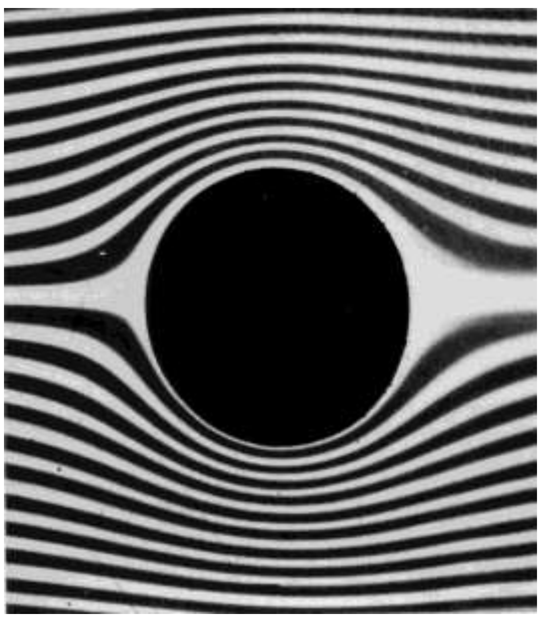
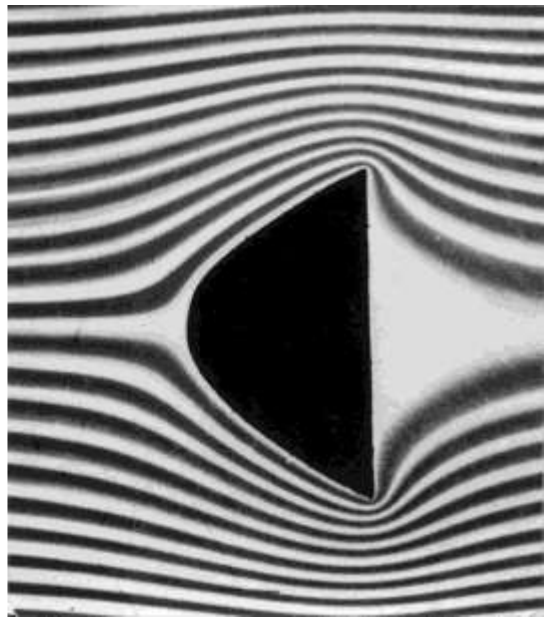
8장: 유체

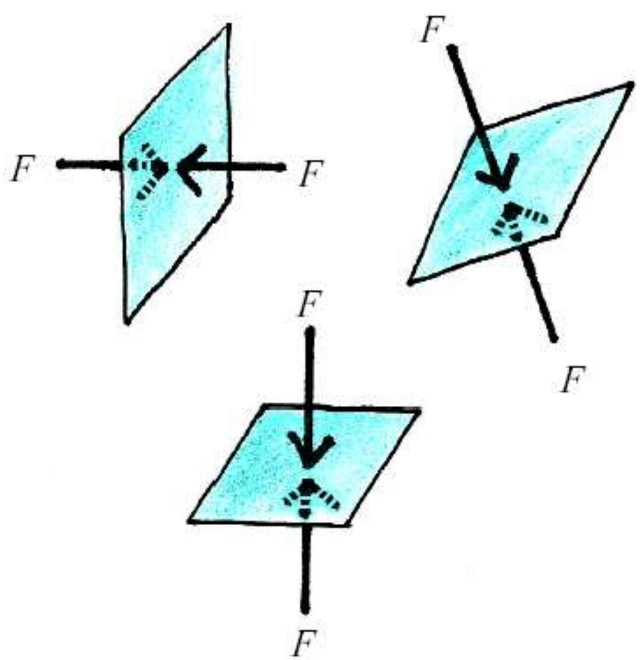




1. 유체의 평형
2. 압력
3. 흐르는 유체
4. 점성과 유체

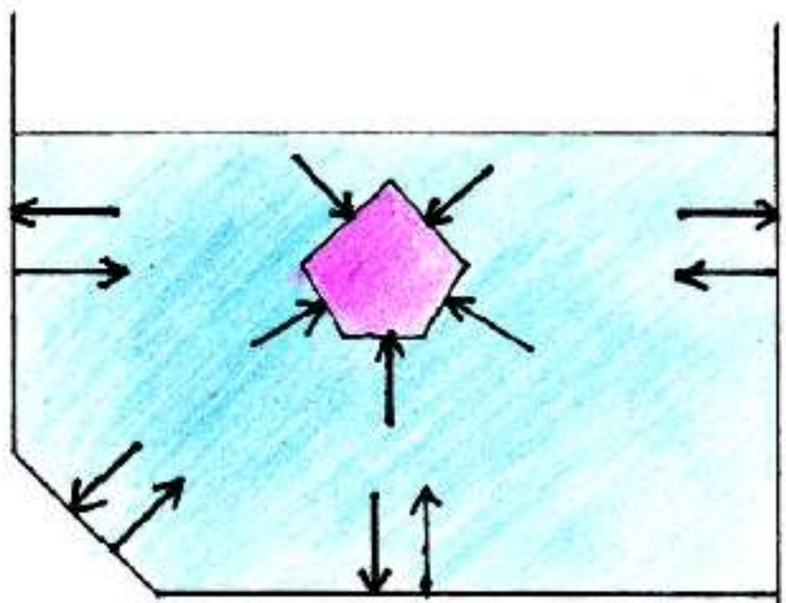
유체의 평형

- 물질은 고체, 액체, 기체로 존재한다.
- 액체는 고체와 달리 수평력(shear stress)을 받지 않는다.
- 정지한 유체는 면에 수직인 수직력만 존재한다.



유체의 평형

- 용기를 담은 표면에 수직인 힘만 작용.
- 유체 속에 든 물체의 표면에서도 수직인 힘만 작용.

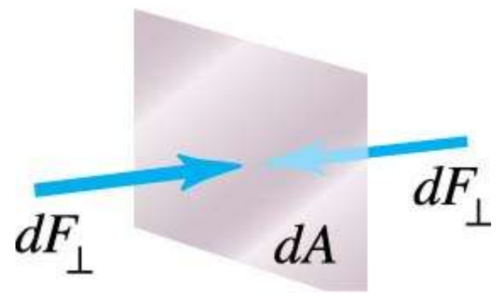


유체의 압력

- 유체의 압력 P 는 넓이 ΔA 에 대해 수직으로 작용하는 힘 ΔF 의 비로 정의 한다.

- 압력:

$$P = \frac{\Delta F_{\perp}}{\Delta A}$$



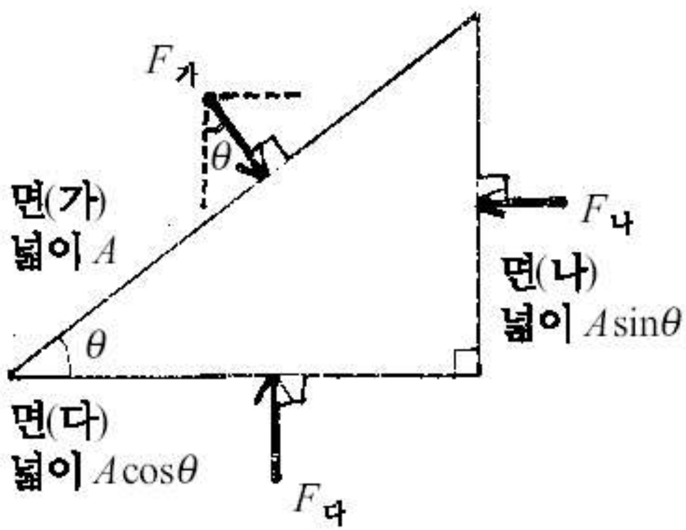
- 단위는 Pa(파스칼) 로서, Pa = N/m^2 이다.

