

유체역학 (03 차)

1장. 유체의 기본 성질

④ 유체의 성질

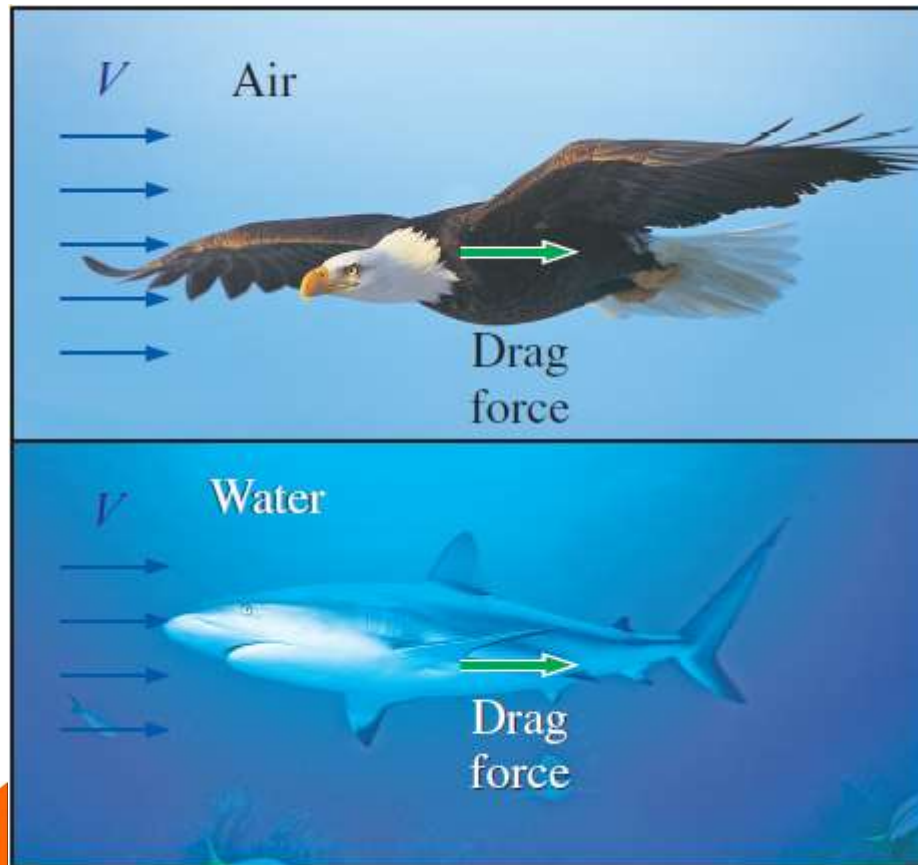
(점성 , 압축율 , 체적탄성계수)



1-5 유체의 성질 - 점성

◆ 점성 (Viscosity)

: 유체 흐름에 저항하는 유체 내부의 저항 특성



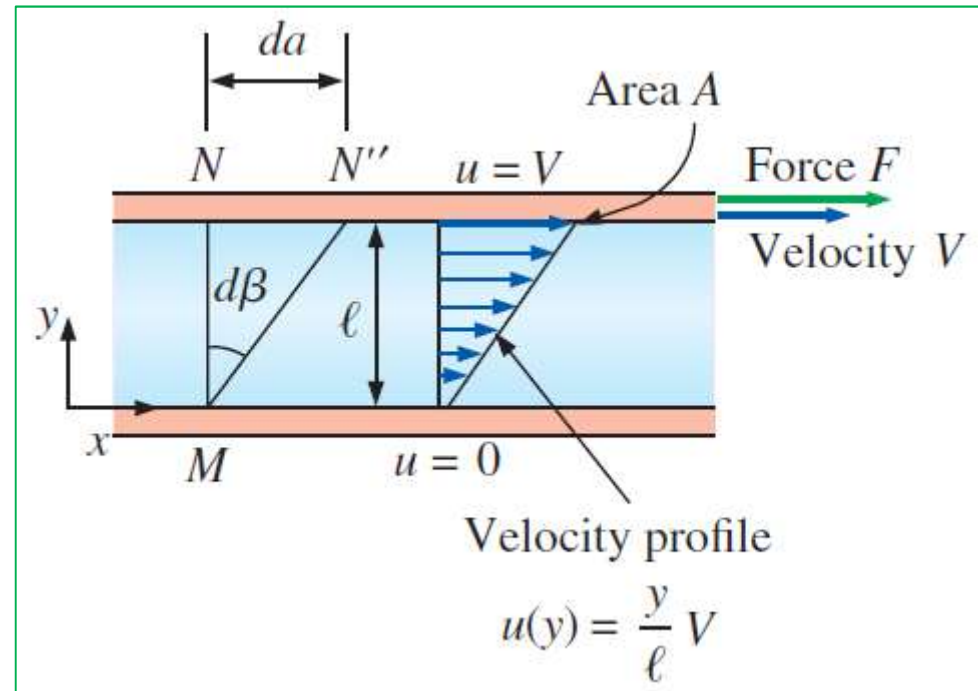
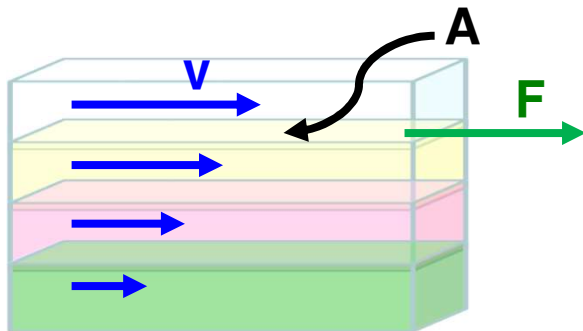
- 점성은 변형에 저항하는 정도와 관련된 양
- 점성은 유체가 상대적으로 움직일 때 서로 다른 층들 사이에 발생하는 내부 저항과 관련된 양

