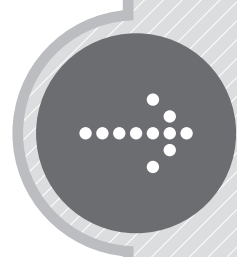


EBS 수능특강 화학 II

정답과 해설



01 기체

2 수능 테스트

본문 13~15쪽

01 ② 02 ⑤ 03 ① 04 ④ 05 ③ 06 ② 07 ⑤
08 ④ 09 ① 10 ④ 11 ⑤ 12 ②

01 기체의 성질

✕. A와 B의 분자량이 다르므로 각각 0.1 mol에 해당하는 질량은 다르다.

✕. 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이다. A(g)와 B(g)는 같은 용기에 들어 있으므로 부피는 같지만 질량이 다르므로 밀도가 다르다.

㉠. 혼합 기체에서 기체의 부분 압력은 기체의 몰 분율에 비례한다. A(g)와 B(g)의 몰 분율이 같으므로 부분 압력은 같다.

02 보일·샤를 법칙

기체의 양(mol) $n = \frac{PV}{RT}$ 이다.

㉠. A(g)와 B(g)의 양(mol)이 같으므로 $\frac{P \times V}{RT} = \frac{2P \times xV}{RT}$ 이다. 따라서 $x = \frac{1}{2}$ 이다.

㉡. 기체의 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이다. A(g)와 C(g)의 양을 각각 k mol, A의 분자량을 M_A , C의 분자량을 M_C 라고 하면 $d : 8d = \frac{k \times M_A}{V} : \frac{k \times M_C}{2V}$ 이다. 따라서 $M_A : M_C = 1 : 16$ 이다.

㉢. $T = \frac{PV}{nR}$ 이고, A(g)~C(g)의 양(mol)이 모두 같으므로 기체의 압력과 부피의 곱은 기체의 절대 온도에 비례한다. 따라서 C(g)의 온도는 $2T$ K이다. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에만 비례하므로 A(g)~C(g) 중 분자의 평균 운동 에너지는 C(g)가 가장 크다.

03 기체의 압력

대기압이 760 mmHg이므로 A(g)의 압력은 1520 mmHg이고, 용기 속 B(g)의 압력은 1140 mmHg이므로 $x = 1140$ 이다. 관 속 B(g)의 압력은 용기 속 B(g)의 압력보다 380 mmHg만큼 작으므로 $y = 760$ 이다. 따라서 $\frac{y}{x} = \frac{2}{3}$ 이다.

04 보일·샤를 법칙

$PV = nRT$ 이므로 $P = \frac{nRT}{V}$ 이다. 기체의 양(mol)이 일정하

므로 $\frac{1}{\text{부피}}$ 에 따른 압력 그래프에서 온도가 변하지 않으면 직선의 기울기가 일정하다. 따라서 X(g)와 Y(g)의 온도는 각각 일정하다.

✕. X(g)와 Y(g)의 양(mol)이 같으므로 그래프에서 기울기는 T 에 비례한다. 따라서 절대 온도는 X(g)가 Y(g)의 2배이다. (가)는 X(g)에 해당하고 (나)는 Y(g)에 해당하므로 온도는 (가) > (나)이다.

㉡. (나)와 (다)는 모두 Y(g)에 해당하고 Y(g)의 온도는 일정하므로 분자의 평균 운동 에너지는 (나)에서와 (다)에서가 같다.

㉢. 기체의 밀도 $d = \frac{PM}{RT}$ 이다. X(g)의 온도와 분자량을 $2T$, M_X , Y(g)의 온도와 분자량을 T , M_Y 라고 하면

$2 : 1 = \frac{2a \times M_X}{2RT} : \frac{2a \times M_Y}{RT}$ 이므로 $M_X : M_Y = 4 : 1$ 이다.

05 샤를 법칙

㉠. B(g)에서 기체의 온도가 $y^\circ\text{C}$ 일 때 기체의 부피는 0°C 에서 기체 부피의 2배이므로 $y = 273$ 이다.

㉡. 절대 온도(T) = 섭씨온도(t) + 273이므로 $273 : V_0 = 364 : x$ 이다. 따라서 $x = \frac{4}{3}V_0$ 이다.

✕. A(g)와 B(g)의 질량이 같고, 0°C 에서 기체의 양(mol)은 A(g)가 B(g)의 2배이므로 분자량은 B가 A의 2배이다.

06 이상 기체 방정식

✕. A(g)와 B(g)는 질량과 부피가 같으므로 밀도가 같다.

㉡. A(g)~C(g) 중 기체의 온도는 C(g)가 가장 높으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 C(g)가 가장 크다.

✕. 기체의 양(mol) $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 A(g)와 C(g)의 몰비는 $\frac{4V}{\frac{1}{2}RT} : \frac{V}{2RT} = 16 : 1$ 이다. A(g)와 C(g)의 질량이 같으므로 분자량비는 $A : C = 1 : 16$ 이다.

07 샤를 법칙

✕. 대기압은 일정하므로 A(g)의 압력은 (가)와 (나) 모두 대기압과 같다. 따라서 실린더 속 A(g)의 압력은 (가)와 (나)가 같다.

㉡. 온도의 변화에 따라 기체의 부피가 증가하였으므로 $T_2 > T_1$ 이다. 따라서 A(g) 분자의 평균 운동 에너지는 (나) > (가)이다.

㉔. $\frac{V}{T} = \frac{nR}{P}$ 이다. $A(g)$ 의 양(mol)과 압력은 (가)와 (나)가 같으므로 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 이다. 따라서 $V_1 \times T_2 = V_2 \times T_1$ 이다.

08 이상 기체 방정식

ㄱ. $\frac{V}{T} = \frac{nR}{P}$ 이므로 $\frac{\text{부피}}{\text{온도}}$ 에 압력을 곱한 값은 기체의 양(mol)에 비례한다. 따라서 기체의 양(mol)은 $C(g)$ 가 $A(g)$ 의 2배이다.
 ㉕. 기체의 양(mol)은 $C(g)$ 가 $B(g)$ 의 2배이다. B와 C의 분자량을 각각 M_B , M_C 라고 하면 $\frac{8}{M_B} : \frac{22}{M_C} = 1 : 2$ 이므로 $M_B : M_C = 8 : 11$ 이다.

㉖. $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 부피를 각각 V_A L, V_B L라고 하면 밀도는 $A(g) > B(g)$ 이므로 $\frac{7}{V_A} > \frac{8}{V_B}$ 이고 $\frac{V_B}{V_A} > \frac{8}{7}$ 이다. $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 온도가 각각 T_A , T_B 이므로 $V_A = 2aT_A$, $V_B = aT_B$ 이고 $\frac{T_B}{T_A} > \frac{16}{7}$ 이다. 따라서 T_B 는 T_A 의 2배보다 크다.

09 기체 분자 운동론

㉗. 기체의 부피는 기체가 들어 있는 용기의 부피와 같으므로 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 부피는 V L로 같다.
 ㄱ. $A(g)$ 와 $B(g)$ 는 온도, 기체의 양, 부피가 같으므로 압력이 같다.
 ㄴ. $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 온도는 273 K로 같다. 따라서 분자의 평균 운동 에너지는 $A(g)$ 와 $B(g)$ 가 같다.

10 부분 압력 법칙

혼합 기체의 압력은 대기압과 같은 1 atm이므로 $A(g)$ x g의 부분 압력은 $\frac{4}{7}$ atm이고, $B(g)$ x g의 부분 압력은 $\frac{3}{4}$ atm이다. $PV = nRT$ 에서 $P = \frac{nRT}{V}$ 이므로 일정한 온도에서 기체의 압력은 $\frac{n}{V}$ 에 비례한다. $A(g)$ x g의 부피는 7 L, $B(g)$ x g의 부피는 8 L이므로 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 분자량을 각각 M_A , M_B 라고 하면 $\frac{4}{7} : \frac{3}{4} = \frac{\frac{x}{M_A}}{\frac{x}{M_B}} : \frac{\frac{x}{M_B}}{\frac{x}{M_A}}$ 이므로 $\frac{M_B}{M_A} = \frac{2}{3}$ 이다.

11 부분 압력 법칙

㉙. (가)에서 $A(g)$ 의 압력은 (나)에서 $A(g)$ 의 부분 압력과 같으므로 (나)에서 $B(g)$ 의 부분 압력은 $2P$ atm이다. 부분 압력은 물 분율에 비례하므로 A의 물 분율은 $\frac{3}{5}$ 이다.

㉚. 기체의 부피를 V L라고 하면 $A(g)$ 의 질량은 $0.06V$ g이고, $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 혼합 기체의 질량은 $0.14V$ g이다. 따라서 $B(g)$ 의 질량은 $0.08V$ g이므로 기체의 질량은 $B(g) > A(g)$ 이다.
 ㉛. $A(g)$ 의 양을 $3n$ mol이라고 하면 $B(g)$ 의 양은 $2n$ mol이다.

A의 분자량을 M_A , B의 분자량을 M_B 라고 하면 $\frac{0.06}{M_A} : \frac{0.08}{M_B} = 3 : 2$ 이므로 $\frac{M_B}{M_A} = 2$ 이다.

12 이상 기체 방정식

ㄱ. (나)에서 $A(g)$ 의 부분 압력($P_A(\text{나})$)은 $\frac{1}{5}$ atm이고 부피($V(\text{나})$)는 실린더와 용기의 부피를 합한 5 L이다.

$R \times 2T = 50 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}$ 이므로 $A(g)$ 의 양은 $\frac{P_A(\text{나}) \times V(\text{나})}{R \times 2T} = 0.02 \text{ mol}$ 이다.

㉜. (나)에서 $B(g)$ 의 부분 압력($P_B(\text{나})$)은 $\frac{4}{5}$ atm, 부피($V(\text{나})$)는 5 L이므로 $B(g)$ 의 양(n_B)은 $\frac{P_B(\text{나}) \times V(\text{나})}{R \times 2T} = 0.08 \text{ mol}$ 이다.

(가)에서 $B(g)$ 0.08 mol의 부피($V_B(\text{가})$)는 1 L, 온도는 T 이므로 (가)에서 $B(g)$ 의 압력은 $\frac{n_B RT}{V_B(\text{가})} = 2 \text{ atm}$ 이다.

ㄴ. 압력이 일정하므로 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다. 온도 T 에서 혼합 기체의 부피를 x L라고 하면 $\frac{5L}{2T} = \frac{xL}{T}$ 이고 $x = 2.5$ 이다. 용기의 부피가 1 L이므로 실린더 속 기체의 부피는 1.5 L이다.

3 점 수능 테스트

본문 16~21쪽

01 ② 02 ④ 03 ③ 04 ③ 05 ⑤ 06 ② 07 ④
 08 ② 09 ③ 10 ① 11 ⑤ 12 ①

01 기체의 성질

ㄱ. (가)와 (나)에서 혼합 기체의 부피와 질량이 같으므로 (가)와 (나)에서 혼합 기체의 밀도는 같다.

㉕. (가)에서 $H_2(g)$ 와 $He(g)$ 의 양은 각각 0.4 mol, 0.1 mol이고, (나)에서 $H_2(g)$ 와 $He(g)$ 의 양은 각각 0.2 mol, 0.2 mol이다. $T = \frac{PV}{nR}$ 이므로 $T_1 : T_2 = \frac{2.5}{0.5} : \frac{1}{0.4} = 2 : 1$ 이다. 따라서 $H_2(g)$ 분자의 평균 운동 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

✕. (가)에서 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력은 $2.5 \text{ atm} \times \frac{1}{5} = 0.5 \text{ atm}$ 이고 (나)에서 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력은 $1 \text{ atm} \times \frac{1}{2} = 0.5 \text{ atm}$ 이다.

02 이상 기체 방정식

C의 분자량을 M 이라고 하면, A와 B의 분자량은 각각 $2M$, $8M$ 이다. A(g)의 질량을 $w \text{ g}$ 이라고 하면, $T \text{ K}$ 에서 A(g)~C(g)의 부피가 각각 $2V \text{ L}$, $V \text{ L}$, $\frac{1}{2}V \text{ L}$ 이므로

$$P_A = \frac{\frac{w}{2M}RT}{2V} = \frac{wRT}{4MV}, P_B = \frac{\frac{w}{8M}RT}{V} = \frac{wRT}{8MV}$$

$$P_C = \frac{\frac{w}{M}RT}{\frac{1}{2}V} = \frac{2wRT}{MV} \text{이다.}$$

따라서 $\frac{\text{A(g)의 압력} + \text{B(g)의 압력}}{\text{C(g)의 압력}} = \frac{3}{16}$ 이다.

03 이상 기체 방정식

㉠. $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 (가)와 (다)의 양은 모두 $\frac{2PV}{RT}$ mol이다.

㉡. 기체의 양(mol)은 (나)가 $\frac{PV}{4RT}$ 이고 (다)가 $\frac{2PV}{RT}$ 이므로 (나)와 (다)의 몰비는 1 : 8이다. (나)와 (다)의 분자량을 각각 $M_{(나)}$,

$$M_{(다)} \text{라고 하면 } 1 : 8 = \frac{\frac{w}{4}}{M_{(나)}} : \frac{4w}{M_{(다)}} \text{이므로, } M_{(나)} : M_{(다)} = 1 : 2$$

이다. 분자량은 $Y > X$ 이므로 (다)는 $Y(g)$ 이다.

✕. (가)의 분자량을 $M_{(가)}$ 라고 하면 (가)와 (나)의 몰비는 8 : 1이

$$\text{므로 } 8 : 1 = \frac{2w}{M_{(가)}} : \frac{\frac{w}{4}}{M_{(나)}} \text{이고, } M_{(가)} = M_{(나)} \text{이다. 따라서 (가)와}$$

(나)는 모두 $X(g)$ 이다. 단위 부피에 들어 있는 입자 수가 많을수록 분자 간 평균 거리는 짧으므로 분자 간 평균 거리는 (나)가 (가)보다 길다.

04 기체의 압력

$h_1 = 380 \text{ mm}$ 이므로 1 L의 용기에 들어 있는 A(g) 0.04 g의 압력은 0.5 atm이다. $h_2 = 380 \text{ mm}$ 이므로 꼭지 1을 열었을 때 A(g)의 압력은 0.5 atm 또는 1.5 atm이다. $w > 0$ 이므로 꼭지 1을 열었을 때, A(g)의 압력은 1.5 atm이다.

㉠. 온도가 일정하므로 기체의 압력과 부피의 곱은 기체의 양(mol)에 비례하고 혼합 전후 기체의 양(mol)은 일정하므로 1 L에 들어 있는 A(g) ($0.04 + w$) g의 압력을 $P_1 \text{ atm}$ 이라고 하면 $P_1 \times 1 + 0.5 \times 1 = 1.5 \times 2$ 이므로 $P_1 = 2.5$ 이다. 1 L에 들어

있는 A(g) 0.04 g의 압력이 0.5 atm이므로, 1 L에 들어 있는 A(g) 0.2 g의 압력이 2.5 atm이다. 따라서 $w = 0.16$ 이다.

㉡. A의 분자량을 M_A 라고 하면 A(g) 0.04 g 1 L의 압력이

$$0.5 \text{ atm이므로 } 0.5 = \frac{\frac{0.04}{M_A} \times 25}{1} \text{이다. 따라서 } M_A = 2 \text{이다.}$$

✕. $w = 0.16$ 이므로 He 2w g의 양은 0.08 mol이다. 따라서 1 L에 들어 있는 He(g) 0.08 mol의 압력 $P = \frac{0.08 \times 25}{1} = 2 \text{ atm}$ 이다. 꼭지 2를 열었을 때 He(g)의 압력을 $P_2 \text{ atm}$ 이라고 하면 $P_2 \times 2 = 1 \times 1 + 2 \times 1$, $P_2 = 1.5 \text{ atm}$ 이므로 $h_3 = x = 0$ 이다.

05 이상 기체 방정식

$PV = nRT$ 이므로 nT 값의 비는 $\text{He}(g) : \text{H}_2(g) : \text{CH}_4(g) = 4 : 3 : 2$ 이다. 기체 (가)~(다)의 양(mol)을 각각 $a \sim d$ 라고 하면 nT 값의 비는 (가) : (나) : (다) = $4a : 3b : 2c$ 이다. 기체의 질량이 4 g 또는 16 g이므로 He(g), $\text{H}_2(g)$ 의 양(mol)은 정수이고, $\text{CH}_4(g)$ 의 양은 1 mol 또는 $\frac{1}{4}$ mol이다. (가) 또는 (다)가 $\text{H}_2(g)$ 일 때 $\text{H}_2(g)$ 의 양은 8 mol이므로 nT 는 $32 \text{ mol} \cdot \text{K}$ 또는 $16 \text{ mol} \cdot \text{K}$ 로 3의 배수가 아니다. 또한 $\text{CH}_4(g)$ 의 양이 1 mol 또는 $\frac{1}{4}$ mol이므로 (가) 또는 (다)가 $\text{H}_2(g)$ 일 경우 He(g), $\text{H}_2(g)$, $\text{CH}_4(g)$ 의 nT 값의 비가 4 : 3 : 2일 수 없다. 따라서 (나)는 $\text{H}_2(g)$ 이다.

㉠. (다)가 CH_4 인 경우 $a = b = c$ 이어야 하므로 모순이다. 따라서 (다)는 He(g), (가)는 $\text{CH}_4(g)$ 이다.

㉡. (가)~(다)의 양은 각각 1 mol, 2 mol, 4 mol이므로 (다)의 양(mol)은 (가)와 (나)의 양(mol)의 합보다 크다.

㉢. $\text{H}_2(g)$ 와 He(g)의 온도가 각각 $3T \text{ K}$, $2T \text{ K}$ 이므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 $\text{H}_2(g)$ 가 He(g)보다 크다.

06 기체의 부분 압력

(나)에서 기체의 부분 압력이 A(g)가 B(g)의 2배이므로 기체의 양(mol)이 A(g)가 B(g)의 2배이다.

✕. 기체의 양(mol)이 A(g)가 B(g)의 2배이고, A(g)와 B(g)의 질량이 같으므로 분자량은 B가 A의 2배이다.

㉠. (가)에서 기체의 양(mol)이 A(g)가 B(g)의 2배이고, 기체의 온도와 부피가 같으므로 B(g)의 압력을 $P \text{ atm}$ 이라고 하면 A(g)의 압력은 $2P \text{ atm}$ 이다. (나)에서 기체의 온도를 $2T \text{ K}$ 로 올렸을 때 기체의 부피는 3 L가 되고 이는 온도를 일정하게 유지시키면서 (가)에서 꼭지를 열고 고정 장치를 제거했을 때와 동일한 상황이므로 $2P \times 1 + P \times 1 = 1 \times 3$ 이므로 $P = 1$ 이다. 따라서 (가)에서 A(g)의 압력은 2 atm이다.

ㄱ. (나)에서 기체의 온도를 $2T$ K로 올렸을 때 기체의 부피는 3 L가 된다. 강철 용기의 부피가 1 L이므로 실린더 속 기체의 부피는 2 L이다.

07 기체의 부분 압력

ㄱ. (나)에서 두 강철 용기에 들어 있는 기체의 밀도비가 1 : 2이므로 $\frac{x}{2} : \frac{y}{3} = d : 2d$ 에서 $y = 3x$ 이다. (가)에서 혼합 기체의 밀도를 m g/mL라고 하면 (가)에 들어 있는 기체의 질량은 $4x$ g이고 부피가 1 L이므로 $\frac{4x}{1} : \frac{x}{2} = m : d$ 이고 $m = 8d$ 이다.

㉠. (가)에서 혼합 기체의 압력은 5 atm이다. (가)에서 혼합 기체의 양(mol)은 $\frac{x}{2} + \frac{3x}{4} = \frac{5x}{4}$ 이므로 $5 \text{ atm} \times 1 \text{ L} = \frac{5x}{4} \text{ mol} \times RT$

이고, $RT = \frac{4}{x} \text{ atm} \cdot \text{L/mol}$ 이다. (나)에서 $\text{H}_2(g)$ 의 압력을

P_1 atm이라고 하면, $P_1 = \frac{\frac{x}{2} \times \frac{4}{x}}{2} = 1(\text{atm})$ 이다.

㉡. (가)에서 추 1개를 제거하였을 때 전체 기체의 압력은 3 atm이고 H_2 의 몰 분율은 $\frac{2}{5}$ 이므로 $\text{H}_2(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{6}{5}$ atm이다. (나)에서 꼭지를 열기 전 $\text{He}(g)$ 의 압력을 P_2 라고 하면

$P_2 = \frac{\frac{3x}{4} \times \frac{4}{x}}{3} = 1(\text{atm})$ 이다. (나)에서 꼭지를 열기 전 $\text{H}_2(g)$

의 압력도 1 atm이므로 꼭지를 열었을 때 혼합 기체의 압력은 1 atm이다.

08 기체 분자 운동론

ㄱ. 온도가 일정할 때 기체 분자의 평균 운동 에너지는 일정하다.

㉠. 온도가 일정하고 기체의 압력은 (나)가 (가)의 2배이므로 일정 시간 동안 단위 면적당 충돌하는 횟수는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄴ. 이상 기체 분자 사이에는 인력이나 반발력이 작용하지 않는다.

09 이상 기체 방정식

(다)에서 전체 기체의 압력은 1 atm이므로 (다)에서 전체 기체의 양(mol)을 n 이라고 하면 $1 \times 2 = n \times \frac{25}{2}$ 이고 $n = 0.16$ 이다.

㉠. (가)와 (나)에서 기체의 압력과 온도는 같고, 기체의 부피는 (나)가 (가)의 2배이므로 $\text{A}(g)$ 5w g의 양(mol)과 $\text{B}(g)$ w g의 양(mol)은 같다. 따라서 (나)에서 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 부분 압력은 같다.

㉡. $\text{A}(g)$ 5w g의 양(mol)과 $\text{B}(g)$ w g의 양(mol)은 같으므로 $\frac{\text{B의 분자량}}{\text{A의 분자량}} = \frac{1}{5}$ 이다.

ㄱ. (다)에서 전체 기체의 양이 0.16 mol이고 $\text{C}(g)$ 의 양이 0.08 mol이며 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 양(mol)이 같으므로 $\text{A}(g)$ 의 양은 0.04 mol이다. 따라서 추 1개에 해당하는 압력을 P atm이라고 하면 (가)에서 $(P+1) \times 0.5 = 0.04 \times 25$ 이고 $P = 1$ 이다. 따라서 추 1개에 해당하는 압력은 1 atm이다.

10 화학 반응과 아보가드로 법칙

(가)에 $\text{B}(g)$ 3 mol을 넣었을 때 $\text{B}(g)$ 가 한계 반응물일 경우, (가)에 $\text{B}(g)$ 1 mol을 넣었을 때 역시 $\text{B}(g)$ 가 한계 반응물이다. (가)에서 기체의 양을 $4n$ mol이라고 하면 (가)에서 각각 (나), (다)로 갈 때 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|---|----|----|
| (가) → (나) | $a\text{A}(g) + \text{B}(g) \longrightarrow 2\text{C}(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | $4n$ | 1 | 0 |
| 반응(mol) | $-a$ | -1 | +2 |
| 반응 후(mol) | $4n-a$ | 0 | 2 |

| | | | |
|-----------|---|----|----|
| (가) → (다) | $a\text{A}(g) + \text{B}(g) \longrightarrow 2\text{C}(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | $4n$ | 3 | 0 |
| 반응(mol) | $-3a$ | -3 | +6 |
| 반응 후(mol) | $4n-3a$ | 0 | 6 |

(가)~(다)의 부피비가 (가) : (나) : (다) = $4n : 4n-a+2 : 4n-3a+6 = 4 : 4 : 5$ 이다. (가)와 (나)의 부피가 같으므로 $a=2$ 인데, 이때 (다)의 부피도 (가), (나)와 같아지므로 모순이다. 따라서 (다)에서 $\text{A}(g)$ 가 모두 소모되었다.

(가)에 $\text{B}(g)$ 1 mol을 넣었을 때와 $\text{B}(g)$ 3 mol을 넣었을 때 모두 $\text{A}(g)$ 가 한계 반응물이라면 (다)는 (나)에 $\text{B}(g)$ 2 mol을 넣은 경우와 같고, 이때 기체 1 mol의 부피는 $\frac{V}{2}$ L가 된다. 따라서 (가)에 들어 있는 $\text{A}(g)$ 의 양은 8 mol이고, (가)에서 (나)로 갈 때의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|---|-----------------|-----------------|
| | $a\text{A}(g) + \text{B}(g) \longrightarrow 2\text{C}(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | 8 | 1 | 0 |
| 반응(mol) | -8 | $-\frac{8}{a}$ | $+\frac{16}{a}$ |
| 반응 후(mol) | 0 | $1-\frac{8}{a}$ | $\frac{16}{a}$ |

(나)에서 전체 기체의 양(mol)은 $1 + \frac{8}{a} = 8$ 이고 $a = \frac{8}{7}$ 이다. 이 때 반응 후 $\text{B}(g)$ 의 양(mol)이 음수가 되므로 모순이다. 따라서 (가)에 $\text{B}(g)$ 1 mol을 넣었을 때는 $\text{B}(g)$ 가 모두 소모되었고,

(가)에 B(g) 3 mol을 넣었을 때는 A(g)가 모두 소모되었다.
(가)에서 (나)로 갈 때 기체의 부피가 일정하므로 $a=2$ 이다. (가)에서 기체의 양을 $4n$ mol이라고 하면 (가)에서 (다)로 갈 때 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|--------|-------|
| | $2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | $4n$ | 3 | 0 |
| 반응(mol) | $-4n$ | $-2n$ | $+4n$ |
| 반응 후(mol) | 0 | $3-2n$ | $4n$ |

(가)와 (다)의 부피비가 4 : 5이므로 $4n : 4V = 3+2n : 5V$ 에서 $n=1$ 이다. 따라서 (가)에 들어 있는 A(g)의 양은 4 mol이다. A의 분자량을 M_A , B의 분자량을 M_B 라고 하면 (가)와 (나)의 밀도비가 1 : 5이므로 $4 \times M_A : 4 \times M_A + M_B = 1 : 5$ 이고 $\frac{M_B}{M_A} = 16$ 이다. 따라서 $a \times \frac{B \text{의 분자량}}{A \text{의 분자량}} = 32$ 이다.

11 기체의 성질

일정한 온도에서 기체의 압력과 부피의 곱은 기체의 양(mol)에 비례하므로, A(g)의 양을 x mol, B(g)의 양을 y mol이라고 하면 He(g)의 양은 $2x$ mol이다. 분리막을 제거하여 반응을 완결시켰을 때 B(g)가 모두 소모되었다고 가정하면 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|------|-------|
| | $aA(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | x | y | 0 |
| 반응(mol) | $-ay$ | $-y$ | $+2y$ |
| 반응 후(mol) | $x-ay$ | 0 | $2y$ |

온도가 일정할 때 기체의 압력은 $\frac{n}{V}$ 에 비례한다. (나)에서 He(g)

과 혼합 기체의 압력이 같으므로 $\frac{2x}{8} = \frac{x-ay+2y}{12} \dots \textcircled{7}$ 이다.

C의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$ 이므로 $\frac{1}{3} = \frac{2y}{x-ay+2y}$ 이고 $6y = x-ay+2y \dots \textcircled{8}$ 이다. $\textcircled{8}$ 을 $\textcircled{7}$ 에 대입하면 $x=2y$ 가 나오고, 이를 다시 $\textcircled{8}$ 에 대입하면 $a=-2$ 가 나오므로 모순이다. 따라서 분리막을 제거하여 반응을 완결시켰을 때 A(g)가 모두 반응하고 이때 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
| | $aA(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | x | y | 0 |
| 반응(mol) | $-x$ | $-\frac{x}{a}$ | $+\frac{2x}{a}$ |
| 반응 후(mol) | 0 | $y-\frac{x}{a}$ | $\frac{2x}{a}$ |

He(g)과 혼합 기체의 압력이 같으므로 $\frac{2x}{8} = \frac{y+\frac{x}{a}}{12} \dots \textcircled{9}$ 이다.

C의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$ 이므로 $\frac{\frac{2x}{a}}{y+\frac{x}{a}} = \frac{1}{3}$ 이고 $y = \frac{5x}{a} \dots \textcircled{10}$ 이다.

$\textcircled{9}$ 을 $\textcircled{10}$ 에 대입하면 $a=2$ 이고, $y=2.5x$ 이다. A의 분자량을 M_A , B의 분자량을 M_B 라고 하면 $\frac{3}{M_A} : \frac{8}{M_B} = 1 : 2.5$ 이므로 $\frac{M_A}{M_B} = \frac{15}{16}$ 이다. 따라서 $a \times \frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{15}{8}$ 이다.

12 기체의 화학 반응과 기체의 성질

(가)에서 A(g)의 압력이 C(g)의 압력보다 크고, 수은 기둥 $h_1=152$ mm에 해당하는 압력이 0.2 atm이므로, C(g)의 압력은 0.8 atm이다. 따라서 (나)에서 반응이 완결되었을 때 혼합 기체의 압력은 0.8 atm이다. (가)에서 A(g)의 양을 n mol이라고 하고, (나)에서 A(g)가 모두 반응한다고 가정하였을 때 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|---------|-------|
| | $A(g) + bB(g) \longrightarrow 2D(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | n | $3n$ | 0 |
| 반응(mol) | $-n$ | $-bn$ | $+2n$ |
| 반응 후(mol) | 0 | $3n-bn$ | $2n$ |

$5n-bn=1.6n$ 이므로 $b=3.4$ 인데, 이때 B(g)가 먼저 소모되므로 모순이다. 따라서 (나)에서 B(g)가 모두 반응하고 이때 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|-------|-----------------|
| | $A(g) + bB(g) \longrightarrow 2D(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | n | $3n$ | 0 |
| 반응(mol) | $-\frac{3n}{b}$ | $-3n$ | $+\frac{6n}{b}$ |
| 반응 후(mol) | $n-\frac{3n}{b}$ | 0 | $\frac{6n}{b}$ |

$n+\frac{3n}{b}=1.6n$ 이므로 $b=5$ 이다.

수은 기둥 $h_3=304$ mm에 해당하는 압력은 0.4 atm이므로 (다)에서 반응이 일어난 후 혼합 기체의 압력은 0.4 atm 또는 1.2 atm이다. A(g)와 C(g)를 반응시켰을 때 반응 전과 후 기체의 양(mol)의 변화가 없으므로 혼합 기체의 압력은 $\frac{0.8 \times x + 2 \times 1}{x+1}$ atm이다. 이 값이 0.4 atm일 때 x 는 음수이므로

모순이다. 따라서 $\frac{0.8 \times x + 2 \times 1}{x+1} = 1.2$ 이고, $x=2$ 이므로

$\frac{x}{b}=0.4$ 이다.

02 액체와 고체

2 수능 테스트

본문 35~37쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ⑤ 05 ③ 06 ① 07 ⑤
08 ① 09 ③ 10 ③ 11 ③ 12 ⑤

01 금속의 결정 구조

자료에 제시된 결정 구조 모형은 면심 입방 구조이다. 면심 입방 구조는 정육면체의 8개의 꼭짓점과 6개의 면의 중심에 입자가 배열된 구조이다. 꼭짓점에 배열된 원자는 1개당 $\frac{1}{8}$ 개, 면의 중심에 배열된 원자는 1개당 $\frac{1}{2}$ 개가 단위 세포에 포함되어 있으므로 단위 세포에 포함된 원자 수 $x = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ 이고, 면심 입방 구조에서 한 원자에 가장 인접한 원자 수는 12이므로 $y = 12$ 이다. 따라서 $\frac{y}{x} = 3$ 이다.

02 결정 구조

금속 결정은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 전기적 인력에 의한 금속 결합으로 이루어진 결정이고 분자 결정은 대체로 비금속 원자들의 공유 결합으로 형성된 분자들이 분자 사이에 작용하는 힘에 의해 규칙적으로 배열되어 이루어진 결정이며, 공유 결정(원자 결정)은 구성 원자들이 모두 공유 결합에 의해 배열되어 이루어진다. Na(s)은 금속 결정이고, CO₂(s)는 분자 결정, C(s, 흑연)은 공유 결정(원자 결정)이다.

✕. Na(s)의 결정 구조는 체심 입방 구조이다.

○. CO₂(s)는 분자 결정이다.

○. 금속 결정인 Na(s)은 전기 전도성이 있고, 대부분의 공유 결정(원자 결정)은 고체 상태에서 전기 전도성이 없지만, C(s, 흑연)은 전기 전도성이 있다.

03 H₂O 분자 사이의 결합

(가)는 공유 결합이고, (나)는 수소 결합이다.

○. 공유 결합은 분자 내 O 원자와 H 원자 사이의 결합이고, 수소 결합은 분자 사이에 작용하는 강한 인력이다. 따라서 (가)는 공유 결합이다.

✕. 수소 결합은 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자에 결합된 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 존재하므로 CH₄(l) 분자 사이에는 수소 결합이 존재하지 않는다.

○. 다른 물질에 비해 물의 표면 장력이 큰 주된 이유는 수소 결합 때문이다.

04 결정 구조

금속 결정은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 전기적 인력에 의한 금속 결합으로 이루어진 결정이고 이온 결정은 양이온과 음이온의 전기적 인력으로 결합되어 있으며, 분자 결정은 대체로 비금속 원자들의 공유 결합으로 형성된 분자들이 분자 사이에 작용하는 힘에 의해 규칙적으로 배열되어 이루어진 결정이다.

○. I₂(s)은 분자 결정이므로 X는 I₂(s)이다.

○. Ag(s)은 금속 결정이고 Y는 NaCl(s)으로 이온 결정이므로 '금속 양이온과 자유 전자로 이루어져 있는가?'는 ①으로 적절하다.

○. 이온 결정인 Y의 수용액에는 Na⁺(aq)과 Cl⁻(aq)이 존재하므로 전기 전도성이 있다.

05 온도에 따른 H₂O의 부피

H₂O 분자 사이의 수소 결합 때문에 물은 얼음이 될 때 입체 육각 구조의 빈 공간이 있는 결정을 형성한다. 따라서 고체인 얼음의 부피가 액체인 물의 부피보다 크다.

✕. 질량이 1g으로 같으므로 H₂O 분자 수는 (가)에서와 (나)에서 같다.

✕. 1g의 부피가 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 밀도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

○. 분자당 수소 결합의 평균 개수는 고체인 얼음이 액체인 물보다 크다. 따라서 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

06 H₂O의 수소 결합과 공유 결합

(가)는 고체 상태인 얼음의 결합 모형이고 (나)는 액체 상태인 물의 결합 모형이다. A는 H₂O 분자 내에서 O 원자와 H 원자 사이의 결합인 공유 결합이고, B는 H₂O 분자 사이에 작용하는 수소 결합이다. 수소 결합은 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자와 H 원자가 공유 결합할 때 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 인력이다.

○. B는 분자 사이에 작용하는 강한 인력인 수소 결합이다.

✕. 얼음이 융해될 때는 분자 사이의 결합인 수소 결합이 끊어진다.

✕. 분자당 수소 결합의 평균 개수는 얼음이 물보다 크므로 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

07 분자 사이의 힘

분자 사이의 힘이 클수록 기준 끓는점이 높다. 분자 사이에 작용하는 힘은 모든 분자 사이에 작용하는 분산력, 극성 분자 사이에

작용하는 쌍극자·쌍극자 힘, 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자에 결합된 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 수소 결합이 있다.

㉠ 무극성 분자인 CH_4 과 SiH_4 에는 모두 분자 사이에 분산력만 작용한다. 분산력은 분자량에 비례하므로 분자량이 큰 SiH_4 의 분산력이 분자량이 작은 CH_4 의 분산력보다 크다. 따라서 $x > -161$ 이다.

