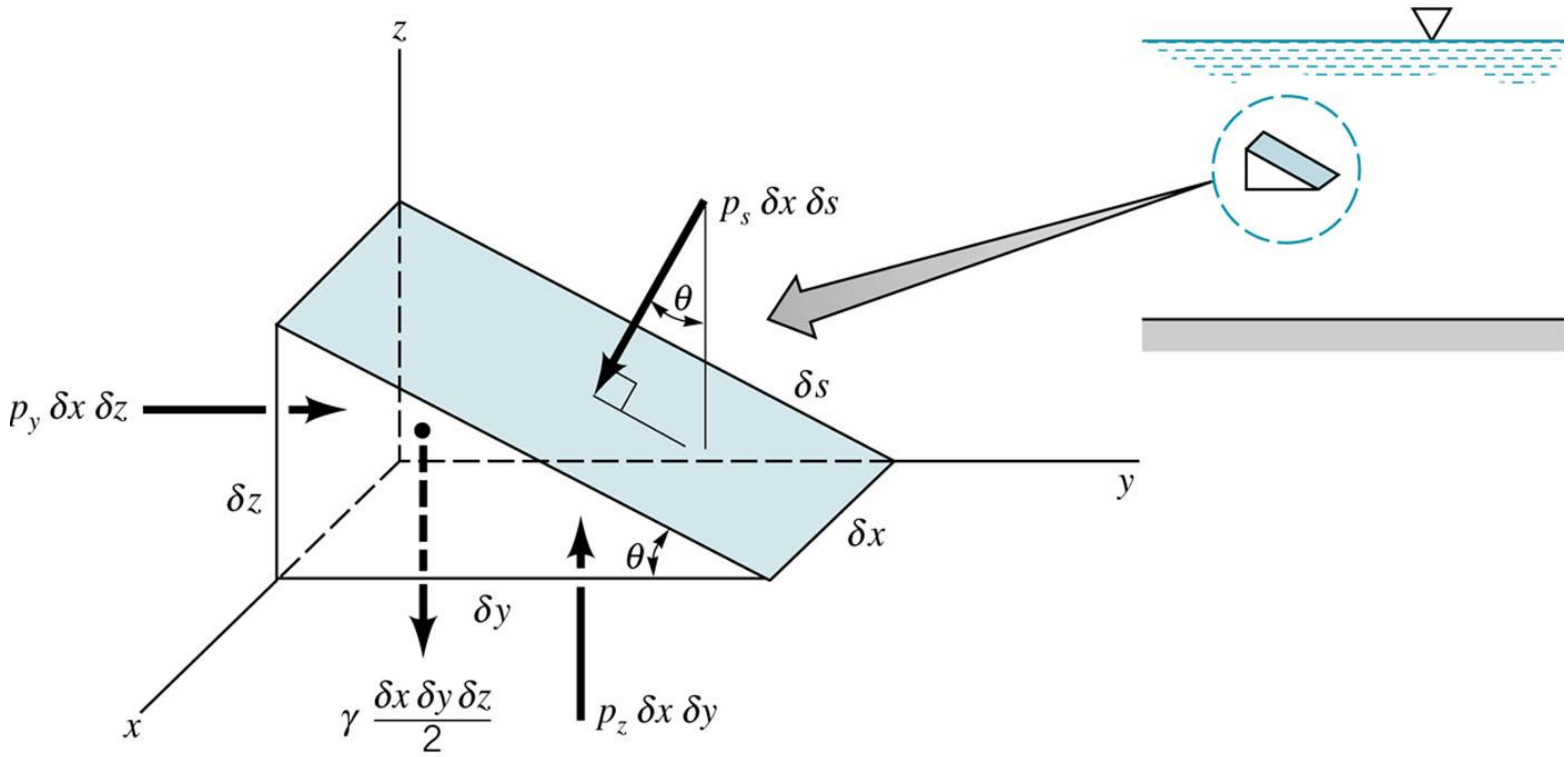
제2장　유체정역학

학습 목표

- 정지된 유체 내의 여러 위치에서 압력을 계산한다.
- 마노미터의 개념설명과 압력을 계산하기 위하여 적절한 방정식을 적용한다.
- 유체 속에 잠긴 평면 또는 곡면에 작용하는 정수력을 계산한다.
- 부력의 계산과 떠 있거나 잠긴 물체의 안정성에 대한 논의한다.

