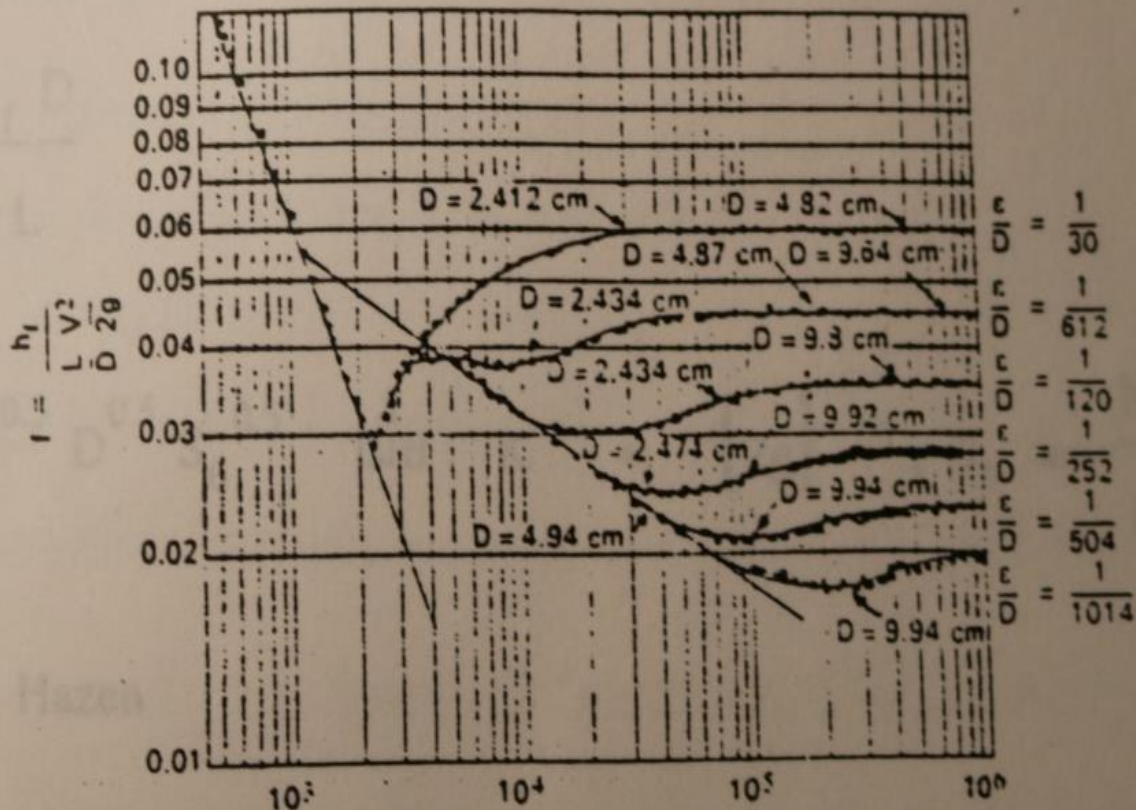


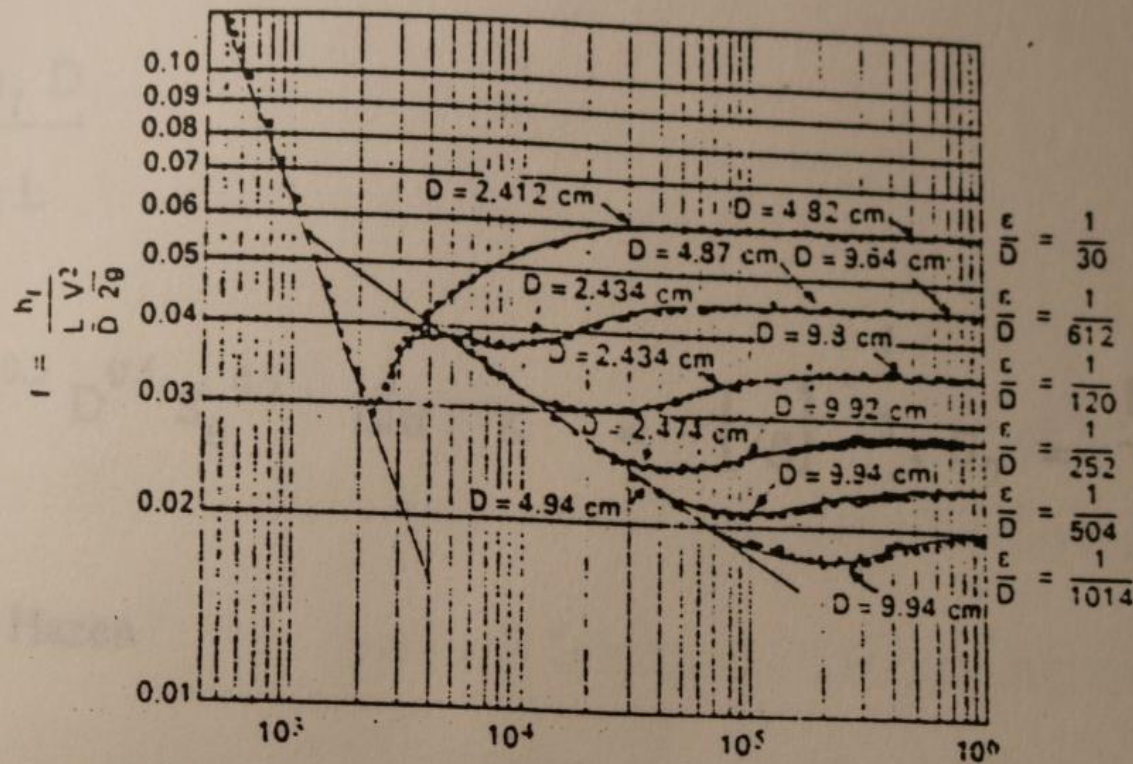
ในปี 1914 Stanton ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง f และ Re สำหรับ ϵ/D แต่ละตัว จะได้

$$f = \frac{64}{Re}$$

Re

$$f = 0.316/Re^{0.25} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\epsilon + \frac{2.51}{3.7D}}{Re \sqrt{f}} \right]$$





$$Re = \frac{\text{แรงเฉื่อย}}{\text{แรงเนื่องจากความหนืด}} = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

เป็นค่าพารามิเตอร์ไร้มิติ ซึ่งใช้บอกสภาวะการไหลแบบ laminar และ turbulent ได้

สรุปในการหาค่า f

การไหล laminar และ turbulent ให้ค่า f ที่แตกต่างกัน ค่า Re มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ใกล้ ๆ จุดวิกฤติที่ $Re = 2,100$

การไหลแบบ laminar จะได้ค่า $f = 64/Re$ ไม่ว่าท่อจะหยาบหรือเรียบเพียงใด

การไหลแบบ turbulent จะได้ค่าต่างกันแล้วแต่ ϵ/D ค่าความหยาบจะมีอิทธิพลมากกว่าค่า Re เมื่อค่า Re สูง ค่า f ของท่อหยาบจะคงที่ ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับค่าของความหยาบ จะได้

$$H = f LV^2 / D 2g \quad (\epsilon : \text{Epsilon})$$

สำหรับท่อเรียบ และ Re อยู่ระหว่าง 5,000-50,000

Nikuradse ทดลองพบว่า เส้นโค้งของท่อผิวหยาบจะทับกับเส้นโค้งของท่อผิวเรียบ เพราะมีฟิล์มบาง ๆ มาปิดกัน สำหรับ Re ระหว่าง 3,000-10,000

$$f = 0.316/Re^{0.25}$$

การหาสูตรความเร็วจากสมการความเสียดทานของท่อ

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$V^2 = \frac{f h_f D}{2g L}$$

$$V = K f^{0.5} D^{0.5} S_0^{0.5} \quad \text{เมื่อ} \quad K = [2g]^{-\frac{1}{2}}, \quad S_0 = \frac{h_f}{L}$$

กรณีของ William Hazen

$$V = 0.8492 C R^{0.65} S^{0.54} \quad \text{เมื่อ} \quad C : \text{Chezy no.}$$

ของไหลชนิดหนึ่งมีความหนืดเปรียบเทียบเท่ากับ $4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ ไหลในท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. ด้วยความเร็ว 0.1 ม/ว จงหาการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นในช่วงความยาวต่อ 1 ม.

$$Re = VD/\nu = (0.1 \text{ m/s})(10/100 \text{ m}) = 25 < 2,000$$

$$4 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

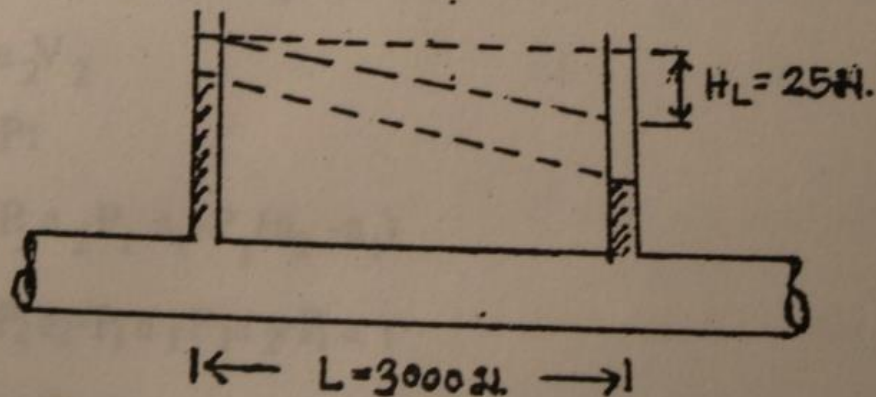
การไหลแบบ laminar

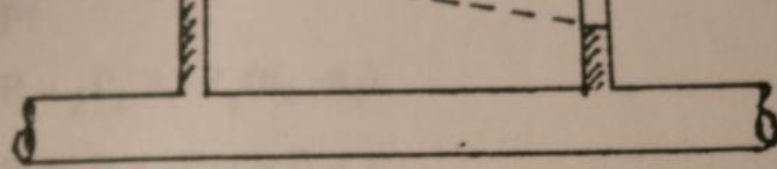
$$f L V^2 = \frac{64 L V^2}{Re D^2 g} = \frac{64 \times 1,000 \times (0.1 \text{ m/s})^2}{25 \times 10/100 \times 2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$= 130.48 \text{ ม.}$$

การสูญเสียพลังงานในช่วงความยาวต่อ 1 กม. เท่ากับ 130.48 ม. Ans

จงออกแบบขนาดของท่อเหล็กเหนียว (wrought iron) เพื่อส่งน้ำมันที่มีความหนืดเปรียบเทียบ $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ด้วยความเร็ว 250 ลิตร/วินาที ในระยะทาง 3,000 ม. โดยยอมให้เกิดการสูญเสียพลังงาน 25 ม.





$$L = 3000 \text{ m}$$

ให้ท่อเหล็กเหนียว มี $\delta = 0.046 \text{ มม.}$

ตรวจสอบสภาพการไหล $Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{250 \times 10^{-3} \text{ D m/s}}{1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} \dots\dots\dots(1)$

การสูญเสียพลังงาน
$$h_L = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

$$25 = \frac{f \times 3,000 (250 \times 10^{-3} \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times D} \dots\dots(2)$$

unknown $\rightarrow D, f (Re)$

มติให้ $f = 0.02$ แทนค่าใน สมการ(2) จะได้

$$0.416 \quad Re = 76,500 \quad /D = 0.046 \times 10^{-3} / 0.416 = 0.00011$$

ตรวจสอบค่า f จากค่า $/D$ และ Re นี้จะได้ $f = 0.0195$ ซึ่งไม่เท่ากับที่สมมติ จึงให้สมมติใหม่

อีกครั้งที่ 2 ให้ $f = 0.019$ แทนค่าในสมการ (2) จะได้

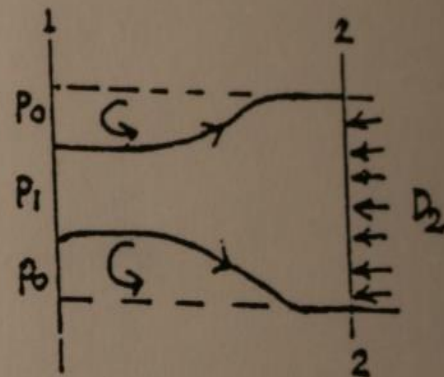
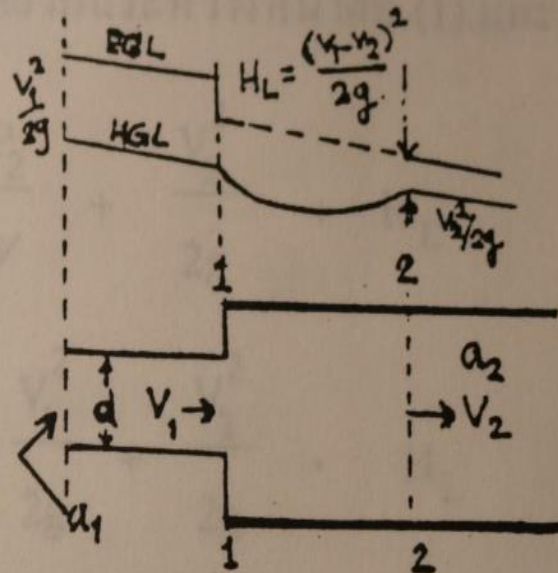
$$0.413 \quad Re = 75,700 \quad /D = 0.046 \times 10^{-3} / 0.413 = 0.00011$$

ตรวจสอบค่า f จากค่า $/D$ และ Re ที่ได้ใหม่ ได้ $f = 0.0195$ เท่ากับที่สมมติไว้

ดังนั้น เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ควรใช้เท่ากับ 413 มม. Ans

การสูญเสียพลังงานในกรณีต่าง ๆ (Minor Losses)

Sudden Enlargement



พลังงานที่สูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นอย่างกะทันหันหาได้จากสมการ Energy และ Momentum จากการทดลองพบว่า $P_0 = P_1$ กระแทกที่พื้นที่วงแหวน $(a_2 - a_1)$

สมการ Momentum $\Sigma F = \rho Q \Delta V$

$$P_2 a_2 - P_1 a_1 - P_0(a_2 - a_1) = \rho Q (V_2 - V_1)$$

$$= -(\rho Q_2 V_2 - \rho Q_1 V_1)$$

$$\therefore a_1 V_1 = a_2 V_2$$

$$P_0 = P_1$$

$$P_2 a_2 - P_1 a_1 - P_0(a_2 - a_1) = \rho Q (V_2 V_1)$$

$$= -(\rho Q_2 V_2 - \rho Q_1 V_1)$$

$$\therefore a_1 V_1 = a_2 V_2$$

$$P_0 = P_1$$

ทางด้านซ้าย

$$= P_2 a_2 - P_1 a_1 - P_1(a_2 - a_1)$$

$$= P_2 a_2 - P_1 a_1 - P_1 a_2 + P_1 a_1$$

$$= a_2(P_2 - P_1)$$

.....(1)

ทางด้านขวา

$$= \rho Q_1 V_1 - \rho Q_2 V_2$$

$$= \rho a_1 V_1 V_1 - \rho a_2 V_2 V_2$$

$$= \rho a_1 V_1 V_1 - \rho a_2 V_2 V_2$$

$$= \gamma (a_1 V_1 V_1 - a_2 V_2 V_2) / g$$

$$= \gamma a_1 V_1 V_1 / g - \gamma a_2 V_2 V_2 / g$$

$$= \gamma a_2 \left[\frac{V_1 V_1}{2} - \frac{V_2 V_2}{2} \right] / g \dots\dots\dots(2)$$

สมการ (1)=(2)

$$a_2(P_2 - P_1) = \gamma a_2 \left(\frac{V_1 V_1}{2} - \frac{V_2 V_2}{2} \right)$$

$$g \quad g$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{V_1 V_1}{2g} - \frac{V_2 V_2}{2g} \dots\dots\dots(3)$$

