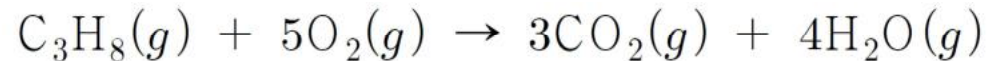




12. 화학광론

(1) 화학반응식의 의미

프로판 연소과정의 화학반응식을 완성하면 아래와 같다.



반응식의 반응물과 생성물의 계수는 아래의 관계를 설명하는 것이다.

$\text{C}_3\text{H}_8(g)$	+	$5\text{O}_2(g)$	$\rightarrow$	$3\text{CO}_2(g)$	+	$4\text{H}_2\text{O}(g)$	의미
1		5		3		4	계수비
1 mol		5 mol		3 mol		4 mol	몰수비
1 부피		5 부피		3 부피		4 부피	기체반응의 법칙
1 분자		5 분자		3 분자		4 분자	아보가드로의 법칙
44 g		160 g		132 g		72 g	질량보존의 법칙
11		40		33		18	일정 성분비의 법칙

① 계수비 = 몰수비 = 분자수비 = 기체 부피비 $\approx$ 질량비

② 질량비 = (계수 $\times$ 화학식량)의 비

(2) 화학량론의 기본적인 문제 유형

(p.44)

반응물의 몰수 $\rightarrow$ 생성물의 몰수
반응물의 질량 $\rightarrow$ 반응물의 몰수 $\rightarrow$ 생성물의 몰수 $\rightarrow$ 생성물의 질량
반응물의 부피 $\rightarrow$ 반응물의 몰수 $\rightarrow$ 생성물의 몰수 $\rightarrow$ 생성물의 부피

① 질량 관계 : 화학 반응식의 계수비로부터 질량 관계를 구할 수 있다.

예) 숯(C) 12.0 g을 완전 연소시켰을 때 생성되는 이산화탄소(CO₂)의 질량 구하기(단, C의 원자량은 12.0이고, 이산화탄소의 분자량은 44.0이다.)

1단계	화학 반응식을 완성한다.	$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
2단계	숯(C) 12.0 g을 탄소 1몰의 질량인 12.0 g으로 나누어 탄소의 몰수를 구한다.	탄소의 몰수 = $\frac{\text{질량}}{\text{1몰의 질량}}$ $= \frac{12.0 \text{ g}}{12.0 \text{ g/몰}} = 1 \text{ 몰}$
3단계	화학 반응식에서 탄소와 이산화탄소의 몰수비 1:1을 이용하여 이산화탄소의 몰수(x)를 구한다.	탄소 : 이산화탄소 = 1 : 1 = 1몰 : x $\Rightarrow$ 생성되는 이산화탄소의 몰수는 1몰이다.
4단계	이산화탄소의 몰수에 이산화탄소 1몰의 질량인 44.0 g을 곱하여 이산화탄소의 질량을 구한다.	$1 \text{ 몰} \times 44.0 \text{ g/몰} = 44.0 \text{ g}$ $\Rightarrow$ 생성되는 이산화탄소의 질량은 44.0 g이다.

② 부피 관계 : 화학 반응식의 계수비로부터 기체 물질의 부피 관계를 구할 수 있다. (p.45)

예) 0°C, 1기압에서 11.2 L의 암모니아 기체를 생성하기 위해 필요한 질소 기체의 부피 구하기

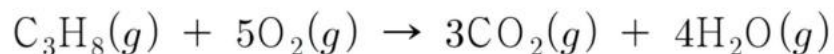
1단계	화학 반응식을 완성한다.	$\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \rightarrow 2\text{NH}_3(g)$
2단계	화학 반응식의 계수비로부터 기체의 부피비를 구한다.	$\text{N}_2(g) : \text{NH}_3(g) = 1 : 2$ $\Rightarrow \text{부피비} = \text{계수비}$
3단계	비례식을 이용하여 암모니아 11.2 L를 얻기 위해 필요한 질소 기체의 부피(x)를 구한다.	$\text{N}_2(g) : \text{NH}_3(g) = 1 : 2 = x : 11.2$ $\therefore x = 5.6 \text{ L}$

③ 질량과 부피 관계 : 화학 반응식의 계수비로부터 질량과 부피 관계를 구할 수 있다.

예) 0°C, 1기압에서 마그네슘 2.4 g이 충분한 양의 묽은 염산과 완전히 반응할 때 발생하는 수소(H₂) 기체의 부피 구하기(단, Mg의 원자량은 24.0이다.)

1단계	화학 반응식을 완성한다.	$\text{Mg}(s) + 2\text{HCl}(aq) \rightarrow \text{MgCl}_2(aq) + \text{H}_2(g)$
2단계	마그네슘과 수소의 몰수비(= 계수비)를 구하고, 각 몰수에 해당하는 질량과 부피를 각각 구한다.	$\text{Mg}(s) : \text{H}_2(g) = 1 : 1 (\text{몰수비})$ 질량 24.0 g 부피 22.4 L $\Rightarrow \text{몰수비} = \text{계수비}$
3단계	비례식을 이용하여 마그네슘 2.4 g이 반응할 때 생성되는 수소 기체의 부피(x)를 구한다.	$\begin{aligned} &\text{Mg 1몰의 질량} : \text{H}_2 \text{ 1몰의 부피} \\ &= 24.0 \text{ g} : 22.4 \text{ L} = 2.4 \text{ g} : x \\ &\therefore x = 2.24 \text{ L} \end{aligned}$

아래의 완성된 화학반응식의 계수비를 이용하여 반응물과 생성물의 양적인 관계를 알아보자.



① 반응물의 몰수 $\rightleftharpoons$ 생성물의 몰수

프로페인의 연소과정에서 2몰의 프로페인이 연소되면 이산화탄소는 몇 몰 생성되는가?

$$2 \text{ mol C}_3\text{H}_8 \times \frac{3 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8} = 6 \text{ mol CO}_2$$

② 반응물의 질량 $\rightleftharpoons$ 생성물의 질량

132 g의 이산화탄소를 얻기 위해서는 몇 g의 산소가 필요한가?

$$132 \text{ g CO}_2 \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{44 \text{ g CO}_2} \times \frac{5 \text{ mol O}_2}{3 \text{ mol CO}_2} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 160 \text{ g O}_2$$

③ 반응물의 부피 $\rightleftharpoons$ 생성물의 부피

STP 조건에서 11.2 L의 프로페인을 연소시키면 몇 L의 수증기가 생성되는가?

$$11.2 \text{ L C}_3\text{H}_8 \times \frac{4 \text{ 부피 H}_2\text{O}}{1 \text{ 부피 C}_3\text{H}_8} = 44.8 \text{ L H}_2\text{O}$$

④ 화학량론의 응용

22 g의 프로페인이 연소되면 생성되는 이산화탄소의 분자수는 얼마인가?

$$22 \text{ g C}_3\text{H}_8 \times \frac{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8}{44 \text{ g C}_3\text{H}_8} \times \frac{3 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8} \times \frac{6.0 \times 10^{23} \text{ 개 CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 9.0 \times 10^{23} \text{ 개 CO}_2$$

(3) 한계시약과 퍼센트 수득률

(p.46)

실제 화학반응에서 생성물을 얻는 것이 목적이므로 반응물의 양을 정확히 맞추어서 반응을 시키는 경우는 드물다. 예를 들면 프로페인(C_3H_8) 44 g과 산소(O_2) 320 g의 반응에 대하여 이론적인 화학량론을 고려해 보자.

$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$				의미
1	5	3	4	계수비
1 mol	5 mol	3 mol	4 mol	몰수비
1 mol	10 mol	0 mol	0 mol	반응 전의 실제 몰수
44 g	320 g	0 g	0 g	반응 전의 질량
0 g	160 g	132 g	72 g	반응 후의 질량
0 mol	5 mol	3 mol	4 mol	반응 후의 실제 몰수
한계시약	과잉시약			한계시약 = C_3H_8

① 한계시약 : 생성물의 양을 결정하며 모두 소모되는 반응물(=한계 반응물). 예 C_3H_8

② 과잉시약 : 과량 넣어주는 반응물. 항상 미반응의 반응물이 존재함(=과잉 반응물). 예 O_2

③ 퍼센트 수득률 : 실제 프로페인(C_3H_8) 44 g과 산소(O_2) 320 g의 반응에 대하여 66 g의 이산화탄소(CO_2)를 얻었다. 퍼센트 수득률은 얼마인가?