제2장 유체정역학

2.1 한 점에서의 압력

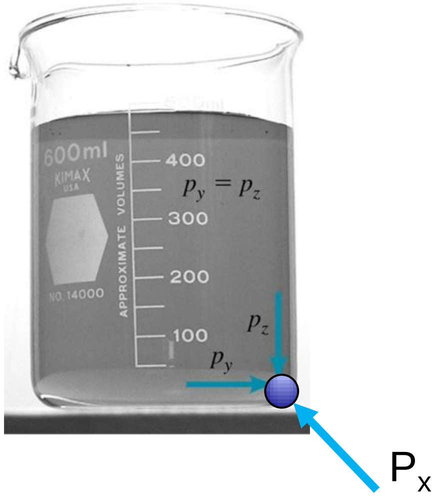


- 압력에 의한 표면력(surface force)과
  무게에 해당하는 체적력 (body force) 작용

결과 식 : 파스칼의 법칙

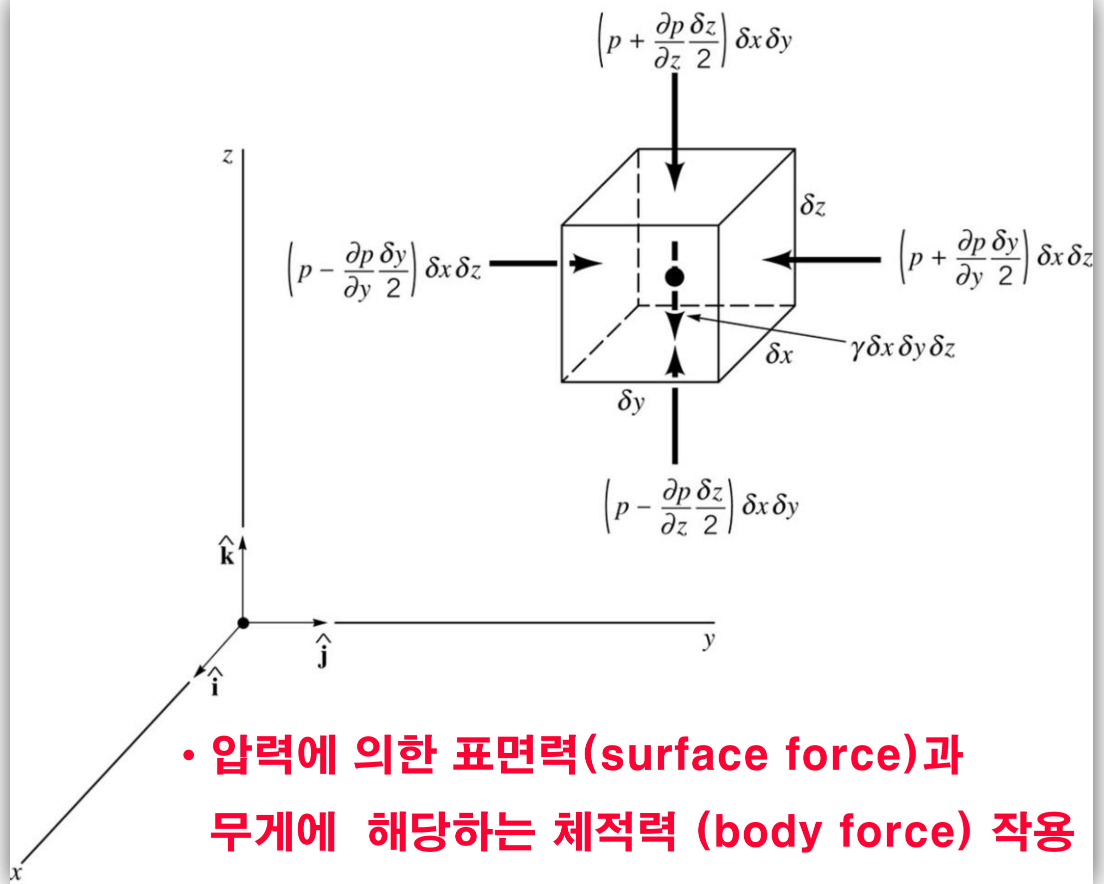
$$\boxed{P_s = P_x = P_y = P_z}$$

• 의미 : **전단응력이 없는 한**(=유체 입자들 사이의 상대운동 없다. 즉, 강체운동) 정지상태 또는 움직이는 유체 내의 **한 점에서의 압력은 모든 방향으로 같다**.