파스칼의 원리

- 정적 평형을 이루고 있는 유체내의 압력은 모든 점에서 동일하다.

- (가), (나), (다) 면에 작용하는 압력은 동일하다.

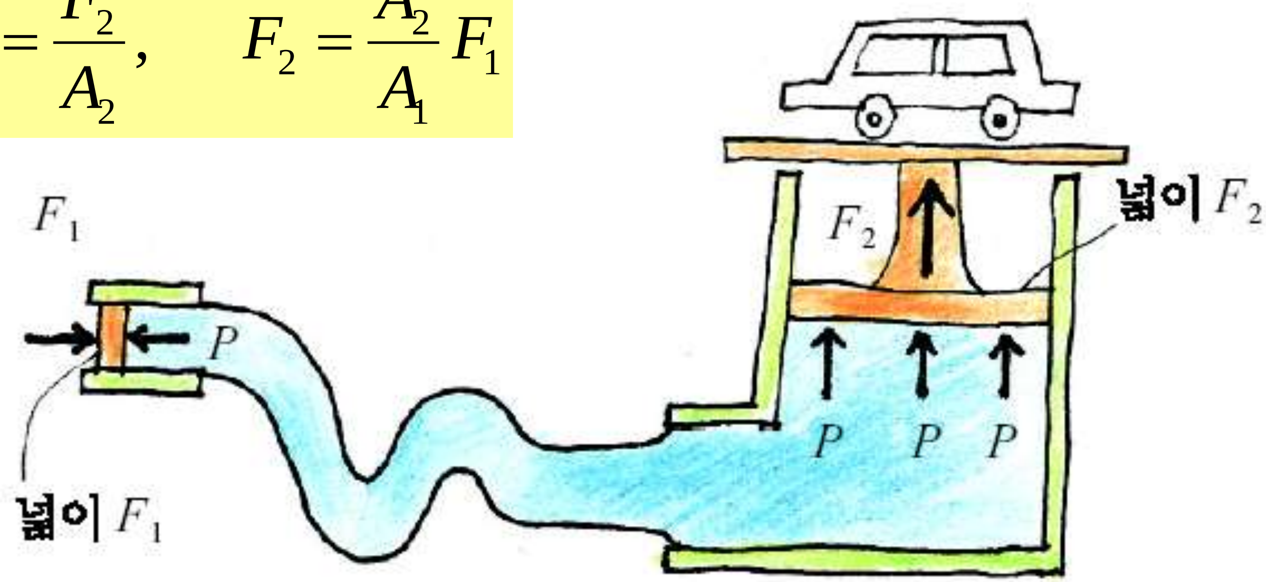
- $P=F_{가}/A$, $P=F_{나}/[A\sin\theta]$, $P=F_{다}/[A\cos\theta]$



증폭되는 힘

- 유압을 이용하여 차를 들어 올리자.
- 두 지점의 압력은 같다.
- 힘은 넓이에 비례한다.

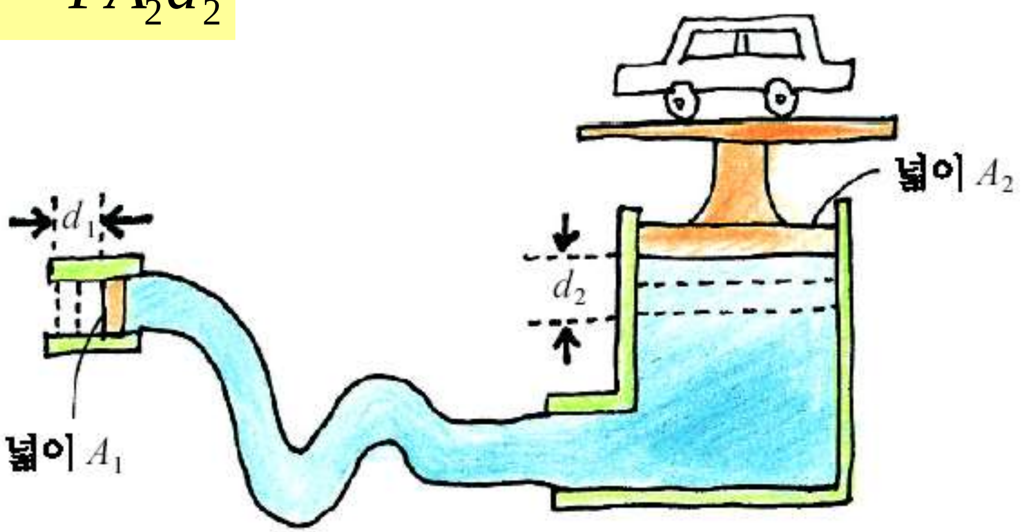
$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}, \qquad F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$$



증폭되는 힘

◆ 유체가 압축되지 않는다면 두 힘이 해주는 일은 같다.

$$A_1 d_1 = A_2 d_2$$
$$W_1 = F_1 d_1 = P A_1 d_1$$
$$W_2 = F_2 d_2 = P A_2 d_2$$



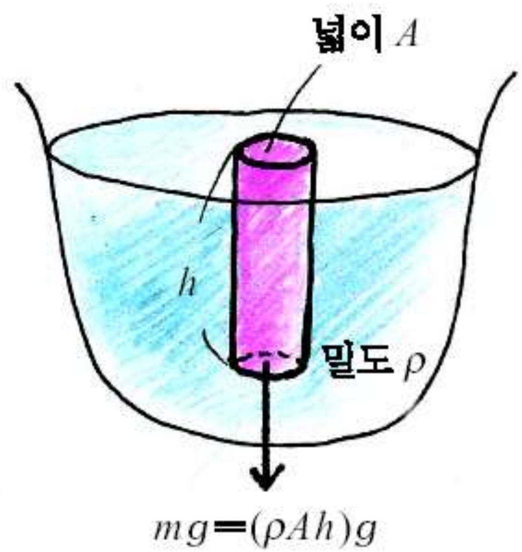
깊이에 따른 유체의 압력

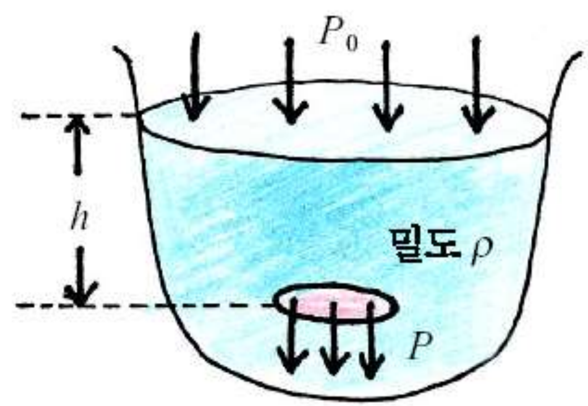
◆ 유체는 중력을 받고 있어 유체자체의 무게에 때문에 깊이에 따라, 힘이 달라지고, 압력도 변한다.

◆ 유체 기둥은 깊이 h 밑의 유체에 $mg/A=\rho g h$ 의 압력을 가한다.