- 이론적 수득량 : 화학반응에서 한계시약이 완전히 반응했을 때 화학량론으로 계산한 생성물의 양. 예 132 g
- 실제 수득량 : 실제 화학반응에서 생성된 생성물의 양. 예 66 g
- 반응 수득률 : 이론적 수득량과 실제 수득량의 상대적 비율. 예 $\frac{66 \text{ g } CO_2}{132 \text{ g } CO_2}$
- 퍼센트 수득률 = $\frac{\text{실제 수득량}}{\text{이론적 수득량}} \times 100 \%$ 임.
- 이 반응의 퍼센트 수득률 = $\frac{66 \text{ g } CO_2}{132 \text{ g } CO_2} \times 100 \% = 50 \%$ 임.

(4) 몰 지도 이용

몰 지도를 사용하면 화학 반응에서의 양적 관계를 쉽게 구할 수 있다.

화학 반응식의 계수비
||
몰수비



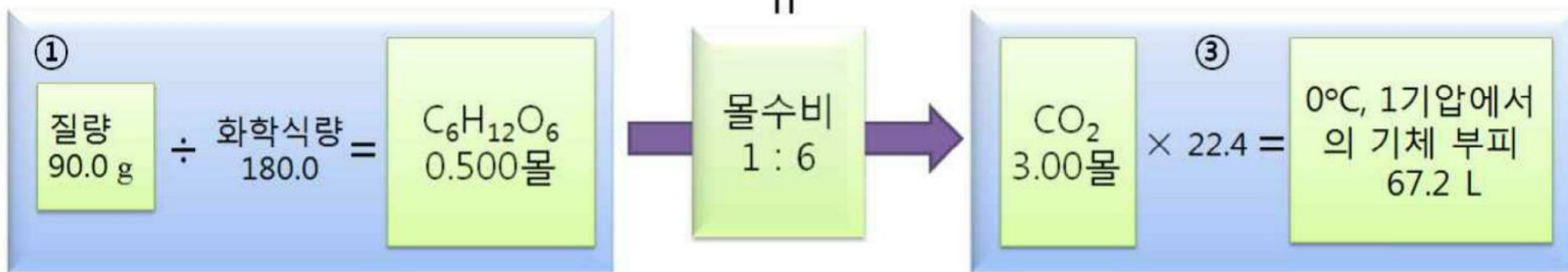
물 지도를 사용하여 광합성을 통해 포도당 90.0 g이 생성되는 데 필요한 0°C, 1기압에서의 이산화탄소의 부피를 구해보자.

(p.47)



② 화학 반응식의 계수비
1 : 6

||



① 포도당 90.0 g을 몰수로 바꾼다(포도당의 몰 질량 : 180.0 g/mol).

$$\frac{90.0 \text{ g 포도당}}{180.0 \text{ g 포도당/몰 포도당}} = 0.500 \text{ 몰 포도당}$$

② 화학 반응식에 포도당과 이산화탄소의 계수비가 1:6임을 이용하여 포도당 0.500몰이 생성되려면 이산화탄소 몇 몰이 필요한지 계산한다.

$$0.500 \text{ 몰 포도당} \times \frac{6 \text{ 몰 이산화탄소}}{1 \text{ 몰 포도당}} = 3.00 \text{ 몰 이산화탄소}$$

③ 이산화탄소 3.00몰을 0°C, 1기압에서의 부피(L)로 바꾼다.

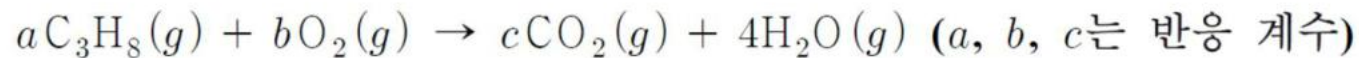
$$3.00 \text{ 몰 이산화탄소} \times \frac{22.4 \text{ L 이산화탄소}}{1 \text{ 몰 이산화탄소}} = 67.2 \text{ L 이산화탄소}$$



확인 문제

(p.48)

다음은 프로페인(C_3H_8)의 연소 반응의 화학 반응식이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $c = 3a$ 이다.

ㄴ. 총 분자 수는 반응 전이 반응 후보다 많다.

ㄷ. 프로페인(C_3H_8) 10 L를 완전 연소시키기 위해 필요한 산소의 부피는 50 L이다.

① ㄱ

② ㄴ

③ ㄱ, ㄷ

④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[정답] ③

ㄱ. 화학 반응식에서 반응물과 생성물을 이루는 원자의 종류와 개수가 같아야 한다. 수소는 생성물 중 수증기를 구성하고 있으며 총 원자의 수가 8이므로 반응물에서도 원자의 수가 8이어야 한다. 수소는 반응물 중 프로페인(C_3H_8)에만 존재하므로 프로페인의 계수 a 는 1이다. 이로부터 반응물에서 탄소 원자의 수는 3이므로 생성물의 이산화탄소에서도 총 탄소 원자의 수가 3이어야 한다. 따라서 이산화탄소의 계수 c 는 3이고 $c = 3a$ 이다.

ㄴ. 화학 반응식의 계수비는 기체의 분자 수비와 같다. 따라서 기체의 총 분자 수는 반응 전이 반응 후보다 작다.

ㄷ. 계수를 모두 맞춘 화학 반응식은 다음과 같다.

(p.48)



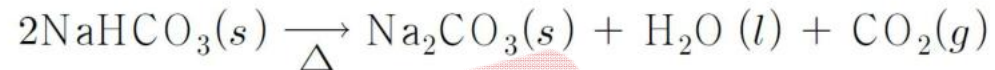
화학 반응식의 계수비는 반응하고 생성되는 물질 사이의 분자 수비, 몰수비와 같고, 기체 물질의 경우 부피비와 같다. 즉, 프로페인과 산소의 부피비는 1:5이므로 일정 온도와 압력에서 10 L의 프로페인을 완전 연소시키기 위해 필요한 산소의 부피는 50 L이다.



확인 문제

(p.49)

다음은 빵이 부풀어 오를 때 일어나는 화학 변화에 대한 화학 반응식이다.



8.4 g의 탄산수소소듐(NaHCO_3)이 분해될 때, 생성되는 이산화탄소의 부피는 표준 상태에서 몇 L인가? (단, 탄산수소소듐(NaHCO_3)의 화학식량은 84로 한다.)

- ① 1.12 ② 2.24 ③ 4.48 ④ 11.2 ⑤ 22.4

[정답] ①

탄산수소소듐(NaHCO_3)의 화학식량은 84이므로 분해된 8.4 g의 탄산수소소듐에 들어 있는 탄산수소소듐은 0.10몰이다. 탄산수소소듐과 이산화탄소의 몰수비가 2:1이므로 생성되는 이산화탄소는 0.050몰이다. 이는 표준 상태에서 1.12 L의 부피를 차지한다.



