

10장 기체

기체 (상호작용이 없는 독립된 입자) → 액체 → 고체

10.1 기체와 기체 압력

(1) 기체의 특징

혼합물을 만들면 균일 혼합물 (예: 공기)

압축 가능(기체 입자 사이 거리가 아주 멀기 때문)

기체 용기의 벽에 압력을 가함

(2) 압력 P

단위 면적 (A)에 미치는 힘 (F)

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \times a}{A} \quad (m: \text{질량}, a: \text{가속도})$$

힘의 SI 단위: N (Newton), $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$

압력의 SI 단위: Pa (Pascal), $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2} = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$

(3) 대기압

지표면 1m^2 에 미치는 공기 기둥 ($10,300 \text{ kg}$)의 압력

$$P = \frac{m \times a}{A} = \frac{10,300\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2}{1.00\text{m}^2} = 101,000 \text{ Pa} = 101 \text{ kPa}$$

(4) 압력의 다른 단위

① 수은주 밀리미터 (mmHg)

$$P = \rho_{\text{Hg}} h g$$

수은의 밀도 (ρ_{Hg})와 중력가속도 (g)가 상수이기 때문에 수은 기둥의 높이에 따라 압력 측정 가능.

이탈리아 과학자 Torricelli의 이름을 따서 Torr라고도 부름

수은 기둥의 높이를 측정하여 압력 측정

해수면에서 표준 대기압은 정확하게 760mmHg

<그림 10.4>

<그림 10.5>

② 표준 기압 (atm)

760mmHg , $\rho_{\text{Hg}} = 1.35951 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.806\text{m/s}^2$

$$P = \rho_{\text{Hg}} h g = (0.76 \text{ m}) \times (1.3591 \times 10^4 \text{ kg/m}^3) \times \left(9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 101,325 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101,325 \text{ Pa}$$

③ 바(bar)

$$1 \text{ bar} = 100,000 \text{ Pa} = 0.986 \text{ atm}$$

(5) 예제 10.1

10.2 기체 법칙들

이상기체: 기체 법칙을 정확하게 따르는 기체

기체 물리적 성질 묘사하는 네 가지 변수: 압력(P), 부피(V), 온도(T), 몰 수(n)

(1) 보일 법칙: V 와 P 관계 ($\text{const } n, T$)

압력 2배가 되면 부피 1/2배, 압력 1/2배 되면 부피 2배

그래프

$$V \propto \frac{1}{P} \quad \text{또는} \quad PV = k \quad (\text{const } n, T)$$

(2) 샤를 법칙: V 와 T 관계 ($\text{const } n, P$)

켈빈 온도가 2배가 되면 부피 2배, 켈빈 온도가 1/2배 되면 부피 1/2배

$$V \propto T \quad \text{또는} \quad \frac{V}{T} = k \quad (\text{const } n, P)$$

(3) 아보가드로 법칙: V 와 n 관계 ($\text{const } P, T$)

기체의 양이 2배되면 부피도 2배, 기체의 양이 1/2배되면 부피도 1/2배

$$V \propto n \text{ 또는 } \frac{V}{n} = k \text{ (const } P, T)$$

같은 T와 P에서 동일한 부피의 서로 다른 기체들은 동일한 몰수를 가짐
 이상기체 1mol은 정확히 0 °C, 1 atm에서 표준 몰부피 22.414L를 가짐.

10.3 이상 기체 법칙

- (1) V와 나머지 변수들 (P, T, n) 간의 관계

$$V \propto \frac{1}{P}, V \propto T, V \propto n$$

$$V \propto \frac{nT}{P} \rightarrow V = R \times \frac{nT}{P} \text{ (R: 기체 상수)}$$

- (2) 이상 기체 법칙

$$PV = nRT$$

- (3) 기체 상수 R의 값

기체 1mol은 273.15 K, 1 atm에서 22.414 L를 차지함.

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1 \text{ atm})(22.414 \text{ L})}{(1 \text{ mol})(273.15 \text{ K})} = 0.082 \frac{\text{L atm}}{\text{mol K}} = 8.3145 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

- (4) 표준 온도와 압력 (Standard temperature and pressure, STP)

273.15 K, 1atm을 의미함

- (5) [예제 10.4]