㉡ $\text{HF}(l)$ 는 H 원자와 전기 음성도 차이가 큰 F 원자에 H 원자가 공유 결합하고 있으므로 수소 결합이 존재한다.

㉢ $\text{HCl}(l)$ 은 극성 분자이므로 분자 사이에 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 모두 존재한다.

08 분자 사이의 힘

$Z(l)$ 분자 사이에 수소 결합이 존재하므로 Z는 HF 이다. CH_4 과 F_2 분자는 모두 무극성 분자이므로 분산력만 작용하고, 기준 끓는점은 분자량이 큰 F_2 이 CH_4 보다 높다. 따라서 X는 F_2 이고, Y는 CH_4 이다.

㉠ Z는 HF 이다.

㉡ X(F_2)와 Y(CH_4)의 분자량은 각각 38, 16이므로 분자량은 $X > Y$ 이다.

㉢ 분산력은 모든 분자 사이에 존재하므로 X(l)~Z(l) 모두 분산력이 존재한다.

09 증기 압력

온도가 일정할 때 액체 표면에서 일어나는 증발 속도는 일정하고, 증발된 기체 분자가 다시 응축되는 것은 단위 부피당 기체 분자 수가 많을수록 잘 일어나므로 밀폐 용기에서 응축 속도는 시간이 지날수록 증가하여 동적 평형 상태에 도달하면 증기의 양이 일정하게 유지된다. 이때 증기가 나타내는 압력을 증기 압력이라고 한다. 따라서 ㉠은 증발, ㉡은 응축, ㉢은 증기 압력이다.

10 증기 압력 곡선

액체의 온도가 높아지면 분자의 평균 운동 에너지가 증가하면서 액체 표면에 위치한 분자들의 증발 속도가 증가하게 된다. 따라서 증발된 증기의 양이 많아지고 증기의 온도는 높아져 증기 압력도 증가한다. 분자 사이의 힘이 클수록 증기 압력이 외부 압력과 같아지는 데 필요한 열에너지가 커지므로 끓는점이 높아진다.

㉠ 760 mmHg일 때 끓는점이 $Z(l)$ 가 $Y(l)$ 보다 높으므로 분자 사이의 힘은 $Z(l)$ 가 $Y(l)$ 보다 크다.

㉡ 760 mmHg일 때 $Z(l)$ 의 끓는점이 $t_2^\circ\text{C}$ 보다 높은 $t_3^\circ\text{C}$ 이므로 $t_2^\circ\text{C}$, 760 mmHg에서 Z의 안정한 상은 액체이다.

㉢ 외부 압력이 낮아지면 증기 압력과 외부 압력이 같아지게 하는데 필요한 열에너지가 줄어들고 끓는점이 낮아진다. 따라서 외

부 압력이 740 mmHg일 때 X(l)의 끓는점은 $t_1^\circ\text{C}$ 보다 낮다.

11 액체의 기준 끓는점

$t_1^\circ\text{C}$, 1 atm에서 X와 Y의 안정한 상이 각각 기체, 액체이므로 1 atm에서 X(l)의 기준 끓는점은 $t_1^\circ\text{C}$ 보다 낮고, Y(l)의 기준 끓는점은 $t_1^\circ\text{C}$ 보다 높다.

㉡ $t_1^\circ\text{C}$, 1 atm에서 Y의 안정한 상이 액체이고, Y(l)의 기준 끓는점은 $t_2^\circ\text{C}$ 이므로 $t_2 > t_1$ 이다.

㉢ 기준 끓는점은 Y(l)가 X(l)보다 높으므로 $t_2 > t_1$ 이다.

㉣ X(l)의 기준 끓는점은 $t_2^\circ\text{C}$ 보다 낮으므로 $t_2^\circ\text{C}$, 1 atm에서 X의 안정한 상은 기체이다.

12 증기 압력

$t^\circ\text{C}$ 에서 외부 압력과 X(l)의 증기 압력의 차는 h_1 mmHg이다.

㉠ 평형에 도달했으므로 X(l)의 증발 속도와 X(g)의 응축 속도는 같다.

㉡ $t^\circ\text{C}$ 에서 외부 압력(=760 mmHg)이 X(l)의 증기 압력보다 h_1 mmHg 크므로 X(l)의 증기 압력은 $(760 - h_1)$ mmHg이다.

㉢ 진공인 J자관에 들어 있는 수은과 X(l)의 높이 차가 h_2 mm이므로 X(l)의 증기 압력은 h_2 mmHg = $(760 - h_1)$ mmHg이며, $h_1 + h_2 = 760$ 이다.

3월 수능 테스트

본문 38~43쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ② 04 ⑤ 05 ④ 06 ③ 07 ⑤
08 ⑤ 09 ⑤ 10 ③ 11 ③ 12 ③

01 금속 결정

결정 구조의 단위 세포에서 한 원자에 가장 인접한 원자 수는 체심 입방 구조와 면심 입방 구조가 각각 8, 12이다.

㉠ B의 결정 구조에서 한 원자에 가장 인접한 원자 수 = $\frac{2}{3}$ 이므로 A와 B의 결정 구조는 각각 면심 입방 구조와 체심 입방 구조이다.

㉡ 체심 입방 구조는 정육면체의 중심과 8개의 꼭짓점에 입자가 배열된 구조이다. 정육면체의 중심에 배열된 입자는 1개, 꼭짓점에 배열된 입자는 1개당 $\frac{1}{8}$ 개가 단위 세포에 포함되어 있으므로

B의 단위 세포에 들어 있는 원자 수는 $1 + 8 \times \frac{1}{8} = 2$ 이다.

㉠ 단위 세포에 들어 있는 원자 수는 A와 B가 각각 4, 2이고, 원자량이 A와 B가 각각 a , b 이므로

$$\frac{\text{B의 단위 세포에 포함된 원자의 질량}}{\text{A의 단위 세포에 포함된 원자의 질량}} = \frac{2b}{4a} = \frac{b}{2a} \text{이다.}$$

02 이온 결정

$\text{NaCl}(s)$ 의 결정 구조에서는 1개의 Na^+ 주위에 전후상하좌우로 6개의 Cl^- 이 배치되어 있고, $\text{CsCl}(s)$ 의 결정 구조에서는 1개의 Cs^+ 이 정육면체의 중심에 있다고 할 때, 8개의 Cl^- 이 정육면체의 각 꼭짓점에 배치되어 있다. 따라서 (가)는 $\text{CsCl}(s)$ 이고, (나)는 $\text{NaCl}(s)$ 이다.

✕. (가)는 $\text{CsCl}(s)$ 이다.

㉡ $\text{NaCl}(s)$ 결정 구조에서 양이온에 가장 인접한 Cl^- 의 수는 6이므로 $x=6$ 이다.

㉢ (나)의 결정 구조에서 Cl^- 은 정육면체의 8개의 꼭짓점과 6개의 면의 중심에 배열되어 있으므로 면심 입방 구조이다.

03 결정 구조의 단위 세포

2가지 결정 구조의 단위 세포 모형에서 면 A와 단면에 존재하는 스타이로폼은 표와 같다.

| 결정 구조 | 체심 입방 구조 | 면심 입방 구조 |
|-------|----------|----------|
| 면 A | | |
| 단면 | | |

각 면의 꼭짓점과 모서리에 위치하는 스타이로폼의 면적은 각각 스타이로폼 공 면적의 $\frac{1}{4}$ 과 $\frac{1}{2}$ 이므로 각 면에 존재하는 스타이로폼의 면적(상댓값)은 표와 같다.

| 결정 구조 | 체심 입방 구조 | 면심 입방 구조 |
|-------|----------|----------|
| 면 A | 1 | 2 |
| 단면 | 1 | 2 |

✕. X는 체심 입방 구조이다.

㉡ $x=1$, $y=2$ 이므로 $\frac{x}{y}=\frac{1}{2}$ 이다.

✕. 한 원자에 가장 인접한 원자 수는 체심 입방 구조와 면심 입방 구조가 각각 8, 12이므로

$$\frac{\text{Y의 결정 구조에서 한 원자에 가장 인접한 원자 수}}{\text{X의 결정 구조에서 한 원자에 가장 인접한 원자 수}} = \frac{3}{2} \text{이다.}$$

04 증기 압력

일정한 온도에서 닫힌 용기 내 액체 표면에서의 증발 속도와 응축 속도가 같아져 동적 평형 상태에 도달했을 때 증기가 나타내는 압력을 증기 압력이라 한다.

㉡ 기준 끓는점은 액체의 증기 압력이 1 atm과 같을 때의 온도이다. $t_3^\circ\text{C}$ 에서 $\text{X}(l)$ 의 증기 압력은 1 atm보다 작은 0.43 atm이므로 $\text{X}(l)$ 의 기준 끓는점은 $t_3^\circ\text{C}$ 보다 높다.

㉢ 액체의 온도가 높아지면 증기 압력이 커지므로 $\text{X}(l)$ 의 증기 압력은 $t_3^\circ\text{C}$ 에서 $t_2^\circ\text{C}$ 에서보다 크고, $t_2^\circ\text{C}$ 에서 $\text{Y}(l)$ 의 증기 압력이 $t_3^\circ\text{C}$ 에서 $\text{X}(l)$ 의 증기 압력보다 크므로 $t_2^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 $\text{Y}(l)$ 가 $\text{X}(l)$ 보다 크다.

㉣ 끓는점은 증기 압력이 외부 압력과 같을 때의 온도이다. $\text{X}(l)$ 은 $t_3^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력이 0.45 atm보다 작고, $\text{Y}(l)$ 은 $t_2^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력이 0.45 atm보다 크다. 따라서 외부 압력이 0.45 atm 일 때, $\text{X}(l)$ 의 끓는점은 $t_3^\circ\text{C}$ 보다 높고 $\text{Y}(l)$ 의 끓는점은 $t_2^\circ\text{C}$ 보다 낮으므로 끓는점은 $\text{X}(l)$ 이 $\text{Y}(l)$ 보다 높다.

05 분자 사이의 힘

수소 결합은 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자와 결합된 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 존재하므로 X~Z 중 액체 상태에서 분자 사이에 수소 결합이 존재하는 것은 Z이다. 따라서 (나)는 Z이다. (가)와 (다)는 각각 X와 Y 중 하나이고, X와 Y는 모두 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력만 작용한다. 분자량이 클수록 분산력이 크므로 (가)는 Y, (다)는 X이다.

06 분자 사이의 힘

분자식이 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ 인 2가지 물질 X와 Y 중 Y의 기준 끓는점이 X보다 높은 이유는 Y에 O 원자와 결합한 H 원자가 존재하여 액체 상태에서 Y 분자 사이에 수소 결합이 존재하기 때문이다.

㉡ 학생 A의 결론이 타당하므로 ‘수소 결합’은 ㉡으로 적절하다.

㉢ X의 기준 끓는점이 -24.8°C 이므로 30°C , 1 atm에서 X의 안정한 상은 기체이다.

✕. X와 Y의 기준 끓는점이 각각 -24.8°C , 78.2°C 이므로 -24.8°C 에서 X의 증기 압력은 1 atm과 같고, Y의 증기 압력은 1 atm보다 작다. 따라서 -24.8°C 에서 증기 압력은 $\text{X}(l)$ 이 $\text{Y}(l)$ 보다 크다.

07 물의 표면 장력

표면 장력은 액체의 표면적을 단위 면적만큼 증가시키는 데 필요한 에너지로 정의되며, 표면 장력이 클수록 액체가 표면적을 최소화하려는 경향이 크다. 표면 장력이 생기는 이유는 액체 표면의 분자가 내부로만 힘을 받기 때문이며, 분자 사이의 힘이 큰 액체일수록 대체로 표면 장력이 크다. 물은 분자 사이에 수소 결합을 하기 때문에 다른 물질에 비해 분자 사이의 힘이 크므로 표면 장력이 크다.

- ㉠. 물이 가득 담긴 컵에 동전을 넣어도 물이 넘치지 않는 주된 이유는 물의 표면 장력 때문이다.
- ㉡. (가)와 (나)의 결과를 토대로 표면 장력은 물이 비눗물보다 크므로 액체 방울의 모양은 물이 비눗물보다 더 구형에 가깝다.
- ㉢. 표면 장력이 클수록 액체가 표면적을 최소화하려는 경향이 크므로 표면 장력은 물이 비눗물보다 크다.

08 분자 사이의 힘

CH_4 , H_2O , SiH_4 의 분자량은 각각 16, 18, 32이고, H_2O 는 분자 사이에 수소 결합이 있으므로 기준 끓는점이 CH_4 과 SiH_4 보다 높다. 따라서 Y는 H_2O 이고, X는 CH_4 , Z는 SiH_4 이다.

✕. X(CH_4)와 Z(SiH_4)는 모두 무극성 분자로 분자 사이에 분산력만 작용하고 분산력은 분자량에 비례한다. 따라서 Z(SiH_4)가 X(CH_4)보다 기준 끓는점이 높은 주된 이유는 분산력 때문이다.

- ㉠. Y는 H_2O 이므로 Y(l) 분자 사이에 수소 결합이 존재한다.
- ㉢. H_2S 는 극성 분자이고, 분자량이 34이므로 무극성 분자이면서 분자량이 32로 작은 Z(SiH_4)보다 기준 끓는점이 높다.

09 액체의 증기 압력

$t_1 < t_2 < t_3$ 이므로 $t_2^\circ\text{C}$, 1 atm에서 (가)는 기체 상태, (나)는 액체 상태이다.

- ㉠. $t_2^\circ\text{C}$ 에서 X(l)의 증기 압력은 1 atm보다 크므로 X(l)의 기준 끓는점은 $t_2^\circ\text{C}$ 보다 낮다. $t_1 < t_2 < t_3$ 이므로 (가)는 X(l)이고, (나)는 Y(l)이다.
- ㉡. 기준 끓는점이 Y(l)가 X(l)보다 높으므로 액체 분자 사이의 인력은 Y(l)가 X(l)보다 크다.
- ㉢. 1 atm에서 Y(l)의 기준 끓는점이 $t_2^\circ\text{C}$ 보다 높으므로 $t_2^\circ\text{C}$, 1 atm에서 Y의 안정한 상은 액체이다. $t_2^\circ\text{C}$, P atm에서 Y의 안정한 상이 기체이므로 $P < 1$ 이다.

10 액체의 증기 압력

액체의 끓는점은 액체의 증기 압력과 외부 압력이 같아지는 온도이다.

㉠. 기준 끓는점은 외부 압력이 1 atm일 때 액체의 끓는점이므로 X(l)의 기준 끓는점은 $t_1^\circ\text{C}$ 이다.

㉡. 외부 압력이 높아지면 액체의 끓는점이 높아진다. 따라서 $t_2 > t_1$ 이므로 $P > 1$ 이다.

✕. 외부 압력이 P atm일 때 X(l)의 끓는점이 $t_2^\circ\text{C}$ 이므로, $t_2^\circ\text{C}$ 보다 낮은 온도인 $\left(\frac{t_1+t_2}{2}\right)^\circ\text{C}$ 이고 외부 압력이 P atm일 때 X의 안정한 상은 액체이다.

11 액체의 증기 압력

X(l)의 증기 압력이 외부 압력인 760 mmHg보다 h_1 mmHg만큼 작으므로 X(l)의 증기 압력은 $(760 - h_1)$ mmHg이다. Y(l)의 증기 압력이 X(l)의 증기 압력보다 h_2 mmHg만큼 크므로 Y(l)의 증기 압력은 $(760 - h_1 + h_2)$ mmHg이고, 이는 h_3 mmHg와 같다.

㉠. X(l)의 증기 압력은 $(760 - h_1)$ mmHg이다.

㉡. $h_3 = 760 - h_1 + h_2$ 이므로 $h_2 = h_1 + h_3 - 760$ 이다.

✕. 외부 압력이 750 mmHg으로 낮아져도 온도는 $t^\circ\text{C}$ 로 동일하므로 Y(l)의 증기 압력은 h_3 mmHg이다.

12 액체의 증기 압력

I과 II에 X(l)와 Y(l)를 각각 넣고 평형에 도달했을 때, 수은 기둥은 Y(l)가 들어 있는 용기 쪽(II)이 높아지므로 증기 압력은 X(l)가 Y(l)보다 크고, 높이 차이가 a mmHg이므로 Y(l)의 증기 압력은 X(l)의 증기 압력인 380 mmHg보다 a mmHg만큼 작다. 따라서 $t^\circ\text{C}$ 에서 Y(l)의 증기 압력은 $(380 - a)$ mmHg이다. I과 II에 X(l)와 Z(l)를 각각 넣고 평형에 도달했을 때, 수은 기둥은 X(l)가 들어 있는 용기 쪽(I)이 높아지므로 $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 Z(l) > X(l) > Y(l)이다.

㉠. 증기 압력이 Z(l)가 Y(l)보다 크므로 ㉠은 증기 압력이 작은 Y(l)가 들어 있는 I이다.

✕. $t^\circ\text{C}$ 에서 Z(l)의 증기 압력은 Y(l)의 증기 압력인 $(380 - a)$ mmHg보다 b mmHg만큼 크므로 Z(l)의 증기 압력은 $(380 - a + b)$ mmHg이다.

㉢. 외부 압력이 380 mmHg일 때 X(l)~Z(l) 중 증기 압력이 가장 작은 Y(l)의 끓는점이 가장 높다.

03 용액

2 점 수능 테스트

본문 55~58쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ② 05 ② 06 ⑤ 07 ②
08 ⑤ 09 ③ 10 ⑤ 11 ⑤ 12 ③ 13 ③ 14 ①
15 ② 16 ②

01 용액의 농도

몰 농도를 구하기 위해서는 용질의 양(mol)과 용액의 부피를 알아야 하고, 몰랄 농도를 구하기 위해서는 용질의 양(mol)과 용매의 질량을 알아야 한다.

✕. 10% A(aq) 120 g에 들어 있는 A의 질량은 12 g이다. 따라서 $x=12$ 이다.

㉠. 퍼센트 농도와 A(aq)의 질량을 알면 A(aq)에 들어 있는 용질의 질량을 알 수 있고, 용질의 양(mol)을 알기 위해서는 용질의 분자량을 이용해야 한다. 몰 농도와 몰랄 농도는 모두 용질의 양(mol)을 알아야 되기 때문에 공통적으로 이용해야 되는 자료인 'A의 분자량'은 ㉠으로 적절하다.

㉡. 몰 농도를 구하기 위해서는 용질의 양(mol)과 용액의 부피를 알아야 한다. 용액의 질량을 알고 있으므로 용액의 부피를 알기 위해서는 용액의 밀도를 이용해야 한다. 따라서 '수용액의 밀도'는 ㉡으로 적절하다.

02 몰랄 농도와 몰 농도

10% A(aq) 120 g에 들어 있는 A의 질량은 12 g이므로 A의 양은 $\frac{12}{a}$ mol이고, 들어 있는 물의 질량은 108 g이다. A(aq)의

밀도가 d g/mL이므로 A(aq) 120 g의 부피는 $\frac{0.12}{d}$ L이다.

따라서 몰랄 농도는 $\frac{\frac{12}{a} \text{ mol}}{0.108 \text{ kg}} = \frac{1000}{9a} \text{ m}$ 이고,

몰 농도는 $\frac{\frac{12}{a} \text{ mol}}{\frac{0.12}{d} \text{ L}} = \frac{100d}{a} \text{ M}$ 이다.

03 몰 농도와 퍼센트 농도

음료 100 mL에 들어 있는 바이타민 C의 양은 $\frac{0.5}{a}$ mol이므로

몰 농도는 $\frac{\frac{0.5}{a} \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = \frac{5}{a} \text{ M}$ 이다. 음료의 밀도가 d g/mL이므로

로 음료 100 mL의 질량은 $100d$ g이고, 음료 100 g에 들어 있는 바이타민 C의 질량이 500 mg이므로

퍼센트 농도는 $\frac{0.5 \text{ g}}{100d \text{ g}} \times 100 = \frac{0.5}{d} \%$ 이다.

04 용액의 농도

1 m A(aq)은 용매 1 kg에 A 1 mol이 들어 있으므로 1 m A(aq) 104 g에는 물 100 g과 A 4 g(=0.1 mol)이 들어 있다. A(aq) 104 g에 들어 있는 용질의 질량이 4 g이므로 퍼센트 농

도는 $\frac{4 \text{ g}}{104 \text{ g}} \times 100 = \frac{400}{104} \%$ 이고, $x = \frac{400}{104}$ 이다. A(aq)의 밀

도가 1.02 g/mL이므로 A(aq) 104 g의 부피는 $\frac{104 \text{ g}}{1.02 \text{ g/mL}}$

$= \frac{104}{1020} \text{ L}$ 이고, 용질 A의 양이 0.1 mol이므로 A(aq)의 몰 농도

는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{\frac{104}{1020} \text{ L}} = \frac{102}{104} \text{ M}$ 이며, $y = \frac{102}{104}$ 이다.

따라서 $\frac{y}{x} = \frac{\frac{102}{104}}{\frac{400}{104}} = \frac{51}{200}$ 이다.

05 용액의 농도

(가)와 (나)의 몰 농도가 같고, 부피는 (나)가 (가)의 2배이므로 들어 있는 용질의 양(mol)도 (나)가 (가)의 2배이다.

✕. 밀도가 1 g/mL이므로 부피가 500 mL인 (가)의 질량은 500 g이고, 용질의 질량은 20 g이므로

퍼센트 농도는 $\frac{20 \text{ g}}{500 \text{ g}} \times 100 = 4\%$ 이다.

㉠. 용액에 들어 있는 용질의 질량비는 A : B = 1 : 3이고, 몰 농도가 같으므로 용질의 몰비는 A : B = 1 : 2이다.

따라서 $\frac{\text{B의 화학식량}}{\text{A의 화학식량}} = \frac{3}{2}$ 이다.

✕. (가)와 (나)의 밀도가 모두 1 g/mL이므로 (가)와 (나)의 질량은 각각 500 g, 1000 g이다. A의 화학식량을 M_A 라고 하면 (가)

에서 용매의 질량은 480 g이고 용질의 양은 $\frac{20}{M_A}$ mol이며, (나)

에서 용매의 질량은 940 g이고 용질의 양은 $\frac{60}{\frac{3}{2}M_A}$ mol이므로

(가)와 (나)의 몰랄 농도는 각각 $\frac{\frac{20}{M_A} \text{ mol}}{0.480 \text{ kg}}, \frac{\frac{40}{M_A} \text{ mol}}{0.940 \text{ kg}}$ 로 같지 않다.

06 몰랄 농도

(가)에 들어 있는 용질의 양은 $\frac{4 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = \frac{1}{15} \text{ mol}$ 이고, (나)에

들어 있는 용질의 양은 $\frac{12 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = \frac{1}{15} \text{ mol}$ 이다.

㉠ 용액에 들어 있는 용질의 양(mol)은 (가)와 (나)가 같고, 물의 질량은 (가)와 (나)가 각각 96 g, 288 g으로 (나)가 (가)의 3배이므로 $\frac{(\text{나}) \text{의 몰랄 농도}}{(\text{가}) \text{의 몰랄 농도}} = \frac{1}{3}$ 이다.

㉡ (나)에 포도당 24 g을 추가로 녹이면 용질의 양(mol)이 (가)의 3배가 된다. 용매의 질량이 (나)가 (가)의 3배이므로 (나)에 포도당 24 g을 추가로 녹인 수용액의 몰랄 농도는 (가)의 몰랄 농도와 같다.

㉢ (가) 50 g에는 요소 2 g과 용매인 물 48 g이 들어 있다. 여기에 96 g의 물을 추가하여 만든 수용액의 몰랄 농도는

$$\frac{\frac{1}{30} \text{ mol}}{0.144 \text{ kg}} = \frac{1}{0.288} \text{ m로 (나)의 몰랄 농도와 같다.}$$

07 몰랄 농도

A(aq)과 B(aq)에 들어 있는 물의 질량은 각각 80 g, 480 g이다. A의 화학식량을 M_A , B의 화학식량을 M_B 라고 하면 몰랄 농

$$\text{도의 비는 } A(aq) : B(aq) = \frac{\frac{20}{M_A} \text{ mol}}{0.080 \text{ kg}} : \frac{\frac{20}{M_B} \text{ mol}}{0.480 \text{ kg}} = 2 : 1$$

이고, $\frac{M_B}{M_A} = \frac{1}{3}$ 이다. 따라서 $\frac{B \text{의 화학식량}}{A \text{의 화학식량}} = \frac{1}{3}$ 이다.

08 용액의 농도

0.5 M A(aq) 100 mL에 들어 있는 A의 양은 0.05 mol이고 A의 분자량이 60이므로 (가)에 들어 있는 A의 질량은 3 g이다.

㉠ 부피가 100 mL인 (가)의 밀도가 $d \text{ g/mL}$ 이므로 (가)의 질량은 $100d \text{ g}$ 이고, 들어 있는 A의 질량은 3 g이므로 (가)의 퍼센트

$$\text{농도는 } \frac{3 \text{ g}}{100d \text{ g}} \times 100 = \frac{3}{d} \% \text{이다.}$$

㉡ (가)에 들어 있는 A의 양은 0.05 mol이고, 0.2 M A(aq) 200 mL에 들어 있는 A의 양은 0.04 mol이므로, (다)에 들어 있는 A의 양은 0.09 mol이다. (다)의 부피가 300 mL이므로 몰 농도는 $\frac{0.09 \text{ mol}}{0.3 \text{ L}} = 0.3 \text{ M}$ 이다.

㉢ (나)는 (가)와 용매의 질량은 같고, 용질의 질량은 2배이다. 따라서 $\frac{(\text{나}) \text{의 몰랄 농도}}{(\text{가}) \text{의 몰랄 농도}} = 2$ 이다.

09 용액의 농도

1 M A(aq) 100 mL에 들어 있는 A의 양은 0.1 mol이고 4%

A(aq) 100 g에 들어 있는 A의 질량은 4 g, 물의 질량은 96 g이다.

✕ (가)의 부피가 100 mL, 밀도가 1.02 g/mL 이므로 (가)의 질량은 102 g이고, (가)와 (나)에 들어 있는 물의 질량이 같으므로 (가)에 들어 있는 A의 질량은 6 g이다. 따라서 퍼센트 농도는

$$\frac{6 \text{ g}}{102 \text{ g}} \times 100 = \frac{100}{17} \% \text{이다.}$$

✕ (가)에서 0.1 mol A의 질량이 6 g이므로 A의 화학식량은 60이다.

㉠ (가)와 (나)에서 용매인 물의 질량은 96 g으로 동일하므로 (가)와 (나)의 몰랄 농도의 비는 용질인 A의 몰비와 같다. (가)에 들어 있는 A의 질량은 6 g, (나)에 A의 질량은 4 g이므로 A의 몰 비는 (가) : (나) = 3 : 2이다. 따라서 $\frac{(\text{나}) \text{의 몰랄 농도}}{(\text{가}) \text{의 몰랄 농도}} = \frac{2}{3}$ 이다.

10 용액의 농도

(가)에 들어 있는 A의 질량은 $0.2x \text{ g}$, 물의 질량은 $0.8x \text{ g}$ 이고, 물 10 g을 추가한 (나)의 몰랄 농도가 2 m이므로

$$\frac{\frac{0.2x}{100} \text{ mol}}{(0.8x + 10) \times 10^{-3} \text{ kg}} = 2 \text{ m이고, } x = 50 \text{이다. (가)의 질량이}$$

50 g이고 밀도가 $d \text{ g/mL}$ 이므로 부피는 $\frac{50}{d} \text{ mL}$ 이고 (가)에 들어

있는 A의 양은 $\frac{10 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} = \frac{1}{10} \text{ mol}$ 이므로 (가)의 몰 농도는

$$\frac{\frac{1}{10} \text{ mol}}{\frac{50}{d} \times 10^{-3} \text{ L}} = 2d \text{ M이고, } y = 2d \text{이다. 따라서 } x \times y = 50 \times 2d = 100d \text{이다.}$$

11 라울 법칙

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력은 용매의 몰 분율에 비례하는데, 이를 라울 법칙이라고 한다.

㉠ '용매의 몰 분율'은 ㉠으로 적절하다.

㉡ A(aq)에서 A의 몰 분율이 X이므로 용매인 H₂O의 몰 분율은 $(1-X)$ 이다. 따라서 ㉡은 $(1-X)P$ 이다.

㉢ A의 몰 분율이 X인 A(aq)의 증기 압력이 $(1-X)P \text{ atm}$ 이므로 증기 압력은 $XP \text{ atm}$ 만큼 감소했다. 따라서 A(aq)의 증기 압력 내림은 용질의 몰 분율에 비례한다.

12 끓는점 오름

용액은 순수한 물보다 증기 압력이 낮기 때문에 끓는점이 높다.

✕ 온도가 같을 때 (가)는 순수한 용매인 물보다 증기 압력이 낮다.

✕. 증기 압력은 (가)가 물보다 낮으므로 기준 끓는점은 (가)가 물보다 높다.

○. 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 농도가 진해지면 끓는점은 더 높아진다.

13 끓는점 오름

끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 끓는점 오름이 (나)가 (가)의 3배이므로 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 3배이다.

○. 용질의 질량이 같고, 수용액의 몰랄 농도가 (나)가 (가)의 3배이므로 물의 질량은 (가)가 (나)의 3배이다. 따라서 $\frac{y}{z}=3$ 이다.

○. 어는점 내림은 몰랄 농도가 큰 (나)가 몰랄 농도가 작은 (가)보다 크다. 따라서 기준 어는점은 (가) > (나)이다.

✕. (가)에 A(s) x g을 추가로 녹인 수용액의 몰랄 농도는 (가)의 2배이므로 (가)보다 몰랄 농도가 3배인 (나)보다 기준 끓는점이 낮다.

14 끓는점 오름과 어는점 내림

묽은 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮아져 끓는점은 높아지고, 어는점은 낮아진다.

○. 끓는점 오름은 용매의 몰랄 오름 상수(K_b)와 용액의 몰랄 농도에 비례하며, 어는점 내림은 용매의 몰랄 내림 상수(K_f)와 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 수용액 속 A의 질량이 증가할수록 수용액의 어는점 변화가 끓는점 변화보다 크므로 $K_f > K_b$ 이다.

✕. $t_3^\circ\text{C}$ 일 때 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{2x}{a} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} = \frac{20x}{a} m$ 이고,

$t_2^\circ\text{C}$ 일 때 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{x}{a} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} = \frac{10x}{a} m$ 이다. 1 atm

에서 물의 끓는점을 $t^\circ\text{C}$ 라고 하면, 수용액의 몰랄 농도가 $\frac{20x}{a} m$

일 때 끓는점 오름은 $\Delta T = (t_3 - t)^\circ\text{C} = \frac{20x}{a} K_b^\circ\text{C}$ 이고,

수용액의 몰랄 농도가 $\frac{10x}{a} m$ 일 때 끓는점 오름은 $\Delta T = (t_2 - t)^\circ\text{C} = \frac{10x}{a} K_b^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 $t_3 = t_2 + \frac{10x}{a} K_b$ 이다.

✕. 몰랄 농도가 $\frac{20x}{a} m$ 일 때 수용액의 기준 어는점이 $t_1^\circ\text{C}$ 이다.

물 200 g에 A(s) 3x g을 녹인 수용액의 몰랄 농도는

$\frac{3x}{a} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} = \frac{15x}{a} m$ 이므로 $\frac{20x}{a} m$ 인 수용액보다 어는점 내림

이 작다. 따라서 기준 어는점은 $t_1^\circ\text{C}$ 보다 높다.

15 삼투압

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(π)은 용액의 몰 농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다($\pi = CRT$).

A의 분자량을 M_A 라고 하면 A(aq)의 삼투압 $9P \text{ atm} =$

$\frac{\frac{x}{M_A} \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} RT$ 이고, $M_A = \frac{10x}{9P} RT$ 이며, B(aq)의 삼투압

$P \text{ atm} = \frac{\frac{x}{180} \text{ mol}}{V \text{ L}} RT$ 이고, $V = \frac{xRT}{180P}$ 이다. 따라서

$\frac{V}{\text{A의 분자량}} = \frac{\frac{xRT}{180P}}{\frac{10xRT}{9P}} = \frac{1}{200}$ 이다.

16 삼투압

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(π)은 용액의 몰 농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다($\pi = CRT$).

✕. 삼투압은 온도에 비례하므로 용액의 몰 농도가 같을 때 온도가 높으면 삼투압이 크다. 따라서 $T_1 = 300 \text{ K}$, $T_2 = 330 \text{ K}$ 이다.

○. $P_1 \text{ atm} = 0.1 \text{ M} \times R \times 300 \text{ K}$, $P_2 \text{ atm} = 0.2 \text{ M} \times R \times 330 \text{ K}$ 로 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{11}{5}$ 이다.

✕. 300 K에서 0.25 M A(aq)의 삼투압(atm)은 $0.25 \text{ M} \times R \times 300 \text{ K}$ 로 $P_2 \text{ atm} (= 0.2 \text{ M} \times R \times 330 \text{ K})$ 보다 크다.

3 점 수능 테스트

본문 59~68쪽

01 ③ 02 ② 03 ⑤ 04 ③ 05 ③ 06 ② 07 ③
08 ⑤ 09 ② 10 ⑤ 11 ② 12 ⑤ 13 ① 14 ⑤
15 ④ 16 ⑤ 17 ③ 18 ② 19 ⑤ 20 ⑤

01 용액의 농도

퍼센트 농도는 용액 100 g에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 것이고, ppm 농도는 용액 10^6 g에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 것이다.

○. 질량이 2.5 kg인 II의 ppm 농도가 800 ppm이므로 II에 들어 있는 A의 질량은 2 g이다.

$$\frac{a \text{ g}}{2500 \text{ g}} \times 10^6 = 800 \text{ ppm}$$

따라서 $a = 2$ 이다.

✕. I은 물 50 g에 A(s) 2 g을 녹인 것이므로 수용액 전체 질량

은 52 g이고, 퍼센트 농도는 $\frac{2 \text{ g}}{52 \text{ g}} \times 100 = \frac{50}{13}\%$ 이므로 $x = \frac{50}{13}$

이다. 몰랄 농도는 $\frac{\frac{2}{40} \text{ mol}}{0.05 \text{ kg}} = 1 \text{ m}$ 이므로 $y = 1$ 이다. 따라서 $\frac{x}{y} = \frac{50}{13}$ 이다.

㉔. 질량이 2.5 kg인 II의 밀도가 $d \text{ g/mL}$ 이므로 부피는 $\frac{2.5}{d} \text{ L}$

이다. 따라서 몰 농도는 $\frac{\frac{2}{40} \text{ mol}}{\frac{2.5}{d} \text{ L}} = \frac{d}{50} \text{ M}$ 이다.

02 용액의 농도

1 M A(aq) 100 g의 밀도가 $d \text{ g/mL}$ 이므로 부피는 $\frac{0.1}{d} \text{ L}$ 이고,

A(aq)에 들어 있는 A의 양은 $\frac{0.1}{d} \text{ mol}$ 이다.

✕. A의 분자량이 180이므로 $\frac{0.1}{d} \text{ mol}$ A의 질량은 $\frac{18}{d} \text{ g}$ 이다.

㉔. 질량이 100 g인 A(aq)에 A가 $\frac{18}{d} \text{ g}$ 들어 있으므로 A(aq)에 들어 있는 물의 질량은 $(100 - \frac{18}{d}) \text{ g}$ 이다. A $\frac{18}{d} \text{ g}$ 의 양은 $\frac{0.1}{d} \text{ mol}$ 이므로 A(aq)의 몰랄 농도는

$$\frac{\frac{0.1}{d} \text{ mol}}{(100 - \frac{18}{d}) \times 10^{-3} \text{ kg}} = \frac{50}{50d - 9} \text{ m}$$
이다.