확인 문제

(p.49)

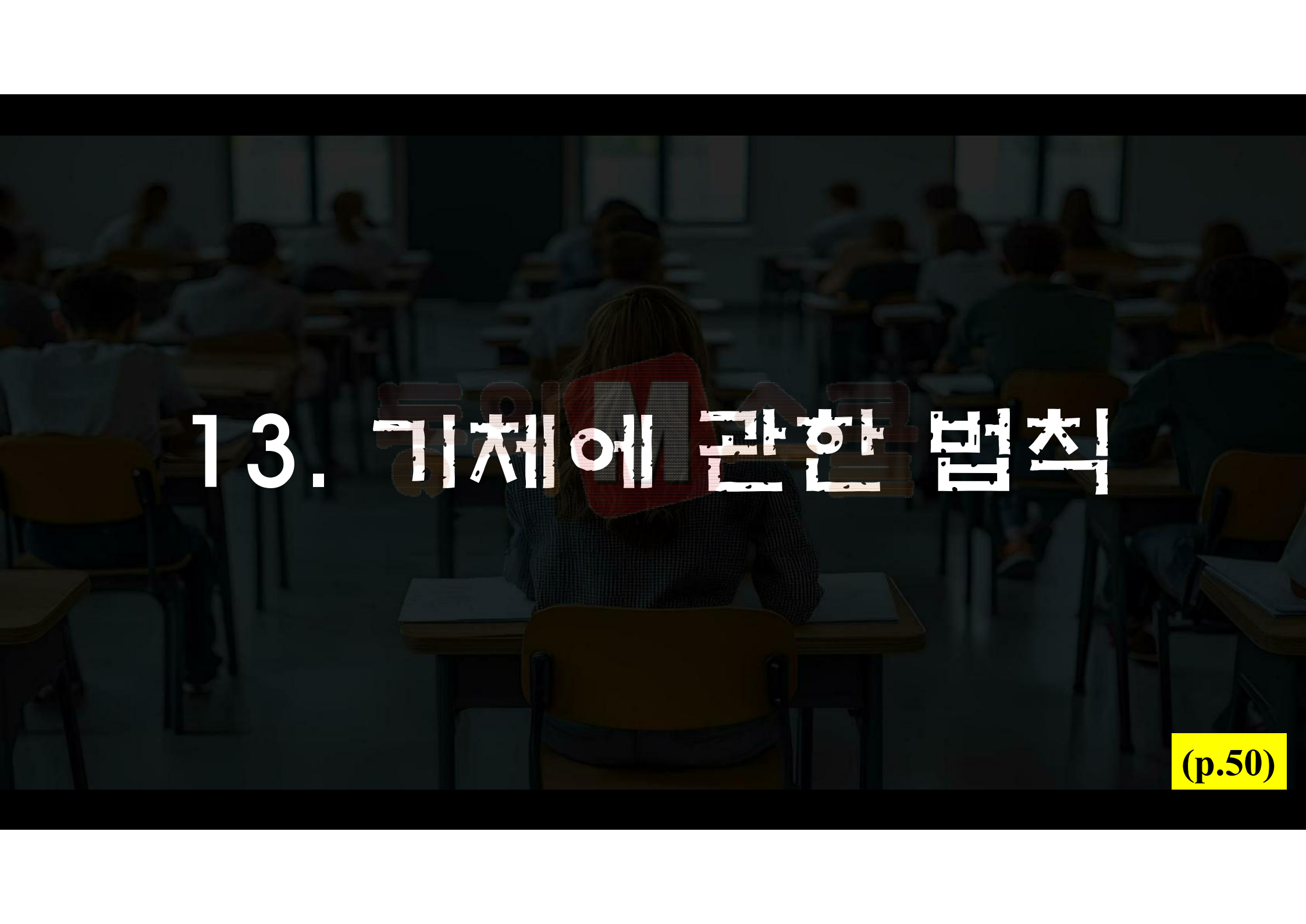
불순물이 섞여 있는 탄화칼슘(CaC_2) 100 g이 다음과 같이 물과 완전히 반응하여, 0°C , 1 atm에서 11.2 L의 C_2H_2 기체가 발생하였다. CaC_2 의 순도는 약 몇 % (w/w)인가? (단, Ca의 원자량은 40.0이다.)



- ① 25 % ② 32 % ③ 40 % ④ 50 % ⑤ 75 %

[정답] ②

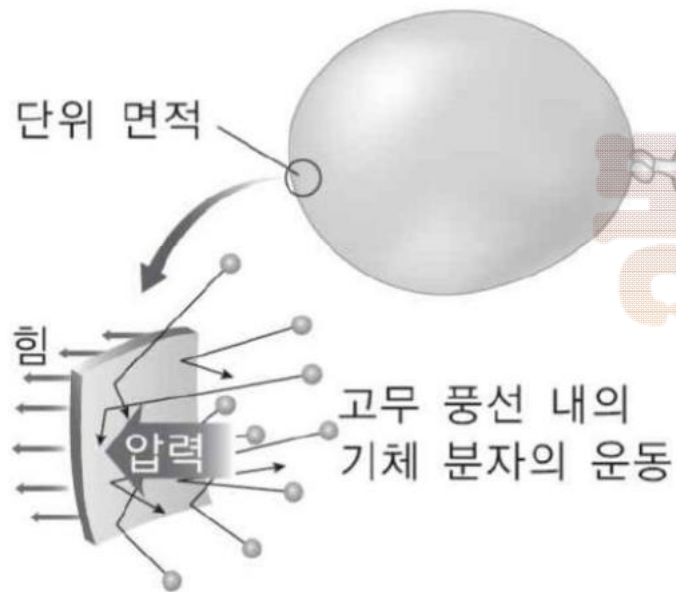
생성된 C_2H_2 의 몰수(n) = $\frac{PV}{RT} = \frac{(1 \text{ atm})(11.2 \text{ L})}{(0.082 \text{ atm}\cdot\text{L}/\text{mol}\cdot\text{K})(273 \text{ K})} = 0.5 \text{ mol}$ 이다. 따라서 100 g의 CaC_2 시료에 함유되어 있어야 할 CaC_2 양은 $0.5 \text{ mol} \times 64 \text{ g/mol} = 32 \text{ g}$ 이다. 그러므로 CaC_2 의 순도는 CaC_2 의 순도 = $\frac{32 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 32\%$ 이다.



13. **동위체**에 관한 법칙

(p.50)

(1) 기체의 일반적인 성질들



- ① 압력이 증가하면, 기체의 밀도가 증가함.
- ② 기체는 주위에 압력을 가함.
- ③ 기체는 한없이 팽창하므로, 어떤 부피의 용기도 완전하고 균일하게 채워짐.
- ④ 기체들은 서로 확산하므로, 같은 용기에 있는 기체 시료들은 완전히 섞임. 역으로, 혼합물 내의 기체들은 저절로 분리되지 않음.
- ⑤ 기체의 양과 성질은 온도, 압력, 차지하는 부피, 그리고 존재하는 분자수로 기술됨.

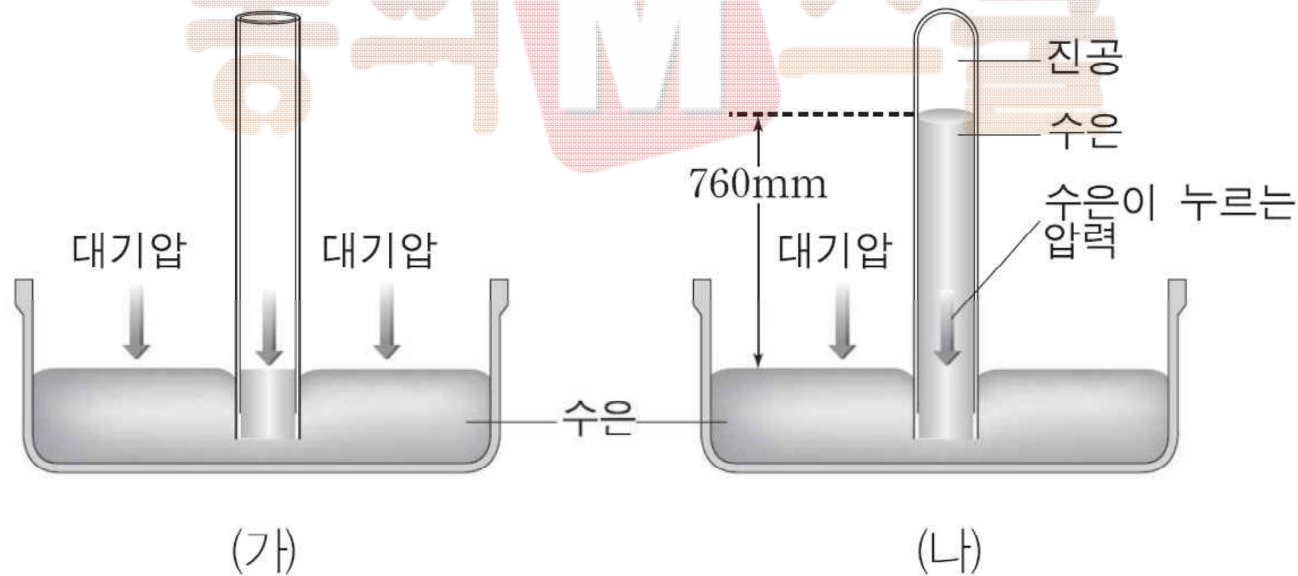
(2) 압력

(p.50)

: 단위 면적에 작용하는 힘으로 정의됨.