งานที่สูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นอย่างกะทันหันหาได้จากสมการ
Energy และ Momentum จากการทดลองพบว่า $P_0 = P_1$ กระแทกที่พื้นที่วงแหวน $(a_2 - a_1)$
สมการ Momentum $\Sigma F = \rho Q \Delta V$

$$P_2 a_2 - P_1 a_1 - P_0(a_2 - a_1) = \rho Q (V_2 - V_1)$$

$$= -(\rho Q_2 V_2 - \rho Q_1 V_1)$$

$$\therefore a_1 V_1 = a_2 V_2$$

$$P_0 = P_1$$

ทางด้านซ้าย

$$= P_2 a_2 - P_1 a_1 - P_1(a_2 - a_1)$$

$$= P_2 a_2 - P_1 a_1 - P_1 a_2 + P_1 a_1$$

$$= a_2(P_2 - P_1)$$

.....(1)

ทางด้านขวา

$$= \rho Q_1 V_1 - \rho Q_2 V_2$$

$$= \rho a_1 V_1 V_1 - \rho a_2 V_2 V_2$$

$$= \rho a_1 V_1 V_1 - \rho a_2 V_2 V_2$$

$$= \gamma (a_1 V_1 V_1 - a_2 V_2 V_2) / g$$

$$= \gamma a_1 V_1 V_1 / g - \gamma a_2 V_2 V_2 / g$$

จากสมการพลังงาน ในระดับเดียวกันระหว่างหน้าตัด (1) และ (2)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_L$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - H_L \dots\dots\dots(4)$$

สมการ (3) = สมการ (4)

$$\frac{V_1 V_2}{g} - \frac{V_2 V_2}{g} = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - H_L$$

$$H_L = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_1 V_2}{g} + \frac{2V_2^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$= (V_1^2 - 2V_1 V_2 + V_2^2) / 2g$$

$$H_L = (V_1 - V_2)^2 / 2g \dots\dots\dots(5)$$

$$= (V_1^2 - 2V_1V_2 + V_2^2) / 2g$$

$$H_L = (V_1 - V_2)^2 / 2g \quad \dots\dots\dots(5)$$

เนื่องจาก

$$a_1 V_1 = a_2 V_2$$

$$H_L = \frac{1}{2g} \left(V_1 - \frac{a_1 V_1}{a_2} \right)^2$$

$$= \left(1 - \frac{a_1}{a_2} \right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$H_L = K \cdot V_1^2 / 2g$$

กราฟแสดงค่า K บนความสัมพันธ์ a_1 / a_2 ดูกราฟที่ 7.1

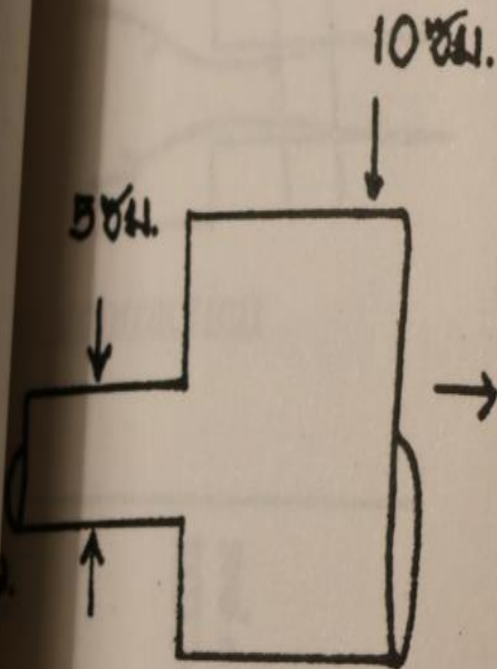
ตารางที่ 7-1 สัมประสิทธิ์แห่งการสูญเสียเนื่องจากเปลี่ยนขนาดของท่อให้ใหญ่ขึ้นโดยกะทันหัน

$\frac{a_1}{a_2}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
K	1.00	0.81	0.64	0.49	0.36	0.25	0.16	0.09	0.04	0.01	0

Ex. คำนวณค่า LOSS ที่สูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นดังรูป

วิธีทำ

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{\pi / 4 (5 / 100)^2}{\pi / 4 (10 / 100)^2} = 1 / 4 = 0.25$$



ดูจากตารางจะได้

$$a_1 / a_2 = 0.2 \quad K = 0.64$$

$$a_1 / a_2 = 0.3 \quad K = 0.49$$

$$a_1 / a_2 = 0.25 \quad K = 0.565$$

$$H_L = \frac{KV_1^2}{2g} = \frac{0.565 (3)^2}{2 \times 9.81} = 0.259 \text{ ม. ของน้ำ}$$

วิธีทำ

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{\pi / 4 (5 / 100)^2}{\pi / 4 (10 / 100)^2} = 1 / 4 = 0.25$$

ดูจากตารางจะได้

$$a_1 / a_2 = 0.2 \quad K = 0.64$$

$$a_1 / a_2 = 0.3 \quad K = 0.49$$

$$a_1 / a_2 = 0.25 \quad K = 0.565$$

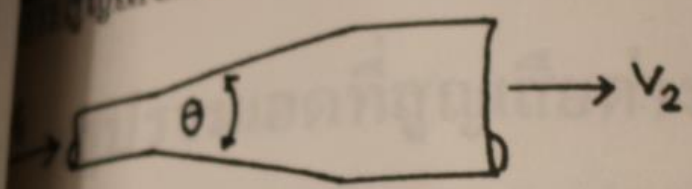
$$H_L = \frac{KV_1^2}{2g} = \frac{0.565 (3)^2}{2 \times 9.81} = 0.259 \text{ ม. ของน้ำ}$$

ถ้า Loss อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นเท่ากับ 0.259 ม. ของน้ำ

สัมประสิทธิ์แห่งการสูญเสียเนื่องจากเปลี่ยนขนาดของท่อให้ใหญ่ขึ้นโดยกะทันหัน

$\frac{a_1}{a_2}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
K	1.00	0.81	0.64	0.49	0.36	0.25	0.16	0.09	0.04	0.01	0

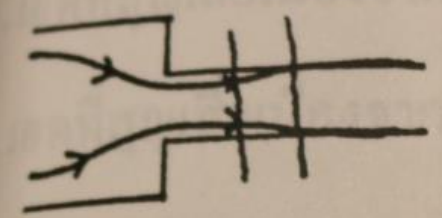
ท่อขยายในลักษณะนี้



$$H_L = \frac{K (V_1 - V_2)^2}{2g}$$

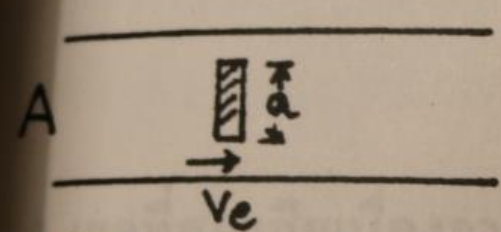
gradually enlarge

Vena Contracta



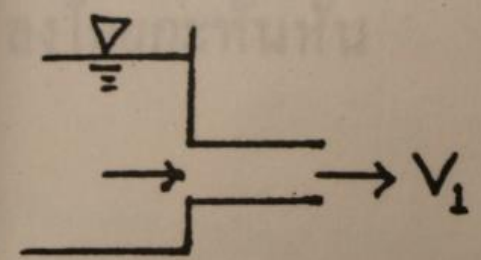
$$H_L = \frac{K V_1^2}{2g} \quad K = \left| \frac{1 - C_c}{C_c} \right|^2$$

sudden contraction

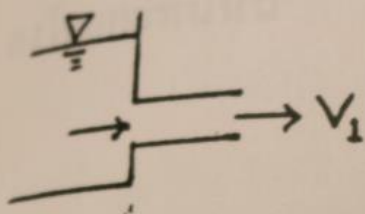


$$H_L = \frac{K V_1^2}{2g} \quad K = \left| \frac{A - a}{C_c (A - a)} \right|^2$$

contraction



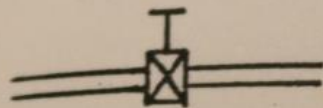
$$H_L = \frac{K V_1^2}{2g} \quad K = \left| \frac{1}{C_c} - 1 \right|^2 = 0.5$$



$$H_L = \frac{K V_1^2}{2g}$$

$$K = \left| \frac{1}{C_c} - 1 \right|^2 = 0.5$$

head loss at pipe entrance

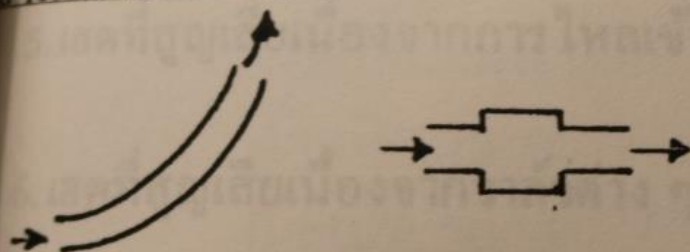


$$H_L = \frac{K V^2}{2g}$$

$$K = 0.19 \sim 780$$

ขึ้นอยู่กับชนิดและช่องเปิด

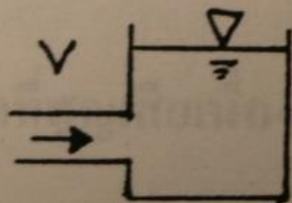
head loss due to valve



$$H_L = \frac{K V^2}{2g}$$

K แล้วแต่

head loss due to elbow, bending fitting



$$H_L = \frac{K V^2}{2g}$$

$$K = 1.0$$

สรุปรวมเฮดที่สูญเสียต่าง ๆ

1. เฮดที่สูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน $H_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$

2. เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนขนาด

ของท่อให้ใหญ่ขึ้นอย่างกะทันหัน $H_L = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$

หรือ

$$= K \frac{V_1^2}{2g}$$

3. เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการลดขนาดของท่อ

ลงโดยกะทันหัน

$$H_L = \left| \frac{1}{C_c} - 1 \right|^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

หรือ

$$= K \frac{V_1^2}{2g}$$

3. เหนือที่สูญเสียนเนื่องจากการลดขนาดของท่อ

ลงโดยกะทันหัน

$$H_L = \left| \frac{1}{C_c} - 1 \right|^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

หรือ

$$= K \frac{V_1^2}{2g}$$

4. เหนือที่สูญเสียนเนื่องจากการมีสิ่งกีดขวางภายในท่อ

$$H_L = \left| \frac{A}{C_c(A - a)} - 1 \right|^2 \frac{V^2}{2g}$$

• หรือ

$$= \left| \frac{A \text{ (ท่อ)}}{C_c A \text{ (รู)}} - 1 \right|^2 \frac{V^2}{2g}$$

5. เหนือที่สูญเสียนเนื่องจากการไหลเข้าท่อ

$$H_L = 0.5 \frac{V^2}{2g}$$

6. เหนือที่สูญเสียนเนื่องจากการวาล์วต่าง ๆ

$$H_L = K \frac{V^2}{2g}$$

7. เหนือที่สูญเสียนเนื่องจากการ ท่อโค้ง ข้อต่อ ข้องอ

$$H_L = K \frac{V^2}{2g}$$

8. เหนือที่สูญเสียนเนื่องจากการไหลออกจากท่อ

$$H_L = \frac{V^2}{2g}$$

K = สัมประสิทธิ์แห่งการสูญเสียเนื่องจากวาล์ว โดยที่วาล์วหรือก๊อกน้ำนี้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กันแล้วแต่ผู้ผลิต ค่า K จึงมีค่าต่าง ๆ กันดังนี้

ชนิด

	K
โกลบวาล์ว (globe valve)	10.00
แองเกิลวาล์ว (angle valve) เมื่อเปิดเต็มที่	5.00
สวิงเช็ควาล์ว (swing check valve) เมื่อเปิดเต็มที่	2.50
เกตวาล์ว (gate valve)	
เมื่อเปิดเต็มที่	0.19
เมื่อเปิด 75 %	1.15
เมื่อเปิด 50 %	5.60
เมื่อเปิด 25 %	24.00

พลักโกลบ (plug globe) หรือสต็อฟวาล์ว (stop valve) (600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

สวิงเช็ควาล์ว (swing check valve) เมื่อเปิดเต็มที่ 2.50

เกตวาล์ว (gate valve)

เมื่อเปิดเต็มที่

0.19

เมื่อเปิด 75 %

1.15

เมื่อเปิด 50 %

5.60

เมื่อเปิด 25 %

24.00

พลักโกลบ (plug globe) หรือสต็อฟวาล์ว (stop valve) (600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

เมื่อเปิดเต็มที่

4.00

เมื่อเปิด 75 %

4.60

เมื่อเปิด 50 %

6.40

เมื่อเปิด 25 %

780.00

ไดอะแฟรมวาล์ว (diaphragm valve)

เมื่อเปิดเต็มที่

2.30

เมื่อเปิด 75 %

2.60

เมื่อเปิด 50 %

4.30

เมื่อเปิด 75 %	4.60
เมื่อเปิด 50 %	6.40
เมื่อเปิด 25 %	780.00

ไดอะแฟรมวาล์ว (diaphragm valve)

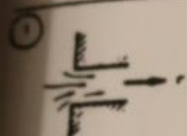
เมื่อเปิดเต็มที่	2.30
เมื่อเปิด 75 %	2.60
เมื่อเปิด 50 %	4.30
เมื่อเปิด 25 %	21.00

ปลั๊กวาล์ว (plug valve with screwed ends)

เมื่อเปิดเต็มที่	0.77
เมื่อเปิด 99 %	0.86
เมื่อเปิด 98 %	0.95
เมื่อเปิด 95 %	1.45
เมื่อเปิด 90 %	2.86
เมื่อเปิด 80 %	9.60
เมื่อเปิด 70 %	28.00

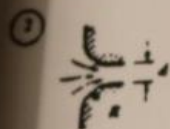
Local Loss Coefficients

Use the equation $h_L = kv^2/2g$ unless otherwise indicated. Energy loss E_L equals h_L .