✕. A(aq) 10 g에 들어 있는 A의 질량은 $\frac{1.8}{d} \text{ g}$ 이므로 물을 추가하여 1 kg으로 만든 용액의 ppm 농도는

$$\frac{\frac{1.8}{d} \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 10^6 = \frac{1800}{d} \text{ ppm}$$
이다.

03 몰 농도와 몰랄 농도

1 M A(aq) 100 mL에 녹아 있는 A의 양은 0.1 mol이다. (가)의 밀도가 1.02 g/mL이므로 부피가 100 mL인 (가)의 질량은 102 g이고, A(aq) 102 g에는 4 g의 A와 98 g의 물이 들어 있다. 1 m A(aq)은 물 1 kg에 A 1 mol이 들어 있는 수용액이고, 물의 질량이 1 kg일 때 수용액의 질량은 1.04 kg이다. 즉 1 m A(aq)은 1040 g당 40 g의 A가 들어 있으므로 1 m A(aq) 100 g에 들어 있는 A의 질량을 $x \text{ g}$ 이라 하면 1040 g 수용액 : 40 g A = 100 g 수용액 : $x \text{ g A}$ 이고, $x = \frac{50}{13}$ 이다. 따라

서 1 m A(aq) 100 g에는 $\frac{50}{13} \text{ g A}$ 와 $(100 - \frac{50}{13}) \text{ g}$ 물이 들어 있다.

㉔. (가)에 들어 있는 물의 질량은 98 g이다.

㉔. (가)와 (나)에 녹아 있는 A의 질량은 각각 4 g, $\frac{50}{13} \text{ g}$ 으로 (가)가 (나)보다 크다.

㉔. (가)의 퍼센트 농도는 $\frac{4 \text{ g}}{102 \text{ g}} \times 100 = \frac{200}{51}\%$ 이고, (나)의 퍼

센트 농도는 $\frac{\frac{50}{13} \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = \frac{50}{13}\%$ 이다. 따라서 퍼센트 농도는 (가)가 (나)보다 크다.

04 용액의 농도

(가)에 들어 있는 A의 양은 0.1 mol이고, A의 화학식량이 100이므로 (가)에 들어 있는 A의 질량은 10 g이다. 부피가 100 mL인 (가)의 밀도가 1 g/mL이므로 (가)의 질량은 100 g이고 퍼센트 농

도는 $\frac{10 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 10\%$ 이다. $x \text{ m A(aq)}$ 50 g에 들어 있는

A의 질량은 10 g이므로 물의 질량은 40 g이고 몰랄 농도는

$$\frac{0.1 \text{ mol}}{0.040 \text{ kg}} = x \text{ m}$$
이며, $x = 2.5$ 이다. $y \text{ M A(aq)}$ 50 mL에 들

어 있는 A의 양은 0.1 mol이므로 몰 농도는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{0.05 \text{ L}} = y \text{ M}$ 이고, $y = 2$ 이다.

따라서 (가)의 퍼센트 농도(%) $\times \frac{y}{x} = 10 \times \frac{2}{2.5} = 8$ 이다.

05 몰랄 농도와 퍼센트 농도

몰랄 농도는 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 양(mol)을 나타내고, 퍼센트 농도는 용액 100 g에 들어 있는 용질의 질량(g)을 나타낸다.

$$\text{㉔. I과 II의 몰랄 농도는 각각 } \frac{0.1 \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = 1 \text{ m}, \frac{0.1 \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$$

이므로 I에서가 II에서보다 2배인 농도 (나)는 몰랄 농도(m)이고, (가)는 퍼센트 농도(%)이며, $c = 0.5$ 이다.

$$\text{✕. I의 퍼센트 농도는 } \frac{10 \text{ g}}{110 \text{ g}} \times 100 = \frac{100}{11}\% \text{이므로 } a = \frac{100}{11}$$
이다.

$$\text{㉔. II의 퍼센트 농도는 } \frac{10 \text{ g}}{210 \text{ g}} \times 100 = \frac{100}{21}\% \text{이고, } c = 0.5 \text{ 이므}$$

로 $b \times c = \frac{50}{21}$ 이다.

06 용액의 농도

I에 들어 있는 A의 질량은 10 g, 물의 질량은 90 g이므로 물

400 g을 추가한 수용액의 퍼센트 농도는 $\frac{10 \text{ g}}{500 \text{ g}} \times 100 = 2\%$ 이

고, $y=2$ 이다.

1 m A(aq)은 물 1000 g에 A 40 g을 녹여 만든 수용액이다. 즉 1 m A(aq) 1040 g에 들어 있는 A의 질량이 40 g이므로 Ⅲ 26 g에 들어 있는 A의 질량은 1 g이다. 따라서 Ⅲ 26 g에는 A가 1 g, 물이 25 g 들어 있다.

Ⅱ x mL에 들어 있는 A의 양은 $0.0005x \text{ mol}$ 이고, 질량은 $0.02x \text{ g}$ 이다. Ⅱ의 밀도가 1.02 g/mL 이므로 x mL의 질량은 $1.02x \text{ g}$ 이고, 들어 있는 A의 질량은 $0.02x \text{ g}$, 물의 질량은 $1.00x \text{ g}$ 이다.

(나)에서 Ⅱ x mL와 Ⅲ 26 g, 물 23.5 g을 모두 혼합한 용액에 들어 있는 A의 총 질량은 $(1+0.02x) \text{ g}$ 이고, 수용액의 총 질량은 $(1.02x+26+23.5) \text{ g}$ 이다. 이 용액의 퍼센트 농도가 2%이

므로 $\frac{(1+0.02x) \text{ g}}{(1.02x+49.5) \text{ g}} \times 100 = 2\%$ 이고, $x=25$ 이다. 따라

서 $\frac{y}{x} = \frac{2}{25}$ 이다.

07 증기 압력 내림

1% A(aq) 100 g인 (가)에 들어 있는 A와 물의 질량은 각각

1 g, 99 g이므로 몰랄 농도는 $\frac{\frac{1}{60} \text{ mol}}{0.099 \text{ kg}}$ 이다. (나)의 질량은

$1.02 \text{ g/mL} \times 100 \text{ mL} = 102 \text{ g}$ 이고, (나)에 들어 있는 A의 양은 0.01 mol이므로 (나)에는 A 0.6 g과 물 101.4 g이 들어 있고,

몰랄 농도는 $\frac{0.01 \text{ mol}}{0.1014 \text{ kg}}$ 이다. 따라서 몰랄 농도는 (가) > (나)이다.

㉠. (가)와 (나)에 들어 있는 A의 질량은 각각 1 g, 0.6 g이므로 (가) > (나)이다.

㉡. 용액의 농도가 진해지면 용질의 물 분율이 커지므로 증기 압력 내림이 커진다. 몰랄 농도는 (가) > (나)이므로 증기 압력 내림은 (가) > (나)이다. 따라서 $t^\circ\text{C}$ 에서 용액의 증기 압력은 (나) > (가)이다.

㉢. 용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 몰랄 농도가 (가) > (나)이므로 기준 끓는점은 (가) > (나)이다.

08 증기 압력 내림

순수한 용매에 비휘발성인 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮다.

㉠. A(aq)의 증기 압력은 순수한 용매인 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 증기 압력보다 낮으므로 (가)는 $\text{H}_2\text{O}(l)$, (나)는 A(aq)이다.

㉡. 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 물 분율($X_{\text{용질}}$)과 용매의 증기 압력($P_{\text{용매}}$)의 곱과 같다. $t_2^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력 내림은

$\Delta P = c - b = X_A \times P_{\text{H}_2\text{O}} = X_A \times c$ 이고, $X_A = \frac{c-b}{c}$ 이다.

㉢. 용액의 농도가 진해지면 증기 압력 내림은 커진다. 따라서 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 $2x \text{ m A(aq)}$ 의 증기 압력은 $x \text{ m A(aq)}$ 의 증기 압력인 $a \text{ mmHg}$ 보다 작다.

09 퍼센트 농도와 몰 분율

B(s) x g의 양은 $\frac{x}{100} \text{ mol}$ 으로 B(aq)에서 B의 몰 분율은

$\frac{\frac{x}{100} \text{ mol}}{\frac{x}{100} \text{ mol} + \frac{45}{18} \text{ mol}} = \frac{1}{51}$ 이고, $x=5$ 이다. B(aq)의 퍼센트

농도는 $\frac{5 \text{ g}}{50 \text{ g}} \times 100 = 10\%$ 이므로 $y=10$ 이다. A(s)의 질량이

6 g인 A(aq)의 퍼센트 농도가 10%이므로 들어 있는 물의 질량은 54 g이고 A의 분자량을 M_A 라고 하면, A의 몰 분율은

$\frac{\frac{6}{M_A} \text{ mol}}{\frac{6}{M_A} \text{ mol} + \frac{54}{18} \text{ mol}} = \frac{1}{31}$ 이며, $M_A=60$ 이다.

따라서 A의 분자량 $\times \frac{x}{y} = 60 \times \frac{5}{10} = 30$ 이다.

10 어는점 내림

어는점 내림(ΔT)은 용매의 몰랄 내림 상수(K_f)와 용액의 몰랄 농도(m)의 곱과 같다($\Delta T = K_f \times m$).

㉠. 물 100 g에 각각 녹인 용질의 질량이 Y가 X의 3배일 때 수용액의 몰랄 농도가 같으므로 분자량은 Y가 X의 3배이다.

㉡. 용질의 종류와 관계없이 몰랄 농도가 같은 수용액의 어는점 내림(ΔT)이 같으므로 '몰랄 농도'는 ㉠으로 적절하다.

㉢. 물 100 g에 Y(s) 2.7 g을 녹인 수용액의 어는점 내림(ΔT)은 $1.5t^\circ\text{C}$ 이고, 물 50 g에 X(s) 0.6 g을 녹인 수용액의 어는점 내림(ΔT)은 $2t^\circ\text{C}$ 이므로

물 100 g에 Y(s) 2.7 g을 녹인 수용액의 어는점 내림(ΔT) = 3
물 50 g에 X(s) 0.6 g을 녹인 수용액의 어는점 내림(ΔT) = 4
이다.

11 끓는점 오름

끓는점 오름(ΔT)은 용매의 몰랄 오름 상수(K_b)와 용액의 몰랄 농도(m)의 곱과 같다($\Delta T = K_b \times m$).

㉡. $t_A^\circ\text{C}$ 에서 A(l)의 증기 압력은 1 atm과 같고, B(l)의 증기 압력은 1 atm보다 작다.

㉢. 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 용매가 모두 B(l)이고, 몰랄 농도가 0.04 m인 용액의 끓는점 오름은 몰랄 농도가 0.01 m인 용액의 끓는점 오름의 4배이다. 따라서 $\frac{z}{y} = 4$ 이다.

✕. 용매가 A(l)이고, 용액의 몰랄 농도가 0.01 m일 때 끓는점 오름 $\Delta T = (t_A + x)^\circ\text{C} - t_A^\circ\text{C} = x^\circ\text{C} = K_b \times 0.01 \text{ m}$ 이다. 따라서 A(l)의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $100x^\circ\text{C}/\text{m}$ 이다.

12 끓는점 오름

끓는점 오름(ΔT)은 용매의 몰랄 오름 상수(K_b)와 용액의 몰랄 농도(m)의 곱과 같다($\Delta T = K_b \times m$). (가)~(다)는 모두 용매가 물이므로 용매의 몰랄 오름 상수는 같고, 끓는점 오름(ΔT)이 $t^\circ\text{C}$ 로 모두 같으므로 (가)~(다)의 몰랄 농도는 모두 같다.

㉠. A의 분자량을 M_A 라고 하면 (나)와 (다)의 몰랄 농도는 각각 $\frac{x-100}{0.1 \text{ kg}} \text{ mol}$, $\frac{x+1.2-100}{0.1 \text{ kg}} \text{ mol}$ 이고, (나)와 (다)의 몰랄

농도가 같으므로 $\frac{x-100}{0.1} = \frac{x+1.2-100}{0.1}$ 이며, $x=100.6$ 이다.

㉡. (나)에는 물 100 g과 A 0.6 g이 들어 있고, (다)에는 물 100 g과 B 1.8 g이 들어 있다. (가)에는 물 50 g과 용질 0.3 g이 들어 있는데 3가지 수용액의 몰랄 농도가 모두 같으므로 (가)에 들어 있는 용질은 (나)와 같은 A이다.

㉢. (나)에는 A(s) 0.6 g이 녹아 있으므로 A(s) 1.2 g을 추가로 녹인 수용액은 몰랄 농도가 (나)의 3배이고, 끓는점 오름(ΔT)이 $3t^\circ\text{C}$ 이다.

13 끓는점 오름

끓는점 오름(ΔT)은 용매의 몰랄 오름 상수(K_b)와 용액의 몰랄 농도(m)의 곱과 같다($\Delta T = K_b \times m$). (가)에서 끓는점 오름이 $\frac{1}{6} K_b^\circ\text{C}$ 이므로 $\Delta T = \frac{1}{6} K_b = K_b \times m$ 이고 (가)의 몰랄 농도는 $\frac{1}{6} \text{ m}$ 이며, (나)에서 끓는점 오름이 $\frac{1}{9} K_b^\circ\text{C}$ 이므로 (나)의 몰랄 농도는 $\frac{1}{9} \text{ m}$ 이다.

㉠. (가)의 몰랄 농도가 $\frac{1}{6} \text{ m}$ 이고, 용매인 물의 질량이 100 g이므로 (가)에 녹아 있는 용질 A의 양은 $\frac{1}{6} \text{ m} \times 0.1 \text{ kg} = \frac{1}{60} \text{ mol}$ 이다. A의 분자량이 60이므로 A $\frac{1}{60} \text{ mol}$ 의 질량은 1 g이다.

(나)의 몰랄 농도가 $\frac{1}{9} \text{ m}$ 이고, 용매인 물의 질량이 300 g이므로 (나)에 녹아 있는 용질 A의 양은 $\frac{1}{9} \text{ m} \times 0.3 \text{ kg} = \frac{1}{30} \text{ mol}$ 이다.

A의 분자량이 60이므로 A $\frac{1}{30} \text{ mol}$ 의 질량은 2 g이다. 따라서 수용액에 녹아 있는 A의 질량은 (나)가 (가)의 2배이다.

✕. (가)와 (나)를 혼합한 용액에 녹아 있는 용질 A의 양은 $\frac{1}{20} \text{ mol}$ 이고, 용매인 물의 질량은 400 g이므로 혼합 용액의 몰랄 농도

는 $\frac{\frac{1}{20} \text{ mol}}{0.4 \text{ kg}} = \frac{1}{8} \text{ m}$ 이다. 따라서 (가)와 (나)를 혼합한 용액의

끓는점 오름(ΔT)은 $\frac{1}{8} K_b^\circ\text{C}$ 이다.

✕. (나)에 A 0.5 g($=\frac{1}{120} \text{ mol}$)을 추가로 녹인 수용액에 들어 있는 A의 총 양은 2.5 g($=\frac{1}{24} \text{ mol}$)이고 몰랄 농도는

$\frac{\frac{1}{24} \text{ mol}}{0.3 \text{ kg}} = \frac{5}{36} \text{ m}$ 이며, 몰랄 농도가 (가)보다 작으므로 끓는점 오름(ΔT)은 (가)가 더 크고, 기준 끓는점은 A(s) 0.5 g을 추가로 녹인 수용액이 (가)보다 낮다.

14 증기 압력 내림과 어는점 내림

어는점 내림(ΔT)은 용매의 몰랄 내림 상수(K_f)와 용액의 몰랄 농도(m)의 곱과 같다($\Delta T = K_f \times m$).

✕. 용매의 기준 어는점이 $Y(l) > X(l)$ 인데, 각 용매 100 g에 Z(s) 2a g이 녹아 있어 몰랄 농도가 같은 용액의 어는점이 용매가 X(l)일 때가 용매가 Y(l)일 때보다 높으므로($t_1 > t_3$) 용액의 몰랄 농도에 따른 어는점 내림(ΔT)은 용매가 Y(l)인 용액이 더 크다. 따라서 $K_Y > K_X$ 이다.

㉠. Z의 화학식량을 M_Z , Y(l)의 기준 어는점을 $t_Y^\circ\text{C}$ 라고 할 때 Y(l) 100 g에 Z(s) a g을 녹인 용액에서 어는점 내림은

$$\Delta T = (t_Y - t_2)^\circ\text{C} = \left(\frac{\frac{a}{M_Z} \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} \right) \times K_Y^\circ\text{C}/\text{m} \text{이고,}$$

Y(l) 100 g에 Z(s) 2a g을 녹인 용액에서 어는점 내림은

$$\Delta T = (t_Y - t_3)^\circ\text{C} = \left(\frac{\frac{2a}{M_Z} \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} \right) \times K_Y^\circ\text{C}/\text{m} \text{이다.}$$

$$\text{따라서 } (t_2 - t_3)^\circ\text{C} = \left(\frac{\frac{2a}{M_Z} \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} - \frac{\frac{a}{M_Z} \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} \right) \times K_Y^\circ\text{C}/\text{m}$$

$$\text{이고, } M_Z = \frac{10aK_Y}{t_2 - t_3} \text{이다.}$$

㉡. X(l)의 기준 어는점을 $t_X^\circ\text{C}$ 라고 할 때, X(l) 100 g에 Z(s) 2a g을 녹인 용액의 어는점 내림은

$$\Delta T = (t_X - t_1)^\circ\text{C} = \frac{\frac{2a}{M_Z} \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} \times K_X^\circ\text{C}/\text{m} = \frac{20aK_X}{M_Z}^\circ\text{C} \text{이다.}$$

$$t_X = t_1 + \frac{20aK_X}{M_Z} \text{이고 } M_Z = \frac{10aK_Y}{t_2 - t_3} \text{이므로, X(l)의 기준 어}$$

$$\text{는점(}^\circ\text{C)} t_X = t_1 + \frac{2K_X}{K_Y}(t_2 - t_3) \text{이다.}$$

15 증기 압력과 어는점 내림

용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 순수한 용매의 증기 압력($P_{\text{용매}}$)과 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)의 곱과 같다($\Delta P = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}}$). (가)의 증기 압력 내림이 $\frac{1}{251}P$ 이므로 A의 몰 분율은 $\frac{1}{251}$ 이다. (가)에는 A x g과 물 900 g이 들어 있으므로 A의 몰 분율은

$$\frac{\frac{x}{60} \text{ mol}}{\frac{x}{60} \text{ mol} + \frac{900}{18} \text{ mol}} = \frac{1}{251} \text{ 이고 } x=12 \text{이다. (나)에는 A 12 g과 물 1800 g이 들어 있으므로}$$

$$\Delta P = P \times X_{\text{용질}} = P \times \frac{\frac{12}{60} \text{ mol}}{\frac{12}{60} \text{ mol} + \frac{1800}{18} \text{ mol}} = \frac{1}{501}P \text{ 이고,}$$

$$y = \frac{1}{501} \text{이다. (가)에서 어는점 내림은}$$

$$\Delta T = K_f \times m = K_f \times \frac{0.2 \text{ mol}}{0.9 \text{ kg}} = zK_f \text{이므로 } z = \frac{2}{9} \text{이다. 따라}$$

$$\text{서 } \frac{x \times y}{z} = \frac{12 \times \frac{1}{501}}{\frac{2}{9}} = \frac{18}{167} \text{이다.}$$

16 끓는점 오름

끓는점 오름(ΔT)은 용매의 몰랄 오름 상수(K_b)와 용액의 몰랄 농도(m)의 곱과 같다($\Delta T = K_b \times m$).

㉠ (가)에서 끓는점 오름이 $\frac{1}{6}K_b^\circ\text{C}$ 이므로 (가)의 몰랄 농도는

$$\frac{1}{6} m \text{이다. A의 분자량을 } M_A \text{라고 하면 (가)의 몰랄 농도는}$$

$$\frac{\frac{1}{M_A} \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = \frac{1}{6} m \text{이고, } M_A = 60 \text{이다. 분자량은 B가 A의 3배}$$

이므로 B의 분자량은 180이다.

㉡ (나)에서 몰랄 농도는 $\frac{\frac{2x}{180} \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}} = \frac{1}{18} m$ 이고, $x=1$ 이다.

㉢ (다)의 용질이 A이면 (다)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{5}{60} \text{ mol}}{0.3 \text{ kg}} = \frac{5}{18} m$ 로 끓는점 오름이 $\frac{5}{54}K_b^\circ\text{C}$ 가 되지 않는다. (다)의 용질이 B이

면, (다)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{5}{180} \text{ mol}}{0.3 \text{ kg}} = \frac{5}{54} m$ 이고, 끓는점 오름은

$$\frac{5}{54}K_b^\circ\text{C} \text{이다. 따라서 (다)의 용질은 B이다.}$$

17 어는점 내림

어는점 내림(ΔT)은 용매의 몰랄 내림 상수(K_f)와 용액의 몰랄 농도(m)의 곱과 같다($\Delta T = K_f \times m$).

A의 분자량을 M_A 라고 하면, (가)의 $\Delta T = \frac{\frac{x}{M_A} \text{ mol}}{1 \text{ kg}} \times K_f = 0.30K_f$ 이므로 (가)의 몰랄 농도는 $0.30 m$ 이고, $\frac{x}{M_A} = 0.30$ 이다.

(가)와 (나)는 용질의 양(mol)은 같고 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 $\frac{5}{6}$ 배이므로 용매의 질량은 (나)가 (가)의 $\frac{6}{5}$ 배이다. 따라서 $y=200$

이다. (다)의 몰랄 농도 $0.40 m = \frac{\frac{x+z}{M_A} \text{ mol}}{1 \text{ kg}}$ 이고, $\frac{x}{M_A} = 0.30$

이므로 $\frac{z}{M_A} = 0.10$ 이다. 따라서 $\frac{y \times z}{x} = \frac{200 \times 0.10 M_A}{0.30 M_A} = \frac{200}{3}$ 이다.

18 삼투압

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(π)은 용액의 몰 농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다($\pi = CRT$). A의 분자량을 M_A , B의 분자량을 M_B 라고 하면 (가)에서 삼투압은

$$9P \text{ atm} = \frac{\frac{1}{M_A} \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} RT \text{ 이고 } \frac{1}{M_A} = \frac{0.9P}{RT} \text{이다. (다)에서 삼}$$

투압은 $8P \text{ atm} = \frac{\frac{8}{M_B} \text{ mol}}{0.3 \text{ L}} RT$ 이고, $\frac{1}{M_B} = \frac{0.3P}{RT}$ 이다. 따라

서 $\frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{1}{3}$ 이다. (나)에서 삼투압은 $6P = \frac{\frac{x}{M_B} \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} RT$

이고 $\frac{x}{M_B} = \frac{0.6P}{RT}$ 이며, $\frac{1}{M_B} = \frac{0.3P}{RT}$ 이므로 $x=2$ 이다. 따라서

$$x \times \frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = 2 \times \frac{1}{3} = \frac{2}{3} \text{이다.}$$

19 삼투압

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(π)은 용액의 몰 농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다($\pi = CRT$).

㉠ 반투막은 용질은 이동하지 못하고 물은 이동할 수 있다. 물과 0.1 M A(aq)을 반투막으로 분리된 U자관에 각각 넣어 평형 상태에 도달하면 물은 A(aq) 쪽으로 이동하므로 A(aq)의 몰 농도는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

㉡ 온도가 높아지면 삼투압이 증가하므로 높이는 h 보다 커진다.

㉢ 같은 온도에서 용액의 삼투압은 용액의 몰 농도에 비례하므로

(가)에서 0.1 M A(aq) 대신 0.2 M A(aq)을 사용하여 평형 상태에 도달하면 높이는 h 보다 커진다.

20 삼투압

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(π)은 용액의 몰 농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다($\pi = CRT$).

㉠. (나)에서 $C \times R \times 300 \text{ K} = 2P$ 이다. 따라서 (나)의 몰 농도는 $\frac{P}{150R}$ M이다.

㉡. (가)와 (나)의 부피가 동일하므로 삼투압의 비는 용질의 몰비와 같다. 분자량은 A가 B의 3배이므로 B의 분자량을 M_B 라고 하면 (가)와 (나)의 삼투압의 비는 $P : 2P = \frac{a}{3M_B} : \frac{b}{M_B}$ 이고, $\frac{a}{b} = \frac{3}{2}$ 이다.

㉢. $\frac{a}{b} = \frac{3}{2}$ 이므로 (다)에 녹아 있는 B의 질량은 $(a+b)g = \frac{5}{2}bg$ 이고, 몰 농도는 (다)가 (나)의 $\frac{5}{2}$ 배이다. 따라서 (다)의 삼투압은 $5P \text{ atm}$ 이고, $x=5$ 이다.

수능 기출의 미래

두꺼운 분량을 벗어난 가장 완벽한 기출문제집
쉬운 문항은 간략하고 빠르게,
고난도 문항은 상세하고 심도 있게

04 반응 엔탈피

2점 수능 테스트

본문 81~83쪽

01 ㉠ 02 ㉠ 03 ㉠ 04 ㉡ 05 ㉡ 06 ㉡ 07 ㉠
08 ㉠ 09 ㉡ 10 ㉠ 11 ㉡ 12 ㉡

01 반응열과 열화학 반응식

㉠. 일정한 압력에서 화학 반응이 일어나면 물질의 종류와 상태가 변하고 이에 따라 물질의 엔탈피가 달라지므로 반응물과 생성물의 엔탈피 차에 해당하는 열이 출입한다.

㉡. 물질의 엔탈피의 절대량을 측정할 수는 없으나, 화학 반응이 진행되는 동안 반응열을 측정하면 엔탈피 변화를 알 수 있다.

㉢. 물질의 상태에 따라 엔탈피가 달라지므로 열화학 반응식을 나타낼 때 물질의 상태를 나타내야 한다.

02 반응 엔탈피와 발열·흡열 반응

㉠. 뷰테인은 연료로 쓰이는 물질로 뷰테인의 연소는 발열 반응이다.
㉡. 설탕이 가열되어 액체 상태로 되는 과정에서 열을 흡수하므로 설탕의 엔탈피는 증가한다.

㉢. 흐르는 성질이 있는 고온의 물질이 실온에서 식어 굳으면서 달고나가 된다. 그러므로 ㉢에서 달고나가 완성되면서 열을 방출한다.

03 열화학 반응식과 흡열 반응

$\text{NH}_4\text{NO}_3(s) \longrightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(aq)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 1 mol의 $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 이 물에 용해될 때의 엔탈피 변화이다. 1 mol의 $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 이 물에 용해될 때 27 kJ의 열을 흡수하므로 $\text{NH}_4\text{NO}_3(s) \longrightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(aq)$ 반응의 반응 엔탈피(ΔH) = 27 kJ이고 $a=27$ 이다.

04 열화학 반응식

㉠. 기체 상태의 원자 $\text{H}(g)$ 와 $\text{Cl}(g)$ 가 반응하여 $\text{HCl}(g)$ 가 되는 과정에서 공유 결합을 형성하여 안정해지므로 물질의 엔탈피는 감소한다. 반응물의 엔탈피가 생성물의 엔탈피보다 크므로 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 작다($a < 0$).

㉡. 결합을 형성할 때 엔탈피가 감소하고 감소한 엔탈피에 해당하는 열을 방출하므로 $\text{H}(g) + \text{Cl}(g) \longrightarrow \text{HCl}(g)$ 반응은 발열 반응이다.

㉔ 결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이므로 $\text{H}-\text{Cl}$ 의 결합 에너지(ΔH)는 $\text{HCl}(g) \longrightarrow \text{H}(g) + \text{Cl}(g)$ 반응의 반응 엔탈피(ΔH)에 해당한다. 그러므로 $\text{H}-\text{Cl}$ 의 결합 에너지(ΔH)는 $-a \text{ kJ/mol}$ 이다.

05 결합 에너지와 헤스 법칙

ㄱ. 결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다. $\text{A}-\text{B}$ 의 결합 에너지가 432 kJ 이므로

$\text{A}(g) + \text{B}(g) \longrightarrow \text{AB}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 -432 kJ 이다.

ㄴ. 기체 반응의 반응 엔탈피(ΔH) = 반응물의 결합 에너지 총합 - 생성물의 결합 에너지 총합이다.

$\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \longrightarrow 2\text{AB}(g)$ 의 반응 엔탈피

$\Delta H = (436 + 242) \text{ kJ} - (2 \times 432) \text{ kJ} = -186 \text{ kJ}$ 로 0보다 작다. 엔탈피가 감소하는 반응이므로 기체의 엔탈피의 합은 (나)에서가 (가)에서보다 작다.

㉔ 물질의 생성 엔탈피는 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. $\text{AB}(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\frac{1}{2}\text{A}_2(g) + \frac{1}{2}\text{B}_2(g) \longrightarrow \text{AB}(g)$ 의 반응 엔탈피

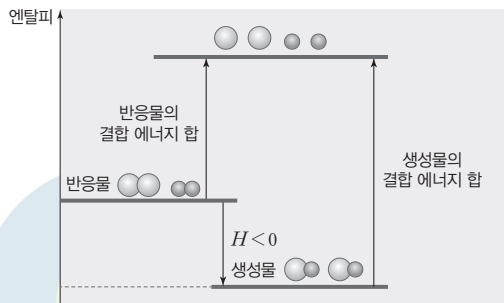
로 $\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \longrightarrow 2\text{AB}(g)$ 의 반응 엔탈피의 $\frac{1}{2}$ 이다. 그러므로 $\text{AB}(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\frac{1}{2} \times (-186) \text{ kJ/mol} = -93 \text{ kJ/mol}$ 이다.

06 결합 에너지와 헤스 법칙

(가)에서 용기 속 기체는 $\text{A}_2(g)$ 0.1 mol과 $\text{B}_2(g)$ 0.1 mol이고, (나)에서 용기 속 기체는 $\text{AB}(g)$ 0.2 mol이다. (가)의 기체를 모두 원자 상태로 만드는 데 필요한 에너지($x \text{ kJ}$)와 (나)의 기체를 모두 원자 상태로 만드는 데 필요한 에너지($y \text{ kJ}$)의 차는 결과적으로 (가)와 (나)의 물질의 엔탈피 차와 같다. 그러므로 $(x-y) \text{ kJ}$ 은 $\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \longrightarrow 2\text{AB}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)의 $\frac{1}{10}$ 이다. $x-y = \frac{1}{10} \times (-186) = -18.6$ 이다.

07 열화학 반응식과 결합 에너지

열화학 반응식 $\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \longrightarrow 2\text{AB}(g)$ $\Delta H < 0$ 을 결합 에너지를 이용하여 그림으로 나타내면 다음과 같다.



㉔ $\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \longrightarrow 2\text{AB}(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H < 0$ 이므로 이 반응은 발열 반응이다.

ㄱ. 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 반응물의 엔탈피의 합은 생성물의 엔탈피의 합보다 크다.

ㄴ. 결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다.

$\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \longrightarrow 2\text{AB}(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H < 0$ 이므로 반응물의 결합 에너지의 합($\text{A}_2(g)$ 와 $\text{B}_2(g)$ 의 결합 에너지의 합)은 생성물의 결합 에너지의 합($\text{AB}(g)$ 의 결합 에너지의 2배)보다 작다.

08 열화학 반응식과 생성 엔탈피

㉔ 연소 반응은 발열 반응이므로 $x < 0$ 이다.

ㄱ. $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)가 $x \text{ kJ}$ 이고, 이때 반응한 $\text{H}_2(g)$ 는 2 mol이다. 그러므로 1 mol의 $\text{H}_2(g)$ 가 연소하여 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 될 때 $\frac{|x|}{2} \text{ kJ}$ 의 열을 방출한다.

ㄴ. 물질의 생성 엔탈피는 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\text{H}_2(g)$ 와 $\text{O}_2(g)$ 로부터 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1 mol이 생성되는 반응 $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 의 반응 엔탈피이다.

그러므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\frac{x}{2} \text{ kJ/mol}$ 이다.

09 생성 엔탈피와 헤스 법칙

물질의 생성 엔탈피는 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다.

ㄱ. 25°C , 1 atm에서 질소의 가장 안정한 물질은 $\text{N}_2(g)$ 이다. 그러므로 $\text{N}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) \longrightarrow \text{N}(g)$ 의 반응

엔탈피이므로 $\text{N}(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\frac{b}{2} \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄴ. 25°C , 1 atm에서 질소와 수소의 가장 안정한 물질은 각

각 $N_2(g)$, $H_2(g)$ 이다. 그러므로 $NH_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g) \longrightarrow NH_3(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 그러므로

$NH_3(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $-\frac{c}{2}$ kJ/mol이다.

㉔. 결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다. 자료에서 2 mol의 $NH_3(g)$ 를 모두 기체 상태의 원자로 만드는 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 다음 열화학 반응식으로 나타낼 수 있다.



NH_3 의 구조식은 $\begin{array}{c} H \\ | \\ H-N-H \end{array}$ 이므로 1 mol의 NH_3 에 N와 H 원

자 사이의 공유 결합(N-H)이 3 mol 있다. 2 mol의 $NH_3(g)$ 에는 N와 H 원자 사이의 공유 결합(N-H)이 6 mol 있으므로 N-H의 결합 에너지는 $\Delta H = \frac{1}{6}(a+b+c)$ kJ/mol이다.

10 결합 에너지와 헤스 법칙

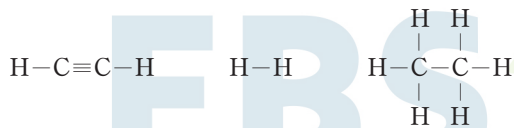
화학 반응이 일어나는 동안에 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피 총합은 같다(헤스 법칙). 결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다.

기체 반응에서 결합 에너지와 헤스 법칙을 이용하여 반응 엔탈피(ΔH)를 구할 수 있다.

반응 엔탈피(ΔH)

= 반응물의 결합 에너지 총합 - 생성물의 결합 에너지 총합

C_2H_2 , H_2 , C_2H_6 의 구조식은 각각 다음과 같다.



그러므로 $C_2H_2(g) + 2H_2(g) \longrightarrow C_2H_6(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)가 a kJ이므로 다음 관계가 성립한다.

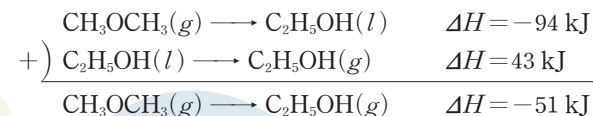
$$a = (2 \times 410 + x + 2 \times 436) - (6 \times 410 + 350)$$

$$a = x - 1118 \text{ 이므로 } x = 1118 + a \text{ 이다.}$$

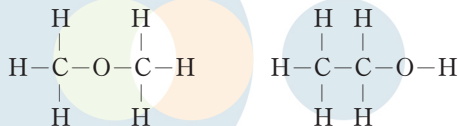
11 결합 에너지와 헤스 법칙

헤스 법칙에 따라 2개의 열화학 반응식을 더하여

$CH_3OCH_3(g) \longrightarrow C_2H_5OH(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)를 구할 수 있다.



CH_3OCH_3 , C_2H_5OH 의 구조식은 각각 다음과 같다.



기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH) = 반응물의 결합 에너지 총합 - 생성물의 결합 에너지 총합이다.

$$\begin{aligned} \text{그러므로 } CH_3OCH_3(g) \longrightarrow C_2H_5OH(g) \text{의} \\ \Delta H &= ((6 \times 410 + 2 \times x) - (5 \times 410 + 350 + x + 460)) \text{ kJ} \\ &= (x - 400) \text{ kJ} = -51 \text{ kJ}, x = 349 \text{ 이다.} \end{aligned}$$

12 생성 엔탈피와 헤스 법칙

✕. 물질의 생성 엔탈피는 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다.