① 대기압 : 위도 45° 해수면에서, 수은과 공기가 0°C 일 때, 평균 대기압은 수은 기압계 내 760 mm 높이의 수은주를 지탱해 줌.

예) 1대기압 (atm) = 0°C 에서 760 mmHg = 760 torr

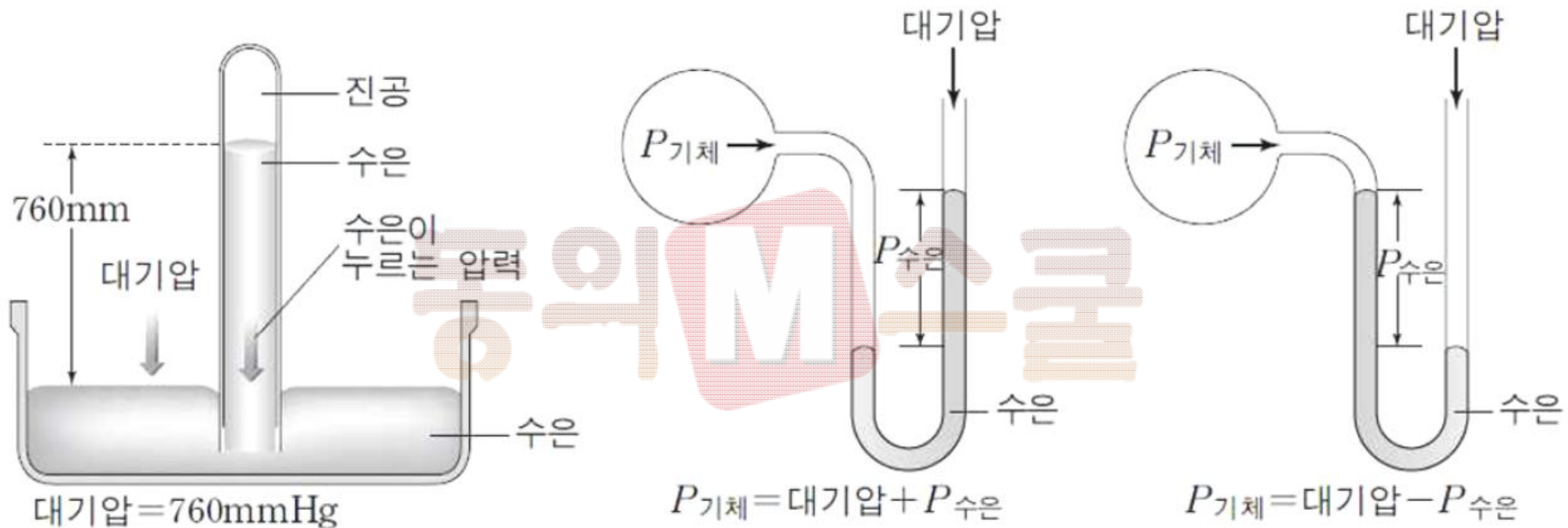


② 압력의 단위 : 국제단위계(SI)에서 압력은 파스칼(pascal, Pa)로 나타냄.

- 1 m^2 의 면적에 1 N (뉴턴)의 힘이 작용할 때의 압력을 1 Pa 이라고 함.
- 1 N (뉴턴)은 1 kg 의 물체를 1 m/s^2 의 가속도로 움직이게 하는 힘.
- $1\text{ N} = \frac{1\text{ kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}$, 따라서 $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ 임.
- 1대기압 = $1.01325 \times 10^5\text{ Pa}$ 또는 101.325 kPa 임.

단위명	기호	정의 및 상호 관계
파스칼	Pa	$1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2 = 1(\text{kg}\cdot\text{m/s}^2)/\text{m}^2 = 1\text{ kg/m}\cdot\text{s}^2$
수은의 밀리미터	mmHg	기압계에서 1 mm의 수은주를 지탱하는 압력
기압	torr	$1\text{ torr} = 1\text{ mmHg}$
	atm	$1\text{ atm} = 760\text{ mmHg} = 760\text{ torr}$ $= 1.01325 \times 10^5\text{ Pa}$ $= 1.01325 \times 10^2\text{ kPa}$

③ 수은 압력계 : 수은이 부분적으로 채워진 U자 유리관으로 구성. U자 유리관의 한쪽은 대기와 접하고, 다른 한 쪽은 기체의 용기에 연결됨.



- 그림 (나)의 왼쪽 그림 : 대기압보다 기체의 압력이 큰 경우 대기로 열린 쪽의 수은 기둥이 높음.
- 그림 (나)의 오른쪽 그림 : 대기압보다 기체의 압력이 작은 경우 대기로 열린 쪽의 수은 기둥이 낮음.
- 수은 기둥의 높이 차이 만큼이 대기압과 기체의 압력 차이에 해당함.

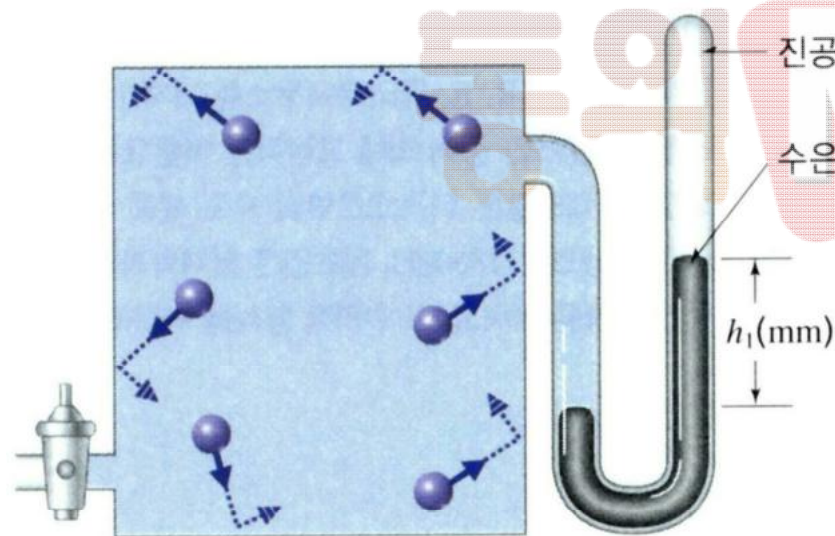
④ 기체의 압력 : 기체 분자들이 운동하면서 물체의 벽면에 충돌하여 발생함.

(p.51)

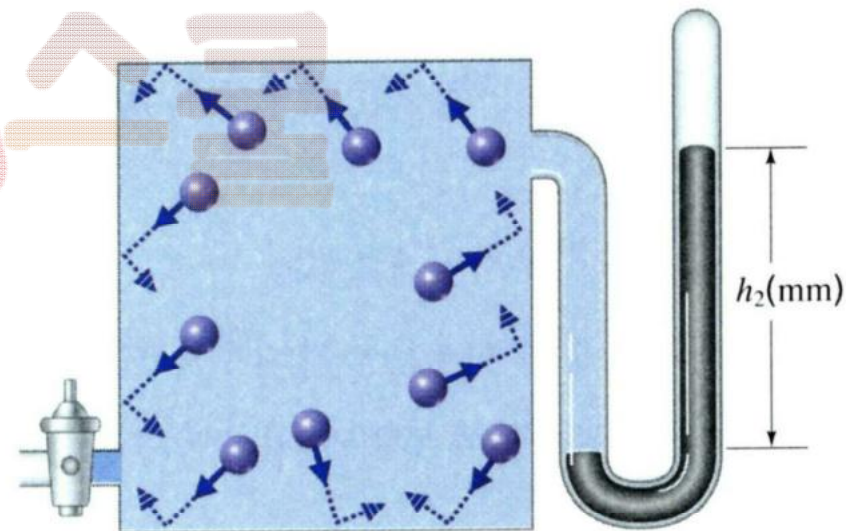
- 물체의 벽면에 충돌하는 기체 분자수가 많을수록 기체의 압력은 커짐.
- 기체 분자의 속력이 빠를수록 기체의 압력은 커짐.

