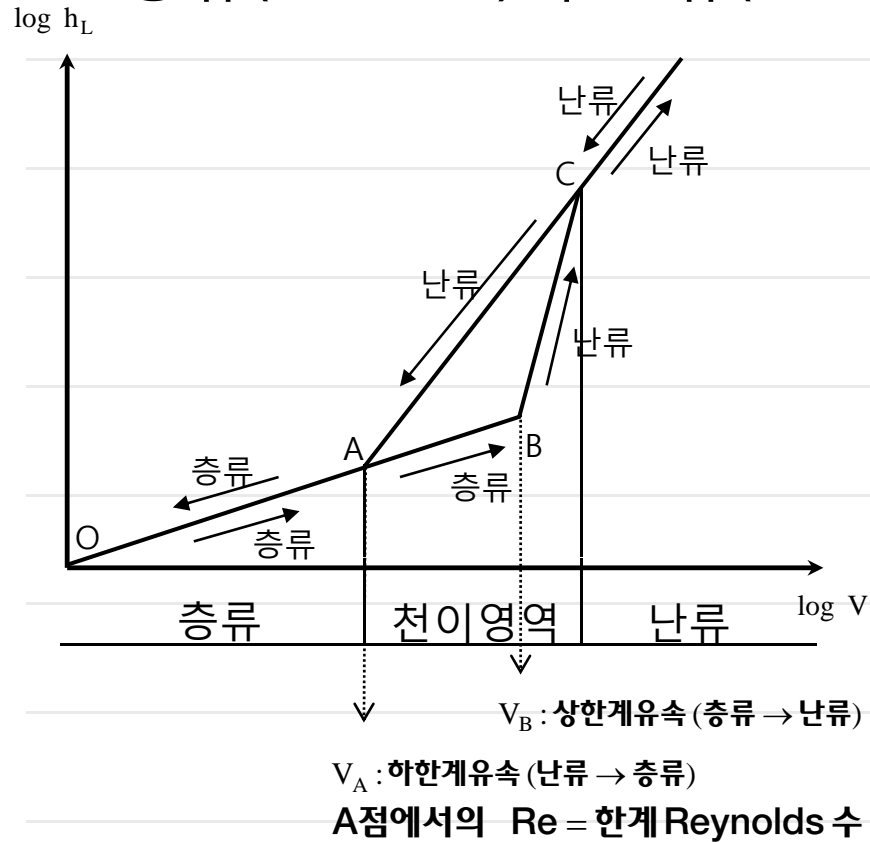


관수로 흐름

● 층류(Laminar)와 난류(Turbulent)



Reynolds 수로 분류 $Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$ [무차원]

관수로 흐름

예제 1) $D = 2 \text{ cm}$

$$\nu = 0.012 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

한계 Reynolds 수를 유지하는 한계유속은?

예제 2) $D = 2 \text{ cm}$

$$\nu = 0.012 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

$$Q = 30 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

이 흐름은 층류인가, 난류인가?

관수로 흐름

● 경심 (hydraulic radius)

원관 이외의 관에 Reynolds식을 적용하기 위하여 정의

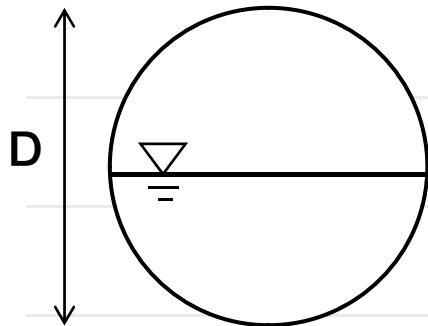
: 단위 유변 길이에 대한 유수단면적

$$R = \frac{A}{P}$$

A : 유수단면적

P : 윤변(wetted perimeter)

물이 고체 경계면에 접한 부분의 길이



$$R = \frac{A}{P} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)}{\frac{1}{2} (\pi D)} = \frac{D}{4}$$

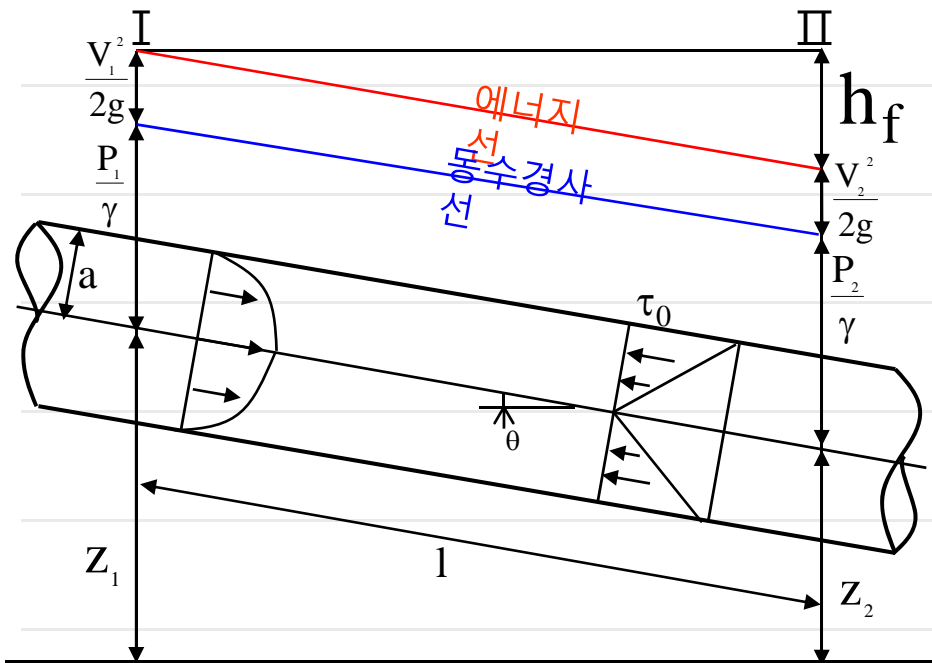
관수로 흐름

● 관수로 마찰손실

일정한 단면의 기울어진 관수로에 정상류가 흐를 때 관벽과의 마찰에 의한 손실

정상류 $\rightarrow \frac{du}{dt} = 0$, 가속도 = 0

$$\sum F = 0$$



기준수평면

관수로 흐름

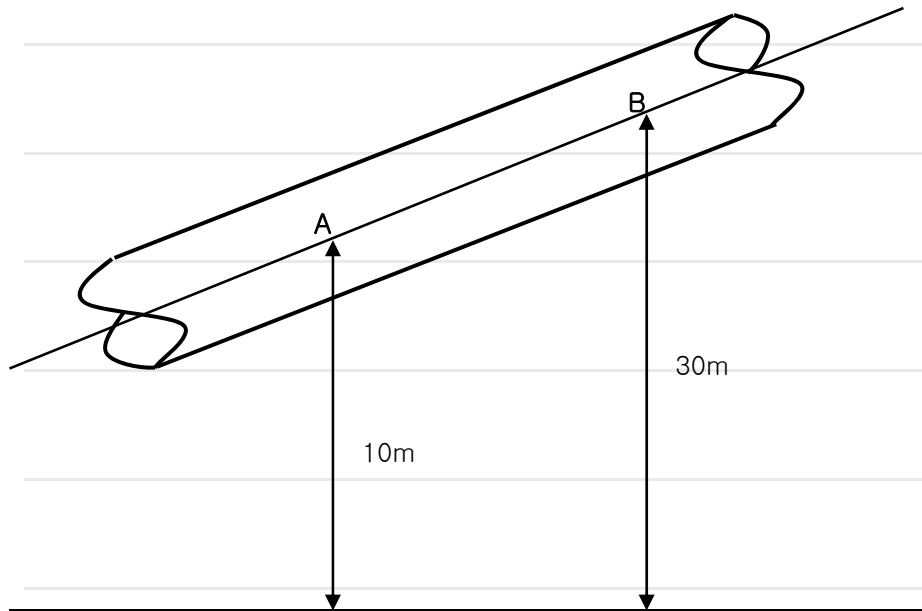
예제 1) $D = 20 \text{ cm}$

$L = 1000 \text{ m}$

$P_A = 3.5 \text{ kg/cm}_2 = 34 \times 10^{-4} \text{ N/m}^2$

$P_B = 0.2 \text{ kg/cm}_2 = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m}^2$