2.2 압력장에 대한 기본 개념

•미소 체적 중심에서의 압력을 P라고 하면

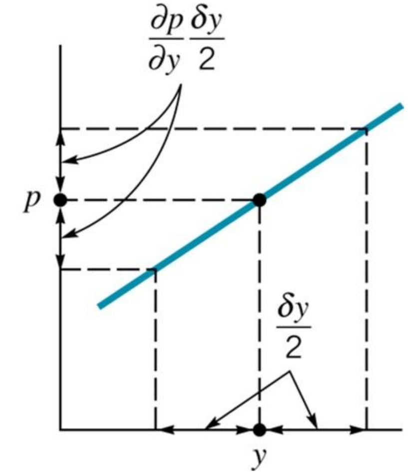


• 압력에 의한 표면력(surface force)과 무게에 해당하는 체적력 (body force) 작용

옆의 그림이 편미분 형태로 나타나는 이유

• 유체요소 중심에서의 압력 = p

• 각 면에서의 평균압력 → Taylor 급수전개 (高次항 무시, 변화를 직선으로 가정)



기울기 = $\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{높이}{(\delta y/2)} \Rightarrow 높이 = \frac{\partial p}{\partial y}\frac{\delta y}{2}$

결과 식 : 전단응력이 없는 압력장에서 가속도 $\vec{a}$로 움직이는 유체의 운동방정식 (일반식)

$$\boxed{-\vec{\nabla}p-\gamma\vec{k}=\rho\vec{a}}$$

[참고] del 또는 gradient (▽)의 정의

$$\vec{\nabla}(\,)=\frac{\partial(\,)}{\partial x}\vec{i}+\frac{\partial(\,)}{\partial y}\vec{j}+\frac{\partial(\,)}{\partial z}\vec{k}$$

따라서, $\vec{\nabla}p=\frac{\partial p}{\partial x}\vec{i}+\frac{\partial p}{\partial y}\vec{j}+\frac{\partial p}{\partial z}\vec{k}$

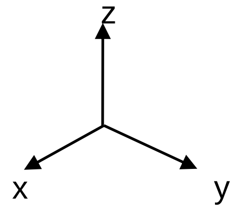
2.3 정지된 유체 내의 압력분포

식 (2.2)에서 정지된 유체는 가속도 $\vec{a}=0$ 이므로

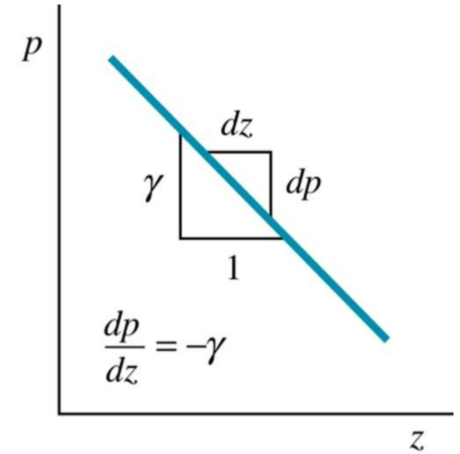
$$\boxed{\vec{\nabla} p + \gamma \vec{k} = 0}$$

$$\boxed{\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \qquad \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \qquad \frac{\partial p}{\partial z} = -\gamma}$$

$$\boxed{\frac{dp}{dz} = -\gamma}$$

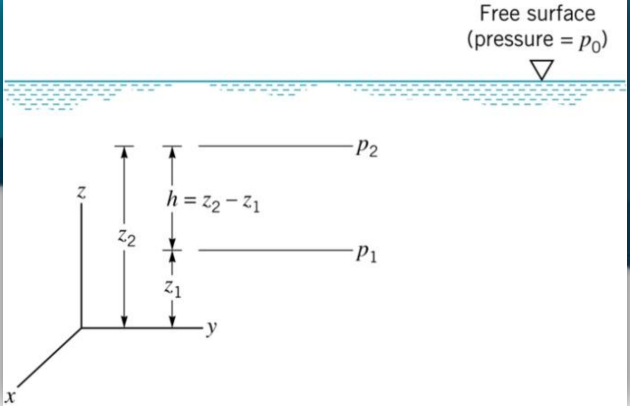


좌표계 (coordinate system)