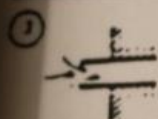
Perpendicular square entrance:

$$k = 0.50 \quad \text{if edge is sharp.}$$



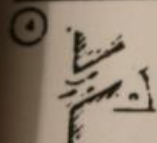
Perpendicular rounded entrance:

$R/d =$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
$k =$	0.25	0.17	0.08	0.05	0.04



Perpendicular reentrant entrance:

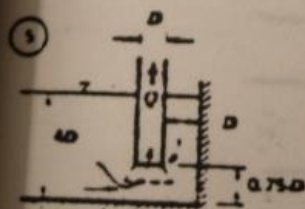
$$k = 0.8$$



Additional loss due to skewed entrance:

$$k = 0.505 + 0.303 \sin \alpha + 0.226 \sin^2 \alpha$$

Suction pipe in sump with conical mouthpiece:



$$E_L = D + \frac{5.6Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Without mouthpiece:

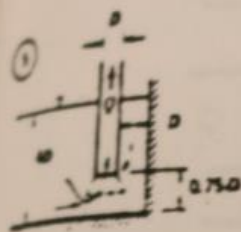
$$E_L = 0.53D + \frac{4Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Width of sump shown: $3.5D$

(After I. Vagstad)

Suction pipe in sump with conical mouthpiece:

$$E_L = D + \frac{5.6Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$



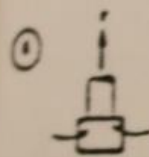
Without mouthpiece:

$$E_L = 0.53D + \frac{4Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Width of sump shown: $3.5D$

(After L. Vagstad)

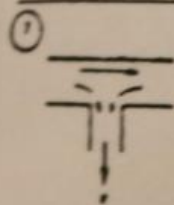
Strainer bucket:



$k = 10$ with foot valve

$k = 5.5$ without foot valve

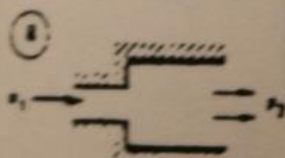
(By Agroskin)



Standard Tee, entrance to minor line

$$k = 1.8$$

Sudden expansion:

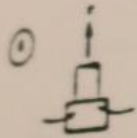


or

$$E_L = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$$

$$E_L = \left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$$

Strainer bucket:



$$k = 10 \quad \text{with foot valve}$$

$$k = 5.5 \quad \text{without foot valve}$$

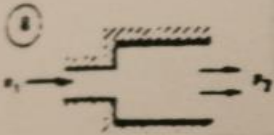
(By Agroskin)

Standard Tee, entrance to minor line



$$k = 1.8$$

Sudden expansion:

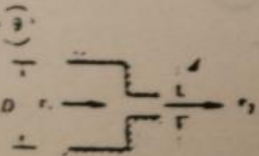


or

$$E_L = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$$

$$E_L = \left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$$

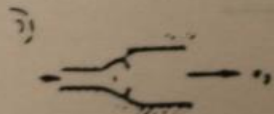
Sudden contraction:



$$\frac{(d/D)^2}{k} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 0.01 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 \\ \hline 0.5 & 0.5 & 0.42 & 0.33 & 0.25 & 0.15 \\ \hline \end{array}$$

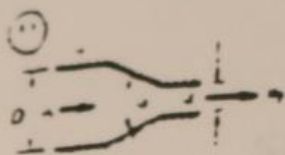
use v_2 in equation (6.6)

Diffuser:



$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

$$\frac{\alpha^*}{k} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 20 & 40 & 60 & 80 \\ \hline 0.20 & 0.28 & 0.32 & 0.35 \\ \hline \end{array}$$



Confusor:

$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

$\alpha^\circ =$	6	10	20	40	60	80	100	120	140
k for $D = 3d$	0.12	0.16	0.39	0.80	1.0	1.06	1.04	1.04	1.04
$D = 1.5d$	0.12	0.16	0.39	0.96	1.22	1.16	1.10	1.06	1.04



Sharp elbow:

$$k = 67.6 \times 10^{-4} (\alpha^\circ)^{2.17}$$

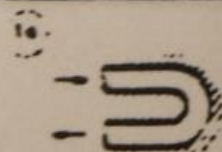
(By Gibson)



Bends:

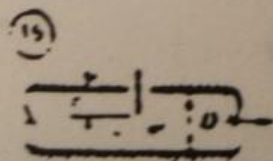
$$k = (0.13 + 1.85(r/R)^{1.4}) \sqrt{\alpha^\circ/180^\circ}$$

(By Hinds)



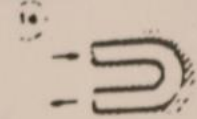
Close return bend:

$$k = 2.2$$



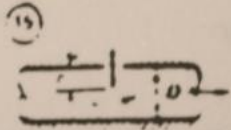
Gate valve:

$e/D =$	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
$k =$	0.15	0.26	0.81	2.06	5.52	17.0	97.8



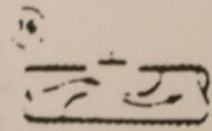
Close return bend:

$$k = 2.2$$



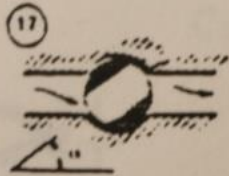
Gate valve:

$e/D =$	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
$k =$	0.15	0.26	0.81	2.06	5.52	17.0	97.8



Globe valve:

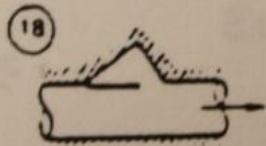
$$k = 10 \quad \text{when fully open}$$



Rotary valve:

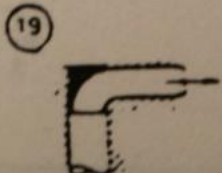
$\alpha^\circ =$	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$k =$	0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	52.6	206	485	∞

(By Agroskin)



Check valves:

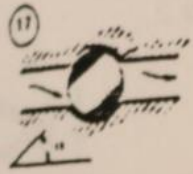
Swing type	$k = 2.5$	When fully open
Ball type	$k = 70.0$	
Lift type	$k = 12.0$	



Angle valve:

$$k = 5.0 \quad \text{if fully open}$$

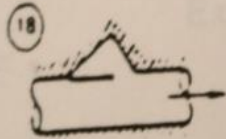
Rotary valve:



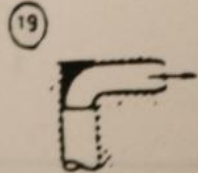
$\alpha^\circ =$	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$k =$	0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	52.6	206	485	∞

(By Agroskin)

Check valves:



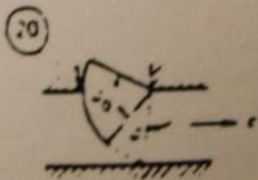
Swing type	$k = 2.5$	When fully open
Ball type	$k = 70.0$	
Lift type	$k = 12.0$	



Angle valve:

$$k = 5.0 \quad \text{if fully open}$$

Segment gate in rectangular conduit:

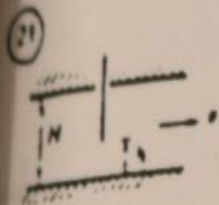


$$k = 0.8 \cdot 1.3 \left[\left(\frac{1}{n} \right) - n \right]^2$$

where $n = \varphi / \varphi_0$ = the rate of opening with respect to the central angle.

(By Abelyev)

Sluice gate in rectangular conduit:

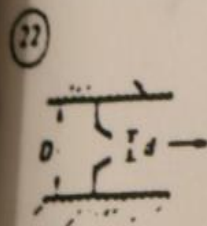


$$k = 0.3 + 1.9 \left[\left(\frac{1}{n} \right) - n \right]^2$$

where $n = h/H$.

(By Burkov)

Measuring nozzle:

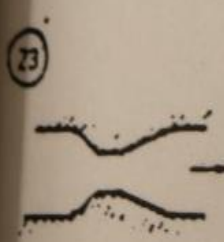


$$E_L = 0.3 \Delta p \quad \text{for} \quad d = 0.8D$$

$$E_L = 0.95 \Delta p \quad \text{for} \quad d = 0.2D$$

where Δp is the measured pressure drop.

(By A.S.M.E.)



Venturi meter:

$$E_L = 0.1 \Delta p \quad \text{to} \quad 0.2 \Delta p$$

where Δp is the measured pressure drop.

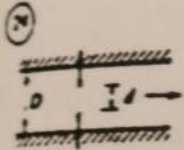
Venturi meter:



$$E_L = 0.1 \Delta p \quad \text{to} \quad 0.2 \Delta p$$

where Δp is the measured pressure drop.

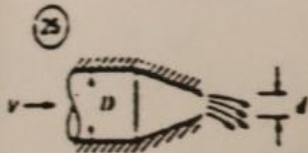
Measuring orifice, square edged:



$$E_L = \Delta p \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right)$$

where Δp is the measured pressure drop.

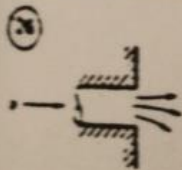
Confusor outlet:



$d/D =$	0.5	0.6	0.8	0.9
$k =$	5.5	4	2.55	1.1

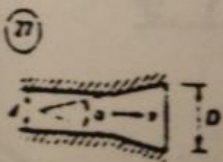
(By Mostkovi)

Exit from pipe into reservoir:



$$k = 1.0$$

Diffusor outlet for $D/d > 2$:



$\alpha^\circ =$	8	15	30	45
$k =$	0.05	0.18	0.5	0.6

(By Mostkovi)

การไหลในท่อยาว (Flow through long pipe)

การหาปริมาณการไหลกรณีมีถัง B ให้คิดค่าสูญเสียพลังงานด้วย

สมมติให้น้ำไหลจากถัง A (ภายใต้เสถียรที่ H) ผ่านท่อ ยาวไปยังถังเก็บน้ำ B (ภายใต้เสถียรที่ B) ที่อยู่ต่ำกว่า ให้ V = ความเร็วของน้ำ (ม/ว)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (ม.)

L = ความยาวของท่อ (ม.)

h_{L1} = เสถียรที่สูญเสียเนื่องจากความเสียดทานท่อ
 $= f L V^2 / (D 2g)$

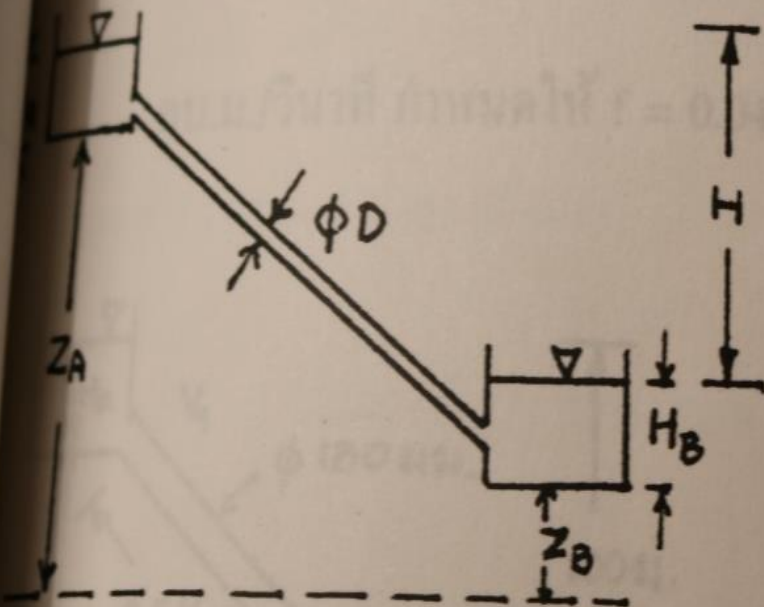
h_{L2} = เสถียรที่สูญเสียเนื่องจากการไหลเข้าท่อ
 $= 0.5 V^2 / 2g$

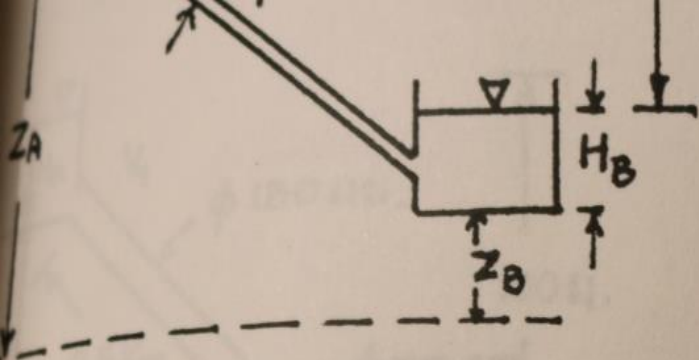
h_{L3} = เสถียรที่สูญเสียเนื่องจากการไหลออกจากท่อ
 $= V^2 / 2g$

สมการพลังงาน ให้

$$P_A = P_B = 0$$

$$Z_A + P_A + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + P_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_{L1} + h_{L2} + h_{L3}$$





สมการพลังงาน ให้

$$P_A = P_B = 0$$

$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + h_{L1} + h_{L2} + h_{L3}$$

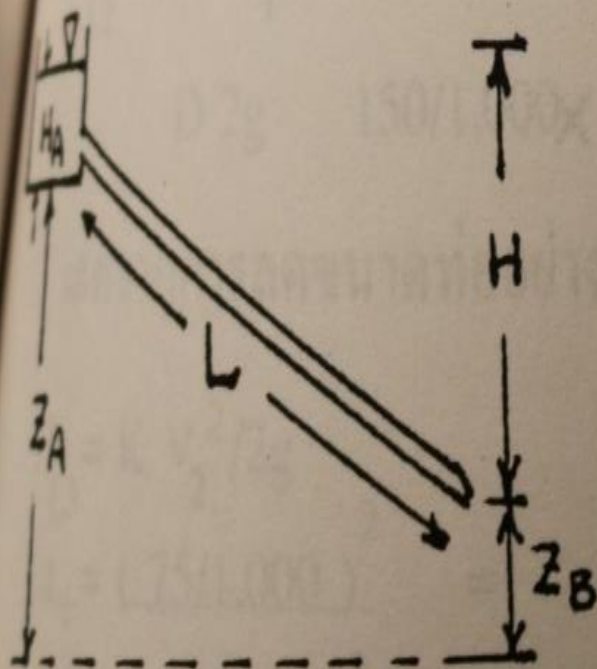
$$(Z_A + H_A) + 0 + 0 = (Z_B + H_B) + 0 + 0 + 0.5 \frac{V^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g}$$

$$H = (Z_A + H_A) - (Z_B + H_B)$$

$$H = \frac{(1.5 + fL)V^2}{D \cdot 2g}$$

ถ้าเรารู้ H จะหาค่า V ได้ และหาค่า Q จากสมการ $Q = VA$

ข. กรณีไม่มถึง B



สมการพลังงานจะเป็นดังนี้

$$Z_A + P_A + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + P_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_{L2} + h_{L1}$$

$$(Z_A + H_A) + 0 + 0 = (Z_B + H_B) + 0 + \frac{V_B^2}{2g} + 0.5 \frac{V^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

ในที่นี้ $V_B = V$ และ $H_A + Z_A - Z_B = H$

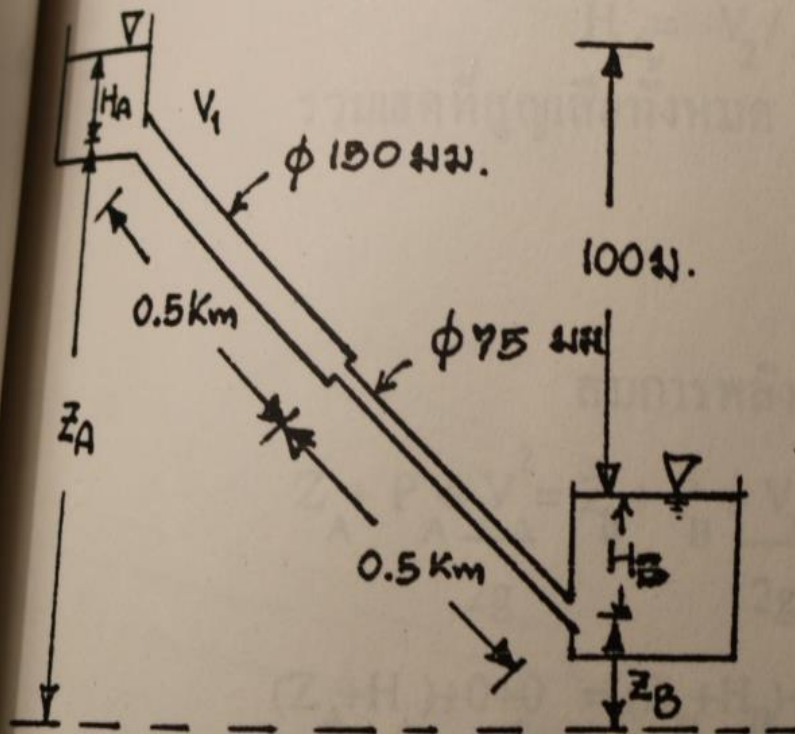
$$H = (1.5 + f \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g}$$

จะหาค่า Q จากค่า V หลังจากรู้ค่า H

EX มีท่อน้ำยาว 1 กม. เชื่อมระหว่างอ่างเก็บน้ำสองแห่ง ด้วยท่อ 2 ขนาดครั้งแรกขนาด 150 มม.