분자 수와 기체의 압력

달린 수은 압력계



(가) 분자 수가 적고, 온도가 낮으면 압력은 작다.



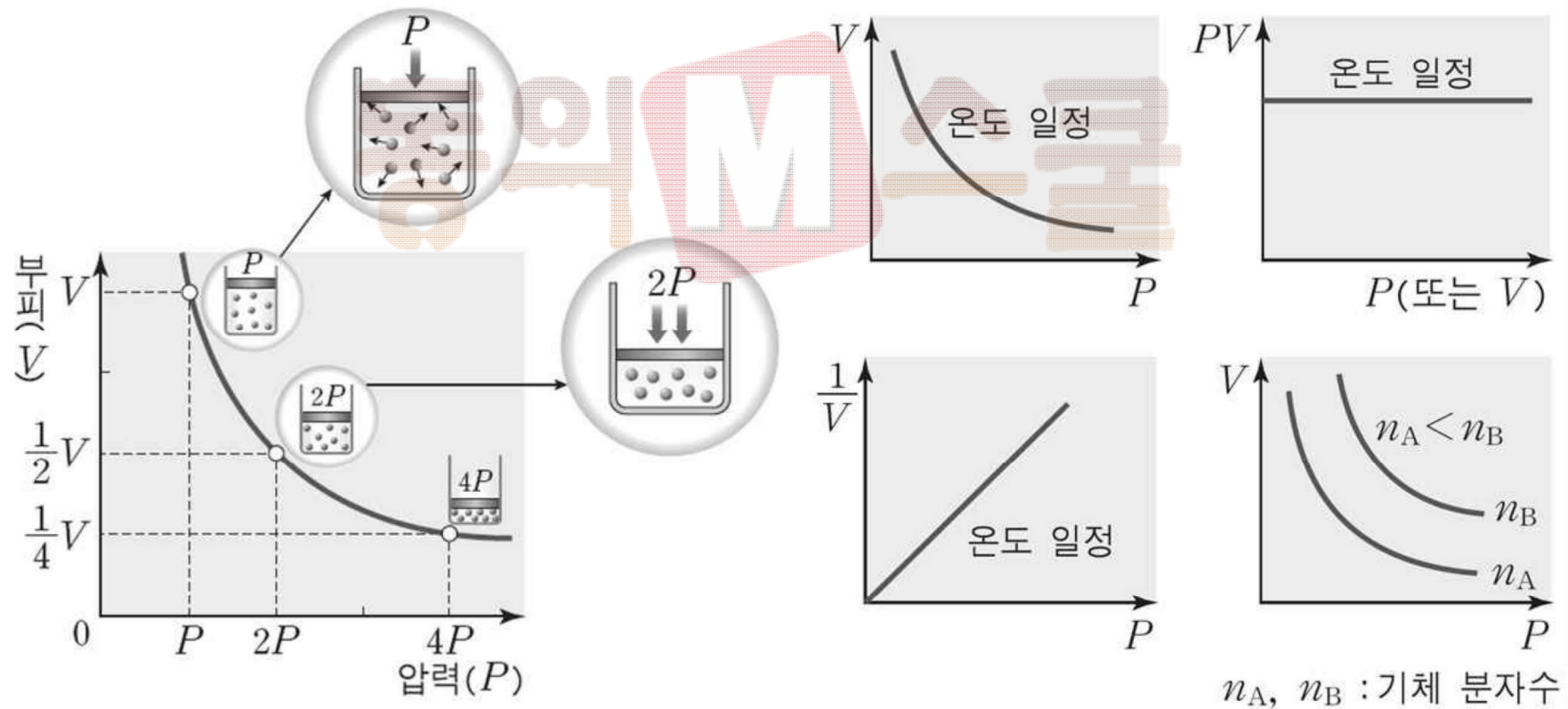
(나) 분자 수가 많고, 온도가 높으면 압력은 크다.

(3) 기체에 관한 법칙

(p.52)

① 보일의 법칙 : 일정한 온도(T)에서 일정량의 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례함.

- $V = k \frac{1}{P}$, $PV = k$, $P_1 V_1 = P_2 V_2 = k$ (k 는 비례 상수, n 과 T 는 일정)
- 보일의 법칙 그래프

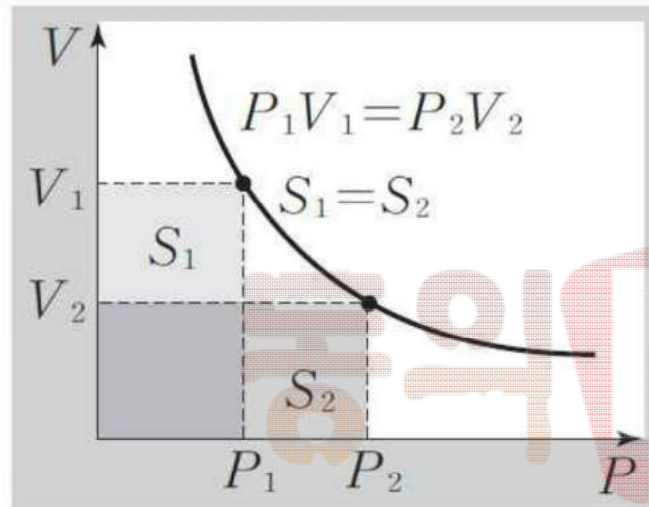




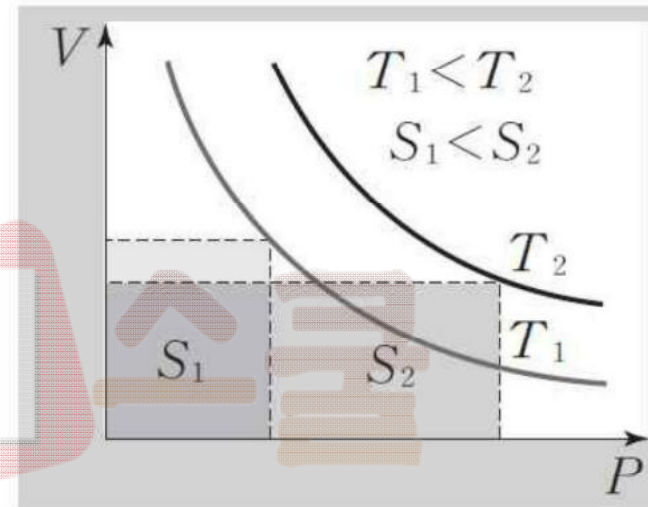
자료 분석

보일의 법칙 그래프

(p.52)



(가) 온도가 일정할 때



(나) 온도가 다를 때

- (가) : 부피축과 압력축에 각각 그은 수선 아래 면적은 압력과 부피의 곱으로 온도가 일정할 때 어느 점에서나 같은 값을 갖는다. 즉 $S_1 = S_2$ 이다.
- (나) : 온도가 다른 경우 부피축과 압력축에 그은 수선 아래 면적은 높은 온도의 점에서의 면적이 낮은 온도의 점에서의 면적보다 항상 크다. 즉 $S_1 < S_2$ 이다.



확인 문제

(p.52)

0°C, 1기압에서 30 L인 기체를 0°C, 10 L로 만들면 기체의 압력은 몇 기압이 되는가?

[정답] $P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow P_2 = P_1 \times \frac{V_1}{V_2} = 1 \text{ 기압} \times \frac{30 \text{ L}}{10 \text{ L}} = 3 \text{ 기압이다.}$

② 샤를의 법칙

- 일정한 압력(P)에서 일정량의 기체의 부피(V)는 온도가 1°C 오를 때마다 0°C 때 부피(V_0)의 $\frac{1}{273}$ 씩 증가함. $273 + t^{\circ}\text{C} = T$ 라 놓으면 다음의 식과 같이 V 는 T 에 비례함.

