

# 유체역학 ( 02 차 )

## 1장. 유체의 기본 성질

- ① 유체의 정의
- ② 유체 역학의 적용
- ③ 유체 역학의 역사
- ④ 유체의 성질

( 밀도, 비중, 비중량, 비체적 )



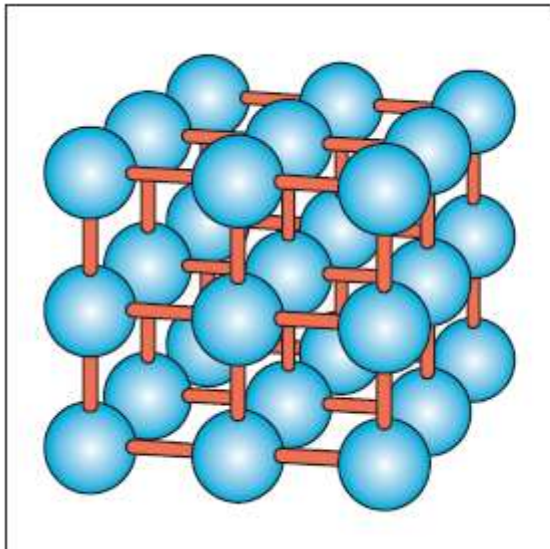
# 1-1 유체의 정의

## ◆ 유체 (FLUID)

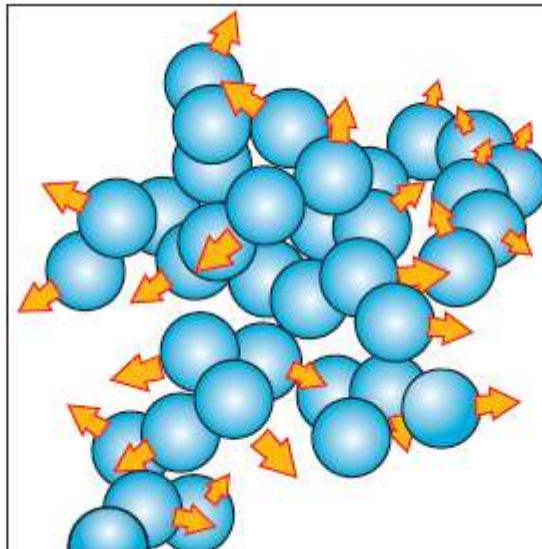
※ 물질의 상태 : 고체, 액체, 기체

유체(fluid) - 액체(liquid)와 기체(gas) 상태에 있는 물질

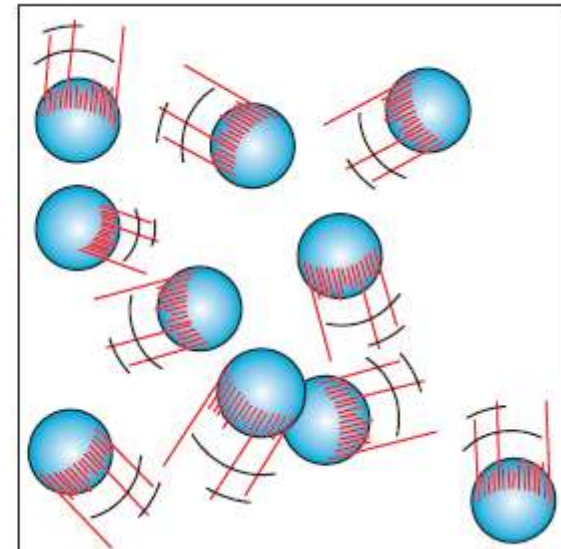
(고체)



(액체)



(기체)



