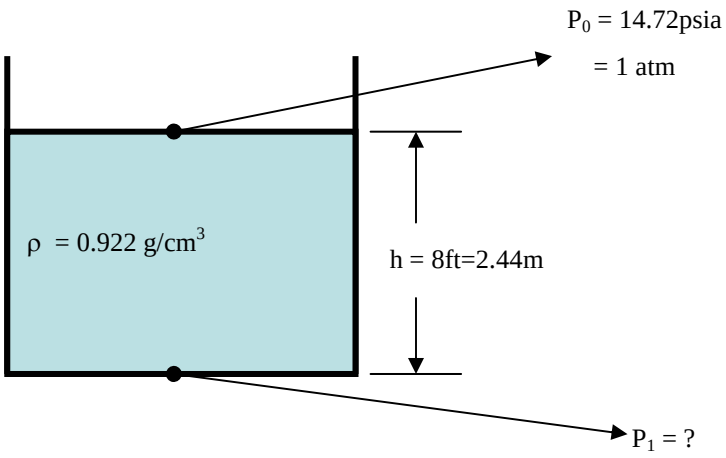
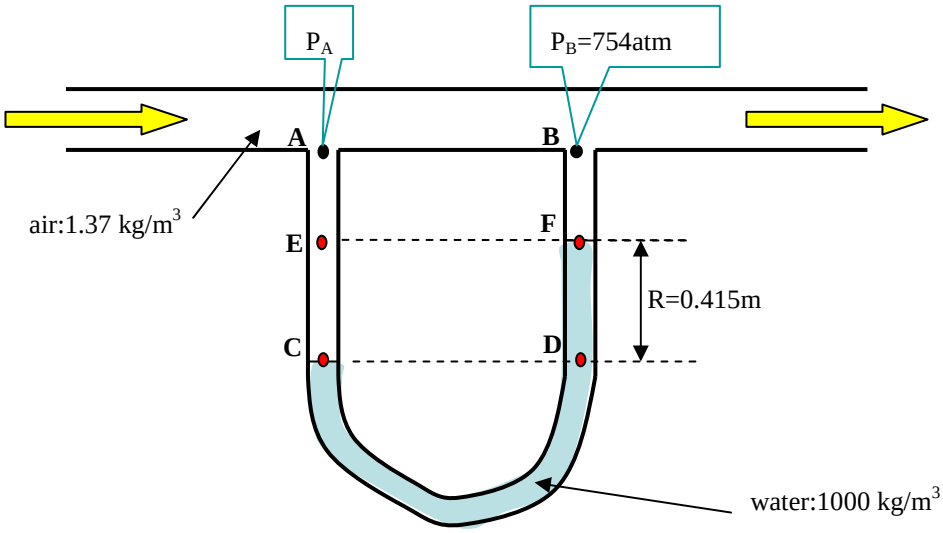
2.2-1. 원형 탱크 바닥의 압력 계산.



탱크바닥의 압력은 대기압과 기름 압력의 합으로 표현된다.

$$P_1 = P_0 + \rho g h$$
$$= 1.013\times10^5\,Pa + 922\frac{kg}{m^3}\cdot 9.8\frac{m}{s^2}\cdot 2.44m$$
$$= 1.013\times10^5\,Pa + 2.2047\times10^4\,Pa$$
$$= 123.35kPa$$
$$= 123.35kPa\cdot\frac{14.7\,psia}{101.3kPa} = 17.9\,psia$$

2.2-4 U-tube 마노메타를 이용한 압력측정



마노메터장치는 압력이 같아지도록 수위가 움직이는 원리를 이용한다. 만일 점 A 와 점 B 가 같은 압력이라면, 마노메터의 수위는 같게 유지될 것이다. 하지만, 점 A 에서 압력이 크므로, 수위가 E 점까지

올라가고, 점 C 와 점 D 에서의 압력은 같다. 따라서

$$P_C = P_D \qquad \text{식 (2.2-4-1)}$$

여기에서 점 C 와 점 D 의 압력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_C &= P_A + P_{AE} + P_{EC} \\ P_D &= P_B + P_{BF} + P_{FD} \end{aligned} \qquad \text{식 (2.2-4-2)}$$

식 (2.2-4-2) 를 식 (2.2-4-1) 에 대입하면,

$$P_A = P_B + P_{BF} - P_{AE} + P_{FD} - P_{EC}$$

압력 P_{BF} 와 P_{AE} 는 같은 유체로 이루어져 있으므로 같은 압력을 갖는다. 즉, $P_{BF} = P_{AE}$. 따라서

$$\begin{aligned} P_A &= P_B + P_{FD} - P_{EC} \\ &= P_B + \rho_{water} gR - \rho_{air} gR \\ &= P_B + (\rho_{water} - \rho_{air})gR \end{aligned}$$

주어진 값을 대입하면,

$$\begin{aligned} P_A &= 754mmHg \cdot \frac{101.3kPa}{760mmHg} + (1000 - 1.3)\frac{kg}{m^3} \cdot 9.8\frac{m}{s^2} \cdot 0.415m \cdot \frac{1kPa}{1000Pa} \\ &= 104.56kPa \end{aligned}$$

2.5-2 파이프의 직경과 레놀즈 수: Re=2100, D=0.01m, ρ=855 kg/m^3, μ=2.1×10^{-2} Pa·s.