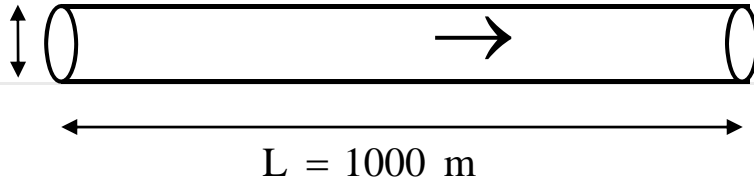
AB 사이의 마찰손실수두와 관벽의 마찰력을 구하시오



관수로 흐름

예제 2)

$$D = 20 \text{ cm} \quad Q = 30 \text{ L/sec} = 3 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{sec}$$



이때의 손실수두를 구하시오

관수로 흐름

예제 3)

$$D = 7.5 \text{ cm}$$

$$L = 300 \text{ m}$$

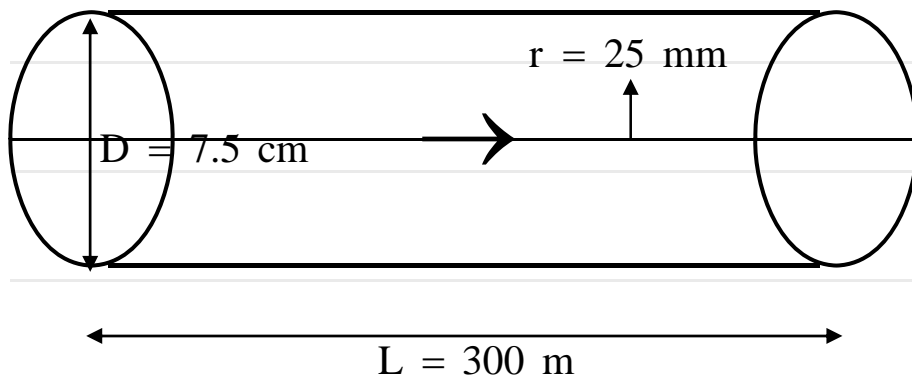
$$r = 25 \text{ mm}$$

$$Q(\text{oil}) = 5.833 \text{ L/sec} = 5.833 \times 10^3 \text{ cm}^3 / \text{sec}$$

$$\Gamma_{\text{oil}} = 0.9$$

$$v = 6.38 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

이때의 h_1 , V_{max} , τ , V (at $r = 2.5 \text{ cm}$) 를 구하십시오



관수로 흐름

예제 4) $D = 2 \text{ m}$

$L = 1000 \text{ m}$

관이 0.12 mm의 모래로 피복

$Q = 0.05 \text{ m}^3/\text{sec}$

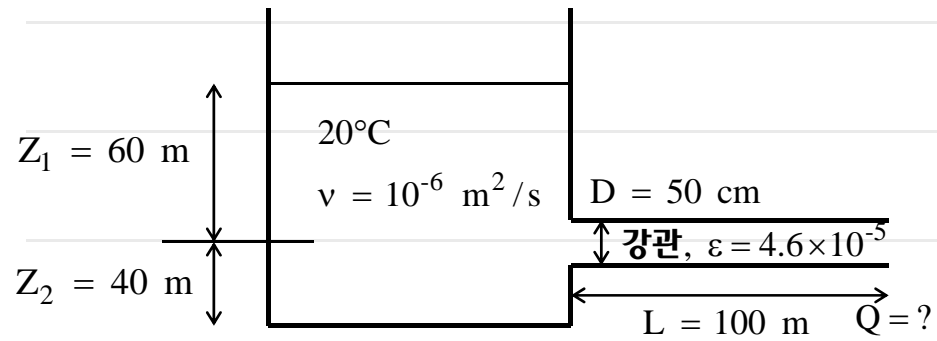
$v = 1.004 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

이때의 손실수두는?

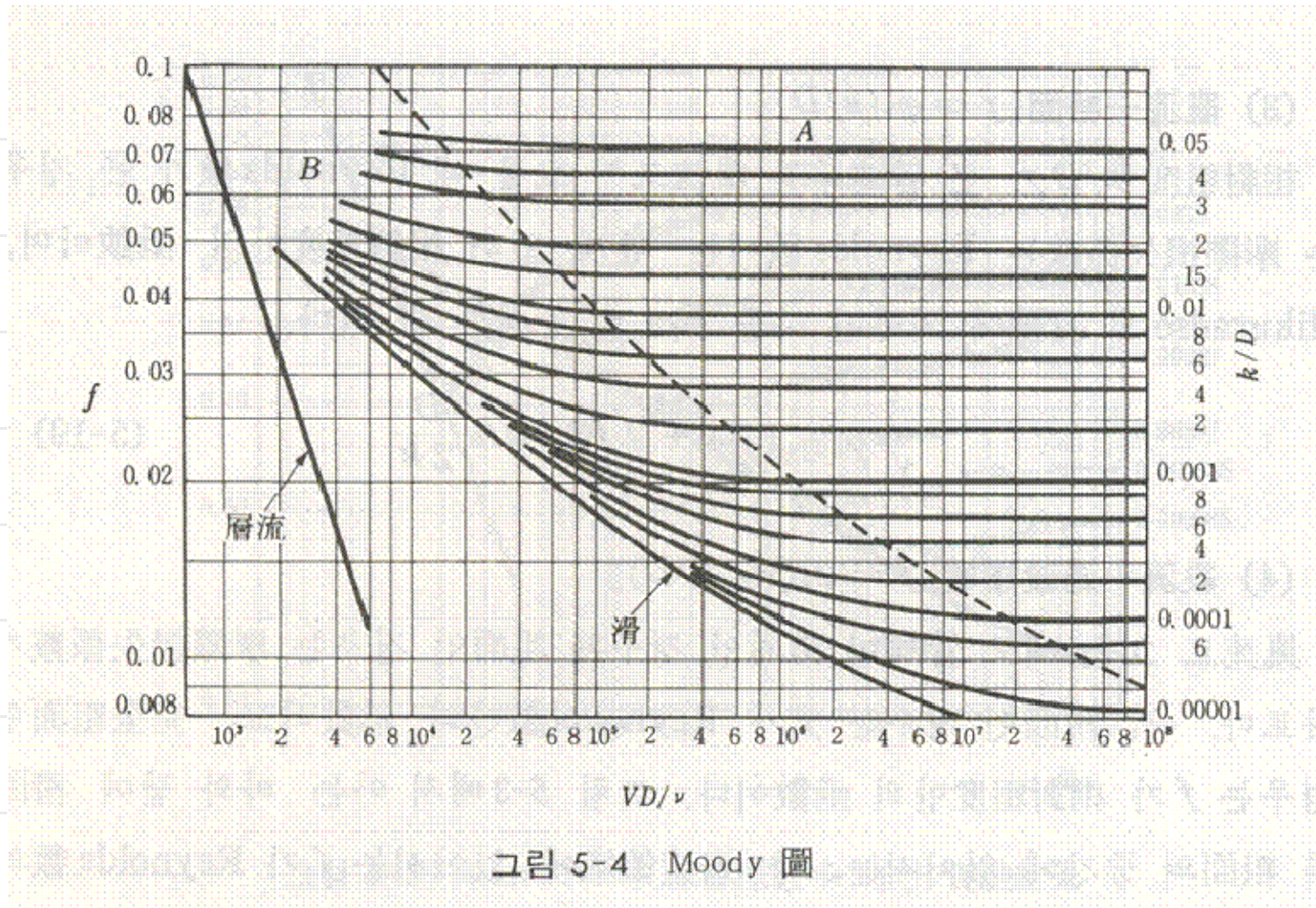
매끈한 관일 경우의 손실수두는?