1-5 유체의 성질 - 점성

※ 전단응력의 발생

유체내에 상대운동이 있을 경우 유체의 점성에 의해 유체 층과 층 사이에서 전단응력이 발생한다.

✓ 전단응력 : $\tau = \frac{F}{A}$

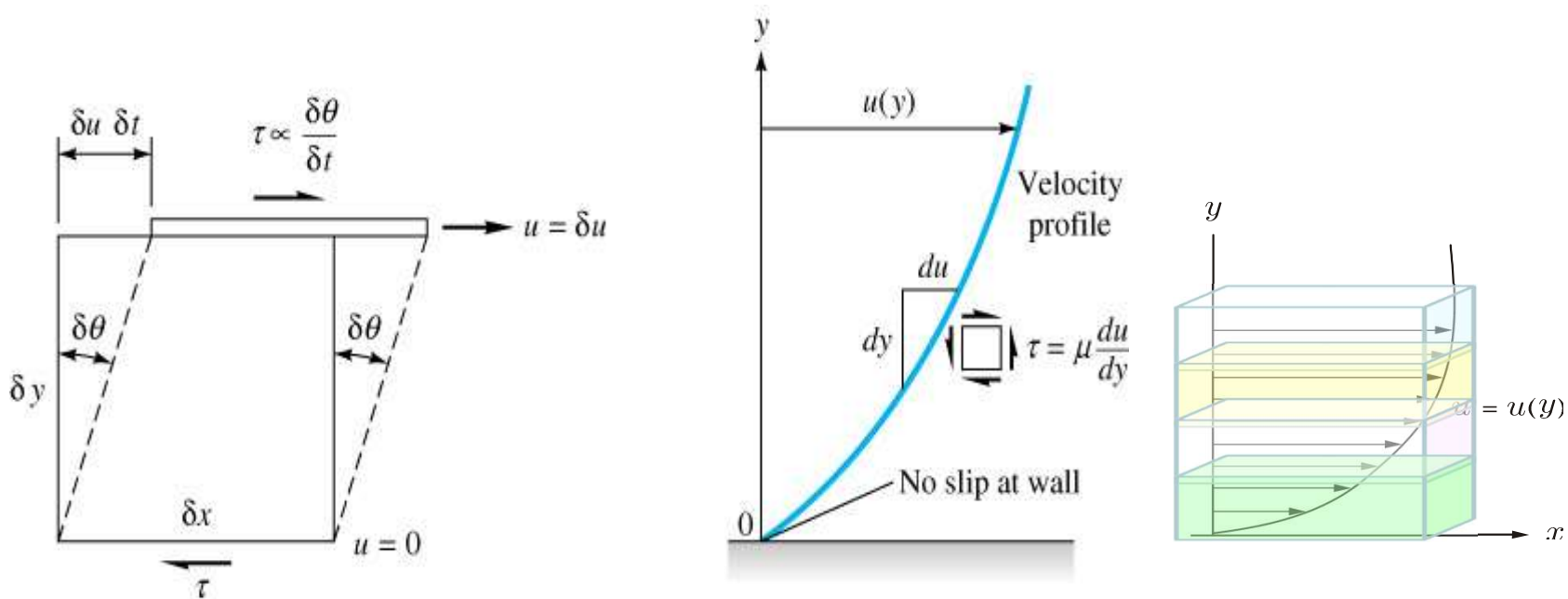


1-5 유체의 성질 - 점성

※ 뉴턴 유체 : 뉴턴의 점성법칙을 따르는 유체.