1) 파이프내 유체의 속도

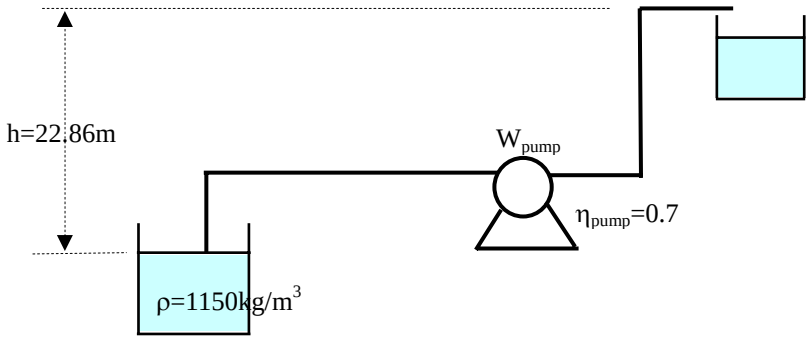
$$\begin{aligned} \mathrm{Re} &= \frac{\rho D v}{\mu} \\ v &= \frac{\mu}{\rho D} \cdot \mathrm{Re} \\ &= \frac{2.1\times10^{-2} Pa \cdot s}{855\frac{kg}{m^3} \cdot 0.01m} \cdot 2100 = 5.158 m/s \end{aligned}$$

2) ρ_2=925 kg/m^3, μ_2=1.5×10^{-2} Pa·s 인 두번째 유체가 같은 속도, 같은 레놀즈수가 되기 위해 파이프의 직경은

$$\begin{aligned} \mathrm{Re} &= \frac{\rho_2 D_2 v}{\mu_2} \\ D_2 &= \mathrm{Re} \cdot \frac{\mu_2}{\rho_2 \cdot v} \\ &= 2100 \cdot \frac{1.5\times10^{-2}\frac{kg}{m \cdot s}}{925\frac{kg}{m^3} \cdot 5.158\frac{m}{s}} = 6.602mm \end{aligned}$$

2.7-8 펌프의 용량 결정

$$D_2 = 2.067in \cdot \frac{2.54\times10^{-2}m}{1in} = 5.2502\times10^{-2}m$$



$$\dot{V} = 0.2\frac{ft^3}{s}\cdot\frac{0.3048^3 m^3}{ft^3} = 5.6634\times10^{-3}\frac{m^3}{s}$$

$$D_1 = 3.548in \cdot \frac{2.54\times10^{-2}m}{1in} = 9.0119\times10^{-2}m$$

이 배관에서의 마찰에 의한 열손실은

$$F_{loss} = 18\frac{ft\cdot lb_f}{lb_m}\cdot\frac{lb_m}{0.45359kg}\cdot\frac{0.3048m}{ft}\cdot\frac{4.4482N}{lb_f}$$
$$= 53.803\frac{N\cdot m}{kg} = 53.803\frac{J}{kg}$$

에너지 보존법칙에 의한 에너지수지식을 세워보면,

$$\left(\Delta H + \frac{1}{2}\Delta v^2 + g\Delta z\right)\dot{m} = \dot{Q} - \left[\dot{W}_{loss} - \dot{W}_{pump}\right] \qquad \text{식 (2.7-8-2)}$$

$$\left(\Delta H + \frac{1}{2}\Delta v^2 + g\Delta z\right)\dot{m} = \dot{Q} - F_{loss}\dot{m} + \dot{W}_{pump}$$

주어진 계에서 유입되는 열량이 없다 ($\dot{Q}=0$). 또한, 밀도와 온도가 일정한 상태이므로,

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho}$$

따라서, 식 (2.7-8-2) 은 다음과 같이 간략화된다.

$$\dot{W}_{pump} = \left(\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{1}{2}\Delta v^2 + g\Delta z + F_{loss}\right)\dot{m} \qquad \text{식 (2.7-8-3)}$$

이식은 확장된 베르누이식으로 볼 수 있다.

이문제에서 같은 대기압 상태로 노출된 두 탱크의 압력은 같다. 질량유속과 속도는 다음과 같이 구한다.

$$\dot{m} = \dot{V}\cdot\rho = 5.6634\times10^{-3}\frac{m^3}{s}\cdot\frac{1150kg}{m^3} = 6.5129kg/s$$

$$v_1 = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{5.6634\times10^{-3}\,\frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4}\left(9.0119\times10^{-2}\right)^2 m^2} = 0.8883 m/s$$

$$v_2 = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{5.6634\times10^{-3}\,\frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4}\left(5.2502\times10^{-2}\right)^2 m^2} = 2.6173 m/s$$

따라서 식 (2.7-8-3) 을 통하여 펌프가 필요한 에너지는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}\dot{W}_{pump} &= \left(\frac{1}{2}\left(v_2^2 - v_1^2\right) + g\Delta z + F_{loss}\right)\dot{m} \\ &= \left(\frac{1}{2}\left(2.6173^2 - 0.8883^2\right)\frac{m^2}{s^2} + 9.8\frac{m}{s^2}\cdot 22.86m + 53.803\frac{J}{kg}\right)6.5129\frac{kg}{s} \\ &= 1829.2 J/s = 1.8292 kW\end{aligned}$$

실제로 필요한 펌프의 에너지는 펌프효율에 의해

$$\dot{W}_{pump,real} = \frac{\dot{W}_{pump,theory}}{\eta} = \frac{1.8292kW}{0.7} = 2.6132kW$$

마력으로 환산하면,

$$\dot{W}_{pump,real} = 2.6132kW\cdot\frac{1hp}{0.7357kW} = 3.552hp$$