$H(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\Delta H = a$ kJ/mol이므로 $\frac{1}{2}H_2(g) \longrightarrow$

$H(g)$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = a$ kJ이다.

결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이므로 H-H의 결합 에너지(ΔH)는 $H_2(g) \longrightarrow 2H(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 그러므로 H-H의 결합 에너지는 $2a$ kJ/mol이다.

㉔. 생성 엔탈피와 헤스 법칙을 이용하여 반응 엔탈피(ΔH)를 구할 수 있다.

반응 엔탈피(ΔH) = 생성물의 생성 엔탈피 합 - 반응물의 생성 엔탈피 합이므로 $H_2(g) + O(g) \longrightarrow H_2O(l)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(d - (b + 0))$ kJ이므로 $(d - b)$ kJ이다.

✕. $H_2O(g)$ 1 mol에는 O-H 결합이 2 mol 있으므로, O-H의 결합 에너지는 $H_2O(g) \longrightarrow 2H(g) + O(g)$ 반응의 반응 엔탈피(ΔH)의 $\frac{1}{2}$ 에 해당한다.

반응 엔탈피(ΔH) = 생성물의 생성 엔탈피 합 - 반응물의 생성 엔탈피 합이므로 $H_2O(g) \longrightarrow 2H(g) + O(g)$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (2a + b - c)$ kJ이다.

그러므로 O-H의 결합 에너지는 $\frac{1}{2}(2a + b - c)$ kJ/mol이다.

3 점 수능 테스트

본문 84~89쪽

01 ③ 02 ① 03 ① 04 ④ 05 ④ 06 ④ 07 ①
08 ① 09 ⑤ 10 ① 11 ② 12 ⑤

01 열화학 반응식

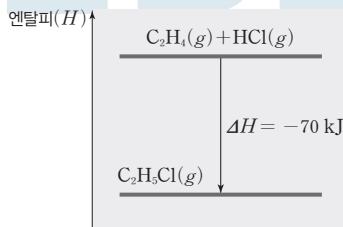
㉠ $AB(g)$ 는 기체 상태의 이원자 분자이다. $AB(g)$ 가 $A(g)$, $B(g)$ 로 되는 반응은 $AB(g)$ 의 A와 B 사이의 공유 결합을 끊는 과정이므로 흡열 반응이다. 그러므로 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 크다($a > 0$).

㉡ 결합을 끊기 위해서는 에너지가 필요하므로 $AB(g)$ 가 $A(g)$, $B(g)$ 로 되는 과정은 흡열 반응이다.

✕ 물질의 생성 엔탈피는 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. A, B는 18족 원소가 아니므로 25 °C, 1 atm에서 A, B의 가장 안정한 상태는 각각 원자 상태인 $A(g)$, $B(g)$ 가 아니므로 $AB(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $-a$ kJ/mol이 아니다.

02 결합 에너지와 헤스 법칙

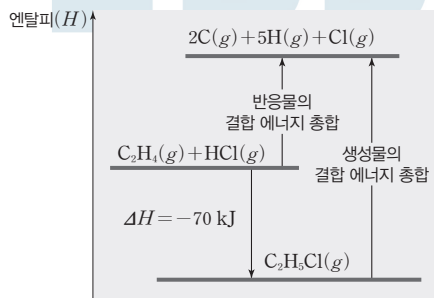
㉠ $C_2H_4(g) + HCl(g) \longrightarrow C_2H_5Cl(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = -70$ kJ < 0로, 그림과 같이 반응 경로에 따른 엔탈피 변화로 나타낼 수 있다.



반응 엔탈피(ΔH)

= 생성물의 생성 엔탈피 합 - 반응물의 생성 엔탈피 합이므로, $C_2H_4(g)$ 과 $HCl(g)$ 의 생성 엔탈피의 합은 $C_2H_5Cl(g)$ 의 생성 엔탈피보다 크다.

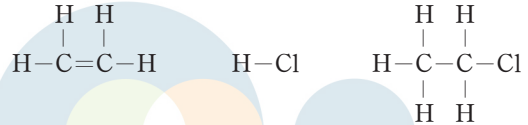
✕ $C_2H_4(g) + HCl(g) \longrightarrow C_2H_5Cl(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)와 결합 에너지의 관계를 그림과 같이 나타낼 수 있다.



기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)

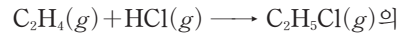
= 반응물의 결합 에너지 총합 - 생성물의 결합 에너지 총합이므로 결합 에너지의 총합은 반응물이 생성물보다 작다.

✕ C_2H_4 , HCl , C_2H_5Cl 의 구조식은 각각 다음과 같다.



결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다.

기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH) = 반응물의 결합 에너지 총합 - 생성물의 결합 에너지 총합이다. 그러므로

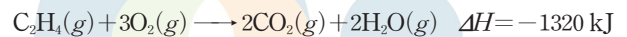
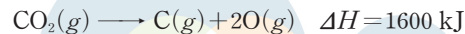


$$\Delta H = ((4x + (350 + y) + 430) - (5x + 350 + 240)) \text{ kJ}$$

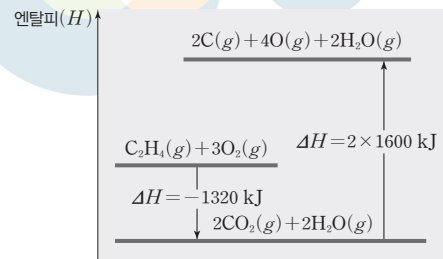
$$= -70 \text{ kJ이다. } -x + y + 190 = -70 \text{이고, } x = y + 260 \text{이다.}$$

03 결합 에너지와 헤스 법칙

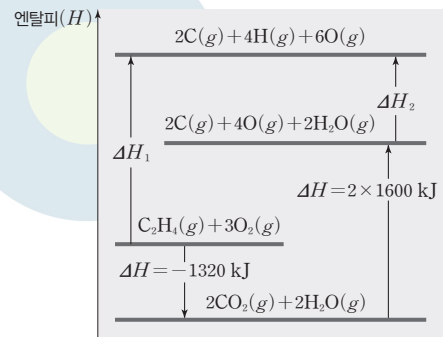
2가지 열화학 반응식



을 그림과 같이 나타낼 수 있다.



또한 주어진 결합 에너지 자료를 이용하여 그림과 같이 반응 경로에 따른 엔탈피 변화를 나타낼 수 있다.



여기에서 ΔH_1 은 $(4x + 610 + 3 \times 500)$ kJ이고, ΔH_2 는 $4y$ kJ이다.

헤스 법칙을 이용하여 다음과 같은 관계를 얻는다.

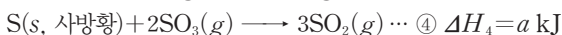
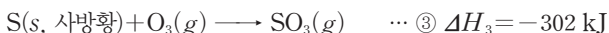
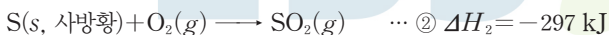
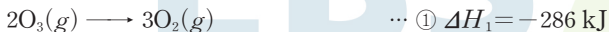
$$-1320 \text{ kJ} = \Delta H_1 - \Delta H_2 - 2 \times 1600 \text{ kJ}$$

$$-1320 = 4x + 610 + 3 \times 500 - 4y - 3200$$

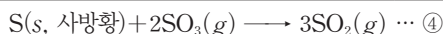
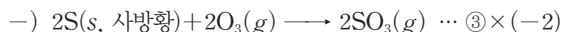
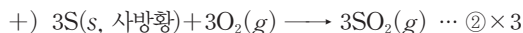
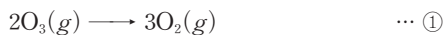
$$4x - 4y = -230 \text{ 이므로 } 2x - 2y = -115 \text{ 이다.}$$

04 생성 엔탈피와 헤스 법칙

4가지 반응식을 각각 ①~④로 두고, ①~④의 반응 엔탈피를 각각 ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 , ΔH_4 로 두면 다음과 같이 나타낼 수 있다.



④ = ① + 3 × ② - 2 × ③의 관계가 성립한다.

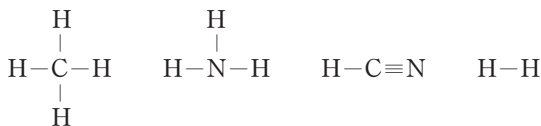


그러므로 $\text{S}(s, \text{사방황}) + 2\text{SO}_3(g) \longrightarrow 3\text{SO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $\Delta H_4 = \Delta H_1 + 3 \times \Delta H_2 - 2 \times \Delta H_3$ 이고,

$$a = -286 + 3 \times (-297) - 2 \times (-302) = -573 \text{ 이다.}$$

05 결합 에너지와 헤스 법칙

CH_4 , NH_3 , HCN , H_2 의 구조식은 각각 다음과 같다.



결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다. 기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH) = 반응물의 결합 에너지 총합 - 생성물의 결합 에너지 총합이다. 그러므로 $\text{CH}_4(g) + \text{NH}_3(g) \longrightarrow \text{HCN}(g) + 3\text{H}_2(g)$ 의 $\Delta H = ((4y + 3 \times 393) - (y + 891 + 3x)) \text{ kJ} = 256 \text{ kJ}$ 이다. $3y - 3x + 288 = 256$ 이고, $3x - 3y = 32$ 이다.

06 헤스 법칙

화학 반응이 일어나는 동안에 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피 총합은 같다(헤스 법칙).

㉠. (가), (나), (다) 모두 발열 반응이라고 하였으므로 $\text{NaOH}(s)$ 이 물에 녹는 것((나) 과정)은 발열 반응이다.

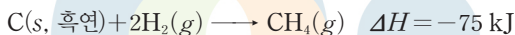
그러므로 $\text{NaOH}(s)$ 이 물에 녹을 때 열이 발생하여 수용액의 온도가 올라간다.

㉡. $\text{H}^+(aq) + \text{OH}^-(aq) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $\text{H}^+(aq)$ 과 $\text{OH}^-(aq)$ 이 각각 1 mol씩 반응하여 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1 mol이 생성되는 과정의 엔탈피 변화(ΔH)이다. (다) 과정에서 $\text{H}^+(aq)$ 과 $\text{OH}^-(aq)$ 이 각각 0.01 mol씩 반응하여 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 0.01 mol이 생성되며 이 과정에서 발생하는 열이 Q_3 이므로, $\text{H}^+(aq) + \text{OH}^-(aq) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $-100Q_3$ 이다.

㉢. 헤스 법칙에 의해 (가) 과정으로 0.1 M $\text{NaCl}(aq)$ 100 mL가 될 때 발생한 열은 (나) 및 (다) 과정으로 0.1 M $\text{NaCl}(aq)$ 100 mL가 되는 과정에서 발생한 열의 합과 같다. 그러므로 $Q_1 = Q_2 + Q_3$ 이므로 $Q_3 = Q_1 - Q_2$ 이다.

07 생성 엔탈피와 헤스 법칙

물질의 생성 엔탈피는 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. $\text{CH}_4(g)$, $\text{H}_2\text{O}(l)$, $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피를 이용하여 각각 다음과 같이 열화학 반응식으로 나타낼 수 있다.



㉠. $\text{C}(s, \text{흑연})$ 1 mol의 완전 연소 반응을 화학 반응식으로 나타내면 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g)$ 이다. 그러므로 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 1 mol이 완전 연소할 때 반응 엔탈피(ΔH)는 -394 kJ 이므로 394 kJ의 열을 방출한다.

㉡. 화학 반응이 일어나는 동안에 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피 총합은 같다(헤스 법칙).

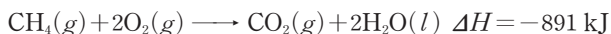
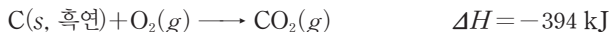
물질의 생성 엔탈피 자료와 헤스 법칙을 이용하여 반응 엔탈피(ΔH)를 구할 수 있다.

반응 엔탈피(ΔH)

= 생성물의 생성 엔탈피 합 - 반응물의 생성 엔탈피 합

그러므로 $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 반응 엔탈피(ΔH) = ($\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피 + $2 \times \text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피) - ($\text{CH}_4(g)$ 의 생성 엔탈피 + $2 \times \text{O}_2(g)$ 의 생성 엔탈피) = $(-394 \text{ kJ} + 2 \times (-286 \text{ kJ})) - (-75 \text{ kJ} + 0) = -891 \text{ kJ}$ 이다.

㉢. $\text{C}(s, \text{흑연})$ 과 $\text{CH}_4(g)$ 의 완전 연소를 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



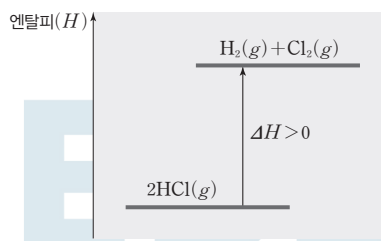
C(s, 흑연) 1g은 $\frac{1}{12}$ mol, CH₄(g) 1g은 $\frac{1}{16}$ mol이므로

C(s, 흑연) 1g, CH₄(g) 1g이 각각 완전 연소할 때 발생하는 열은 각각 $\frac{394}{12}$ kJ, $\frac{891}{16}$ kJ이다. 그러므로 물질 1g이 완전 연소할 때 발생하는 열은 CH₄(g)에서가 C(s, 흑연)에서보다 크다.

08 생성 엔탈피와 헤스 법칙

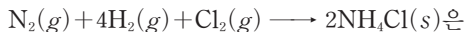
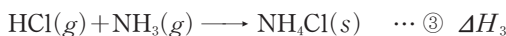
㉠. 물질의 생성 엔탈피는 물질 1mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. NH₃(g)의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NH}_3(\text{g})$ 의 반응 엔탈피이므로 NH₃(g)의 생성 엔탈피(ΔH)는 -46 kJ/mol이다.

✕. $2\text{HCl}(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H > 0$ 이므로 그림과 같이 나타낼 수 있다.



그러므로 HCl(g) 2mol의 엔탈피는 H₂(g) 1mol과 Cl₂(g) 1mol의 엔탈피의 합보다 작다.

✕. 주어진 3가지 화학 반응식을 각각 ①~③으로, 각 반응의 엔탈피 변화(ΔH)를 각각 ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 으로 두면 다음과 같다.



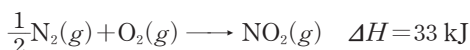
①-②+2×③에 해당하고, 이 반응의 반응 엔탈피

$$\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 + 2 \times \Delta H_3 \text{이므로}$$

$$\Delta H = (-92 - 184 + 2 \times (-177)) \text{ kJ} = -630 \text{ kJ이다.}$$

09 생성 엔탈피와 헤스 법칙

물질의 생성 엔탈피는 물질 1mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. N(g), NO₂(g), N₂O₄(g)의 생성 엔탈피 자료는 각각 다음과 같이 열화학 반응식으로 나타낼 수 있다.



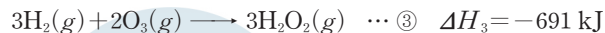
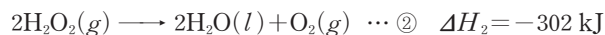
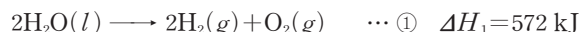
㉠. 결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다. N₂의 결합 에너지는 $\text{N}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{N}(\text{g})$ 의 반응 엔탈피이므로 $(2 \times 471) \text{ kJ/mol} = 942 \text{ kJ/mol}$ 이다.

㉡. 반응 엔탈피(ΔH)=생성물의 생성 엔탈피 합-반응물의 생성 엔탈피 합이므로 $\text{N}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g})$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (33 - (471 + 0)) \text{ kJ} = -438 \text{ kJ}$ 이다.

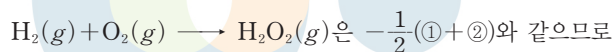
㉢. 반응 엔탈피(ΔH)=생성물의 생성 엔탈피 합-반응물의 생성 엔탈피 합이므로 $2\text{NO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (9 - 2 \times 33) \text{ kJ} = -57 \text{ kJ}$ 이다.

10 생성 엔탈피와 헤스 법칙

주어진 자료를 각각 화학 반응식 ①~③으로, 각 반응의 반응 엔탈피를 각각 ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 으로 두면 다음과 같다.



물질의 생성 엔탈피는 물질 1mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. H₂O₂(g)의 생성 엔탈피는 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2(\text{g})$ 의 반응 엔탈피이고,



H₂O₂(g)의 생성 엔탈피는

$$\Delta H = -\frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H_2) = -\frac{1}{2}(572 - 302) \text{ kJ/mol이고,}$$

$a = -135$ 이다. 반응 엔탈피(ΔH)=생성물의 생성 엔탈피 합-반응물의 생성 엔탈피 합이므로 ③의 반응 엔탈피(ΔH_3)로부터 O₃(g)의 생성 엔탈피를 구할 수 있다.

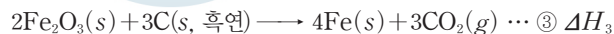
$$\Delta H_3 = 3 \times (\text{H}_2\text{O}_2(\text{g}) \text{의 생성 엔탈피}) - 2 \times (\text{O}_3(\text{g}) \text{의 생성 엔탈피})$$

$$\text{이므로 } -691 = 3 \times (-135) - 2b \text{이고, } b = 143 \text{이다.}$$

그러므로 $a + b = 8$ 이다.

11 헤스 법칙

주어진 자료를 각각 화학 반응식 ①~③으로 두고, 각 반응의 반응 엔탈피를 각각 ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 으로 두면 다음과 같다.



Fe(s)과 O₂(g)로부터 1mol의 Fe₂O₃(s)이 생성되는 반응의 화학 반응식은 $2\text{Fe(s)} + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ 이고, 반응

엔탈피(ΔH_4 라고 두면)는 Fe₂O₃(s)의 생성 엔탈피에 해당한다.

반응 엔탈피(ΔH)=생성물의 생성 엔탈피 합-반응물의 생성

엔탈피 합이므로 다음 관계가 성립한다.

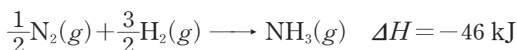
$$\Delta H_3 = 3 \times (\text{CO}_2(g) \text{의 생성 엔탈피}) - 2 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3(s) \text{의 생성 엔탈피})$$

$\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피이므로 $\Delta H = \frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H_2) = -394 \text{ kJ/mol}$ 이다.

$\Delta H_3 = 472 \text{ kJ} = 3 \times (-394 \text{ kJ}) - 2 \times \Delta H_4$, $\Delta H_4 = -827 \text{ kJ}$ 이다. 그러므로 25°C , 1 atm 에서 $\text{Fe}(s)$ 이 $\text{O}_2(g)$ 와 반응하여 1 mol 의 $\text{Fe}_2\text{O}_3(s)$ 이 생성되는 화학 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 -827 kJ 이다.

12 생성 엔탈피와 헤스 법칙

물질의 생성 엔탈피는 물질 1 mol 이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. $\text{NH}_3(g)$, $\text{N}_2\text{H}_4(l)$, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피 자료는 각각 다음과 같이 열화학 반응식으로 나타낼 수 있다.



✕. $\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{NH}_3(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + \frac{3}{2}\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{NH}_3(g)$ 의 반응 엔탈피의 2배이므로 -92 kJ 이다.

㉠. 반응 엔탈피(ΔH) = 생성물의 생성 엔탈피 합 - 반응물의 생성 엔탈피 합이므로

$4\text{NH}_3(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{N}_2\text{H}_4(l) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (2 \times 51 + 2 \times (-286) - 4 \times (-46)) \text{ kJ} = -286 \text{ kJ}$ 이다.

㉡. $\text{N}_2(g) + a\text{NH}_3(g) \longrightarrow b\text{N}_2\text{H}_4(l)$ 을 완결시키면 $\text{N}_2(g) + 4\text{NH}_3(g) \longrightarrow 3\text{N}_2\text{H}_4(l)$ 이다.

반응 엔탈피(ΔH) = 생성물의 생성 엔탈피 합 - 반응물의 생성 엔탈피 합이므로

$\text{N}_2(g) + 4\text{NH}_3(g) \longrightarrow 3\text{N}_2\text{H}_4(l)$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (3 \times 51 - 4 \times (-46)) \text{ kJ} = 337 \text{ kJ}$ 이다.

05 화학 평형과 평형 이동

2점 수능 테스트

본문 101~105쪽

01 ④ 02 ④ 03 ④ 04 ⑤ 05 ② 06 ⑤ 07 ①
08 ② 09 ② 10 ③ 11 ③ 12 ④ 13 ③ 14 ⑤
15 ④ 16 ⑤ 17 ③ 18 ④ 19 ⑤ 20 ⑤

01 화학 평형 상태

㉠. $\frac{[C]}{[A][B]^2}$ 는 반응 지수(Q)이므로 평형 상태에 도달하기까지 증가하다가 평형 상태에서는 평형 상수(K)와 같아진다.

✕. 화학 평형 상태는 동적 평형 상태이므로 겉으로 보기에 반응이 정지된 것처럼 보이지만 반응이 정지된 것이 아니라 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나고 있는 상태이다.

㉡. 화학 평형 법칙에 따라 일정한 온도에서 평형 상태에 도달한 후 평형 상수(K) = $\frac{[C]}{[A][B]^2}$ 는 일정하다.

02 화학 반응식과 평형 상수

이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

| | | | |
|---------|--|--------|-------|
| | $\text{A}(g) + 3\text{B}(g) \rightleftharpoons 2\text{C}(g)$ | | |
| 반응 전(M) | 1 | 3 | 0 |
| 반응(M) | $-x$ | $-3x$ | $+2x$ |
| 평형(M) | $1-x$ | $3-3x$ | $2x$ |

평형 상태에 도달했을 때 $[\text{B}] : [\text{C}] = 3 : 2$ 이므로

$(3-3x) : 2x = 3 : 2$ 에서 $x = \frac{1}{2}$ 이고, $[\text{A}] \sim [\text{C}]$ 는 각각 $\frac{1}{2} \text{ M}$,

$\frac{3}{2} \text{ M}$, 1 M 이다. 따라서 $K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]^3} = \frac{16}{27}$ 이다.

03 평형 이동

정반응이 흡열 반응일 때 온도를 낮추면 역반응 쪽으로 평형이 이동하고, 온도를 높이면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

✕. 정반응이 흡열 반응이므로 온도를 높일 때 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 정반응이 우세하게 일어난다.

㉠. 반응물의 계수보다 생성물의 계수가 크므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하면 시험관 속 전체 기체의 양(mol)이 증가하여 압력은 증가한다.

㉡. 정반응 쪽으로 평형이 이동하면 적갈색의 $\text{NO}_2(g)$ 의 농도가 증가하여 시험관 속 전체 기체의 색깔은 진해진다.

04 화학 평형과 평형 상수

반응이 진행되면 A와 B의 양(mol)은 감소하고 C의 양(mol)은 증가한다.

㉠ ●와 ○의 양(mol)은 (나) > (가)이고, ☆의 양(mol)은 (가) > (나)이므로 ●와 ○는 각각 A와 B 중 하나이고, ☆은 C이다.

㉡ C(☆)의 양(mol)이 (다) < (나) < (가)이므로 반응 경과의 순서는 (다) - (나) - (가)이다.

㉢ C(☆)의 양(mol)이 가장 큰 (가)가 평형 상태이다. 용기의 부피를 V L, 모형 1개의 양을 n mol이라고 하면, 온도 T 에서

$$\text{농도로 정의되는 평형 상수}(K) = \frac{\left(\frac{6n}{V}\right)^2}{\frac{2n}{V} \times \frac{3n}{V}} = 6 \text{이다.}$$

05 평형 이동과 촉매

같은 온도에서 어떤 반응의 평형 상수(K)는 일정하다. 촉매는 정반응 속도와 역반응 속도를 변화시킬 뿐 평형 이동을 일으키지 않고, 평형 상태에서 반응물의 농도를 증가시키면 평형은 정반응 쪽으로 이동한다.

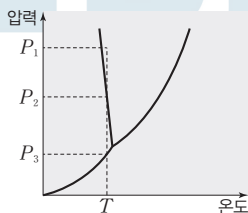
ㄱ. $A(g)$ 를 추가하여 $[A]$ 가 증가하면 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 $[B]$ 는 감소하고 $[C]$ 는 증가한다. 따라서 $\frac{[C]}{[B]}$ 는 점점 증가한다. 그러나 촉매를 첨가하면 평형 이동이 일어나지 않으므로 $\frac{[C]}{[B]}$ 는 일정하다.

ㄴ. $A(g)$ 를 추가하여 $[A]$ 가 증가하면 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 새로운 평형 상태에 도달하기 전까지 정반응이 우세하게 일어난다. 그러나 촉매를 첨가하면 평형 이동이 일어나지 않으므로 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 상태가 유지된다.

㉠ 같은 온도에서는 촉매 존재 여부나 물질의 농도와 관계없이 어떤 반응의 평형 상수는 동일하므로 촉매를 첨가하거나 $A(g)$ 를 추가해도 평형 상수(K)는 변하지 않는다.

06 상평형

같은 온도에서 압력이 감소하며 안정한 상의 수가 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 2$ 로 변하는 경우는 그림과 같다.



㉠ 압력이 감소하며 안정한 상의 수가 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 2$ 로 변할 수 있는 온도 T 는 삼중점에서의 온도보다 낮다.

㉡ 압력이 P_2 일 때 온도 T 에서 고체와 액체가 상평형을 이루고 있으므로 P_2 에서 녹는점은 T 이다.

㉢ 온도 T 에서 고체와 기체가 상평형을 이루고 있는 압력 P_3 은 삼중점에서의 압력보다 낮다.

07 화학 평형과 몰 분율

이 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | |
|-----------|---------------------------------|-------|
| | $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ | |
| 반응 전(mol) | n | 0 |
| 반응(mol) | $-y$ | $+2y$ |
| 평형(mol) | $n-y$ | $2y$ |

평형 상태에 도달했을 때 B의 몰 분율은 $\frac{2y}{(n-y)+2y} = \frac{3}{4}$ 이므로

로 $y = \frac{3}{5}n$ 이고, 따라서 A의 양(mol)은 $\frac{2}{5}n$, B의 양(mol)은 $\frac{6}{5}n$ 이다. 용기 속 기체의 부피는 1 L이므로

$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{6}{5}n\right)^2}{\frac{2}{5}n} = \frac{1}{2} \text{에서 } n = \frac{5}{36} \text{이다.}$$

08 평형 이동

화학 평형에서 반응물이나 생성물의 농도를 높이면 그 물질의 농도를 낮추는 방향으로 평형이 이동하고, 압력을 높이면 압력을 낮추는 방향으로 평형이 이동한다. 반응 $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ 에서 생성물의 계수가 반응물의 계수보다 크므로 압력을 높이면 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

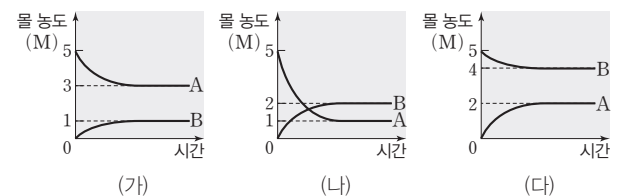
ㄱ. He를 소량 넣어도 A와 B의 농도는 변하지 않으므로 평형 이동은 일어나지 않는다.

㉠ A를 소량 넣으면 반응물의 농도를 증가시킨 것이므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄴ. 고정 장치를 풀고 부피를 $\frac{1}{2}V$ L로 감소시킨 후 다시 고정 장치를 잠그면 압력을 증가시킨 것이므로 압력을 감소시키기 위해 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

09 평형 상수와 온도

화학 반응식의 계수비는 반응 몰비와 같으므로 (가)~(다)에서 A와 B는 그림과 같다.



정반응이 발열 반응이므로 온도가 높을 때가 낮을 때보다 평형 상수(K)가 작다. (가)~(다)의 K 는 각각 $\frac{1}{9}\left(=\frac{1}{3^2}\right)$, $2\left(=\frac{2}{1^2}\right)$, $1\left(=\frac{4}{2^2}\right)$ 이므로 $T_1 > T_3 > T_2$ 이다.

10 평형 이동

화학 반응식에서 반응물의 계수가 생성물의 계수보다 작으므로 압력을 낮추면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 생성물의 계수가 반응물의 계수보다 크므로 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 가 생성되면 점점 기체의 양(mol)이 증가하게 된다. 따라서 (가)에서 기체의 부피는 1 L이지만 (나)에서 기체의 부피는 1 L보다 크므로 (나)는 (가)에서 압력을 감소시켜 도달한 새로운 평형 상태와 같다.

㉠. (가)와 (나)의 온도가 같으므로 평형 상수에 해당하는 $\frac{[B]^2}{[A]}$ 은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

㉡. (나)는 (가)에서 압력을 감소시켜 도달한 새로운 평형 상태와 같으므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한 것이다. 따라서 B의 몰 분율은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

✕. (나)는 (가)에서 부피가 증가하여 [B]가 크게 감소한 후 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 다시 [B]가 소폭 증가한 평형 상태와 같다. 결과적으로 [B]는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

11 평형 상수와 양적 관계

평형 상태에서 $[B]=1\text{ M}$ 이므로 이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

| | | |
|---------|---------------------------------|----|
| | $A(g) \rightleftharpoons bB(g)$ | |
| 반응 전(M) | 1 | 0 |
| 반응(M) | $-\frac{1}{b}$ | +1 |
| 평형(M) | $1-\frac{1}{b}$ | 1 |

$[A]=1-\frac{1}{b}=x$ 이고, $K=\frac{1^b}{1-\frac{1}{b}}=2$ 이므로 $b=2$, $x=\frac{1}{2}$ 이다.

다. 따라서 $b \times x=1$ 이다.

12 평형 상수와 양적 관계

반응 $A(g)+3B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 의 평형 상수(K)= $\frac{[C]^2}{[A][B]^3}$ 이다.

✕. $K=\frac{[C]^2}{[A][B]^3}=\frac{9}{2}$ 이므로 $[A] \sim [C]$ 는 각각 2 M, 1 M, 3 M인 경우에 해당한다. 따라서 $[A]=2\text{ M}$ 이다.

㉠. 반응 전 A와 B의 몰 농도(M)를 각각 a , b 라고 할 때, 이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

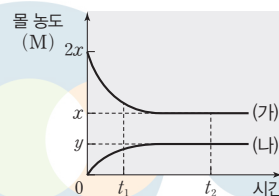
| | | | |
|---------|---|--------|-------|
| | $A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ | | |
| 반응 전(M) | a | b | 0 |
| 반응(M) | $-x$ | $-3x$ | $+2x$ |
| 평형(M) | $a-x$ | $b-3x$ | $2x$ |

$a-x=2$, $b-3x=1$, $2x=3$ 이므로 $a=\frac{7}{2}$, $b=\frac{11}{2}$ 이다.

따라서 (가)에서 B(g)의 몰 분율은 $\frac{11}{18}$ 이다.

㉡. 같은 온도에서 기체의 압력은 몰 농도(M)에 비례한다. [A]는 (가) : (나) = $\frac{7}{2} : 2 = 7 : 4$ 이므로 A의 부분 압력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{7}{4}$ 배이다.

13 화학 평형과 양적 관계



화학 반응식의 계수비는 반응 몰비와 같다.

㉠. 초기 상태에서 평형 상태에 도달하기까지 (가)의 몰 농도(M)가 x 감소할 때 (나)의 몰 농도(M)는 x 보다 작게 증가했다. 반응 몰비가 $A : B = 2 : 1$ 이므로 (가)와 (나)는 각각 A와 B이고, $y=\frac{1}{2}x$ 이다.

㉡. 강철 용기에 $A(g)$ 를 넣고 반응이 진행되는 데 t_1 에서는 평형 상태에 도달하지 않았으므로 정반응이 우세하게 일어난다.

✕. t_1 은 평형 상태에 도달하기 전이고, t_2 는 평형 상태에 도달한 후이다. 반응 지수($Q=\frac{[B]}{[A]^2}$)는 평형 상태에 도달하기 전까지 증가하다가 평형 상태에서 가장 큰 값($=K$)이 되므로 $\frac{[B]}{[A]^2}$ 은 t_2 에서가 t_1 에서보다 크다.

14 상평형

㉠. 삼중점의 온도보다 낮은 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 안정한 상이 기체이므로 P_1 은 삼중점의 압력보다 낮다. 따라서 $P_1 < 5.1$ 이다.

㉡. 삼중점의 온도보다 높은 온도에서 액체가 안정한 상일 수 있으므로 $t_2 > -56.6$ 이다.

㉔ 삼중점의 온도보다 높은 $t_2^\circ\text{C}$, 삼중점의 압력보다 낮은 $P_1\text{ atm}$ 에서 CO_2 의 안정한 상은 기체이다.

15 평형 이동

화학 반응식에서 반응물의 계수가 생성물의 계수보다 크므로 압력을 증가시키면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

✕. (가)에서 B의 양은 $x \times \frac{20}{1000} = \frac{x}{50}\text{ mol}$ 이다. 압력을 증가시키면 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 새로운 평형 상태에서 B의 양은 $\frac{x}{50}\text{ mol}$ 보다 크다.

㉑. 평형 이동이 없다면 압력을 2배로 증가시킬 때 부피가 $\frac{1}{2}$ 배가 되어 $[A]=2x\text{ M}$ 이지만 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 $[A]<2x\text{ M}$ 이다.

㉔. 온도가 같으면 평형 상수는 일정하다. 따라서 새로운 평형 상태에서의 평형 상수는 (가)에서의 평형 상수 $\left(= \frac{x}{x^2} = \frac{1}{x}\right)$ 와 같으므로 $K = \frac{1}{x}$ 이다.

16 화학 평형과 평형 상수

평형 상태에 도달하기 전까지 정반응이 우세하다가 B의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$ 일 때 평형 상태에 도달한다.

㉑. A의 몰 분율이 $\frac{3}{4}$ 일 때는 B의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$ 일 때이다. B의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$ 일 때 평형 상태에 도달하였으므로 B의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$ 일 때는 정반응이 우세하게 일어난다.

㉒. 이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

| | | |
|---------|---|----------------|
| | $2\text{A(g)} \rightleftharpoons \text{B(g)}$ | |
| 반응 전(M) | 1 | 0 |
| 반응(M) | $-x$ | $+\frac{x}{2}$ |
| 평형(M) | $1-x$ | $\frac{x}{2}$ |

평형 상태에서 B의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$ 이므로 $\frac{\frac{x}{2}}{(1-x) + \frac{x}{2}} = \frac{1}{3}$ 에서

$x = \frac{1}{2}$ 이다. 따라서 $[A] = \frac{1}{2}\text{ M}$ 이다.

㉔. $K = \frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = 1$ 이다.

17 평형 이동

최대한 정반응 쪽으로 평형이 이동되는 조건에서 C의 몰 분율이 가장 크다. 정반응이 발열 반응이므로 온도를 낮추면 정반응 쪽으로 평형이 이동하고, 화학 반응식에서 반응물의 계수의 합이 생성물의 계수보다 크므로 압력을 증가시키면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 촉매는 정반응 속도와 역반응 속도를 동시에 변화시킬 뿐 평형 이동을 일으키지 않는다. 따라서 온도가 가장 낮고 압력이 가장 높은 조건인 $T\text{ K}$, $(P+0.1)\text{ atm}$ 에서 C의 몰 분율이 가장 크다.

18 상평형

온도 T_2 에서 안정한 상의 수가 3이므로 T_2 는 삼중점에서의 온도이다.

㉑. $T_1 > T_2$ 이므로 T_1 은 삼중점에서의 온도보다 높다.