※ 뉴턴의 점성 법칙: 전단응력(τ)는 전단변형율의 변화율에 정비례, $\tau \propto \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$, $\tau \propto \frac{\Delta u}{\Delta y}$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad , \quad \mu : \text{점성계수}$$



(a) 전단응력과 유체요소의 변형

(b) 벽근처 전단층의 속도변화

< 전단응력의 작용과 유체의 변형 >

1-5 유체의 성질 - 점성

※ 점성계수 μ (= 절대점성계수 (absolute viscosity))

$$\left(\text{전단응력 } \tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \right)$$

* 차원 : $[\mu] = [M/LT]$, $([\mu] = \left[\frac{F/A}{du/dy} \right] = \left[\frac{(ML/T^2)/L^2}{(L/T)/L} \right] = [M/LT])$

* 단위 : 1 poise = 0.1 Pa·s , (단, poise-푸아즈, Pa-파스칼=N/m²)

$$\begin{aligned} \text{➤ CGS: } [\mu] &= \left[\frac{F/A}{du/dy} \right] = \left[\frac{(g \cdot cm/s^2)/cm^2}{(cm/s)/cm} \right] = \left[\frac{dyne/cm^2}{1/s} \right] = [(dyne/cm^2)s] = [poise] \\ &= [g/(cm \cdot s)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ MKS: } [\mu] &= \left[\frac{F/A}{du/dy} \right] = \left[\frac{(kg \cdot m/s^2)/m^2}{(m/s)/m} \right] = \left[\frac{N/m^2}{1/s} \right] = [(N/m^2)s] = [Pa \cdot s] \\ &= [kg/(m \cdot s)] = [10^3 g/(10^2 cm \cdot s)] = [10 g/(cm \cdot s)] \\ &= 10 poise \end{aligned}$$



1-5 유체의 성질 - 점성

※ 뉴턴 유체의 점성계수 : $\mu = \mu(p, T)$

* 압력에 따른 변화 : P 증가시 점성계수 증가 단, 변화가 매우 작음

(예) $P = 1 \text{ atm} \rightarrow 50 \text{ atm}$: μ_{air} 는 10% 변화

* 온도에 의한 영향이 크다 : $\mu \approx \mu(T)$

$T \uparrow \Rightarrow \mu_{\text{액체}} \downarrow$: 분자간 인력이 약화되어 점성 감소

$T \uparrow \Rightarrow \mu_{\text{기체}} \downarrow$: 분자간 충돌이 증가되어 점성 증가

(참고 : 점성의 발생원인 = 분자간 인력 + 분자간 충돌에 의한 운동량 교환)



1-5 유체의 성질 - 점성

※ 동점성계수 ν (kinematic viscosity)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

* 차원 : $[\nu] = [L^2/T]$, $([\nu] = [\mu/\rho] = \left[\frac{M/LT}{M/L^3} \right] = [L^2/T])$

* 단위 : 1 stokes = 1 cm^2/s = $10^{-4} m^2/s$

➤ CGS: $[\mu] = \left[\frac{\mu}{\rho} \right] = \left[\frac{(dyne/cm^2) \cdot s}{g/cm^3} \right] = \left[\frac{<(g \cdot cm/s^2)/cm^2> \cdot s}{g/cm^3} \right] = \left[\frac{cm^2}{s} \right] = [stokes]$