# 1-1 유체의 정의

## ※ 유체의 정의

전단응력(shear stress)을 가하면 계속해서 변형이 일어나는 물질

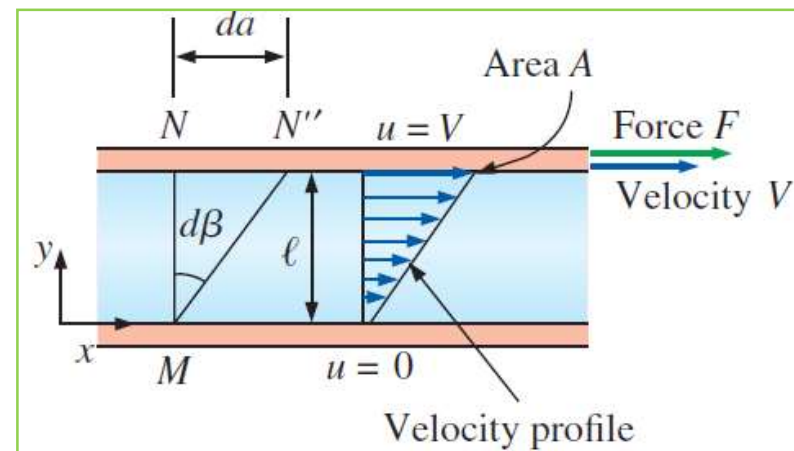
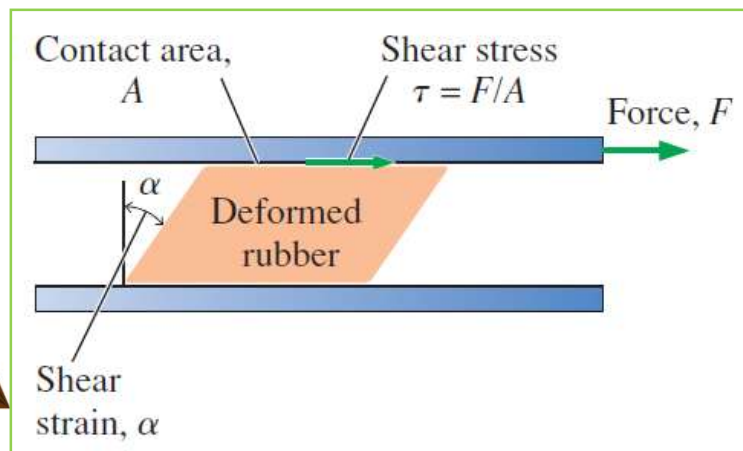
## ※ 고체와 유체의 차이

**고체** : 전단응력이 가해지면 변형이 일어남으로 힘에 저항할 수 있다.

**유체** : 전단응력이 가해지면 계속해서 변형이 일어난다.

⇒ 정지된 유체 내의 모든 점에서 전단응력은 항상 영(zero)

(고체)



(액체)

학교

# 1-1 유체의 정의

## ※ 액체와 기체의 차이

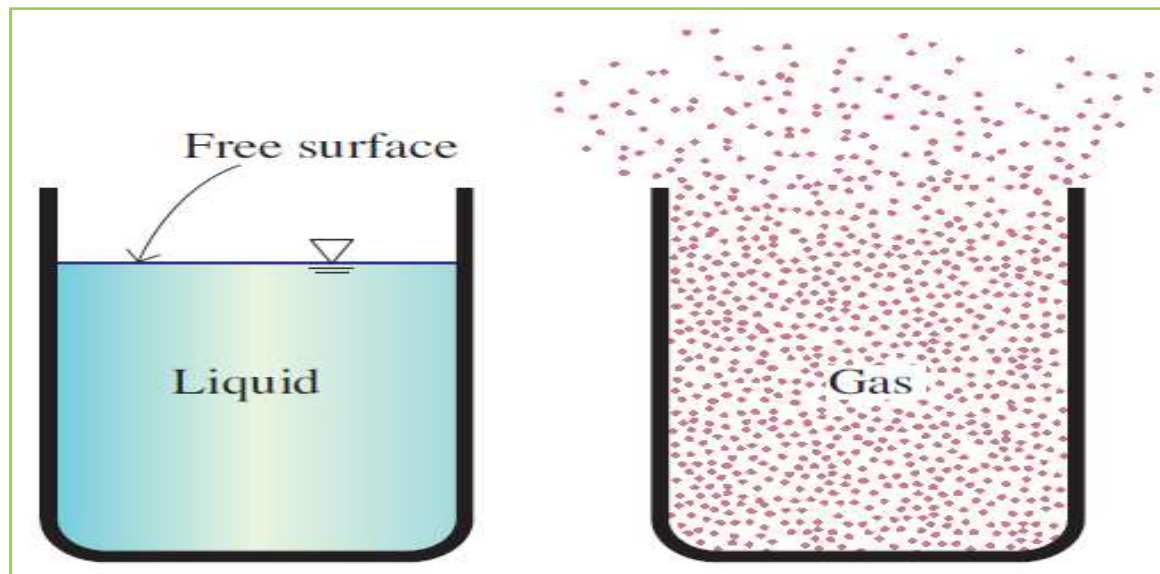
**액체** : 분자들 그룹이 상대적으로 움직일 수는 있으나 강한 응집력이 작용.