✕. $T_1 > T_2$ 인 T_1 에서 증기압이 P 이고 안정한 상의 수가 2이므로 (가)는 액체와 기체가 상평형을 이루고 있는 상태이다. 따라서 (가)에서 H_2O 의 안정한 상은 액체와 기체이다.

㉔. 온도 T_1 의 (가)와 (나)에서 모두 H_2O 의 안정한 상의 수가 2이므로 액체와 기체가 상평형을 이루고 있는 상태이다. 같은 온도의 액체와 기체의 상평형 상태에서 H_2O 의 양과 관계없이 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 압력은 같으므로 (나)에서 용기 속 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 압력은 P 이다.

19 평형 이동

화학 반응식에서 반응물의 계수가 생성물의 계수의 합보다 작으므로 정반응 쪽으로 평형이 이동할 때 용기 속 전체 기체의 압력이 증가한다.

㉑. 일정 부피의 용기에서 일정량의 기체의 온도가 감소하면 압력도 감소한다. 그런데 (가)와 (나)를 비교해 보면 낮은 온도에서 도달한 평형 상태에서 높은 온도에서 도달한 평형 상태에서보다 오히려 용기 속 전체 기체의 압력이 높다. 온도를 낮출 때 정반응 쪽으로 평형이 이동한 것이므로 정반응은 발열 반응이다. 따라서 $\Delta H < 0$ 이다.

㉒. (나)가 (가)에 비해 정반응 쪽으로 평형이 이동된 상태이므로 A의 몰 분율은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

㉔. 정반응이 발열 반응이므로 온도가 낮을 때가 높을 때보다 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 K 가 더 크다. 따라서 K 는 t_2 에서 t_1 에서보다 크다.

20 평형 상수와 양적 관계

화학 반응식의 계수비는 반응 몰비와 같으므로 A(g) 와 B(g) 의 반응 몰비는 1 : 2이다. 반응 전 A(g) 와 B(g) 의 양(mol)은 같고, 반응 몰비가 1 : 2이므로 반응이 일어나기 시작하면 기체의 양(mol)은 $\text{A} > \text{B}$ 이다. 따라서 (가)에서 $[\text{A}] : [\text{B}] : [\text{C}] = 3 : 2 : 2$ 이고, (나)에서 $[\text{A}] : [\text{B}] : [\text{C}] = 2 : 1 : 2$ 이다.

(가)에서 반응의 농도 변화는 다음과 같다.

$$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$$

| | | | |
|---------|-------|--------|-------|
| 반응 전(M) | 1 | 1 | 0 |
| 반응(M) | $-x$ | $-2x$ | $+2x$ |
| 반응 후(M) | $1-x$ | $1-2x$ | $2x$ |

$[B]=[C]$ 이므로 $1-2x=2x$ 에서 $x=\frac{1}{4}$ 이다.

(나)에서 반응의 농도 변화는 다음과 같다.

$$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$$

| | | | |
|---------|-------|--------|-------|
| 반응 전(M) | 1 | 1 | 0 |
| 반응(M) | $-y$ | $-2y$ | $+2y$ |
| 반응 후(M) | $1-y$ | $1-2y$ | $2y$ |

$[A]=[C]$ 이므로 $1-y=2y$ 에서 $y=\frac{1}{3}$ 이다.

$y>x$ 이므로 (나)가 (가)보다 반응이 더 진행된 상태이다. 따라서

평형 상태는 (나)이고, $K = \frac{\left(\frac{2}{3}\right)^2}{\frac{2}{3} \times \left(\frac{1}{3}\right)^2} = 6$ 이다.

3 점 수능 테스트

본문 106~115쪽

- 01 ⑤ 02 ② 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ③ 06 ⑤ 07 ④
 08 ④ 09 ⑤ 10 ③ 11 ④ 12 ⑤ 13 ① 14 ③
 15 ⑤ 16 ⑤ 17 ⑤ 18 ③ 19 ⑤ 20 ③

01 화학 평형과 몰 분율

이 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

$$2A(g) \rightleftharpoons B(g) + 3C(g)$$

| | | | |
|-----------|--------|------|-------|
| 반응 전(mol) | 1 | 0 | 0 |
| 반응(mol) | $-2x$ | $+x$ | $+3x$ |
| 평형(mol) | $1-2x$ | x | $3x$ |

㉠. 평형 상태에 도달했을 때 A의 몰 분율은

$\frac{1-2x}{(1-2x)+x+3x} = \frac{1}{3}$ 이므로 $x=\frac{1}{4}$ 이다.

㉡. 평형 상태에서 A, B, C의 양은 각각 $\frac{1}{2}$ mol, $\frac{1}{4}$ mol, $\frac{3}{4}$ mol

이므로 $K = \frac{[B][C]^3}{[A]^2} = \frac{\frac{1}{4} \times \left(\frac{3}{4}\right)^3}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{27}{64} < 1$ 이다.

㉢. 같은 온도와 부피에서 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례한다. 용기 속 전체 기체의 양(mol)은 평형에서가 반응 전의 1.5 배이므로 평형 상태에서 용기 속 전체 기체의 압력은 반응 전 용

기 속 전체 기체의 압력의 1.5배인 $1.5P$ atm이다.

02 평형 상수와 평형 농도

평형 상태에서 어떤 물질의 농도를 증가시키면 그 물질의 농도가 감소하는 방향으로 평형이 이동한다. 반응 $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$

의 평형 상수(K) = $\frac{[B][C]}{[A]^2}$ 이다.

ㄱ. (다)에서 $[A] : [C] = 2 : 1$ 이므로 $K = \frac{[B][C]}{[A]^2} = \frac{[B]}{[A]} \times$

$\frac{[C]}{[A]} > \frac{1}{2}$ 에서 $\frac{[B]}{[A]} > 1$ 이다. (다)에서 $[B] > [A] = 2[C]$ 이므로 $[B] > [C]$ 이다. (나)에 추가한 X가 A이면 (다)에서 $[B] = [C]$ 이어야 하고, X가 C이면 (다)에서 $[C] > [B]$ 이어야 하는데 (다)에서 $[B] > [C]$ 이므로 (나)에 추가한 X는 B이다.

ㄴ. 이 반응의 화학 반응식에서 반응물의 계수와 생성물의 계수의 합이 같으므로 반응 중 전체 기체의 양(mol)은 일정하다. 따라서 전체 기체의 양(mol)은 (가)와 (나)에서 2 mol, (다)에서 3 mol이다. 또한 (나)에서 B가 추가되었으므로 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 C의 양(mol)은 감소한다. 따라서 전체 기체의 양(mol)은 (다) > (나)이고, C의 양(mol)은 (나) > (다)이므로 C의 몰 분율은 (나) > (다)이다.

㉠. (나)에 B 1 mol을 추가할 때 도달하는 평형 상태는 (가)에 B 1 mol을 추가할 때 도달하는 평형 상태와 같다.

이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

$$2A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$$

| | | | |
|---------|--------|-------|------|
| 반응 전(M) | 2 | 1 | 0 |
| 반응(M) | $-2x$ | $+x$ | $+x$ |
| 평형(M) | $2-2x$ | $1+x$ | x |

(다)에서 $[A] : [C] = 2 : 1$ 이므로 $(2-2x) : x = 2 : 1$ 에서 $x = \frac{1}{2}$

이고, $[A] \sim [C]$ 는 각각 1 M, $\frac{3}{2}$ M, $\frac{1}{2}$ M이다.

따라서 $K = \frac{[B][C]}{[A]^2} = \frac{3}{4}$ 이다.

03 평형 상수와 평형 농도

(나)에서 $K = \frac{[C]^2}{[A][B]^2} = \frac{z^2}{y \times z^2} = \frac{1}{y} = 4$ 이므로 $y = \frac{1}{4}$ 이다. 따라서 이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

$$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$$

| | | | |
|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| 반응 전(M) | 1 | 2x | x |
| 반응(M) | $-\frac{3}{4}$ | $-2 \times \frac{3}{4}$ | $+2 \times \frac{3}{4}$ |
| 평형(M) | $\frac{1}{4}$ | $2x - \frac{3}{2}$ | $x + \frac{3}{2}$ |

(나)에서 $[B]=[C]$ 이므로 $2x-\frac{3}{2}=x+\frac{3}{2}$ 에서 $x=3$ 이고,

$$z=2x-\frac{3}{2} \text{에서 } z=\frac{9}{2} \text{이다. 따라서 } \frac{z}{x \times y} = \frac{\frac{9}{2}}{3 \times \frac{1}{4}} = 6 \text{이다.}$$

04 평형 상수와 반응 지수

화학 평형에서 초기 농도가 달라질 때 반응물과 생성물의 평형 농도는 화학 평형 법칙에 의해 결정된다. I에서 반응의 농도 변화는 다음과 같다.

| | | |
|---------------------------------|-----------------|------|
| $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ | | |
| 반응 전(M) | 1 | 0 |
| 반응(M) | $-\frac{x}{2}$ | $+x$ |
| 평형(M) | $1-\frac{x}{2}$ | x |

II에서 반응의 농도 변화는 다음과 같다.

| | | |
|---------------------------------|-----------------|------|
| $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ | | |
| 반응 전(M) | 2 | 0 |
| 반응(M) | $-\frac{y}{2}$ | $+y$ |
| 평형(M) | $2-\frac{y}{2}$ | y |

㉠. I에서 평형 상수(K) = $\frac{x^2}{1-\frac{x}{2}} = \frac{2x^2}{2-x}$ 이다.

㉡. II에서 B의 양이 $2x$ mol일 때의 반응 지수(Q) = $\frac{2 \times (2x)^2}{4-2x} = \frac{4x^2}{2-x}$ 이고, 이는 I에서의 K ($= \frac{2x^2}{2-x}$)보다 크므로 이때 역반응이 우세하게 진행된다. 따라서 $y < 2x$ 이다.

㉢. I에서 평형 상태에서 용기 속 전체 기체의 양은 $(1-\frac{x}{2})+x = \frac{2+x}{2}$ mol이고, II에서 B의 양이 $2x$ mol일 때 용기 속 전체

기체의 양은 $(2-\frac{2x}{2})+2x=(2+x)$ mol이므로 용기 속 전체 기체의 양은 II에서 B의 양이 $2x$ mol일 때가 I에서 평형 상태일 때의 2배이다. II에서 B의 양이 $2x$ mol일 때 $Q > K$ 이므로 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 II의 평형 상태에서 용기 속 전체 기체의 양은 $(2+x)$ mol보다 작다. 따라서 평형 상태에서 용기 속 전체 기체의 압력은 II에서가 I에서의 2배보다 작다.

05 평형 이동

(가)에서 온도 T_1 에서 농도로 정의되는 평형 상수(K) = $\frac{2^2}{1 \times 1} = 4$ 이다. (나)에서 반응의 농도 변화는 다음과 같다.

| | | | |
|--|-------|-------|--------|
| $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ | | | |
| 반응 전(M) | 2 | 1 | 2 |
| 반응(M) | $-x$ | $-x$ | $+2x$ |
| 평형(M) | $2-x$ | $1-x$ | $2+2x$ |

같은 온도에서 평형 상수는 일정하므로 $\frac{(2+2x)^2}{(2-x) \times (1-x)} = 4$ 에서 $x=0.2$ 이다. 따라서 (나)에서 $[A] \sim [C]$ 는 각각 1.8 M, 0.8 M, 2.4 M이다.

㉠. 화학 반응식에서 반응물의 계수의 합과 생성물의 계수가 같으므로 실린더의 부피를 변화시켜 기체의 압력이 달라지게 하여도 평형 이동이 일어나지 않는다. 따라서 (다)는 (나)에서 부피를 $\frac{1}{2}$ 배로 감소시킨 것이므로 실린더 속 전체 기체의 압력은 (다)에서 (나)에서의 2배이다.

㉡. (다)에서 $[B]$ 는 (나)의 2배인 1.6 M이다.

✕. (나)와 (다)에서 $[C] > [A] > [B]$ 인데 (라)에서 $[A] > [C] > [B]$ 이므로 (다)에서 (라)로 변하는 과정에서 역반응 쪽으로 평형이 이동한 것이다. 정반응이 발열 반응이므로 온도를 높일 때 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 $T_2 > T_1$ 이다.

06 평형 상수와 양적 관계

(가)에서 반응의 농도 변화는 다음과 같다.

| | | | |
|--|-------|----------------|----------------|
| $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$ | | | |
| 반응 전(M) | C | 0 | 0 |
| 반응(M) | $-y$ | $+\frac{y}{2}$ | $+\frac{y}{2}$ |
| 평형(M) | $C-y$ | $\frac{y}{2}$ | $\frac{y}{2}$ |

$$K = \frac{\left(\frac{y}{2}\right)^2}{(C-y)^2} = 1 \text{에서 } \frac{y}{2} = C-y \text{이므로 } y = \frac{2}{3}C \text{이다.}$$

(나)는 T_2 에서 강철 용기에 A(g)를 C M로 넣고 도달한 평형 상태와 같으므로 (나)에서 이 반응의 농도 변화는 다음과 같다.

| | | | |
|--|-------|----------------|----------------|
| $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$ | | | |
| 반응 전(M) | C | 0 | 0 |
| 반응(M) | $-z$ | $+\frac{z}{2}$ | $+\frac{z}{2}$ |
| 평형(M) | $C-z$ | $\frac{z}{2}$ | $\frac{z}{2}$ |

반응물의 계수와 생성물의 계수의 합이 같으므로 용기 내 전체 기체의 양(mol)은 항상 일정하다. 따라서 (가)와 (나)에서 B의 몰 분율의 비는 $[B]$ 의 비와 같으므로 $[B]$ 의 비는 (가) : (나) = $\frac{C}{3}$ ($= \frac{y}{2}$) : $\frac{z}{2} = 5 : 6$ ($= x : 1.2x$)에서 $z = \frac{4}{5}C$ 이다.

$$T_2 \text{에서 평형 상수}(K) = \frac{\left(\frac{2}{5}C\right)^2}{\left(\frac{1}{5}C\right)^2} = 4 \text{이다.}$$

07 평형 이동과 평형 상수

평형 상태에서 어떤 물질의 농도를 증가시키면 그 물질의 농도가 감소하는 방향으로 평형이 이동한다. 평형 이동 중 반응 몰비는 화학 반응식의 계수비와 같다.

✕. X가 A이면 평형 이동에 의해 B의 농도가 (나)에서가 (가)에서보다 작아야 하는데 크므로 X는 A가 아니다. 또한 X가 C이면 농도가 (나)에서가 (가)에서보다 큰 기체는 A, B, C 3가지이어야 하는데 2가지이므로 X는 C가 아니다. X가 B일 때 농도가 (나)에서가 (가)에서보다 큰 기체는 B, C 2가지이므로 조건에 부합한다. 따라서 X는 B이다.

㉠. X가 B이므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 C의 양(mol)은 증가한다. 따라서 $z > x$ 이다.

㉡. (가)에 B를 추가한 후 평형 이동 중 반응한 B의 양은 $0.3 = (2 + 0.9) - 2.6$ mol이다. (가)에 B를 추가하여 새로운 평형에 도달할 때 이 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|---|------|-----------|
| | $A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | 1 | 2.9 | x |
| 반응(mol) | -0.1 | -0.3 | +0.2 |
| 평형(mol) | 0.9 | 2.6 | $x + 0.2$ |

따라서 $y = 0.9$ 이다.

08 반응 지수와 평형 상수

I에서 $[B] = \frac{1}{4}$ M이므로 이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

| | | | |
|---------|--|----------------|----------------|
| | $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$ | | |
| 반응 전(M) | 1 | 0 | 0 |
| 반응(M) | $-\frac{1}{2}$ | $+\frac{1}{4}$ | $+\frac{1}{4}$ |
| 반응 후(M) | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ |

$$\text{I에서 반응 지수}(Q) = \frac{[B][C]}{[A]^2} = \frac{\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{1}{4} \text{이므로 III에서}$$

와 같다. 서로 다른 반응 시간에 반응 지수가 같으므로 I과 III은 평형에 도달한 상태이고 온도 T 에서 이 반응의 평형 상수(K)는 $\frac{1}{4}$ 이다. II에서 $Q = \frac{1}{9} < K$ 이므로 II는 평형에 도달하기 전 상태이다.

✕. 이 반응에서 Q 는 점점 증가하다가 평형에 도달하여 K 와 같아지므로 III이 II보다 나중 상태이다. 따라서 $t_3 > t_2$ 이다.

㉠. 서로 다른 반응 시간의 상태에서 반응 지수가 같으므로 I과 III은 평형에 도달한 상태이다.

㉡. II에서 $[B] = x$ M이므로 II에 도달하기까지 이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

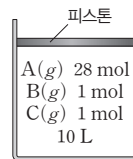
| | | | |
|---------|--|------|------|
| | $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$ | | |
| 반응 전(M) | 1 | 0 | 0 |
| 반응(M) | $-2x$ | $+x$ | $+x$ |
| 반응 후(M) | $1-2x$ | x | x |

$$\text{II에서 } Q = \frac{x^2}{(1-2x)^2} = \frac{1}{9} \text{에서 } \left(\frac{x}{1-2x}\right)^2 = \left(\frac{1}{3}\right)^2 \text{이므로}$$

$$\frac{x}{1-2x} = \frac{1}{3} \text{로부터 } x = \frac{1}{5} \text{이다.}$$

09 평형 이동과 평형 상수

그림은 (가)에 A 27 mol을 추가한 후 평형 이동이 일어나지 않고 전체 기체의 부피만 증가한 상태 (나)를 나타낸 것이다.



㉠. 반응 $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons C(g)$ 의 평형 상수

$$(K) = \frac{[C]}{[A][B]^2} = \frac{1}{1 \times 1^2} = 1 \text{이다.}$$

(나)

㉡. (나)에서 A의 양은 28 mol이 되고 전체 기체의 양은 30 mol이 된다. 전체 기체의 양이 (가)에서의 10배가 되므로 전체 기체의 부피도 (가)에서의 10배가 된다. (나)에서 반응 지수(Q)

$$= \frac{\frac{1}{10}}{\frac{28}{10} \times \left(\frac{1}{10}\right)^2} = \frac{25}{7} > K (=1) \text{이므로 역반응 쪽으로 평형이}$$

이동하게 된다. 화학 반응식에서 반응물의 계수의 합이 생성물의 계수보다 크므로 새롭게 도달한 평형 상태에서 전체 기체의 부피는 10 L보다 크다.

㉢. (나)에서 $[B] = 0.1$ M일 때 $Q > K$ 이므로 역반응 쪽으로 평형이 이동하는 동안 $[B]$ 는 증가한다. 따라서 새롭게 도달한 평형 상태에서 $[B] > 0.1$ M이다.

10 평형 이동과 반응 지수

초기에 반응물만 용기에 넣고 평형에 도달하게 하면 평형에 도달하기까지 반응물의 농도는 점점 감소한다. 정반응이 흡열 반응이면 온도를 높일 때 화학 평형이 정반응 쪽으로 이동한다.

✕. T_1 에서 평형에 도달할 때까지 시간이 지날수록 $[A]$ 는 감소한다. 따라서 $x < 0.8$ 이다.

✕. T_1 일 때의 $[A]$ 보다 T_2 일 때의 $[A]$ 가 크므로 온도 변화에 의해 역반응 쪽으로 평형이 이동한 것이다. $\Delta H > 0$ 이므로 정반응이 흡열 반응이고, 온도를 낮출 때 발열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 $T_1 > T_2$ 이다.

㉠ t_1 까지 이 반응에서 농도 변화는 다음과 같다.

| | | |
|---------|---------------------------------|------|
| | $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ | |
| 반응 전(M) | 1 | 0 |
| 반응(M) | -0.2 | +0.4 |
| 반응 후(M) | 0.8 | 0.4 |

t_1 에서 반응 지수(Q) = $\frac{0.4^2}{0.8} = \frac{1}{5}$ 이고, 평형에 도달할 때까지 Q 는 계속 증가하므로 평형 상수(K) > Q ($=\frac{1}{5}$)이다.

11 평형 이동

화학 평형에서 반응물이나 생성물의 농도를 높이면 그 물질의 농도를 낮추는 방향으로 평형이 이동하고, 압력을 높이면 압력을 낮추는 방향으로 평형이 이동한다. 반응 $2A(g) \rightleftharpoons B(g)$ 에서 반응물의 계수가 생성물의 계수보다 크므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하면 전체 기체의 압력은 감소하고, 역반응 쪽으로 평형이 이동하면 전체 기체의 압력은 증가한다.

실험에서 ㉠을 사용하면 순간적으로 전체 기체의 압력이 증가하고, 압력 증가에 따라 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달할 때까지 전체 압력이 점점 감소한다. 실험에서 ㉡을 사용하면 순간적으로 전체 기체의 압력이 증가하고, 생성물의 농도의 증가에 따라 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달할 때까지 전체 압력이 점점 증가한다.

✕. t_1 에서 전체 기체의 압력이 순간적으로 증가했다가 역반응 쪽으로 평형이 이동함에 따라 새로운 평형에 도달할 때까지 다시 점점 증가하므로 (나)에서 수행한 평형 이동 방법은 ㉠이다.

㉡. t_2 에서 전체 기체의 압력이 순간적으로 증가했다가 새로운 평형에 도달할 때까지 다시 점점 감소하므로 (다)에서 수행한 평형 이동 방법은 ㉠이고, ㉠에 의해 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

㉢. (나)에서 추가한 B의 양이 모두 A가 되지는 않고 I과 II에서의 기체의 부피가 같으므로 [B]는 $II > I$ 이다. 또한 t_2 에서 [B]가 크게 증가하고, (다)에서 평형 이동에 의해서 [B]가 더 증가하므로 [B]는 $III > II$ 이다. 따라서 [B]는 $III > II > I$ 이다.

12 화학 반응식과 평형 농도

기체 반응의 화학 평형에서 용기의 부피가 일정할 때 반응물과 생성물의 초기 상태와 평형 상태의 농도 차의 비는 각 물질의 반응 몰비를 의미하고, 이는 화학 반응식에서 각 물질의 계수비와도 같다.

㉠. 반응 $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 에서 반응 몰비는 $A : B : C = 1 : 1 : 2$ 이다.

초기 상태에서 평형 상태에 도달하기까지 정반응이 우세하게 진행되므로 평형 상태의 [A]는 1 M보다 작아야 한다. 따라서 X는

A가 아니다. 반응물의 계수의 합과 생성물의 계수가 같으므로 반응이 진행되어도 반응물과 생성물의 농도의 합은 일정하다. X가 B라면 평형에 도달하기까지 감소한 B의 농도가 1.8 M이고 반응 몰비가 $B : C = 1 : 2$ 이므로 생성된 C의 농도는 3.6 M이어야 하는데 B와 C의 농도의 합($1.2 M + 3.6 M = 4.8 M$)이 초기 상태의 반응물의 몰 농도의 합($1 M + 3 M = 4 M$)보다 크므로 X는 B가 아니다. 따라서 X는 C이다.

㉡. 이 반응의 농도 변화는 다음과 같다.

| | | | |
|---------|--|------|------|
| | $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ | | |
| 반응 전(M) | 1 | 3 | 0 |
| 반응(M) | -0.6 | -0.6 | +1.2 |
| 평형(M) | 0.4 | 2.4 | 1.2 |

평형 상수(K) = $\frac{1.2^2}{0.4 \times 2.4} = 1.5$ 이다.

㉢. 화학 반응식에서 반응물의 계수의 합이 생성물의 계수와 같으므로 반응에 의해 전체 기체의 양(mol)은 변하지 않고, A의 양(mol)은 평형 상태에서 초기 상태에서의 $\frac{2}{5}$ 배이므로 A의 몰 분율도 평형 상태에서 초기 상태에서의 $\frac{2}{5}$ 배이다.

13 평형 이동

평형 이동에 의해 평형 상수가 증가하면 정반응 쪽으로 평형이 이동한 것이고, 평형 상수가 감소하면 역반응 쪽으로 이동한 것이다. 온도를 높이면 평형이 흡열 반응 쪽으로 이동한다.

㉠. 평형 상수(K)는 (나)에서 (가)에서보다 크므로 온도를 T_1 에서 T_2 로 감소시킬 때 평형이 정반응 쪽으로 이동한 것이다. 온도를 낮추면 온도를 높이기 위해 발열 반응 쪽으로 평형이 이동하므로 정반응이 발열 반응이다. 따라서 $\Delta H < 0$ 이다.

✕. 반응 $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 에서 반응물의 계수의 합이 생성물의 계수보다 크므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하면 용기 속 전체 기체의 양(mol)이 감소한다. 또한 정반응 쪽으로 평형이 이동하면 C의 양(mol)이 증가한다. 따라서 C의 몰 분율($=\frac{C \text{의 양(mol)}}{\text{전체 기체의 양(mol)}}$)은 (나) > (가)이다.

✕. (나)는 (가)에서 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 도달한 평형이므로 전체 기체의 양은 (가) > (나)이고, 온도도 (가) > (나)이므로 용기 속 전체 기체의 압력도 (가) > (나)이다.

14 상평형

CO_2 는 고체 상태에서 온도를 낮추고 압력을 높이면 액체가 될 수 없으나, H_2O 은 고체 상태에서 온도를 낮추고 압력을 높이면 액체가 될 수 있다. 따라서 X는 H_2O 이다.

㉠. H_2O 의 상평형 그림에서 안정한 상이 고체이기 위해서는 삼중점에서의 온도보다 낮은 온도이어야 한다. 따라서 T_1 은 삼중점에서의 온도보다 낮다.

㉡. T_2 , P_2 에서 안정한 상이 액체이므로 P_2 에서 고체로 상변화를 일으키는 온도인 녹는점은 T_2 보다 낮다.

✕. T_1 , P_1 에서 안정한 상이 고체이고 같은 온도에서 안정한 상이 기체이려면 압력이 낮아져야 하는데 $P_2 > P_1$ 이므로 T_1 , P_2 에서 안정한 상은 기체일 수 없다.

15 상평형

Y는 P_6 atm보다 낮은 P_4 atm, P_5 atm에서의 안정한 상이 서로 다르고, 동시에 P_6 atm에서의 안정한 상과도 다르므로 CO_2 일 수 없다. 따라서 X는 CO_2 이고, Y는 H_2O 이다.

㉠. CO_2 는 삼중점에서의 온도(-56.6°C)보다 높은 온도에서 압력을 높이면 기체 \rightarrow 액체 \rightarrow 고체로 바뀔 수 있으므로 $t_1 > -56.6$ 이다.

㉡. CO_2 는 삼중점에서의 온도보다 높은 온도에서 압력을 높이면 기체 \rightarrow 액체 \rightarrow 고체로 바뀔 수 있으므로 (가) \rightarrow (나) \rightarrow (다) 중 세 번째로 나타나는 안정한 상인 (다)는 고체이다.

㉢. Y(H_2O)는 $t_2^\circ\text{C}$, P_4 atm에서 기체이다. H_2O 은 삼중점에서의 압력(0.006 atm)보다 낮은 압력에서 안정한 상이 기체일 수 있으므로 $P_4 < 0.006$ 이다.

16 평형 상수와 양적 관계

반응 초기에 강철 용기에 A와 B가 같은 농도로 들어 있었다면 반응 몰비가 $A : B = 1 : 1$ 이므로 평형 상태에서도 $[A] = [B]$ 이어야 한다. 그러나 (나)에서 $[X] \neq [Y] \neq [Z]$ 이므로 X와 Y 중 하나는 C이다.

㉠. (가)에서 X와 Y 중 하나만 존재하고 C가 존재하므로 평형 상태에 도달하기 전까지 역반응이 우세하게 일어난다.

㉡. (가)에서 (나)로 되면서 $[X]$ 는 증가했고, $[Y]$ 는 감소했으므로 X가 반응 초기에 넣어 준 A와 B 중 하나이고, Y는 C이다.

㉢. 화학 반응식의 계수비가 반응 몰비이므로 반응 몰비는 $A : B : C = 1 : 1 : 1$ 이다. $[X]$ 가 0.4 M 증가했으므로 (나)에서 $[C] = 0.6 (= 1 - 0.4)$ M이고 생성된 $[Z] = 0.4$ M이다. 따라서 온도 T 에서 반응 $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$ 의 농도로 정의되는 평형 상수(K) = $\frac{0.6}{1.4 \times 0.4} = \frac{15}{14}$ 이다.

17 평형 이동

(다)에서 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | | |
|-----------|---------|----------|----------------------|---------|
| | $A(g)$ | $+ B(g)$ | \rightleftharpoons | $2C(g)$ |
| 반응 전(mol) | $1+x$ | 1 | | 1 |
| 반응(mol) | $-y$ | $-y$ | | $+2y$ |
| 평형(mol) | $1+x-y$ | $1-y$ | | $1+2y$ |

$[C] = 2[B]$ 이므로 $1+2y = 2(1-y)$ 에서 $y = \frac{1}{4}$ 이다.

따라서 (다)에서 A~C의 양은 각각 $\left(\frac{3}{4}+x\right)$ mol, $\frac{3}{4}$ mol, $\frac{3}{2}$ mol이다.

㉠. (가)에서 온도 T 에서 농도로 정의되는

평형 상수(K) = $\frac{1^2}{1 \times 1} = 1$ 이다.

㉡. 온도는 일정하므로 K 도 일정하다. (다)에서 기체의 부피를 V L라고 할 때,

$$K = \frac{\left(\frac{\frac{3}{2}}{V}\right)^2}{\left(\frac{\frac{3}{4}+x}{V} \times \frac{\frac{3}{4}}{V}\right)} = 1 \text{이므로 } x = \frac{9}{4} \text{이다.}$$

㉢. 반응물의 계수의 합과 생성물의 계수가 같으므로 (나)에서 $\text{He}(g)$ 이 첨가되어도 평형 이동이 일어나지 않는다. 따라서 (나)에서 몰 분율은 A와 C가 같다.

18 상평형

(나)에서 피스톤의 높이를 증가시키면 반응 $\text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(g)$ 에서 정반응이 우세하게 진행되어 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 압력이 T_2 에서의 증기 압력과 같아지고, 이때 액체와 기체 사이의 새로운 상평형에 도달한다. 따라서 (나)에서 H_2O 의 안정한 상의 수(x)는 2이다. 대기압($=1$ atm)이 T_2 에서의 증기 압력보다 크므로 (다)에서 고정 장치를 풀면 H_2O 의 안정한 상은 액체가 된다. 따라서 (다)에서 H_2O 의 안정한 상의 수(y)는 1이다. 대기압($=1$ atm)이 T_1 에서의 증기 압력보다 크므로 (라)에서도 H_2O 의 안정한 상은 액체가 된다. 따라서 (라)에서 H_2O 의 안정한 상의 수(z)는 1이다.

19 평형 이동

화학 평형에서 반응물이나 생성물의 농도를 높이면 그 물질의 농도를 낮추는 방향으로 평형이 이동한다. 반응 $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 에서 반응물의 계수의 합이 생성물의 계수보다 크므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하면 전체 기체의 압력은 감소하고, 역반응 쪽으로 평형이 이동하면 전체 기체의 압력은 증가한다. B의 평형 농도는 (나)와 (다)에서가 (가)에서보다 크다. X나 Y가 A이면 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 B의 평형 농도는 감소하므로 X와 Y는 A일 수 없다. 따라서 X와 Y는 각각 B와 C 중 하나

나이다. 또한 B 1 mol을 추가할 경우, 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 평형 이동 중 전체 기체의 양(mol)이 감소한다. 그러나 C 1 mol을 추가할 경우, 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 평형 이동 중 전체 기체의 양(mol)이 증가한다. 용기 속 전체 기체의 압력은 (나)에서가 (다)에서보다 크므로 X는 C이고, Y는 B이다.

㉠. (가)의 용기에 X(C)를 추가하면 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 (나)에 도달하기 전까지 역반응이 우세하게 일어난다.

㉡. X(C)를 추가할 경우, 평형이 역반응 쪽으로 이동하고, Y(B)를 추가할 경우, 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 [A]는 (나)에서가 (다)에서보다 크다.

㉢. X(C) 1 mol을 추가할 경우, 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 [B]가 (나)에서가 (가)에서보다 x M 클 때, [C]는 (나)에서가 (가)에서보다 $(1-2x)$ M 크다. 따라서 $([B]+[C])$ 는 (나)에서가 (가)에서보다 $(1-x)(=x+(1-2x))$ M 크다. Y(B) 1 mol을 추가할 경우, 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 [B]가 (다)에서가 (가)에서보다 $(1-y)$ M 클 때, [C]는 (다)에서가 (가)에서보다 $2y$ M 크다. 따라서 $([B]+[C])$ 는 (다)에서가 (가)에서보다 $(1+y)((=1-y)+2y)$ M 크다. $([B]+[C])$ 는 (나)에서가 (가)에서보다 $(1-x)$ M 크고, (다)에서가 (가)에서보다 $(1+y)$ M 크므로 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

20 화학 평형

I 과 II를 비교하면, II는 I에서 A가 0.1 M, B가 0.3 M 감소하고, C가 0.2 M 증가한 농도이므로 농도 차의 비가 $A:B:C=1:3:2$ 의 반응 몰비와 같다. 따라서 A~C 각각의 평형 농도는 I에서와 II에서가 같으므로 C의 평형 농도는 I에서와 II에서가 같다($I=II$).

II와 IV를 비교하면, A~C 각각의 초기 농도는 같은데 온도만 IV에서가 II에서보다 높다. 반응 $A(g)+3B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 은 $\Delta H < 0$ 이므로 정반응이 발열 반응이므로 온도를 높이면 평형이 역반응 쪽으로 이동한다. 따라서 C의 평형 농도는 II에서가 IV에서보다 크다($II > IV$).

I 과 III을 비교하면, 반응 지수(Q)는 I에서

$$\frac{0.9^2}{0.9 \times 0.9^3} = \frac{1}{0.9^2} > 1 (=T_1 \text{에서의 } K) \text{이므로 역반응이 우세하}$$

게 일어나고, III에서 $\frac{1.1^2}{1.1 \times 1.1^3} = \frac{1}{1.1^2} < 1 (=T_1 \text{에서의 } K)$ 이

므로 정반응이 우세하게 일어난다. 따라서 C의 평형 농도는 I에서 0.9 M보다 작고, III에서 1.1 M보다 크므로 III에서가 I에서보다 크다($III > I = II > IV$).

III과 V를 비교하면, II와 IV의 비교와 마찬가지로 C의 평형 농도는 III에서가 V에서보다 크다($III > V$).

따라서 평형 상태에 도달했을 때 [C]가 가장 큰 실험은 III이다.

06 산 염기 평형

2 점 수능 테스트

본문 126~128쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ④ 04 ③ 05 ② 06 ⑤ 07 ③
08 ⑤ 09 ④ 10 ④ 11 ① 12 ⑤

01 짝산 짝염기의 이온화 상수

농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 $[H_3O^+] = [A^-]$ 이고, $[HA] \approx C$ 이므로 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[H_3O^+]^2}{C}$

이고 $[H_3O^+] = \sqrt{CK_a}$ 이다. 마찬가지로 농도가 C' M인 약염기 B의 수용액에서 $[OH^-] = \sqrt{CK_b}$ 이다. 짝염기의 $K_b = \frac{K_w}{\text{짝산의 } K_a}$

이다.

㉠. (가)에서 약산 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[H_3O^+]^2}{C} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{0.1} = 1 \times 10^{-5}$ 이다.

㉡. HA의 $K_a = 1 \times 10^{-5}$ 이고 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-3}$ M이므로 $K_a (=1 \times 10^{-5}) = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[A^-]}{[HA]} \times 1 \times 10^{-3}$ 에서 $\frac{[A^-]}{[HA]} = 1 \times 10^{-2}$ 이다. 따라서 (가)에서 [HA]는 $[A^-]$ 의 100배이다.