여기서 $k = \frac{V_0}{273^{\circ}\text{C}}$ 로 상수이다.

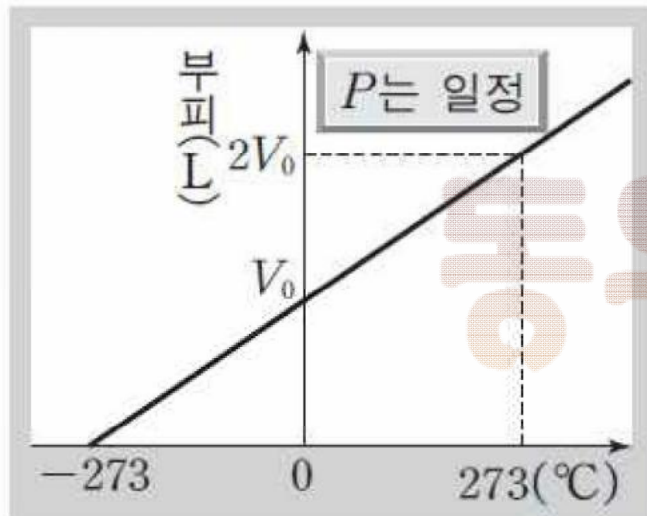
$$V = V_0 + \frac{V_0}{273^{\circ}\text{C}} \times t^{\circ}\text{C} = V_0 \left(1 + \frac{t^{\circ}\text{C}}{273^{\circ}\text{C}} \right) = V_0 \times \frac{273 + t^{\circ}\text{C}}{273^{\circ}\text{C}}$$

$$V = \frac{V_0}{273^{\circ}\text{C}} \times (273 + t^{\circ}\text{C}) = \frac{V_0}{273^{\circ}\text{C}} \times T = kT$$

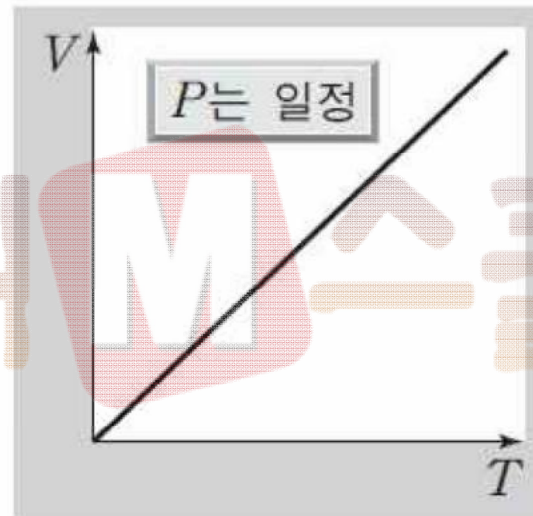
- 일정한 압력(P)에서 일정량의 기체의 부피(V)는 절대 온도(T)에 비례함.
- $V = kT$, $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = k$ (k 는 비례 상수, n 와 P 는 일정)

- 샤를의 법칙 그래프

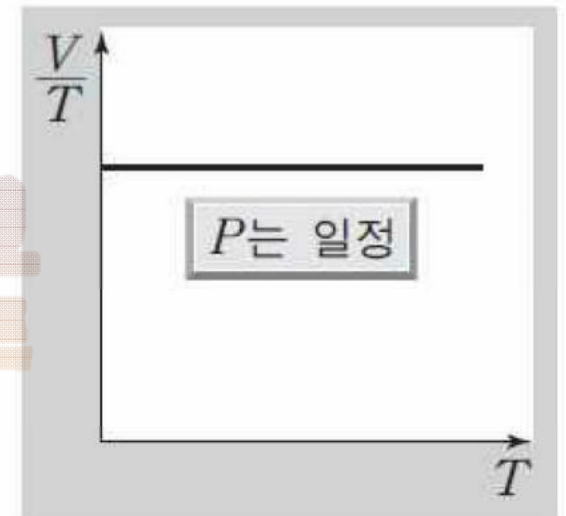
(p.53)



$$V = V_0 + \frac{V_0}{273}t$$



$$V \propto T$$



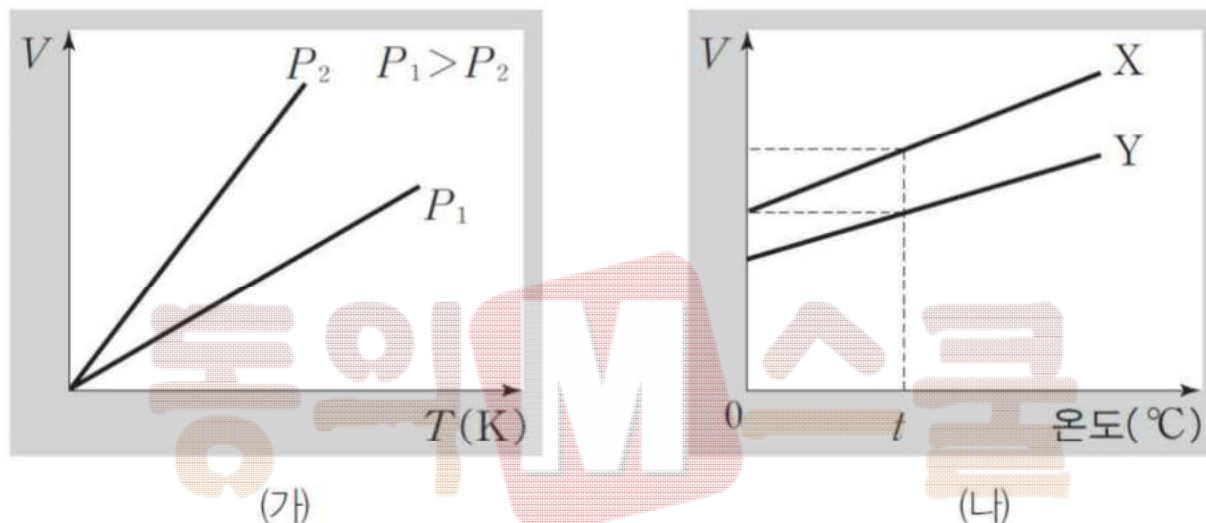
$$\frac{V}{T} = k$$



자료 분석

(p.53)

압력이 다른 경우와 기체 분자수가 다른 경우의 샤를의 법칙 그래프 ·



- (가) : 일정량의 기체에서 압력이 서로 다른 경우의 절대 온도에 따른 기체의 부피를 나타낸 것. 온도가 일정한 경우 압력이 작을수록 부피가 크므로, $P_1 > P_2$ 임을 알 수 있으며 기울기인 $\frac{V}{T}$ 는 압력 P 가 일정할 때는 항상 같은 값이 됨.
- (나) : 압력이 같을 때 섭씨 온도에 대한 기체의 부피를 나타낸 것. 기체의 부피는 분자수에 비례하므로 같은 온도에서 부피가 더 큰 X가 Y보다 분자수가 더 많으며, 같은 온도 (예를 들어 0°C)에서 기체의 부피를 비교하면 분자수의 비도 알 수 있음.



확인 문제

(p.54)

0°C, 1기압, 0.5몰의 산소 기체의 온도를 819°C로 높이면 기체의 부피는 얼마가 되는가?