◆ 유체 윗 표면의 압력이 P_0 이면,

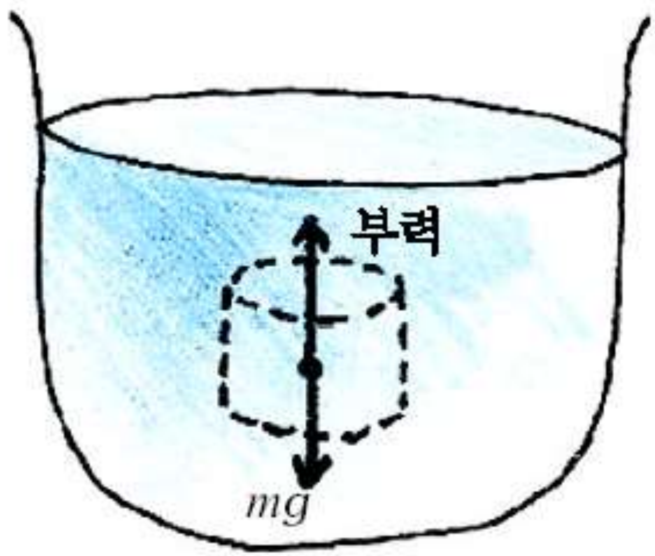
$$P = P_0 + \rho g h$$





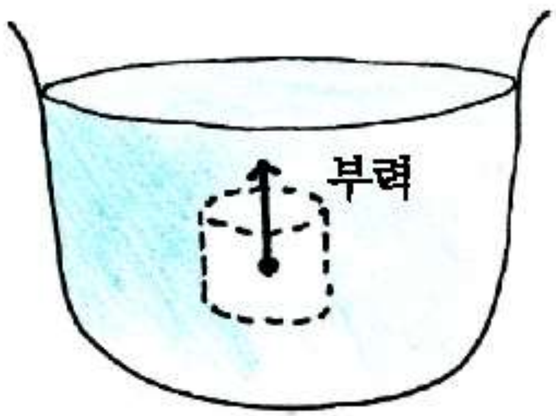
부력

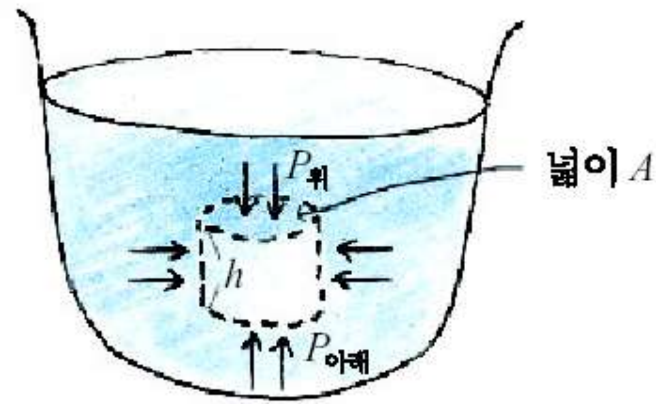
- 유체에 잠긴 물체는 부력을 받는다
- 유체 속에서 물체가 받는 부력은 밀려난 유체의 무게와 같다.



부력의 크기

- 부력=통속에 있던 유체의 무게



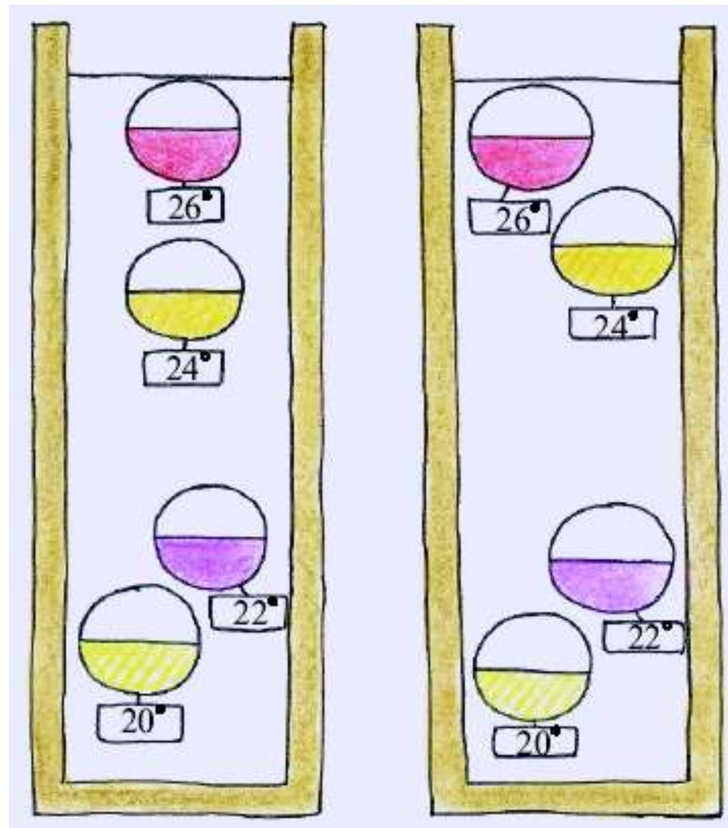


$$P_{아래} - P_{위} = \rho g h$$

$$(P_{아래} - P_{위})A = (\rho h A)g = mg$$

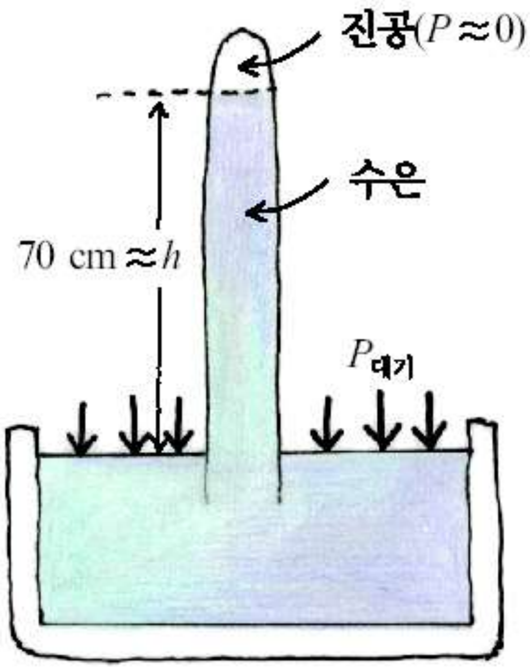
갈릴레이 온도계

◆ 부력을 이용한 온도계. 액체의 온도가 변하면 부피가 변하고, 이에 따라 밀도가 변한다. 액체 속의 부력이 변한다.