관수로 흐름

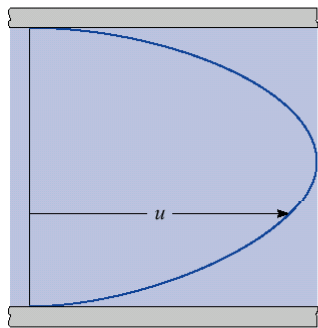
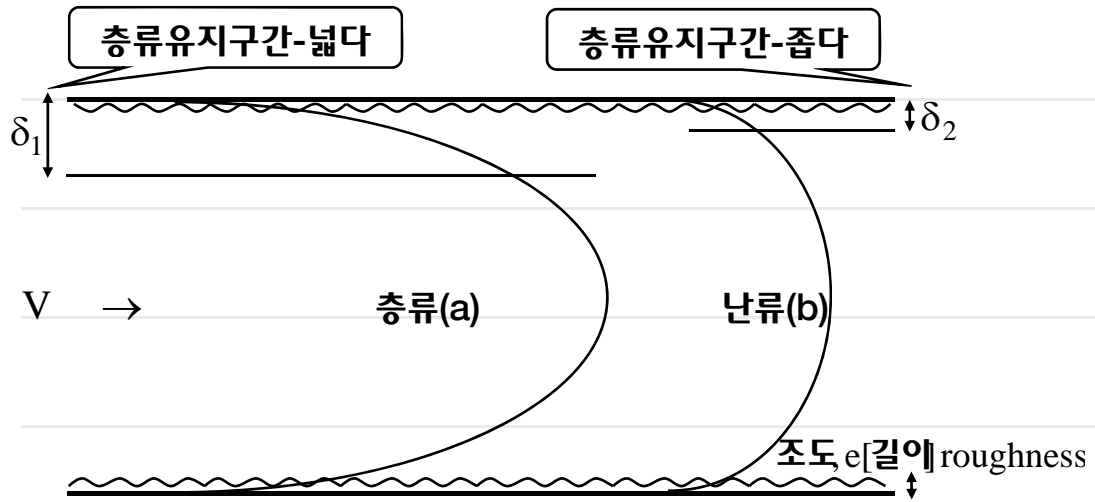
예제 5)



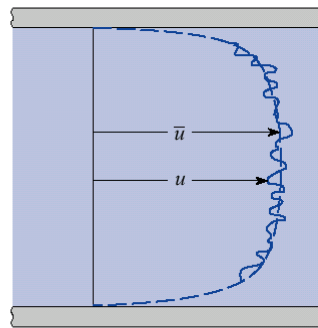
Moody diagram



마찰손실계수(f)

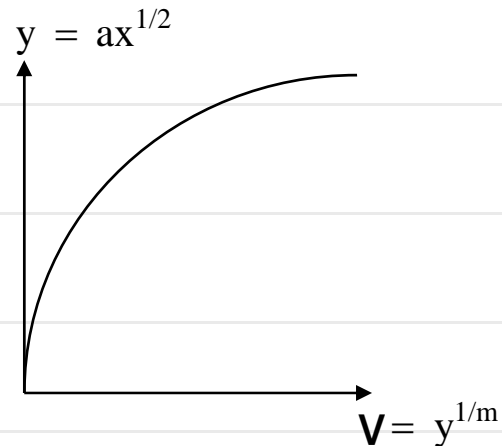
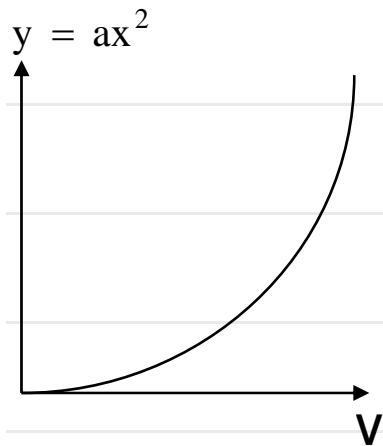
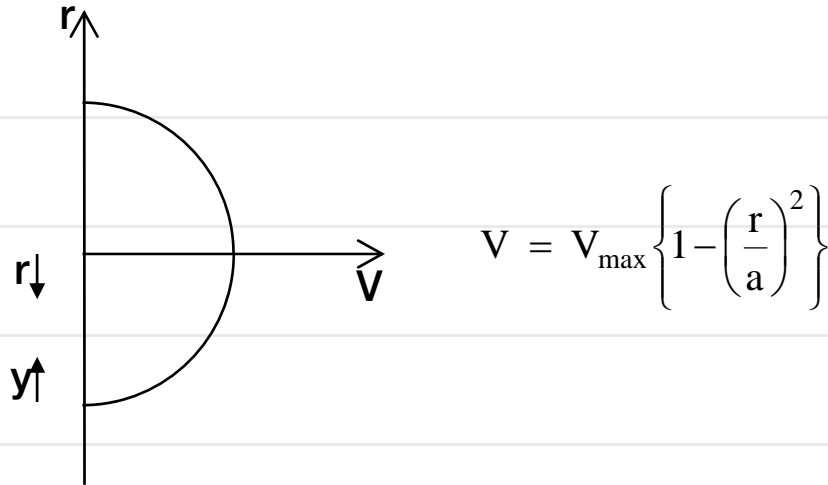


(a)



(b)

관수로 내의 유속분포



평균유속공식

● Darcy-weisbach의 마찰손실수두 공식

$$h_1 = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$\frac{h_1}{l}$: I (= 에너지선의 기울기) (= 단위길이당 손실에너지)

(= 동수경사선의 기울기) (= hydraulic gradient)

$$I = \frac{f}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \left(R = \frac{D}{4} \right)$$

$$\rightarrow V = \sqrt{\frac{8g}{f} RI} = \sqrt{\frac{8g}{f} R^{1/2} I^{1/2}}$$

$$\rightarrow V = CR^m I^n \\ = f_n(f, R, I)$$



Chezy 의 공식

$$V = CR^m I^n \quad m = \frac{1}{2} \quad n = \frac{1}{2}$$

평균유속공식

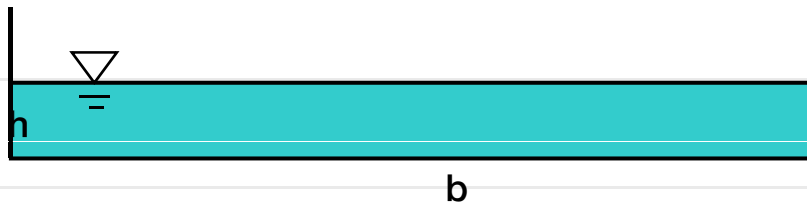


Manning의 공식

$$V = C'R^m I^n \quad m: \frac{2}{3} \quad n: \frac{1}{2}$$

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

개수로, 지표유출에 적용



$b \gg h$ 이면,

$$R = \frac{A}{P} = \frac{bh}{b+2h} \approx h$$

$$\rightarrow V = \frac{1}{n} h^{2/3} S_o^{1/2}$$

기타 평균유속공식



Hazen-Williams 공식

$$V = 0.84935CR^{0.63}I^{0.54} \text{ [m/sec]}$$



Ganguillet-Kutter 공식

$$V = C\sqrt{RI} = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI} \text{ [m/sec]}$$



Weston 공식

$$h_1 = 0.0126 + \frac{0.01739 - 0.1087D}{\sqrt{V}} \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} \text{ [m} \cdot \text{sec]}$$

손실수두

마찰손실 :

$\frac{L}{D} > 3,000$ 이면 마찰손실이 지배적

소손실(minor loss) :