1-5 유체의 성질 - 점성

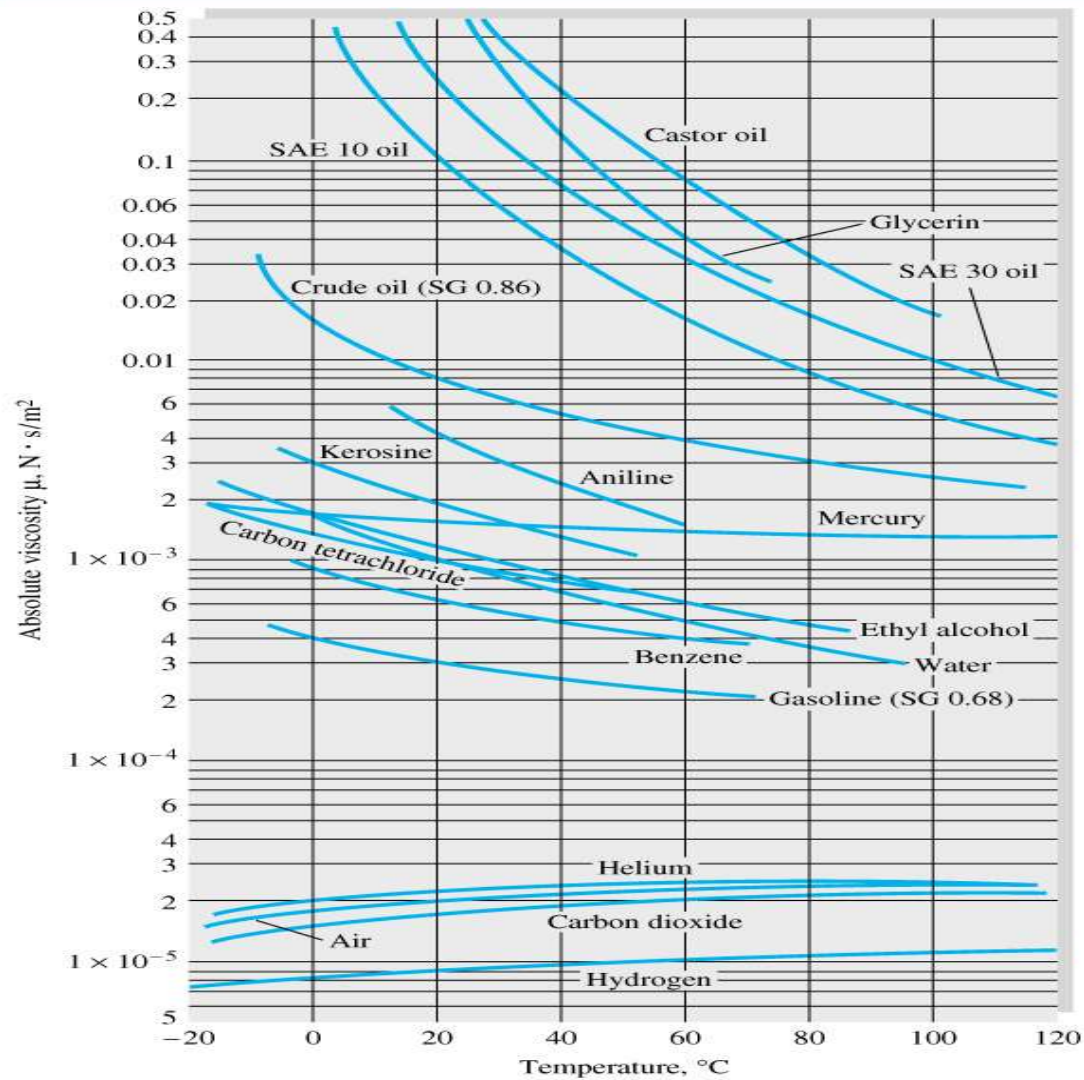
물의 물리적 성질(SI단위계)

온도 ℃	비중량 γ , [N/m ³]	밀도 ρ , [kg/m ³]	점성계수 μ , [Pa · s]	동점성계수 ν , [m ² /s]
0	9806	999.9	1.792×10^{-3}	1.792×10^{-6}
5	9807	1000.0	1.519×10^{-3}	1.519×10^{-6}
10	9804	999.7	1.308×10^{-3}	1.308×10^{-6}
15	9798	999.1	1.140×10^{-3}	1.141×10^{-6}
20	9789	998.2	1.005×10^{-3}	1.007×10^{-6}
25	9778	997.1	0.894×10^{-3}	0.897×10^{-6}
30	9764	995.7	0.801×10^{-3}	0.804×10^{-6}
35	9749	994.1	0.723×10^{-3}	0.727×10^{-6}
40	9730	992.2	0.656×10^{-3}	0.661×10^{-6}
45	9711	990.2	0.599×10^{-3}	0.605×10^{-6}
50	9690	988.1	0.549×10^{-3}	0.556×10^{-6}
55	9666	985.7	0.506×10^{-3}	0.513×10^{-6}
60	9642	983.2	0.469×10^{-3}	0.477×10^{-6}
65	9616	980.6	0.436×10^{-3}	0.444×10^{-6}
70	9589	977.8	0.406×10^{-3}	0.415×10^{-6}
75	9560	974.9	0.380×10^{-3}	0.390×10^{-6}
80	9530	971.8	0.357×10^{-3}	0.367×10^{-6}
85	9499	968.6	0.336×10^{-3}	0.347×10^{-6}
90	9466	965.3	0.317×10^{-3}	0.328×10^{-6}
95	9433	961.9	0.299×10^{-3}	0.311×10^{-6}
100	9399	958.4	0.284×10^{-3}	0.296×10^{-6}

