

완벽한 자율학습서

완자

자율학습시 비상구 정답친해로 53

정확한 답과 친절한 해설

화학 II



I. 물질의 세 가지 상태와 용액

1

물질의 세 가지 상태(1)



01 기체(1)

개념 확인 문제

15 쪽

- ① 대기압 ② 76 ③ 압력 ④ 많 ⑤ 강 ⑥ 온도 ⑦ 반비례
⑧ 일정 ⑨ P_2V_2

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 (1) 대기압 > $P_{\text{기체}}$ (2) $P_{\text{기체}} = \text{대기압} + h$
3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ 4 A=B 5 100 mL

- 1 (1) 기체 분자들이 끊임없이 자유롭게 운동하면서 기체가 담긴 용기 벽면에 충돌하므로 기체의 압력이 나타난다.
(2) 기체의 압력은 단위 시간 동안 기체가 벽면에 충돌하는 횟수가 많을수록 크게 나타난다.
(3) 자유롭게 운동하는 기체 분자들이 모든 방향으로 충돌하므로 기체의 압력은 모든 방향에서 같은 크기로 작용한다.

- 2 (1) 기체 쪽으로 수은 기둥의 높이가 h 만큼 높으므로 기체의 압력이 대기압보다 h 만큼 작다.
(2) 대기압 쪽으로 수은 기둥의 높이가 h 만큼 높으므로 기체의 압력이 대기압보다 h 만큼 크다.

- 3 (1), (2) 온도가 일정할 때 일정량의 기체에 압력을 가하면 부피가 작아지고, 가하는 압력이 작아지면 부피가 커지므로 기체의 부피는 압력에 반비례한다.
(3) 수면에 가까워질수록 수압이 감소한다. 따라서 물속에서 잠수부가 호흡할 때 내뿜는 기포는 수면에 가까워질수록 받는 압력이 감소하므로 부피가 점점 커진다.
(4) 일정한 온도에서 일정량의 기체에 대한 압력과 부피의 곱은 항상 일정하다. 따라서 $1\text{기압} \times 500\text{ mL} = P \times 100\text{ mL}$ 이므로 $P = 5\text{기압}$ 이다.

- 4 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱은 일정하므로 $P_1V_1 = P_2V_2$ 의 관계가 성립한다. 따라서 A와 B의 면적은 같다.

- 5 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱은 일정하다. 따라서 $1\text{기압} \times 200\text{ mL} = 2\text{기압} \times V$ 이므로 $V = 100\text{ mL}$ 이다.

개념 확인 문제

18 쪽

- ① 절대 온도 ② 압력 ③ 절대 온도 ④ 일정 ⑤ $\frac{V_2}{T_2}$
⑥ 양(mol)

- 1 (1) ○ (2) × (3) × 2 450 mL 3 $\neg, \perp$ 4 $V_3 > V_1 = V_4 > V_2$ 5 (1) ○ (2) × (3) ○ 6 44.8 L

- 1 (2) 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피와 절대 온도의 비($\frac{V}{T}$)가 일정하며, 기체의 부피와 절대 온도의 곱은 일정하지 않다.

- (3) 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 온도가 1°C 높아질 때마다 0°C 때 부피의 $\frac{1}{273}$ 씩 증가한다.

- 2 섭씨온도를 절대 온도로 바꾸면 27°C 는 300 K이고, -3°C 는 270 K이다.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{이므로 } \frac{500(\text{mL})}{300(\text{K})} = \frac{V}{270(\text{K})}, V = 450(\text{mL}) \text{이다.}$$

- 3 샤를 법칙은 기체의 온도와 부피 관계를 설명한 법칙이므로 절대 온도와 부피 사이의 관계를 나타낸 $\neg, \perp$ 이 샤를 법칙과 관련된 그래프이다. $\neg$ 은 기체의 압력과 부피 사이의 관계를 나타내었으므로 보일 법칙과 관련된 그래프이다.

- 4 일정량의 기체의 부피는 온도가 일정할 때 압력이 낮을수록 크고, 압력이 일정할 때 온도가 높을수록 크다.

- V_1 과 V_2 비교: 온도가 일정할 때 압력은 (나)가 (가)의 2배이므로 부피는 V_1 이 V_2 의 2배이다.

- V_1 과 V_3 비교: 압력이 일정할 때 온도는 (다)가 (가)보다 높으므로 부피는 V_3 이 V_1 보다 크다.

- V_1 과 V_4 비교: (가)의 온도는 300 K이고, (라)의 온도는 600 K이지만, 압력은 (라)가 (가)의 2배이므로 V_1 과 V_4 는 같다.

따라서 $V_3 > V_1 = V_4 > V_2$ 이다.

- 5 (2) 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례한다.

(3) 0 °C, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 22.4 L이므로 같은 온도와 압력에서 질소 기체 0.5몰의 부피는 11.2 L이다.

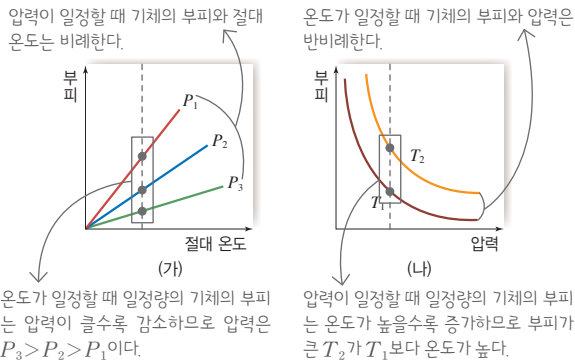
6 일정한 온도와 압력에서 기체의 종류에 관계없이 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례한다. 0 °C, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 22.4 L이므로 기체 2몰의 부피는 44.8 L이다.

대표 자료 분석

19쪽

- 자료 1** 1 $P_3 > P_2 > P_1$ 2 $T_2 > T_1$ 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×
자료 2 1 $T_2 = \frac{2}{3}T_1$ 2 $0.5n$ 3 3기압 4 (1) × (2) ○ (3) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



온도가 일정할 때 일정량의 기체의 압력과 부피는 반비례 관계이므로 압력은 $P_3 > P_2 > P_1$ 이다.

1-2 압력이 일정할 때 일정량의 기체의 절대 온도와 부피는 비례 관계이므로 $T_2 > T_1$ 이다.

1-3 (1) (가)에서 압력이 P_1 로 일정할 때 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다. 이는 압력이 P_2 나 P_3 로 일정한 경우에도 성립하므로 (가)는 샤를 법칙을 설명할 수 있다.

(2) (나)에서 온도가 T_1 로 일정할 때 기체의 부피는 압력에 반비례한다. 이는 온도가 T_2 로 일정한 경우에도 성립하므로 (나)는 보일 법칙을 설명할 수 있다.

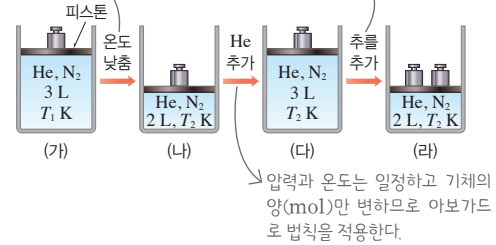
(3) 아보가드로 법칙은 기체의 양(mol)과 부피의 관계를 설명한 법칙이므로 일정량의 기체의 부피와 온도, 압력의 관계를 나타낸 (가)와 (나)를 아보가드로 법칙으로 설명할 수 없다.

(4) (나)에서 압력이 같을 때 기체의 부피는 T_2 가 T_1 보다 크므로 기체의 밀도는 T_1 이 T_2 보다 크다.

2-1 꼼꼼 문제 분석

압력과 기체의 양(mol)은 일정하고 온도만 변화하므로 샤를 법칙을 적용한다.

온도와 기체의 양(mol)은 일정하고 압력만 변화하므로 보일 법칙을 적용한다.



일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다. (가), (나)에서 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 이므로 $\frac{3\text{ L}}{T_1} = \frac{2\text{ L}}{T_2}$, $T_2 = \frac{2}{3}T_1$ 이다.

2-2 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례한다. (나) → (다)에서 부피가 1.5배가 되었으므로 기체의 양(mol)도 1.5배가 되었다. 따라서 추가한 He의 양(mol)은 $0.5n$ 이다.

2-3 추 1개가 가하는 압력을 $P_{\text{추}}$ 라고 하면, (다)와 (라)에서 보일 법칙이 성립하므로 $(1 + P_{\text{추}}) \times 3 = (1 + 2P_{\text{추}}) \times 2$, $P_{\text{추}} = 1$ 기압이다. (라)에서 기체의 압력은 (대기압 + 추 2개의 압력)이므로 3기압이다.

2-4 (1) (나) → (다)에서 추가하는 He의 양(mol)을 2배로 하면 부피가 2배가 되므로 4 L가 되는데, 온도를 $\frac{1}{2}T_2$ 로 변화시키면 부피가 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 (다)의 부피는 2 L가 된다.

(2) $T_2 = \frac{2}{3}T_1$ 이므로 $T_1 = \frac{3}{2}T_2$ 이다. (다)에서 온도를 T_1 로 변화시키면 기체의 부피는 다음과 같다.

$$\frac{3\text{ L}}{T_2} = \frac{V}{T_1} \Rightarrow \frac{3\text{ L}}{T_2} = \frac{V}{\frac{3}{2}T_2}, V = 4.5\text{ L}$$

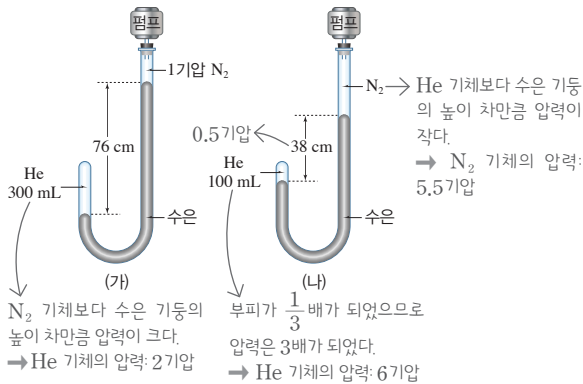
(3) (라)에 추 1개를 더 올렸을 때 기체의 양(mol)은 변하지 않으므로 PV 는 일정하다. 추 1개의 압력은 1기압이므로 기체의 부피는 3기압 $\times$ 2 L = 4기압 $\times$ V, $V = \frac{3}{2}$ L이다.

내신 만점 문제

20쪽~21쪽

- 01 ③ 02 ㄱ, ㄴ, ㄷ 03 ⑤ 04 ③ 05 ⑤
 06 ③ 07 ① 08 ③

01 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. (가)에서 He 기체와 N₂ 기체 사이의 수은 기둥의 높이가 76 cm로 1기압 차이가 나므로 He 기체의 압력은 2기압이다.

ㄴ. (나)에서 He 기체의 부피가 100 mL이므로 보일 법칙에 의해 2기압 × 300 mL = P × 100 mL이다. 따라서 He 기체의 압력인 P는 6기압이다. 이때 He 기체와 N₂ 기체 사이의 수은 기둥 높이가 0.5기압만큼 차이가 나므로 N₂ 기체의 압력은 5.5기압이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. (나)에서 N₂ 기체의 압력은 5.5기압이고, He 기체의 압력은 6기압으로 He 기체가 N₂ 기체보다 압력이 크다.

02 ㄱ. 온도가 같은 (가)와 (나)를 비교하면 보일 법칙에 의해 1기압 × V₁ = 2기압 × V₂이므로 V₁ = 2V₂이다.

ㄴ. 압력이 같은 (가)와 (다)를 비교하면 샤를 법칙에 의해 $\frac{V_1}{273\text{ K}} = \frac{V_3}{546\text{ K}}$ 이므로 V₃ = 2V₁이다. V₁ = 2V₂이므로 부피는 V₃ > V₁ > V₂이다.

ㄷ. 2기압, 546 K에서의 부피를 V₄라고 하면, 압력이 2기압으로 같은 (나)와 비교할 때 샤를 법칙에 의해 $\frac{V_2}{273\text{ K}} = \frac{V_4}{546\text{ K}}$ 이므로 V₄ = 2V₂이다.

03 ㄱ. 압력이 같을 때 B에서 C로 온도가 높아지므로 부피가 크므로 온도는 T₂ > T₁이다.

ㄴ. A에서 C로 변할 때 온도와 기체의 양(mol)은 같고, 압력이 증가하여 부피가 감소하므로 보일 법칙으로 설명할 수 있다.

ㄷ. B에서 C로 변할 때 압력과 기체의 양(mol)은 같고, 온도가 낮아져 부피가 감소하므로 샤를 법칙으로 설명할 수 있다.

04 ㄱ. 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 온도가 1 °C 높아질 때마다 0 °C 때 부피의 $\frac{1}{273}$ 씩 증가하므로 V_t = V₀ + $\frac{V_0}{273}t$ 이다.