고유한 부피를 유지하고 중력장내에서 자유표면(free surface)을 형성.

**기체** : 분자들간의 응집력이 작아 분자 움직임이 용기 벽까지 허용됨.

구속 없이는 일정한 부피를 유지하지 못하고 자유표면을 형성하지 못함

(액체)



(기체)





## 1-2 유체 역학의 적용



### ◆ 유체역학의 적용범위

#### ※ 유체역학(Fluid Mechanics)

유체정역학(Fluid Statics) : 정지된 유체 내 힘과 힘의 관계 규명

유체동역학(Fluid Dynamics) : 흐르는 유체 내 힘과 운동사이의 관계  
규명





## 1-2 유체 역학의 적용



인공 심장



Natural flows and weather



Power plants



## 1-2 유체 역학의 적용



Boats



Aircraft and spacecraft



Human body



Cars

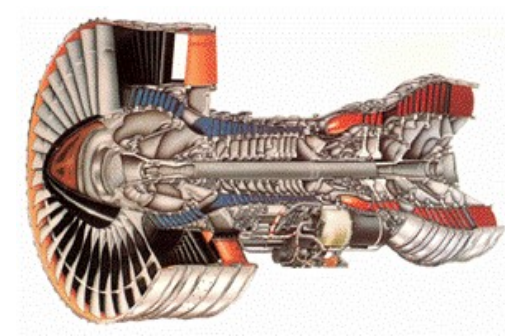




## 1-2 유체 역학의 적용



Wind turbines



Piping and plumbing systems



Industrial applications

학교



## 1-2 유체 역학의 적용

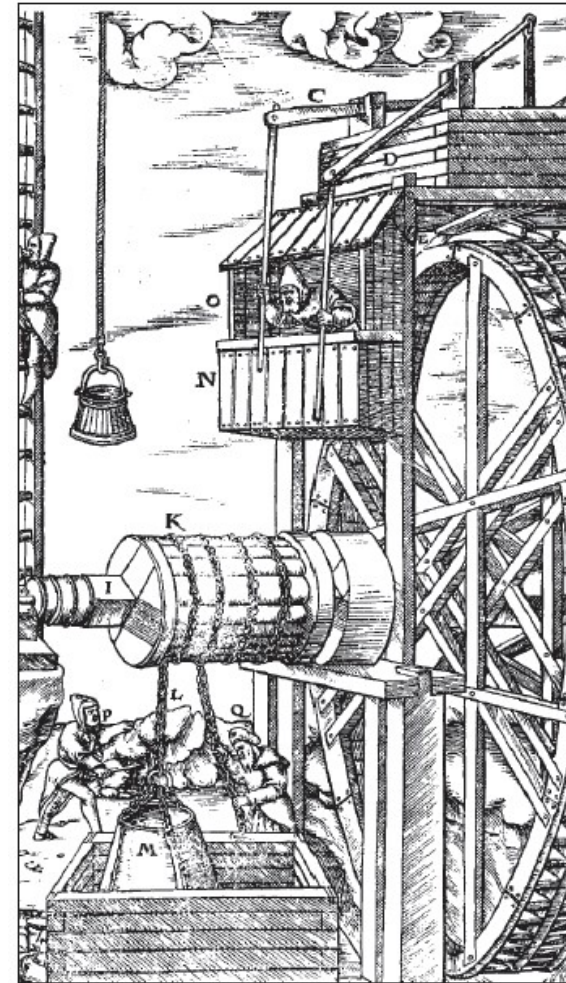
- 1) 운송수단들의 외형설계 : 항공기, 선박, 잠수함, 자동차
- 2) 동력발생장치들의 설계 : 각종 왕복엔진(가솔린, 디젤 등), 제트엔진 등
- 3) 유체기계들의 설계 : 펌프, 송풍기, 압축기, 터빈 등
- 4) 풍력 및 수력의 해석 : 각종 구조물들(건물, 댐 등)이 받는 풍력과 수력
- 5) 건축물의 환기와 냉난방 장치설계 : 주택, 업무용 빌딩, 지하터널 등
- 6) 배관시스템의 설계
- 7) 의공학 : 대체혈관, 인공심장, 인공심폐기, 산소호흡기 등의 설계
- 8) 생체역학 : 혈류해석, 어류나 조류의 운동해석 등
- 9) 스포츠 : 공기나 물의 저항을 줄이기 위한 설계(골프공, 자전거 바퀴 등), 각종 유체역학적 현상의 해석(야구공, 골프공 등의 궤적)
- 10) 대류열전달, 화학공학, 토목공학(수리학), 기상학, 해양학, 음향학 등



## 1-3 유체 역학의 역사



Pergamon 벽돌 수도관 일부, 길이~14km, 직경-  