온도[℃]	공기		
	밀도 ρ [kg/m ³]	점성계수 μ [Pa · s]	동점성계수 ν [m ² /s]
0	1.293	1.710×10^{-5}	1.322×10^{-5}
5	1.270	1.734×10^{-5}	1.365×10^{-5}
10	1.247	1.759×10^{-5}	1.411×10^{-5}
15	1.226	1.784×10^{-5}	1.455×10^{-5}
20	1.204	1.808×10^{-5}	1.502×10^{-5}
25	1.185	1.832×10^{-5}	1.546×10^{-5}
30	1.165	1.856×10^{-5}	1.592×10^{-5}
40	1.128	1.904×10^{-5}	1.688×10^{-5}
50	1.092	1.951×10^{-5}	1.785×10^{-5}
60	1.062	1.997×10^{-5}	1.883×10^{-5}
70	1.029	2.043×10^{-5}	1.985×10^{-5}
80	0.999	2.088×10^{-5}	2.090×10^{-5}
90	0.972	2.132×10^{-5}	2.193×10^{-5}
100	0.946	2.175×10^{-5}	2.298×10^{-5}

물과 공기의 물리적 성질 (1기압)

1-5 유체의 성질 - 점성



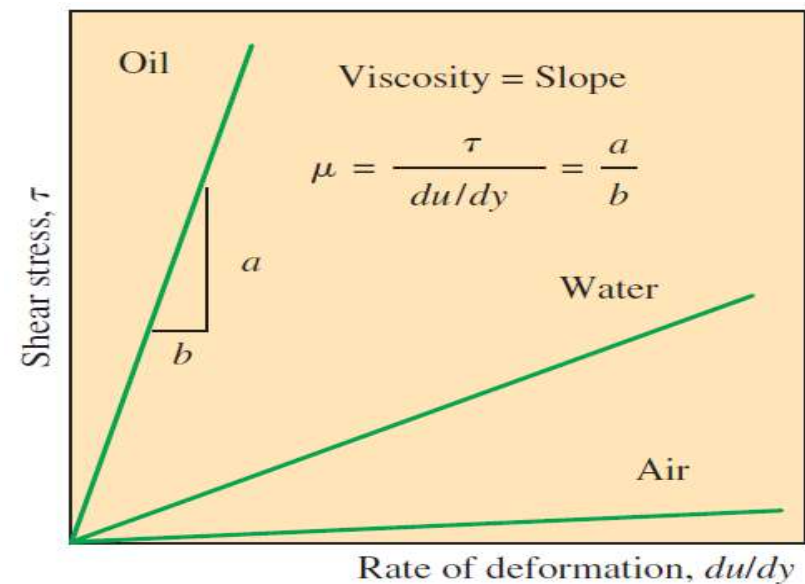
< 1 기압에서 유체들의 점성계수 >



1-5 유체의 성질 - 점성

Fluid	μ , kg/(m · s) [†]	Ratio $\mu/\mu(\text{H}_2)$	ρ , kg/m ³	ν m ² /s [†]	Ratio $\nu/\nu(\text{Hg})$
Hydrogen	8.8 E-6	1.0	0.084	1.05 E-4	920
Air	1.8 E-5	2.1	1.20	1.51 E-5	130
Gasoline	2.9 E-4	33	680	4.22 E-7	3.7
Water	1.0 E-3	114	998	1.01 E-6	8.7
Ethyl alcohol	1.2 E-3	135	789	1.52 E-6	13
Mercury	1.5 E-3	170	13,580	1.16 E-7	1.0
SAE 30 oil	0.29	33,000	891	3.25 E-4	2,850
Glycerin	1.5	170,000	1,264	1.18 E-3	10,300

< 1기압 20 °C 에서의 유체의 점성계수 및 동점성계수 >



1-5 유체의 성질 - 점성

예제
1-6

간격이 10 mm인 평행 평판 사이에 점성계수가 15.0 Poise인 어떤 유체가 채워져 있다. 아래 평판을 고정하고 위 평판을 5 m/s의 속도로 움직일 때, 기름 속에 일어나는 전단응력은 얼마인가?

예제
1-7

어떤 유체의 점성계수가 $1.5 \times 10^{-2} \text{ kg}_f \cdot \text{s/m}^2$, 비중량이 $850 \text{ kg}_f/\text{m}^3$ 이면 동점성계수는 몇 Stokes인가?



1-5 유체의 성질 - 점성

예제
1-6

간격이 10 mm인 평행 평판 사이에 점성계수가 15.0 Poise인 어떤 유체가 채워져 있다. 아래 평판을 고정하고 위 평판을 5 m/s의 속도로 움직일 때, 기름 속에 일어나는 전단응력은 얼마인가?