대기압

- 토리첼리는 17 세기 수은기둥을 이용하여 대기의 압력을 측정하였다.
- 수은주의 높이는 760 mm. 대기압을 760 mmHg=760 torr (1 mmHg= 1 torr)



$$1기압(\mathrm{atm}) = \rho_{수은} g h$$

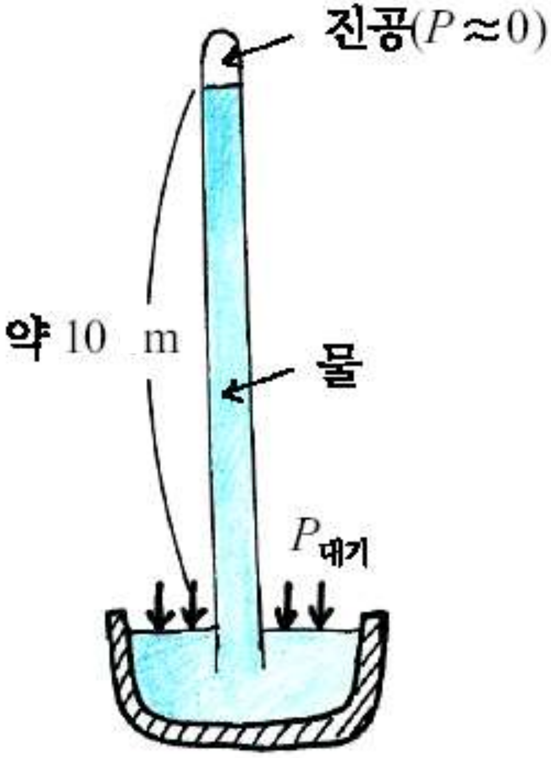
$$\rho_{수은} = 13.6 \times 10^{3}\ \mathrm{kg/m^{3}}$$

$$1기압(\mathrm{atm}) = \rho_{수은} g h = 1.013 \times 10^{5}\ \mathrm{Pa}$$

$$= 1.013 \times 10^{5}\ \mathrm{N/m^{2}}$$

물기둥

◆ 토리첼리는 17 세기 수은기둥을 이용하여 대기의 압력을 측정하였다.

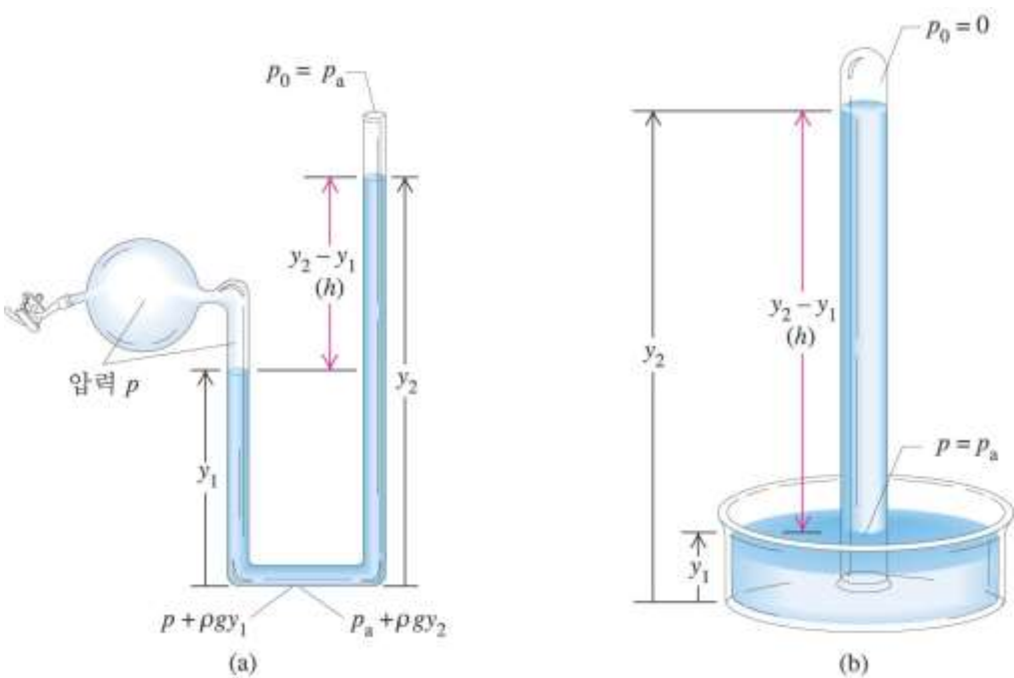


$$= 760\,\text{mm} \times \frac{\rho_{수은}}{\rho_{물}} = 10{,}336\,\text{mm} = 10.336\,\text{m}$$

수은기압계

- 대기압 이상의 과다압력을 계기압력이라 하고, 총 압력을 절대압력이라 한다.

- 열린관 압력계. U 자형 관에 수은이나 물같은 액체로 차있다.



(*a*)

$$p + \rho g y_1 = p_a + \rho g y_2$$

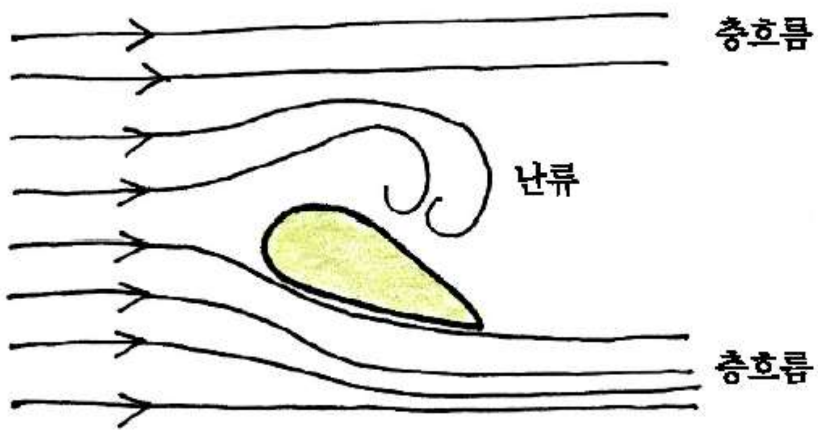
$$p - p_a = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h$$

(*b*)

$$p_a = p = 0 + \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h$$

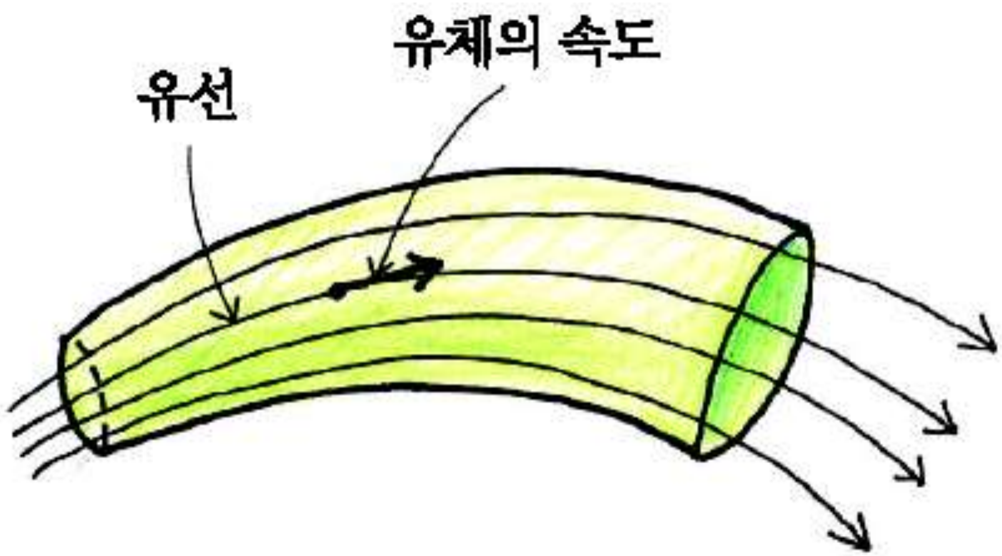
흐르는 유체

- 유체가 흐르게 되면, 점마다 유체의 속도가 바뀌고, 작용하는 압력도 변한다.
- 유체의 흐름은 장애물을 만나면 소용돌이를 일으킨다 이를 난류(turbulence)라 한다.
- 소용돌이 없이 잔잔하게 흐르는 유체의 흐름을 층흐름(laminar flow)이라 한다.