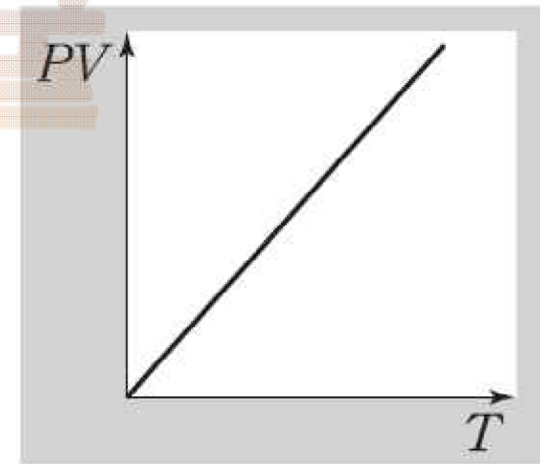
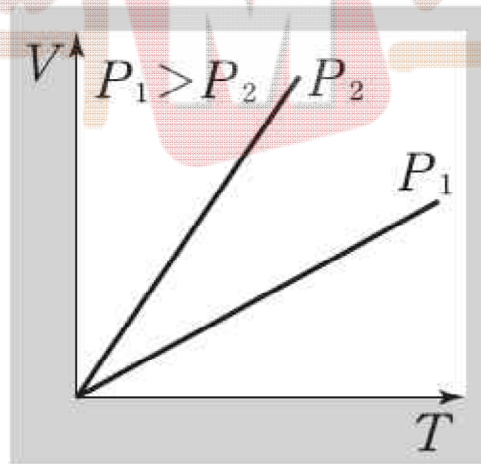
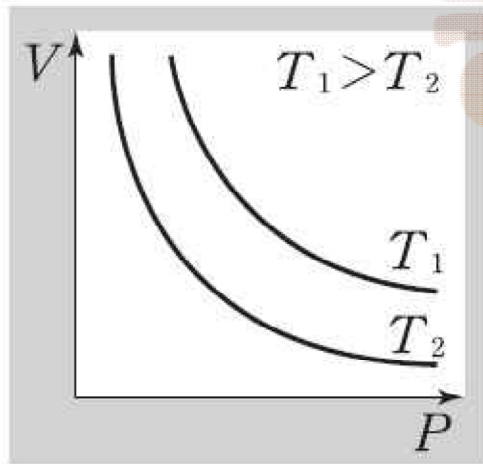
[정답] 0°C, 1기압, 0.5몰의 기체 부피는 11.2 L이며, 0°C = 273 K, 819°C = 1092 K이다.
일정한 압력에서 일정량의 기체 부피는 절대 온도에 비례한다.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = V_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 11.2 \text{ L} \times \frac{1092 \text{ K}}{273 \text{ K}} = 44.8 \text{ L} \text{이다.}$$

③ 보일-샤를의 법칙 : 온도와 압력이 모두 변할 때 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례하고, 절대 온도에 비례함.

(p.54)

$$\frac{PV}{T} = k, \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = k \quad (k \text{는 비례 상수, } n \text{는 일정})$$



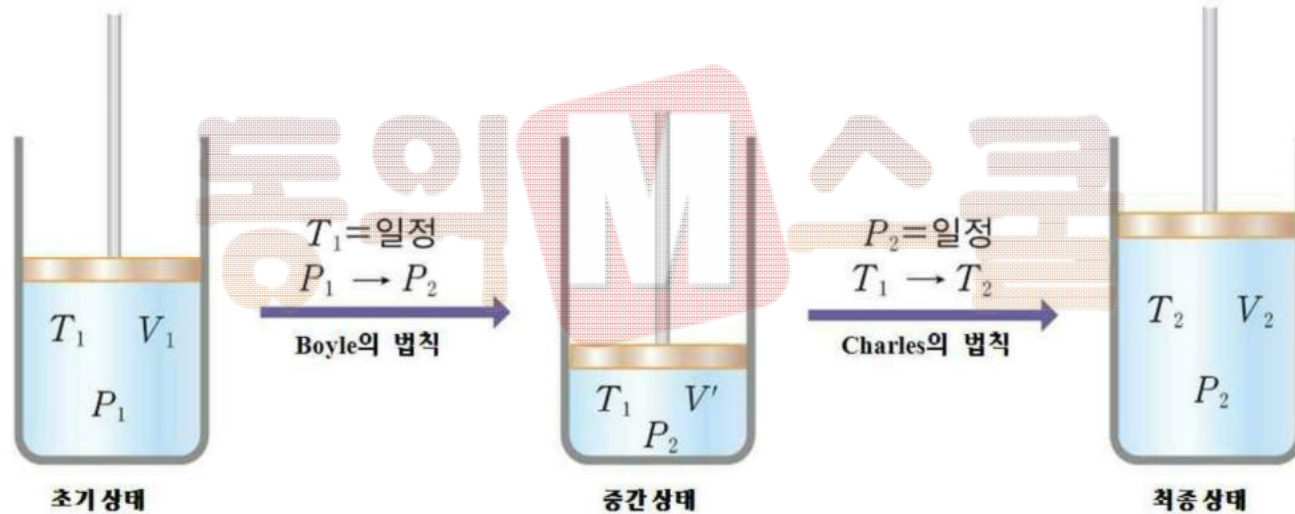


수식 문제

보일-샤를의 법칙의 유도.

일정량의 기체가 초기 상태 1(T_1, V_1, P_1)에서 중간 상태 2(T_1, V', P_2)로 바꿀 때에는 보일의 법칙을 쓰고, 중간 상태 2(T_1, V', P_2)에서 최종 상태 3(T_2, V_2, P_2)로 바꿀 때에는 샤를의 법칙을 적용하여 보일-샤를의 법칙을 유도할 수 있음.

(p.54)



$$V' = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$\therefore \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{T_1}{T_2} \times V'$$

$$= \frac{T_1}{T_2} \times \frac{P_1 V_1}{P_2}$$



확인 문제

(p.55)

0°C, 380 mmHg에서 1.0 L의 부피를 차지하는 기체를 273°C, 760 mmHg로 만들 때 기체의 부피는 얼마인가?

[정답] 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례하고, 절대 온도에 비례한다.

$P_1 = 380 \text{ mmHg}$, $V_1 = 1.0 \text{ L}$, $T_1 = 273 \text{ K}$, $P_2 = 760 \text{ mmHg}$, $T_2 = 546 \text{ K}$ 이다.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = V_1 \times \frac{P_1}{P_2} \times \frac{T_2}{T_1} = 1.0 \text{ L} \times \frac{380 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} \times \frac{546 \text{ K}}{273 \text{ K}} = 1.0 \text{ L} \text{이다.}$$

- ④ 아보가드로의 법칙 : 일정한 온도(T)와 압력(P)에서, 시료가 차지하는 부피(V)는 기체의 몰수(n)에 정비례함.

$$V = kn, \quad \frac{V}{n} = k \quad (k \text{는 비례 상수, } P \text{와 } T \text{는 일정})$$

- 표준 온도와 압력(STP 상태)에서 이상 기체 1몰이 차지하는 부피가 표준 몰부피는 22.4 L임.

⑤ 이상 기체 상태 방정식

- 기체는 기체의 압력(P), 온도(T), 부피(V), 그리고 몰수(n)로 기술될 수 있음.
- 이상 기체는 기체 법칙들이 정확히 적용되는 기체임.
- 이상 기체의 거동은 다음과 같이 요약할 수 있음.

보일의 법칙	$V \propto \frac{1}{P}$	(T 와 n 은 일정)
샤를의 법칙	$V \propto T$	(P 와 n 은 일정)
아보가드로의 법칙	$V \propto n$	(T 와 P 은 일정)
종합	$V \propto \frac{nT}{P}$	(제한 없음)

- 비례식은 비례 상수(여기서 R)를 이용하여 다음과 같이 나타냄. 이 관계식이 이상기체 상태방정식임.

$$V = R \left(\frac{nT}{P} \right), \quad PV = nRT$$

- 이상 기체 1몰의 부피는 273 K, 1.0기압에서 22.4 L임. R 에 대하여 이상 기체 상태 방정식을 풀면, 다음의 식을 얻음. 여기서, $1\text{ L} = 10^{-3}\text{ m}^3$, $1\text{ J} = 1\text{ Pa}\cdot\text{m}^3$ 이다.

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1.0\text{ atm}) \times (22.4\text{ L})}{(1\text{ mol}) \times (273\text{ K})} = 0.082 \frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

$$R = 0.082 \frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}} = 0.082 \frac{10^{-3}\text{ m}^3 \times 1.01325 \times 10^5\text{ Pa}}{\text{mol}\cdot\text{K}} = 8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

⑥ 기체 물질의 분자량과 분자식 결정

- 실험식은 화합물의 백분율 조성을 이용하여 계산함.
- 화합물의 분자식을 결정하려면, 분자량을 알아야 함.
- 측정하기 용이한 온도와 압력 조건에서, 이상 기체 법칙은 분자량을 결정할 수 있는 토대를 제공함.

$$PV = nRT = \frac{w}{M}RT, \quad M = \frac{w}{PV}RT$$

여기서 w 는 시료의 질량이고, M 은 화합물의 분자량임.