풀이

$$\tau = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y} \text{ 이다.}$$

$$\mu = 15.0 \text{ Poise} = 15.0 \times 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1.50 (\text{N/m}^2) \cdot \text{s} \text{ 이고,}$$

$$\Delta u = 5 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s} = 5 \text{ m/s},$$

$$\Delta y = 10 \text{ mm} = 10 \times 10^{-3} \text{ m} = 10^{-2} \text{ m} \text{ 이다.}$$

$$\text{따라서 } \tau = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.50 (\text{N/m}^2) \cdot \text{s} \times \frac{5 \text{ m/s}}{0.01 \text{ m}} = 750 \text{ N/m}^2$$

예제
1-7

어떤 유체의 점성계수가 $1.5 \times 10^{-2} \text{ kg}_f \cdot \text{s/m}^2$, 비중량이 $850 \text{ kg}_f/\text{m}^3$ 이면 동점성계수는 몇 Stokes인가?

풀이

$$\gamma = \rho g \rightarrow \rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{850 \text{ kg}_f/\text{m}^3}{g} = 850 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\mu}{\rho} = \frac{1.5 \times 10^{-2} \text{ kg}_f \cdot \text{s/m}^2}{850 \text{ kg/m}^3} = \frac{1.5 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{s/m}^2 \times 9.8 \text{ m/s}^2}{850 \text{ kg/m}^3} \\ &= 1.73 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} = 1.73 \times 10^{-4} (10^2 \text{ cm})^2/\text{s} = 1.73 \text{ Stokes} \end{aligned}$$



1-6 유체의 성질 - 뉴튼 유체 & 비뉴튼 유체

* 이상 유체 : 점성이 없는 유체

* 뉴튼유체 :

뉴튼의 점성 법칙을 따르는 유체

(전단응력이 전단변형율의 변화율에 정비례 : $\tau = \mu \frac{du}{dy}$)

* 비뉴튼유체 :

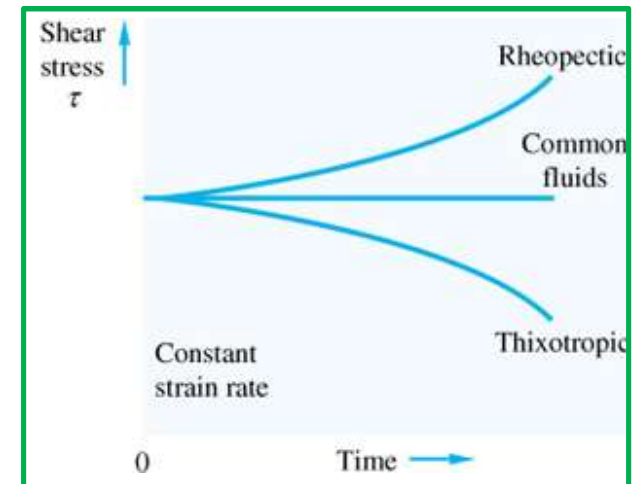
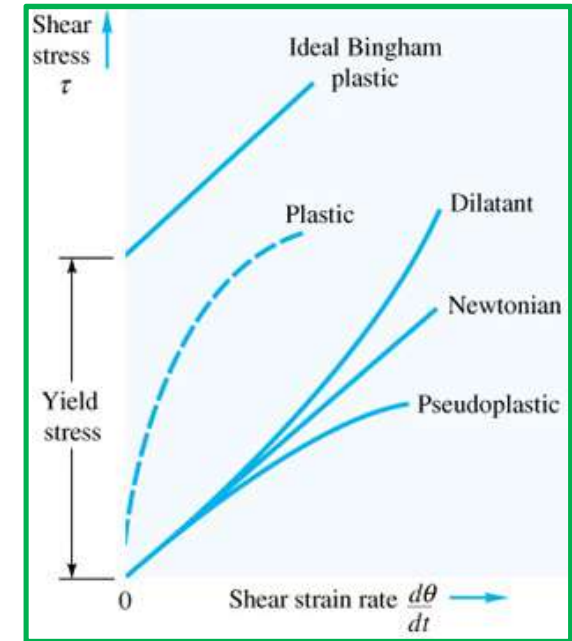
뉴튼의 점성 법칙을 따르지 않는 유체

-해석이 까다롭다.