ครึ่งหลังขนาด 75 มม. ระดับของอ่างเก็บน้ำทั้งสองต่างกัน 100 ม. จงหาอัตราการไหลเป็น

ลบ.ม./วินาที กำหนดให้ $f = 0.04$



วิธีทำ

ความสัมพันธ์ของความเร็วในท่อต่างขนาด
จากสมการการไหลต่อเนื่อง

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\frac{\pi d_1^2 V_1}{4} = \frac{\pi d_2^2 V_2}{4}$$

$$V_1 = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 V_2 = \left(\frac{75}{150} \right)^2 V_2 = \frac{1}{4} V_2 \dots \dots \dots$$

ค่าเสดที่สูญเสียมี่

เสดที่สูญเสยจากการไหลเข้าท่อ

$$H_{L1} = 0.5 \frac{V_1^2}{2g} \text{ หรือ } = \frac{0.5 V^2}{16 \times 2g} = 0.03 \frac{V^2}{2g}$$

2. เสดจากแรงเสียดทานในท่อขนาด 150 มม.

$$H_{L2} = \frac{f L V^2}{D 2g} = \frac{0.04 \times 500 \times V^2}{150/1,000 \times 16 \times 2g} = 833 \frac{V^2}{2g}$$

3. เสดจากการลดขนาดท่ออย่างกระทันหัน

$$H_{L3} = K \frac{V_2^2}{2g}$$
$$\frac{a_1}{a_2} = \left(\frac{75/1,000}{150/1,000} \right)^2 = 0.25 \quad \therefore K = 0.43 \text{ (จากตาราง)}$$

$$H = 0.43 \frac{V_2^2}{2g}$$

4. หาค่าแรงเสียดทานในท่อขนาด 75 มม.

$$H_{L4} = f \frac{L}{D} \frac{V_2^2}{2g} = 0.04 \frac{500}{75/1,000} \frac{V_2^2}{2g} = 266.66 \frac{V_2^2}{2g}$$

5. หาค่าการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

$$H_{L5} = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\begin{aligned} \text{รวม head ที่สูญเสียทั้งหมด } \Sigma H &= H_{L1} + H_{L2} + H_{L3} + H_{L4} + H_{L5} \\ &= (0.03 + 8.33 + 0.43 + 266.66 + 1) \frac{V_2^2}{2g} \\ &= 276.45 \frac{V_2^2}{2g} \end{aligned}$$

สมการพลังงานระหว่างจุด A และจุด B

$$Z_A + P_A + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + P_B + \frac{V_B^2}{2g} + \Sigma H$$

$$(Z_A + H_A) + 0 + 0 = (Z_B + H_B) + 0 + 0 + \Sigma H$$

รวม-head ที่สูญเสียทั้งหมด $\Sigma H = H_{L1} + H_{L2} + H_{L3} + H_{L4} + H_{L5}$

$$= (0.03 + 8.33 + 0.43 + 266.66 + 1) \frac{V^2}{2g}$$

$$= 276.45 \frac{V^2}{2g}$$

สมการพลังงานระหว่างจุด A และจุด B

$$Z_A + P_A + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + P_B + \frac{V_B^2}{2g} + \Sigma H$$

$$(Z_A + H_A) + 0 + 0 = (Z_B + H_B) + 0 + 0 + \Sigma H$$

$$(Z_A + H_A) - (Z_B + H_B) = H$$

$$H = \Sigma H_L$$

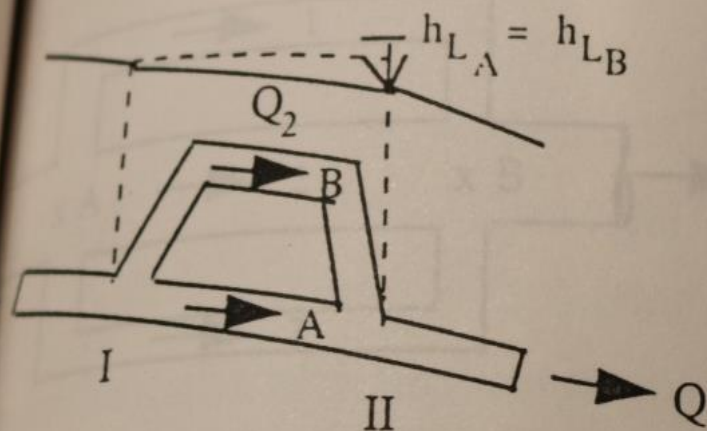
$$100 = 276.45 \frac{V^2}{2g}$$

$$V = 7.10 \text{ m/s}$$

$$Q = AV_2 = \pi/4 (75/1000)^2 \times 7.10 = 0.032 \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots *$$

4. การไหลของน้ำในท่อที่ขนานกัน

ก. กรณีไหลและบรรจบกัน



หลักการในการคิด เนื่องจากการไหลจะมาเชื่อมกัน

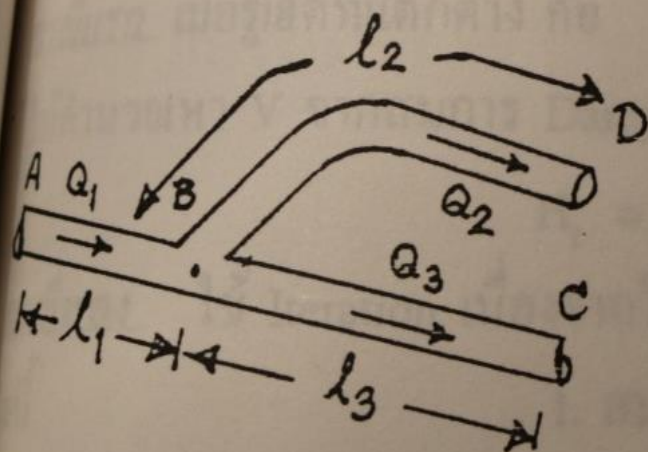
$$h_{LA} = h_{LB}$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

เมื่อ $h_{LA} = f L_1 V_1^2 / 2gD_1$

$$h_{LB} = f L_2 V_2^2 / 2gD_2$$

ข. กรณีไหลแยกเป็นท่อขนาน



เซตที่ทำให้เกิดการไหล

แนว ABD = $H_A - H_D - H_{L1,2}$

แนว ABC = $H_A - H_C - H_{L1,3}$

กำหนดให้ L_1, d_1, V_1 เป็นของท่อ AB

L_2, d_2, V_2 เป็นของท่อ BD

L_3, d_3, V_3 เป็นของท่อ BC

สมการพลังงานระหว่างจุด A และจุด D ; $H_A = H_B + \sum H_L$



L_2, d_2, V_2 เป็นของท่อ BD

L_3, d_3, V_3 เป็นของท่อ BC

สมการพลังงานระหว่างจุด A และจุด D

$$\begin{aligned}
 H_A &= H_B + \sum H_L \\
 &= H_D + f_1 L_1 \frac{V_1^2}{D_1 2g} + f_2 L_2 \frac{V_2^2}{D_2 2g} \\
 H_A - H_D &= f_1 L_1 \frac{V_1^2}{D_1 2g} + f_2 L_2 \frac{V_2^2}{D_2 2g} \quad \dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

สมการพลังงานระหว่างจุด A และจุด C

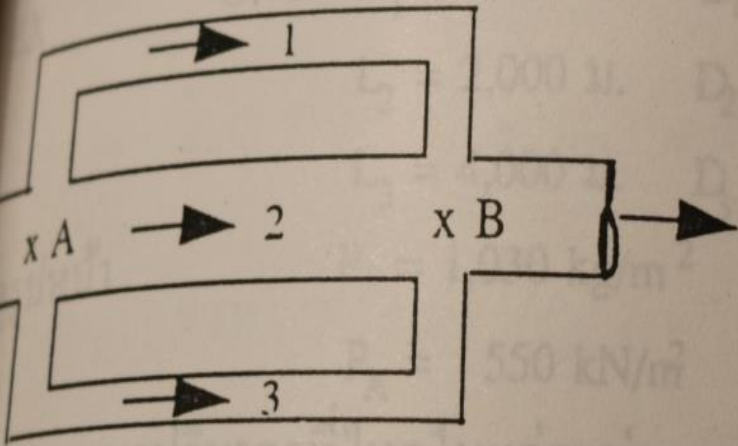
$$\begin{aligned}
 H_A &= H_C + \sum H_L \\
 &= H_C + f_1 L_1 \frac{V_1^2}{D_1 2g} + f_3 L_3 \frac{V_3^2}{D_3 2g} \\
 H_A - H_C &= f_1 L_1 \frac{V_1^2}{D_1 2g} + f_3 L_3 \frac{V_3^2}{D_3 2g} \quad \dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

สมการไหลต่อเนื่อง

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\
 \pi d_1^2 V_1 / 4 &= \pi d_2^2 V_2 / 4 + \pi d_3^2 V_3 / 4 \\
 V_1 d_1^2 &= V_2 d_2^2 + V_3 d_3^2 \quad \dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

จากสมการทั้งสามสมการสามารถหาค่า V_1, V_2, V_3 ได้ เมื่อรวมจะได้ค่า Q

กรณีต่อหลายท่อ



ปริมาณการไหลในแต่ละท่อ จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาด และชนิดของท่อ แต่ถ้า-head ที่สูญเสียในแต่ละท่อจะเท่ากัน

$$H_{L(A-1-B)} = H_{L(A-2-B)} = H_{L(A-3-B)}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

ถ้า $H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} = P_A / \gamma + Z_A - (P_B / \gamma + Z_B)$
เมื่อ Z_A และ Z_B คือ ระดับที่จุด A และจุด B

กรณีแรก เมื่อรู้-head ที่แตกต่างกัน คือ $P_A / \gamma + Z_A - (P_B / \gamma + Z_B) = H_f$
ให้คำนวณหา V จากสมการ Darcy-Weisbach ของแต่ละท่อแล้วนำมาหา Q รวมจากสามท่อ

$$H_f = f L V^2 / D 2g$$

กรณีสอง ใช้ Iteration เนื่องจากไม่รู้ค่าอัตราการไหลและค่า-head สูญเสียของแต่ละท่อที่มีขั้นตอน

1. สมมติค่า Q' เป็นอัตราการไหลในท่อที่ 1 ขึ้นมา

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\text{ถ้า } H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} = P_A / \gamma + Z_A - (P_B / \gamma + Z_B)$$

เมื่อ Z_A และ Z_B คือ ระดับที่จุด A และจุด B

วิธีแรก เมื่อรู้-head ที่แตกต่างกัน คือ $P_A / \gamma + Z_A - (P_B / \gamma + Z_B) = H_f$

หาคำนวณหา V จากสมการ Darcy-Weisbach ของแต่ละท่อแล้วนำมาหา Q รวมจากสามท่อ

$$H_f = f L V^2 / D 2g$$

วิธีสอง ใช้ Iteration เนื่องจากไม่รู้ค่าอัตราการไหลและค่า-head สูญเสียของแต่ละท่อที่มีขั้นตอน

1. สมมุติค่า Q' เป็นอัตราการไหลในท่อที่ 1 ขึ้นมา
2. หาคำนวณค่า h_{L1} จากสมการ Darcy-Weisbach ($h_L = f L V^2 / D 2g$)
3. ใช้ค่า h_{L1} ที่ได้จาก 2 หาคำนวณหา Q'_2 และ Q'_3
4. รวมค่า $\Sigma Q'$ จาก $Q'_1 + Q'_2 + Q'_3$ และเทียบกับ Q ที่รู้
ถ้าต่างกันให้นำค่ามากระจายในแต่ละท่อใหม่

$$Q_1 = \frac{Q'_1 \cdot Q}{\Sigma Q'} \quad Q_2 = \frac{Q'_2 \cdot Q}{\Sigma Q'} \quad Q_3 = \frac{Q'_3 \cdot Q}{\Sigma Q'}$$

5. หาคำนวณค่า Q_1, Q_2, Q_3 ใหม่จากสมการ Darcy-Weisbach ใหม่
จนได้ค่า head loss และ Q รวมเท่ากับโจทย์กำหนดให้

Given $L_1 = 1,000 \text{ ม.}$ $D_1 = 30 \text{ cm}$ $\mathcal{E}_1 = 0.0003 \text{ ม.}$

$L_2 = 2,000 \text{ ม.}$ $D_2 = 20 \text{ cm}$ $\mathcal{E}_2 = 0.0003 \text{ ม.}$

$L_3 = 4,000 \text{ ม.}$ $D_3 = 40 \text{ cm}$ $\mathcal{E}_3 = 0.0002 \text{ ม.}$

$P = 1,030 \text{ kg/m}^2$ $v = 2.7 \times 10^6 \text{ m/s}^2$

$P_A = 550 \text{ kN/m}^2$ $Z_A = 30 \text{ ม.}$ $Z_B = 20 \text{ ม.}$ $Q = 0.34 \text{ m}^3/\text{s}$

จงคำนวณหาปริมาตรที่ไหลในแต่ละท่อและค่าความกดดันที่จุด B

วิธีทำ การหาค่า Q_1 , Q_2 และ Q_3

ขั้นแรก สมมุติค่า $Q'_1 = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$

ขั้นสอง หาค่า H_{f1} $V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{0.1}{\frac{\pi \left(\frac{30}{100} \right)^2}{4}} = 1.4 \text{ m/s}$; $Re_1 = \frac{V_1 D_1}{2} = \frac{1.4 \times 0.3}{2.7 \times 10^{-6}} = 157,190$

$\frac{\mathcal{E}_1}{D_1} = \frac{0.0003}{0.3} = 0.001$ ใต้ $f'_1 = 0.02$

$$D_1 = 0.3$$

$$H_{f1} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 78.2 \text{ m}$$

แทนค่าในสมการ Darcy Weisbach $\left(H_{f1} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0.02 \times \frac{1000}{0.3} \times \frac{(4.8)^2}{2 \times 9.81} = 78.2 \text{ ม.} \right)$

สาม ใช้ค่า H_f ที่หาได้ คำนวณหาค่า Q'_2 และ Q'_3

$$\text{หาค่า } Q'_2 \quad \frac{\epsilon_2}{D_2} = \frac{0.0003}{0.2} = 1.5 \times 10^{-4}$$

$$\text{สมมติ } f'_2 = 0.02 \quad \therefore H'_{f2} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 78.2$$

$$= 0.02 \times \frac{2000}{0.2} \times \frac{V_2^2}{2 \times 9.81} = 78.2$$

$$V_2 = 2.77 \text{ ม/ว}$$

$$\text{หา } Re_2 = \frac{VD}{\nu} = \frac{2.77 \times 0.2}{2.7 \times 10^{-6}} = 2.05 \times 10^5 \rightarrow f = 0.18$$

$$H'_{f2} = 0.18 \times \frac{2000}{0.2} \times \frac{V_2^2}{2 \times 9.81} = 78.2$$

$$V_2 = 0.92 \text{ ม/ว}$$

$$R_2 = 0.92 \times \frac{\pi}{4} (0.2)^2 = 0.029 \text{ ม}^3 / \text{ว}$$

ทำนองเดียวกันก็หาค่า Q_3 ได้สมมุติ $0.12 \text{ m}^3 / \text{s}$

$$Q = \sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0.1 + 0.029 + 0.12 = 0.249 \text{ m}^3 / \text{s}$$

ขั้นที่ 1 ตั้งหา Q ใหม่

$$Q_1 = \frac{Q_1'}{\sum Q} \times Q = \frac{0.1}{0.749} \times 0.34 = 0.137 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_2 = \frac{Q_2'}{\sum Q} \times Q = \frac{0.029}{0.749} \times 0.34 = 0.040 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_3 = \frac{Q_3'}{\sum Q} \times Q = \frac{0.12}{0.749} \times 0.34 = 0.164 \text{ m}^3 / \text{s}$$

คำนวณหาค่า H_f และตรวจสอบให้ $H_{f1} = H_{f2} = H_{f3}$

คำนวณหาค่า H_f และตรวจสอบให้ $H_{f1} = H_{f2} = H_{f3}$

เมื่อได้ค่า $H_{f1} = H_{f2} = H_{f3}$ ที่สอดคล้องกับทฤษฎี สมมติเท่ากับ 60 ม.