각 13 to 18 cm, B.C.283~133 건설.



물레방아를 이용한 광산 승강장치

## 1-3 유체 역학의 역사

### ※ 뉴턴(Newton) 이전 시대

체계적인 이론을 바탕으로 하지 않은 경험적인 법칙에 의존하였다.

- \* B.C. 4C 로마의 수로건설
- \* B.C. 3C 아르키메데스(Archimedes, 시라큐스) : 부력(浮力)의 법칙
- \* A.D. 15C 레오나르도 다빈치(Leonardo da Vinci, 이탈리아)
  - 1차원 정상유동에 대한 질량보존식(연속방정식) 유도
  - 각종 실험적 현상의 정리; 파도(wave), 제트(jet), 수력도약(hydraulic jump) 등
  - 물체의 저항력(low-drag) 및 고탄력(high-drag, 낙하산등) 설계
- \* A.D. 17C Edme Mariotte(프랑스) : 최초의 풍동(wind tunnel)설계 및 실험



# 1-3 유체 역학의 역사

## ※ 뉴턴(Newton) 이후 시대

뉴턴의 운동법칙과 점성법칙을 바탕으로 한 체계적인 이론이 발달하였다.

### 1) 비점성유동의 시대

유동의 운동방정식 유도과정에서 유체유동의 점성이 무시되었다.

- \* 17C 뉴턴(Issac Newton, 영국) : **운동3법칙, 점성법칙**
- \* 18C - 오일러(Leonhard Euler), 베르누이(Daniel Bernoulli) : 비점성유동의 미분형 운동방정식 (**Euler방정식**)과 적분형 방정식(**Bernoulli 방정식**)
  - 일단의 수학자들(Euler, Bernoulli, d'Alembert, Lagrange, Laplace 등)에 의해 비점성유동의 많은 해석적인 해가 구해짐 : **Hydrodynamics 학파**
  - **D'Alembert의 역설**(逆說, paradox) : 비점성해석의 결과 유동장 내 물체의 저항이 영(zero)이라는 모순된 해가 얻음
    - ⇒ 비현실적인 이론이라는 실험적 공학자들의 거센 반발을 받음
  - 실험에 의존하는 새로운 유체역학의 학파(**Hydraulics 학파**)가 탄생함
    - : Chezy, Pitot, Weber, Manning, Hagen, Poiseuille, Weisbach 등
  - **이론학자와 실험학자간의 근 100년간의 단절** : 유체역학의 발전 저해