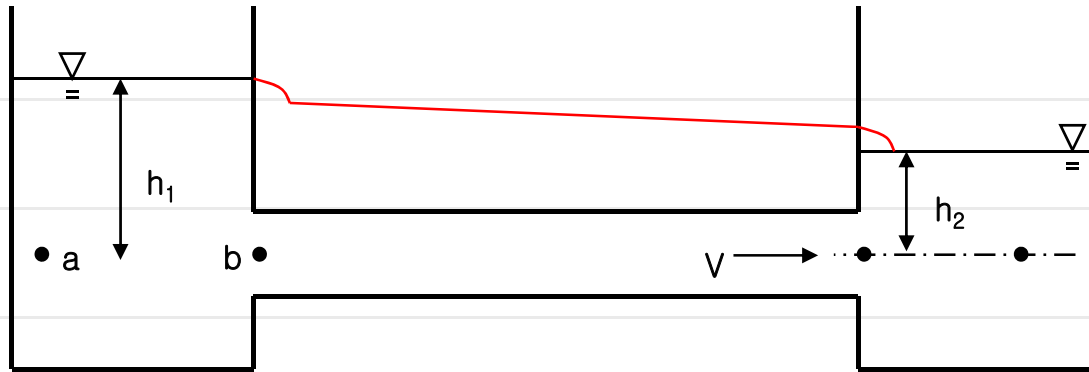
관의 형상에 의해 발생 (= 형상손실수두)

$$h_n = f_n \frac{V^2}{2g}$$

손실수두



입구·출구 손실수두



$$h_e = f_e \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (f_e = 0.5)$$

$$H_a = h + 0 + 0$$

$$H_b = ? + 0 + \frac{V^2}{2g}$$

$$\rightarrow h_e = H_a - H_b = h - \frac{V^2}{2g}$$

$$h_o = H_a - H_b$$

$$H_a = k + 0 + \frac{V^2}{2g}$$

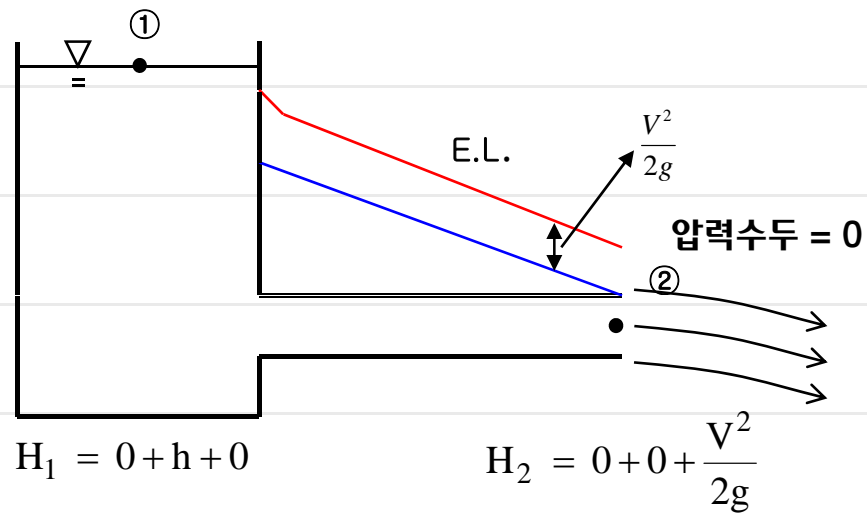
$$H_b = k + 0 + 0$$

$$\rightarrow h_o = f_o \frac{V^2}{2g}$$

손실수두



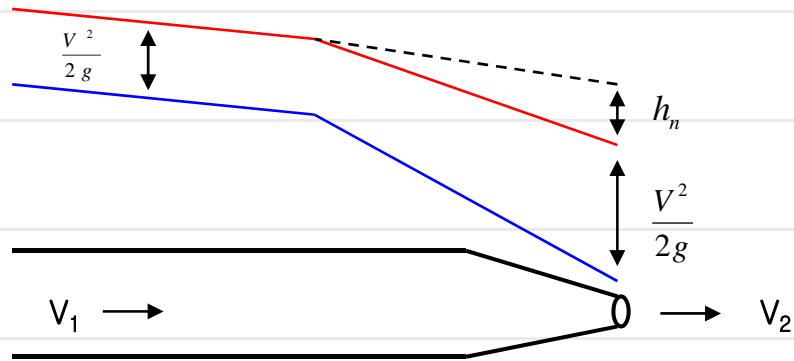
대기중으로 빠져나가는 경우



손실수두

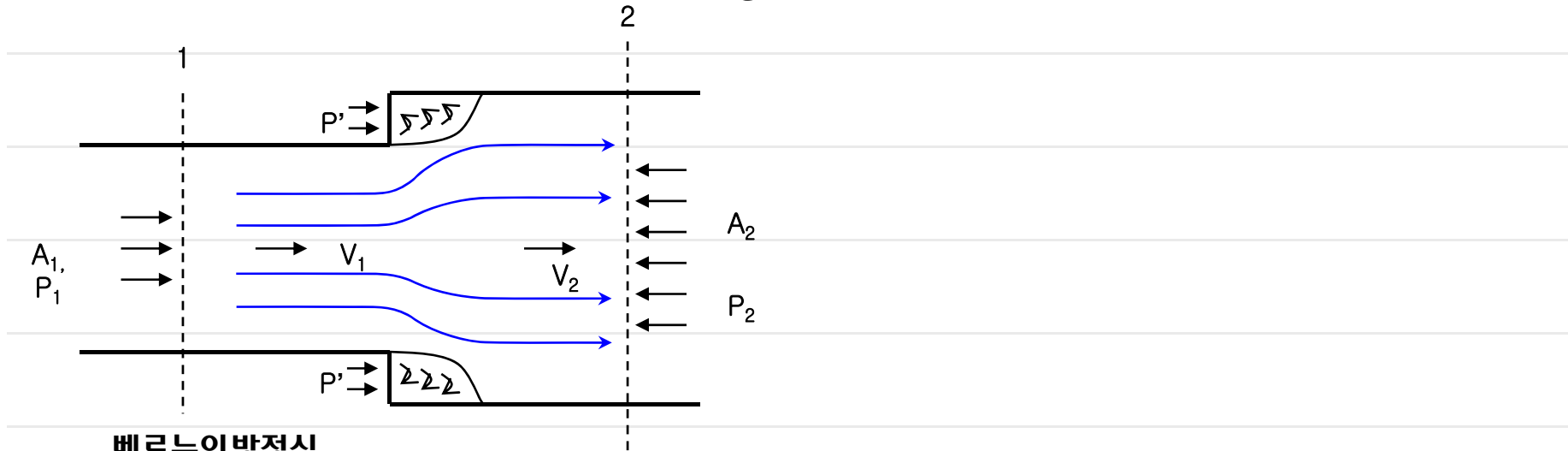


노즐(nozzle)의 경우



단면 변화에 의한 손실수두

● 단면 급확대(Abrupt Enlargement)



베르누이방정식

$$\frac{P_1}{\omega} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\omega} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_{ae}$$

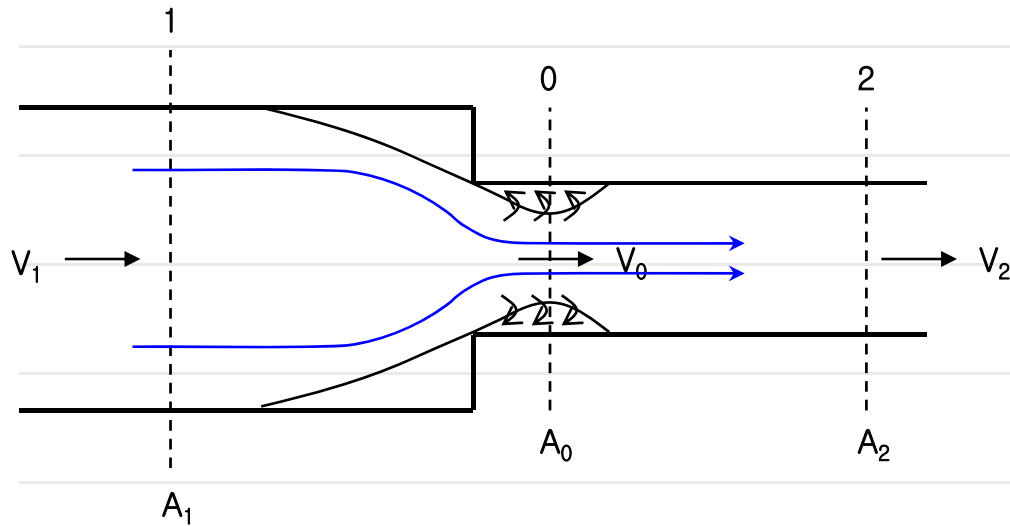
$$h_{ae} = \frac{P_1 - P_2}{\omega} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