㉢. HA의 짝염기인 A^- 의 이온화 상수(K_b) = $\frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^{-9}$ 이다. (나)에서 $[OH^-] = \sqrt{0.1 \times 1 \times 10^{-9}} = 1 \times 10^{-5}$ M이다. 따라서 $pH = -\log [H_3O^+] = -\log \left(\frac{K_w}{[OH^-]} \right) = -\log (1 \times 10^{-9}) = 9.0$ 이므로 $x = 9.0$ 이다.

02 약산과 약염기의 이온화 평형

농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 $[H_3O^+] = [A^-]$ 이고, $[HA] \approx C$ 이므로 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[H_3O^+]^2}{C}$

에서 $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{[H_3O^+]}{C}$ 이다. $HA(aq)$ 에서 몰비가 $A^- : HA = x : 1$ 이므로 $\frac{[A^-]}{[HA]} = x = \frac{1 \times 10^{-4}}{x}$ 이다. 따라서 $x = 1 \times 10^{-2}$

이다. 농도가 C' M인 약염기 B의 수용액에서 $[BH^+] = [OH^-]$ 이고, $[B] \approx C'$ 이므로 B의 이온화 상수(K_b) = $\frac{[BH^+][OH^-]}{[B]} = \frac{[OH^-]^2}{C'}$

에서 $\frac{[\text{BH}^+]}{[\text{B}]} = \frac{[\text{OH}^-]}{C}$ 이다. B(aq)에서 pH=y이므로
 $[\text{OH}^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-y}} = 1 \times 10^{-(14-y)}$ M이고, $\text{BH}^+ : \text{B} = x : 1$ 이
 므로 $\frac{[\text{BH}^+]}{[\text{B}]} = x = \frac{1 \times 10^{-(14-y)}}{10x}$ 이다. 여기에 $x = 1 \times 10^{-2}$ 을
 대입하면 $y = 11.0$ 이다.

03 완충 용액에서의 이온화 평형

HA와 A^- 은 다음과 같이 이온화 평형을 이루고 있다.



✕. (가)에서 $[\text{HA}] = [\text{A}^-]$ 인데 (나)에서 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} > 1$ 이므로

NaOH의 첨가에 의해 정반응 쪽으로 평형이 이동한 것이다. 따라서 X는 NaOH이다.

㉠. (나)에서 NaOH의 첨가에 의한 중화 반응이 일어나 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 감소하면 정반응 쪽으로 평형 이동이 일어난다. $[\text{A}^-]$ 는 (나) > (가)이고, $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (가) > (나)이므로 $\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{A}^-]}$ 는 (나)의 평형 상태에서 (가)의 평형 상태에 비해 작다.

㉡. Y는 HCl이다. (가)의 수용액에 HCl를 녹이면 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 증가하여 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

04 짝염기 수용액의 pH

짝염기의 $K_b = \frac{K_w}{\text{짝산의 } K_a}$ 이므로 NaA(aq)에서 염기 A^- 의

이온화 상수(K_b) = $\frac{1 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-5}} = 5 \times 10^{-10}$ 이다. 농도가 C M인
 짝염기의 $[\text{OH}^-] = \sqrt{CK_b}$ 이므로 0.2 M $\text{A}^-(\text{aq})$ 의 $[\text{OH}^-] = \sqrt{0.2 \times 5 \times 10^{-10}} = 1 \times 10^{-5}$ M이다. 따라서 $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log \left(\frac{K_w}{[\text{OH}^-]} \right) = -\log (1 \times 10^{-9}) = 9.0$ 이다.

05 산의 세기

HA가 이온화되면 A^- 과 H_3O^+ 의 몰비가 1 : 1이 되어 $[\text{A}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 된다. HA(aq)에서 HA, A^- , H_3O^+ 의 몰비 중 하나가 매우 크고 나머지 2개가 매우 작으므로 HA의 극히 일부만 A^- 과 H_3O^+ 으로 이온화된다. HB(aq)에서 HB, B^- , H_3O^+ 의 몰비 중 하나만 매우 작고 나머지 2개가 매우 크므로 HB의 대부분이 B^- 과 H_3O^+ 으로 이온화된다.

✕. HA는 극히 일부만 이온화되고, HB는 대부분이 이온화되므로 산의 세기는 $\text{HB} > \text{HA}$ 이다.

㉠. HA(aq)과 HB(aq)의 농도는 모두 1 M로 같고 산의 세기는 $\text{HB} > \text{HA}$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 $\text{HB} > \text{HA}$ 이다. $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 작을

수록 pH가 크므로 pH는 $\text{HA} > \text{HB}$ 이다.

✕. HA는 극히 일부만 이온화되고, HB는 대부분이 이온화되므로 $\frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}]} > \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 이다.

06 약산의 이온화 평형

농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-]$ 이고, $[\text{HA}] \approx C$ 이므로 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{C}$ 이다.

㉠. HA의 $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{C}$ 에서

$\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{C}$ 이다. $x \left(= \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \right) : y \left(= \frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}]} \right) = \frac{1 \times 10^{-3}}{a} : \frac{1 \times 10^{-4}}{a} = 10 : 1$ 이다. 따라서 $x > y$ 이다.

㉡. HA의 $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 이고, HC의 $K_a = \frac{[\text{C}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HC}]}$

이다. $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{C}^-]}{[\text{HC}]}$ 이므로 HA의 $K_a : \text{HC의 } K_a = \text{HA(aq)}$

의 $[\text{H}_3\text{O}^+] : \text{HC(aq)의 } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} : 1 \times 10^{-4} = 10 : 1$ 이다. 따라서 25°C에서 K_a 는 HA가 HC의 10배이다.

㉢. 농도가 C M인 약산 수용액에서 $C = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{K_a}$ 이다. $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 HA(aq)이 HC(aq)의 10배이고, K_a 는 HA가 HC의 10배이므로 $a = 10a'$ 이다. 따라서 $a > a'$ 이다.

07 약산의 이온화 평형

농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-]$ 이고, $[\text{HA}] \approx C$ 이므로 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{C}$

이고 $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{CK_a}$ 이다.

㉠. $\frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 는 HA의 이온화 상수(K_a)이다. 따라서 (가)와 (나)의 온도가 같으므로 $\frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

㉡. 농도가 C M인 약산 수용액의 $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{CK_a}$ 이다. 몰 농도(M)는 (가)에서 (나)에서보다 크고, 같은 온도에서 HA의 이온화 상수(K_a)는 일정하므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (가)에서 (나)에서보다 크다. 따라서 pH는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

✕. (가)에서와 (나)에서 K_a 는 같고 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (가)에서 (나)에서보다 크므로 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \left(= \frac{K_a}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \right)$ 는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

08 산의 세기

HCl은 강산이고, CH₃COOH은 약산이다. 산의 세기가 HCl > CH₃COOH이므로 염기의 세기는 Cl⁻ < CH₃COO⁻이다.

㉠ HCl(aq)과 CH₃COOH(aq)의 농도는 모두 0.1 M로 같고, 산의 세기가 HCl > CH₃COOH이므로 [H₃O⁺]는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

㉡ 염기의 세기는 Cl⁻ < CH₃COO⁻이므로 염기의 이온화 상수(K_b)는 CH₃COO⁻이 Cl⁻보다 크다.

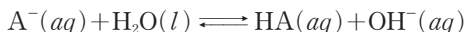
㉢ (가)와 (나)는 각각 HCl과 CH₃COOH을 0.01 mol (= 0.1 M × 0.1 L)씩 녹인 수용액이다. (가)와 (나)에 각각 NaOH(s) 0.01 mol씩 녹인 수용액은 각각 NaCl(aq)과 CH₃COONa(aq)이다. NaCl(aq)은 중성이지만 CH₃COONa(aq)은 CH₃COO⁻의 가수 분해에 의해 염기성이다. 따라서 (가)와 (나)에 각각 NaOH(s) 0.01 mol씩 녹인 수용액의 pH는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

09 산과 염기의 세기

㉠ B의 이온화 상수(K_b) = 2 × 10⁻⁵이므로 BH⁺의 이온화 상수(K_a) = $\frac{1 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-5}} = 5 \times 10^{-10}$ 이다. K_a는 HA > BH⁺이므로 산의 세기는 HA > BH⁺이다.

㉡ 산의 세기는 HA > BH⁺이므로 각각의 짝염기의 세기는 A⁻ < B이다.

㉢ BHA가 이온화하면 BH⁺과 A⁻의 몰비가 1 : 1이 되어 [BH⁺] = [A⁻]가 된다. BH⁺과 A⁻의 가수 분해 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



25 °C에서 BH⁺의 K_a = 5 × 10⁻¹⁰이고, A⁻의 K_b = $\frac{1 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-4}} = 5 \times 10^{-11}$ 이므로 BH⁺의 K_a > A⁻의 K_b이다. BH⁺과 A⁻의 초기 농도가 같고 BH⁺의 K_a가 A⁻의 K_b보다 크므로 BH⁺의 가수 분해 반응에 의해 생성된 [H₃O⁺]가 A⁻의 가수 분해 반응에 의해 생성된 [OH⁻]보다 크다. [H₃O⁺] > [OH⁻]이므로 BHA(aq)의 pH는 7보다 작다.

10 짝염기의 이온화 평형

㉠ A⁻의 짝산은 HA이다.

㉡ HA의 K_a = 2 × 10⁻⁵이므로 염기 A⁻의 K_b = $\frac{1 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-5}} = 5 \times 10^{-10}$ 이다.

㉢ 염기 A⁻의 이온화 반응식은 다음과 같다.



$$\text{A}^- \text{의 } K_b = \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} = \frac{1}{2 \times 10^4} \times [\text{OH}^-] = 5 \times 10^{-10} \text{ 이므로}$$

[OH⁻] = 1 × 10⁻⁵ M이다. 따라서 pH = x = 9.0이다.

11 약산과 약염기의 이온화 평형

농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 [H₃O⁺] = [A⁻]이고, [HA]

$$\approx C \text{ 이므로 HA의 이온화 상수}(K_a) = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{C}$$

이고 [H₃O⁺] = $\sqrt{CK_a}$ 이다. 마찬가지로 농도가 C' M인 약염기 B의 수용액에서 [OH⁻] = $\sqrt{C'K_b}$ 이다.

$$\text{따라서 HA의 } K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{C} = \frac{(1 \times 10^{-4})^2}{0.01} = 1 \times 10^{-6} \text{ 이고,}$$

$$\text{B의 } K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C'} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{0.05} = 2 \times 10^{-5} \text{ 이다.}$$

$$\text{짝염기의 } K_b = \frac{K_w}{\text{짝산의 } K_a} \text{ 이다.}$$

$$\frac{\text{산 BH}^+ \text{의 } K_a}{\text{염기 A}^- \text{의 } K_b} = \frac{\frac{K_w}{\text{B의 } K_b}}{\frac{K_w}{\text{HA의 } K_a}} = \frac{\text{HA의 } K_a}{\text{B의 } K_b} = \frac{1 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-5}} = 0.05 \text{ 이다.}$$

12 완충 용액

완충 용액은 약산과 그 짝염기, 또는 약염기와 그 짝산으로 구성된다.

㉠ 혈액 속 [H₃O⁺]이 증가하면 (나) 반응의 생성물의 농도가 증가한 것이므로 (나)에서 역반응 쪽으로 화학 평형이 이동한다.

㉡ (나)에서 평형 이동에 의해 [HCO₃⁻]는 감소하고 [H₂CO₃]는 증가한다. 따라서 $\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$ 는 감소한다.

㉢ (나)에서의 평형 이동으로 [H₂CO₃]가 증가하면 (가) 반응의 생성물의 농도가 증가한 것이므로 (가)에서 역반응 쪽으로 화학 평형이 이동한다. 따라서 (가)에서 생성되는 CO₂(g)의 양(mol)이 증가한다.

3 점 수능 테스트

본문 129~134쪽

01 ① 02 ④ 03 ⑤ 04 ② 05 ④ 06 ⑤ 07 ⑤
08 ⑤ 09 ⑤ 10 ③ 11 ② 12 ①

01 산의 세기

농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 $[H_3O^+] = [A^-]$ 이고, $[HA] \approx C$ 이므로 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[H_3O^+]^2}{C}$ 이다.

㉠. 1 M HA(aq)의 pH=3.0이므로 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-3}$ M이고, HA의 $K_a = \frac{[H_3O^+]^2}{C} = 1 \times 10^{-6}$ 이다.

㉡. pH는 HB(aq)이 HA(aq)보다 1만큼 크므로 $[H_3O^+]$ 는 HB(aq)이 HA(aq)의 $\frac{1}{10}$ 배이고, $\frac{[B^-]}{[HB]}$ 는 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 의 $\frac{1}{10}$ 배이므로 HB의 $K_a (= \frac{[B^-][H_3O^+]}{[HB]})$ 는 HA의

$K_a (= \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = 1 \times 10^{-6})$ 의 $\frac{1}{100}$ 배인 1×10^{-8} 이다.

K_a 는 HA > HB이므로 산의 세기는 HA > HB이다.

㉢. x M HB(aq)의 pH=4.0이므로 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-4}$ M이고, HB의 K_a 는 1×10^{-8} 이므로 $x = \frac{[H_3O^+]^2}{K_a} = 1$ 이다.

02 짝산 짝염기와 이온화 상수

짝산의 $K_a = \frac{K_w}{\text{짝염기의 } K_b}$ 이다.

㉠. BH^+ 은 B의 짝산이다.

㉡. BH^+ 의 $K_a = \frac{K_w}{B\text{의 } K_b} = \frac{1 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-5}} = 5 \times 10^{-10}$ 이다.

㉢. BH^+ 의 $K_a = \frac{[B][H_3O^+]}{[BH^+]}$ 이다. $K_a = 5 \times 10^{-10}$ 이고,

$\frac{[B]}{[BH^+]} = \frac{1}{2000}$ 이므로 $[H_3O^+] = 5 \times 10^{-10} \times 2000 = 1 \times 10^{-6}$ M이다. 따라서 BHCl(aq)의 pH=6.0이다.

03 산의 이온화 상수

농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 $[H_3O^+] = [A^-]$ 이고, $[HA] \approx C$ 이므로 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[H_3O^+]^2}{C}$ 이다.

㉠. $[H_3O^+] = \sqrt{CK_a} = \sqrt{0.2 \times 2 \times 10^{-5}} = 2 \times 10^{-3}$ M이다.

㉡. HA(aq)의 몰 농도는 (가) > (나)이므로 $[H_3O^+]$ 는 (가) > (나)이다.

$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ 이므로 일정한 온도에서 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 $[H_3O^+]$

와 반비례한다. 따라서 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 (나) > (가)이다.

㉢. $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = 2 \times 10^{-5}$ 이고, $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{1}{5}$ 이므로 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-4}$ M이다. 따라서 (다)에서 pH=4.0이다.

04 산의 이온화 상수

○는 음이온이므로 ☆은 H_3O^+ 이고, ●는 B^- 이다. 농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 $[H_3O^+] = [A^-]$ 이고, $[HA] \approx C$ 이므로

HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[H_3O^+]^2}{C}$ 이고 $[H_3O^+] = \sqrt{CK_a}$ 이다. 몰 농도와 K_a 는 각각 HB(aq)이 HA(aq)의

$\frac{1}{2}$ 배이므로 $[H_3O^+]$ 는 HB(aq)이 HA(aq)의 $\frac{1}{2}$ 배이다. 부피가

HB(aq)이 HA(aq)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 H_3O^+ 의 양(mol)은 HB(aq)

가 HA(aq)의 $\frac{1}{4}$ 배이다. 따라서 0.1 M의 약산 HB의 수용액 100 mL를 가장 적절하게 나타낸 것은 ☆ 모형이 1개 그려진 ㉡이다.

05 산 염기의 이온화 반응과 평형 이동

HA의 이온화 상수(K_a)는 2×10^{-5} 이고, A^- 의 $K_b = \frac{K_w}{\text{HA의 } K_a} = 5 \times 10^{-10}$ 이다.

25°C에서 0.05 M HA(aq)의 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 를 x 라고 하고, 25°C에서

0.05 M $A^-(aq)$ 의 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 를 y 라고 하면, HA는 약산으로서 $x \ll 1$ 이고, A^- 은 약염기로서 $y \gg 1$ 이다.

I은 HA(aq)에 H_3O^+ 을 넣어 준 것과 같다.

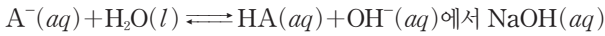
HA의 이온화 반응 $HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$ 에서 HCl(aq)에 의해 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 I의 $\frac{[A^-]}{[HA]} < x (\ll 1)$ 이다.

II는 NaA(aq)과 같으므로 II의 $\frac{[A^-]}{[HA]} = y$ 이다.

III은 HA(aq)과 같으므로 III의 $\frac{[A^-]}{[HA]} = x$ 이다.

IV는 $A^-(aq)$ 에 OH^- 을 넣어 준 것과 같다.

A⁻의 이온화 반응



에 의해 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 IV의 $\frac{[A^-]}{[HA]} > y (\gg 1)$

이다. 따라서 $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 IV > II > III > I이다.

06 산의 세기

㉠ HA는 강산이므로 HA(aq)에서 $[H_3O^+] = x$ M이다. pH=1.0이므로 $[H_3O^+] = 0.1$ M이다. 따라서 $x = 0.1$ 이다. HC(aq)에서 pH=4.0이므로 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-4}$ M이다.

$$\frac{[C^-]}{[HC]} = \frac{1}{500} \text{이므로 HC의 이온화 상수}(K_a) = \frac{[C^-][H_3O^+]}{[HC]}$$

$= 2 \times 10^{-7}$ 이다. 약산 HC의 수용액에서 $[H_3O^+] = [C^-]$ 이고, $[HC]$

$$\approx y \text{ M이므로 HC의 } K_a = \frac{[H_3O^+]^2}{y} \text{에서 } y = \frac{(1 \times 10^{-4})^2}{2 \times 10^{-7}}$$

$= 0.05$ 이다. 따라서 $x \times y = 0.005$ 이다.

㉡ HB의 수용액에서 pH=3.0이므로 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-3}$ M이다. 약산 HB의 수용액에서 $[H_3O^+] = [B^-]$ 이고 $[HB] \approx 1$ M이므로

$$HB의 K_a = \frac{[H_3O^+][B^-]}{[HB]} = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{1} = 1 \times 10^{-6} \text{이다.}$$

따라서 K_a 는 HB가 HC의 5배이다.

㉢ HB의 $K_a = \frac{[B^-][H_3O^+]}{[HB]}$ 이다. HB(aq)에서

$$[H_3O^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M이고, HB의 } K_a = 1 \times 10^{-6} \text{이므로 } \frac{[B^-]}{[HB]}$$

$= 1 \times 10^{-3}$ 이다.

07 짝산 짝염기의 이온화 상수

농도가 C M인 약산 HA의 수용액에서 $[H_3O^+] = [A^-]$ 이고, $[HA] \approx C$ 이므로 HA의 이온화 상수(K_a) = $\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[H_3O^+]^2}{C}$

이고 $[H_3O^+] = \sqrt{CK_a}$ 이다. 마찬가지로 농도가 C' M인 약염기

B의 수용액에서 $[OH^-] = \sqrt{C'K_b}$ 이다. 짝염기의 $K_b = \frac{K_w}{\text{짝산의 } K_a}$ 이다.

㉠ HCN와 NH_4^+ 의 이온화 상수(K_a)는 각각 6×10^{-10} , 5×10^{-10} 이므로 CN^- 과 NH_3 의 이온화 상수(K_b)는 각각

$$\frac{1 \times 10^{-14}}{6 \times 10^{-10}} = \frac{1}{6} \times 10^{-4}, \quad \frac{1 \times 10^{-14}}{5 \times 10^{-10}} = \frac{1}{5} \times 10^{-4} \text{이다.}$$

K_b 는 $NH_3 > CN^-$ 이므로 염기의 세기는 $NH_3 > CN^-$ 이다.

㉡ (가)의 $[OH^-] = \sqrt{C'K_b} = \sqrt{0.06 \times \frac{1}{6} \times 10^{-4}} = 1 \times 10^{-3}$ M

이고, (나)의 $[OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]} = \frac{K_w}{\sqrt{CK_a}} = \frac{1 \times 10^{-14}}{\sqrt{0.2 \times 5 \times 10^{-10}}}$

$= 1 \times 10^{-9}$ M이므로 $[OH^-]$ 는 (가)에서 (나)에서의 10^6 배이다.

㉢ (나)에서 NH_4^+ 의 $K_a = \frac{[NH_3][H_3O^+]}{[NH_4^+]}$ 이다. NH_4^+ 의 $K_a =$

$$5 \times 10^{-10} \text{이고, } [H_3O^+] = \sqrt{CK_a} = \sqrt{0.2 \times 5 \times 10^{-10}} = 1 \times 10^{-5}$$

이므로 $\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = 5 \times 10^{-5}$ 이다.

08 산과 염기의 세기

산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하고, 산의 $K_a \times$ 그 짝염기의 $K_b = K_w$ 이다.

㉠ 산의 세기는 $HA > HB > HC$ 이므로 그 짝염기의 세기는 $C^- > B^- > A^-$ 이다. 따라서 $z > y > w$ 이다.

㉡ $x \times y = K_w = 1 \times 10^{-14}$ 이고, $x \left(= \frac{1 \times 10^{-14}}{y} \right) < 7 \times 10^{-4}$ 이

므로 $y > \frac{1}{7} \times 10^{-10}$ 이다.

㉢ $x \times y = K_w$ 이고, $z = \frac{1 \times 10^{-14}}{6 \times 10^{-10}} = \frac{1}{6} \times 10^{-4}$ 이므로

$$\frac{x \times y}{z} = 6 \times 10^{-10} \text{이다.}$$

09 염의 가수 분해

(가)는 0.5 M $CH_3COONa(aq)$ 과 같고, (나)는 0.25 M $NaCl(aq)$ 과 같으며, (다)는 1 M $NH_4Cl(aq)$ 과 같다.

㉠ (가)에서 CH_3COO^- 의 일부가 가수 분해에 의해 CH_3COOH 이 되므로 $[Na^+] > [CH_3COO^-]$ 이다.

㉡ (가)는 CH_3COO^- 의 가수 분해로 인해 염기성이고, (나)는 중성이며, (다)는 NH_4^+ 의 가수 분해로 인해 산성이다. 따라서 pH는 (가) > (나) > (다)이다.

㉢ (다)에서 NH_4^+ 의 가수 분해가 일어나 $[NH_4^+] < 1$ M이고, (가)의 $[Na^+] = 0.5$ M이므로 (다)의 $[NH_4^+]$ 는 (가)의 $[Na^+]$ 의 2배보다 작다.

10 완충 용액

㉠ $CH_3COOH(aq)$ 에 소량의 $HCl(aq)$ 을 넣으면 반응 $CH_3COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$ 에서 H_3O^+ 의 농도를 증가시켜 평형이 역반응 쪽으로 이동한다.

㉡ $HCl(aq)$ 을 통해 추가된 H_3O^+ 의 일부가 CH_3COO^- 과 반응해 CH_3COOH 이 된다.

㉢ 추가된 H_3O^+ 의 일부가 CH_3COO^- 과 반응해 CH_3COOH 이 되기는 하지만 CH_3COOH 이 약산이므로 $CH_3COOH(aq)$ 속 CH_3COO^- 의 양이 매우 작아 제거할 수 있는 H_3O^+ 의 양도 매우 작다. 따라서 pH의 변화가 거의 일어나지 않게 막지 못한다. 그러므로 $CH_3COOH(aq)$ 은 완충 용액이 아니다.

11 완충 용액

완충 용액은 약산과 그 짝염기, 또는 약염기와 그 짝산으로 구성된다.

✕. (가)에서 $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}=1$ 이다. (가)와 (나)에서 pH가 같으므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 같고, CH_3COOH 의 이온화 상수(K_a)= $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 이므로 (가)와 (나)에서 $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 도 같다. 따라서 (나)에서 $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}=1$ 이므로 $x=75$ 이다.

○. (가)와 (다) 모두 $[\text{CH}_3\text{COOH}]=[\text{CH}_3\text{COO}^-]=\frac{1}{3}\text{M}$ 이다.

둘 다 $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}=1$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 같고, pH도 같다.

✕. (가)~(다) 모두 약산과 그 짝염기의 몰비가 1:1로 들어 있는 완충 용액이므로 (가)~(다) 중 완충 용액은 3가지이다.

12 혈액 속 완충 용액

혈액 속 $[\text{OH}^-]$ 가 증가하면 H_3O^+ 과의 중화 반응이 일어나며 반응 $\text{H}_2\text{PO}_4^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-}(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$ 은 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

○. 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$ 는 증가한다.

따라서 $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} > \frac{y}{x}$ 이다.

✕. $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$ 은 산 H_2PO_4^- 의 이온화 상수(K_a)에 해당

하고, 같은 온도에서 K_a 는 일정하므로 $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = \frac{y \times z}{x}$ 이다.

✕. 혈액 속 $[\text{OH}^-]$ 가 증가하기 전 평형 상태에서 $[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{z}$

M이다. 혈액 속 $[\text{OH}^-]$ 가 $n\text{M}$ 증가하면 H_3O^+ 과의 중화 반응에 의해 결과적으로 $[\text{OH}^-]$ 는 $n\text{M}$ 보다 작게 증가한다. 따라서 새로운 평형 상태에서 $[\text{OH}^-] < \left(\frac{K_w}{z} + n\right)\text{M}$ 이다.

07

반응 속도

2

수능 테스트

본문 145~147쪽

01 ③ 02 ④ 03 ② 04 ⑤ 05 ④ 06 ③ 07 ⑤
08 ① 09 ③ 10 ⑤ 11 ② 12 ④

01 1차 반응의 반응 속도

$\text{A}(g) \longrightarrow \text{B}(g)$ 에서 반응 속도는 $-\frac{\Delta[\text{A}]}{\Delta t}$ 또는 $\frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t}$ 로 나타낸다.

㉠. 반응이 진행될수록 B(g)의 농도가 증가하므로 반응 속도는 $\frac{\text{B의 농도 증가량}}{\text{반응 시간}}$ 으로 나타낼 수 있다.

✕. 이 반응은 1차 반응이므로 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. 반응이 진행될수록 반응물의 농도는 감소하므로 순간 반응 속도는 점점 감소한다.

○. 1차 반응의 반감기는 일정하다.

02 반응 속도식

반응 속도식에서 반응 차수는 반응물의 농도를 달리한 실험을 통해 결정한다.

✕. 초기 반응 속도가 A의 초기 농도에 비례하므로 이 반응은 1차 반응이다.

○. 1차 반응은 반감기가 일정하다.

㉠. 반응식이 $2\text{A}(g) \longrightarrow \text{B}(g)$ 이므로 단위 시간 동안 A(g)의 농도 감소량은 B(g)의 농도 증가량의 2배이다. 따라서 A(g)의 농도가 감소하는 속도는 B(g)의 농도가 증가하는 속도보다 크다.

03 1차 반응

1차 반응은 반감기가 일정하므로 일정한 시간마다 반응물의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 반응 시간이 0 s에서 1 s로 지날 때 ●(B)가 4개 생기고, 1 s에서 2 s로 지날 때 ●가 2개 생겼으므로 반응한 △(A)은 각각 2개, 1개이다. 1 s마다 △의 개수가 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반감기는 1 s이고, △는 초기에 4개가 있어야 한다.

04 1차 반응과 반감기

$\text{A}(g) \longrightarrow 2\text{B}(g)$ 는 1차 반응이므로 반응물의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배가 되는 데 걸리는 시간이 일정하다.

㉠ 0 s에서 t s가 될 때 반응물의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배가 되었으므로 이 반응의 반감기는 t s이다.

㉡ x s일 때는 $A(g)$ 의 농도가 t s일 때의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 t s 이후 반감기를 2번 거쳤다. 반감기가 t s이므로 $x=3t$ 이다.

㉢ 반응 속도식이 $v=k[A]$ 이고, 온도가 일정하므로 반응 속도 상수는 일정하다. 따라서 순간 반응 속도는 $A(g)$ 의 농도에 비례하므로 t s일 때가 $3t$ s일 때의 4배이다.

05 반응 속도식과 반응 차수

Ⅱ와 Ⅰ을 비교하면 $[B]$ 가 일정할 때, $[A]$ 가 2배가 되면 초기 반응 속도도 2배가 되므로 $m=1$ 이다.

Ⅹ. $m=1$ 이고 $m+n=3$ 이므로 $n=2$ 이다. 따라서 $n>m$ 이다.

㉠ Ⅱ와 Ⅲ을 비교하면 $[A]$ 가 일정하고, 초기 반응 속도가 Ⅲ이 Ⅱ의 4배이다. 이 반응은 B에 대해 2차 반응이므로 $x=0.2$ 이다.

㉢ 반응 속도식이 $v=k[A][B]^2$ 이므로 Ⅰ의 값을 대입하면 $4 \times 10^3 \text{ M/s} = k \times (0.4 \text{ M}) \times (0.1 \text{ M})^2$ 이고 k 에 대해 정리하면 $k=1 \times 10^6 \text{ M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

06 반응 속도식과 반응 차수

㉠ 0 s에서 t s가 될 때 $A(g)$ 의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되었고, $2t$ s에서 $3t$ s가 될 때 $A(g)$ 의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되었으므로 반감기가 t s로 일정한 1차 반응이다.

㉡ t s일 때의 $A(g)$ 의 농도는 $2t$ s일 때의 2배이므로 $\frac{1}{2}x=2 \times 0.2=0.4$ 이다. 따라서 $x=0.8$ 이다.

Ⅹ. 1차 반응은 반응 속도가 반응물의 농도에 비례하므로 시간이 지날수록 반응 속도는 느려진다. 따라서 같은 시간 간격 동안의 평균 반응 속도도 느려지므로 $0 \sim t$ s 동안의 평균 반응 속도와 $2t \sim 3t$ s 동안의 평균 반응 속도는 같지 않다.

07 반응 속도 측정 실험

㉠ 반응이 진행될수록 생성된 $\text{CO}_2(g)$ 로 인해 플라스크 전체의 질량이 감소하므로 이를 통해 반응 속도를 측정할 수 있다. 따라서 ㉠은 '용액이 들어 있는 삼각 플라스크의 질량'으로 적절하다.

㉡ 시간이 지날수록 같은 시간 동안 플라스크의 질량이 감소하는 정도가 줄어들기 때문에 반응 속도는 느려진다는 것을 알 수 있다.

㉢ 2 min~4 min 동안의 평균 반응 속도는
$$-\frac{(252.6-253.6) \text{ g}}{(4-2) \text{ min}}=0.5 \text{ g/min}$$
이다.

08 활성화 에너지

㉠ 정반응의 활성화 에너지는 a 이고 역반응의 활성화 에너지는 b 이므로 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 크다.

Ⅹ. 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 크므로 정반응은 흡열 반응이다.

Ⅹ. 정반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 '정반응의 활성화 에너지-역반응의 활성화 에너지'이므로 $(a-b)$ 이다.

09 1차 반응의 반감기

㉠ 반감기가 t s로 일정하므로 이 반응은 1차 반응이다. 따라서 $m=1$ 이다.

Ⅹ. 1차 반응에서 반감기는 농도에 관계없이 일정하므로 A의 초기 농도가 0.8 M이어도 반감기는 t s로 일정하다.

㉢ 1차 반응의 순간 반응 속도는 반응물의 농도에 비례하므로 t s일 때가 $2t$ s일 때보다 크다.

10 1차 반응의 반감기

1차 반응은 반감기가 일정하고, 매 반감기마다 반응물의 농도는 $\frac{1}{2}$ 로 줄어든다.

㉠ t s에서 $3t$ s까지 $A(g)$ 의 농도가 0.12 M 줄어든 때 $B(g)$ 의 농도는 0.24 M만큼 커졌으므로 $b=2$ 이다.

㉡ 반응 시간이 0 s에서 t s가 될 때까지 $B(g)$ 의 농도가 0.32 M만큼 커졌으므로 $A(g)$ 의 농도가 0.16 M만큼 줄어들었다. 따라서 $x=0.32$ 이다.

㉢ t s에서 $2t$ s까지 $B(g)$ 의 농도가 0.16 M만큼 커졌으므로 $A(g)$ 의 농도는 0.08 M만큼 줄어야 한다. 따라서 $2t$ s일 때 $A(g)$ 의 농도는 0.08 M이고 매 t s마다 $A(g)$ 의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반감기가 t s로 일정하다. 따라서 이 반응은 $A(g)$ 에 대한 1차 반응이므로 $m=1$ 이다.

11 1차 반응

반응 시간이 1 s일 때 $\frac{1}{[A]}=a \frac{1}{M}$ 이므로 $[A]=\frac{1}{a} \text{ M}$ 이고,

2 s일 때 $\frac{1}{[A]}=2a \frac{1}{M}$ 이므로 $[A]=\frac{1}{2a} \text{ M}$, 3 s일 때는 $\frac{1}{[A]}=4a \frac{1}{M}$ 이므로 $[A]=\frac{1}{4a} \text{ M}$ 이다.

Ⅹ. 1 s마다 $A(g)$ 의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배로 줄어들기 때문에 반감기가 일정한 1차 반응이다. 따라서 $m=1$ 이다.

㉠. 매 1s마다 $A(g)$ 의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배로 줄어들기 때문에 반감기는 1s이다.

✕. 반응 시간이 1s일 때 $[A] = \frac{1}{a}$ 이므로 0s일 때는 $\frac{1}{a} \times 2M = \frac{2}{a}M$ 이다.

12 1차 반응

㉠. II에서 $A(g)$ 의 농도가 0s에서 1s가 될 때 $\frac{1}{2}$ 배가 되었고, 1s에서 2s가 될 때 $\frac{1}{2}$ 배가 되었으므로 반감기가 1s로 일정하다. 따라서 이 반응은 $A(g)$ 에 대한 1차 반응이고 $m=1$ 이다.

㉡. 온도가 일정하므로 III에서 반감기가 1s이고, 1s일 때 $A(g)$ 의 농도는 0s일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 1.5M이다.

✕. 반응 속도식이 $v=k[A]$ 이고, 온도는 일정하므로 순간 반응 속도는 $[A]$ 에 비례한다. 0s일 때와 1s일 때의 $\frac{\text{III의 } [A]}{\text{I의 } [A]}$ 가 같으므로, $\frac{\text{III의 순간 반응 속도}}{\text{I의 순간 반응 속도}}$ 는 0s일 때와 1s일 때가 같다.

3 점 수능 테스트

본문 148~153쪽

01 ⑤ 02 ① 03 ③ 04 ② 05 ① 06 ④ 07 ④
08 ④ 09 ② 10 ③ 11 ③ 12 ②

01 1차 반응

반응 시간에 따른 A와 B의 농도는 다음과 같다.

| 반응 시간(s) | 0 | 10 | 20 | 30 |
|----------|-----|-----|-----|------|
| $[A](M)$ | 1.2 | 0.6 | 0.3 | 0.15 |
| $[B](M)$ | 0 | 1.2 | 1.8 | 2.1 |

㉠. 10s일 때 생성된 B의 농도가 1.2M이므로 감소한 A의 농도는 0.6M이다. 반감기가 10s이므로 A의 초기 농도는 10s 동안 감소한 A의 농도의 2배이므로 1.2M이다.

㉡. 10s에서 30s까지는 반감기가 2번 지났으므로 A의 농도가 $\frac{1}{4}$ 배로 줄어든다. 따라서 30s일 때 A의 농도(M)는 $0.6 \times \frac{1}{4} = 0.15$ 이고, 이때 감소한 A의 농도(M)는 0.45이므로 증가한 B의 농도(M)는 0.9이다. 따라서 $x=2.1$ 이다.