# 1-3 유체 역학의 역사

## 2) 점성유동의 시대

\* 19C - 나비에(Navier)와 스톱스(Stokes) : Navier-Stokes 방정식 유도

: 유체유동을 완전히 해석할 수 있는 방정식의 탄생

: Euler 방정식에 점성항을 추가

: 복잡한 미분방정식의 형태(2계, 비선형...)로 인해 간단한 유동을 제외하고는 해석적 해법의 적용이 불가능하여 널리 이용되지 못함

- William Froude : 모형실험의 법칙

- Lord Reyleigh : 차원해석의 방법

- 레이놀즈(Osborne Reynolds)

: 원관(pipe)유동의 실험을 통해 층류와 난류의 발견(1883)

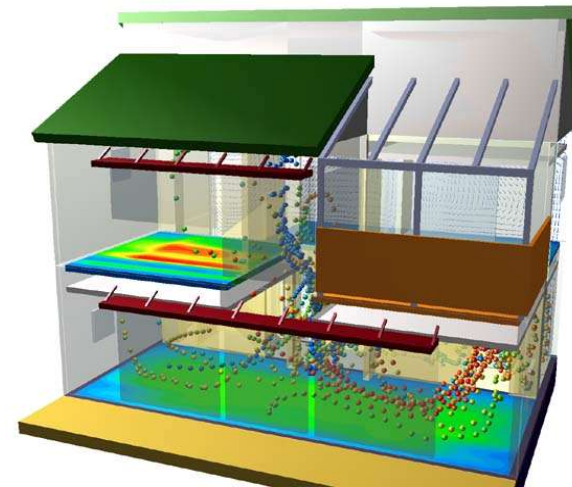
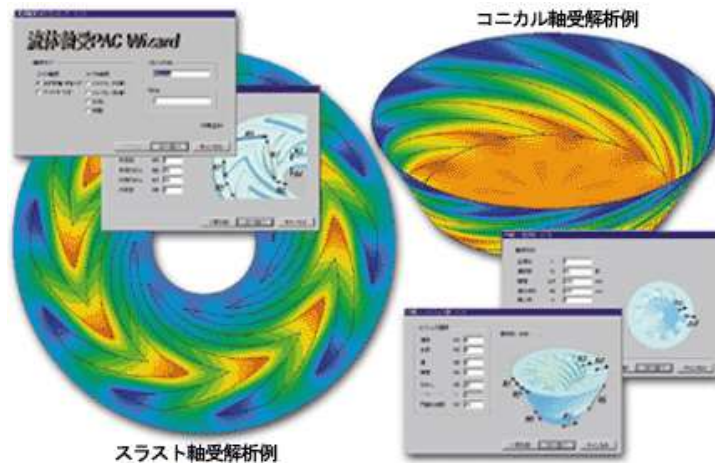


Osborne Reynolds' original apparatus for demonstrating the onset of turbulence in pipes, being operated by John Lienhard at the University of Manchester in 1975.

## 1-3 유체 역학의 역사

- \* 20C - 프란틀(Ludwig Prandtl) : **경계층 이론**(boundary layer theory)
  - : 벽 가까운 경계층 내에만 점성의 효과가 국한됨을 발견
  - : Navier-Stokes 방정식을 경계층 방정식으로 근사하여 외부유동을 해석 할 수 있게 됨
- Theodore von Karman, Geoffrey I. Taylor : 기초이론과 실험
- 컴퓨터의 탄생과 Navier-Stokes 방정식의 수치해석