- (6) [예제 10.5]**

10.4 기체들에 대한 화학량론적 관계

- (1) [예제 10.6]**

- (2) 기체 밀도 측정

① 시료 무게 (w)를 알고, 25 °C, 733.4 mmHg, 1L

② 이상 기체 상태방정식의 응용

$$PV = nRT$$

$$PV \times M = nRT \times M \text{ (M: 분자량)}$$

$$PVM = (nM)RT = wRT \text{ (w: 질량)}$$

$$PVM \times \frac{1}{V} = wRT \times \frac{1}{V}$$

$$PM = \left(\frac{w}{V}\right)RT = dRT \text{ (d: 밀도)}$$

$$d = \frac{PM}{RT}$$

- (3) [예제 10.7]**

10.5 기체 혼합물: 부분 압력과 돌턴 법칙

- (1) 기체 혼합물의 압력

기체 혼합물의 압력=각 기체들이 기여하는 압력의 합

- (2) 돌턴의 부분 압력 법칙

$$P_{\text{전체}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \text{ (} P_i: i \text{ 기체의 부분 압력, } i = 1, 2, 3, \dots)$$

$$\text{각 기체 부분 압력 } P_1 = n_1 \left(\frac{RT}{V}\right), P_2 = n_2 \left(\frac{RT}{V}\right), \dots, P_i = n_i \left(\frac{RT}{V}\right)$$

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots = n_1 \left(\frac{RT}{V}\right) + n_2 \left(\frac{RT}{V}\right) + n_3 \left(\frac{RT}{V}\right) + \dots = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots) \left(\frac{RT}{V}\right)$$

$$= n_{\text{total}} \left(\frac{RT}{V}\right)$$

(3) 몰분율 (mole fraction, X)

$$\text{몰분율 (X)} = \frac{n_i}{n_{\text{total}}}$$

성분 1의 몰분율

$$X_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots} = \frac{n_1}{n_{\text{total}}}$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$X_1 = \frac{n_1}{n_{\text{total}}} = \frac{P_1 \left(\frac{V}{RT} \right)}{P_{\text{total}} \left(\frac{V}{RT} \right)} = \frac{P_1}{P_{\text{total}}}$$

(4) 부분 압력

$$P_i = X_i \times P_{\text{total}}$$

(5) [예제 10.8]

10.6 기체 분자 운동론

(1) 분자 운동론의 가정

- ① 기체는 무질서한 운동을 하는 입자로 구성되어 있다.
- ② 기체 자신의 부피는 전체 부피에 비하면 무시할 수 있다.
- ③ 기체는 독립적으로 움직인다. (상호작용 없음)
- ④ 기체 입자 사이 충돌 또는 입자와 용기 사이의 충돌은 탄성 충돌이다.
- ⑤ 기체 입자의 평균 운동 에너지는 기체 시료의 절대 온도에 비례한다.

(2) 분자 운동론에 기초한 기체 법칙의 유도 (YouTube 참조)

(3) 기체 입자 평균 속력

기체 입자 1 mol의 전체 운동 에너지: $\frac{3}{2}RT$

기체 입자 1개의 운동 에너지: $\frac{3}{2}RT \times \frac{1}{N_A}$

$$\frac{3}{2}RT \times \frac{1}{N_A} = \frac{1}{2}mu^2 \quad (u: \text{입자의 평균 속력})$$

$$u^2 = \frac{3RT}{mN_A} = \frac{3RT}{M} \rightarrow u = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

(4) 볼츠만 분포

10.7 기체의 확산과 분출: 그레이엄의 법칙

(1) 확산과 분출

- ① 확산: 기체 분자들끼리 충돌하면서 혼합되는 현상
- ② 분출: 작은 구멍을 통해 진공으로 빠져나가는 과정
- ③ 그림 10.14

(2) 그레이엄의 법칙

① 분출 속도

$$u = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \propto \frac{1}{\sqrt{M}} \quad (M: \text{분자량})$$

② 두 기체의 분출 속도 비교

$$\frac{\text{분출 속도}_1}{\text{분출 속도}_2} = \frac{\frac{1}{\sqrt{M_1}}}{\frac{1}{\sqrt{M_2}}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

(3) 예제 10.9 **

10.8 실제 기체들의 행동

(1) 이상 기체와의 편차 1

- ① STP 상태에서는 기체의 부피는 용기의 0.1% 내외
- ② 낮은 온도와 높은 압력 (예: 0 °C, 500 atm)에서는 용기의 20% 내외 차지.
→ 이상 기체의 거동을 보이지 않는 실제 기체.

(2) 반데르발스 식

- ① 이상 기체는 기체 입자간 상호작용을 무시.
- ② 하지만 실제로는 인력, 척력이 작용함.
- ③ 척력의 결과, 실제 분자가 차지할 수 있는 부피는 줄어듦.

$$V_{\text{이상}} = V_{\text{용기}} - V_{\text{분자}} = V_{\text{용기}} - nb \quad (n: \text{기체 몰 수}, b: \text{vdW 인자})$$

- ④ 인력의 결과, 용기 벽과 충돌할 때 생기는 압력이 작아지게 됨.

$$P_{\text{이상}} = P_{\text{실제}} + \text{보정값} = P_{\text{실제}} + a \left(\frac{n}{V} \right)^2$$
$$P_{\text{이상}} V_{\text{이상}} = \left\{ P_{\text{실제}} + a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \right\} (V_{\text{용기}} - nb) = nRT$$

10.9~11은 스스로 읽어보기

숙제

134, 137, 140, 142, 144