따라서 0 °C일 때의 부피 V₁과 100 °C일 때의 부피 V₂를 이 식에 대입하면 다음의 관계식이 성립한다.

$$V_t = V_0 + \frac{V_0}{273}t \Rightarrow V_2 = V_1 + \frac{V_1}{273} \times 100 = \frac{373}{273}V_1$$

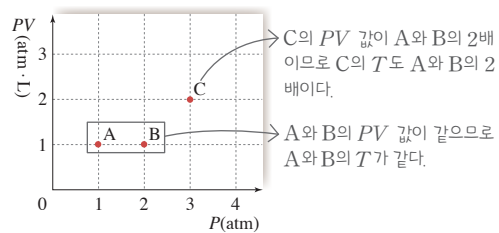
▮ **다른 풀이** ▮ 0 °C인 273 K에서 기체의 부피는 V₁이고, 100 °C인 373 K에서 기체의 부피는 V₂이므로 $\frac{V_1}{273} = \frac{V_2}{373}$, V₂ = $\frac{373}{273}V_1$ 이다.

ㄷ. 1기압일 때 직선의 기울기는 $\frac{V_1}{273}$ 이다. 같은 온도에서 기체의 부피는 압력에 반비례하므로 2기압일 때 직선의 기울기는 $\frac{V_1}{273 \times 2} = \frac{V_1}{546}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 같은 온도에서 기체의 부피는 압력에 반비례하므로 0.5기압에서 0 °C일 때 X의 부피는 2V₁이다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

일정량의 기체의 PV는 T에 비례한다.



일정량의 기체의 PV는 T에 비례하므로 $\frac{PV}{T}$ 는 일정하다. 따라서 A~C의 $\frac{PV}{T}$ 는 모두 같다. A, B, C의 온도를 각각 T_A, T_B, T_C라고 할 때 $\frac{PV}{T}$ 는 표와 같다.

구분	PV	P	V	$\frac{PV}{T}$
A	1	1	1	$\frac{1}{T_A}$
B	1	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{T_B}$
C	2	3	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{T_C}$

ㄱ. P는 A에서 B에서의 $\frac{1}{2}$ 배이지만, PV가 같으므로 V는 A에서 B에서의 2배이다.

ㄴ. V는 B에서 $\frac{1}{2}$, C에서 $\frac{2}{3}$ 로 B에서 C에서보다 작으므로 밀도는 B에서 C에서보다 크다.

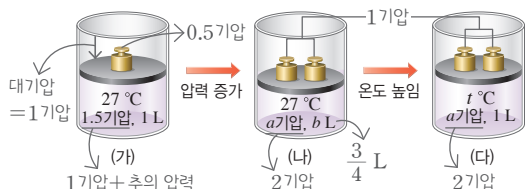
ㄷ. 일정량의 기체의 $\frac{PV}{T}$ 는 일정하므로 $\frac{1}{T_A} = \frac{1}{T_B} = \frac{2}{T_C}$ 이다. 따라서 T_A : T_B : T_C = 1 : 1 : 2이므로 온도는 C에서 가장 높다.

06 ㄱ. 온도가 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례하므로 (가)에서 압력은 P_2 가 P_1 보다 크다.

ㄴ. 온도와 압력이 일정할 때 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 (나)에서 기체의 양(mol)은 A가 B보다 크다.

■ **바로알기** ㄷ. 기체의 압력은 P_2 가 P_1 보다 크다. (나)에서 압력이 P_1 에서 P_2 로 증가하면 기체의 부피가 감소하므로 A와 B의 기울기는 모두 작아진다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



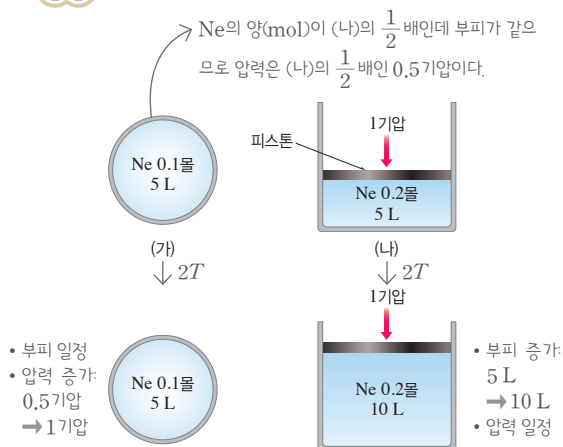
(가) → (나)는 온도가 일정할 때 기체의 압력이 증가하여 부피가 감소하는 과정이고, (나) → (다)는 압력이 일정할 때 기체의 온도가 높아져 부피가 증가하는 과정이다.

ㄱ. (가)와 (나)에서 온도와 기체의 양(mol)이 일정하므로 보일 법칙에 의해 $1.5\text{기압} \times 1\text{ L} = a\text{기압} \times b\text{ L}$ 이다. 따라서 $a \times b = 1.5$ 이다.

■ **바로알기** ㄴ. (가)에서 기체의 압력은 (대기압 + 추 1개의 압력)이므로 추 1개의 압력은 0.5기압이다. 따라서 (나)에서 a 는 2(기압)이고, b 는 $\frac{3}{4}$ (L)이다. (나)에서 기체의 양(mol)을 2배로 하면 부피도 2배인 $\frac{3}{2}$ L가 되므로 (나)의 부피는 (가)와 같지 않다.

ㄷ. (다)와 압력이 같고, 온도가 300 K (=27°C)인 (나)에서 기체의 부피가 $\frac{3}{4}$ L이므로 $300\text{ K} : \frac{3}{4}\text{ L} = (273+t)\text{ K} : 1\text{ L}$ 이다. 따라서 t 는 127(°C)이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 온도가 T 로 일정할 때 (나)에서 Ne 0.2몰의 부피가 5 L이고, 압력이 1기압이므로 (가)에서 Ne 0.1몰의 부피가 5 L일 때 압력은 0.5기압이다.

ㄴ. 온도가 $2T$ 가 되면 (가)의 압력은 1기압이 되고, (나)에서는 부피가 2배 증가하면서 압력은 그대로 1기압이다.

■ **바로알기** ㄷ. 온도가 $2T$ 가 되면 기체의 부피가 (가)는 그대로 5 L이지만, (나)는 10 L가 되고, 이때 Ne의 양(mol)은 (나)가 (가)의 2배이므로 Ne의 밀도는 (가)와 (나)가 같아진다.

02 기체(2)

개념 확인 문제

25쪽

① nRT ② 0.082 ③ PV

1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 18.45 L 3 0.16 g 4 ②
5 20 6 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ

1 (1) 이상 기체 방정식은 보일 법칙, 샤를 법칙, 아보가드로 법칙을 모두 설명할 수 있다.

(2) 기체 1몰은 0°C, 1기압에서 부피가 22.4 L이므로, 이를 이상 기체 방정식에 대입하면 기체 상수 R 을 구할 수 있다.

$$PV = nRT$$

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

(3) 기체의 질량(w)이나 밀도(d)를 알면 이상 기체 방정식을 이용하여 기체의 분자량(M)을 구할 수 있다.

$$PV = nRT = \frac{w}{M}RT \Rightarrow M = \frac{wRT}{PV} = \frac{dRT}{P}$$

2 NaN_3 의 화학식량은 65이므로 32.5 g은 0.5몰이다. 화학 반응식에서 계수비는 반응하거나 생성되는 물질의 몰비이므로 생성되는 N_2 는 0.75몰이다.

$$PV = nRT \text{에서 } V = \frac{nRT}{P} \text{이므로 } \text{N}_2 \text{의 부피는 다음과 같다.}$$

$$V = \frac{0.75\text{ mol} \times 0.082\text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300\text{ K}}{1\text{ atm}} = 18.45\text{ L}$$

3 $PV = nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 $w = \frac{MPV}{RT}$ 이다.

$$w = \frac{16\text{ g/mol} \times 1\text{ atm} \times 0.246\text{ L}}{0.082\text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300\text{ K}} = 0.16\text{ g}$$

4 $PV=nRT=\frac{w}{M}RT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이다.
 $M=\frac{0.3\text{g}\times 0.082\text{atm}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})\times 273\text{K}}{1\text{atm}\times 0.240\text{L}}\approx 28\text{g/mol}$
 N_2 의 분자량이 28이므로 이 기체는 N_2 로 예상된다.

5 $PV=nRT=\frac{w}{M}RT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}=\frac{dRT}{P}$ 이다.
 $M=\frac{dRT}{P}$
 $=\frac{0.82\text{g/L}\times 0.082\text{atm}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})\times 300\text{K}}{1\text{atm}}\approx 20$

6 $PV=nRT=\frac{w}{M}RT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이므로 측정해야 하는 실험값은 실험실의 온도(○), 실험실의 대기압(⊥), 드라이아이스를 넣기 전과 후 주사기의 질량(⊃), 드라이아이스 승화 전과 후 주사기 속 기체의 부피(ㄹ)이다.

개념 확인 문제

29 쪽

1 기체 분자 운동론 2 크 3 빠르 4 nRT 5 부분 압력

6 몰 분율 7 $\frac{n_A}{n_A+n_B}$ 8 $\frac{n_B}{n_A+n_B}$

1 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) × 2 (1) 증가 (2) 증가 (3) 증가
 3 (1) × (2) ○ (3) × 4 3기압 5 (1) 0.8 (2) 0.4기압

1 (2) 기체 분자 사이에는 인력과 반발력이 작용하지 않는다. 분자 사이에 인력이 크게 작용하면 액체나 고체 상태가 된다.
 (3) 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다.
 (5) 기체 분자끼리 충돌할 때 에너지 손실이 없으므로 충돌 후에 기체 분자의 평균 운동 속력은 느려지지 않는다.

2 부피가 고정된 실린더 속에 들어 있는 기체의 온도를 높이면 다음과 같은 변화가 일어난다.

기체의 온도 상승 $\Rightarrow$ 기체 분자의 운동 에너지 증가 $\Rightarrow$ 기체 분자의 충돌수와 충돌 세기 증가 $\Rightarrow$ 기체의 압력 증가

3 (1) 혼합 기체에서 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력에 성분 기체의 몰 분율을 곱해서 구한다.
 (3) 부분 압력 법칙에 의해 혼합 기체의 전체 압력은 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같다.

4 기체를 혼합했을 때 혼합 기체의 전체 압력을 P 라고 하면 보일 법칙에 의해 $2\text{기압}\times 3\text{L}+3\text{기압}\times 2\text{L}=P\times 4\text{L}$ 이다. 따라서 P 는 3기압이다.

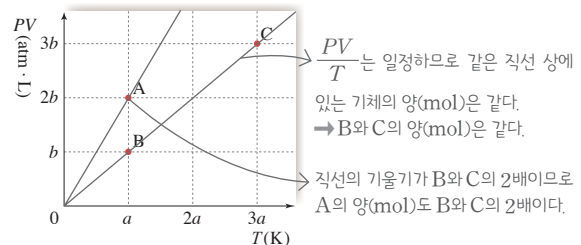
5 (1) 헬륨의 몰 분율은 $\frac{\text{헬륨의 양(mol)}}{\text{전체 기체의 양(mol)}}=\frac{4}{5}=0.8$ 이다.
 (2) 혼합 기체에서 성분 기체의 몰 분율 합은 1이므로 산소의 몰 분율=1-헬륨의 몰 분율=1-0.8=0.2이다.
 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력에 성분 기체의 몰 분율을 곱한 값이므로 산소의 부분 압력=전체 압력×산소의 몰 분율=2기압×0.2=0.4기압이다.

대표 자료 분석

30 쪽

자료 1 1 $A>B=C$ 2 A: $\frac{aR}{2b}$, B: $\frac{aR}{b}$, C: $\frac{aR}{b}$
 3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○
 자료 2 1 He : Ne = 1 : 1 2 He: 0.5, Ne: 0.5 3 $\frac{4}{3}$ 기압
 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

1-1 꼼꼼히 문제 분석



$PV=nRT$ 에서 $\frac{PV}{T}$ 는 n 에 비례한다. A~C의 $\frac{PV}{T}$ 는 표와 같다.

구분	PV	T	$\frac{PV}{T}$
A	$2b$	a	$\frac{2b}{a}$
B	b	a	$\frac{b}{a}$
C	$3b$	$3a$	$\frac{b}{a}$

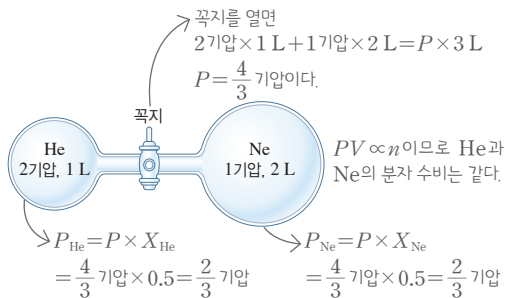
A~C의 $\frac{PV}{T}$ 비는 $\frac{2b}{a} : \frac{b}{a} : \frac{3b}{3a} = 2 : 1 : 1$ 이므로 기체의 몰 비도 2 : 1 : 1이다.

①-2 $PV=nRT=\frac{w}{M}RT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이므로 A~C의 분자량은 다음과 같다.