예) ♦ 전단응력이 속도구배의 함수 : $\tau = \tau_0 + \mu \left(\frac{du}{dy} \right)^n$

♦ 전단응력이 시간과 이력에 의존 : 진흙, 연질석고

♦ 점탄성유체 : 밀가루반죽



1-7 유체의 성질 – 압축율과 체적탄성계수

◆ 압축율 (Modulus of compressibility) : β

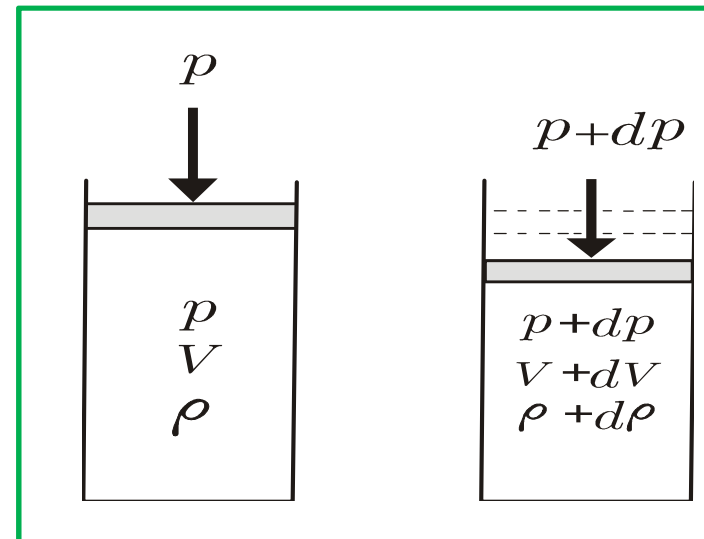
: 압력 변화 dP 와 부피변화율 $-\frac{dV}{V}$ 의 비

* 압력이 $P \rightarrow P + dP$ 일 때, 부피가 $V \rightarrow V + dV$ 이면

$$\beta = -\frac{\frac{dV}{V}}{dP} = \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{dP} = \frac{\frac{d\gamma}{\gamma}}{dP}$$

✓ 압력에 의한 부피 $V=V(P,T)$ 의 변화

- 기체-크다 \rightarrow 압축성
- 액체-작다 \rightarrow 비압축성



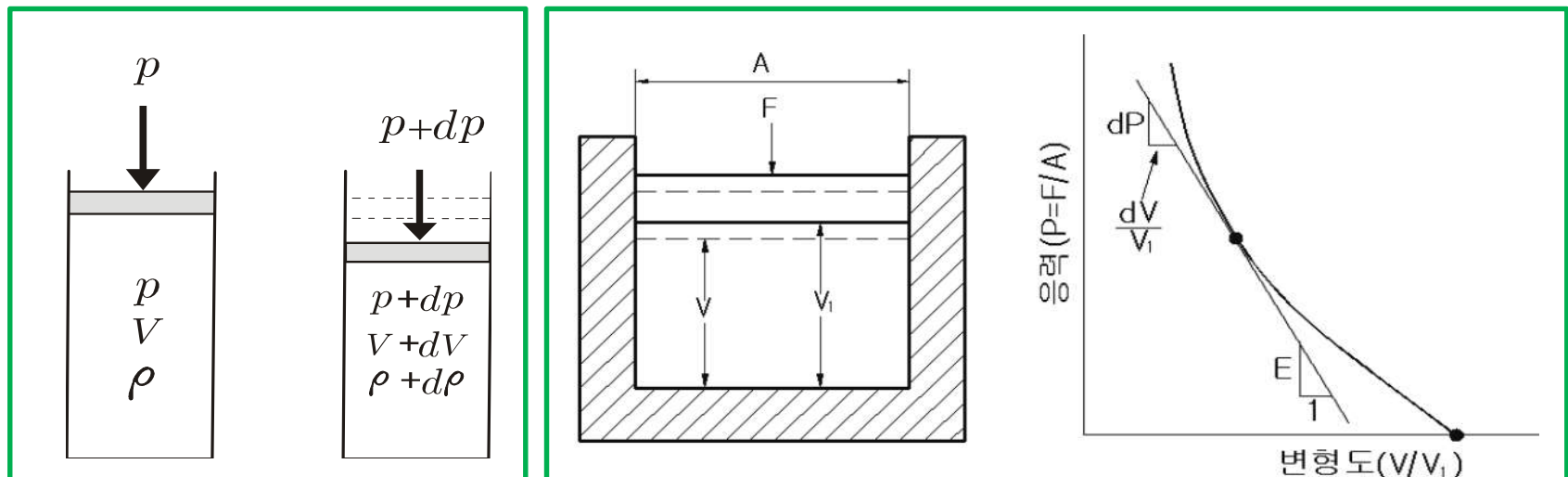
1-7 유체의 성질 – 압축율과 체적탄성계수

◆ 체적탄성계수 (Bulk modulus of elasticity) : E (κ)