제2장 유체정역학

$$\frac{dp}{dz} = -\gamma \quad (\text{here}, \gamma = \rho g)$$



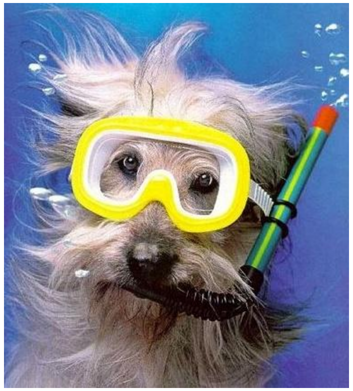
2.3.1 비압축성 유체 (incompressible fluid)	2.3.2 압축성 유체 (compressible fluid)
• 정의 : 밀도가 일정한 유체 (대부분의 액체) • 밀도가 일정하면 비중량도 일정하므로 식 (2.4)를 적분하면 $p_1 - p_2 = \gamma(z_2 - z_1) \quad (2.5)$ $p_1 - p_2 = \gamma h \quad (2.6)$ $\therefore p_1 = \gamma h + p_2 \quad (2.7)$: 정수압분포(hydrostatic distribution) • 의미 : 정지된 비압축성 유체내의 압력은 깊이에 따라 선형적으로 변한다.	• 정의 : 밀도가 변하는 유체(대부분의 기체) • 기체의 비중량은 액체에 비해 매우 작으므로 수직방향의 압력구배도 작다. • 수백m의 고도차이 → 압력 거의 일정 • 수천m의 고도차이 → 비중량 변화 고려 필요 $p_2 = p_1 \exp\left[-\frac{g(z_2 - z_1)}{RT_0}\right]$ 등온 기체 층에서의 압력-높이 관계식

◆ 압력수두(pressure head)

- 압력의 크기를 유체의 높이로 나타낸 것
- 즉, 압력차 $P_1 - P_2$를 만드는데 필요한 비중량이 γ 인 유체기둥의 높이

$$p_1 = \gamma h + p_2 \Rightarrow h = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

예 : 물(γ =9,800N/m^3)의 압력차가 69kPa이면 수두는 7.04m이다.



잠수 깊이에 따른 압력 계산 법

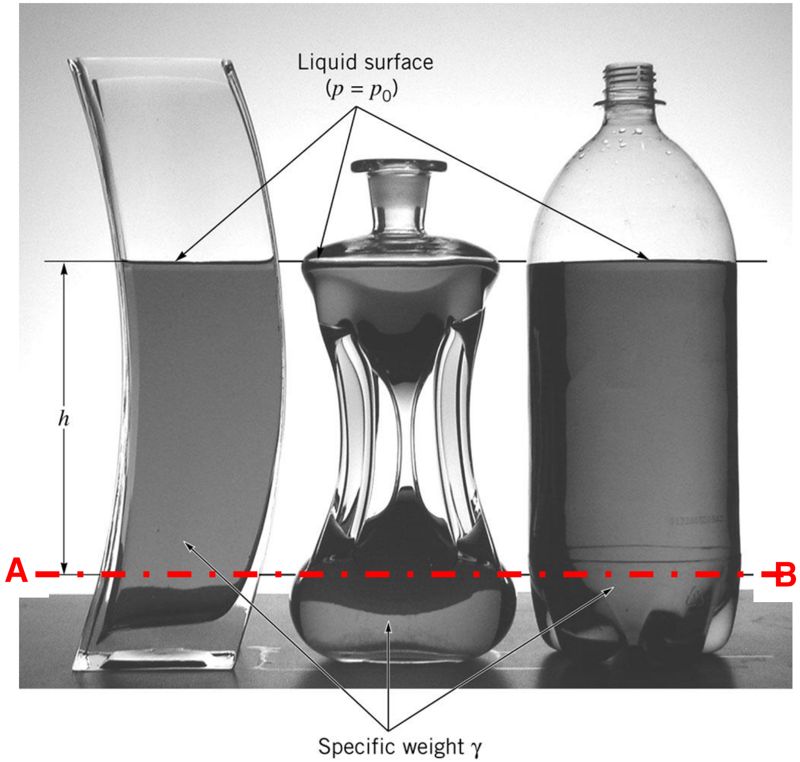
→ 물에서 7.04m 잠수하면
압력차는 69kPa를 느낀다.

