

General Chemistry I

단원	Ch 9. The Gaseous State
학습 주제	Classical Interpretation of Gas : Reactions, Volumes and Pressure.

1 The Chemistry of Gases

■ 기체 상태 : 서론(Introduction) ■

1. 물질의 3가지 상태

- ① 고체(solid) : 일정한 모양과 부피가 있으며 쉽게 변형되지 않음
- ② 유체(fluid) : 형태가 일정하지 않아 변형이 쉽고 자유롭게 흐름
 - 액체(liquid) : 거의 압축되지 않음
 - 기체(gas) : 매우 잘 압축됨(응축상)

2. 기체의 특성

- 상(phase)들 중에서 밀도가 가장 작다 → 분자 간 인력의 영향이 가장 덜 작용한다.
→ 주로 상호작용을 무시하거나 2개 입자로 된 계를 잡을 수 있다.

▷ 우리 주변의 대기 : $N > O > Ar > CO_2$

2 Pressure and Temperature of Gases

1. 압력(Pressure)과 부피(Volume)의 관계

- ① 압력(Pressure) : 기체가 용기 벽의 단위 면적에 가하는 힘
▷ $P = F/A$, (Pressure) = (Force) / Area

<🔍 Barometer and the density of its liquid>

☆ 1기압의 크기는 수은 기압계로 측정할 수 있다.

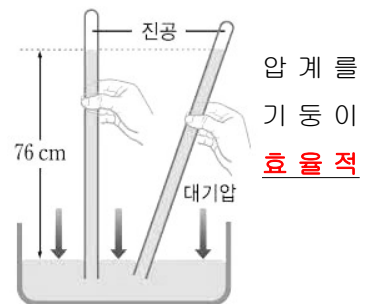
▷ 수은(mercury)은 밀도가 가장 큰 액체로, 인간이 조작 가능한 규모의 기구 구성하여 효율적으로 압력 측정에 활용할 수 있다. 1atm은 76 cm의 수은 가하는 압력으로, 수 m 단위의 다른 액체들에 비해 기압계에서의 사용이 이다.

☆ barometer에 mercury 대신 water를 사용한 경우

▷ 각 liquid의 density : water(1.00g/cm³) mercury(13.56g/cm³)

∴ water를 사용한 경우 액체 기둥의 높이는 $76 \times 13.56 = 1036.56 \text{ cm} = 10.36 \text{ m}$

현실세계에서 10m의 물기둥을 쌓는 것은 불가능하다. (인간이 최고의 공포를 느낀다는 11m에서..)



☆ 밀도와 기체기둥의 높이에 따른 정역학 평형식의 표현 $P = \rho gh$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} = \frac{\rho A^3 g}{A} = \rho Ag = \rho gh$$

② 보일의 법칙(Boyle's Law)

조건	기체의 몰수와 온도가 일정 할 때	즉, $PV = C$ (상수) $P_1 V_1 = P_2 V_2$
내용	기체의 부피는 압력에 반비례 한다.	

< Boyle's J Tube experiment >

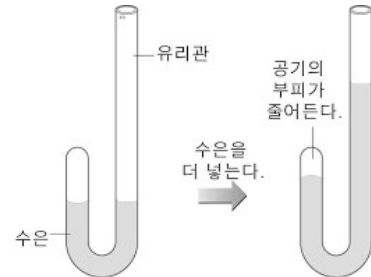
보일은 한쪽이 막힌 J tube에 mercury를 붓는 실험을 진행하였다.

① **mercury의 높이가 같도록** 한다.