㉢. 20s일 때 $\frac{B(g) \text{의 부분 압력}}{A(g) \text{의 부분 압력}} = \frac{B(g) \text{의 농도}}{A(g) \text{의 농도}}$ 이므로 6이다.

02 1차 반응의 반감기

✕. $t=0$ 에서 $\frac{[A]}{[A]_0}$ 는 항상 같으므로 실험 (나)에서 $t=0$ 일 때

$\frac{[A]}{[A]_0}$ 의 값은 12이다. 실험 (나)에서 $t=30$ 일 때 $\frac{[A]}{[A]_0}=3$ 이고, 반감기를 2번 거쳤으므로 $(12 \rightarrow 6 \rightarrow 3)$ 반감기는 15s이다.

㉠. $t=60$ s는 반감기를 4번 거쳤으므로 $[A]$ 는 초기 농도의 $\frac{1}{16} (= \frac{1}{2^4})$ 이다. 따라서 $x=\frac{3}{4}$ 이다.

✕. $t=60$ s에서 실험 (가)와 (나)는 같은 횟수의 반감기를 거쳤으므로 $A(g)$ 의 농도비는 초기 농도의 비와 같다. 따라서 $[A]$ 는 실험 (나)에서가 실험 (가)에서의 4배이다.

03 1차 반응과 반응 속도

$A(g)$ 의 초기 농도를 n 이라고 할 때 2s일 때의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------|-------|
| | $A(g) \longrightarrow bB(g)$ | |
| 반응 전(M) | n | 0 |
| 반응(M) | $-x$ | $+bx$ |
| 반응 후(M) | $n-x$ | bx |

㉠. 전체 기체의 압력은 2s일 때가 0s일 때의 1.5배이므로

$n : n-x+bx = 2 : 3$ 이고, 기체의 비율로부터 $\frac{bx}{n-x+bx} = \frac{2}{3}$ 이다. 두 식을 연립하면 $b=2$ 이다.

㉡. $b=2$ 이므로 $x=\frac{1}{2}n$ 이고, 4s일 때 양적 관계는 다음과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------|--------|
| | $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ | |
| 반응 전(M) | $\frac{1}{2}n$ | n |
| 반응(M) | $-y$ | $+2y$ |
| 반응 후(M) | $\frac{1}{2}n-y$ | $n+2y$ |

기체의 비율로부터 $\frac{n+2y}{\frac{1}{2}n-y+n+2y} = \frac{6}{7}$ 이고 $y=\frac{1}{4}n$ 이다. 따라서 2s마다 $A(g)$ 의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반감기가 일정한 1차 반응이고, $m=1$ 이다.

✕. 0s일 때 $A(g)$ 의 양을 n mol이라고 하면 4s일 때는 $A(g)$ 의 양이 $\frac{1}{4}n$ mol, $B(g)$ 의 양이 $\frac{6}{4}n$ mol이므로 전체 기체의 양은 $\frac{7}{4}n$ mol이다. 따라서 4s일 때 전체 기체의 압력은 0s일 때의 $\frac{7}{4}$ 배이다.

04 1차 반응과 반감기

반감기가 10 s이므로 매 10 s마다 반응물의 양(mol)은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 반응 전 A(g)의 양을 N mol이라고 할 때, 반응 시간에 따른 기체 분자 수는 다음과 같다.

| 반응 시간(s) | 0 | 10 | 20 | 30 |
|--------------|-----|----------------|----------------|----------------|
| A(g)의 양(mol) | N | $\frac{1}{2}N$ | $\frac{1}{4}N$ | $\frac{1}{8}N$ |
| B(g)의 양(mol) | 0 | N | $\frac{3}{2}N$ | $\frac{7}{4}N$ |

(나)와 (다)에서 A(g)와 B(g)의 몰비가 2 : 7 또는 7 : 2인 경우는 10 s일 때의 A(g) : 30 s일 때의 B(g) = 2 : 7인 경우밖에 없으므로 ●는 A(g)이고 ○는 B(g)이며, $b=30$, $c=10$ 이다.

(가)에서 ●의 수가 (다)에서의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 (다)에서 반감기를 한번 거쳤고, $a=20$ 이다.

✕. ○는 B(g)이다.

○. $b=30$ 이고 $a=20$ 이므로 $b > a$ 이다.

✕. (다)는 $t=10$ s일 때이므로 ○의 양(mol)은 ●의 양(mol)의 2배이다.

05 1차 반응과 반감기

이 반응은 1차 반응이므로 반감기를 지날 때마다 생성되는 생성물의 양은 $\frac{1}{2}$ 배로 줄어든다. t_1 s에서 $2t_1$ s까지 C(g)의 양이 4 mol만큼 증가했으므로 $2t_1$ s에서 $3t_1$ s까지는 C(g)의 양이 2 mol만큼 증가하고, $3t_1$ s에서 $4t_1$ s까지는 C(g)의 양이 1 mol만큼 증가한다. $2t_1$ s에서 t_2 s까지 C(g)의 양이 3 mol만큼 증가하였으므로 $t_2=4t_1$ 이다. 0 s에서 t_1 s까지 C(g)의 양이 8 mol만큼 증가하므로 0 s일 때 C(g)의 양은 4 mol이다.

t_2 s에서 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|-------------------|----------------------|
| | $2A(g) \longrightarrow 2B(g) + C(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | x | 0 | 4 |
| 반응(mol) | $-\frac{15}{16}x$ | $+\frac{15}{16}x$ | $+\frac{15}{32}x$ |
| 반응 후(mol) | $\frac{1}{16}x$ | $\frac{15}{16}x$ | $4 + \frac{15}{32}x$ |

$4 + \frac{15}{32}x = 19$ 이므로 $x=32$ 이다. 따라서 x 와 y 는 각각 32와 4

이고, $(x-y) \times \frac{t_1}{t_2} = (32-4) \times \frac{1}{4} = 7$ 이다.

06 1차 반응과 반감기

(가)에서 A(g)의 부분 압력이 $4 \text{ atm} \times \frac{1}{2} = 2 \text{ atm}$ 이므로 A(g)

의 농도를 $2N \text{ M}$ 라고 하면 각 실험에서 A(g)와 B(g)의 농도는 표와 같다.

| 실험 | (가) | (나) | (다) | (라) |
|----------------|------|------|-----------------|-----------------|
| 전체 기체의 압력(atm) | 4 | 6 | $2x$ | x |
| A(g)의 농도(M) | $2N$ | $4N$ | $\frac{4}{3}xN$ | $\frac{1}{2}xN$ |
| B(g)의 농도(M) | $2N$ | $2N$ | $\frac{2}{3}xN$ | $\frac{1}{2}xN$ |
| 초기 반응 속도(상댓값) | 1 | 2 | 8 | 3 |

(가)와 (나)에서 B(g)의 농도가 일정하고, A(g)의 농도가 2배가 되었는데 초기 반응 속도가 2배이므로 A에 대한 1차 반응이고, $m=1$ 이다. (가)와 (다)를 비교할 때 A(g)의 농도가 $\frac{2}{3}x$ 배가 되

고, B(g)의 농도가 $\frac{1}{3}x$ 배가 될 때, 초기 반응 속도가 8배가 되었

으므로 $\left(\frac{2}{3}x\right) \times \left(\frac{1}{3}x\right)^n = 8$ 의 관계식이 성립한다. (가)와 (라)를

비교할 때, A(g)의 농도가 $\frac{1}{4}x$ 배가 되고, B(g)의 농도가 $\frac{1}{4}x$ 배

가 될 때, 초기 반응 속도가 3배가 되었으므로 $\left(\frac{1}{4}x\right) \times \left(\frac{1}{4}x\right)^n = 3$ 의 관계식이 성립한다. 두 식을 연립하면

$$\left(\frac{2}{3}x\right) \times \left(\frac{1}{3}x\right)^n = \frac{8}{3} \times \left(\frac{4}{3}\right)^n = \frac{8}{3} \text{이므로 } \left(\frac{4}{3}\right)^n = 1 \text{이고, 이를}$$

만족하는 $n=0$ 이고, $x=12$ 이다. 따라서 $\frac{m+n}{x} = \frac{1+0}{12} = \frac{1}{12}$ 이다.

07 1차 반응과 반감기

평균 반응 속도는 $-\frac{[A]_2 - [A]_1}{t_2 - t_1}$ 으로 나타낼 수 있다. 1 s일 때

A(g)의 농도가 $x \text{ M}$ 라고 하면, 0 s~1 s의 평균 반응 속도는

$$-\frac{x \text{ M} - 0.24 \text{ M}}{1 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 0.12 \text{ M/s이므로 } x = 0.12 \text{이다. 같은 방식}$$

으로 계산하여 시간에 따른 A(g)의 농도를 표로 나타내면 다음과 같다.

| 시간(s) | 0 | 1 | 2 | 3 |
|-------------|------|------|------|------|
| A(g)의 농도(M) | 0.24 | 0.12 | 0.06 | 0.03 |

이 반응은 반감기가 1 s로 일정하므로 1차 반응이다.

$$\text{✕. } 0 \text{ s} \sim 3 \text{ s의 평균 반응 속도는 } -\frac{0.03 \text{ M} - 0.24 \text{ M}}{3 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 0.07 \text{ M/s}$$

이므로 $a=0.07$ 이다.

㉠. 3 s일 때 $A(g)$ 의 농도가 0.03 M이고 반감기가 1 s이므로 4 s일 때 $A(g)$ 의 농도는 0.015 M이다.

㉡. 온도가 일정하므로 반응 속도 상수는 일정하고, 1 s일 때 $A(g)$ 의 농도가 3 s일 때의 4배이므로 순간 반응 속도도 4배이다.

08 1차 반응과 반감기

1차 반응에서 반감기를 1번 지날 때마다 생성물의 증가량이 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소한다.

✕. I에서 0 s~ t s 동안 생성된 $C(g)$ 의 양이 3.6 mol인데, t s~ $2t$ s 동안 생성된 $C(g)$ 의 양은 0.9 mol로 $\frac{1}{4}$ 배가 되었으므로 반감기가 2번 지났다. 따라서 반감기는 $\frac{1}{2}t$ s이다.

㉠. 반감기가 $\frac{1}{2}t$ s이므로 I에서 t s일 때 반응물의 양(mol)은 처음의 $\frac{1}{4}$ 배이다. 따라서 $y = 9.6 \times \frac{1}{4} = 2.4$ 이고, I에서 t s일 때 생성된 $C(g)$ 의 양(mol)이 II의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $x = \frac{1}{2} \times y = 1.2$ 이다. 따라서 $x + y = 3.6$ 이다.

㉡. I에서 반응 전 $A(g)$ 의 양은 $4x$ 이므로 4.8 mol이고, $2t$ s까지 반응한 $A(g)$ 의 양은 $4.8 - 0.3 = 4.5$ mol이다. $2t$ s까지 생성된 $B(g)$ 의 양은 6.75 mol이고, $C(g)$ 의 양은 $1.8 + 1.8 \times \frac{1}{4} = 2.25$ mol이다. 반응 계수비는 $4.5 : 6.75 : 2.25 = a : b : 1$ 이므로 $a = 2$, $b = 3$ 이고, $a + b = 5$ 이다.

09 1차 반응과 반감기

$A(g)$ 의 초기 농도를 n M라고 하고, 1 s일 때 화학 반응의 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------|-------|
| | $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ | |
| 반응 전(M) | n | 0 |
| 반응(M) | $-a$ | $+2a$ |
| 반응 후(M) | $n-a$ | $2a$ |

1 s일 때 $\frac{P_A}{P_{\text{전체}}} = \frac{n-a}{n-a+2a} = \frac{1}{3}$ 이므로 $a = \frac{1}{2}n$ 이다.

2 s일 때 화학 반응의 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------|--------|
| | $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ | |
| 반응 전(M) | $\frac{1}{2}n$ | n |
| 반응(M) | $-b$ | $+2b$ |
| 반응 후(M) | $\frac{1}{2}n-b$ | $n+2b$ |

2 s일 때 $\frac{P_A}{P_{\text{전체}}} = \frac{\frac{1}{2}n-b}{\frac{1}{2}n-b+n+2b} = \frac{1}{7}$ 이므로 $b = \frac{1}{4}n$ 이다.

1 s마다 $A(g)$ 의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반감기가 일정한 1차 반응이다.

✕. 반감기가 일정하므로 1차 반응이고 $m = 1$ 이다.

㉠. 반감기는 1 s이다.

✕. 3 s일 때 양적 관계는 다음과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------|-----------------|
| | $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ | |
| 반응 전(M) | $\frac{1}{4}n$ | $\frac{6}{4}n$ |
| 반응(M) | $-\frac{1}{8}n$ | $+\frac{2}{8}n$ |
| 반응 후(M) | $\frac{1}{8}n$ | $\frac{14}{8}n$ |

따라서 $\frac{P_A}{P_{\text{전체}}} = \frac{\frac{1}{8}n}{\frac{1}{8}n + \frac{14}{8}n} = \frac{1}{15}$ 이다.

10 1차 반응과 반감기

$A(g)$ 의 초기 농도와 초기 반응 속도가 비례하므로 이 반응은 $A(g)$ 에 대한 1차 반응이고 반응 속도식은 $v = k[A]$ 로 나타낼 수 있다.

㉠. 반응 속도 상수 $k = \frac{v}{[A]} = \frac{0.06 \text{ M/s}}{0.2 \text{ M}} = 0.3 \text{ s}^{-1}$ 이다.

✕. $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ 에서 $A(g)$ 의 초기 농도가 n M이고, x M만큼 반응했을 때의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------|-------|
| | $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ | |
| 반응 전(M) | n | 0 |
| 반응(M) | $-x$ | $+2x$ |
| 반응 후(M) | $n-x$ | $2x$ |

반응 후 $A(g)$ 의 몰 분율 $\frac{n-x}{n-x+2x} = 0.5$ 일 때, $x = \frac{1}{3}n$ 이다.

반감기는 $x = \frac{1}{2}n$ 일 때이므로 t s는 반감기보다 작다.

㉡. t s에서 $A(g)$ 의 초기 농도의 $\frac{1}{3}$ 배만큼 반응했으므로 남아 있는 $A(g)$ 의 양은 $0.4 \text{ mol} \times \frac{2}{3} = \frac{4}{15} \text{ mol}$ 이다. 용기의 부피가 1 L이고, 반응 속도 상수 $k = 0.3 \text{ s}^{-1}$ 이므로 순간 반응 속도 $v = 0.3 \text{ s}^{-1} \times \frac{4}{15} \text{ M} = 0.08 \text{ M/s}$ 이다.

11 1차 반응과 반감기

반응 시간이 t_1 s일 때 $A(g)$ 의 부분 압력과 $B(g)$ 의 부분 압력이 같으므로 기체의 양(mol)이 같다.

㉠ t_1 s까지 반응한 A(g)의 양(mol)을 x 라 하면, $3-x=x$ 이므로 $x=\frac{3}{2}$ 이다. 따라서 A(g)의 양(mol)=B(g)의 양(mol)= $\frac{3}{2}$ 이고, A(g)의 양이 3 mol에서 $\frac{3}{2}$ mol이 되었으므로 반감기는 t_1 s이다.

㉡ 반응 시간에 따른 A(g)와 B(g)의 양(mol)은 다음과 같다.

| 반응 시간(s) | 0 | t_1 | $2t_1$ | $3t_1$ | $4t_1$ |
|--------------|---|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| A(g)의 양(mol) | 3 | $\frac{3}{2}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{3}{8}$ | $\frac{3}{16}$ |
| B(g)의 양(mol) | 0 | $\frac{3}{2}$ | $\frac{9}{4}$ | $\frac{21}{8}$ | $\frac{45}{16}$ |

$2t_1$ s일 때 B(g)의 양이 $\frac{9}{4}$ mol이므로 2 mol보다 크다. 따라서 $t_1 < t_2 < 2t_1$ 이므로 $t_2 - t_1$ 은 t_1 보다 작다.

㉢ $t_1 < t_2 < 2t_1$ 이므로 $2t_1 < 2t_2 < 4t_1$ 이다. 따라서 반응 시간이 $2t_2$ s일 때 B(g)의 양은 $\frac{45}{16}$ mol보다 작다.

12 반응 속도와 양적 관계

t_1 s일 때 $\frac{\text{생성물의 질량}}{\text{반응물의 질량}}=1$ 이므로 0 s~ t_1 s까지 반응물의 절반이 반응하였고, 반감기는 t_1 s이다.

반응 전 A(g)의 양을 N mol이라고 하고, P_A 와 P_B 를 각각 A(g)와 B(g)의 부분 압력이라고 하면, t_1 s일 때의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|------|-----------------|
| | $2A(g) \longrightarrow 4B(g) + C(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | N | 0 | 0 |
| 반응(mol) | $-\frac{1}{2}N$ | $+N$ | $+\frac{1}{4}N$ |
| 반응 후(mol) | $\frac{1}{2}N$ | N | $\frac{1}{4}N$ |

$$\frac{P_B}{P_A} = \frac{N}{\frac{1}{2}N} = 2 \text{이므로 } x=2 \text{이다.}$$

t_2 s에서 반응한 A(g)의 양을 a mol이라고 하면, 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|-------|-----------------|
| | $2A(g) \longrightarrow 4B(g) + C(g)$ | | |
| 반응 전(mol) | N | 0 | 0 |
| 반응(mol) | $-a$ | $+2a$ | $+\frac{1}{2}a$ |
| 반응 후(mol) | $N-a$ | $2a$ | $\frac{1}{2}a$ |

$$\frac{P_B}{P_A} = 14 \text{이므로 } 2a = 14(N-a) \text{이고 } a = \frac{7}{8}N \text{이므로 } t_2 \text{ s에서}$$

남아 있는 A(g)의 양은 $\frac{1}{8}N = \left(\frac{1}{2}\right)^3 N$ mol이다. 따라서 반감기를 3번 거쳤으므로 $t_2 = 3t_1$ 이다. A의 분자량을 M_A 라고 하면

$$\frac{\text{생성물의 질량}}{\text{반응물의 질량}} = \frac{\frac{7}{8}NM_A}{\frac{1}{8}NM_A} = 7 \text{이고, } y=7 \text{이다.}$$

$$\text{따라서 } \frac{y}{x} \times \frac{t_1}{t_2} = \frac{7}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{7}{6} \text{이다.}$$

수능특강 사용설명서

수능특강을 공부하는 가장 쉽고 빠른 방법
수능특강 사용설명서로 시너지 효과 극대화

08 반응 속도에 영향을 미치는 요인

2점 수능 테스트

본문 162~164쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ① 04 ③ 05 ③ 06 ② 07 ③
08 ② 09 ③ 10 ③ 11 ⑤ 12 ⑤

01 반응 속도에 영향을 미치는 요인

정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 감소하고, 온도가 높아지면 반응 속도 상수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

- Ⓐ 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 감소한다.
Ⓑ 온도가 높아지면 반응 속도 상수가 커진다.
ⓒ 온도가 높아지면 역반응의 반응 속도 상수도 커지므로 역반응의 속도도 빨라진다.

02 아연과 묽은 염산의 반응

아연과 묽은 염산이 반응하면 수소 기체가 발생하는데 반응 시간 동안 발생하는 기체의 부피를 측정하여 반응 속도를 구할 수 있다.

- Ⓐ 기체가 발생하는 반응은 반응 시간 동안 생성되는 기체의 부피를 통해 반응 속도를 나타낼 수 있다.
Ⓑ 아연을 가루로 넣으면 묽은 염산과 접촉하는 면적이 넓어지므로 반응 속도가 빨라진다.
✕ 묽은 염산의 농도를 더 진하게 하면 반응 속도는 빨라지지만 한계 반응물인 아연의 질량은 0.1 g으로 같으므로 생성되는 기체의 부피는 변하지 않는다.

03 반응 속도와 온도

0 min에서 1 min이 될 때, 화학 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | |
|-----------|------------------------------|-------|
| | $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ | |
| 반응 전(mol) | 2 | 0 |
| 반응(mol) | $-x$ | $+2x$ |
| 반응 후(mol) | $2-x$ | $2x$ |

반응 후 전체 기체의 양이 3 mol이 되어야 하므로 $2-x+2x=3$ 이고, $x=1$ 이다.

- Ⓐ 0 min~1 min까지 $A(g)$ 의 양은 1 mol 감소했고, 1 min일 때 $A(g)$ 의 양은 1 mol이다. 같은 방법으로 계산하면 2 min일 때 $A(g)$ 의 양은 0.5 mol이므로 이 반응은 1 min마다 $A(g)$ 의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배가 되는 1차 반응이다.
✕ 2 min에서 3 min이 될 때 온도가 T_1 이었다면 3 min에서 전체 기체의 양이 3.75 mol이 되어야 하는데 3.7 mol이므로 반

응이 더 느려졌음을 알 수 있다. 따라서 $T_1 > T_2$ 이다.

✕ 2 min일 때는 온도가 T_1 이고, 3 min일 때는 온도가 T_2 이며, 반응물의 농도도 2 min일 때가 3 min일 때보다 크므로 순간 반응 속도는 2 min일 때가 3 min일 때보다 크다.

04 온도와 반응 속도

I에서 $A(g)$ 의 농도가 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이 1 s이므로 반감기는 1 s이다. 온도가 증가하면 반응 속도 상수가 증가하고, 1차 반응의 경우 반감기가 작아진다.

- Ⓐ I과 II에서 초기 농도가 같지만 반응 시간이 2 s일 때 남아 있는 $A(g)$ 의 농도가 II에서가 더 작으므로 반응 속도는 II가 더 크다. 따라서 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

✕ II에서 0 s~2 s 동안 $A(g)$ 의 농도가 $\frac{1}{16}$ 배로 줄어들었으므로 반감기를 4번 거쳤고, 반감기는 0.5 s이다.

따라서 $\frac{\text{I에서 } A(g) \text{의 반감기}}{\text{I에서 } A(g) \text{의 반감기}} = \frac{0.5 \text{ s}}{1 \text{ s}} = \frac{1}{2}$ 이다.

- Ⓑ II의 반감기가 0.5 s이므로 1 s까지 반감기를 2번 거쳤다. 따라서 $A(g)$ 의 농도는 $\frac{1}{4}$ 배로 줄어들기 때문에 $x=0.4$ 이다.

05 온도와 반응 속도

I과 III을 비교하면 [B]와 온도가 일정하고, [A]가 2배가 될 때 초기 반응 속도도 2배가 되었으므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다. III과 IV를 비교하면 [A]와 온도가 일정할 때 [B]가 변해도 초기 반응 속도가 변하지 않으므로 이 반응은 B에 대한 0차 반응이다.

- Ⓐ A에 대한 1차, B에 대한 0차 반응이므로 전체 반응 차수는 1이다.

Ⓑ I과 II를 비교하면 [A]의 농도가 일정할 때 온도 T_1 에서 초기 반응 속도가 더 크므로 $T_1 > T_2$ 이다.

✕ T_1 에서 T_2 에서보다 반응 속도가 더 크므로 반감기는 더 작다.

06 반응 속도식과 온도

온도가 T_2 일 때가 T_1 일 때보다 반응물의 농도가 더 빨리 감소한다.

✕ T_1 에서 0 s에서 t s까지 $A(g)$ 가 0.5 M 감소하는데, T_2 에서는 1.5 M 감소하므로 반응 속도는 T_2 에서가 더 빠르다. 따라서 $T_2 > T_1$ 이다.

- Ⓐ t s에서 반응물의 농도가 같으므로 반응 속도 상수가 큰 T_2 에서 순간 반응 속도가 더 크다.

✕ T_1 에서 $A(g)$ 의 농도가 1 M에서 0.5 M가 되는 데 t s가 걸렸기 때문에 반감기는 t s이다. T_2 에서는 $A(g)$ 의 농도가 2 M에서 1 M가 되는 데 t s보다 짧은 시간이 걸렸기 때문에 반감기는 t s보다 작다. 따라서 반감기는 T_1 에서가 T_2 에서보다 크다.

07 촉매와 활성화 에너지

촉매를 사용하면 반응물과 생성물의 엔탈피는 변하지 않지만 활성화 에너지가 변한다.

- ㉠. II는 I보다 활성화 에너지가 작으므로 II에서 넣어 준 촉매는 정촉매이다.
 ㉡. 반응물의 농도가 같을 때 활성화 에너지가 작을수록 반응 속도 상수가 크므로 초기 반응 속도는 $II > I$ 이다.
 ✕. 촉매를 넣어도 반응물과 생성물의 엔탈피는 변하지 않으므로 반응 엔탈피(ΔH)는 I과 II가 서로 같다.

08 분자의 운동 에너지 분포와 반응 속도

온도가 높을수록 기체 분자의 평균 운동 에너지는 크다.

- ✕. T_2 에서 T_1 에서보다 기체 분자의 평균 운동 에너지가 크므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.
 ㉠. 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 크므로 k 는 T_2 에서 T_1 에서보다 크다.
 ✕. 반응물의 농도가 같을 때 반응 속도 상수가 클수록 반응 속도가 크므로 $A(g)$ 의 농도가 같을 때, 반응 속도는 T_2 에서 T_1 에서보다 크다.

09 효소와 반응 속도

효소는 특정 기질과 반응할 수 있는 활성 부위가 존재하므로 기질 특이성이 있다.

- ㉠. 효소를 사용하더라도 생성물은 변하지 않는다.
 ㉡. 효소는 활성 부위에서 기질과 결합하여 효소 기질 복합체를 형성한다.
 ✕. 효소는 반응 후 다시 처음 상태로 돌아오므로 반응 후 효소의 양(mol)은 변하지 않는다.

10 온도와 반응 속도

I에서 2s마다 반응물의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반감기는 2s이고, 반감기가 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다. II에서는 0s에서 2s까지 반응물의 농도가 $\frac{1}{4}$ 배가 되므로 반감기를 2번 거쳤다. 따라서 반감기는 1s이다.

- ㉠. I에서 반감기는 2s이고, II에서 반감기는 1s이므로 반응 속도 상수는 $II > I$ 이다.
 ㉡. 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 크다. 반응 속도 상수가 $II > I$ 이므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.
 ✕. II에서 반감기는 1s이므로 4s에서 반응물의 농도는 2s일 때의 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 $x = \frac{1}{2}$ 이다.

11 촉매와 반응 속도

부촉매는 반응의 활성화 에너지를 증가시켜 반응 속도를 느리게 한다.

- ㉠. I, II는 $A(g)$ 의 초기 농도가 같고, 온도는 II가 I보다 높으므로 초기 반응 속도는 II가 I보다 빠르다. 따라서 x 는 $7v$ 보다 크다.
 ㉡. II에서 물질 X를 첨가해서 초기 반응 속도가 II($x > 7v$)보다 작아졌으므로 X는 부촉매이다.
 ㉢. 부촉매는 반응의 활성화 에너지를 증가시키므로 y 는 E_a 보다 크다.

12 촉매와 반응 속도

Pt(s) 촉매는 표면에 반응물이 부착되어 반응의 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 빠르게 한다.

- ㉠. Pt(s)의 표면에서 반응이 일어날 때 $A_2(g) + B_2(g) \longrightarrow 2AB(g)$ 의 반응 속도를 증가시킨다.
 ㉡. 반응 전후에 Pt(s)은 소모되지 않으므로 질량은 같다.
 ㉢. Pt(s)의 표면에서 반응이 일어나 활성화 에너지가 감소하여 반응 속도가 증가한다.

3 점 수능 테스트

본문 165~170쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ④ 04 ② 05 ① 06 ④ 07 ③
 08 ⑤ 09 ⑤ 10 ① 11 ④ 12 ③

01 온도와 반응 속도

$A(g) \longrightarrow B(g)$ 는 A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도는 $[A]$ 에 비례한다.

- ㉠. $A(g)$ 의 초기 농도가 $I > II$ 이지만 초기 반응 속도는 $II > I$ 이므로 $k_2 > k_1$ 이다.
 ㉡. $k_2 > k_1$ 이므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다. 그림에서 E_a 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 (나) > (가)이므로 온도는 (나) > (가)이다. 따라서 (나)의 온도는 T_2 이다.
 ㉢. 온도가 높을수록 반감기는 작기 때문에 반감기는 $I > II$ 이다.

02 온도와 반응 속도

I에서 반감기를 t s라고 할 때 매 반감기마다 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 농도(M)와 $A(g)$ 의 몰 분율을 나타내면 다음과 같다.

| | 0 s | t s | 2t s | 3t s | 4t s |
|-------------|-----|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| A(g)의 농도(M) | a | $\frac{1}{2}a$ | $\frac{1}{4}a$ | $\frac{1}{8}a$ | $\frac{1}{16}a$ |
| B(g)의 농도(M) | 0 | a | $\frac{3}{2}a$ | $\frac{7}{4}a$ | $\frac{15}{8}a$ |
| A(g)의 몰 분율 | 1 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{15}$ | $\frac{1}{31}$ |

㉠. $b=2t$ 이고, $x=4t$ 이므로 $x=2b$ 이다.

㉡. I과 II를 비교하면, $2b$ s일 때 A(g)의 몰 분율이 같으므로 반감기가 같다. 온도가 같으면 초기 농도에 관계없이 반감기가 같으므로 $T_1=T_2$ 이다. II와 III을 비교할 때, II의 반감기는 $\frac{1}{2}b$ s이고, III의 반감기는 $\frac{1}{4}b$ s이다. 반감기가 작을수록 온도가 높으므로 온도는 $T_3>T_2$ 이다. 따라서 온도는 $T_1=T_2<T_3$ 이다.

㉢. 반응 시간이 $\frac{1}{2}b$ s일 때 A(g)의 농도는 I과 III에서 $\frac{1}{2}a$ M로 같고, 온도는 $T_3>T_1$ 이므로 순간 반응 속도는 III에서 I에서보다 크다.

03 온도에 따른 반응 속도 측정하기

싸이오황산 나트륨 수용액은 묽은 염산과 반응하여 양극을 생성하므로 흰 종이 위의 ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간을 통해 반응 속도를 비교할 수 있다.

㉡. ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간을 통해 반응의 상대적인 빠르기는 비교할 수 있지만 반응 속도 상수의 값을 구할 수 없다.

㉢. t_2 °C에서가 t_1 °C에서보다 ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간이 더 짧으므로 반응 속도가 더 빠르다. 따라서 $t_2>t_1$ 이다.

㉣. 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 크므로 반응 속도 상수는 t_2 °C에서가 t_1 °C에서보다 크다.

04 반응 속도와 반감기

$2t$ s에서 A(g)의 부분 압력은 I이 II의 2배이므로 A(g)의 농도도 I이 II의 2배이다. 따라서 I의 $2t$ s에서 A(g)의 농도는 $2b$ 이다.

㉡. I에서 반응 시간이 $2t$ 에서 $3t$ 가 될 때 A(g)의 농도는 $2b$ 에서 b 로 줄어들었으므로 I에서 반감기는 t s이다. 따라서 $a=2 \times 2b=4b$ 이다.

㉢. II에서 t s~ $2t$ s 사이에 A(g)의 농도는 $\frac{1}{4}$ 배가 되었으므로 반감기는 $\frac{1}{2}t$ s이다. 반감기가 I은 t s이고, II는 $\frac{1}{2}t$ s이므로 A(g)의 초기 농도는 I이 $2a$ M, II가 $4a$ M이다. 따라서 A의 초기 농도는 II에서가 I에서의 2배이다.

㉣. II에서 반감기가 더 짧으므로 반응 속도 상수는 $II>I$ 이다. t s에서 A(g)의 농도는 같고 반응 속도 상수는 $II>I$ 이므로 순간 반응 속도도 $II>I$ 이다.

05 반응 속도와 반감기

0 s일 때 $y-1=1$, $z-1=3$ 이므로 $y=2$, $z=4$ 이다. 1 s일 때 $n_X \sim n_Z$ 를 각각 a , b , c 라고 하면, Y와 Z의 온도가 같으므로 반응 속도 상수가 같고 0 s일 때 농도비가 $2:4=1:2$ 이므로 $b:c=1:2$ 이고, $c=2b$ 이다. 1 s일 때 $n_Y - n_X = 0$ 이므로 $b-a=0$ 이고, $c-a=0.5$ 이므로 $a=0.5$, $b=0.5$, $c=1$ 이다. 반응 시간에 따른 A(g)의 양(mol)을 나타내면 다음과 같다.

| | A(g)의 양(mol) | |
|---|--------------|---------|
| | $t=0$ s | $t=1$ s |
| X | 1 | 0.5 |
| Y | 2 | 0.5 |
| Z | 4 | 1 |

㉠. X의 반감기는 1 s이고, Y와 Z의 반감기는 0.5 s이므로 반응 속도 상수는 Y, Z에서가 X에서보다 크고 온도는 $T_2>T_1$ 이다.

㉡. 1 s일 때 A(g)의 농도는 $Z>X$ 이고, 반응 속도 상수도 $Z>X$ 이므로 순간 반응 속도는 $Z>X$ 이다. 따라서 1:1이 아니다.

㉢. 2 s일 때 $n_X=n_Z=0.25$ mol이고 $T_2>T_1$ 이므로

$$\frac{\text{X에서 A(g)의 부분 압력}}{\text{Z에서 A(g)의 부분 압력}} = \frac{n_X \times T_1}{n_Z \times T_2} < 1 \text{이다.}$$

06 반응 속도와 반감기

백금 촉매 표면에서 질소와 수소가 흡착해 결합이 약해지므로 반응의 활성화 에너지가 줄어든다.

㉠. 백금 표면에서 반응이 일어나 활성화 에너지가 줄어들기 때문에 (가)의 반응은 B의 경로로 일어난다.

㉡. 촉매는 반응 엔탈피(ΔH)에 영향을 주지 않으므로 A와 B의 반응 엔탈피는 같다.

㉢. B의 활성화 에너지가 A보다 작으므로 반응 속도 상수는 B가 A보다 크다.

07 온도와 반응 속도

화학 반응식이 $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ 이고, 반응이 완결되었을 때 B(g)의 양이 0.4 mol이므로 I과 II에서 A(g)의 초기 양은 0.2 mol로 같다. I과 II에서 반응 시간(t)에 따른 A(g)와 B(g)의 양(mol)은 다음과 같다.

| | | A(g) 또는 B(g)의 양(mol) | | | |
|----|------|----------------------|-------|-------|-------|
| | | t=0 s | t=1 s | t=2 s | t=3 s |
| I | A(g) | 0.2 | 0.05 | | |
| | B(g) | 0 | 0.3 | | |
| II | A(g) | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.025 |
| | B(g) | 0 | 0.2 | 0.3 | 0.35 |

㉠. I과 II에서 A(g)의 초기 양은 0.2 mol로 같고 용기의 부피가 1 L이므로 A(g)의 초기 농도는 0.2 M이다.

㉡. II에서 1 s마다 A(g)의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 이 반응은 1차 반응이고 반감기는 1 s이다. I에서 0 s에서 1 s 동안 A(g)의 양(mol)이 $\frac{1}{4}$ 배가 되었으므로 반감기를 2번 거쳤고 반감기는 0.5 s이다. 따라서 반감기가 II에서가 I에서의 2배이다.

㉢. A(g)의 초기 농도는 0.2 M로 I에서와 II에서가 같고, 반응 속도 상수는 I에서가 II에서보다 크므로 초기 반응 속도는 I에서가 II에서보다 크다.

08 촉매와 반응 속도

1차 반응은 반감기가 일정하고 반응 속도 상수가 클수록 반감기는 짧다. I은 반응물의 농도가 0.8 M에서 0.4 M가 되는 데 1 s가 걸렸고, II는 0.4 M에서 0.2 M가 되는 데 1 s가 걸렸으므로 반감기가 같다. III에서 1 s 동안 A(g)의 농도가 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배가 되었으므로 반감기를 2번 거쳤고, 반감기는 0.5 s이다.