: 압축율의 역수

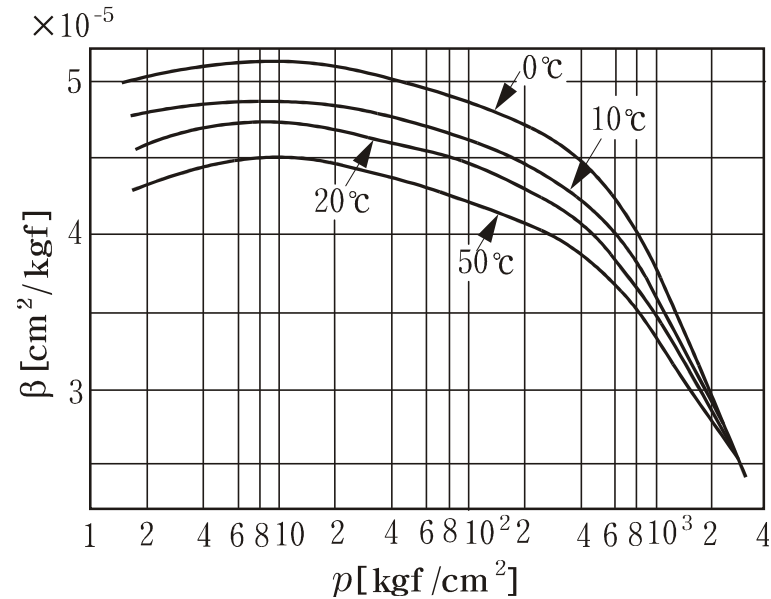
* 압력이 $P \rightarrow P + dP$ 일 때, 부피가 $V \rightarrow V + dV$ 이면

$$E = - \frac{dP}{\frac{dV}{V}} = \frac{dP}{\frac{d\rho}{\rho}} = \frac{dP}{\frac{d\gamma}{\gamma}}, \quad E = \frac{1}{\beta}$$



1-7 유체의 성질 – 압축율과 체적탄성계수

(물의 압축율)



(물의 체적탄성계수)

온도[°C]	압력범위			
	0.1 ~ 2.5[MPa]	2.5 ~ 5.1[MPa]	5.1 ~ 7.6[MPa]	7.6 ~ 10.1[MPa]
0	1.930[GPa]	1.965[GPa]	1.989[GPa]	2.018[GPa]
5	1.980[GPa]	2.045[GPa]	2.092[GPa]	2.110[GPa]
10	2.026[GPa]	2.060[GPa]	2.141[GPa]	2.155[GPa]
15	2.049[GPa]	2.110[GPa]	2.179[GPa]	2.217[GPa]
20	2.065[GPa]	2.127[GPa]	2.224[GPa]	2.239[GPa]



1-7 유체의 성질 – 체적탄성계수와 압축율

예제

1-10

어떤 액체에 1.5 MPa의 압력을 가했을 때 체적이 0.056 % 감소되었다. 압축률 및 체적탄성계수를 구하라.

예제

1-11

어떤 기체가 0.01 m^3 의 체적을 갖는 용기 내에서 1000 kPa의 압력을 받고 있다가 압력이 2000 kPa로 증가되었을 때 기체의 체적이 0.009 m^3 으로 되었다. 이 기체의 체적탄성계수를 구하라.



1-7 유체의 성질 – 체적탄성계수와 압축율

예제

1-10

어떤 액체에 1.5 MPa의 압력을 가했을 때 체적이 0.056 % 감소되었다. 압축률 및 체적탄성계수를 구하라.

풀이

$$\Delta p = 1.5 \text{ MPa} = 1.5 \times 10^6 \text{ Pa}, \quad E = - \frac{\Delta p}{\Delta V/V}$$

$$E = \frac{1.5 \times 10^6}{0.056 \times 10^{-2}} = 2.679 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$\beta = \frac{1}{E} = \frac{1}{2.679 \times 10^9} = 3.733 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$$

예제

1-11

어떤 기체가 0.01 m³의 체적을 갖는 용기 내에서 1000 kPa의 압력을 받고 있다가 압력이 2000 kPa로 증가되었을 때 기체의 체적이 0.009 m³로 되었다. 이 기체의 체적탄성계수를 구하라.

풀이

$$E = - V \frac{\Delta p}{\Delta V} = - 0.01 \times \frac{1000}{(0.009 - 0.01)} = 10000 \text{ kPa}$$





1장 유체의 성질



연습과제 (REPORT 03)

- 연습문제 1장 10번~13번, 20~21번을 풀어보시오.
- 비뉴턴 유체에 대하여 인터넷으로 조사하라.
- 각종 유체 및 고체의 압축율 및 체적탄성계수에 대하여 조사하라.