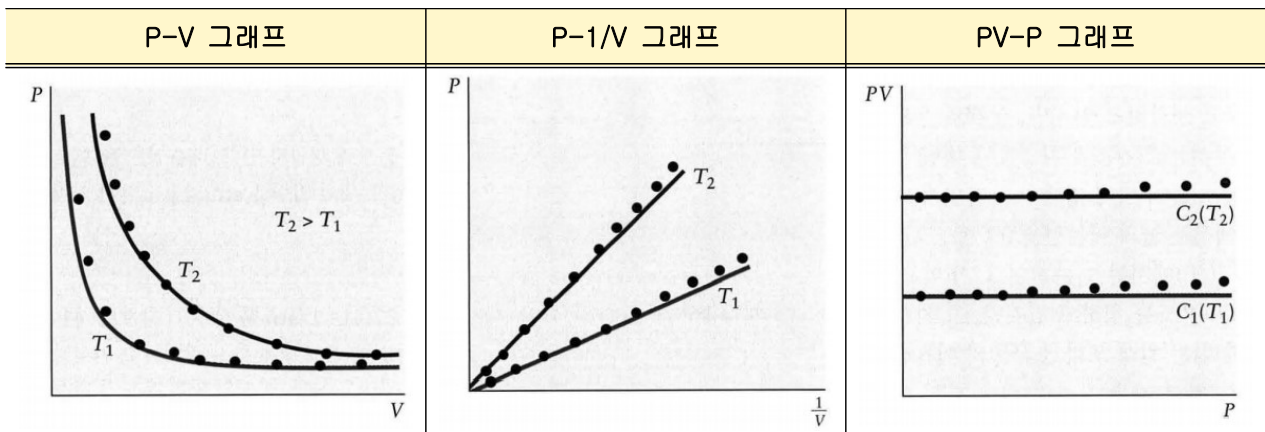
② 열린 쪽의 유리관에 수은을 붓는다.

③ **기체의 압력이 n배가 될 때 기체의 부피는 1/n배**가 된다.

▷ 일정량의 온도에서 일정량의 기체의 **부피는 압력에 반비례**한다.



▷ Boyle's Law를 의미하는 그래프



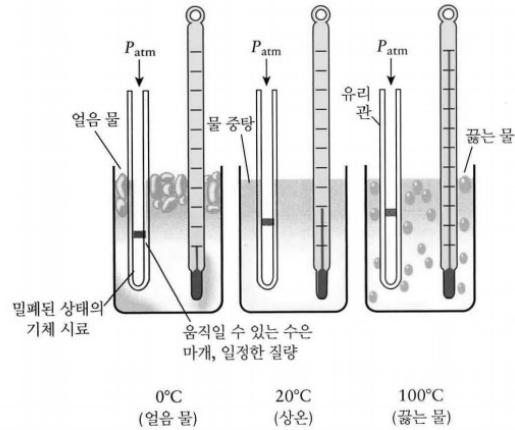
[Example 9.1] 자전거 펌프의 원기둥 부피는 1131cm^3 이고, 1.02atm 의 공기로 이루어져 있다. 배출 밸브를 닫고 펌프 손잡이를 눌러 공기 부피가 517cm^3 가 되게 하였다. 펌프 내의 압력을 atm과 psi 단위로 계산하라.

③ 샤를의 법칙(Charles's Law)

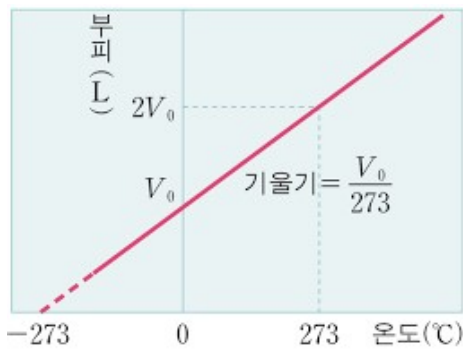
조건	기체의 몰수와 부피가 일정 할 때	즉, $V = V_0 + CV_0 T$ $\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}, \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
내용	기체의 부피는 온도에 비례 한다.	

▷ Charles's Law를 나타내는 실험 : 유리관 실험

그림 9.5 일정 압력 하에서 기체의 부피는 온도가 증가하면 따라서 증가한다.