⇒ **전산(電算)유체역학(CFD: Computational Fluid Dynamics)** 탄생



## 1-4 유체의 성질

### ◆ 열역학적 특성들

#### ❖ 기본 특성

온도 (T), 압력 (p), 밀도 ( $\rho$ ) 등

#### ❖ 전달 특성

점성계수 ( $\mu$ ), 열전도율 ( $\kappa$ ) 등

#### ❖ 단일 상에 대한 변수들은 열역학적 상태인 온도와 압력에 의존한다.

예)  $\rho = \rho(p, T)$ ,  $\mu = \mu(p, T)$

✓ 밀도  $\rho = \frac{m}{V}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

✓ 비체적  $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$  ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

✓ 비중량  $\gamma = \rho g$  ( $\text{N}/\text{m}^3$ )

✓ 비중  $SG = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$



# 1-4 유체의 성질 - 밀도

## ◆ 연속체로서의 유체

※ 밀도 (density) : 단위 부피당 질량

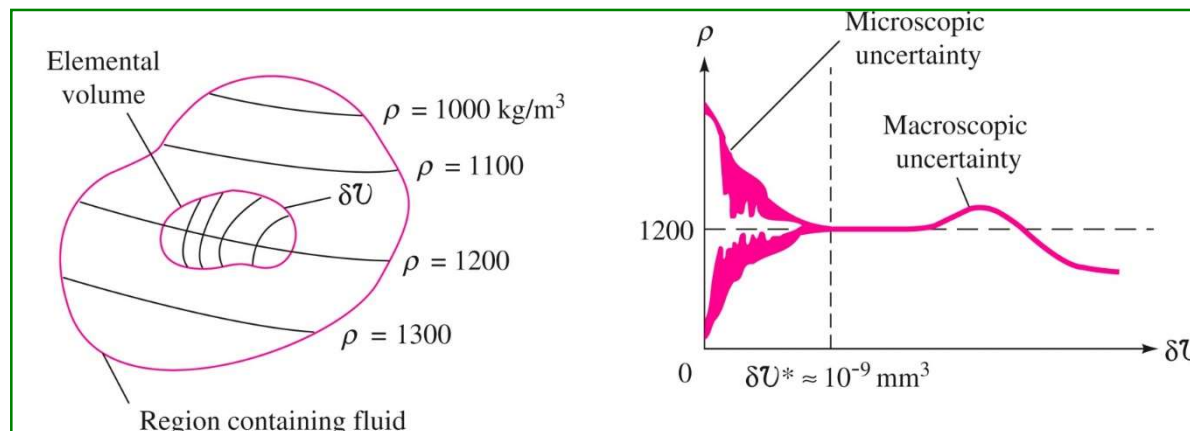
$$\rho = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V^*} \frac{\delta m}{\delta V}, \quad \begin{array}{l} \delta m : \text{미소체적 내 질량} \\ \delta V : \text{미소체적} \end{array}, \quad [\rho] = [M/L^3]$$

$\delta V^*$  : 대기압 하의 모든 유체에 대해  $10^{-9} \text{ mm}^3 (= (10^{-3} \text{ mm})^3 = (1\mu\text{m})^3)$

⇒ 이 이하에서는 분자들의 미시적인 불균일 분포로 인해 밀도의 불확정성 증가

※ 유체를 연속체(連續體, continuum)로 가정함

⇒ 밀도  $\rho$  를 미분가능한 연속 함수  $\rho(x,y,z)$ 로 가정하여 유체유동을 해석수학으로 계산





# 1-4 유체의 성질 - 밀도

※ 물의 밀도 :  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/l}$ , ( $p=1$ 기압,  $T=4^\circ\text{C}$ )

온도 °C	밀도 $\rho, [\text{kg/m}^3]$
0	999.9
5	1000.0
10	999.7
15	999.1
20	998.2
25	997.1
30	995.7
35	994.1
40	992.2
45	990.2
50	988.1
55	985.7
60	983.2
65	980.6
70	977.8
75	974.9
80	971.8
85	968.6
90	965.3
95	961.9
100	958.4

질문) 목화솜과 구리가 각각 부피  $1\text{l} = (10\text{cm})^3$  있다. 어떤 것이 더 무거울까? 어떤 것의 밀도가 더 클까?

질문) 밀도가  $1.3 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  인 유체의 부피가  $5\text{m}^3$ 라면 질량은 얼마인가?