• A: $\frac{1 \times R \times a}{2b} = \frac{aR}{2b}$
 • B: $\frac{1 \times R \times a}{b} = \frac{aR}{b}$
 • C: $\frac{1 \times R \times 3a}{3b} = \frac{aR}{b}$

①-3 (1) A와 B의 절대 온도가 a 로 같지만 A와 B의 분자량이 다르므로 분자의 평균 운동 속력이 다르다.
 (2) 절대 온도는 C가 B의 3배이다. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로 C가 B의 3배이다.
 (3) 일정량의 기체의 PV 는 T 에 비례하므로 C의 온도를 $3a$ 에서 $2a$ 로 낮추면 PV 도 $3b$ 일 때의 $\frac{2}{3}$ 배가 되므로 $2b$ 가 된다.
 (4) 일정량의 기체의 PV 는 T 에 비례하므로 A의 온도를 C의 온도와 같은 $3a$ 로 높이면 PV 값도 $2b$ 일 때의 3배인 $6b$ 가 되어 PV 값은 A가 C의 2배이다. 마찬가지로 C의 온도를 A의 온도와 같은 a 로 낮추면 PV 값도 $3b$ 일 때의 $\frac{1}{3}$ 배인 b 가 되어 PV 값은 A가 C의 2배이다. 즉, A와 C의 온도가 서로 같을 때, PV 값은 A가 C의 2배이다.

②-1 **꼼꼼 문제 분석**



$PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 He과 Ne의 분자 수비는 $2\text{기압} \times 1\text{ L} : 1\text{기압} \times 2\text{ L} = 1 : 1$ 이다.

②-2 꼭지를 열어 He과 Ne을 섞어도 용기 안에 들어 있는 He과 Ne의 분자 수비는 변하지 않으므로 각 기체의 몰 분율은 0.5이다.

②-3 꼭지를 열었을 때 혼합 기체의 전체 압력을 P 라고 하면 $2\text{기압} \times 1\text{ L} + 1\text{기압} \times 2\text{ L} = P \times 3\text{ L}$ 이므로 $P = \frac{4}{3}$ 기압이다.

②-4 (1) 꼭지를 열면 He의 부피가 1 L에서 3 L로 증가하므로 보일 법칙에 의해 압력은 처음보다 감소한다.

(2) 꼭지를 열어도 온도가 변하지 않으므로 Ne의 평균 운동 에너지는 일정하다.

(3), (4) 꼭지를 열었을 때 He과 Ne의 몰 분율이 각각 0.5이고, 전체 압력이 $\frac{4}{3}$ 기압이므로 He과 Ne의 부분 압력은 다음과 같다.

$$P_{\text{He}} = P \times X_{\text{He}} = \frac{4}{3} \text{ 기압} \times 0.5 = \frac{2}{3} \text{ 기압}$$

$$P_{\text{Ne}} = P \times X_{\text{Ne}} = \frac{4}{3} \text{ 기압} \times 0.5 = \frac{2}{3} \text{ 기압}$$

따라서 He과 Ne의 부분 압력은 같다.

다른 풀이 꼭지를 열면 Ne의 부피는 2 L에서 3 L로 증가하므로 부분 압력은 $1\text{기압} \times 2\text{ L} = P_{\text{Ne}} \times 3\text{ L}$ 에 의해 $P_{\text{Ne}} = \frac{2}{3}$ 기압이 되고, 전체 압력 (P)이 $\frac{4}{3}$ 기압이므로 $P_{\text{He}} = P - P_{\text{Ne}} = \frac{4}{3} \text{ 기압} - \frac{2}{3} \text{ 기압} = \frac{2}{3}$ 기압이 된다.

(5) 꼭지를 열면 He과 Ne이 차지하는 부피는 3 L로 같다.

(6) $PV=nRT$ 에서 n 과 V 가 같을 때 P 는 T 에 비례하므로 300 K에서 혼합 기체의 압력이 $\frac{4}{3}$ 기압이면 600 K에서는 $\frac{8}{3}$ 기압이 된다.

내신 만점 문제

31쪽~34쪽

01 ⑤	02 ③	03 ④	04 ①	05 ①	06 ④
07 ②	08 ③	09 ③	10 250 mmHg	11 ㄱ	
12 ⑤	13 (1) 0.96기압 (2) 0.008 g	14 ④	15 ③		

01 ㄱ. $PV=nRT$ 에서 $n=\frac{PV}{RT}$ 이므로 기체의 몰비는 다음과 같다.

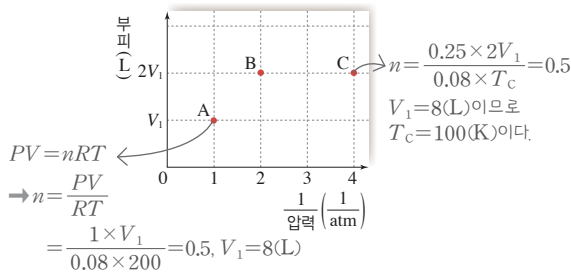
$$n_{(\text{He})} : n_{(\text{Ne})} : n_{(\text{Ar})} = \frac{1 \times 2}{300R} : \frac{3 \times 1}{300R} : \frac{4 \times 1}{600R} = 2 : 3 : 2$$

ㄴ, ㄷ. 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이다. 질량은 분자량 $\times$ 기체의 양(mol)이고, 분자량이 같으므로 기체의 밀도는 $\frac{n}{V}$ 과 같다. 또, 단위 부피당 분자 수도 $\frac{n}{V}$ 이므로 밀도비와 단위 부피당 분자 수비는 다음과 같다.

(가) : (나) : (다) = $\frac{2}{2\text{ L}} : \frac{3}{1\text{ L}} : \frac{2}{1\text{ L}} = 1 : 3 : 2$

02 문제 분석

A~C는 0.5몰($=\frac{PV}{RT}$)이다.



ㄱ. $n = \frac{PV}{RT} = \frac{1 \text{ atm} \times V_1}{0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 200 \text{ K}} = 0.5 \text{ mol}$ 이므로 V_1 은 8 L이다.

ㄴ. 기체의 양(mol)이 일정하므로 기체의 밀도는 부피에 반비례한다. 따라서 기체의 밀도는 A에서 B에서의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. C에서의 온도를 T_c 라고 하면 다음 식이 성립한다.

$$n = \frac{0.25 \text{ atm} \times 2V_1}{0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times T_c} = 0.5 \text{ mol}$$

$V_1 = 8 \text{ L}$ 이므로 $T_c = 100 \text{ K}$ 이다. 따라서 절대 온도는 A에서 C에서의 2배이다.

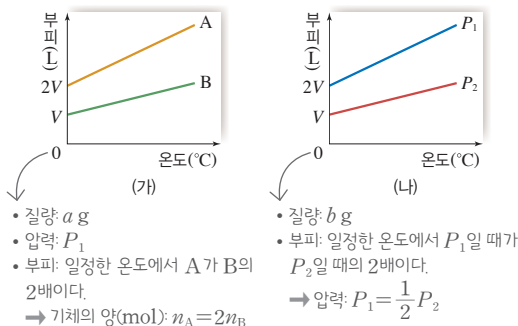
03 ㄴ. $PV = nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 $w = \frac{MPV}{RT}$ 이므로 기체의 질량비는 다음과 같다.

$$A : B : C = \frac{20 \times 2 \times 2}{R \times 273} : \frac{44 \times 2 \times 1}{R \times 546} : \frac{4 \times 3 \times 3}{R \times 273} = 20 : 11 : 9$$

ㄷ. 기체의 질량비가 A : B : C = 20 : 11 : 9이므로 밀도비는 $A : B : C = \frac{20}{2 \text{ L}} : \frac{11}{1 \text{ L}} : \frac{9}{3 \text{ L}} = 10 : 11 : 3$ 이다. 따라서 밀도가 가장 큰 기체는 B이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 $n_B : n_C = \frac{2 \times 1}{546R} : \frac{3 \times 3}{273R} = 1 : 9$ 이다. 따라서 기체의 양(mol)은 C가 B의 9배이다.

04 문제 분석



ㄱ. $PV = nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이고, (가)의 0°C

에서 A와 B의 T , P , w 가 같으므로 A와 B의 분자량비는 $\frac{1}{2V}$

: $\frac{1}{V} = 1 : 2$ 이다. 즉, 분자량은 B가 A의 2배이다.

▮ **다른 풀이** ▮ $PV = nRT$ 에서 T 와 P 가 일정할 때 V 는 n 에 비례한다.

(가)에서 압력은 P_1 로 일정하고, 0°C 에서 기체의 부피는 A가 B의 2배이므로 기체의 양(mol)도 A가 B의 2배이다. 이때 A와 B의 질량이 같으므로 분자량($= \frac{\text{질량}}{\text{기체의 양(mol)}}$)은 B가 A의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (가)에서 B는 $a \text{ g}$, 273 K , P_1 에서의 부피가 V 이고, (나)에서 B는 $b \text{ g}$, 273 K , P_1 에서의 부피가 $2V$ 이다.

$PV = nRT$ 에서 T 와 P 가 일정할 때 V 는 n 에 비례하므로 B의 양(mol)은 (나)가 (가)의 2배이다. 또한, 같은 물질인 경우 질량은 기체의 양(mol)에 비례하므로 $a = \frac{1}{2}b$ 이다.

ㄷ. (나)에서 $P_1 \times 2V = P_2 \times V$ 이므로 $P_1 = \frac{1}{2}P_2$ 이다.

05 ㄱ. $PV = nRT$ 에서 $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 주사기 속에 들어 있는 산소의 양(mol)은 다음과 같다.

$$n = \frac{1 \text{ atm} \times 0.1 \text{ L}}{0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K}} = \frac{1}{240} \text{ mol}$$

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. $T = 300 \text{ K}$ 이고, $P = 1 \text{ atm}$ 이므로 산소의 분자량을 구하는 식은 다음과 같다.

$$M = \frac{wRT}{PV} = \frac{(w_1 - w_2)300R}{V}$$

ㄷ. 주사기에 모인 산소의 온도가 실험실의 온도보다 낮은 경우 산소의 부피가 작게 측정되므로 산소의 분자량은 실제보다 크게 측정된다.

06 ② 기체 분자 사이에는 인력과 반발력이 작용하지 않는다. 분자 사이에 인력이 크게 작용하면 액체나 고체 상태가 된다.

③ 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. 즉, 온도가 같으면 기체의 종류에 관계없이 기체 분자의 평균 운동 에너지는 같다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 기체 분자 운동론에 의하면 기체 분자끼리 충돌한 후나 기체 분자가 용기 벽에 충돌한 후에 에너지의 손실이 없다.

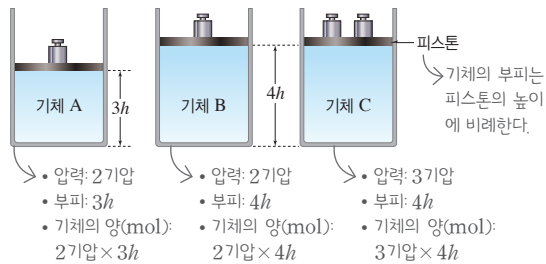
07 ㄷ. 그래프가 오른쪽으로 치우칠수록 온도가 높아 기체 분자의 평균 운동 속력이 빠르다. 따라서 기체 분자의 평균 운동 속력은 T_3 이 가장 빠르다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 그래프가 오른쪽으로 치우칠수록 온도가 높으므로 온도는 $T_3 > T_2 > T_1$ 이다.

ㄴ. 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 운동 에너지가 크므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 $T_3 > T_2 > T_1$ 이다.

08 포 포 문제 분석

$PV=nRT$ 에서 T 가 일정하므로 $PV \propto n$ 이다.



실린더의 단면적이 모두 같으므로 기체의 부피는 실린더 바닥에서 피스톤까지의 길이(피스톤의 높이)에 비례한다.

∴ $PV=nRT$ 에서 T 가 일정하므로 n 은 PV 에 비례한다. 따라서 A~C의 몰비는 다음과 같다.

A : B : C = 2기압 × 3h : 2기압 × 4h : 3기압 × 4h = 3 : 4 : 6
따라서 기체의 양(mol)이 가장 큰 것은 C이다.

∴ A와 C의 몰비는 A : C = 2기압 × 3h : 3기압 × 4h = 1 : 2
이고, A와 C의 질량이 같으므로 분자량(= $\frac{\text{질량}}{\text{기체의 양(mol)}}$)은 A가 C의 2배이다.

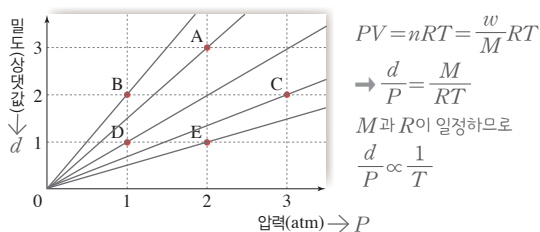
▮ **바로알기** ▮ ∴ 기체 B와 C는 온도와 부피가 같지만, 압력은 C가 더 크므로 단위 면적당 기체 분자의 충돌수는 C가 B보다 크다.