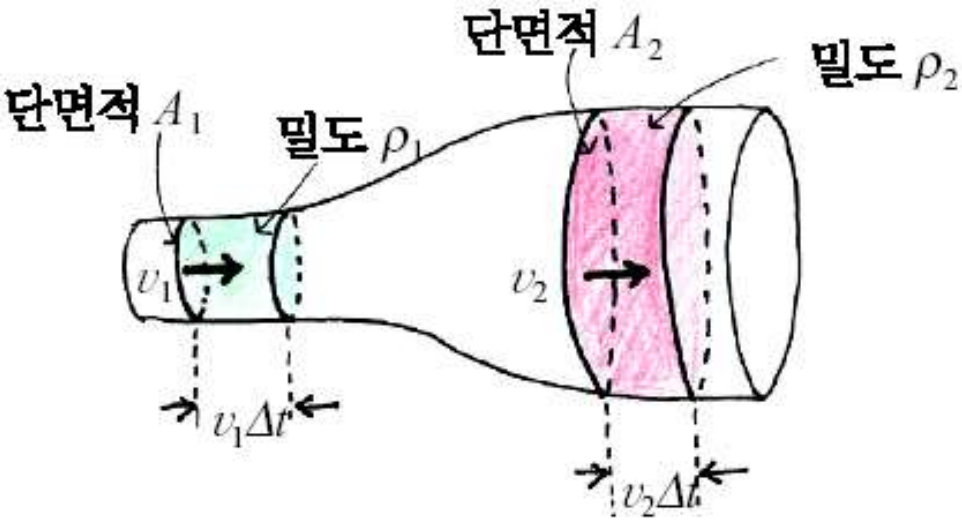
흐르는 유체

- 층흐름에서 유체속도 방향으로 유선(stream line)을 그릴 수 있다. 유선은 서로 교차하지 않으며, 유체는 유선을 따라 흐른다.



질량의 보존- 연속 방정식

◆ 유체가 비압축성이라면, 밀도가 모든 곳에서 일정하다.

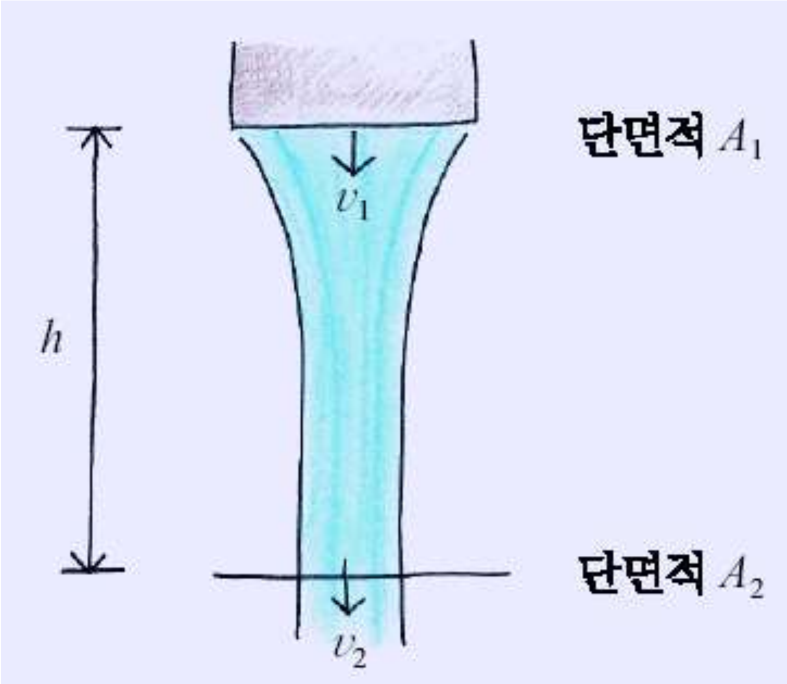


$$\Delta m_1 = \Delta m_2$$
$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$$
$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (\rho_1 = \rho_2)$$
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

◆ 관이 좁을수록 유속은 빠르다.

수돗물의 굵기

◆ 꼭지에서 나오는 수돗물의 굵기는 ?



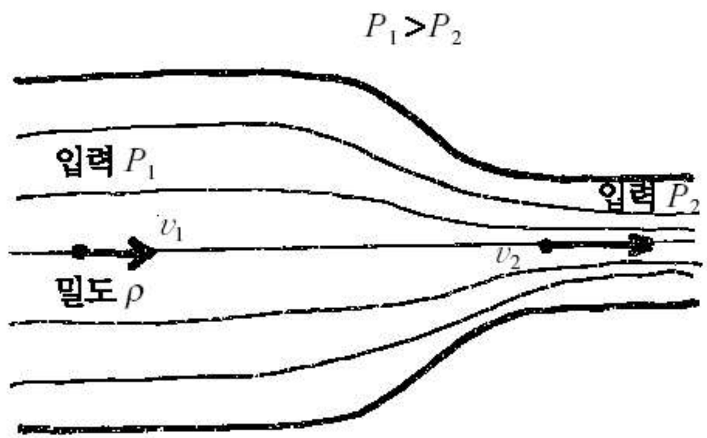
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2gh$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1}{\sqrt{v_1^2 + 2gh}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2gh / v_1^2}}$$

베르누이 방정식

◆ 흐르는 물에서 유체의 압력은 어떻게 변할까 ?

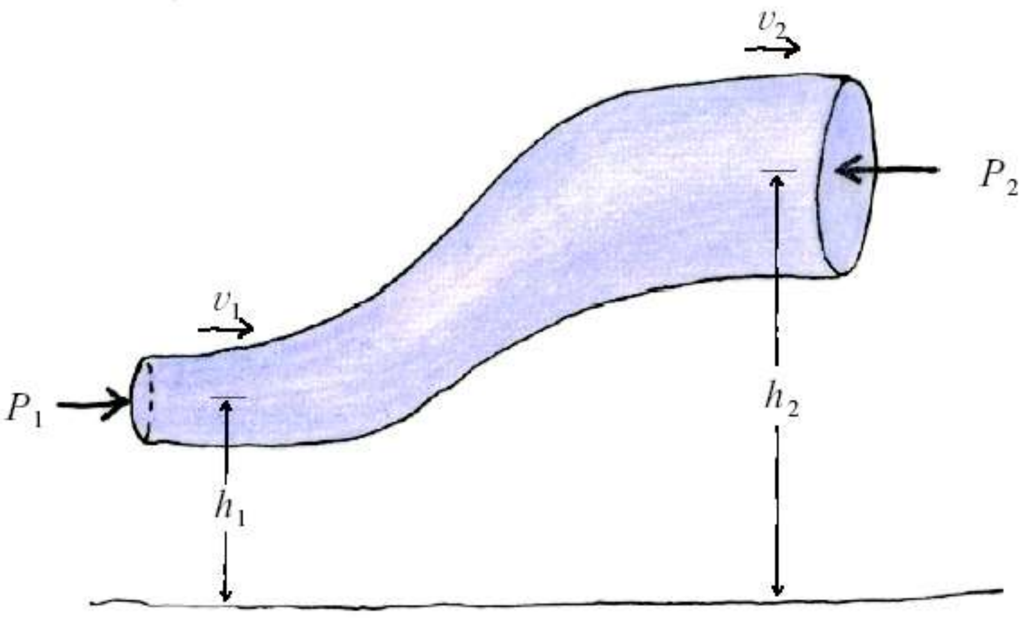


◆ 베르누이 방정식;