$$\bar{H}_f = \frac{1}{3} (H_{f1} + H_{f2} + H_{f3})$$

การหาค่า P_B

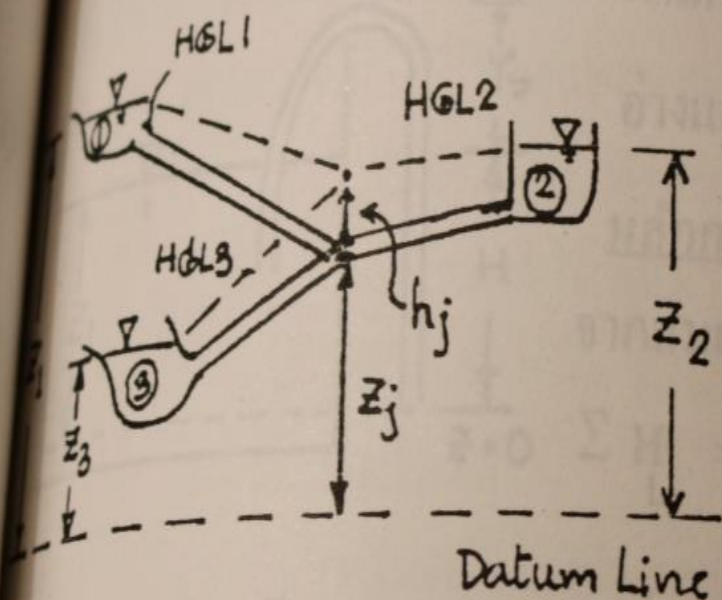
$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + H_f$$

$$\frac{P_B}{\gamma} = \frac{P_A}{\gamma} + Z_A - Z_B - H_f$$

$$= \frac{550 \times 1000}{1030 \times 9.81} + 30 - 20 - 60$$
$$= 4.43 \text{ ม.}$$

$$P_B = \frac{4.43 \times 1030 \times 9.81}{1000} = 44.78 \text{ KN / m}^2$$

กรณีต่อกันหลายท่อโดยมี head ที่ต่างกัน



กำหนดให้ Z_1, Z_2, Z_3 : ระดับผิวน้ำของทั้งสามอ่างเก็บน้ำ

Z_j : ระดับของจุดร่วมท่อทั้งสามเส้น

h_j : ความดันที่จุดร่วม j

การหาอัตราการไหล

1. สมมุติระดับ

$$H_j = Z_j + h_j \quad \text{หรือ} \quad Z_j + P_j / \gamma$$

2. คำนวณอัตราการไหลในแต่ละท่อ จากสมการ Darcy Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \rightarrow V^2 = \frac{2gD}{fL} \times h_f \rightarrow V A = \sqrt{\frac{A^2 2gD}{fL}} \times \sqrt{h_f} \quad \text{และ} \quad Q = \sqrt{\frac{h_f}{K}} \quad \text{เมื่อ} \quad K = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5}$$

$$f \frac{L V^2}{D 2g} \rightarrow V^2 = \frac{2gD}{fL} \times h_f \rightarrow VA = \sqrt{\frac{A^2 2gD}{fL}} \times \sqrt{h_f} \text{ และ } Q = \sqrt{\frac{h_f}{K}} \text{ เมื่อ } K = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5}$$

ตรวจสอบผลรวมอัตราการไหลเข้าและออกจากจุดรวม

ถ้า $\Sigma Q \text{ เข้า} = \Sigma Q \text{ ออก}$ จะได้คำตอบ Q_1, Q_2 และ Q_3

ถ้า $\Sigma Q \text{ เข้า} \neq \Sigma Q \text{ ออก}$ ให้สมมติ H_j ใหม่ แล้วทำข้อ 2 ใหม่

จนกว่าจะได้ $\Sigma Q \text{ เข้า} = \Sigma Q \text{ ออก}$

FLOW CHART

สมมติ $H_j = Z_j + h_j$ (I) $\therefore Q = \sqrt{H_f/K}$

$$\therefore Q = \sqrt{[Z - (Z_j + H_j)]/K_1}$$

ถ้า $Z_j + H_j > Z_2$ $Q_2 = \sqrt{[(Z_j + H_j) - Z_2]/K_2}$

จนกว่าจะ ได้ $\Sigma Q \text{ เข้า} = \Sigma Q \text{ ออก}$

FLOW CHART

ถ้า $H_j = Z_j + h_j$ (I) $\therefore Q = \sqrt{H_f/K}$

$$\therefore Q = \sqrt{[Z - (Z_j + H_j)]/K_1}$$

ถ้า $Z_j + H_j > Z_2$ $Q_2 = \sqrt{[(Z_j + H_j) - Z] / K_2}$

ถ้า $Z_j + H_j = Z_2$ $Q_2 = 0$

ถ้า $Z_j + H_j < Z_2$ $Q_2 = \sqrt{[Z_2 + (H_j - Z_j)] / K_2}$

$$Q_3 = \sqrt{[(Z_j + H_j) - Z_3] / K_3}$$

(II) ตรวจสอบ $Q_{in} = Q_{out}$

ถ้า $Z_j + H_j > Z_2$ $Q_1 = Q_2 + Q_3$

ถ้า $Z_j + H_j = Z_2$ $Q_1 = Q_2$

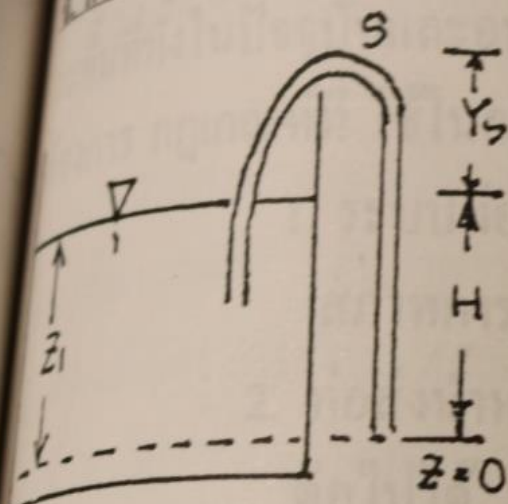
ถ้า $Z_j + H_j < Z_2$ $Q_1 + Q_2 = Q_3$

← ไม่ใช้

ใช้

→ ตอบ

กาลักน้ำ (Syphon)



กาลักน้ำ คือ ระบบที่ท่อน้ำสามารถยกน้ำให้สูงกว่าระดับน้ำในอ่างและให้ไหลออกจากท่อในระดับที่ต่ำกว่าได้

หลักการคิด

จากสมการพลังงาน $Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum H_L$

$\sum H_L$ = ความสูญเสียจาก(การไหลเข้าท่อ+ความเสียดทานในท่อ+ความโค้งงอของท่อ+จุดระบายออก)

ถ้า datum line อยู่ที่ระดับปลายท่อ

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + K \frac{V_2^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V_2^2}{2g}$$

$$0 + H + 0 = 0 + 0 + \frac{V_2^2}{2g} + K \frac{V_2^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H = (1 + K + fL / D) \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots(1)$$

(:สปส.แห่งการสูญเสียอื่น ๆ

ความดันที่จุดสูงสุด

$$+0+0 = Z_s + (1 + K' + f \frac{L'}{D}) \frac{V_s^2}{2g} + \frac{P_s}{\gamma}$$

$$\frac{P_s}{\gamma} = (Z_1 - Z_s) - (1 + K' + f \frac{L'}{D}) \frac{V_s^2}{2g} = -(Z_s - Z_1) - (1 + K' + f \frac{L'}{D}) \frac{V_s^2}{2g}$$

$$\frac{P_s}{\gamma} = -Y_s - (1 + K + fL / D) \frac{V_s^2}{2g}$$

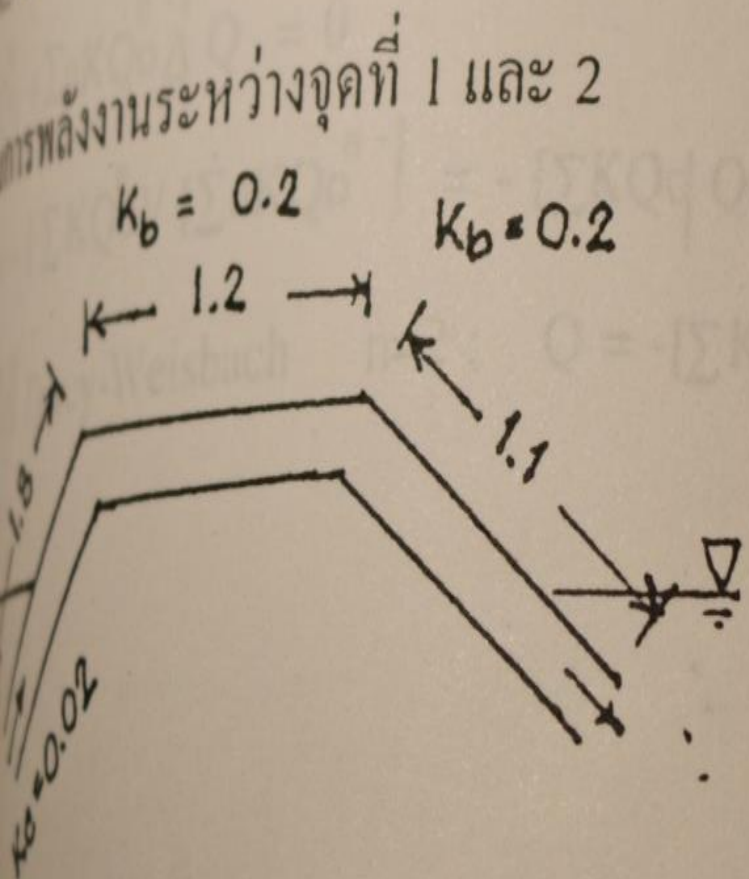
การปฏิบัติ เมื่อใดที่ความกดดันที่จุดสูงสุดของกาลักน้ำลดลงใกล้เคียงกับความดันของไอน้ำ

ระบบกาลักน้ำจะใช้ไม่ได้

ในการส่งน้ำเพื่อการชลประทานโดยวิธีไซฟ่อน ใช้ท่อขนาด 100 มม. ถ้าระดับน้ำต่าง

0.3 ม. $f = 0.02$ จงหาอัตราการไหลในท่อ

ในการส่งน้ำเพื่อการชลประทานโดยวิธีไฮดรอน ใช้ท่อขนาด 100 มม. ถ้าระดับน้ำต่าง
 ม. $f = 0.02$ จงหาอัตราการไหลในท่อ



$$P_1/\gamma + V_1^2/2g + Z_1 = P_2/\gamma + V_2^2/2g + Z_2 + \sum H_L$$

$$0 + 0 + 0.3 = 0 + 0 + 0 + \sum H_L$$

$$0.3 = K_c V^2/2g + 2K_b V^2/2g + fL V^2/2gD + V^2/2g$$

$$0.3 = (K_c + 2K_b + fL/D + 1) v^2/2g$$

$$V = 1.57 \text{ m/s}$$

$$Q = \frac{\pi (0.1)^2 \times 1.57}{4} = 0.012 \text{ cms Ans}$$

ในการออกแบบระบบท่อประปาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ต้องคำนึงถึงความต้องการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ทั้งในปัจจุบันและอนาคต ระบบท่อที่วางไว้จะต้องสามารถแจกจ่ายน้ำให้เพียงพอกับความ
ต้องการ กฎเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ

1. ระบบท่อส่งน้ำควรเป็นโครงข่าย เพื่อให้มีการกระจายความดันในถึงและเกิดสภาพการไหลสม่ำเสมอ ช่วยลดขนาดท่อและปัญหาตะกอน
2. ท่อส่งน้ำหลัก ถ้าปลายท่อตัด ควรมีหน้าแปลนปิดไว้ เพื่อสามารถขยายระบบต่อไปได้
3. ความดันในท่อ จะต้องไม่เกินความดันสูงสุดที่ท่อรับได้
4. ความเร็วของของไหลในท่อ ควรจะมากกว่า 0.6 ม/ว และไหลไม่เกินชนิดของท่อที่ใช้

หลักการคำนวณการไหลในโครงข่ายท่อ (แบบ Hardy Cross)

1. หลักการไหลแบบต่อเนื่อง $\Sigma Q \text{ เข้า} = \Sigma Q \text{ ออก}$ (1)
2. หลักอนุรักษ์พลังงาน ผลรวมทางพีชคณิตของการสูญเสียความดันในแต่ละวงรอบปิด (Loop) จะเท่ากับศูนย์ $\Sigma H_f = 0$ (2)
3. การสูญเสียความดันมีความสัมพันธ์กับการไหล $H_f = KQ^n$ (3)

เช่นกรณี Darcy-Weisbach

$$H_f = KQ^n$$

$$H_f = [f L / 2g A D] Q^2$$

หลักจากรู้ข้อมูลพื้นฐานของท่อแล้ว

สมมุติการไหลในแต่ละท่อ (Q_0)

แล้วคำนวณปรับแก้ของอัตราการไหลในแต่ละวงรอบ ΔQ การหา ΔQ หาได้ดังนี้

อัตราการไหล $Q = Q_0 + \Delta Q$

ในแต่ละวงรอบปิด $\Sigma H_f = \Sigma K(Q_0 + \Delta Q)^n = 0$

กระจายผลรวม H_f แบบอนุกรมจะได้ $\Sigma KQ_0^n = \Sigma KQ_0^{n-1} \Delta Q + (n-1)(1/2) \Sigma n KQ_0^{n-2} (\Delta Q)^2 + \dots$

เมื่อ ΔQ มีค่าน้อย เทอม $\Delta Q^2, \Delta Q^3$ มีค่าเข้าใกล้ 0 จึงตัดเทอมที่มีเลขกำลังมากกว่า 2 ออกจะได้

หลังจากรู้ข้อมูลพื้นฐานของท่อแล้ว

สมมุติการไหลในแต่ละท่อ (Q_0) แล้วคำนวณปรับแก้ของอัตราการไหลในแต่ละ

อัตราการไหล $Q = Q_0 + \Delta Q$

ในแต่ละวงรอบปิด $\sum H_f = \sum K(Q_0 + \Delta Q)^n = 0$

กระจายผลรวม H_f แบบอนุกรมจะได้ $\sum KQ_0^n = \sum KQ_0^{n-1} \Delta Q + (n-1)(1/2) \sum nKQ_0^{n-2} \Delta Q^2 + \dots$

เมื่อ ΔQ มีค่าน้อย เทอม $\Delta Q^2, \Delta Q^3$ มีค่าเข้าใกล้ 0 จึงตัดเทอมที่มีเลขกำลังมากออก จะได้

$$\sum KQ_0^n + \sum nKQ_0^{n-1} \Delta Q = 0$$

$$\Delta Q = -[\sum KQ_0^n] / [\sum nKQ_0^{n-1}] = -[\sum KQ_0^n] / [\sum nKQ_0^{n-1}]$$

กรณีใช้ Darcy-Weisbach $n=2$; $Q = -[\sum KQ_0 Q_0] / [\sum 2KQ_0] \dots\dots*$

ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงข่ายท่อ

1. คำนวณ K ในแต่ละท่อจาก $K = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$
2. แบ่งระบบท่อออกเป็นวงรอบ พร้อมทั้งกำหนดทิศทางการไหลในแต่ละวงรอบโดยให้ทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีอัตราการไหลเป็นบวก
3. สมมติอัตราการไหลในแต่ละท่อ Q_0 โดยให้ $\sum Q \text{ เข้า} = \sum Q \text{ ออก}$ ในแต่ละจุดรวม
4. คำนวณการสูญเสียพลังงานในแต่ละเส้นท่อจาก $H_f = KQ_0|Q_0|$
5. ในแต่ละวงรอบปิด คำนวณ
 - ก. ผลรวมการสูญเสียพลังงาน $\sum H_f = \sum KQ_0|Q_0|$
 - ข. ผลรวม $\sum 2 K Q$

6. คำนวณค่าปรับแก้ Q ในแต่ละวงรอบจาก

$$\Delta Q = \frac{-\sum KQ_0|Q_0|}{\sum 2 K|Q_0|}$$

ถ้า $\Delta Q = 0$ แสดงว่า ค่า Q_0 ที่สมมติขึ้นถูกต้อง

ถ้า $\Delta Q \neq 0$ ต้องนำไปปรับแก้ใหม่จากสมการ $Q = Q_0 + \Delta Q$

และนำค่า Q เป็นอัตราการไหลสมมติใหม่ ไปคำนวณในขั้นตอนที่ 4 ถึง 6 ใหม่ จนกว่าจะได้ $\Delta Q = 0$ จึงจะได้อัตราการไหลที่ถูกต้อง

จงหาอัตราการไหลในท่อเหล็กหล่อแต่ละเส้นดังรูป

กำหนดให้

ท่อ	1	2	3	4	5	6
L(m)	500	300	250	400	850	750
D(m)	0.8	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4

ท่อเหล็กหล่อมี $\epsilon = 0.25$ มม.