예제

1-3

체적이  $12 \text{ m}^3$ , 질량이  $9600 \text{ kg}$ 인 기름의 비중량, **밀도**, 비중을 구하라.

## 1-4 유체의 성질 - 밀도

질문) 목화솜과 구리가 각각 부피  $1l = (10cm)^3$  있다. 어떤 것이 더 무거울까? 어떤 것의 밀도가 더 클까?

질문) 밀도가  $1.3 \times 10^{-3} kg/m^3$  인 유체의 부피가  $5m^3$ 라면 질량은 얼마인가?

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \times V = 1.3 \times 10^{-3} kg/m^3 \times 5 m^3 = 6.5 \times 10^{-3} kg = 6.5 g$$

예제

1-3

체적이  $12 m^3$ , 질량이  $9600 kg$ 인 기름의 비중량, **밀도**, 비중을 구하라.

풀이

$V = 12 m^3$ ,  $m = 9600 kg$  이므로

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9600}{12} = 800 kg/m^3$$



## 1-4 유체의 성질 - 비중량

※ 비중량 (specific weight) : 단위 부피당 무게

$$\gamma = \rho g$$

$$, \quad [\gamma] = [M/L^2T^2]$$

예) 1기압, 4℃ 물의 비중량

✓ SI단위:

✓ 공학단위:

예제  
1-3

체적이  $12 \text{ m}^3$ , 질량이  $9600 \text{ kg}$ 인 기름의 비중량, 밀도, 비중을 구하라.

풀이

$V = 12 \text{ m}^3$ ,  $m = 9600 \text{ kg}$  이므로

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9600}{12} = 800 \text{ kg/m}^3$$



## 1-4 유체의 성질 - 비중량

※ 비중량 (specific weight) : 단위 부피당 무게

$$\gamma = \rho g, \quad [\gamma] = [M/L^2T^2]$$

예) 1기압, 4°C 물의 비중량

✓ SI단위:  $\gamma = \rho g = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 9800 \text{ N/m}^3$

✓ 공학단위:  $\gamma = \rho g = 1000 \text{ kg/m}^3 \times g = 1000 \text{ kg}_f/\text{m}^3$

예제  
1-3

체적이  $12 \text{ m}^3$ , 질량이  $9600 \text{ kg}$ 인 기름의 비중량, 밀도, 비중을 구하라.

풀이

$V = 12 \text{ m}^3$ ,  $m = 9600 \text{ kg}$  이므로

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9600}{12} = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g = 800 \times 9.8 = 7840 \text{ N/m}^3 = 800 \text{ kg}_f/\text{m}^3$$



## 1-4 유체의 성질 - 비체적

※ 비체적 (specific volume) : 단위 무게당 부피

$$v_s = \frac{1}{\rho}, \quad [v_s] = [L^3/M]$$

질문) 목화솜과 구리가 각각 질량  $1kg$  있다. 어떤 것이 부피가 클까? 어떤 것의 비체적이 클까?

예) 물의 비체적은?

물의 밀도는  $1000kg/m^3$ 이므로,

$$v_s = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg} = 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

물  $1kg$ 의 부피는  $0.001m^3$ 이다.



## 1-4 유체의 성질 - 비중

※ 비중 (specific gravity) : 물(공기)의 밀도를 기준으로 했을 때 물질의 밀도

$$\text{액체 : } SG_{\text{액체}} = \frac{\rho_{\text{액체}}}{\rho_{\text{물}}} = \frac{\rho_{\text{액체}}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{기체 : } SG_{\text{기체}} = \frac{\rho_{\text{기체}}}{\rho_{\text{공기}}} = \frac{\rho_{\text{액체}}}{1.25 \text{ kg/m}^3}$$

예제  
1-3

체적이  $12 \text{ m}^3$ , 질량이  $9600 \text{ kg}$ 인 기름의 비중량, 밀도, 비중을 구하라.