제2장 유체정역학

• 기준면을 자유표면(free surface)으로 잡으면

$$P = \gamma h + P_0 = \gamma h$$

• 액체의 종류가 같으면(예 : 물) : 압력은 기준면으로 부터의 깊이에만 영향을 받는다. 즉, 용기의 모양이나 크기는 영향이 없다.



• 유체의 종류가 달라지면 (예 : 바닷물, 물, 콜라) 비중량이 달라지므로 동일한 위치에서도 압력은 달라진다.

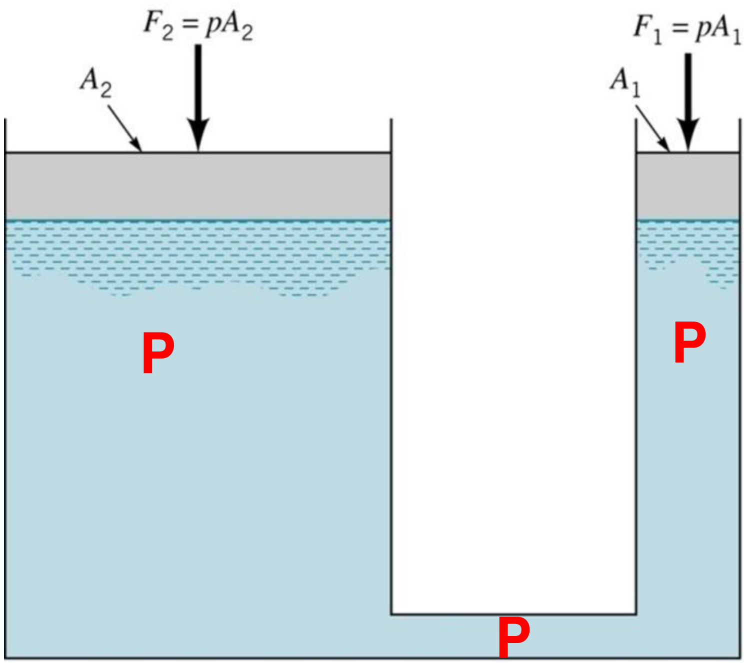
◆ 유압잭(jack) 원리

jack은 크기가 작으므로 <u>깊이에 따른 압력변화를 무시하면</u> jack내의 모든 점에서의 압력은 동일하다. 따라서

$$F_1 = A_1 p \quad (1)$$

$$F_2 = A_2 p \quad (2)$$

(a)



(b)

식 (1), (2)에서 p를 소거하면

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$$

- 유압(油壓, hydraulic)의 원리 -

① 면적차를 이용한다.

② 유압펌프로 큰 압력을 발생시킨다.

➔ 공작기계, 건설중장비 등 큰 힘이 필요한 곳에 사용

제2장 유체정역학

선박의 육상건조, 수리, 이송 등

해상 풍력발전기 수평조정

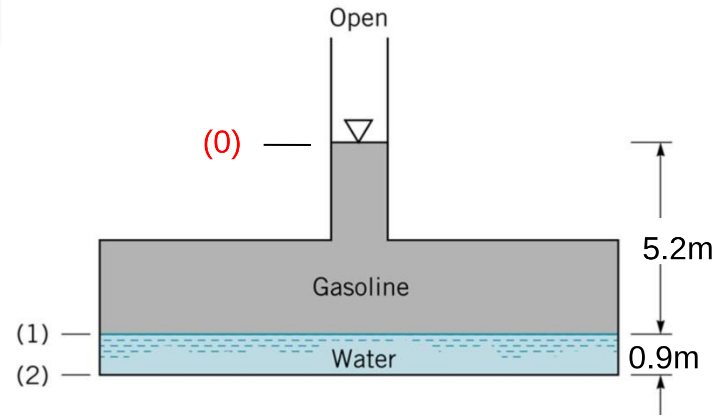
$$p = \gamma h + p_0$$

예제 2.1 : 압력 – 깊이 관계

누유 … 물 0.9m 침수, 휘발유 비중 SG=0.68

경계면(1)과 바닥면(2)에서의 압력은?

(1), (2)에서의 압력수두를 물의 높이로 나타내면?