09 ∴ $PV=nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 밀도 $d = \frac{w}{V}$ 이므로 $P = \frac{dRT}{M}$ 이고, 이 식을 T 에 대해 정리하면 $T = \frac{PM}{dR}$ 이다.
따라서 A~E의 온도는 표와 같다.

구분	A	B	C	D	E
압력(P)	2	1	3	1	2
밀도(d)	3	2	2	1	1
온도(T)	$\frac{2M}{3R}$	$\frac{M}{2R}$	$\frac{3M}{2R}$	$\frac{M}{R}$	$\frac{2M}{R}$

A~E에서 M 과 R 은 일정하므로 온도는 $E > C > D > A > B$ 이다.

▮ **다른 풀이** ▮ 이상 기체 방정식과 $d = \frac{w}{V}$ 를 이용하여 다음과 같이 그래프의 기울기를 나타낼 수 있다.



온도가 높을수록 그래프의 기울기가 작으므로 기울기가 가장 작은 E의 온도가 가장 높다.

∴ 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 운동 에너지가 커져 평균 운동 속력이 빨라진다. 따라서 기체 분자의 평균 운동 속력은 $E > C > D > A > B$ 이다.

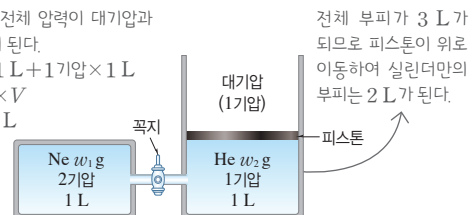
▮ **바로알기** ▮ ∴ B와 D에서 절대 온도의 비는 $B : D = \frac{M}{2R} : \frac{M}{R} = \frac{1}{2} : 1$ 이고, 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로, 기체 분자의 평균 운동 에너지는 B에서 D에서의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

10 $PV=nRT$ 에서 T 와 V 가 일정할 때 P 는 n 에 비례한다.
N₂ 11.2 g의 양(mol)은 0.4몰이고, 이때 N₂의 부분 압력은 200 mmHg이므로 CO₂ 4.4 g, 즉 0.1몰의 부분 압력은 50 mmHg이다.

혼합 기체의 전체 압력은 두 성분 기체의 부분 압력의 합과 같으므로 250 mmHg이다.

11 포 포 문제 분석

꼭지를 열면 전체 압력이 대기압과 같은 1기압이 된다.
 $\Rightarrow 2\text{기압} \times 1\text{ L} + 1\text{기압} \times 1\text{ L} = 1\text{기압} \times V$
 $\therefore V = 3\text{ L}$



꼭지를 열어 두 기체가 혼합되어도 기체의 양(mol)은 같고 혼합 기체의 압력은 대기압인 1기압이므로 혼합 기체의 부피를 V 라고 하면 다음 식이 성립한다.

$$2\text{기압} \times 1\text{ L} + 1\text{기압} \times 1\text{ L} = 1\text{기압} \times V\text{ L}$$

따라서 $V = 3(\text{L})$ 이다.

∴ $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 Ne과 He의 몰비는 2 : 1이다. 따라서 $2 : 1 = \frac{w_1}{20} : \frac{w_2}{4}$ 이므로 $w_1 = 10w_2$ 이다.

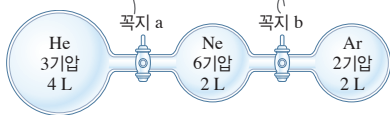
▮ **바로알기** ▮ ∴ 기체가 혼합된 후 전체 부피는 3 L인데, 용기의 부피가 1 L이므로 실린더의 부피는 2 L이다.

∴ 1.5기압의 추를 실린더에 올려놓으면 기체의 전체 압력은 2.5기압이 된다. Ne의 몰 분율이 $\frac{2}{3}$ 이므로 Ne의 부분 압력은 $2.5\text{기압} \times \frac{2}{3} = \frac{5}{3}$ 기압이다.

12 **문제 분석**

꼭지 a를 열었을 때
혼합 기체의 압력(P_1):
3기압 $\times$ 4 L + 6기압 $\times$ 2 L
 $= P_1 \times 6 \text{ L}$, $P_1 = 4 \text{ 기압}$

꼭지 b를 열었을 때 혼합 기체의
압력(P_2):
4기압 $\times$ 2 L + 2기압 $\times$ 2 L
 $= P_2 \times 4 \text{ L}$, $P_2 = 3 \text{ 기압}$



ㄱ. $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 (가)에서 He : Ne의 분자 수비는 다음과 같다.

$$3 \text{ 기압} \times 4 \text{ L} : 6 \text{ 기압} \times 2 \text{ L} = 1 : 1$$

따라서 분자 수는 He와 Ne이 같다.

ㄴ. (나)에서 꼭지 a를 열었을 때의 Ne의 부분 압력을 P_{Ne} 이라고 하면 T 와 Ne의 양(mol)이 일정하므로 $6 \text{ 기압} \times 2 \text{ L} = P_{\text{Ne}} \times 6 \text{ L}$ 이므로 $P_{\text{Ne}} = 2 \text{ 기압}$ 이다.

ㄷ. (다)에서 꼭지 b를 열었을 때 혼합 기체의 압력을 P_2 라고 하면 다음 식이 성립한다.

$$4 \text{ 기압} \times 2 \text{ L} + 2 \text{ 기압} \times 2 \text{ L} = P_2 \times 4 \text{ L}$$

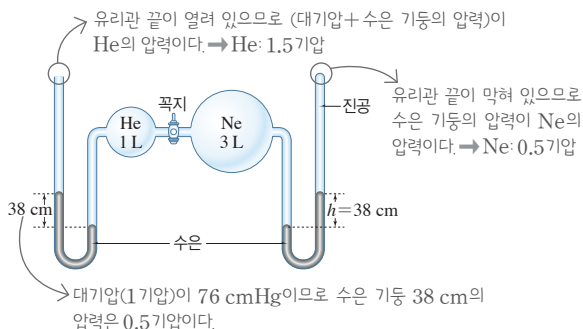
따라서 $P_2 = 3 \text{ 기압}$ 이다. 이때 Ar의 몰 분율은 $\frac{4}{8+4} = \frac{1}{3}$ 이므로 Ar의 부분 압력은 $3 \text{ 기압} \times \frac{1}{3} = 1 \text{ 기압}$ 이다.

13 (1) 수상 치환으로 모인 기체의 압력은 대기압에서 같은 온도의 수증기압을 빼야 하므로 수소 기체의 압력은 $1 \text{ 기압} - 0.04 \text{ 기압} = 0.96 \text{ 기압}$ 이다.

(2) $PV=nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 $w = \frac{MPV}{RT}$ 이므로 눈금실린더에 모인 수소 기체의 질량은 다음과 같다.

$$w = \frac{MPV}{RT} = \frac{2 \text{ g/mol} \times 0.96 \text{ atm} \times 0.1 \text{ L}}{0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K}} = 0.008 \text{ g}$$

14 **문제 분석**



꼭지를 열기 전 He의 압력은 (대기압+수은 기둥의 압력)과 같으므로 1.5기압이고, Ne의 압력은 수은 기둥의 압력과 같으므로

0.5기압이다. 꼭지를 열고 충분한 시간이 흘렀을 때 전체 압력을 P 라고 하면 다음 식이 성립한다.

$$1.5 \text{ 기압} \times 1 \text{ L} + 0.5 \text{ 기압} \times 3 \text{ L} = P \times 4 \text{ L}$$

따라서 $P = \frac{3}{4} \text{ 기압}$ 이다.

ㄴ. $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 He와 Ne의 양(mol)이 같고, 몰 분율도 같다. 몰 분율이 같으므로 두 기체의 부분 압력은 같다.

ㄷ. Ne의 압력은 꼭지를 열기 전 0.5기압이고, 꼭지를 열고 난 후의 압력은 다음과 같다.

$$P_{\text{Ne}} = P \times X_{\text{Ne}} = \frac{3}{4} \text{ 기압} \times 0.5 = \frac{3}{8} \text{ 기압}$$

따라서 꼭지를 열기 전과 후의 압력비는 4 : 3이다.

바로알기 ㄱ. 1기압일 때 $h = 76 \text{ cm}$ 이므로 $\frac{3}{4}$ 기압일 때 $h = 57 \text{ cm}$ 이다.

15 ㄱ. (가)에서 He와 N_2 의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 몰비는 3 : 2이다. 이때 He의 양(mol)은 $\frac{2.4 \text{ g}}{4 \text{ g/mol}} = 0.6 \text{ mol}$ 이므로 N_2 의 양(mol)은 0.4몰이다. 따라서 a 는 0.4이다.

ㄴ. (나)에서 He 0.6몰의 부피와 N_2 0.4몰과 Ne b 몰의 부피의 비가 3 : 7이므로 $0.6 : 0.4 + b = 3 : 7$ 에서 $b = 1.0$ 이다. N_2 0.4몰의 질량은 11.2 g이고, Ne 1.0몰의 질량은 20 g이므로 N_2 와 Ne의 질량의 합은 31.2 g이다.

바로알기 ㄷ. (나)에서 N_2 의 몰 분율은 $\frac{0.4}{1.4} = \frac{2}{7}$ 이고, Ne의 몰 분율은 $\frac{1.0}{1.4} = \frac{5}{7}$ 이므로 N_2 와 Ne의 부분 압력의 비는 $\frac{2}{7} : \frac{5}{7} = 2 : 5$ 이다.

중단원 해심 자리

35 쪽

- ① 크 ② 반비례 ③ 절대 온도 ④ 비례 ⑤ nRT ⑥ 절대 온도 ⑦ 빠르 ⑧ 비례 ⑨ 반비례 ⑩ 부분 압력 ⑪ 전체 압력

중단원 마무리 문제

36 쪽~40 쪽

- 01 ㄴ, ㄷ 02 ③ 03 ④ 04 ⑤ 05 ② 06 ②
07 ① 08 ④ 09 ④ 10 ⑤ 11 ㄴ, ㄷ 12 ②
13 ㄱ, ㄴ, ㄷ 14 ⑤ 15 ② 16 해설 참조 17 해설 참조
18 해설 참조 19 해설 참조

01 수소가 들어 있는 플라스크 쪽으로 수은이 밀려 올라갔으므로 수소의 압력이 헬륨보다 작고, 수은 기둥의 높이 차가 7.6 cm이므로 수소와 헬륨의 압력 차는 0.1기압이다. 따라서 수소의 압력은 0.1기압(=0.2기압-0.1기압)이다.

ㄴ. ㄷ. $PV=nRT$ 에서 T 와 V 가 일정할 때 n 은 P 에 비례하므로 플라스크에 들어 있는 분자 수는 헬륨이 수소의 2배이다. 따라서 밀도($d=\frac{w}{V}=\frac{M \times n}{V}$)비는 헬륨 : 수소 = $4 \times 2 : 2 \times 1 = 4 : 1$ 로, 밀도는 헬륨이 수소의 4배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 수소의 압력은 0.1기압이고, 헬륨의 압력은 0.2기압이므로 압력은 수소가 헬륨의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

02 ㄱ. (나)는 온도와 압력이 같을 때 부피가 (가)의 2배이므로 입자 수가 2배이다. 따라서 x 는 4이다.

ㄷ. $PV=nRT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이고, T_1 이 27°C 이므로 (가)의 값을 대입하여 분자량을 계산하면 다음과 같다.

$$M=\frac{2 \times R \times (273+27)}{2 \times h}=\frac{300R}{h}$$

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (나)에서 기체의 압력은 2기압이고, (다)에서 기체의 압력은 3기압이며, 실린더 속에 들어 있는 기체의 부피를 $2h$ 라고 하면 $\frac{P_1 V_1}{T_1}=\frac{P_2 V_2}{T_2}$ 에 의해 $\frac{2 \times 2h}{T_1}=\frac{3 \times 2h}{T_2}$ 이므로 $T_2=\frac{3}{2}T_1$ 이다. 따라서 T_2 는 T_1 의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

03 ㄴ. $PV=nRT$ 에서 n 이 일정할 때 T 는 PV 에 비례한다. (가)에서 A는 $2PV$, B는 $4PV$, C는 $2PV$ 이므로 온도의 비는 $A : B : C = 1 : 2 : 1$ 이다. 또, 기체의 부피는 A가 V 이고, B와 C가 $2V$ 이므로 (나)에서 p는 C, q는 B, r은 A이다.

ㄷ. (나)에서 $r \rightarrow p \rightarrow q$ 로의 변화는 (가)에서 $A \rightarrow C \rightarrow B$ 로의 변화에 해당하므로 압력은 $2P$ 에서 P 로 감소하다가 다시 $2P$ 로 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $PV=nRT$ 에서 n 이 일정할 때 T 는 PV 에 비례하므로 A의 경우 $2PV$ 이고, B의 경우 $4PV$ 이다. 따라서 온도는 B가 A의 2배이다.

04 ㄱ. A와 B는 절대 온도가 같으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지가 같다.

ㄴ. $PV=nRT$ 에서 $n=\frac{PV}{RT}$ 이므로 n 은 $\frac{PV}{T}$ 에 비례한다. 따라서 기체의 몰비는 $A : B : C = \frac{1 \times 1}{300} : \frac{2 \times 0.25}{300} : \frac{2 \times 0.25}{600} = 4 : 2 : 1$ 이므로 기체의 양(mol)은 B가 C의 2배이다.