< Charles's Law를 나타내는 그래프 >



→ 그래프의 도식 : $V = V_0 + \frac{T}{273} V_0$

→ 샤를 법칙을 나타내는 그래프에서 모든 기체에 대해 직선의 x 절편은 **동일한 값으로 기술**된다. 이때의 온도는 대략 -273°C 이며, 그 온도를 **절대 영도(absolute zero)**로 정의한다.

[Example 9.2] 저온에서 수소를 연구하는 어떤 과학자가 대기압, 25.00°C 하에서 2.50L의 수소 기체 시료를 취해서 이 기체를 같은 압력에서 -200.0°C 로 온도를 낮추었다. 수소가 낮은 온도에서 차지하는 부피를 예측하라.

③ 입자 수와 부피와의 관계 : avogadro's law

조건	기체의 압력과 온도가 일정할 때	즉, $V = kn$
내용	기체의 부피는 입자 수에 비례 한다.	

③ The Ideal Gas Law

1. Derivation

$$\boxed{V \propto T, V \propto 1/P, V \propto n} \quad \Rightarrow \quad \boxed{PV = nRT}$$

▷ R 은 기체 상수로, $8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 또는 $0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 이다.

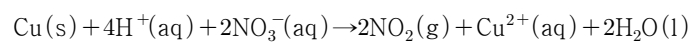
[Problem 9.1] 이상 기체 상태 방정식은 Boyle's Law, Charles's Law를 모두 표현함을 설명하라.

[Example 9.3] 헬륨(He)으로 채운 기상 관측용 기구의 부피는 30°C , 1.00 atm 에서 $1.0 \times 10^4 \text{ L}$ 이다. 이 기구를 온도가 -20°C 이고 압력이 0.60 atm 이 되는 고도까지 띄웠다. 물음에 답하시오.

(1) 이 경우 기구의 부피는 얼마가 되는가? (단, 기구 내부의 압력과 외부의 압력이 거의 같아지도록 기구가 팽창한다고 가정하라.)

(2) 이 기구 관측용 기구를 채우는데 필요한 헬륨의 질량은 얼마인가?

[Example 9.5] 진한 질산을 구리와 반응시키면 다음 균형 화학 반응식에 의해 이산화 질소와 용해된 구리 이온이 생성된다. 이 반응의 균형 화학 반응식은 다음과 같다.



이 반응에서 구리가 6.80 g 소모되었다. 압력이 0.970 atm 이고, 온도가 45°C 인 조건에서 생성된 NO_2 를 수집하였다. 생성된 NO_2 의 부피를 계산하시오.

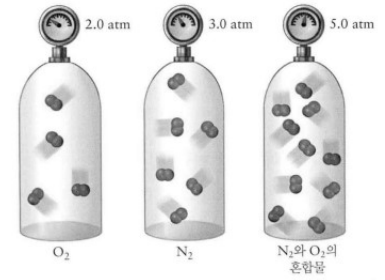
4 Mixture of Gases

1. 부분압(partial pressure, 분압)

① 정의 : 용기에 **특정 기체만 들어있을 때의 압력**

② 돌턴의 분압 법칙(Dalton's Law of partial pressure)

: 기체 혼합물 **전체의 압력은 각 기체의 부분 압력의 합**으로 기술된다.



2. 몰분율(molar fraction) : 전체 몰수에서 **특정 기체의 몰수가 이루는 비율**(χ)

< Dalton's Law of Partial Pressure >

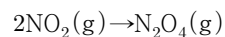
부피가 V 인 용기에 기체 A, B, C가 n_A , n_B , n_C 몰(mole) 있다. (단, 온도는 T 로 일정하며, 기체는 서로 반응하지 않는다.)

(1) P_A , P_B , P_C 를 주어진 변수(variable)들을 이용해서 표현하시오.

(2) Dalton의 분압 법칙을 이용해서 기체 혼합물 전체의 압력($P_{\text{전체}}$)을 구하시오.