운동량 방정식

$$\Sigma F = \rho \cdot Q \cdot \Delta V = \frac{\omega}{g} Q \Delta V$$

단면 변화에 의한 손실수두

● 단면 급축소(Abrupt Contraction)



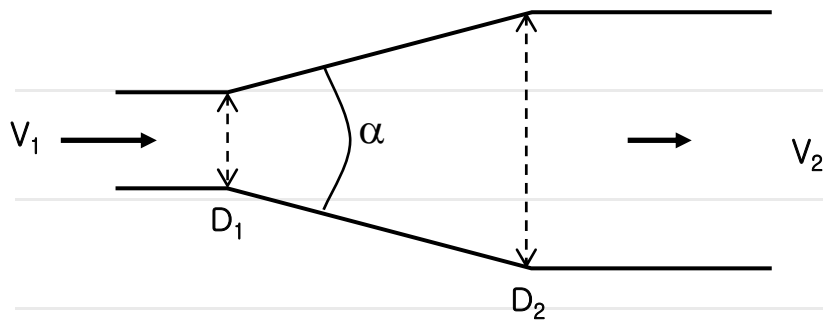
$$h_{ac} = \frac{(V_0 - V_2)^2}{2g}$$

$$A_0 V_0 = A_2 V_2 \quad (\because Q = \text{Const.})$$

$$\rightarrow h_{ac} = \left(\frac{A_2}{A_0} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

단면 변화에 의한 손실수두

● 단면 점확대(Gradual Enlargement)



$$h_{ge} = f_{ge} \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$
$$= f_{ge} \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) \frac{V_1^2}{2g}$$

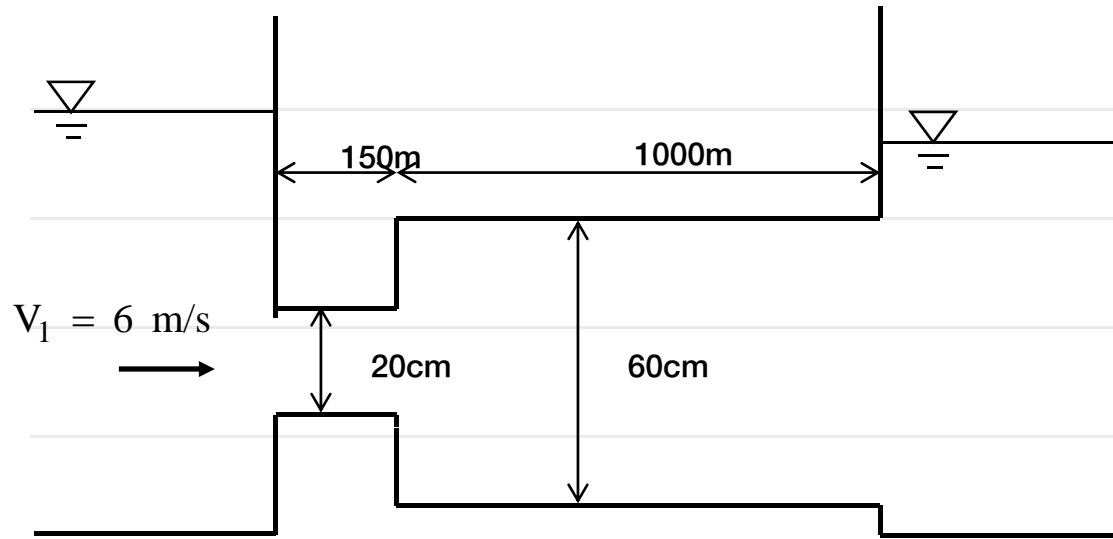
● 단면 점축소(Gradual Contraction)

단면 변화에 의한 손실수두

- 단면 점축소(Gradual Contraction)

손실수두

예제 1)



손실수두

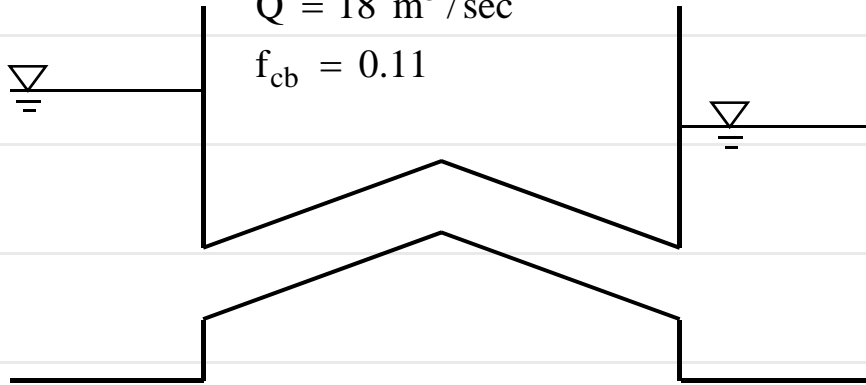
예제 2)

$$D = 3.2 \text{ m}$$

$$L = 1200 \text{ m}$$

$$Q = 18 \text{ m}^3/\text{sec}$$

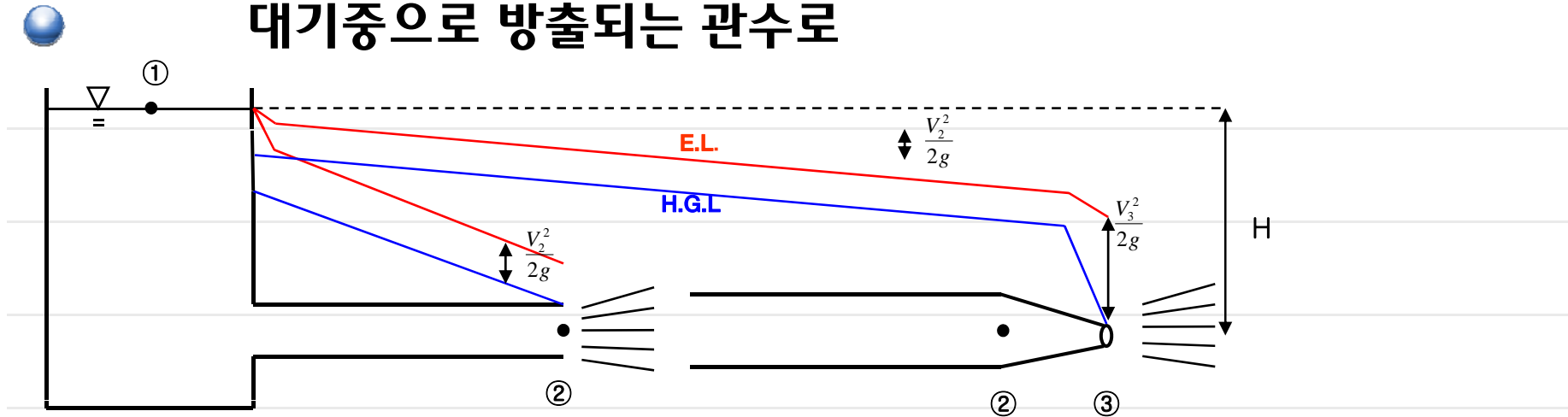
$$f_{cb} = 0.11$$



h_i, h_f, h_{cb}, h_o 를 구하시오

단일 관수로의 해석

대기중으로 방출되는 관수로



$$\frac{P_1}{\omega} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\omega} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_1$$