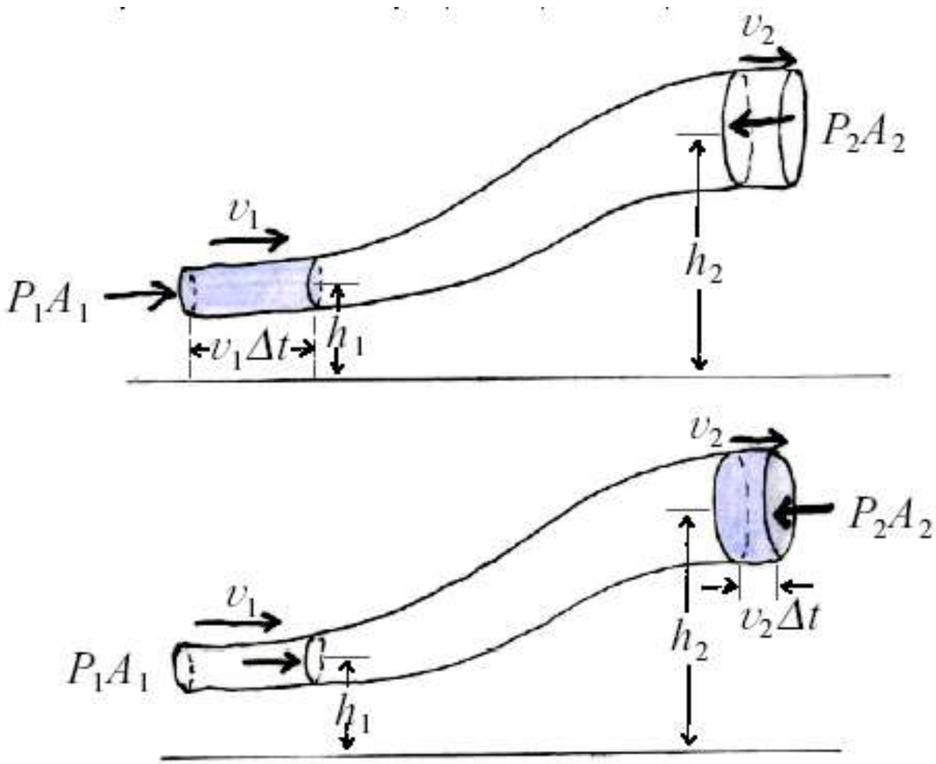
$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

베르누이 방정식-에너지 보존

- 베르누이 방정식; 유체의 역학적 에너지 보존.



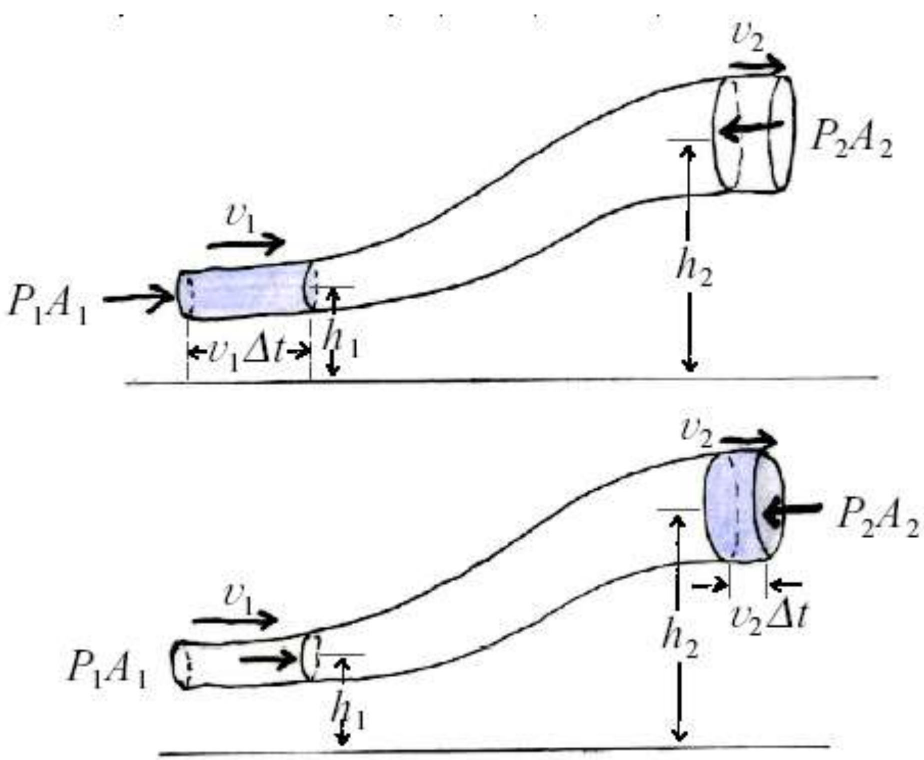
베르누이 방정식-역학적 에너지 보존



$$F_1(v_1\Delta t) = (P_1A_1)(v_1\Delta t)$$
$$F_2(v_2\Delta t) = (P_2A_2)(v_2\Delta t)$$
$$\Delta W = (P_1A_1)(v_1\Delta t) - (P_2A_2)(v_2\Delta t)$$

$$A_1v_1\Delta t = A_2v_2\Delta t = \Delta V$$
$$\Delta W = (P_1 - P_2)\Delta V$$

베르누이 방정식- 역학적 에너지 보존



$$\Delta W = \Delta K + \Delta U$$

$$m = \rho \Delta V$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$\Delta U = mgh_2 - mgh_1$$

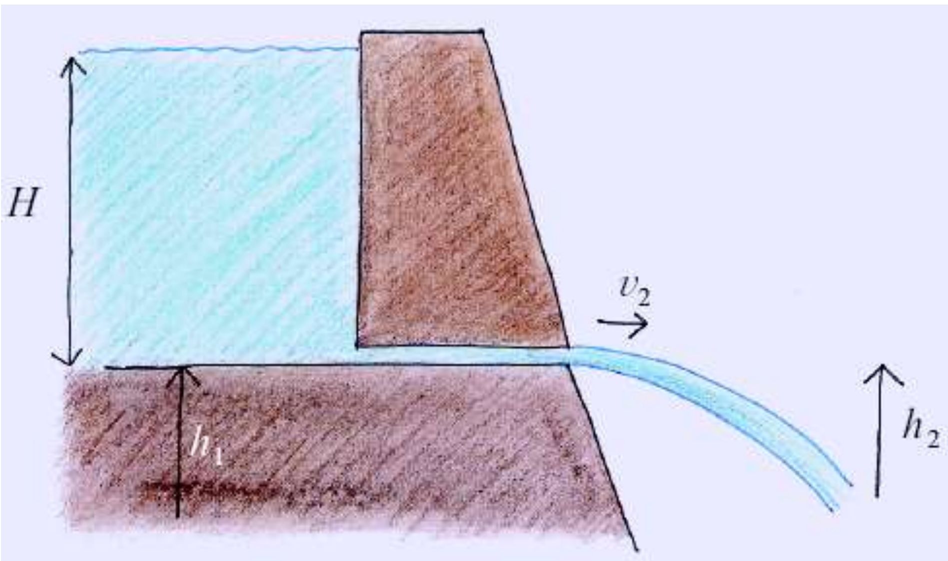
$$(P_2 - P_1)\Delta V = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 - mgh_1$$

$$(P_2 - P_1) = \frac{1}{2}\rho v_1^2 - \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 - \rho gh_1$$

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

소양강댐

◆ 물줄기의 속력은 ?