ㄷ. $PV=nRT$ 에서 단위 부피당 기체 분자 수 $\frac{n}{V}=\frac{P}{RT}$ 이므로 A가 $\frac{1}{300R}$, C가 $\frac{2}{600R}$ 로 A와 C가 같다.

05 ㄷ. B에서는 질량이 1 g, 부피가 2 L이므로 밀도가 0.5 g/L이다. B와 D에서 밀도가 같으므로 B는 D이다. $PV=nRT$ 에서 $n=\frac{PV}{RT}$ 이므로 D의 양(mol)은 $\frac{2 \times 2}{R \times 400}=\frac{1}{100R}$ 몰이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $PV=nRT$ 에서 n 이 일정하므로 PV 는 T 에 비례하고, A와 B에서의 PV 비는 $1 \times 1 : 2 \times 2 = 1 : 4$ 이다. 따라서 절대 온도는 B에서 A에서의 4배이다.

ㄴ. C와 D에서 질량이 1 g으로 같으므로 부피는 $\frac{1}{\text{밀도}}$ 이다. 즉, C에서의 부피는 1 L이고, D에서의 부피는 2 L이다. $PV=nRT$ 에서 n 이 일정하므로 P 는 $\frac{T}{V}$ 에 비례한다. C와 D에서의 압력비는 $\frac{200}{1} : \frac{400}{2} = 1 : 1$ 이다. 따라서 C와 D에서의 압력은 같다.

06 (가)와 (나)의 $\frac{P}{T}$ 와 T 를 정리하면 표와 같다.

구분	$\frac{P}{T}$	T	$\frac{P}{T} \times T = P$
(가) A	a	T_1	aT_1
(나) B	b	$2T_1$	$2bT_1$

ㄴ. (가)에서 A와 (나)에서 B의 압력의 비는 $aT_1 : 2bT_1 = a : 2b$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $PV=nRT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이고, w 와 V 가 같으므로 A와 B의 분자량은 $\frac{T}{P}$ 에 비례한다. 따라서 A와 B의 분자량비는 $\frac{1}{a} : \frac{1}{b}$ 이다.

ㄷ. $PV=nRT$ 에서 단위 부피당 기체 분자 수 $\frac{n}{V}=\frac{P}{RT}$ 이고, R 이 같으므로 (가)에서 A와 (나)에서 B의 단위 부피당 기체 분자 수는 $\frac{P}{T}$ 에 비례한다. 따라서 (가)에서 A와 (나)에서 B의 단위 부피당 기체 분자 수비는 $a : b$ 이다.

07 ㄱ. $t^\circ\text{C}$ 에서의 수증기압이 0.04기압이므로 기체의 압력은 대기압-수증기압=1기압-0.04기압=0.96기압이다.

▮ **바로알기** ▮ $PV=nRT$ 에서 $n=\frac{PV}{RT}$ 이므로 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

$$n=\frac{(1-0.04) \text{ atm} \times 0.05 \text{ L}}{0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K}}=0.002 \text{ mol}$$

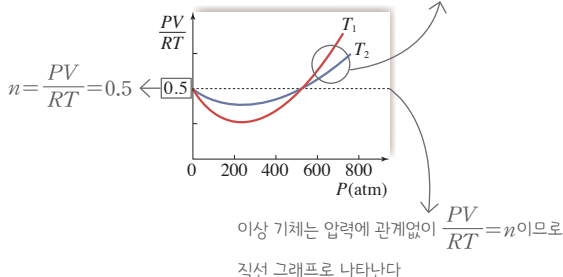
ㄷ. $PV=nRT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이므로 기체 A의 분자량은 다음과 같다.

$$M=\frac{(150.70-150.61)\text{ g}\times 0.08\text{ atm}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})\times 300\text{ K}}{(1-0.04)\text{ atm}\times 0.05\text{ L}}$$

08 **꼼꼼** 문제 분석

실제 기체는 온도가 높을수록 이상 기체에 가까게 행동한다.

→ T_1 일 때보다 T_2 일 때 이상 기체에 가까우므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.



ㄴ. 실제 기체는 온도가 높을수록 이상 기체에 가까우므로 온도는 T_1 보다 T_2 가 높다. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로 평균 운동 에너지는 T_1 일 때보다 T_2 일 때 더 크다.

ㄷ. 실제 기체는 분자들 사이에 인력이나 반발력이 작용하는데, 기체 분자 사이에 인력이 작용할 때는 이웃 분자들의 끌어당기는 힘 때문에 기체 분자가 용기 벽면에 약하게 충돌한다. 따라서 기체의 압력이 이상 기체보다 작아지고, 이상 기체보다 $\frac{PV}{RT}$ 값이 작아진다. 기체 분자 사이에 반발력이 작용할 때는 이웃 분자들을 밀어내는 힘 때문에 기체 분자가 용기 벽면에 강하게 충돌한다. 따라서 기체의 압력이 이상 기체보다 커지고, 이상 기체보다 $\frac{PV}{RT}$ 값이 커진다.

|| **바로알기** || ㄱ. X 8 g이 0.5몰이므로, X의 몰 질량 = $\frac{\text{X의 질량}}{\text{X의 양(mol)}}$
 $= \frac{8\text{ g}}{0.5\text{ mol}} = 16\text{ g/mol}$ 이다. 따라서 X의 분자량은 16이다.

09 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례($E_k = \frac{3}{2}$

kT)하고, 질량과 속력의 제곱에 비례($E_k = \frac{1}{2}mv^2$)한다. 따라서 기체 분자의 평균 운동 속력은 온도가 높을수록, 분자량이 작을수록 빠르다.

ㄴ. (나)에서 분자의 평균 운동 속력은 B가 A보다 빠르므로 분자량은 A가 B보다 크다.

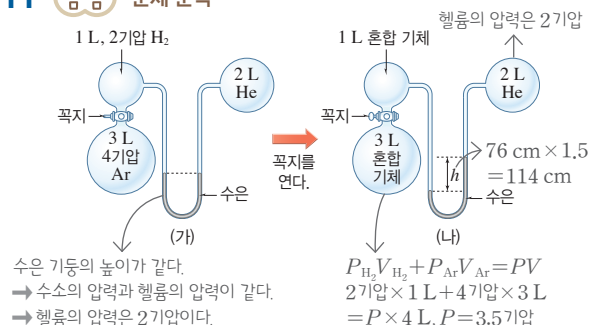
ㄷ. 분자량은 B가 A보다 작으므로 T_2 에서도 평균 분자 운동 속력은 B가 A보다 빠르다.

|| **바로알기** || ㄱ. T_2 에서의 평균 분자 운동 속력이 T_1 보다 빠르므로 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

10 (가)와 (나)에서 기체 A~C는 $PV=nRT$ 에서 n 이 일정하므로 $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ 가 성립한다. 따라서 (가)와 (나)에서 A에 대해 $\frac{x \times 2\text{ L}}{T} = \frac{0.2\text{ 기압} \times 5\text{ L}}{2T}$ 이므로 x 는 0.25기압이다.

또, B에 대해 $\frac{0.5\text{ 기압} \times 2\text{ L}}{T} = \frac{P_B \times 5\text{ L}}{2T}$ 이므로 $P_B = 0.4$ 기압이다. (나)에서 $P_A = 0.2$ 기압이고, $P_B = 0.4$ 기압이며, 전체 압력은 1기압이므로 $y = 1\text{ 기압} - (0.2 + 0.4)\text{ 기압} = 0.4\text{ 기압}$ 이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

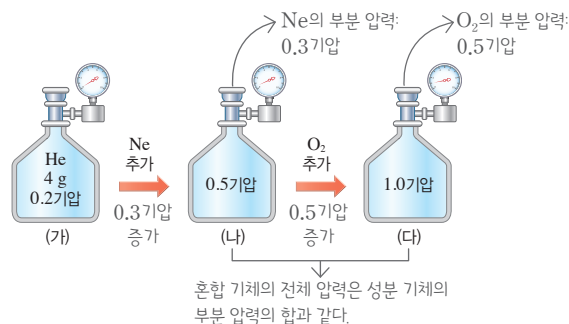


ㄴ. 혼합 기체의 압력을 P 라고 하면 $2\text{ 기압} \times 1\text{ L} + 4\text{ 기압} \times 3\text{ L} = P \times 4\text{ L}$, $P = 3.5\text{ 기압}$ 이다.

ㄷ. 1기압은 수은 기둥 76 cm가 누르는 힘에 해당한다. (가)에서 수은 기둥의 높이가 같으므로 수소와 헬륨의 압력은 서로 같다. 즉, 헬륨의 압력은 2기압이다. (나)에서 혼합 기체와 헬륨의 압력 차이가 $3.5\text{ 기압} - 2\text{ 기압} = 1.5\text{ 기압}$ 이므로 수은 기둥의 높이 차 $h = 76\text{ cm} \times 1.5 = 114\text{ cm}$ 이다.

|| **바로알기** || ㄱ. $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례한다. 따라서 수소와 헬륨의 분자 수비는 $2\text{ 기압} \times 1\text{ L} : 2\text{ 기압} \times 2\text{ L} = 1 : 2$ 이므로, 분자 수는 헬륨이 수소의 2배이다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



$PV=nRT$ 에서 T, V 가 일정할 때 n 은 P 에 비례한다. (가)에서 He은 1몰, 0.2기압이고, (나)에서 혼합 기체가 0.5기압이므로 Ne을 추가하여 증가한 압력이 0.3기압이다. 따라서 추가된 Ne의 양(mol)은 1.5몰이다.

∴ (다)에서 추가된 O_2 는 0.5기압이므로 O_2 의 양(mol)은 2.5몰이다. 따라서 O_2 의 부분 압력은 $1.0\text{기압} \times \frac{2.5}{1+1.5+2.5} = 0.5$ 기압이고, He의 부분 압력은 $1.0\text{기압} \times \frac{1}{1+1.5+2.5} = 0.2$ 기압이므로 부분 압력은 O_2 가 He의 2.5배이다.

■ **바로알기** ▮. 추가된 Ne의 양(mol)은 1.5몰이므로 질량은 $20\text{ g/mol} \times 1.5\text{ mol} = 30\text{ g}$ 이다.

∴ He은 1몰, Ne은 1.5몰, O_2 는 2.5몰이므로 Ne의 몰 분율은 $\frac{1.5}{1+1.5+2.5} = 0.3$, O_2 의 몰 분율은 $\frac{2.5}{1+1.5+2.5} = 0.5$ 이다.

13 $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하는데, V 가 같으므로 n 은 각 기체의 부분 압력에 비례한다. 화학 반응식에서 계수비는 반응물과 생성물의 양(mol)에 비례하므로 A와 B가 반응할 때 각 기체의 양(mol)의 변화는 다음과 같다.

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

반응 전	0.2	0.8	0
반응	-0.2	-0.4	+0.4
반응 후	0	0.4	0.4

▮. 반응 전과 후 기체의 온도와 압력은 일정하므로 반응 전 기체의 총 양(mol)이 1.0몰이면, 반응 후 기체의 총 양(mol)은 0.8몰이다.

∴. 반응 후 실린더 속 전체 압력은 외부 압력인 1기압과 같고, 같은 양(mol)의 기체 B와 C가 남아 있으므로 기체 B와 C의 부분 압력은 0.5기압으로 같다.

∴. 반응 전과 후 기체의 총 양(mol)의 비는 5 : 4이므로 기체의 부피비는 5 : 4이고, 기체의 질량은 일정하므로 밀도비는 4 : 5이다.

14 $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 X와 Y의 반응 전과 후 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

$$X(g) + Y(g) \longrightarrow Z(g)$$

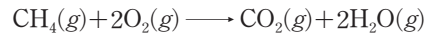
반응 전	3V	4V	0
반응	-3V	-3V	+3V
반응 후	0	V	3V

▮. 반응 전 기체 X와 Y의 분자 수는 PV 에 비례하므로 분자 수비는 3기압 $\times V\text{ L}$: 4기압 $\times V\text{ L} = 3 : 4$ 이다.

∴. 반응 후 생성된 Z의 몰 분율은 $\frac{3V}{4V} = 0.75$ 이고, 전체 압력은 1기압이므로 Z의 부분 압력은 0.75기압이다.

∴. 반응 후 4V몰의 기체는 1기압에서 $(4+2V)\text{ L}$ 를 차지하므로 $1\text{기압} \times (4+2V)\text{ L} = 4V\text{ 몰에서 } V=2$ 이다.

15 $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 메테인의 연소 반응 전과 후 기체의 양(mol)은 다음과 같다.



반응 전	0.2n	1.0n	0	0
반응	-0.2n	-0.4n	+0.2n	+0.4n
반응 후	0	0.6n	0.2n	0.4n

∴. 반응 전과 후의 분자 수비는 $(0.2n+1.0n) : (0.6n+0.2n+0.4n) = 1 : 1$ 로, 반응 전과 후의 총 분자 수는 같다.