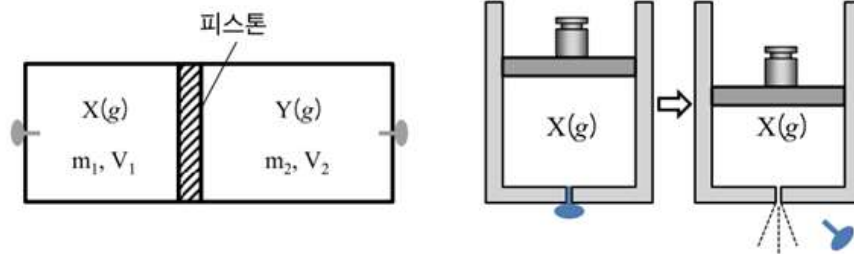
(3) 몰분율을 이용하여 (1)에서 각 기체의 압력을 구한 식을 표현하라.

[Example 9.6] NO_2 를 상온까지 식히면, 그중 일부는 다음 반응에 의해 dimer N_2O_4 를 형성한다.



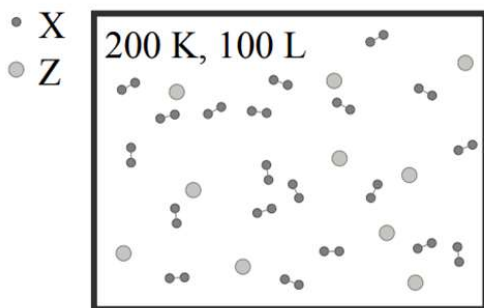
고온에서 NO_2 15.2g을 10.0L 플라스크에 넣고, 그 플라스크를 25°C 까지 식혔다. 이때 전체 압력은 0.500atm이었다. NO_2 와 N_2O_4 의 부분압과 몰 분율은 각각 얼마인가?

[Problem 9.2] 다음과 같이 움직이는 피스톤이 장착된 실린더 안에 두 종류의 기체 $X(g)$ 와 $Y(g)$ 를 피스톤을 사이에 두고 넣었을 때, 피스톤의 위치가 두 기체의 부피가 V_1, V_2 가 되는 지점에서 멈추었다. 아래 조건을 만족시키는 X 와 Y 의 분자량을 논리적으로 구하시오. 또한, X 를 오른쪽 그림과 같은 실린더에 옮겨 담고 실린더의 콕을 열었을 때 X 가 진공 상태인 밖으로 다 빠져나오는데 걸리는 시간이 10초라면, Y 를 동일한 실린더에 옮겨 담은 후 실린더의 콕을 열었을 때 Y 가 진공 상태인 밖으로 다 빠져나오는데 걸리는 시간을 구하시오. (단, 온도는 일정하며, 피스톤의 마찰은 무시한다.) [중앙대 논술]



- 기체 X 를 구성하는 원소는 6개의 p 오비탈에 전자가 다 채워져 있고, d 오비탈에는 전자가 하나도 채워져 있지 않은 바닥 상태의 전자 배치를 갖는다.
- 기체 X 를 구성하는 원소에서 중성자의 질량은 전체 질량의 55%를 차지한다.
- 기체 X 와 Y 의 질량비는 $m_1 : m_2 = 2 : 1$ 이고, 부피비는 $V_1 : V_2 = 4 : 5$ 이다.

[Problem 9.3] 가상의 원소 X 는 ^{17}X , ^{18}X , ^{19}X 의 동위 원소가 존재하며, 존재 비율은 각각 70%, 20%, 10%이다. 가상의 원소 Z 는 4Z 만 존재한다. 그림과 같이 온도 200K, 부피 100L의 용기에 기체 X_2 와 Z 가 혼합되어 있으며, X_2 의 부분 압력이 Z 의 부분 압력의 2배이다. X_2 중 분자량이 36인 X_2 의 존재 비율과 X_2 의 평균 분자량을 구하시오. 또한 분자량이 36인 X_2 의 부분 압력이 0.72atm이라면 용기 내 전체 기체의 질량을 구하시오. (단, 기체 상수 $R=0.08 \text{ atmL mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ 이고, X_2 와 Z 는 서로 반응하지 않는다. 동위 원소의 존재비는 시간에 따라 변하지 않는다.)