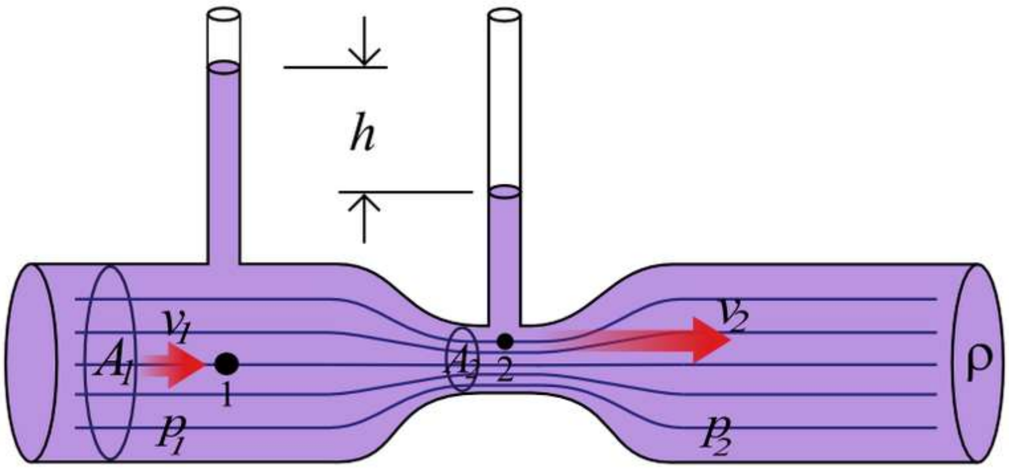
$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$h_1 = h_2, \quad v_1 = 0$$

$$v_2^2 = 2(P_1 - P_2)/\rho$$

벤튜리 관

◆ 유체의 압력차를 이용 유체의 속력을 측정하는 기기.

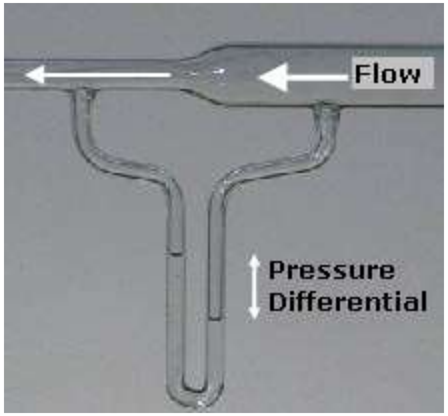


$$P_1 - P_2 = \rho g h$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

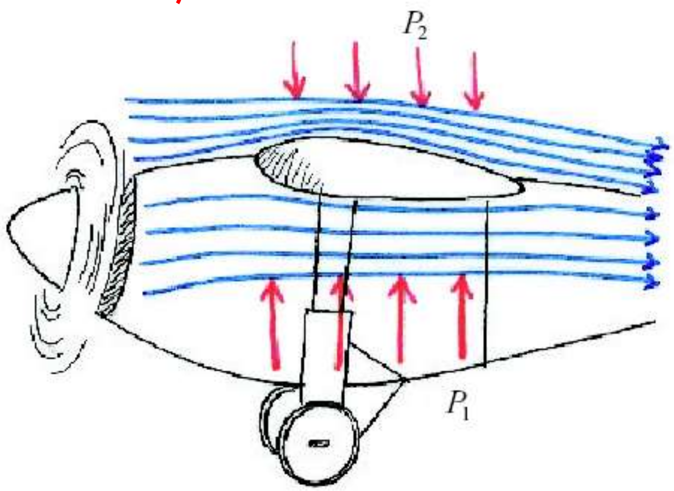
$$v_1 = \sqrt{\frac{2hg}{(A_1 / A_2)^2 - 1}}$$



양력(Lift force)

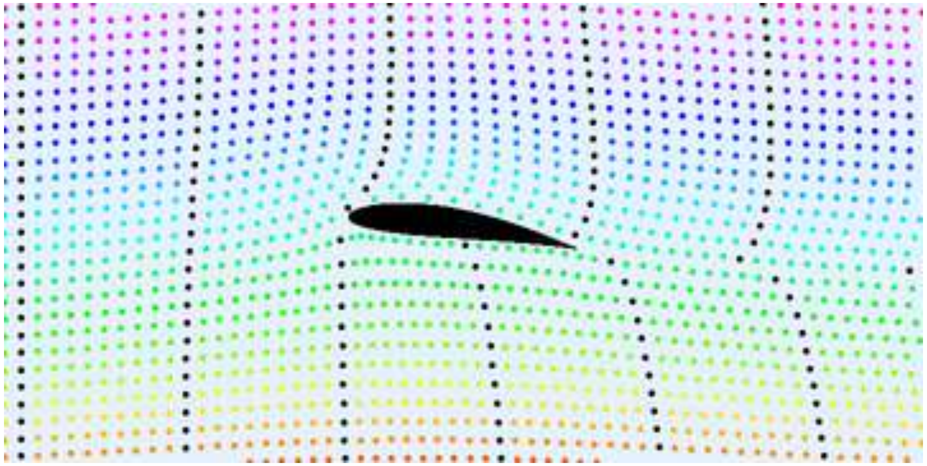
- 속도차로 인해 윗면의 압력이 낮고, 위 방향으로 뜨는 힘이 생긴다.

- 유체내에서 물체의 움직임으로 부터 오는 동적 양력(dynamic Lift)이다.



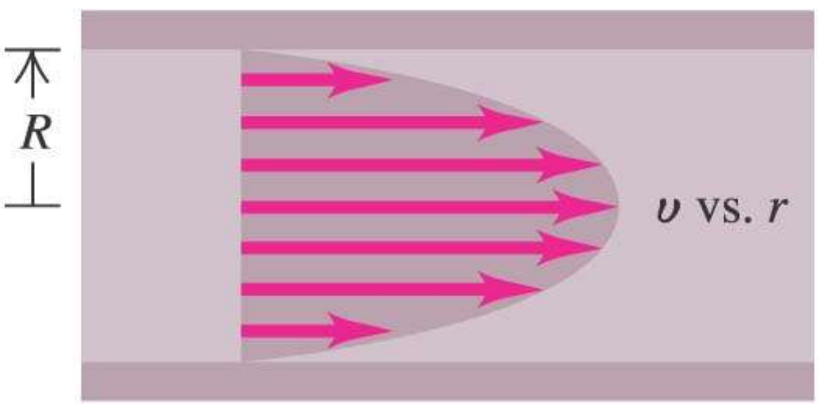
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

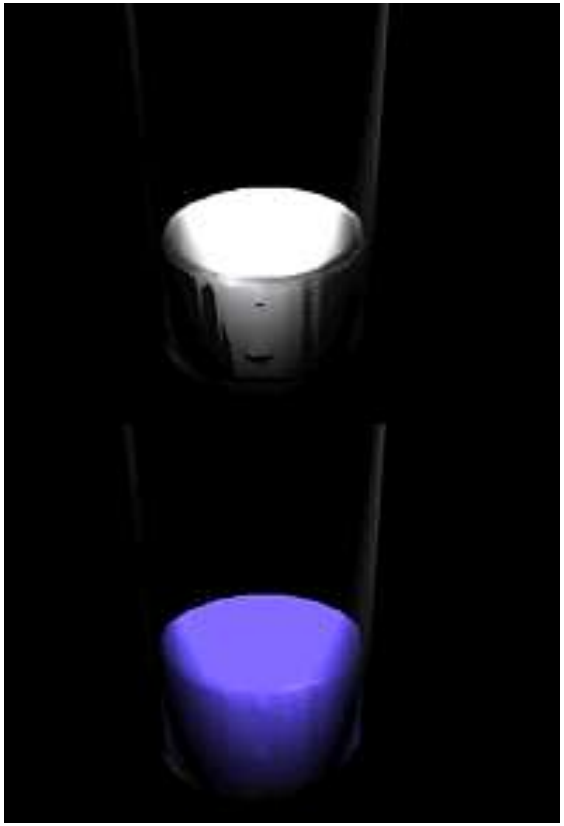
$$F = A(P_1 - P_2) = \frac{1}{2}\rho A(v_2^2 - v_1^2)$$



점성(viscosity)과 유체

- 실제 유체에서는 점성이 중요한 역할을 한다.
- 점성은 유체내부에서 유체끼리의 마찰의 결과.