확인 문제

(p.56)

이상 기체 상태 방정식을 이용하여 0°C , 380 mmHg 에서 11.2 L 의 질량이 7 g 인 기체의 분자량(M)을 구하라.

[정답] $P = 380\text{ mmHg} \times \frac{1\text{기압}}{760\text{ mmHg}} = 0.5\text{기압}$, $T = 273\text{ K}$ 이므로

$$M = \frac{w}{PV}RT = \frac{7 \times 0.082 \times 273}{0.5 \times 11.2} = 28\text{이다.}$$

(4) 기체의 부분 압력의 법칙(돌턴의 부분 압력의 법칙)

① 돌턴의 부분 압력의 법칙

- 기체 혼합물 내의 기체의 총 몰수는 다음과 같다. 여기서, n_A , n_B , n_C , ... 은 각 종류의 기체의 몰수임.

$$n_{\text{전체}} = n_A + n_B + n_C + \dots = \sum_i n_i$$

- 이상 기체 상태 방정식 $P_{\text{전체}} V = n_{\text{전체}} RT$ 를 재배열하고 $n_{\text{전체}}$ 를 대입하면, 다음의 식을 얻음.

$$P_{\text{전체}} = \frac{n_{\text{전체}} RT}{V} = \frac{n_A + n_B + n_C + \dots}{V} RT$$

- 우변에 있는 곱셈을 실행하면, 다음의 식을 얻음.

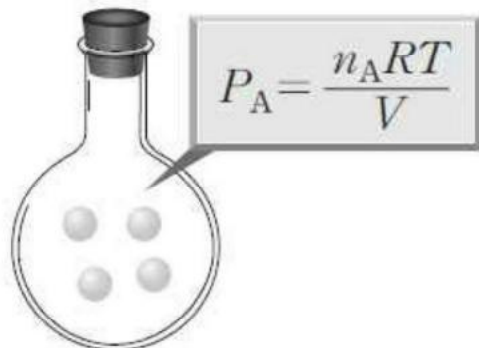
$$P_{\text{전체}} = \frac{n_{\text{전체}} RT}{V} = \frac{n_A}{V} RT + \frac{n_B}{V} RT + \frac{n_C}{V} RT + \dots$$

- $n_A RT/V$ 는 온도 T 에서 n_A 몰의 기체 A가 용기에 미치는 부분 압력(P_A)임. 마찬가지로 $n_B RT/V$ 는 P_B , ..., 등등이다. 이것을 $P_{\text{전체}}$ 에 대한 방정식에 대입하면 돌턴의 부분 압력 법칙을 얻음.

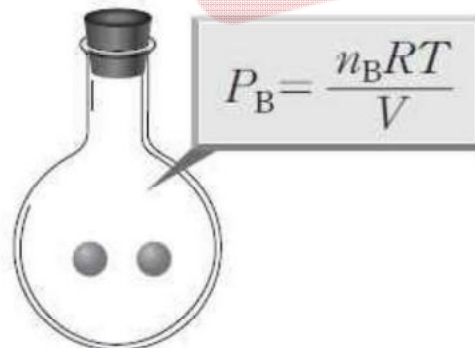
$$P_{\text{전체}} = P_A + P_B + P_C + \dots = \sum_i P_i \quad (V \text{와 } T \text{는 일정})$$

- 이상 기체 혼합물의 전체 압력은 각 기체의 부분 압력의 합과 같음.

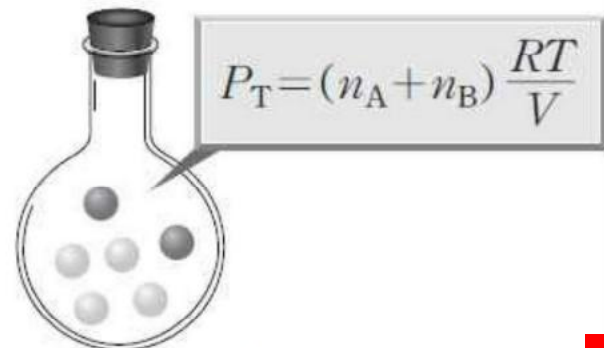
$$P_T = P_A + P_B$$



기체 A



기체 B



기체 A+기체 B

② 몰분율

- 혼합물의 조성을 각 성분의 몰분율로 나타냄.

$$x_A = \frac{\text{A의 몰수}}{\text{구성 성분 총 몰수}}, \quad x_B = \frac{\text{B의 몰수}}{\text{구성 성분 총 몰수}}, \quad \dots$$

- 혼합물 내 몰분율들이 총합은 1임. 즉, $x_A + x_B + \dots = 1$ 임.
- 이상기체상태방정식으로부터 각 성분의 몰수는 $n_A = \frac{P_A V}{RT}$, $n_B = \frac{P_B V}{RT}$, ... 이다.

- 총 몰수는 $n_{\text{전체}} = \frac{P_{\text{전체}} V}{RT}$ 임.

$$\bullet \quad x_A \text{를 } n_{\text{전체}} = \frac{P_{\text{전체}} V}{RT} \text{를 대입하면 } x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B + \dots} = \frac{\frac{P_A V}{RT}}{\frac{P_{\text{전체}} V}{RT}} \text{ 임.}$$

- V, R, T 의 값이 소거되면 $x_A = \frac{P_A}{P_{\text{전체}}}$, $x_B = \frac{P_B}{P_{\text{전체}}}$, ... 임.

- 따라서 돌턴의 부분 압력의 법칙은 $P_A = x_A \times P_{\text{전체}}$, $P_B = x_B \times P_{\text{전체}}$, ... 임.



확인 문제

(p.57)

헬륨 기체 1몰과 질소 기체 2몰의 혼합 기체의 압력이 6기압이다. 각 성분 기체의 압력을 구하라.

[정답] $P_{\text{He}} = x_{\text{He}} \times P_{\text{전체}} = \left(\frac{n_{\text{He}}}{n_{\text{He}} + n_{\text{N}_2}} \right) \times P_{\text{전체}} = \left(\frac{1}{1+2} \right) \times 6 \text{기압} = 2 \text{기압},$

$$P_{\text{N}_2} = x_{\text{N}_2} \times P_{\text{전체}} = \left(\frac{n_{\text{N}_2}}{n_{\text{He}} + n_{\text{N}_2}} \right) \times P_{\text{전체}} = \left(\frac{2}{1+2} \right) \times 6 \text{기압} = 4 \text{기압이다.}$$



확인 문제

(p.58)

27°C, 1기압에서 어떤 기체 0.47 g이 차지하는 부피가 0.41 L이다. 이 기체는 무엇인가?
(단, 원자량은 H = 1, He = 4, N = 14, O = 16, Cl = 35.5이다.)

- ① 수소(H₂) ② 헬륨(He) ③ 질소(N₂) ④ 산소(O₂) ⑤ 염소(Cl₂)

[정답] ③

$PV = nRT = \frac{wRT}{M}$, $M = \frac{wRT}{PV} = \frac{0.47 \times 0.082 \times 300}{1 \times 0.41} = 28$ 이므로 분자량이 28인 것은 질소이다.



확인 문제

(p.58)

표는 압력과 온도를 변화시키면서 측정한 일정량의 헬륨(He) 기체의 부피를 나타낸 것이다.

압력(기압)	온도(0°C)	부피
1	273	V_1
2	0	V_2
2	273	V_3

헬륨 기체의 부피 V_1 , V_2 , V_3 의 크기를 옳게 비교한 것은?

- ① $V_1 > V_2 > V_3$ ② $V_1 > V_3 > V_2$ ③ $V_2 > V_1 > V_3$
 ④ $V_2 > V_3 > V_1$ ⑤ $V_3 > V_1 > V_2$

[정답] ②

일정한 양의 기체의 부피는 압력에 반비례하고 절대온도에 비례하므로 $V \propto \frac{T}{P}$ 이다. 따라서 $V_1 = 2V_3 = 4V_2$ 이다.