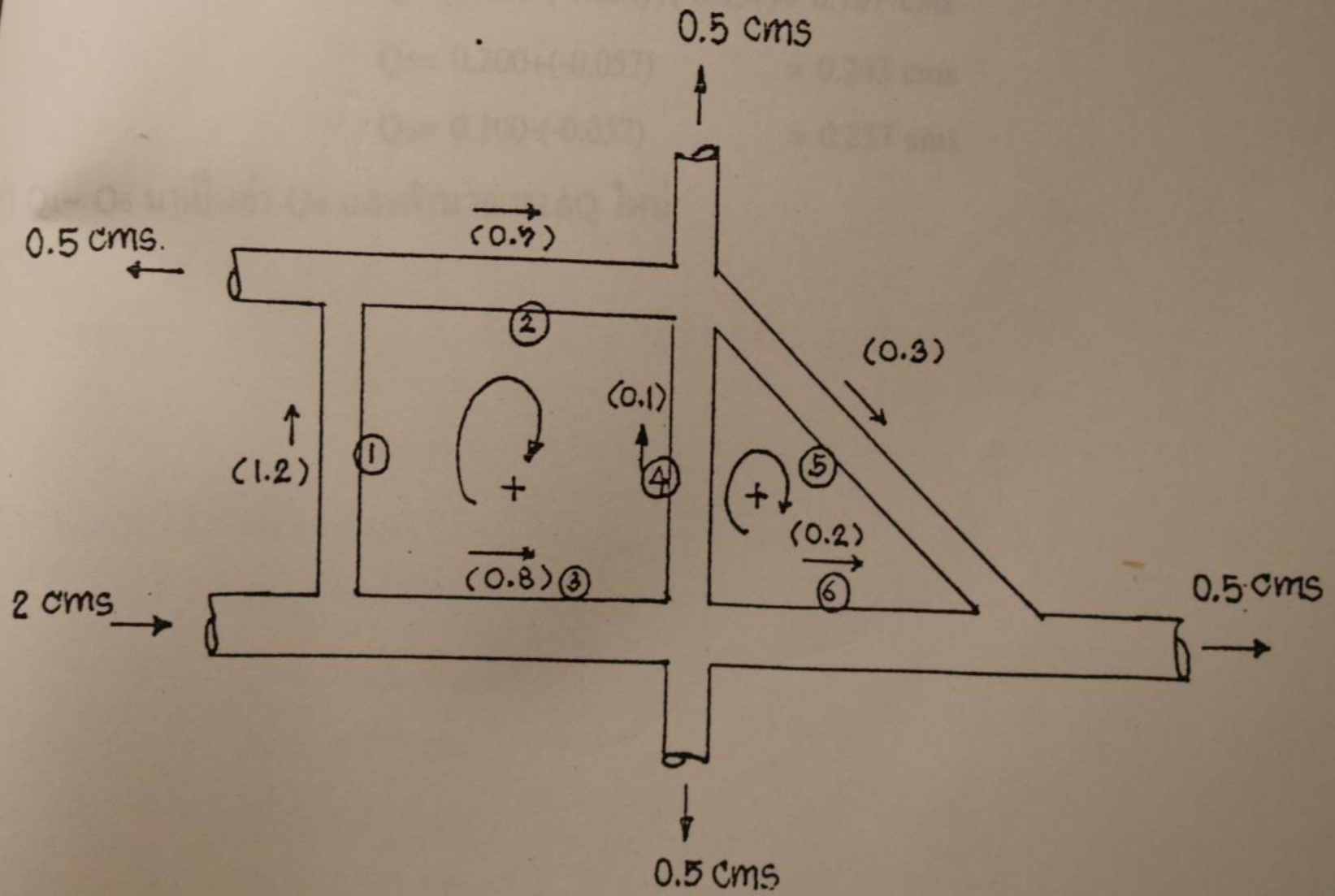
ให้ Darcy-Weisbach ในการหา head loss

คำนวณหาค่า ϵ/D และ $K = 8fL / (g\pi D^5)$

ท่อ	L(m)	D(m)	(mm)	ϵ / D	f	K
1	500	0.8	0.25	0.000312	0.015	1.891
2	300	0.6	0.25	0.000416	0.016	5.100
3	250	0.6	0.25	0.000416	0.016	4.250
4	400	0.4	0.25	0.000625	0.018	58.097
5	850	0.4	0.25	0.000625	0.018	123.456
6	750	0.4	0.25	0.000625	0.018	108.931

check ΣQ ออก = ΣQ เข้า = 2.0 cms ก่อน

สมมติ Q_0 ในแต่ละท่อ โดยใช้หลัก ΣQ เข้า = ΣQ ออก ในแต่ละจุดรวม



ขั้นที่ 2 คำนวณหา ΔQ

วงรอบ	ทอ	K	Q_0	KQ_0/Q_0	$K Q_0 $	$\Delta Q(\text{cms})$
I	1	1.891	1.200	2.723	4.539	$\Delta Q_I = -1.921$ 30.099 $= -0.064$
	2	5.100	0.700	2.499	7.141	
	3	4.250	-0.800	-2.720	6.801	
	4	58.097	-0.100	-0.581	11.619	
				1.921	30.099	
II	4	58.097	0.100	0.581	11.619	$\Delta Q_{II} = -7.335$ 123.255 $= -0.057$
	5	123.456	0.30	11.111	74.073	
	6	108.931	-0.20	-4.357	43.573	
				7.335	129.265	

จะเห็นได้ว่า $\Delta Q_I = -0.064 \text{ cms}$ และ $\Delta Q_{II} = -0.057 \text{ cms}$ จะต้องมีการปรับแก้
 จากสมการ $Q = Q_0 + \Delta Q$

$$Q_I = 1.2 + (-0.064) = 1.136 \text{ cms}$$

II	3	4.230	-0.800	-2.720	6.801	30.099
	4	58.097	-0.100	-0.581	11.619	= -0.064
				1.921	30.099	
	4	58.097	0.100	0.581	11.619	$\Delta Q_{II} = -7.335$
	5	123.456	0.30	11.111	74.073	123.255
	6	108.931	-0.20	-4.357	43.573	= -0.057
				7.335	129.265	

เห็นได้ว่า $\Delta Q_I = -0.064$ cms และ $\Delta Q_{II} = -0.057$ cms จะต้องมีการปรับแก้
จากสมการ $Q = Q_0 + \Delta Q$

$$Q_1 = 1.2 + (-0.064) = 1.136 \text{ cms}$$

$$Q_2 = 0.3 + (-0.064) = 0.636 \text{ cms}$$

$$Q_3 = 0.8 + (-0.064) = 0.864 \text{ cms}$$

$$Q_4 = 0.100 - (-0.064) + (-0.057) = 0.107 \text{ cms}$$

$$Q_5 = 0.300 + (-0.057) = 0.243 \text{ cms}$$

$$Q_6 = 0.100 - (-0.057) = 0.257 \text{ cms}$$

นำค่า $Q_1 \sim Q_6$ มาเป็นค่า Q_0 และคำนวณหา ΔQ ใหม่

ชั้นที่ n

วงรอบ	ท่อ	K	Q _o	KQ _o Q _o	K Q _d	Δ Q(cms)
					I	Δ
						Δ

จะได้ $\Delta Q_I = -0.012$ cms และ $\Delta Q_{II} = -0.006$ cms

จึงต้องนำมาปรับแก้ใหม่


$$\Delta Q_I = 0.002$$

$$\Delta Q_{II} = 0.002$$

ท้ายสุดได้ $Q_1 = 1.114 \text{ cms}$

$$Q_2 = 0.614 \text{ cms}$$

$$Q_3 = 0.886 \text{ cms}$$

$$Q_4 = 0.123 \text{ cms}$$

$$Q_5 = 0.237 \text{ cms}$$

$$Q_6 = 0.263 \text{ cms}$$

ถ้าทำให้น้ำที่ไหลในท่อยาว ๆ หยุดไหลโดยกระทันหันโดยวิธีปิดวาล์ว หรือวิธีอื่น ๆ จะทำให้เกิด ความกดดันเพิ่มขึ้นอย่างกระทันหัน ทั้งนี้เนื่องจากโมเมนตัมของมวลน้ำ ที่เคลื่อนที่จะถูกทำลายลง ขณะเดียวกันก็จะทำให้เกิดคลื่นเนื่องจากความกดดันที่ส่งไปตามท่อซึ่งจะทำให้เกิดเสียงเคาะขนาดของความดันนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการปิดวาล์วและความยาวของท่อความกดดันที่เพิ่มขึ้นอย่างกระทันหันนี้ เรียกว่า วอเตอร์แฮมเมอร์

เมื่อกำหนดให้

l : ความยาวของท่อ (ม)

a : พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตรม.)

ถ้าให้มวลของน้ำที่ไหลไปด้วยความเร็ว v ม/ว และมีการปิดวาล์วเพื่อไม่ให้น้ำไหล

$$a = dv/dt = v/t \quad \text{ม/ว}^2$$

$$m = W/g = \gamma a l / g \quad \text{กก.}$$

แรง = มวลของน้ำ อัตราเร่ง

$$= \gamma a l \times v$$

$$g \times t$$

$$\text{ความกดดันบนวาล์ว (P)} = \frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}} = \gamma a l V / (g t a) \quad \text{N/m}^2$$

ความกดดันบนวาล์ว (P) = $\frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}} = \gamma \text{ al } V/(gt\alpha) \quad \text{N/m}^2$

$$P = \frac{\gamma \text{ lv}}{gt} \dots \dots \dots *$$

ท่อน้ำท่อนึ่งยาว 2 กม. ความเร็วของกระแสน้ำเท่ากับ 1.5 ม/ว ที่ปลายท่อนึ่งวาล์วติดตั้งไว้
 ท่อนึ่งตัว เมื่อปิดวาล์ว จะปิดด้วยความเร็วที่ทำให้เกิดอัตราความหน่วงของน้ำลดลงสม่ำเสมอ จง
 คำนวณ หาความกดดันที่เพิ่มขึ้นบนวาล์ว ถ้าวาล์วปิดสนิทในเวลา ก. 20 วินาที ข. 1 วินาที
 ก. กรณีปิดวาล์วใน 20 วินาที

$$\text{จาก } P = \frac{\gamma \text{ lv}}{gt} = \frac{1,000 \times 9.8 \times 2,000 \times 1.5}{9.8 \times 20} = 150 \text{ kN/m}^2$$

ข. กรณีปิดวาล์วใน 1 วินาที

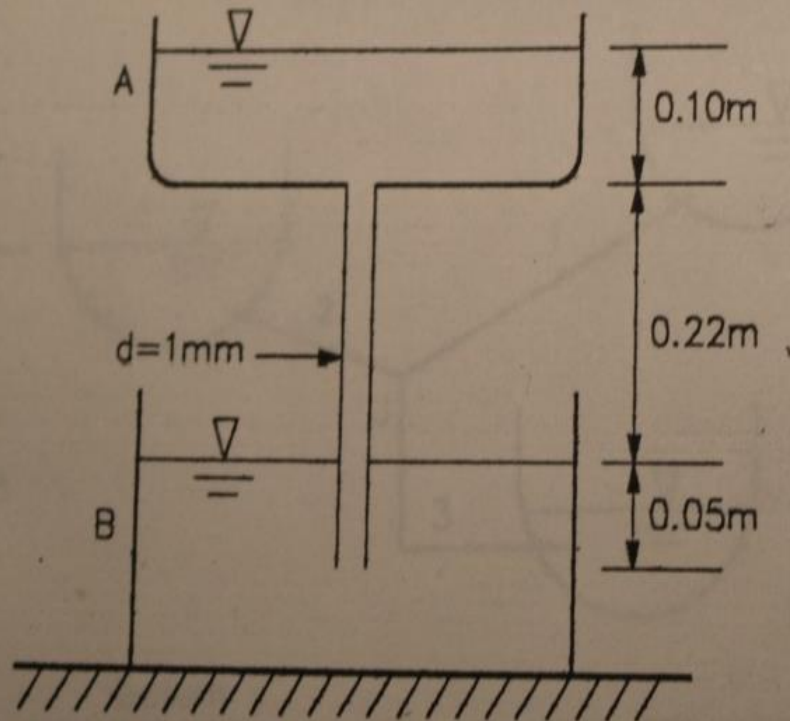
$$\text{จาก } P = \frac{\gamma \text{ lv}}{gt} = \frac{1,000 \times 9.8 \times 2,000 \times 1.5}{9.8 \times 1} = 3,000 \text{ kN/m}^2$$

กระวังวาล์วหรือท่อแตกอันเกิดจากปรากฏการณ์ Water Hammer

Homework Hydraulics L 13

1. Water at 40°C flow from tank A to tank B as shown in the figure below .

Find the volumetric flow neglecting entrance losses to the capillary tube as well as entrance losses.



1. (p.208)

จากสมการพลังงานจุด A และจุด B

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

$$0 + 0 + (0.22+0.10) = 0 + 0 + 0 + h_f$$

$$h_f = 0.32 \text{ m}$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{64}{\text{Re}}$$

$$h_f = \frac{125 \mu L Q}{\pi^2 \rho g D^4}$$

แทนค่า

$$0.32 = \frac{128 \times 6.514 \times 10^{-4} \times (0.22+0.08) Q}{\pi^2 \times 992 \times 9.81 \times 0.001^4}$$

$$Q = 3.912 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Check Reynold's number } \text{Re} = VD/V$$

$$V = Q/A$$

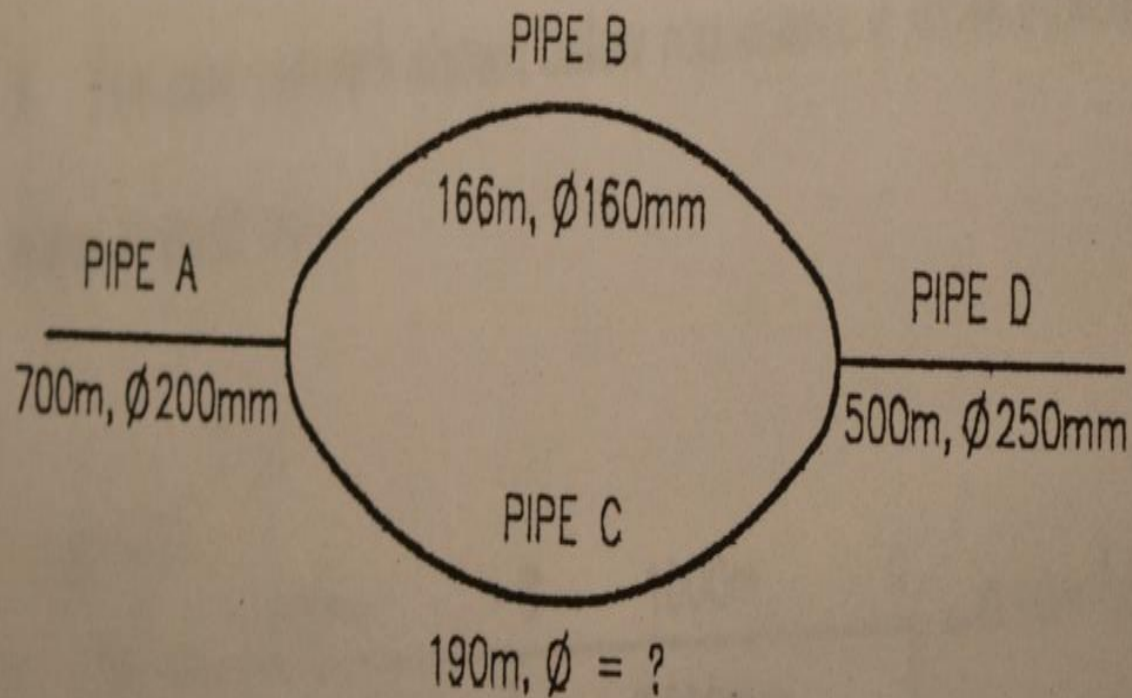
$$= 3.912 \times 10^{-7} / (\pi/4 \times 0.001^2)$$

$$= 0.4981 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 0.4981 \times 0.001 = 756 \text{ Laminar}$$

$$\frac{6.51 \times 10^{-4}}{992}$$

2. If the flow rate of water through the pipe system shown in the figure below .
is $0.050 \text{ m}^3/\text{s}$ under total head loss of 9 cm. Determine the diameter of pipe.