■ **바로알기** ▮. ∴. 반응 후 혼합 기체와 남은 산소의 몰비는 $1.2n : 0.6n = 2 : 1$ 이고, $PV=nRT$ 에서 n 은 PV 에 비례하므로 혼합 기체 2.0 L의 압력은 0.6기압이고 남은 산소의 압력은 0.3기압이다.

16 (1) $PV=nRT$ 에서 T 와 P 가 같을 때 V 는 n 에 비례한다. (가)와 (나)에서 온도와 압력이 같고, 부피는 (나)가 (가)의 2배이므로 He의 양(mol)도 (나)가 (가)의 2배이다.

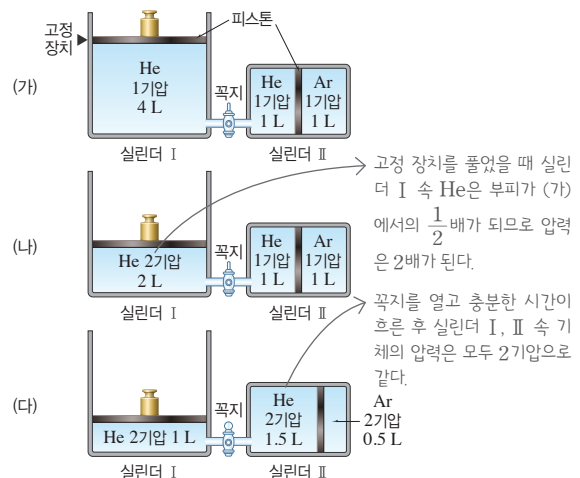
(2) $PV=nRT$ 에서 $\frac{PV}{T}$ 는 n 에 비례하므로 (가)와 (다)에서 온도가 2배일 때 일정량의 기체의 부피가 같으면 압력도 2배이다.

■ **모범답안** (1) 0.2

(2) 1기압, (가)와 (다)에서 기체의 양(mol)과 부피가 같지만 온도는 (다)가 (가)의 2배이므로 압력도 (다)가 (가)의 2배이다. 따라서 추 1개의 압력은 1기압이다.

채점 기준	배점
(1) x 의 값을 옳게 구한 경우	30 %
(2) 추 1개의 압력을 옳게 구하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	70 %
추 1개의 압력만 옳게 구한 경우	30 %

17 **꼼꼼** 문제 분석



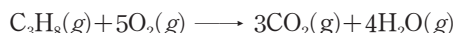
(1) 실린더 I 속 He는 고정 장치를 풀기 전 1기압, 4 L이고, 고정 장치를 풀고 난 후 부피가 2 L이므로 압력을 P 로 두면 1기압 $\times 4 \text{ L} = P \times 2 \text{ L}$, P 는 2기압이다.

모범답안 (1) 2기압

(2) He : Ar = 3 : 1, 꼭지를 열기 전 실린더 II 속 Ar은 1기압, 1 L이고 꼭지를 열었다가 닫았을 때 실린더 II 속 Ar은 2기압이므로 부피는 0.5 L이다. 실린더 II의 전체 부피가 2 L이므로 실린더 II 속 He의 부피는 1.5 L이다. 온도와 압력이 같을 때 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 He와 Ar의 몰비는 He : Ar = 1.5 : 0.5 = 3 : 1이다.

채점 기준	배점
(1) He의 압력을 옳게 구한 경우	40 %
(2) He와 Ar의 몰비를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	60 %
He와 Ar의 몰비만 옳게 구한 경우	30 %

18 $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하는데, V 가 같으므로 n 은 각 기체의 부분 압력에 비례한다. 따라서 C_3H_8 을 연소시킬 때 부분 압력의 변화는 다음과 같다.



반응 전	0.1	0.9	0	0
반응	-0.1	-0.5	+0.3	+0.4
반응 후	0	0.4	0.3	0.4

따라서 반응 후 실린더 속 기체의 몰 분율은 다음과 같다.

$$\bullet \text{O}_2 \text{의 몰 분율: } \frac{0.4}{0.4+0.3+0.4} = \frac{4}{11}$$

$$\bullet \text{CO}_2 \text{의 몰 분율: } \frac{0.3}{0.4+0.3+0.4} = \frac{3}{11}$$

$$\bullet \text{H}_2\text{O} \text{의 몰 분율: } \frac{0.4}{0.4+0.3+0.4} = \frac{4}{11}$$

피스톤이 고정되어 있지 않으므로 반응 후 기체의 전체 압력은 1 기압이고, 부분 압력은 O_2 가 $\frac{4}{11}$ 기압, CO_2 가 $\frac{3}{11}$ 기압, H_2O 이 $\frac{4}{11}$ 기압이다.

모범답안 (1) (가) 피스톤이 고정되어 있지 않으므로 혼합 기체의 전체 압력은 반응 전과 후가 1기압으로 같다.

(나) 반응 후에 혼합 기체의 전체 양(mol)이 증가하므로 부피는 증가한다.

(2) $\frac{3}{11}$ 기압, 반응 후 CO_2 의 몰 분율은 $\frac{3}{11}$ 이고, 전체 압력은 1기압이므로 CO_2 의 부분 압력은 1기압 $\times \frac{3}{11} = \frac{3}{11}$ 기압이다.

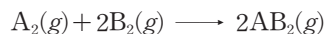
채점 기준	배점
(1) (가)와 (나)를 모두 옳게 서술한 경우	50 %
(가)와 (나) 중 1가지만 옳게 서술한 경우	20 %
(2) 부분 압력을 옳게 구하고, 몰 분율을 이용하여 옳게 서술한 경우	50 %
부분 압력만 옳게 구한 경우	20 %

19 꼭지를 열면 전체 부피는 5 L가 되므로 각 기체의 부분 압력은 다음과 같다.

$$\bullet \text{A}_2: 2\text{기압} \times 3 \text{ L} = P_{\text{A}_2} \times 5 \text{ L}, P_{\text{A}_2} = 1.2\text{기압}$$

$$\bullet \text{B}_2: 10\text{기압} \times 2 \text{ L} = P_{\text{B}_2} \times 5 \text{ L}, P_{\text{B}_2} = 4\text{기압}$$

$PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하는데, 꼭지를 열면 A_2 와 B_2 의 V 는 같다. 따라서 n 은 각 기체의 부분 압력에 비례하므로, A_2 와 B_2 를 반응시켰을 때 부분 압력의 변화는 다음과 같다.



반응 전	1.2	4	0
반응	-1.2	-2.4	+2.4
반응 후	0	1.6	2.4

A_2 가 모두 반응하면 B_2 가 남고, 남은 B_2 의 부분 압력은 1.6기압이다. 이때 생성된 기체 AB_2 의 부분 압력은 2.4기압이다.

모범답안 (1) $\text{A}_2 : \text{B}_2 = 3 : 10$, $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례하므로 꼭지를 열기 전 몰비는 $\text{A}_2 : \text{B}_2 = 2\text{기압} \times 3 \text{ L} : 10\text{기압} \times 2 \text{ L} = 3 : 10$ 이다.

(2) B_2 : 1.6기압, AB_2 : 2.4기압

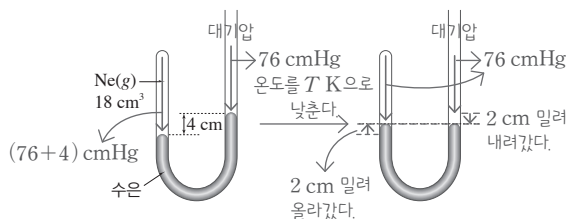
채점 기준	배점
(1) 몰비를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	60 %
몰비만 옳게 구한 경우	30 %
(2) 남아 있는 기체의 부분 압력을 모두 옳게 구한 경우	40 %

수능 실전 문제

41 쪽 ~ 43 쪽

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

01 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ Ne(g)의 압력은 76 cmHg이다.
- ㉡ Ne(g)의 부피는 16 cm³이다.
- ㉢ T는 304이다.

ㄱ. 양쪽 수은 기둥의 높이가 같을 때 Ne(g)의 압력은 대기압과 같은 76 cmHg이다.

ㄴ. 온도를 T K으로 낮추면 Ne(g) 쪽 수은 면이 2 cm 밀려 올라가고, 끝이 뚫린 쪽 수은 면이 2 cm 밀려 내려가 양쪽 수은 기둥의 높이가 같아지므로 Ne(g)의 부피는 16 cm³가 된다.

ㄷ. $PV=nRT$ 에서 n이 일정하므로 $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ 이다. 따라서 $\frac{(76+4) \times 18}{360} = \frac{76 \times 16}{T}$, $T=304(K)$ 이다.

02

선택지 분석

- ㉠ t는 127이다.
- ㉡ ㉠과 ㉢은 분자량이 같다.
- ㉢ 기체의 양(mol)이 가장 큰 것은 ㉠이다.

ㄱ. $PV = \frac{w}{M}RT$ 에서 P와 w가 같으므로 M은 $\frac{T}{V}$ 에 비례한다.

㉠과 ㉢의 분자량비가 2 : 1이므로 $\frac{t+273}{1} : \frac{(t+400)+273}{4} = 2 : 1$ 이다. 따라서 t는 127(°C)이다.

ㄴ. t는 127이므로 이를 적용하여 ㉠~㉢의 값을 정리하면 다음과 같다.

구분	㉠	㉡	㉢	㉣	㉤
t(°C)	127	287	327	367	527
T(K)	400	560	600	640	800
V	1	3.5	3	2	4
$M(\propto \frac{T}{V})$	$\frac{400}{1}$	$\frac{560}{3.5}$	$\frac{600}{3}$	$\frac{640}{2}$	$\frac{800}{4}$

㉢과 ㉤의 분자량비는 $\frac{600}{3} : \frac{800}{4} = 1 : 1$ 이다. 따라서 ㉢과 ㉤의 분자량은 같다.

ㄷ. 질량이 같으므로 기체의 양(mol)이 가장 큰 것은 분자량이 가장 작은 기체인 ㉠이다.

03

선택지 분석

- ✕ $\frac{P}{T}$ 는 A가 B의 2배이다. $\frac{1}{2}$ 배
- ㉠ A는 ㉠이다.
- ㉢ $M_A = 5M_B$ 이다.

ㄴ. (가)에서 A와 B의 $\frac{P}{T}$ 의 비는 $\frac{1}{1} : \frac{4}{2} = 1 : 2$ 이고, $PV = nRT$ 에서 $\frac{P}{T} = \frac{nR}{V}$ 이다.

(나)에서 기체의 부피는 ㉠이 ㉢의 2.5배이고, 기체의 양(mol)은 ㉠이 ㉢의 3배 이상이다. 따라서 $\frac{nR}{V}$ 은 ㉠ > ㉢이므로 A가 ㉢, B가 ㉠이다.

ㄷ. $M = \frac{wRT}{PV}$ 이므로 A의 분자량을 M_A , B의 분자량을 M_B 라고 하면 $M_A = \frac{wR \times 1}{1 \times 2} = \frac{wR}{2}$, $M_B = \frac{wR \times 2}{4 \times 5} = \frac{wR}{10}$ 이다. 따라서 $M_A = 5M_B$ 이다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)에서 $\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B} = 1 : 2$ 이므로 $\frac{P}{T}$ 는 A가 B의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

04

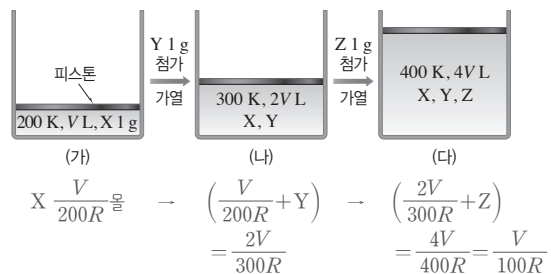
선택지 분석

- ✕ ① $\frac{w_1RT}{PV}$
- ✕ ② $\frac{w_2RT}{1000PV}$
- ③ $\frac{1000w_2RT}{PV}$
- ✕ ④ $\frac{(w_1-w_2)RT}{1000PV}$
- ✕ ⑤ $\frac{1000(w_1-w_2)RT}{PV}$

액체 X가 모두 증발한 후 다시 응축한 양이 플라스크 전체를 채운 기체의 질량하므로 X의 분자량을 구하는 식은 $\frac{1000w_2RT}{PV}$ 이다.

05 문제 분석

$PV = nRT$ 에서 $n = \frac{PV}{RT}$ 이다.



선택지 분석

- ㉠ (나)에서 기체의 양(mol)은 X가 Y의 3배이다.
- ㉡ 기체 분자의 평균 운동 에너지는 (다)가 (가)의 2배이다.
- ㉢ 분자량비는 X : Y : Z = 2 : 6 : 3이다.

ㄱ. $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 (나)에서 X의 양(mol)은 $\frac{V}{200R}$ 몰이고, Y의 양(mol)은 $\frac{V}{600R} (= \frac{2V}{300R} - \frac{V}{200R})$ 몰이므로 기체의 양(mol)은 X가 Y의 3배이다.

ㄴ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. 절대 온도는 (다)가 (가)의 2배이므로 기체 분자의 평균 운동 에너지도 (다)가 (가)의 2배이다.