동위 원소	존재 비율(%)
^{17}X	70%
^{18}X	20%
^{19}X	10%

General Chemistry I

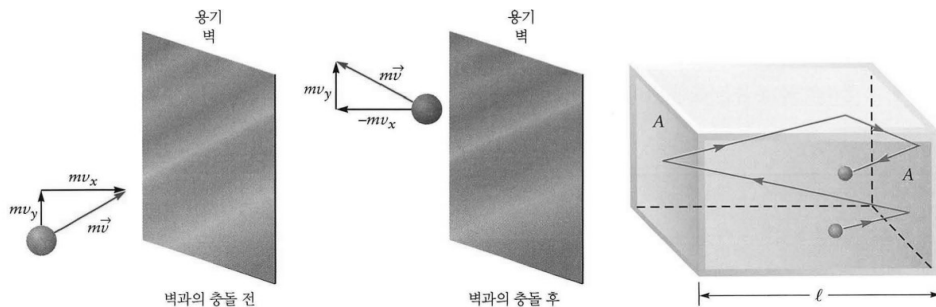
단원	Ch 9. The Gaseous State
학습 주제	Physical Interpretation of Gas : Maxwell-Boltzmann distribution

1 Kinetic Molecular Theory(KMT)

1. KMT의 가정(hypothesis)

- ① <가정1> 기체 분자는 무작위적으로 직선 운동한다. ▶ 기체 분자가 선호하는 운동 방향은 없다.
- ② <가정2> 기체 분자의 부피는 0으로 간주한다.
- ③ <가정3> 기체 분자 사이의 상호작용(인력과 반발력)은 무시할 수 있다.
- ④ <가정 4> 기체 분자 사이의 충돌은 완전 탄성 충돌이다.
- ➡ 기체 분자 사이 충돌 과정에서 운동 에너지는 보존된다.
- ⑤ 기체 분자의 운동 에너지(kinetic energy)는 온도에만 비례한다.

2. 이상 기체 : 에너지적 해석



- ① 피타고라스 정리를 이용하면 $u^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$
- ② 운동량 보존에 의해 $\Delta p_{x, \text{벽}} = 2mv_x$
- ③ 단위 시간 당 벽에 전달되는 운동량은 $\frac{\Delta p_{x, \text{벽}}}{\Delta t} = \frac{mv_x^2}{l}$
- ➡ 여기서 $F = ma = m \frac{dv}{dt} = \frac{dp}{dt} = \frac{mv_x^2}{l}$ 이므로 이 값은 곧 벽에 가해지는 힘이다.
- ④ $F = \frac{mv_{x1}^2}{l} + \frac{mv_{x2}^2}{l} + \dots + \frac{mv_{xN}^2}{l} = \frac{Nm}{l} (\overline{v_x^2})$
- ⑤ 압력의 정의를 이용하면 $PV = Nm(\overline{v_x^2})$, 분자 운동의 선호 방향은 없으므로

$$PV = \frac{1}{3} Nm (\overline{u^2})$$

- ⑥ 이상 기체 법칙과 연립하면 $\frac{1}{3} Nm (\overline{u^2}) = nRT$, $\frac{1}{3} N_A m (\overline{u^2}) = RT$
- ⑦ 운동 에너지 식에 의해 $E = \frac{3}{2} RT$ (1mol의 kinetic energy) ➡ 기체 분자 당 운동 에너지 $\epsilon = \frac{3}{2} k_B T$

※ 볼츠만 상수와 기체 상수와의 관계 : $R = N_A k_B$

$$\overline{u^2} = \frac{3RT}{M}$$

※ 마지막 식을 평균 제곱 속력에 대해 정리하면

➡ 따라서 기체 분자의 평균 제곱 속력은 온도에 정비례하고, 질량에 반비례한다.