$$\rightarrow V_2 = \sqrt{\frac{2gH}{1 + f_e + \left(\frac{L}{D}\right)}}$$

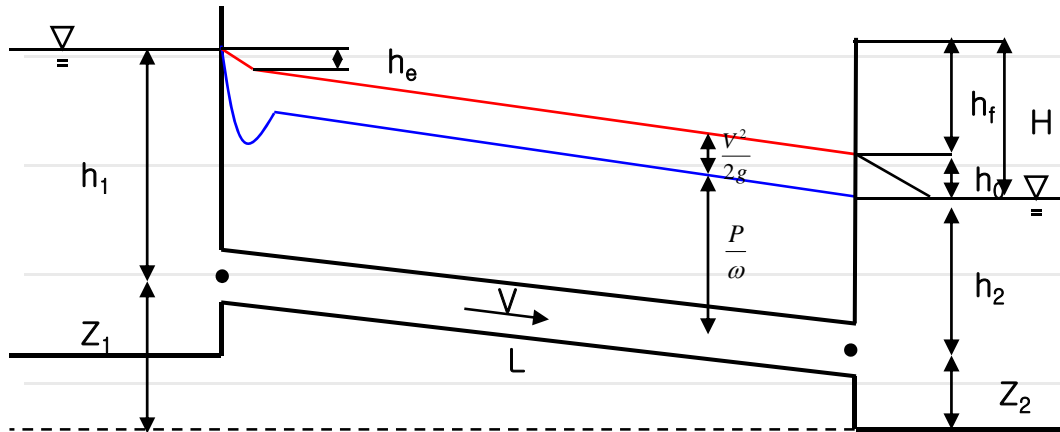
관말단에 노즐이 있는 경우(점속소 손실이 추가)

$$\rightarrow V_3 = \sqrt{\frac{2gH}{f_e \frac{D_3^4}{D_2^4} + f \frac{L}{D} \frac{D_3^4}{D_2^4} + f_{gc} + 1}}$$

단일 관수로의 해석



두 수조를 연결한 등단면 관수로



$$V = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + f_e \frac{V^2}{2g} + f_o \frac{V^2}{2g}$$

관경(D)이 주어지고 유속(V)과 유량(Q) 산정

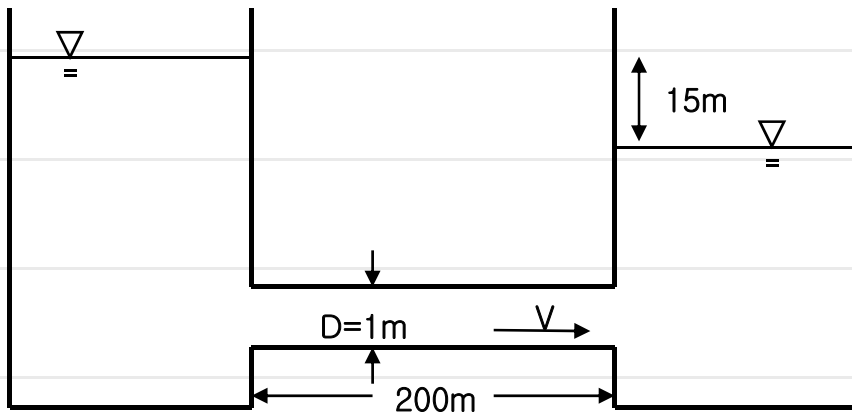
↔ (반대 과정도 생각할 수 있음)

$$\text{known : } D \rightarrow V = \sqrt{\frac{2gH}{1.5 + f \frac{L}{D}}}$$

$$\rightarrow Q = V \cdot A = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1.5 + f \frac{L}{D}}}$$