2. (p.279)

$$\text{From William Hazen } V = 0.8792CR^{0.45}S^{0.52}$$

$$Q = AV$$

ขนาดของท่อ $D_A = 0.2 \text{ m}$, $Q_A = 0.45 \text{ m}^3/\text{sec}$

จะได้ $S = 0.015 \text{ m/m}$

$$h_{fA} = 0.015 \times 300 = 4.5 \text{ m}$$

$$D_D = 250 \text{ mm} , Q_D = 0.05 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$h_{fD} = 0.004 \times 500 = 2.0 \text{ m}$$

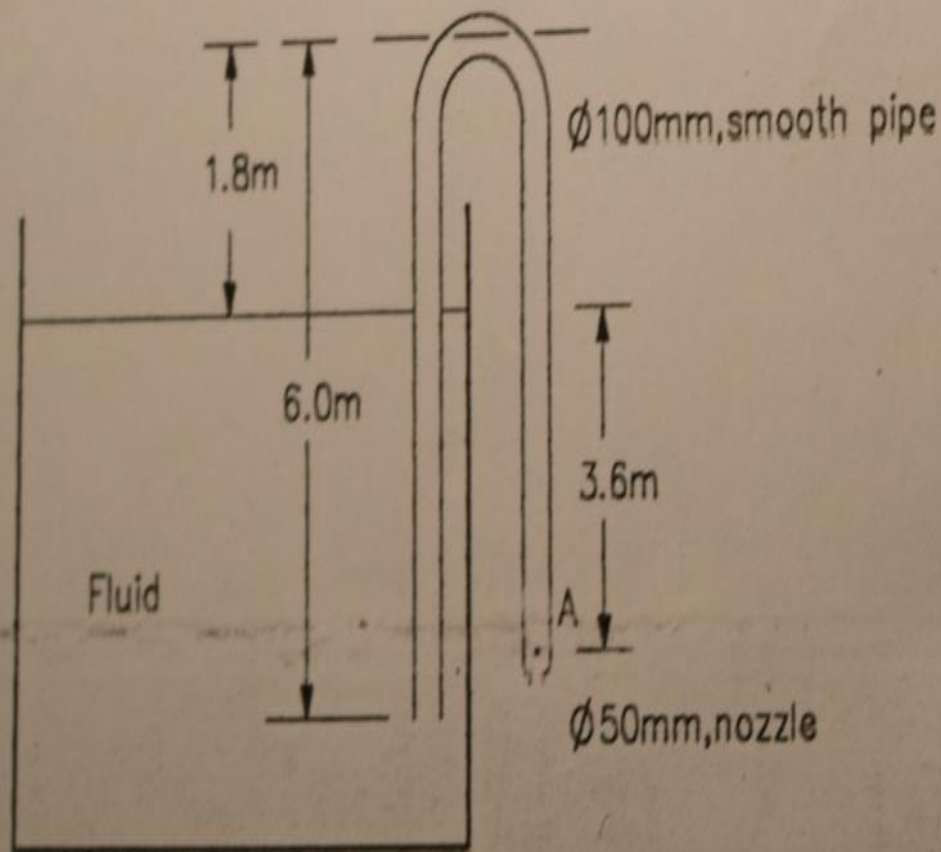
$$h_B = h_{fC} = 2.0 \text{ m}$$

$$h_{fD} = 2/266 = 0.0075 \text{ m/m} , Q_B = 0.009 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$, Q_C = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_C = 150 \text{ mm}$$

3. Find the discharge through the siphon (see the figure below) as well as the minimum pressure in the system. Use minor loss coefficient of 1.0 for the entrance, 0.1 for the nozzle and 2.2 for the bend. (Fluid s.g = 0.81 , $\mu = 0.01 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)



3.

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้ } V &= \text{ความเร็วในท่อ} \\ V_2 &= \text{ความเร็วผ่านหัวฉีด} \\ V_2 &= 4 V \end{aligned}$$

จากสมการพลังงาน

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

$$h_f = \frac{f L V^2}{D 2g} = 5.812 f V^2$$

$$h_m = \frac{k V^2}{2g} = \frac{(1.0+2.2) V^2}{2g} + \frac{0.1 V_2^2}{2g}$$

$$= 0.2447 V^2$$

$$h_L = h_f + h_m$$

แทนค่าลงในสมการพลังงาน

$$0 + 0 + (6-1.8) = 0 + \frac{V^2}{2g} + (6-1.8-3.6) + h_L$$

แทนค่าลงในสมการพลังงาน

$$0 + 0 + (6-1.8) = 0 + \frac{V^2}{2g} + (6-1.8-3.6) + h_L$$

$$V = \sqrt{3.6 / (5.812f + 1.060)}$$

Ass. $f = 0.003$ $V = 1.708$ m/s

$$Re = \frac{\rho DV}{\mu} = \frac{0.81 \times 1000 \times 0.1 \times 1.708}{0.01}$$

$$= 6.38 \times 10^4$$

$$f = 0.028$$

Ass. $f = 0.028$ $V = 1.716$ m/s

$$f = 0.027 \quad \text{OK}$$

$$Q = VA = 1.716 \times \pi / 4 \times 0.1^2$$

$$= 0.0135 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \sqrt{3.6 / (5.812f + 1.060)}$$

$$\text{Ass. } f = 0.003$$

$$V = 1.708 \quad \text{m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho DV}{\mu} = \frac{0.81 \times 1000 \times 0.1 \times 1.708}{0.01}$$

$$= 6.38 \times 10^4$$

$$f = 0.028$$

$$\text{Ass. } f = 0.028$$

$$V = 1.716 \quad \text{m/s}$$

$$f = 0.027 \quad \text{OK}$$

$$Q = VA = 1.716 \times \pi / 4 \times 0.1^2$$

$$= 0.0135 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

ค่า Minimum pressure ณ จุดที่ 3

ใช้สมการ Bernoulli ที่จุดที่ 1 กับ จุดที่ 3

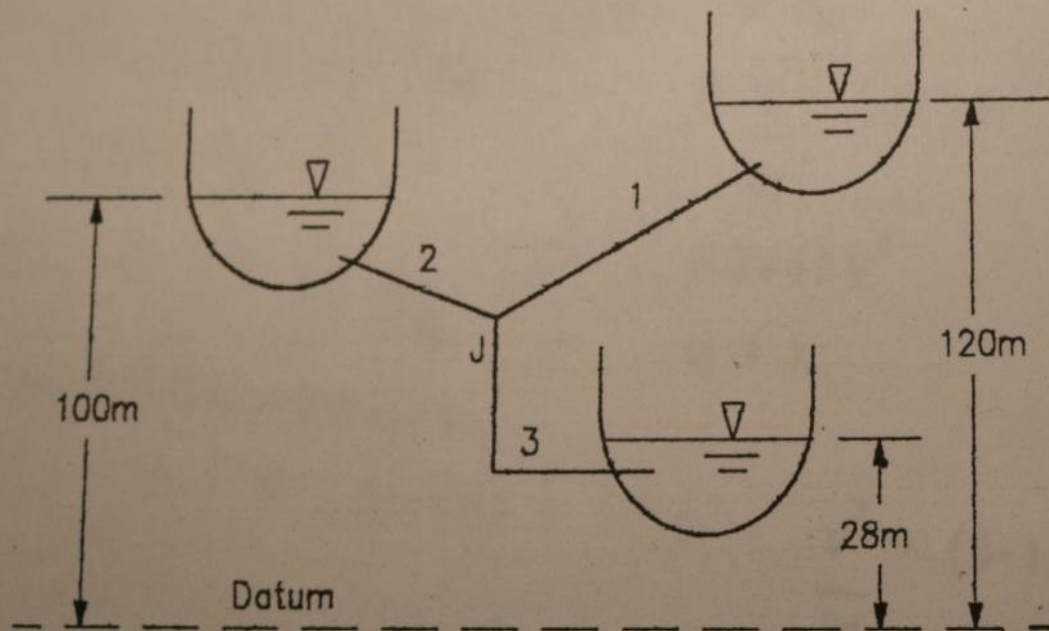
$$h_L = h_f + h_m = 0.7326 \quad \text{m}$$

$$0 + 0 + 0 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + 1.8 + 0.7326$$

$$P_3 = -21.3 \quad \text{kPa}$$

4. The three-cistern system (see the figure below) contains water at 5 °C compute the three volumetric flows.

Given $L_1 = 2000 \text{ m.}$, $L_2 = 2000 \text{ m.}$, $L_3 = 2500 \text{ m.}$; $D_1 = 1.0 \text{ m.}$,
 $D_2 = 0.6 \text{ m.}$, $D_3 = 1.2 \text{ m.}$, $\frac{\varepsilon_1}{D_1} = 0.00015$, $\frac{\varepsilon_2}{D_2} = 0.001$, $\frac{\varepsilon_3}{D_3} = 0.002$



4.

สมมติให้ค่าความดันที่จุด J เป็น h_J

$$\text{กำหนดให้ } h_J = Z_J + \frac{P_J}{\gamma}$$

$$= 80 \text{ m}$$

$$h_f = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

$$120 - 80 = \frac{f_1 2000 V_1^2}{1 2g}$$

$$100 - 80 = \frac{f_2 2300 V_2^2}{0.6 2g}$$

$$80 - 28 = \frac{f_3 2500 V_3^2}{1.2 2g}$$

Ass. $f_1 = 0.013$, $f_2 = 0.020$, $f_3 = 0.023$ จะได้

$$V_1 = 5.494 \text{ m/s} \quad Q_1 = \pi/4 \times 1.0^2 \times 5.494 = 4.315 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ass. $f_1 = 0.013$, $f_2 = 0.020$, $f_3 = 0.023$ จะได้

$$V_1 = 5.494 \text{ m/s} \quad Q_1 = \pi/4 \times 1.0^2 \times 5.494 = 4.315 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_2 = 2.262 \text{ m/s} \quad Q_2 = \pi/4 \times 0.6^2 \times 2.262 = 0.639 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_3 = 4.614 \text{ m/s} \quad Q_3 = \pi/4 \times 1.2^2 \times 4.614 = 5.218 \text{ m}^3/\text{s}$$

ตรวจสอบกับสมการต่อเนื่อง

$$Q_1 + Q_2 = 4.315 + 0.639 = 4.954 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{แต่ } Q_3 = 5.218 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s = (Q_1 + Q_2) - Q_3 = -0.264$$

$$\text{ให้ลดค่า } h_j \text{ เหลือ } 76 \text{ m.} \quad \text{จะได้ค่า } s = 0.213$$

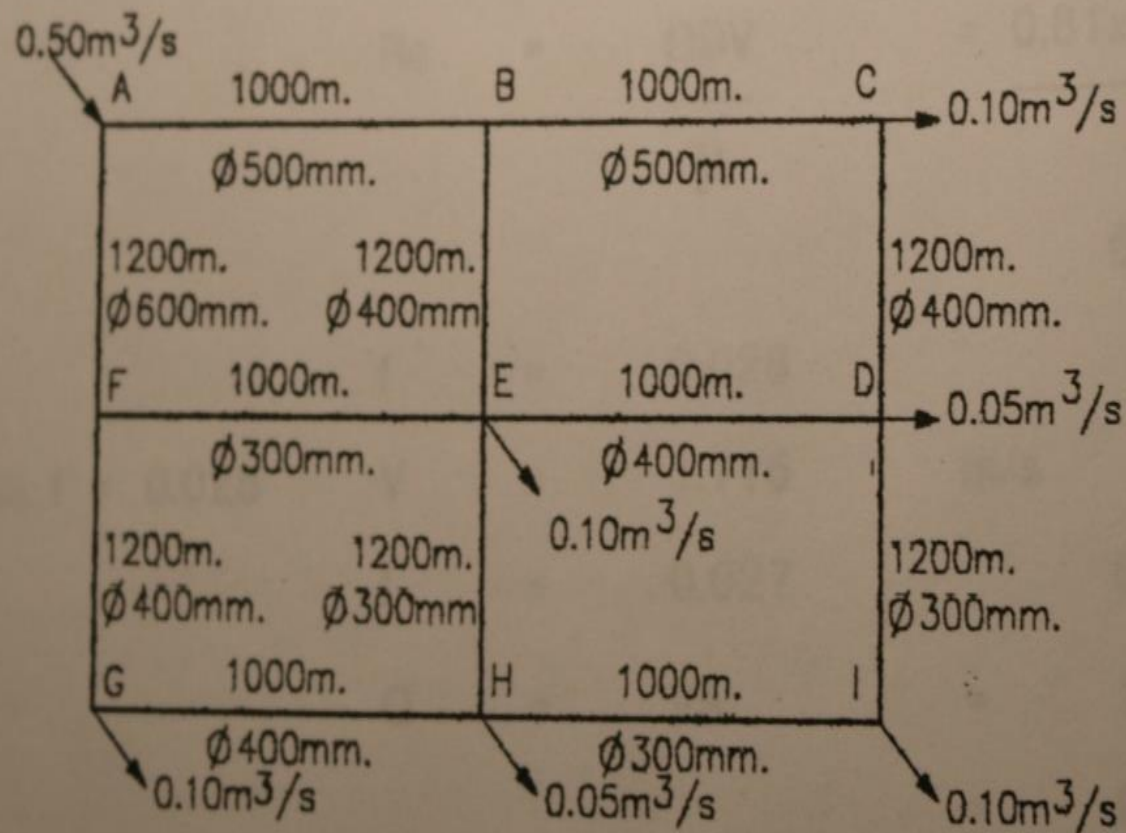
$$\text{กำหนดให้ค่า } h_j = 80 - (0.264 / (0.213 + 0.264)) \times 4 = 77.79 \text{ m}$$

$$\text{ได้ค่า } Q_1 = 4.39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 0.661 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 5.048 \text{ m}^3/\text{s}$$

5. The pipe network shown below represents a small industrial park. Find the flow rate of water in each pipe.



หมายเลขท่อ	ขนาด $\varnothing$ (mm.)	ความยาว L (m.)
1	AB	500
2	BC	500
3	CD	400
4	DE	400
5	BE	400
6	EF	300
7	AF	600
8	FG	400
9	EH	400
10	GH	300
11	HI	300
12	DI	300

(1) Assume discharge

เหลือ 76 m.