풀이

$V = 12 \text{ m}^3$ ,  $m = 9600 \text{ kg}$  이므로

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9600}{12} = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g = 800 \times 9.8 = 7840 \text{ N/m}^3 = 800 \text{ kg}_f/\text{m}^3$$



## 1-4 유체의 성질 - 비중

예제  
1-3

체적이  $12 \text{ m}^3$ , 질량이  $9600 \text{ kg}$ 인 기름의 비중량, 밀도, 비중을 구하라.

풀이

$V = 12 \text{ m}^3$ ,  $m = 9600 \text{ kg}$  이므로

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9600}{12} = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g = 800 \times 9.8 = 7840 \text{ N/m}^3 = 800 \text{ kg}_f/\text{m}^3$$

$$S = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{800}{1000} = 0.8$$



# 1-4 유체의 성질 - 비중

## 액체의 비중

온도(°C)	액체	비중	온도(°C)	액체	비중
20	100% 황산	1.83	15	바닷물	1.01~1.05
20	40% 황산	1.31	15	글리세린	1.204
20	수은	13.546	15	휘발유	0.66~0.75
20	에틸 알코올	0.79	15	원유	0.70~1.00
20	메틸 알코올	0.795	15	식물성유	0.91~0.97
20	4 염화탄소	1.59	15	동물성유	0.86~0.94
20	10% 식염수	1.07	15	피마자유	0.97
20	20% 식염수	1.148	15	벤졸	0.884





## 1-4 유체의 성질

✓ 밀도

✓ 비체적

✓ 비중량

✓ 비중



## 1-4 유체의 성질

✓ 밀도  $\rho = \frac{m}{V}$  (kg/m<sup>3</sup>)

✓ 비체적  $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$  (m<sup>3</sup>/kg)

✓ 비중량  $\gamma = \rho g$  (N/m<sup>3</sup>)

✓ 비중  $SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$



## 1-4 유체의 성질

예제  
1-4

벤젠의 체적이  $10 \text{ m}^3$ 일 때 무게가  $8800 \text{ kg}_f$ 이었다. 이 기름의 비중량, 밀도, 비중을 공학단위로 계산하라.

예제  
1-5

어떤 유체의 체적이  $4.5 \text{ m}^3$ 이고, 무게가  $3375 \text{ kg}_f$ 이다. 이 기름의 비체적단위와 공학단위로 계산하라.

## 1-4 유체의 성질

### 예제 1-4

벤젠의 체적이  $10 \text{ m}^3$ 일 때 무게가  $8800 \text{ kg}_f$ 이었다. 이 기름의 비중량, 밀도, 비중을 공학단위로 계산하라.

### 풀이

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{8800}{10} = 880 \text{ kg}_f/\text{m}^3$$

$$\rho = \frac{880}{9.8} = 89.8 \text{ kg}_f \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$$

$$S = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{880}{1000} = 0.88$$

### 예제 1-5

어떤 유체의 체적이  $4.5 \text{ m}^3$ 이고, 무게가  $3375 \text{ kg}_f$ 이다. 이 기름의 비중량, 밀도, 비중을 공학단위와 공학단위로 계산하라.

### 풀이

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3375}{4.5} = 750 \text{ kg}_f/\text{m}^3$$

$$m = \frac{W}{g} = \frac{3375 \times 9.8 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2}{9.8 \text{ m}/\text{s}^2} = 3375 \text{ kg} \text{ 에서}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{3375}{4.5} = 750 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{공학단위 : } v_s = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{750} = 0.0133 \text{ m}^3/\text{kg}_f$$

$$\text{SI 단위 : } v_s = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{750} = 0.0133 \text{ m}^3/\text{kg}$$



# 제 1 장 개요 및 힘의 단위



## 연습과제 (REPORT 02)

- 연습문제 1장 2번~9번 풀어보시오.
- 유체역학의 적용분야를 인터넷에서 조사하라.
- 전산 유체역학에 대하여 인터넷으로 조사하라.
- 각종 유체 및 고체의 비중, 비중량을 조사하라.