ㄷ. (다)에서 Z의 양(mol)은 $\frac{V}{300R} (= \frac{V}{100R} - \frac{2V}{300R})$ 물이고, $M = \frac{w}{n}$ 이므로 각 기체의 분자량을 M_X, M_Y, M_Z 라고 하면 분자량비는 다음과 같다.

$$M_X : M_Y : M_Z = \frac{1}{\frac{V}{200R}} : \frac{1}{\frac{V}{600R}} : \frac{1}{\frac{V}{300R}} = 2 : 6 : 3$$

06

선택지 분석

- ㄱ. (나)에서 Ar(g)의 압력은 1.5기압이다.
~~ㄴ. (다)에서 Ar(g)의 부피는 (가)의 2배이다. 1.5배~~
 ㄷ. (라)에서 Ar(g)의 부피는 0.6 L이다.

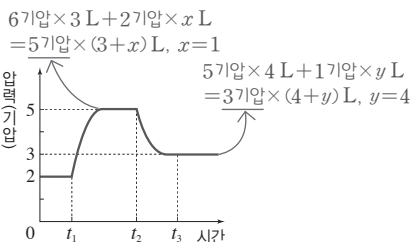
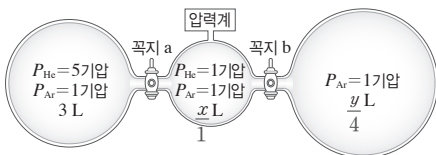
ㄱ. (나)에서 Ar 2wg를 넣으면 입자 수는 (가)의 3배가 되므로 Ar의 압력은 (가)의 3배인 1.5기압이 된다.

ㄷ. (나)에서 입자 수는 (가)의 3배가 되고, (다)에서 고정 장치를 풀면 압력은 1기압이 된다. 또, (라)에서 온도를 200 K으로 낮추면 $PV = nRT$ 에 의해 $\frac{0.5\text{기압} \times 0.6\text{ L}}{n \times 300\text{ K}} = \frac{1\text{기압} \times V\text{ L}}{3n \times 200\text{ K}}$, $V = 0.6(\text{L})$ 가 된다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 압력은 1.5기압이고, (다)에서 고정 장치를 풀면 압력은 1기압이 되므로 $1.5\text{기압} \times 0.6\text{ L} = 1\text{기압} \times V$, $V = 0.9(\text{L})$ 이다. 따라서 (다)의 부피는 (가)의 1.5배이다.

다른 풀이 (나)에서 입자 수는 (가)의 3배가 되고, (다)에서 압력은 1기압이 되므로 $\frac{0.5\text{기압} \times 0.6\text{ L}}{n} = \frac{1\text{기압} \times V\text{ L}}{3n}$, $V = 0.9(\text{L})$ 가 된다.

07 문제 분석



선택지 분석

- ~~ㄱ. $x+y=2$ 이다. 5~~
 ㄴ. (나)에서 $P_{\text{He}}=4$ 기압이다.
 ㄷ. (다)에서 $P_{\text{Ar}}=1$ 기압이다.

t_1 에서 꼭지 a를 열고 난 후 충분한 시간이 흘렀을 때 압력이 5기압이므로 $6\text{기압} \times 3\text{ L} + 2\text{기압} \times x\text{ L} = 5\text{기압} \times (3+x)\text{ L}$ 이다. 따라서 $x=1$ 이다.

한편 t_2 에서 꼭지 b를 열어 충분한 시간이 흘렀을 때 압력이 3기압이므로 $5\text{기압} \times 4\text{ L} + 1\text{기압} \times y\text{ L} = 3\text{기압} \times (4+y)\text{ L}$ 이다. 따라서 $y=4$ 이다.

ㄴ. $x=1$ 이므로 (나)에서 He과 Ar의 몰비는 다음과 같다.

$$\text{He} : \text{Ar} = (5\text{기압} \times 3\text{ L} + 1\text{기압} \times 1\text{ L}) : (1\text{기압} \times 3\text{ L} + 1\text{기압} \times 1\text{ L}) = 4 : 1$$

혼합 기체의 압력은 5기압이므로 $P_{\text{He}} = 5\text{기압} \times \frac{4}{5} = 4\text{기압}$ 이다.

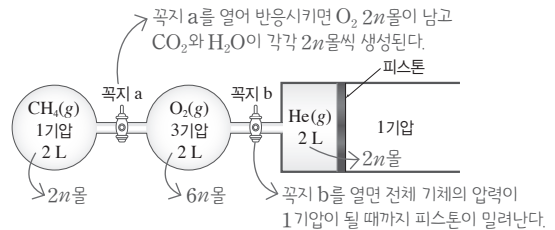
ㄷ. $y=4$ 이므로 (다)에서 He과 Ar의 몰비는 다음과 같다.

$$\text{He} : \text{Ar} = (5\text{기압} \times 3\text{ L} + 1\text{기압} \times 1\text{ L}) : (1\text{기압} \times 3\text{ L} + 1\text{기압} \times 4\text{ L}) = 2 : 1$$

혼합 기체의 압력은 3기압이므로 $P_{\text{Ar}} = 3\text{기압} \times \frac{1}{3} = 1\text{기압}$ 이다.

바로알기 ㄱ. $x=1, y=4$ 이므로 $x+y=5$ 이다.

08 문제 분석



선택지 분석

- ~~ㄱ. 실린더의 부피는 10 L가 된다. 6 L~~
 ㄴ. 남아 있는 O_2 의 부분 압력은 $\frac{1}{5}$ 기압이다.
~~ㄷ. 실린더 속 CO_2 의 양은 $\frac{1}{33}$ 몰이다. $\frac{2}{55}$ 몰~~

$PV = nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 400 K에서 CH_4 연소 반응 전과 후 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

$$\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$$

반응 전	2n	6n	0	0
반응	-2n	-4n	+2n	+4n
반응 후	0	2n	2n	4n

따라서 꼭지 a를 열어 반응이 완결된 후 전체 기체는 $8n$ 몰이다. He의 양(mol)은 $2n$ 몰이므로 꼭지 b를 열었을 때 전체 기체는 $10n$ 몰이다.

ㄴ. 꼭지 b를 열어 충분한 시간이 흐르면 기체의 압력이 외부 압력인 1기압과 같아질 때까지 기체의 부피가 변하므로 전체 압력은 1기압이다. 남아 있는 O_2 의 몰 분율이 $\frac{2n}{10n} = \frac{1}{5}$ 이므로 O_2 의 부분 압력은 1기압 $\times \frac{1}{5} = \frac{1}{5}$ 기압이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 실린더에서 He $2n$ 몰의 부피가 2 L이었으므로 꼭지 b를 열어 전체 기체의 양(mol)이 $10n$ 몰이 되면 전체 부피는 10 L가 된다. 두 강철 용기의 부피 합이 4 L이므로 실린더만의 부피는 6 L이다.

ㄷ. 반응 후 CO_2 의 몰 분율은 $\frac{2n}{10n} = \frac{1}{5}$ 이므로 CO_2 의 부분 압력은 1기압 $\times \frac{1}{5} = \frac{1}{5}$ 기압이다. $PV=nRT$ 에서 $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 CO_2 의 양(mol)은 $\frac{\frac{1}{5} \text{ atm} \times 6 \text{ L}}{33 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}} = \frac{2}{55}$ 몰이다.

09

선택지 분석

- ㉠ a는 5이다.
- ㉡ n_A 와 n_B 는 같다.
- ㉢ 혼합 기체의 온도를 500 K으로 높이면 부피는 12.5 L가 된다.

ㄱ. $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 (가)에서 n_A 를 $2.5n$ 몰, He의 양(mol)을 $2n$ 몰이라고 할 수 있다. (나)에서 A를 모두 반응시켰으므로 A와 B의 반응 전과 후 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

	$aA(g) + B(g) \longrightarrow 3C(g) + 4D(g)$			
반응 전	$2.5n$	n_B	0	0
반응	$-2.5n$	$-\frac{2.5n}{a}$	$+\frac{7.5n}{a}$	$+\frac{10n}{a}$
반응 후	0	$n_B - \frac{2.5n}{a}$	$\frac{7.5n}{a}$	$\frac{10n}{a}$

$\frac{\text{He(g)의 부분 압력}}{\text{B(g)의 부분 압력}} = 1$ 이므로 He의 양(mol)과 B의 양(mol)이 같다. He의 양(mol)이 $2n$ 이므로 $n_B - \frac{2.5n}{a} = 2n$ 이다. 또, (나) 과정 후 기체의 온도를 400 K으로 높이면 부피는 10 L가 되므로 300 K일 때 부피를 V 라고 하면 $\frac{10 \text{ L}}{400 \text{ K}} = \frac{V}{300 \text{ K}}$, $V=7.5 \text{ L}$ 이다.

1기압, 300 K에서 7.5 L의 양(mol)은 $7.5n$ 이므로 He $2n+B$ $2n+C \frac{7.5n}{a} + D \frac{10n}{a} = 7.5n$, a 는 5이다.

ㄴ. 반응 후 남은 B의 양(mol)은 $2n$ 이므로 반응 전 B의 양(mol)인 $n_B = 2n + 0.5n = 2.5n$ 이므로 n_A 와 n_B 는 같다.

ㄷ. 400 K일 때 부피가 10 L이므로 온도를 500 K으로 높일 때 부피를 V 라고 하면 $\frac{10 \text{ L}}{400 \text{ K}} = \frac{V}{500 \text{ K}}$, $V=12.5 \text{ L}$ 이다.

10

선택지 분석

- ㉠ 반응 전 기체의 양(mol)은 A가 C의 2배이다.
- ㉡ P 는 3이다. 2
- ㉢ 반응 후 C의 몰 분율은 $\frac{3}{5}$ 이다. $\frac{3}{4}$

ㄱ. $PV=nRT$ 에서 T 가 일정할 때 n 은 PV 에 비례하므로 반응 전 A와 C의 몰비는 1기압 $\times 2 \text{ L}$: 1기압 $\times 1 \text{ L} = 2 : 1$ 이다. 따라서 기체의 양(mol)은 A가 C의 2배이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 꼭지 a를 열었을 때 A와 B 중 어느 것이 모두 반응하였는지 반응 전과 후 기체의 양(mol)을 확인하여 P 를 구한다.

[A가 모두 반응한 경우]

	$A(g) + 2B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전	$2n$	Pn	n
반응	$-2n$	$-4n$	$+4n$
반응 후	0	$(P-4)n$	$5n$

꼭지 b를 열고 충분한 시간이 흐르면 혼합 기체의 압력은 대기압과 같은 1기압이 된다. 이때 혼합 기체의 부피는 4 L이므로 A가 모두 반응한 경우 혼합 기체의 양(mol)은 $(P-4)n+5n=4n$ 이 되어 P 는 3이 되지만, 반응 후 남은 기체 B의 양(mol)이 음수가 되므로 모순이다. 따라서 B가 모두 반응한다.

[B가 모두 반응한 경우]

	$A(g) + 2B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전	$2n$	Pn	n
반응	$-\frac{Pn}{2}$	$-Pn$	$+Pn$
반응 후	$(2-\frac{P}{2})n$	0	$(1+P)n$

B가 모두 반응한 경우 혼합 기체의 양(mol)은 $(2-\frac{P}{2})n + (1+P)n = 4n$ 이 되어 P 는 2이다.

ㄷ. P 가 2일 때 반응 후 남은 A의 양(mol)은 n , 생성된 C의 양(mol)은 $3n$ 이므로 C의 몰 분율은 $\frac{3}{4}$ 이다.

2

물질의 세 가지 상태(2)



01 분자 간 상호 작용

개념 확인 문제

50 쪽

- ① 쌍극자 ② 쌍극자·쌍극자 힘 ③ 편극 ④ 순간 쌍극자
⑤ 분산력 ⑥ 수소 결합 ⑦ 분산력 ⑧ 쌍극자·쌍극자 힘
⑨ 수소 결합

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 2 ① 3 ㄱ, ㄴ, ㄹ, ㅅ
4 (1) 수소 결합 (2) 분산력 (3) ㉠ 쌍극자·쌍극자 힘 ㉡ 분산력
5 (1) (다) (2) (나) (3) (가)

- 1 (1) 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘, 수소 결합 등 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 물질의 끓는점이 높다.
(2) 분자량이 비슷한 경우 극성 분자의 쌍극자·쌍극자 힘이 무극성 분자의 분산력보다 크므로 극성 물질이 무극성 물질보다 끓는점이 더 높다.
(3) 무극성 분자에서는 분자량이 클수록 편극이 쉽게 일어나 분산력이 커진다.
(4) 분자량이 비슷한 경우 수소 결합은 분산력보다 100배 정도 강하고, 쌍극자·쌍극자 힘보다 10배 정도 강하다.

2 H_2 , N_2 , O_2 는 모두 무극성 분자이므로 끓는점 차이에 영향을 미치는 가장 큰 요인은 분산력이다.

3 수소 결합은 한 분자 내 F, O, N 원자에 결합한 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 정전기적 인력이다.