㉠. I과 II의 반감기가 같으므로 반응 속도 상수는 같다. 따라서 I과 II의 온도는 같다.

㉡. II와 III은 온도는 같으나 반감기가 III에서가 II에서보다 짧으므로 반응 속도 상수는 III에서가 II에서보다 크고, 반응의 활성화 에너지는 II에서가 III에서보다 크다.

㉢. 반응의 활성화 에너지는 II에서가 III에서보다 크므로 III에서 넣어 준 촉매는 정촉매이다.

09 온도와 반응 속도

(가)와 (나)의 초기 온도가 T_1 과 T_2 로 서로 다르므로 반응 속도 상수는 서로 다르다. (가)와 (나)의 초기 반응 속도가 같으므로 (가)와 (나)의 초기 농도는 달라야 한다. 따라서 ①과 ②는 적절하지 않다. 20 s부터 (가)와 (나)의 온도가 같으므로 반감기가 같아진다. 이를 만족하는 그래프는 ⑤이다.

10 온도와 반응 속도

T_2 일 때 평균 분자 운동 에너지가 T_1 일 때보다 크므로 $T_2 > T_1$

이다. 촉매 X(s)를 넣었을 때 반응의 활성화 에너지가 감소했으므로 X(s)는 정촉매이다. A(g)의 농도는 반응 속도 상수에 영향을 미치지 않으므로 온도가 T_2 이고, X(s)를 넣은 경우가 반응 속도 상수가 가장 크다. 따라서 II의 반응 속도 상수가 가장 크고 온도가 T_1 이고 촉매를 넣은 III이 다음으로 크다. I과 IV는 A(g)의 농도만 다르므로 반응 속도 상수의 크기는 같다. 따라서 반응 속도 상수의 크기는 $II > III > I = IV$ 이다.

11 온도와 반응 속도

반응식이 $2A(g) \longrightarrow B(g)$ 이므로 반응이 일어날수록 A(g)의 양은 줄어들고 B(g)의 양은 늘어난다.

㉠. (가)에서 t s일 때보다 2t s일 때 \square 의 비율이 커졌으므로 \square 는 B(g)이다.

㉡. (가)에서 t s일 때 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------|------|
| | $2A(g) \longrightarrow B(g)$ | |
| 반응 전(M) | 0.8 | 0 |
| 반응(M) | $-2x$ | $+x$ |
| 반응 후(M) | $0.8-2x$ | x |

$0.8-2x : x = 2 : 1$ 이고, $x = 0.2$ 이다. 따라서 t s일 때 A(g)의 농도는 0.4 M이고, B(g)의 농도는 0.2 M이다. 같은 방법으로 계산하면 2t s일 때 A(g)의 농도는 0.2 M이고, B(g)의 농도는 0.3 M이다. t s마다 A(g)의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반감기가 t s로 일정한 1차 반응이다.

㉢. (나)에서 t s일 때 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------|------|
| | $2A(g) \longrightarrow B(g)$ | |
| 반응 전(M) | 0.6 | 0 |
| 반응(M) | $-2y$ | $+y$ |
| 반응 후(M) | $0.6-2y$ | y |

$0.6-2y : y = 1 : 1$ 에서 $y = 0.2$ 이고 A(g)와 B(g)의 농도는 각각 0.2 M이다. t s 동안 A(g) 0.4 M가 반응하여 0.6 M에서 0.2 M로 줄어들었으므로 반감기는 t s보다 짧다. 따라서 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

12 반응 속도에 영향을 미치는 요인

초기 반응 속도가 반응물의 초기 농도에 비례하므로 $A(g) \longrightarrow B(g)$ 는 A(g)에 대한 1차 반응이다. 그림에서 A(g)의 초기 농도가 같을 때, 초기 반응 속도는 T_1 일 때가 T_2 일 때의 2배이므로 반응 속도 상수도 T_1 일 때가 T_2 일 때의 2배이다.

㉠. I의 온도가 T_2 , II의 온도가 T_1 이라고 하고 I에서 $A(g)$ 의 초기 농도를 $4a$ M라고 하면, 0 s일 때의 순간 반응 속도가 I : II = 2 : 1이므로 II에서 $A(g)$ 의 초기 농도는 a M이다. I의 반감기가 10 s이므로 20 s일 때 I에서 $A(g)$ 의 농도는 a M이고, 초기 반응 속도가 v_2 로 같으므로 II의 농도는 $\frac{1}{2}a$ M가 되어야 하고, T_1 에서의 반감기는 20 s, T_2 에서의 반감기는 10 s이다. 온도가 더 높은 T_1 에서의 반감기가 더 작아야 하는데 T_2 에서의 반감기가 더 작으므로 모순이다. 따라서 I의 온도는 T_1 , II의 온도는 T_2 이다.

㉡. I에서 $A(g)$ 의 초기 농도를 $4b$ M라고 하면, II에서 $A(g)$ 의 초기 농도도 $4b$ M이다. I에서 반감기가 10 s이므로 20 s일 때 $A(g)$ 의 농도는 b M이고 II에서 20 s일 때 $A(g)$ 의 농도는 $2b$ M가 되어야 하므로 반감기는 20 s이다.

✕. I에서 $A(g)$ 의 초기 농도를 $4b$ M라고 하면, 40 s일 때 $A(g)$ 의 농도는 I에서 $\frac{1}{4}b$ M이고 II에서 b M이므로 같지 않다.

09 전기화학과의 융

2 점 수능 테스트

본문 184~186쪽

01 ④ 02 ② 03 ③ 04 ⑤ 05 ① 06 ④ 07 ⑤
08 ④ 09 ③ 10 ⑤ 11 ③ 12 ④

01 수소 연료 전지

✕. 수소 연료 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.

㉠. 수소 연료 전지에서 전기 반응의 생성물은 H_2O 이므로 환경오염을 거의 일으키지 않는다.

㉡. 수소 연료 전지는 반응물인 $H_2(g)$ 가 전지 내부에 저장되어 있지 않고 외부로부터 계속해서 공급됨으로써 지속적으로 작동되는 전지이다.

02 금속의 이온화 경향

✕. $ASO_4(aq)$ 에 $B(s)$ 를 넣었을 때 $A(s)$ 가 생성되었으므로 금속의 이온화 경향은 $B > A$ 이다.

㉠. $A(s)$ 가 생성되었을 때 수용액 속 총 이온의 양(mol)이 변화가 없으므로 (나)에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 (나) 과정 후 수용액에 존재하는 B 이온은 B^{2+} 이므로 $m=2$ 이다.

✕. 수용액의 밀도는 $d_1 > d_2$ 이므로 원자량은 $A > B$ 이다.

03 금속의 이온화 경향

금속 A와 B의 표면에서 금속 C가 생성되었으므로 금속의 반응성은 A와 B가 모두 C보다 크다. 따라서 금속 A~C의 이온화 경향을 비교하기 위해서는 금속 A와 B의 이온화 경향의 크기 순서를 알아야 하므로 추가로 필요한 실험은 ③이 적절하다.

04 금속과 $HCl(aq)$ 의 반응

㉠. 금속 A는 $HCl(aq)$ 과 반응하지 않았고, 금속 B는 $HCl(aq)$ 과 반응하여 $H_2(g)$ 가 발생하였으므로 금속의 이온화 경향은 $B > A$ 이다.

㉡. (나)에서 $2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$ 의 환원 반응이 일어나므로 H^+ 의 농도는 감소한다. 따라서 수용액의 pH는 (나) > (가)이다.

㉢. (나)에서 t s 동안 생성된 $H_2(g)$ 와 $B^{m+}(aq)$ 의 양(mol)은

같으므로 (나)에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



반응이 일어날수록 이온의 양(mol)은 감소하므로 수용액 속 총 이온의 양(mol)은 (가) > (나)이다.

05 다니엘 전지

㉠ 다니엘 전지는 Zn 전극에서 산화 반응이 일어나고 Cu 전극에서 환원 반응이 일어난다. 따라서 반응이 진행될 때 전자는 도선을 따라 Zn 전극에서 Cu 전극으로 이동한다.

✕. (나)에서 $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$ 의 환원 반응이 일어나 Cu^{2+} 의 양(mol)이 감소하지만, 염다리에서 양이온이 Cu 전극 쪽으로 이동하여 전해질 용액은 전기적으로 중성을 유지한다.

✕. 전체 반응은 $\text{Zn}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$ 이다. 따라서 증가한 Zn^{2+} 의 농도만큼 Cu^{2+} 의 농도가 감소하므로 (나)에서 $[\text{Cu}^{2+}]$ 는 감소한다. (가)에서 $[\text{Zn}^{2+}]$ 는 증가한다.

06 화학 전지

✕. 전극 ㉠의 질량이 감소하였으므로 전극 ㉠에서 산화 반응이 일어났다. 따라서 전극 ㉠은 (-)극이다.

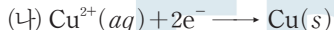
㉡. (가)에서 산화 반응이 일어났으므로 (나)에서 환원 반응이 일어난다.

㉢. (가)에서 $\text{A}(\text{s}) \longrightarrow \text{A}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ 의 산화 반응이, (라)에서 $\text{C}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{C}(\text{s})$ 의 환원 반응이 일어난다. 따라서 (가)에서 감소한 A(s)의 양(mol)과 (라)에서 생성된 C(s)의 양(mol)은 같다.

07 전기 분해

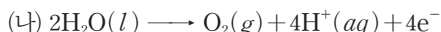
㉠. (가)와 (나) 모두 전기 분해 장치이므로 전기 에너지가 화학 에너지로 전환된다.

㉡. (가)와 (나)의 (-)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 각각 다음과 같다.



따라서 (가)와 (나) 모두 (-)극에서 금속이 생성된다.

㉢. (가)와 (나)의 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 각각 다음과 같다.



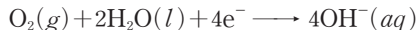
따라서 (가)와 (나) 모두 (+)극에서 기체가 발생한다.

08 수소 연료 전지

㉠. 전자는 도선을 따라 전극 A에서 전극 B로 이동하므로 X(g)는 $\text{H}_2(\text{g})$ 이다.

✕. $m=2$ 이다.

㉢. 전극 B에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



09 수용액의 전기 분해

㉠. 전극 ㉠에서 금속이 생성되었으므로 (가)는 (-)극이다. 따라서 전극 ㉡에서도 금속이 생성된다.

㉢. 전극 ㉠에서 금속이 생성되었으므로 $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$ 의 환원 반응이 일어난다. 따라서 전자를 얻기 쉬운 경향은 $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) > \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이다.

✕. 전극 ㉡에서는 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 가 발생하고, 전극 ㉢에서는 $\text{O}_2(\text{g})$ 가 발생한다.

10 물의 광분해

㉠. 물의 광분해는 빛에너지가 필요하므로 흡열 반응이다.

㉢. 전자는 도선을 따라 전극 ㉠에서 전극 ㉡으로 이동하므로 전극 ㉠에서 일어나는 반응은 (가)이다.

㉤. 물의 광분해로 $\text{H}_2(\text{g})$ 와 $\text{O}_2(\text{g})$ 가 발생한다. 전극 ㉠에서 $\text{O}_2(\text{g})$ 가 발생하므로 전극 ㉡에서 $\text{H}_2(\text{g})$ 가 발생한다.

11 금속의 반응성

㉠. (가)에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



Cu^{2+} 의 농도가 감소하므로 수용액의 색은 옅어진다.

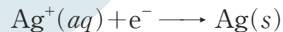
㉢. (가)에서 금속의 반응성이 $\text{Zn} > \text{Cu}$ 인 것을 알 수 있으므로, (나)에서 반응이 진행될 때 Zn은 산화된다.

✕. (나)에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



12 전기 도금

㉠. Cu판에 Ag를 도금하는 장치이므로 Cu판에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 ㉠에서 환원 반응이 일어난다.

✕. Ag판에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 ㉡의 질량은 감소한다.

㉤. ㉠에서 $\text{Ag}(\text{s})$ 이 생성되었으므로 전자를 얻기 쉬운 경향은 $\text{Ag}^+(\text{aq}) > \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이다.

3 점 수능 테스트

본문 187~192쪽

01 ③ 02 ④ 03 ③ 04 ③ 05 ⑤ 06 ① 07 ②
08 ② 09 ③ 10 ④ 11 ④ 12 ①

01 금속의 반응성

- ㉠. (가)에서 전자의 이동 방향이 ㉠이므로 전극 A는 (-)극이다.
 ✕. (나)에서 전자의 이동 방향이 ㉠이므로 전극 C는 (-)극이다.
 따라서 전극 C에서 산화 반응이 일어난다.
 ㉡. (가)에서 금속의 이온화 경향은 $A > B$ 이고 (나)에서 금속의 이온화 경향은 $C > A$ 이므로 금속의 이온화 경향은 $C > A > B$ 이다.

02 화학 전지

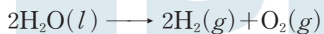
- ㉠. 일정 시간 동안 반응이 진행되었을 때
 $\frac{\text{생성된 Ag(s)의 양(mol)}}{\text{감소한 X(s)의 양(mol)}} = 2$ 이므로 화학 반응식에서 $X(s)$ 와 $Ag^+(aq)$ 의 반응 몰비는 1 : 2이다. 전체 화학 반응식은 다음과 같다.

$$X(s) + 2Ag^+(aq) \longrightarrow X^{2+}(aq) + 2Ag(s)$$

 따라서 $a = 2$ 이다.
 ✕. (나)에서 $Ag(s)$ 이 생성되어 $Ag^+(aq)$ 의 양(mol)은 감소하지만, 염다리에서 양이온이 Ag 전극 쪽으로 이동하여 수용액은 전기적으로 중성을 유지한다.
 ㉡. 금속의 이온화 경향은 $X > Ag$ 이다.

03 수용액의 전기 분해

- ㉠. 1 M $NaCl(aq)$ 에서 $H_2O(l)$ 이, 1 M $CuSO_4(aq)$ 에서 $Cu^{2+}(aq)$ 이 환원되었으므로 전자를 얻기 쉬운 경향은 $Cu^{2+}(aq) > Na^+(aq)$ 이다.
 ㉡. 1 M $NaCl(aq)$ 에서 $Cl^-(aq)$ 이, 1 M $CuSO_4(aq)$ 에서 $H_2O(l)$ 이 산화되었으므로 전자를 잃기 쉬운 경향은 $Cl^-(aq) > SO_4^{2-}(aq)$ 이다.
 ✕. 1 M $Na_2SO_4(aq)$ 을 전기 분해할 때 일어나는 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 수용액의 pH는 변하지 않는다.

04 수용액의 전기 분해

- 전극 ㉠과 ㉡에서 생성되는 기체의 질량비가 1 : 8이므로 ㉠에서 $H_2(g)$ 가, ㉡에서 $O_2(g)$ 가 발생한다.
 ㉠. 전극 ㉠에서 $H_2(g)$ 가 발생하므로 전극 ㉠에서 환원 반응이 일어난다.

- ㉡. 전극 ㉡에서 $O_2(g)$ 가 발생하고, 전극 ㉢에서 $Cl_2(g)$ 가 발생한다. 도선을 따라 전자가 $4x$ mol 이동할 때 생성되는 $O_2(g)$ 는 x mol, $Cl_2(g)$ 는 $2x$ mol이므로 전극에서 생성되는 기체의 몰비는 ㉠ : ㉡ = 1 : 2이다.

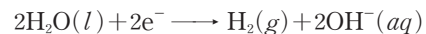
✕. 생성된 $H_2(g)$ 의 양(mol)이 0.1 mol이다. 따라서 생성된 $A(s)$ 의 양(mol)도 0.1 mol이므로 A의 원자량은 63.5이다.

05 화학 전지

- 전극 ㉠에서 감소한 $A(s)$ 의 양(mol)과 전극 ㉡에서 생성된 $B(s)$ 의 양(mol)이 같으므로 $a = 2$ 이다. 전극 ㉢에서 생성된 $C(s)$ 의 양(mol)은 감소한 $A(s)$ 의 양(mol)의 2배이므로 $c = 1$ 이다.
 ㉠. 전극 ㉠에서 $A(s)$ 의 질량이 감소하였으므로 산화 반응이 일어났다. 따라서 전극 ㉢에서도 산화 반응이 일어난다.
 ㉡. 전극 ㉠이 담겨져 있는 수용액에서 양이온의 양(mol)이 증가하므로 염다리에서 음이온이 전극 ㉠ 쪽으로 이동한다. 따라서 |음이온의 총 전하량|이 증가한다.
 ㉢. $a + c = 2 + 1 = 3$ 이다.

06 수용액의 전기 분해

- ㉠. $H_2O(l)$ 은 $NO_3^-(aq)$ 과 $SO_4^{2-}(aq)$ 보다 전자를 잃기 쉬운 경향이 크므로 두 수용액에서 모두 $H_2O(l)$ 이 산화된다. 따라서 전극 ㉠과 ㉡에서 같은 종류의 기체가 발생한다.
 ✕. X 이온의 산화수는 +1이고, Y 이온의 산화수는 +2이다. 전극 ㉠에서 $X(s)$ 가 생성되었다면 생성된 금속의 몰비는 ㉠ : ㉡ = 2 : 1이다. 따라서 전극 ㉠에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



- ✕. 전극 ㉠과 ㉡에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 각각 다음과 같다. 따라서 수용액의 pH는 변하지 않는다.



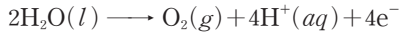
07 화학 전지와 전기 분해

- (다)에서 1가지 금속이 모두 생성된 후 다른 금속이 생성될 때 그 래프의 기울기가 감소하였으므로 먼저 생성되는 금속은 이온의 산화수가 작은 $X(s)$ 이고, 나중에 생성되는 금속은 $Y(s)$ 이다. 따라서 금속의 반응성은 $Y > X$ 이다.

✕. 금속의 반응성은 $Y > X$ 이므로 전자는 도선을 따라 전극 ㉡에서 전극 ㉠으로 이동한다.

- ㉡. $X(s)$ 가 $Y(s)$ 보다 먼저 생성된다.

✕. (나)에서 수용액 속 음이온은 $NO_3^-(aq)$ 이므로 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



(-)극인 전극 ㉔에서 금속이 생성되므로 반응이 진행될수록 수용액 속 H^+ 의 농도가 증가한다. 따라서 수용액의 pH는 A에서 B에서보다 크다.

08 전기 분해

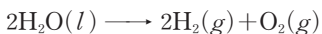
✕. A와 B의 원자량비가 9 : 2이고, A 이온과 B 이온의 산화수비가 1 : 2이므로 전극 ㉔에서 B(s)가 생성된다면 생성되는 B(s)의 양(mol)은 생성되는 A(s)의 $\frac{1}{2}$ 배가 되어야 하므로 생성되는 B(s)의 질량은 12g이어야 한다. 따라서 (가)는 B(s)가 아니다.
 ✕. 전자를 잃기 쉬운 경향은 $\text{Cl}^-(aq) > \text{H}_2\text{O}(l)$ 이므로 전극 ㉔에서 $\text{Cl}_2(g)$ 가 발생한다. 따라서 (나)는 $\text{O}_2(g)$ 가 아니다.
 ㉔. 생성된 $\text{O}_2(g)$ 의 양이 0.25 mol이므로 생성된 A(s)의 양은 1 mol이다. 따라서 A의 원자량은 108이다.

09 수소 연료 전지와 전기 분해

㉔. 전극 ㉔에서 산화 반응이 일어나므로 전극 ㉔은 (-)극이다.
 ㉔. (나)의 (-)극에서 환원 반응이 일어난다.
 ✕. (가)에서 생성물은 H_2O 이고, (나)에서 생성물은 H_2 , O_2 이다.

10 물의 광분해 장치, 전기 분해 장치, 수소 연료 전지의 분류

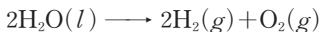
㉔. 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치는 수소 연료 전지인 Ⅲ이다. 따라서 ㉔은 Ⅲ이다.
 ㉔. ㉔이 Ⅲ이므로 ㉔은 Ⅱ이다. Ⅱ는 물의 전기 분해 장치이므로 (-)극에서 환원 반응이 일어난다.
 ✕. I과 Ⅱ에서 일어나는 반응의 전체 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 '반응이 진행될 때, 전체 반응식에서 생성물은 모두 기체인가?'는 (가)로 적절하지 않다.

11 전기 분해와 물의 광분해

✕. 전극 ㉔에서 발생하는 기체는 $\text{H}_2(g)$, 전극 ㉔에서 발생하는 기체는 $\text{O}_2(g)$ 이다.
 ㉔. 전극 ㉔ 주위의 수용액의 색은 붉은색으로 변화하였으므로 전극 ㉔에서 일어나는 화학 반응은 C이다.
 ㉔. (가)와 (나)에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



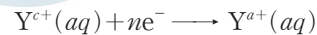
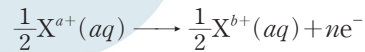
(가)에서는 전기 에너지, (나)에서는 빛에너지를 이용하여 물을 분해한다. 따라서 (가)와 (나)에서 일어나는 전체 반응은 흡열 반응이다.

12 화학 전지

㉔. 전자가 도선을 따라 전극 ㉔에서 전극 ㉔으로 이동하므로 전극 ㉔에서 산화 반응이 일어난다.

✕. 오른쪽 수용액에서 환원 반응이 일어나며, 그 결과 $[\text{Y}^{a+}]$ 가 증가, $[\text{Y}^{c+}]$ 가 감소하였으므로 Y^{c+} 이 전자를 얻어 Y^{a+} 이 되었다. 따라서 $c > a$ 이다.

✕. $\frac{[\text{X}^{a+}] - [\text{X}^{b+}]}{[\text{Y}^{c+}] - [\text{Y}^{a+}]} = \frac{1}{2}$ 이므로 일정량의 전자가 이동하였을 때 생성되는 Y^{a+} 의 양(mol)이 감소하는 X^{a+} 의 양(mol)의 2배이다.



따라서 전체 반응식은 다음과 같다.



01 기체

2 점 수능 테스트

본문 13~15쪽

01 ② 02 ⑤ 03 ① 04 ④ 05 ③ 06 ② 07 ⑤
08 ④ 09 ① 10 ④ 11 ⑤ 12 ②

3 점 수능 테스트

본문 16~21쪽

01 ② 02 ④ 03 ③ 04 ③ 05 ⑤ 06 ② 07 ④
08 ② 09 ③ 10 ① 11 ⑤ 12 ①

02 액체와 고체

2 점 수능 테스트

본문 35~37쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ⑤ 05 ③ 06 ① 07 ⑤
08 ① 09 ③ 10 ③ 11 ③ 12 ⑤

3 점 수능 테스트

본문 38~43쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ② 04 ⑤ 05 ④ 06 ③ 07 ⑤
08 ⑤ 09 ⑤ 10 ③ 11 ③ 12 ③

03 용액

2 점 수능 테스트

본문 55~58쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ② 05 ② 06 ⑤ 07 ②
08 ⑤ 09 ③ 10 ⑤ 11 ⑤ 12 ③ 13 ③ 14 ①
15 ② 16 ②

3 점 수능 테스트

본문 59~68쪽

01 ③ 02 ② 03 ⑤ 04 ③ 05 ③ 06 ② 07 ③
08 ⑤ 09 ② 10 ⑤ 11 ② 12 ⑤ 13 ① 14 ⑤
15 ④ 16 ⑤ 17 ③ 18 ② 19 ⑤ 20 ⑤

04 반응 엔탈피

2 점 수능 테스트

본문 81~83쪽

01 ③ 02 ③ 03 ③ 04 ② 05 ② 06 ② 07 ①
08 ① 09 ② 10 ③ 11 ② 12 ②

3 점 수능 테스트

본문 84~89쪽

01 ③ 02 ① 03 ① 04 ④ 05 ④ 06 ④ 07 ①
08 ① 09 ⑤ 10 ① 11 ② 12 ⑤

05 화학 평형과 평형 이동

2 점 수능 테스트

본문 101~105쪽

01 ④ 02 ④ 03 ④ 04 ⑤ 05 ② 06 ⑤ 07 ①
08 ② 09 ② 10 ③ 11 ③ 12 ④ 13 ③ 14 ⑤
15 ④ 16 ⑤ 17 ③ 18 ④ 19 ⑤ 20 ⑤

3 점 수능 테스트

본문 106~115쪽

01 ⑤ 02 ② 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ③ 06 ⑤ 07 ④
08 ④ 09 ⑤ 10 ③ 11 ④ 12 ⑤ 13 ① 14 ③
15 ⑤ 16 ⑤ 17 ⑤ 18 ③ 19 ⑤ 20 ③

06 산 염기 평형

2점 수능 테스트

본문 126~128쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ④ 04 ③ 05 ② 06 ⑤ 07 ③
08 ⑤ 09 ④ 10 ④ 11 ① 12 ⑤

3점 수능 테스트

본문 129~134쪽

01 ① 02 ④ 03 ⑤ 04 ② 05 ④ 06 ⑤ 07 ⑤
08 ⑤ 09 ⑤ 10 ③ 11 ② 12 ①

07 반응 속도

2점 수능 테스트

본문 145~147쪽

01 ③ 02 ④ 03 ② 04 ⑤ 05 ④ 06 ③ 07 ⑤
08 ① 09 ③ 10 ⑤ 11 ② 12 ④

3점 수능 테스트

본문 148~153쪽

01 ⑤ 02 ① 03 ③ 04 ② 05 ① 06 ④ 07 ④
08 ④ 09 ② 10 ③ 11 ③ 12 ②

08 반응 속도에 영향을 미치는 요인

2점 수능 테스트

본문 162~164쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ① 04 ③ 05 ③ 06 ② 07 ③
08 ② 09 ③ 10 ③ 11 ⑤ 12 ⑤

3점 수능 테스트

본문 165~170쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ④ 04 ② 05 ① 06 ④ 07 ③
08 ⑤ 09 ⑤ 10 ① 11 ④ 12 ③

09 전기화학과의 이용

2점 수능 테스트

본문 184~186쪽

01 ④ 02 ② 03 ③ 04 ⑤ 05 ① 06 ④ 07 ⑤
08 ④ 09 ③ 10 ⑤ 11 ③ 12 ④

3점 수능 테스트

본문 187~192쪽

01 ③ 02 ④ 03 ③ 04 ③ 05 ⑤ 06 ① 07 ②
08 ② 09 ③ 10 ④ 11 ④ 12 ①

고1~2 내신 중점 로드맵

| 과목 | 고교 입문 | 기초 | 기본 | 특화 | 단기 |
|-----------|----------------|---|----------------------------|--|-------|
| 국어 | 고등 예비 과정 | 윤혜정의 개념의 나비효과 입문편/워크북 | 기본서 올림포스 | 국어 특화 국어 독해의 원리 국어 문법의 원리 | 단기 특강 |
| 영어 | | 어휘가 독해다! | 올림포스 전국연합 학력평가 기출문제집 | 영어 특화 Grammar POWER Listening POWER Reading POWER Voca POWER | |
| 수학 | | 정승익의 수능 개념 잡는 대박구문 | 유형서 올림포스 유형편 | 고급 올림포스 고난도 | |
| 한국사 사회 | | 기초 50일 수학 | 수학 특화 수학의 왕도 | | |
| 과학 | | 매쓰 디렉터의 고1 수학 개념 끝장내기 | 기본서 개념완성 개념완성 문항편 | 고등학교를 위한 다담은 한국사 연표 | |
| | | 인공지능 수학과 함께하는 고교 AI 입문 수학과 함께하는 AI 기초 | | | |

| 과목 | 시리즈명 | 특징 | 수준 | 권장 학년 |
|-------|-------------------------|----------------------------------|----|----------|
| 전과목 | 고등예비과정 | 예비 고등학생을 위한 과목별 단기 완성 | ● | 예비 고1 |
| 국/영/수 | 내 등급은? | 고1 첫 학력평가+반 배치고사 대비 모의고사 | ● | 예비 고1 |
| | 올림포스 | 내신과 수능 대비 EBS 대표 국어·수학·영어 기본서 | ● | 고1~2 |
| | 올림포스 전국연합학력평가 기출문제집 | 전국연합학력평가 문제 + 개념 기본서 | ● | 고1~2 |
| | 단기 특강 | 단기간에 끝내는 유형별 문항 연습 | ● | 고1~2 |
| | 개념완성 & 개념완성 문항편 | 개념 한 권+문항 한 권으로 끝내는 한국사·탐구 기본서 | ● | 고1~2 |
| 한/사/과 | 개념완성 & 개념완성 문항편 | 개념 한 권+문항 한 권으로 끝내는 한국사·탐구 기본서 | ● | 고1~2 |
| 국어 | 윤혜정의 개념의 나비효과 입문편/워크북 | 윤혜정 선생님과 함께 시작하는 국어 공부의 첫걸음 | ● | 예비 고1~고2 |
| | 어휘가 독해다! | 7개년 학평·모평·수능 출제 필수 어휘 학습 | ● | 예비 고1~고2 |
| | 국어 독해의 원리 | 내신과 수능 대비 문학·독서(비문학) 특화서 | ● | 고1~2 |
| | 국어 문법의 원리 | 필수 개념과 필수 문항의 언어(문법) 특화서 | ● | 고1~2 |
| 영어 | 정승익의 수능 개념 잡는 대박구문 | 정승익 선생님과 CODE로 이해하는 영어 구문 | ● | 예비 고1~고2 |
| | Grammar POWER | 구문 분석 트리로 이해하는 영어 문법 특화서 | ● | 고1~2 |
| | Reading POWER | 수준과 학습 목적에 따라 선택하는 영어 독해 특화서 | ● | 고1~2 |
| | Listening POWER | 수준별 수능형 영어듣기 모의고사 | ● | 고1~2 |
| | Voca POWER | 영어 교육과정 필수 어휘와 어원별 어휘 학습 | ● | 고1~2 |
| 수학 | 50일 수학 | 50일 만에 완성하는 중학~고교 수학의 맥 | ● | 예비 고1~고2 |
| | 매쓰 디렉터의 고1 수학 개념 끝장내기 | 스타강사 강의, 손글씨 풀이와 함께 고1 수학 개념 정복 | ● | 예비 고1~고1 |
| | 올림포스 유형편 | 유형별 반복 학습을 통해 실력 잡는 수학 유형서 | ● | 고1~2 |
| | 올림포스 고난도 | 1등급을 위한 고난도 유형 집중 연습 | ● | 고1~2 |
| | 수학의 왕도 | 직관적 개념 설명과 세분화된 문항 수록 수학 특화서 | ● | 고1~2 |
| 한국사 | 고등학생을 위한 다담은 한국사 연표 | 연표로 흐름을 잡는 한국사 학습 | ● | 예비 고1~고2 |
| 기타 | 수학과 함께하는 고교 AI 입문/AI 기초 | 파이선 프로그래밍, AI 알고리즘에 필요한 수학 개념 학습 | ● | 예비 고1~고2 |

고2~N수 수능 집중 로드맵

| 수능 입문 | 기출 / 연습 | 연계+연계 보완 | 고난도 | 모의고사 |
|--|---|---|---|---|
| <p>윤혜정의 개념/패턴의 나비효과</p> <p>수능 감(感)잡기</p> <p>수능특강 Light</p> | <p>윤혜정의 기출의 나비효과</p> <p>수능 기출의 미래</p> <p>수능 기출의 미래 미니모의고사</p> <p>수능특강Q 미니모의고사</p> | <p>수능연계교재의 국어 어휘</p> <p>수능연계교재의 VOCA 1800</p> <p>수능연계 기출 Vaccine VOCA</p> <p>연계</p> <p>수능특강</p> <p>수능완성</p> | <p>수능특강 사용설명서</p> <p>수능특강 연계 기출</p> <p>수능 영어 간접연계 서치라이트</p> <p>수능완성 사용설명서</p> | <p>수능연계완성 3/4주 특강 고난도·신유행</p> <p>박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴</p> <p>FINAL 실전모의고사</p> <p>만점마무리 봉투모의고사</p> <p>고난도 시크릿X 봉투모의고사</p> <p>수능 싱크로 100% 프리미엄 봉투모의고사</p> |

| 구분 | 시리즈명 | 특징 | 수준 | 영역 |
|---------------|-------------------------|--------------------------------------|----|---------|
| 수능 입문 | 윤혜정의 개념/패턴의 나비효과 | 윤혜정 선생님과 함께하는 수능 국어 개념/패턴 학습 | ● | 국어 |
| | 수능 감(感)잡기 | 동일 소재·유형의 내신과 수능 문항 비교로 수능 입문 | ● | 국/수/영 |
| | 수능특강 Light | 수능 연계교재 학습 전 연계교재 입문서 | ● | 국/영 |
| 기출/연습 | 수능개념 | EBSi 대표 강사들과 함께하는 수능 개념 다지기 | ● | 전 영역 |
| | 윤혜정의 기출의 나비효과 | 윤혜정 선생님과 함께하는 까다로운 국어 기출 완전 정복 | ● | 국어 |
| | 수능 기출의 미래 | 올해 수능에 딱 필요한 문제만 선별한 기출문제집 | ● | 전 영역 |
| | 수능 기출의 미래 미니모의고사 | 부담없는 실전 훈련, 고품질 기출 미니모의고사 | ● | 국/수/영 |
| 연계 + 연계 보완 | 수능특강Q 미니모의고사 | 매일 15분으로 연습하는 고품격 미니모의고사 | ● | 전 영역 |
| | 수능특강 | 최신 수능 경향과 기출 유형을 분석한 종합 개념서 | ● | 전 영역 |
| | 수능특강 사용설명서 | 수능 연계교재 수능특강의 지문·자료·문화 분석 | ● | 국/영 |
| | 수능특강 연계 기출 | 수능특강 수록 작품·지문과 연결된 기출문제 학습 | ● | 국/영 |
| | 수능완성 | 유형 분석과 실전모의고사로 단련하는 문항 연습 | ● | 전 영역 |
| | 수능완성 사용설명서 | 수능 연계교재 수능완성의 국어·영어 지문 분석 | ● | 국/영 |
| | 수능 영어 간접연계 서치라이트 | 출제 가능성이 높은 핵심만 모아 구성한 간접연계 대비 교재 | ● | 영어 |
| | 수능연계교재의 국어 어휘 | 수능 지문과 문항 이해에 필요한 어휘 학습서 | ● | 국어 |
| | 수능연계교재의 VOCA 1800 | 수능특강과 수능완성의 필수 중요 어휘 1800개 수록 | ● | 영어 |
| | 수능연계 기출 Vaccine VOCA | 수능-EBS 연계 및 평가원 최다 빈출 어휘 선별 수록 | ● | 영어 |
| 고난도 | 수능연계완성 3/4주 특강 | 단기간에 끝내는 수능 킬러 문항 대비서 | ● | 국/수/영/과 |
| | 박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴 | 박봄 선생님과 사회·문화 표 분석 문항의 패턴 연습 | ● | 사회탐구 |
| 모의고사 | FINAL 실전모의고사 | 수능 동일 난도의 최다 분량, 최다 과목 모의고사 | ● | 전 영역 |
| | 만점마무리 봉투모의고사 | 실제 시험지 형태와 OMR 카드로 실전 훈련 모의고사 | ● | 전 영역 |
| | 고난도 시크릿X 봉투모의고사 | 제대로 어려운 최고난도 모의고사 | ● | 국/수/영 |
| | 수능 싱크로 100% 프리미엄 봉투모의고사 | 수능 직전에 만나는, 수능과 가장 가까운 고품격 프리미엄 모의고사 | ● | 국/수/영 |



MEMO