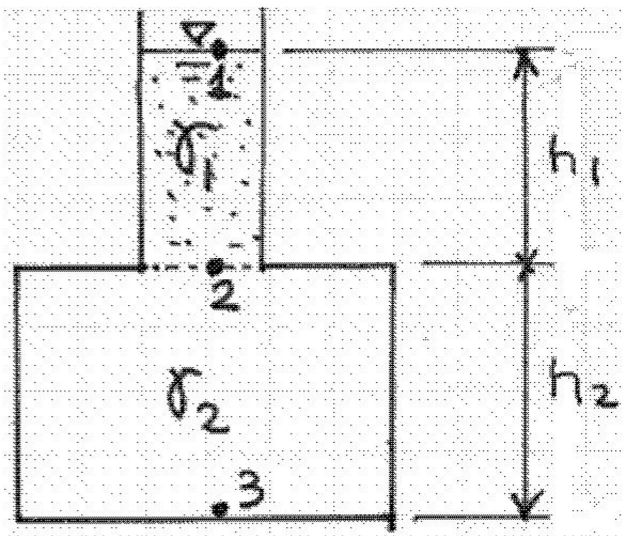


$P_1 = P_a$

$P_2 = P_a + \gamma_1 h_1$

$P_3 = P_2 + \gamma_2 h_2$

$= P_a + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2$



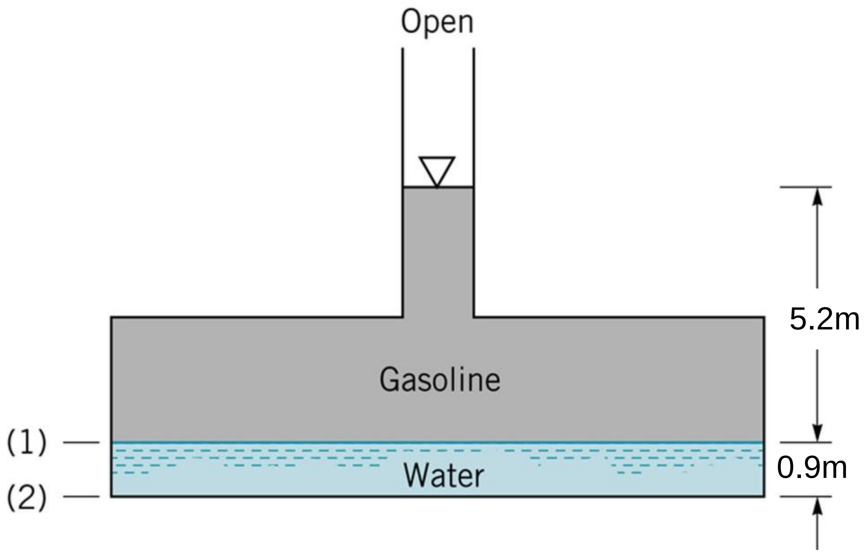
(1) $P_1 = \mathrm{SG} \bullet \gamma_{\mathrm{H2O}} + P_0 = 34.7kN/m^2$

$$\frac{P_1}{\gamma_{\mathrm{H2O}}} = \frac{34.7kN/m^2}{9{,}800N/m^3} = 3.54m$$

(2) $P_2 = \gamma_{\mathrm{H2O}} h_{H2O} + \mathrm{P}_1 = (9{,}800N/m^3)(0.9m) + 34.7kN/m^2$

$= 43.5\,\mathrm{kN/m^2}$

$$\frac{P_2}{\gamma_{\mathrm{H2O}}} = \frac{43.5kN/m^2}{9{,}800N/m^3} = 4.44m$$



예제 2.2 : 비압축성 및 등온에서의 압력-깊이 관계

693.4m, 공기온도 15℃(288K),

단, 기체상수 R=286.9(J/kgK)이다.

(a) 건물꼭대기와 지상에서의 압력비? 단, 압축성유체로 가정

(b) 압력=101.3kPa, γ =12.0N/m³(해수면 공기)인

비압축성 공기로 가정하여 (a)와 비교하라.

(a) $$\frac{p_2}{p_1} = \exp\left[-\frac{g(z_2 - z_1)}{RT_0}\right] = 0.921$$

(b) $$p_2 = p_1 - \gamma(z_2 - z_1)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 - \frac{\gamma(z_2 - z_1)}{p_1} = 0.918$$

결과는 비슷 ,
건물의 바닥과
꼭대기는 약
8%차이