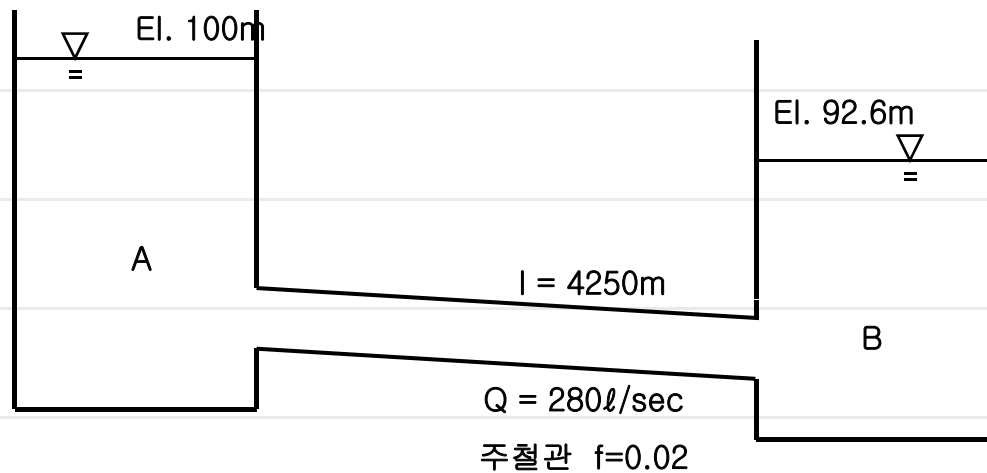
단일 관수로의 해석

예제 1) 유속(V)과 유량(Q)을 구하시오



단일 관수로의 해석

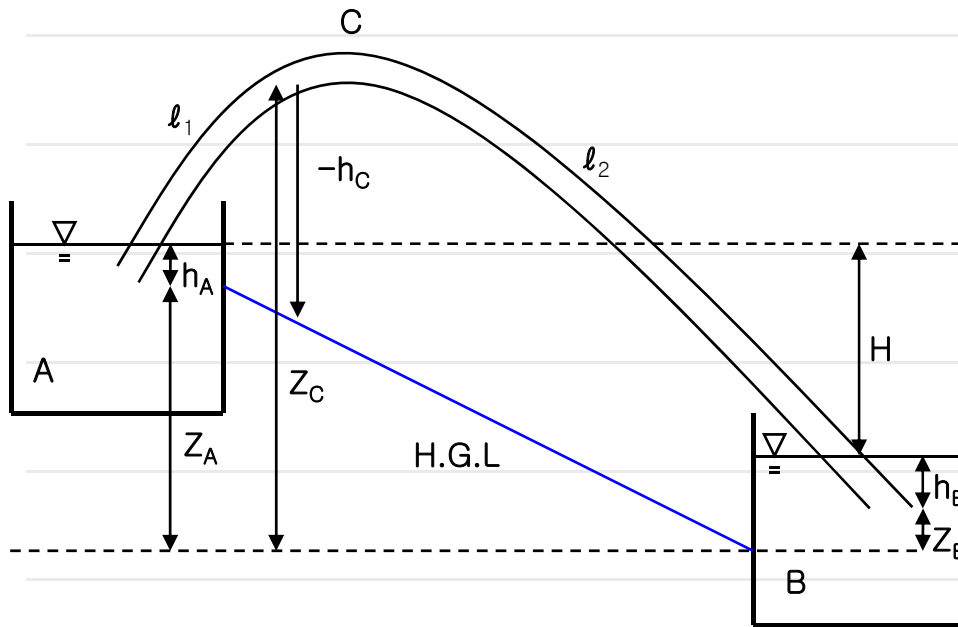
예제 2) 관경(D)을 구하십시오



단일 관수로의 해석

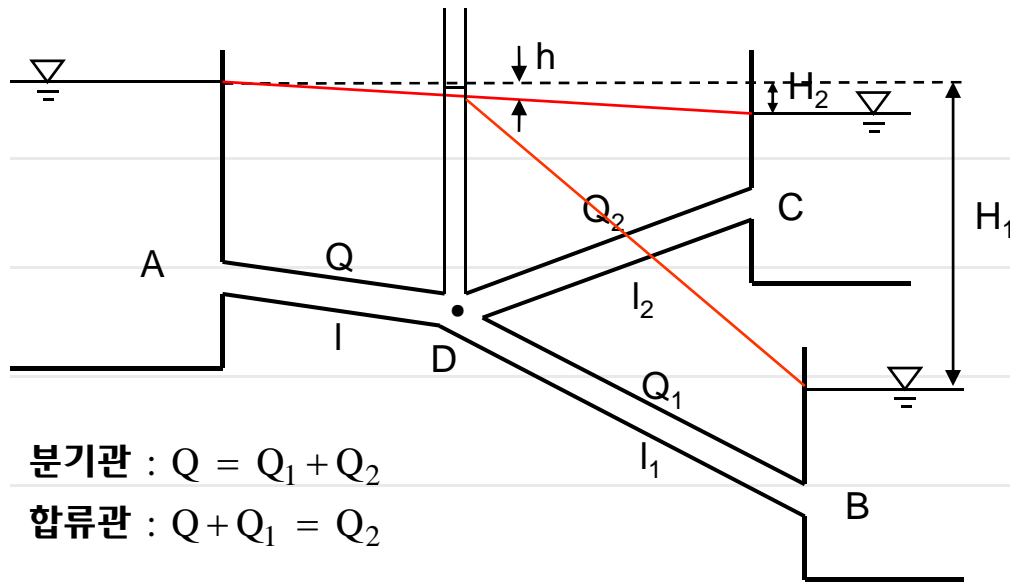


사이폰(Siphon)



$$H = f \frac{l_1 + l_2}{D} \frac{V^2}{2g} + f_e \frac{V^2}{2g} + f_o \frac{V^2}{2g} + f_{cb} \frac{V^2}{2g}$$

분기·합류 관수로의 해석



분기관 : $Q = Q_1 + Q_2$

합류관 : $Q + Q_1 = Q_2$

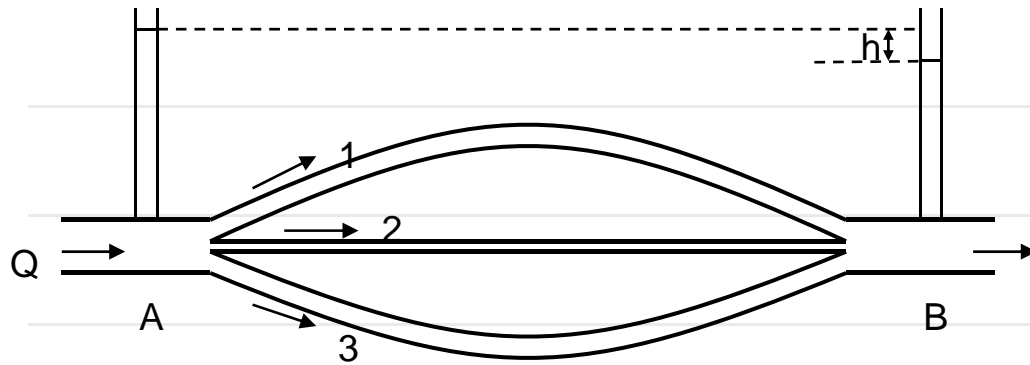
분기관수로에서,

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

$$H_1 - h = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g}$$

$$H_1 = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g}$$

병렬 관수로의 해석

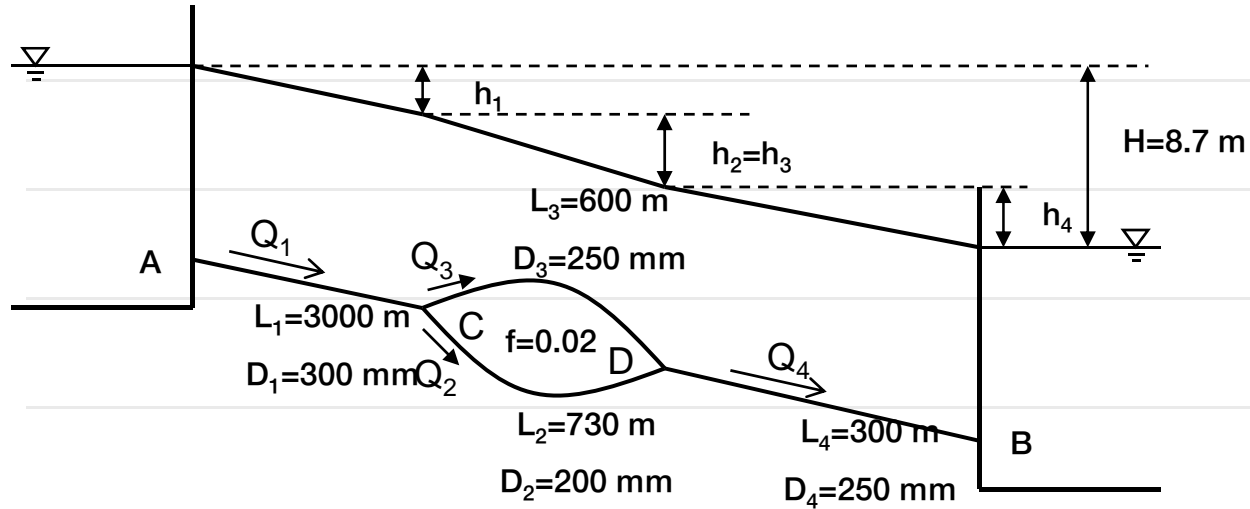


$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$h = h_1 + h_2 + h_3$$

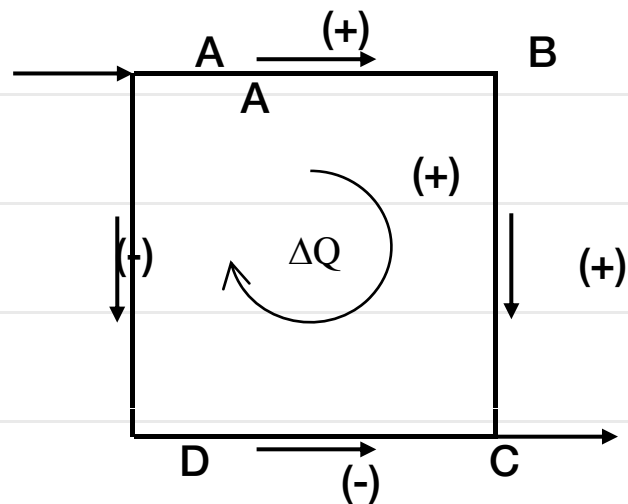
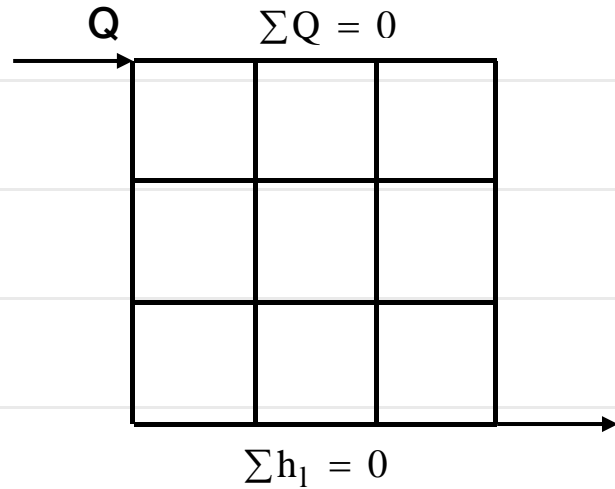
병렬 관수로의 해석

예제 1) 각 관로의 유속과 유량을 구하시오



관망(Pipe network)

● Hardy Cross의 시산법(=시행착오법)



관망(Pipe network)