จะได้ค่า

$$s = 0.213 Q_2$$

The pipe network shown in Fig. 13-6 represents a small industrial park. Find the flow rate of water in each pipe. Assume $C = 120$ for all pipes.

pipe	D , mm	L , m	Q_{assumed} , m^3/s	h_1 , m/m	h_f , m	h_f/Q	ΔQ	Q_{new}
AB	500	1000	0.250	0.0034	3.40	13.6	0.028	0.278
BE	400	1200	0.120	0.0026	3.12	26.0	-0.005	0.115
EF	300	1000	-0.130	-0.012	-12.00	92.3	0.063	-0.067
FA	600	1200	-0.250	-0.0014	-1.68	6.7	0.028	-0.222
					-7.16	138.6		
BC	500	1000	0.130	0.00102	1.02	7.8	0.033	0.163
CD	400	1200	0.030	0.00020	0.24	8.0	0.033	0.063
DE	400	1000	-0.100	-0.0018	-1.8	18.0	0.050	-0.050
EB	400	1200	-0.120	-0.0026	-3.12	26.0	0.005	-0.115
					-3.66	59.8		
ED	400	1000	0.100	0.0018	1.80	18.0	-0.050	0.050
DI	300	1200	0.080	0.0048	5.76	72.0	-0.017	0.063
IH	300	1000	-0.020	-0.00037	-0.37	18.5	-0.017	-0.037
HE	300	1200	-0.050	-0.0020	-2.40	48.0	0.018	-0.032
					4.79	156.5		
FE	300	1000	0.130	0.012	12.00	92.3	-0.063	0.067
EH	300	1200	0.050	0.0020	2.40	48.0	-0.018	0.032
HG	400	1000	-0.020	-0.000095	-0.10	5.0	-0.035	-0.055
GF	400	1200	-0.120	-0.0026	-3.12	26.0	-0.035	-0.155
					11.18	171.3		

FE	300	1000	0.130	0.012	12.00	92.3	-0.063	0.067
EH	300	1200	0.050	0.0020	2.40	48.0	-0.018	0.032
HG	400	1000	-0.020	-0.000095	-0.10	5.0	-0.035	-0.055
GF	400	1200	-0.120	-0.0026	-3.12	26.0	-0.035	-0.155
					11.18	171.3		

$$\Delta Q_I = -\sum h_f / [n \sum (h_f / Q)] = -(-7.16) / [(1.85)(138.6)] = 0.028 \quad \Delta Q_{II} = -(-3.66) / [(1.85)(59.8)] = 0.033$$

$$\Delta Q_{III} = -4.79 / [(1.85)(156.5)] = -0.017 \quad \Delta Q_{IV} = -11.18 / [(1.85)(171.3)] = -0.035$$

pipe	h_1	h_f	h_f / Q	ΔQ	Q_{new}
AB	0.0043	4.30	15.5	-0.013	0.265
BE	0.0023	2.76	24.0	-0.020	0.095
EF	-0.0034	-3.40	50.7	-0.018	-0.085
FA	-0.0011	-1.32	5.9	-0.013	-0.235
		2.34	96.1		

pipe	h_i	h_f	h_f/Q	ΔQ	Q_{new}
<i>BC</i>	0.0016	1.60	9.8	0.007	0.170
<i>CD</i>	0.00078	0.94	14.9	0.007	0.070
<i>DE</i>	-0.00050	-0.50	10.0	0.015	-0.035
<i>EB</i>	-0.0023	-2.76	24.0	0.020	-0.095
		-0.72	58.7		
<i>ED</i>	0.00050	0.50	10.0	-0.015	0.035
<i>DI</i>	0.0031	3.72	59.0	-0.008	0.055
<i>IH</i>	-0.00115	-1.15	31.1	-0.008	-0.045
<i>HE</i>	-0.00087	-1.04	32.5	-0.013	-0.045
		2.03	132.6		
<i>FE</i>	0.0034	3.40	50.7	0.018	0.085
<i>EH</i>	0.00087	1.04	32.5	0.013	0.045
<i>HG</i>	-0.00060	-0.60	10.9	0.005	-0.050
<i>GF</i>	-0.0041	-4.92	31.7	0.005	-0.150
		-1.08	125.8		

$$\Delta Q_I = -2.34 / [(1.85)(96.1)] = -0.013$$

$$\Delta Q_{III} = -2.03 / [(1.85)(132.6)] = -0.008$$

$$\Delta Q_{II} = -(-0.72) / [(1.85)(58.7)] = 0.007$$

$$\Delta Q_{IV} = -(-1.08) / [(1.85)(125.8)] \doteq 0.005$$

pipe	h_1	h_f	h_f/Q	ΔQ	Q_{new}
AB	0.0039	3.90	14.7	0.006	0.271
BE	0.00165	1.98	20.8	0.012	0.107
EF	-0.0055	-5.50	64.7	0.014	-0.071
FA	-0.00125	-1.50	6.4	0.006	-0.229
		-1.12	106.6		
BC	0.0017	1.70	10.0	-0.006	0.164
CD	0.00094	1.13	16.1	-0.006	0.064
DE	-0.000265	-0.26	7.4	-0.008	-0.043
EB	-0.00165	-1.98	20.8	-0.012	-0.107
		0.59	54.3		
ED	0.000265	0.26	7.4	0.008	0.043
DI	0.0024	2.88	52.4	0.002	0.057
IH	-0.0017	-1.70	37.8	0.002	-0.043
HE	-0.0017	-2.04	45.3	0.010	-0.035
		-0.60	142.9		
FE	0.0055	5.50	64.7	-0.014	0.071
EH	0.0017	2.04	45.3	-0.010	0.035
HG	-0.00051	-0.51	10.2	-0.008	-0.058
GF	-0.0039	-4.68	31.2	-0.008	-0.158
		2.35	151.4		

$$\Delta Q_I = -(-1.12)/[(1.85)(106.6)] = 0.006$$

$$\Delta Q_{II} = -0.59/[(1.85)(54.3)] = -0.006$$

3-6

$$\Delta Q_{III} = -(-0.60)/[(1.85)(142.9)] = 0.002$$

$$\Delta Q_{IV} = -2.35/[(1.85)(151.4)] = -0.008$$

pipe	h_i	h_f	h_f/Q	ΔQ	Q_{new}
AB	0.0040	4.00	14.8	-0.006	0.265
BE	0.0021	2.52	23.6	-0.009	0.098
EF	-0.0039	-3.90	54.9	-0.008	-0.079
FA	-0.0012	-1.44	6.3	-0.006	-0.235
		1.18	99.6		
BC	0.0016	1.60	9.8	0.003	0.167
CD	0.00080	0.96	15.0	0.003	0.067
DE	-0.00038	-0.38	8.8	0.006	-0.037
EB	-0.0021	-2.52	23.6	0.009	-0.098
		-0.34	57.2		
ED	0.00038	0.38	8.8	-0.006	0.037
DI	0.0026	3.12	54.7	-0.003	0.054
IH	-0.0015	-1.50	34.9	-0.003	-0.046
HE	-0.00105	-1.26	36.0	-0.005	-0.040
		0.74	134.4		
FE	0.0039	3.90	54.9	0.008	0.079
EH	0.00105	1.26	36.0	0.005	0.040
HG	-0.00067	-0.67	11.6	0.002	-0.056
GF	-0.0041	-4.92	31.1	0.002	-0.156
		-0.43	133.6		

$$\Delta Q_I = -1.18/[(1.85)(99.6)] = -0.006$$

$$\Delta Q_{III} = -0.74/[(1.85)(134.4)] = -0.003$$

$$\Delta Q_{II} = -(-0.34)/[(1.85)(57.2)] = 0.003$$

$$\Delta Q_{IV} = -(-0.43)/[(1.85)(133.6)] = 0.002$$

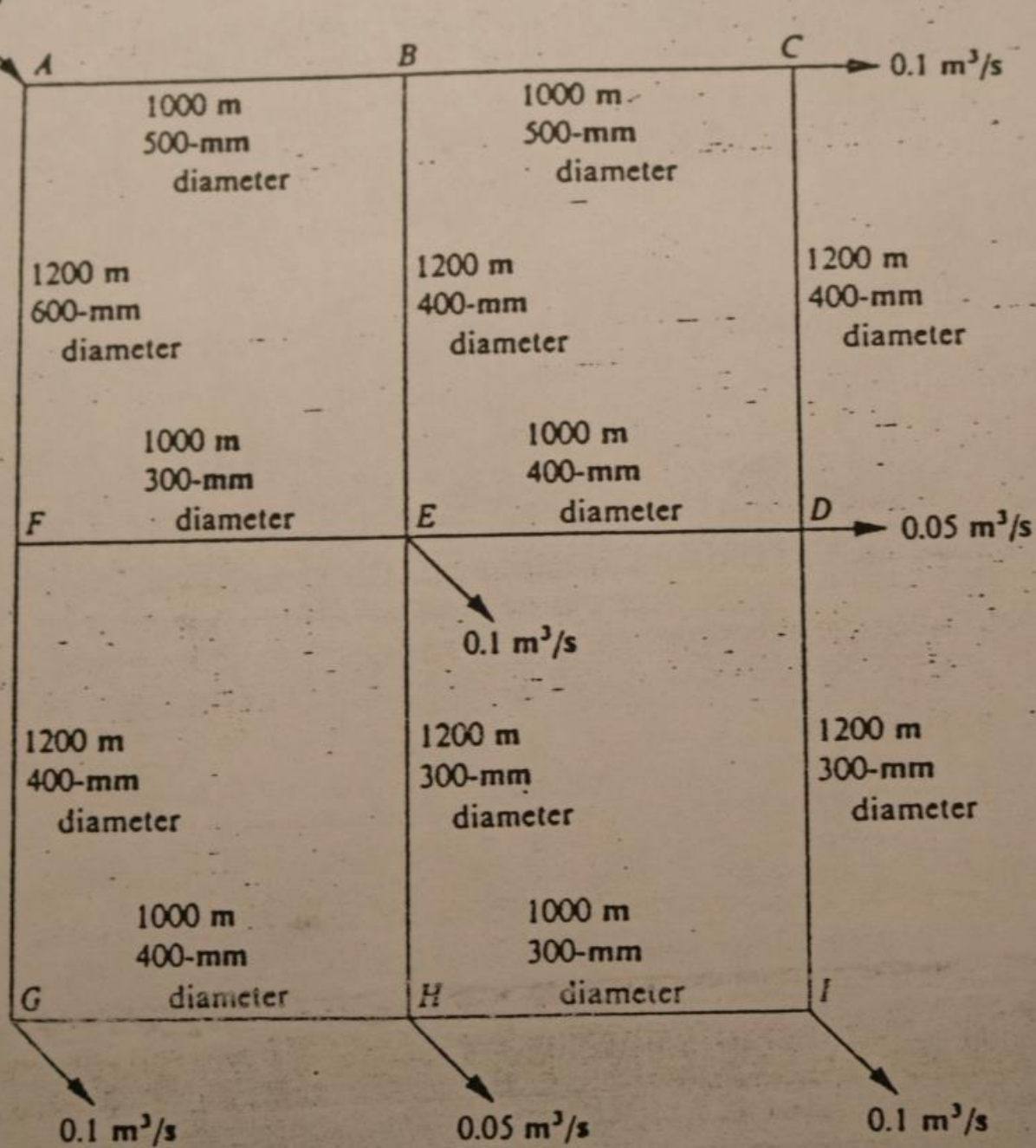


Fig. 13-6

Solution L 14

1.

(a) From $Q = AV$

Let channel width $= B$

channel depth $= B/2$

แทนค่า 2.1 $= D^2/2 \times 1.3$; $B = 1.797 \text{ m}$

required width $B = 1.797 \text{ m}$ depth $= 1.797/2$
 $= 0.898 \text{ m}$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$S^{1/2} = \frac{n V}{R^{2/3}}$$

$$S^{1/2} = \frac{0.02 \times 1.3}{0.449^{2/3}} \quad S = 0.00197$$

(b) From

$$D = 2B$$

$$A = 2B^2$$

$$Q = AV$$

$$2.1 = 2B^2 \times 1.3$$

$$B = 0.899 \text{ m}$$

$$S^{1/2} = \frac{0.02 \times 1.3}{0.3596^{2/3}}$$

$$S = 0.00264$$

(c)

$$Q = AV$$

$$2.1 = \pi/4 d^2 \times 1.3$$

$$d = 2.028 \text{ m}$$

$$S^{1/2} = \frac{0.02 \times 1.3}{0.507^{2/3}}$$

$$S = 0.00167$$

(d)

$$D = B, \quad T = 2B$$

$$A = 2B^2$$

$$Q = AV$$

$$2.1 = 2B^2 \times 1.3$$

$$B = 0.899 \text{ m}$$

$$S^{1/2} = \frac{0.02 \times 1.3}{0.4603^{2/3}}$$

$$S = 0.0012$$

2.

$$(a) \quad \text{Given} \quad y = 2.438 \text{ m} \quad , \quad S = 0.001$$

$$A_1 = 12 \times (5 + 2.438) + (5 + 2.438) \times (5 + 2.438)$$

$$= 141.6 \text{ m}^2$$

$$P_1 = 29.59 \text{ m}$$

$$Q_1 = 508.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_2 = (120 \times 2.438) + (2.438 \times 2.438 / 2)$$

$$= 295.5 \text{ m}^2$$

$$P_2 = 123.4 \text{ m}$$

$$Q_2 = 418.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 508.6 + 418.1 = 926.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(b) \quad \text{In case} \quad Q = 25000 \text{ cfs} = 707.9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_1 = \frac{(y^2 + 22y + 85)}{2}$$

$$(b) \quad \text{In case} \quad Q = 25000 \quad \text{cfs} = 707.9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_1 = \frac{(y^2 + 22y + 85)}{2}$$

$$P_1 = 5\sqrt{2} + 12 + 2y\sqrt{2}$$

$$n_1 = 0.025$$

$$A_2 = \frac{(y^2 + 120)}{2}$$

$$P_2 = 120 + y\sqrt{2}$$

$$n_2 = 0.04$$

$$S = 0.004$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$\text{Trial } y = 2.79 \quad \text{m.} \quad , \quad = 9.15 \text{ ft}$$

3.

$$(a) \quad \text{Given } H_{\infty} = \frac{y_{\infty} + \frac{V_{\infty}^2}{2g}}{2g} = \frac{y + \frac{V^2}{2g}}{2g}$$

$$Q = w y \sqrt{2g (H_{\infty} - H)}$$

$$y_c = \sqrt[3]{Q^2 / wg}$$

$$Fr = \frac{(y_c / y)^{3/2}}{\sqrt{2 (y_{\infty} / y - 1)}}$$

What happen on the sluice gate is raised ?

First , consider a small opening which results is a y of say 0.5 m.

$$Q = 1 \times 0.5 \sqrt{2 \times 9.81 (5 - 0.5)} = 4.696$$

$$Fr = \sqrt{2 \times (5/0.5 - 1)} = 4.243 \text{ Supercritical}$$

As the gate is raised further , y increases , Causing the Froude number to decrease and the flow rate to increase.

Finally the gate height which give $y = \frac{2}{3} y_{\infty} = \frac{2}{3} \times 5 = 3.333 \text{ m}$

The Froude number is 1.0 . The maximum flow rate is $Q = w \sqrt{\frac{8}{27} g y_{\infty}^3}$

$$Q = 1 \times \sqrt{\frac{8}{27} \times 9.81 \times 5^3} = 19.05 \text{ m}^3/\text{s}$$

If the gate is raised further , The flow rate becomes subcritical , the Froude number passes through 1 and decreases , and the flow rate starts to decrease.

(b) First calculate the characteristic of the hydraulic ,

$$\begin{aligned}Fr &= (y_c/y)^{3/2} = (3.333/0.5)^{3/2} = 4.243 \\ \frac{y_2}{y_1} &= \frac{1}{2} (\sqrt{1+8Fr^2} - 1) = \frac{1}{2} (\sqrt{1+8 \times 4.243^2} - 1) \\ &= 5.521 \\ \Delta H &= \frac{(y_2/y_1 - 1)^3}{4 y_2/y_1} = \frac{(5.521 - 1)^3}{4 \times 5.521} \\ &= 2.092 \text{ m}\end{aligned}$$

Frictionless flow

$$\begin{aligned}H_2 &= H_3 + h \\ H_2 &= H - \Delta H = 5.0 - 2.092 \\ &= 2.908 \text{ m} \\ H_3 &= \frac{V_3^2}{2g} + y_3 = \frac{(Q/ wy_3)^2}{2g} + y_3 \\ &= \frac{(4.696/1 \times 2)^2}{2 \times 9.81} + 2 = 2.281 \text{ m} \\ h &= H_2 - H_3 = 2.908 - 2.281 \\ &= 0.627 \text{ m}\end{aligned}$$

4.

$$\text{Given } Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 6 \text{ m}$$

$$n = 0.020$$

$$S_0 = 0.001256$$

$$V = Q / A$$

$$V_1 = 30 / 6 \times 2 = 2.5 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 30 / 6 \times 3 = 0.66 \text{ m/s}$$

$$R = A / p$$

$$R_1 = 2 \times 6 / 6 + 2 - 2 = 1.2 \text{ m}$$

$$R_2 = 3 \times 6 / 6 + 3 + 3 = 1.5 \text{ m}$$

$$\bar{V} = \frac{V_1 + V_2}{2} = 2.083 \text{ m/s}$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2} = 1.1 \text{ m}$$

← 167

$$R_2 = \frac{3 \times 6}{6+3+3} = 1.5 \text{ m}$$

$$\bar{V} = \frac{V_1 + V_2}{2} = 2.083 \text{ m/s}$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2} = 1.1 \text{ m}$$

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2}{2} = 15 \text{ m}^2$$

$$S^{1/2} = \frac{n Q}{AR^{2/3}}$$

$$S^{1/2} = \frac{0.02 \times 3.0}{15 \times 1.1^{2/3}}, \quad S = 0.0014$$

$$\Delta L = \frac{(V_1^2 - V_2^2)/2g + (y_1 - y_2)}{(S - S_0)} = \frac{0.178 - 1}{-3.82 \times 10^{-3}} = 214.5 \text{ m}$$

(Ref. see Handbook p.439 L = 208 m)