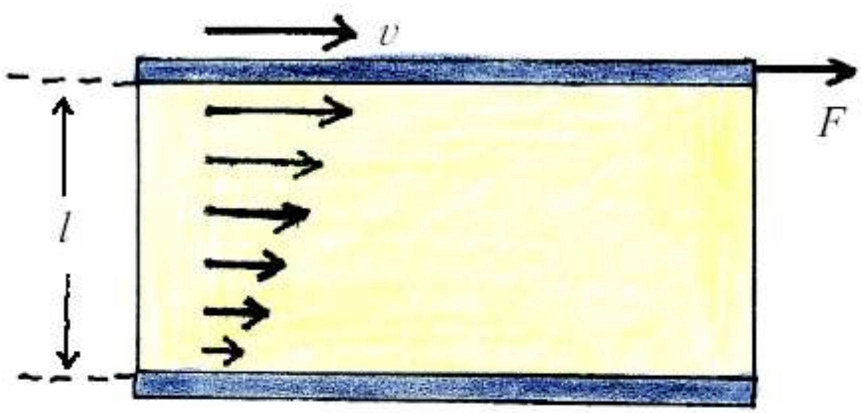
The substance above has lower viscosity than the substance below

정지한 유체위에 판을 놓고 v 라는 속도로 밀어보자

- 점성이 없다면, 속도 v 로 미끌어져 간다. 유체는 정지상태.
- 점성이 있으면, 판이 v 라는 속도로 계속 움직이려면 외부의 힘이 필요하다.
- 유체에 작용하는 층 밀리기 힘 F,

$$F = \eta A \frac{v}{l}$$

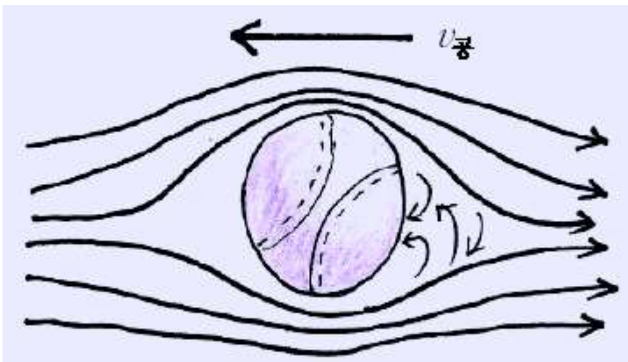
η; 점성계수

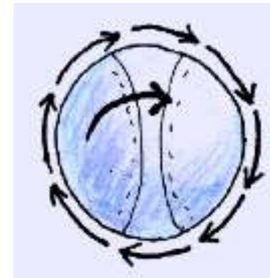


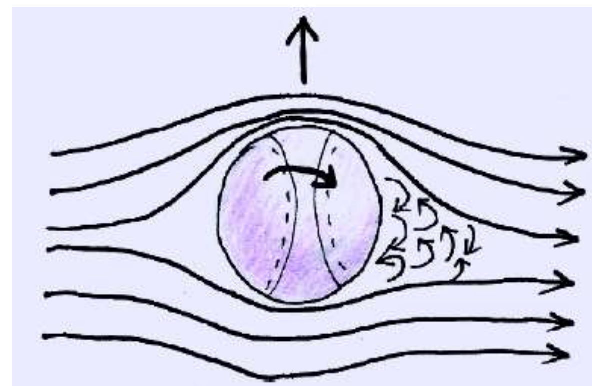
액체	온도(C)	점성계수(10^{-3} Pa·s)
물	20	1.0
혈액	37	0.3
에틸알코올	20	1.2
글리세린	20	1500
공기	20	0.018
수증기	100	0.013
엔진오일	30	200

커브볼

◆ 회전없이 날아가는 야구공과 회전하면서 날아가는 공을 비교하자.







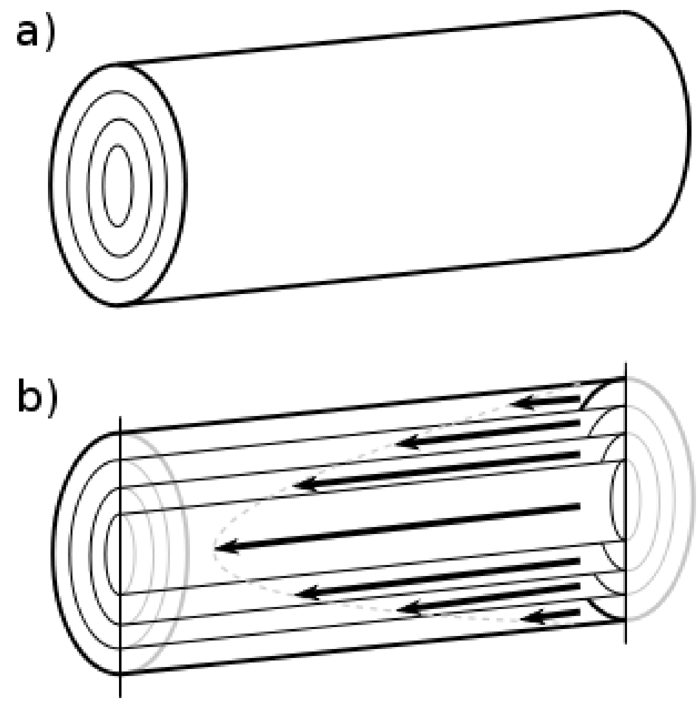
◆ 공기의 점성때문에 공의 표면 근처의 공기층이 공의 회전 방향을 따라 움직이므로,

◆ 위쪽 표면의 공기의 흐름이 빨라서, 압력이 낮아지므로 공이 뜬다.

포아즈이유 방정식 (Poiseuille's equation)

◆ 관을 통과하는 유체의 부피 흐름률;

$$R_v = \frac{\pi R^4 (P_2 - P_1)}{8\eta L}$$



단원요약

◆ 압력은 단위 면적에 수직으로 작용하는 힘이다. 단위는 **Pa = N/m²** 이다.

◆ 정적 평형상태의 유체의 압력은 모든점에서 동일하다 (파스칼의 정리)

◆ 유체의 무게 때문에 깊이에 따라 압력이 달라지고 부력이 생긴다.

◆ 부력의 크기는 유체에 잠긴 부분에 들어있는 유체의 무게와 같다.

◆ 연속 방정식; $\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$

◆ 베르누이 정리; $P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$

◆ 유체의 점성은 유체의 마찰의 결과로 나타난다.