관망의 계산

Q : 실제유량

Q_* ' : 처음 가정한 유량

ΔQ : 보정해야 할 유량

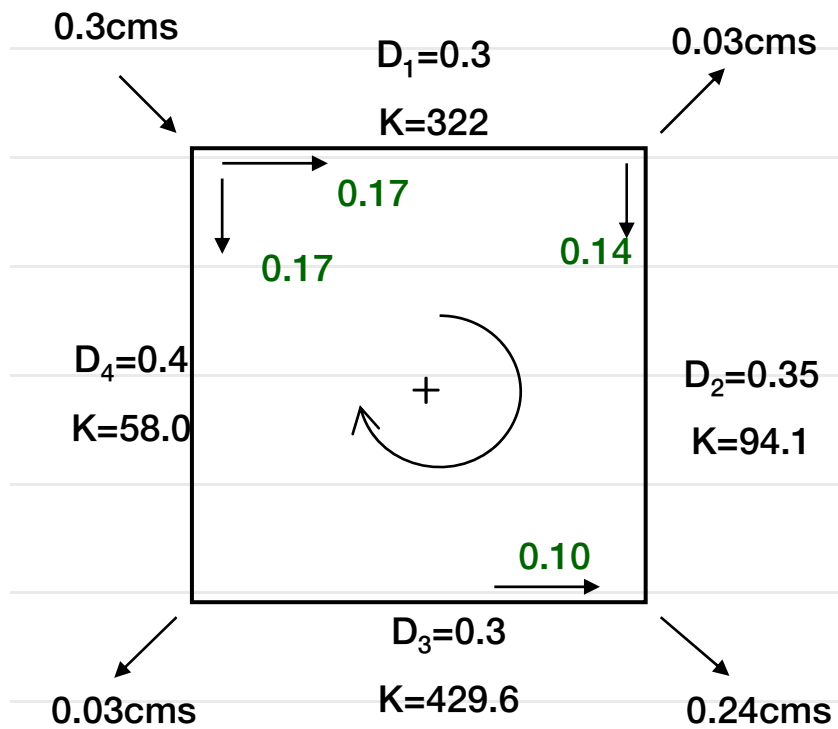
대응하는 손실수두 : h, h_* ', Δh

$$Q = Q_*' + \Delta Q$$

$$h = h_*' + \Delta h$$

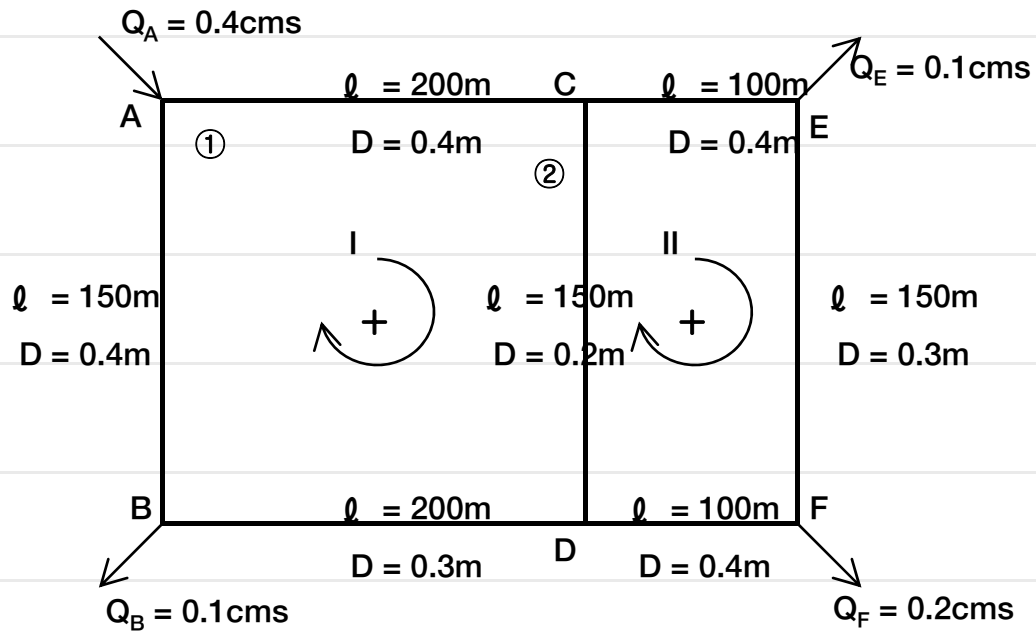
관망(Pipe network)

예제 1) 각 관의 유량을 구하시오 ($n=0.013$)



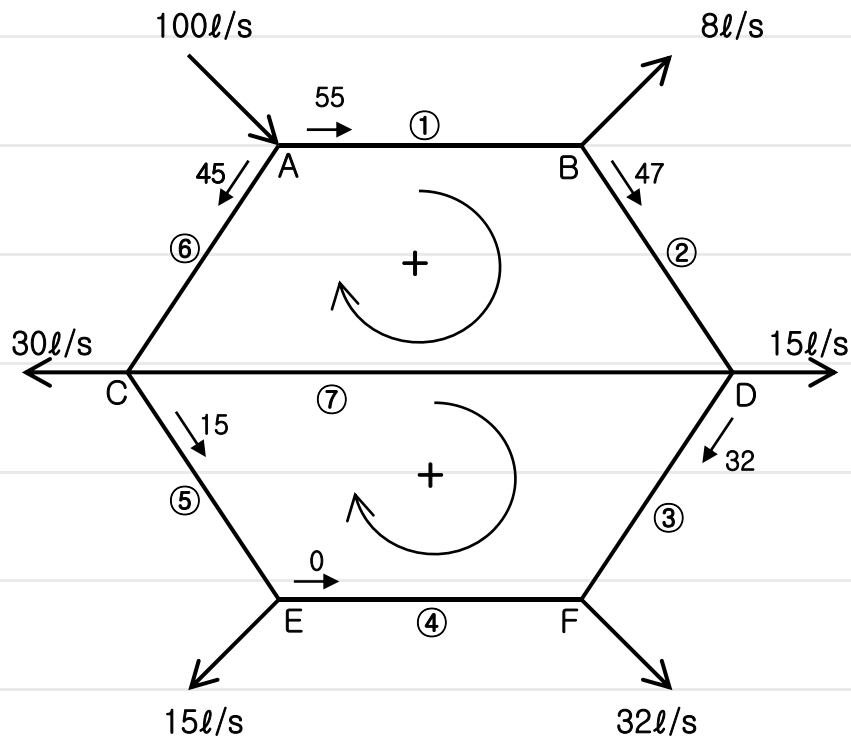
관망(Pipe network)

예제 2) 각 관의 유량을 구하시오 ($n=0.013$)



관망(Pipe network)

예제 3) 각 관의 유량을 구하시오 ($n=0.013$)

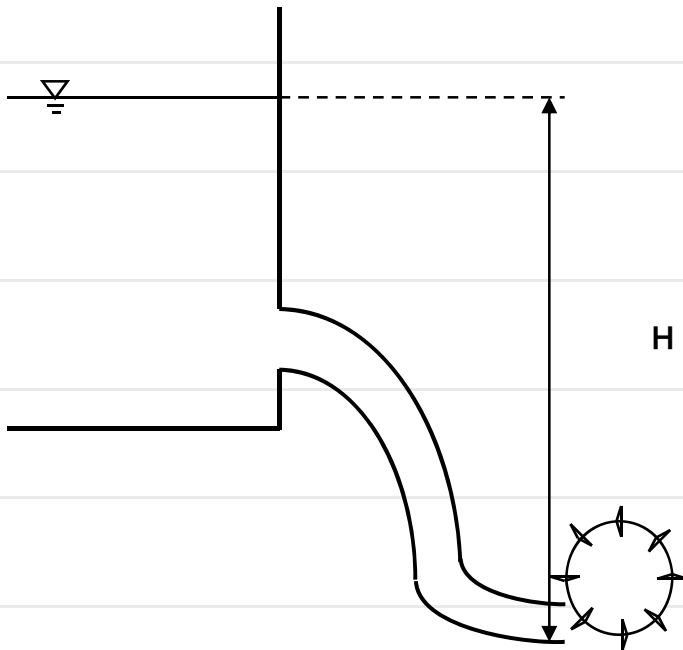


펌프와 터빈이 있는 관수로



터빈

발전 설비 : 낙차 → 동력 → 양수·펌프



수차, 발전기 : 전기생산

펌프와 터빈이 있는 관수로



펌프

터빈과 반대개념