- 4 (1) H_2O 의 끓는점이 다른 16족 원소의 수소 화합물보다 높은 것은 H_2O 분자 사이에 수소 결합을 하기 때문이다.
(2) CH_4 와 SiH_4 는 14족의 무극성 분자이므로 두 화합물의 끓는점 차이에 가장 큰 영향을 미치는 분자 간 힘은 분산력이다.
(3) H_2Se 는 4주기 16족 원소의 수소 화합물이고, H_2S 는 3주기 16족 원소의 수소 화합물이다. 같은 족에서 원자 번호가 커질수록 전기 음성도가 작아지므로 4주기 수소 화합물인 H_2Se 는 3주기 수소 화합물인 H_2S 보다 쌍극자·쌍극자 힘이 약하다. 이때 분자량은 H_2Se 가 H_2S 보다 크므로 분산력은 더 크게 작용한다.

5 (가)는 분산력, (나)는 쌍극자·쌍극자 힘, (다)는 수소 결합을 나타낸 모형이다.

- (1) NH_3 와 PH_3 는 15족 원소의 수소 화합물이고 분자량은 PH_3 이 NH_3 보다 크지만, NH_3 가 수소 결합을 하므로 PH_3 보다 끓는점이 더 높다.
(2) H_2S 는 극성 분자이고, O_2 는 무극성 분자이며 분자량이 비슷하므로 H_2S 의 끓는점이 O_2 보다 높은 것은 극성 분자의 쌍극자·쌍극자 힘이 무극성 분자의 분산력보다 크기 때문이다.
(3) Cl_2 와 F_2 는 무극성 분자이고, Cl_2 의 분자량이 F_2 보다 크다. 따라서 Cl_2 가 F_2 보다 분산력이 더 크므로 끓는점이 더 높다.

대표 자료 분석

51 쪽

- 자료 1 1 분산력 2 $D > C$ 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○
자료 2 1 (가) 17족 원소의 수소 화합물 (나) 14족 원소의 수소 화합물 2 분산력 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○

1-1 꼼꼼 문제 분석

물질	분자량	쌍극자 모멘트(D)	분자의 종류	끓는점(°C)
A		0	무극성	-191
B	30	0.15	극성	-152
C	44	0	무극성	-48
D	44	2.6	극성	

→ 분자량이 같지만, C보다 D의 쌍극자 모멘트가 크므로 D의 끓는점 > -48 °C이다.

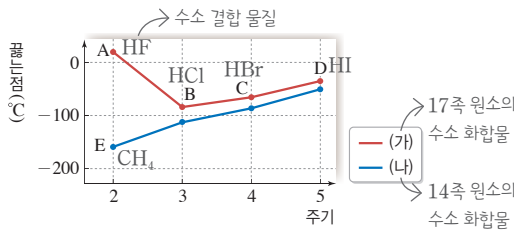
B는 쌍극자 모멘트가 0이 아니므로 쌍극자·쌍극자 힘과 분산력이 작용하는 극성 분자이고, C는 분산력만 작용하는 무극성 분자이지만 C가 B보다 끓는점이 높다. 이는 C의 분자량이 B보다 커서 분산력이 더 크기 때문이다.

1-2 C와 D의 분자량이 같으므로 쌍극자 모멘트가 큰 D의 쌍극자·쌍극자 힘이 무극성 분자인 C의 분산력보다 더 크게 작용하여 D의 끓는점이 C보다 더 높다.

1-3 (1) A와 B의 분자량이 비슷한 경우 B의 끓는점이 A보다 높은 까닭은 극성 분자인 B의 쌍극자·쌍극자 힘이 무극성 분자인 A의 분산력보다 크게 작용하기 때문이다.

- (2) 쌍극자 모멘트가 클수록 분자의 극성이 크므로 분자의 극성은 D가 B보다 크다.
- (3) A와 C는 쌍극자 모멘트가 0이므로 무극성 분자로 이루어진 물질이다.
- (4) 분산력의 크기 차이로만 끓는점을 비교할 수 있는 물질은 무극성 분자로 이루어진 물질인 A와 C이다.
- (5) 분자 간 힘이 클수록 끓는점이 높으므로 A~C 중 분자 간 힘이 가장 큰 물질은 C이다.

2-1 꼼꼼히 문제 분석



14족 원소는 수소 4개와 결합하여 수소 화합물을 생성하는데, 분자의 구조가 정사면체로 대칭 구조이다. 따라서 14족 원소의 수소 화합물은 분자의 쌍극자 모멘트가 0인 무극성 분자이므로 분자량이 클수록 분산력이 크게 작용하여 끓는점이 높다. 한편 17족 원소의 수소 화합물에서 HF는 수소 결합을 하므로 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 끓는점이 높다. 따라서 (가)는 17족 원소의 수소 화합물이고, (나)는 14족 원소의 수소 화합물이다.

2-2 14족 원소의 수소 화합물은 무극성 분자이므로 분자량이 클수록 분산력이 크게 작용하여 끓는점이 높다.

2-3 (1) 같은 족 원소의 경우 원자 번호가 작을수록 전기 음성도가 크므로 분자의 극성은 B가 C보다 크다. 그러나 분산력은 C가 B보다 크므로 끓는점은 C가 B보다 높다.

- (2) A는 HF로, 분자 사이에 수소 결합, 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다.
- (3) B는 HCl로, 극성 물질이다. HCl은 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘과 분산력이 작용한다.
- (4) A와 B는 17족 원소의 수소 화합물로, A의 끓는점이 B보다 높은 까닭은 A의 분자 사이에 수소 결합이 작용하기 때문이다.
- (5) 17족 원소의 수소 화합물에서 끓는점이 D>C>B인 까닭은 분자량이 클수록 분산력이 크기 때문이다.
- (6) A(HF)의 분자 사이에는 수소 결합, 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지만, E(CH₄)는 무극성 물질이므로 분자 사이에 분산력만 작용한다. 따라서 A가 분자량이 비슷한 E보다 끓는점이 높은 까닭은 쌍극자·쌍극자 힘, 수소 결합 때문이다.

01 ③ 02 ② 03 ④ 04 ③ 05 ② 06 ②
07 ① 08 ③

01 (가)는 분산력, (나)는 쌍극자·쌍극자 힘, (다)는 수소 결합을 나타낸 것이다.

ㄱ. 무극성 분자에 편극이 일어나면 순간적으로 쌍극자가 형성되어 순간 쌍극자 사이의 힘인 분산력이 작용한다.

ㄷ. 분자량이 비슷할 때 분자 사이에 작용하는 힘이 가장 큰 것은 수소 결합이다.

■ **바로알기** ㄴ. HF는 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘, 수소 결합이 모두 작용하지만, HCl은 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘만 작용한다.

02 ① 비활성 기체는 무극성 물질이므로 원자 번호가 클수록 분산력이 커서 끓는점이 높다.

③ Ar과 Cl₂는 무극성 물질이므로 각각 분자 사이에 분산력만 작용한다.

④ CCl₄의 끓는점이 CH₄보다 높은 까닭은 CCl₄의 분자량이 커서 분산력이 크기 때문이다.

⑤ HCl의 끓는점이 분자량이 비슷한 O₂보다 높은 까닭은 극성 분자인 HCl 사이에 작용하는 쌍극자·쌍극자 힘이 무극성 분자인 O₂ 사이에 작용하는 분산력보다 크기 때문이다.

■ **바로알기** ② NH₃는 극성 물질로 분자 사이에 수소 결합, 쌍극자·쌍극자 힘, 분산력이 작용한다.

03 ㄴ. 3가지 탄소 화합물은 모두 무극성 분자로 이루어진 물질로, 끓는점이 가장 높은 노말펜테인의 분산력이 가장 크다.

ㄷ. 노말펜테인과 네오펜테인은 분자식이 같아 분자량이 같지만, 분자의 모양이 달라 분산력이 다르게 작용한다. 이때 분자의 표면적이 클수록 분산력이 크므로 끓는점이 높은 노말펜테인이 네오펜테인보다 분자의 표면적이 크다.

■ **바로알기** ㄱ. 분자량이 같더라도 분자의 표면적에 따라 분산력의 크기가 달라지므로 끓는점이 다르게 나타난다.

04 ㄱ. (가)와 (나)는 분자량이 같지만 (가)의 경우 분자에 OH가 있어 수소 결합을 한다. 따라서 (가)는 (나)보다 끓는점이 높다.

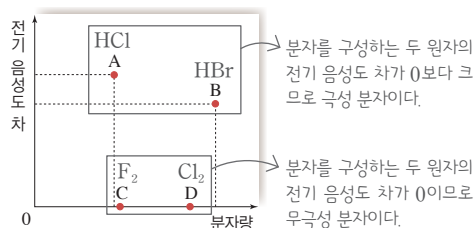
ㄴ. 분자량이 클수록 분산력이 크므로 분산력은 (다)가 (나)보다 크다.

■ **바로알기** ㄷ. (나)는 극성 물질이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지만, (라)는 무극성 물질이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지 않는다. 따라서 (라)의 끓는점이 (나)보다 높은 까닭은 (라)의 분산력이 매우 크기 때문이다.

05 ㄷ. I_2 의 끓는점이 CH_3Cl 보다 높은 까닭은 I_2 의 분자량이 매우 커서 분산력이 크기 때문이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 분자의 쌍극자 모멘트는 CH_3Cl 이 H_2O 이나 I_2 보다 크지만 끓는점은 H_2O 과 I_2 가 더 높다. 이는 H_2O 의 경우 수소 결합을 하며, I_2 의 경우 분자량이 크기 때문이다. 따라서 조건이 다른 경우 분자의 극성으로만 끓는점의 경향을 설명할 수 없다.
ㄴ. 분자 사이에 작용하는 힘이 가장 큰 것은 끓는점이 가장 높은 I_2 이다.

06 꼬꼬 문제 분석



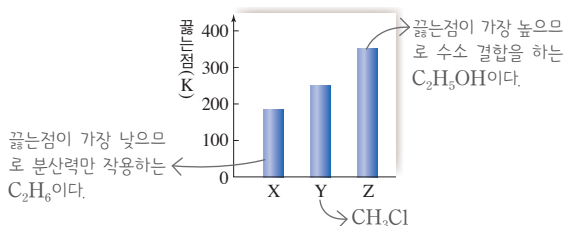
A와 B는 극성 분자이다. 전기 음성도 차는 A가 B보다 크고, 분자량은 B가 A보다 크므로 A는 HCl, B는 HBr이다.
C와 D는 무극성 분자이고, D의 분자량이 C보다 크므로 C는 F_2 , D는 Cl_2 이다.

ㄷ. D의 분자량이 C보다 크므로 분산력이 크게 작용하여 D의 끓는점이 C보다 높다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 쌍극자·쌍극자 힘은 극성 분자 사이에만 작용한다. 따라서 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하는 분자는 A와 B로 2가지이다.

ㄴ. A~D 중에서 분자 내 F, O, N 원자와 결합한 H 원자가 있는 분자가 없으므로 수소 결합을 하는 분자는 없다.

07 꼬꼬 문제 분석



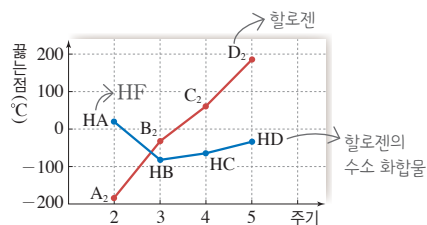
끓는점이 $Z > Y > X$ 순이므로 Z는 수소 결합을 하는 C_2H_5OH , Y는 극성 물질인 CH_3Cl , X는 무극성 물질인 C_2H_6 이다.

ㄱ. C_2H_6 은 무극성 물질이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지 않는다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. Z는 끓는점이 가장 높으므로 수소 결합을 하는 C_2H_5OH 이다.

ㄷ. 분산력은 극성 분자와 무극성 분자에서 모두 작용하므로 분자 사이에 분산력이 작용하는 물질은 3가지 모두이다.

08 꼬꼬 문제 분석



ㄱ. 분자량이 작은 HA가 분자량이 큰 HD보다 끓는점이 높은 까닭은 HA가 수소 결합을 하기 때문이다.

ㄴ. B_2 는 무극성 물질이고, HB는 극성 물질이다. B_2 의 끓는점이 HB보다 높은 까닭은 B_2 의 분자량이 HB보다 커서 분산력이 크기 때문이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. HC와 HD는 모두 극성 물질이다. HD의 끓는점이 HC보다 높은 까닭은 HD의 분자량이 HC보다 커서 분산력이 크기 때문이다.

02 액체와 고체

개념 확인 문제

57쪽

① 굵은 ② 수소 ③ 작 ④ 크 ⑤ 열용량 ⑥ 높 ⑦ 크
⑧ 표면 장력 ⑨ 모세관

1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ 2 (1) A (2) B (3) A (4) A
3 (1) ○ (2) × (3) ○ 4 (1) ㄱ (2) ㄹ (3) ㄷ

1 (1) 얼음은 수소 결합에 의해 육각형 모양의 빈 공간이 있는 구조를 형성하므로 같은 질량의 물에 비해 부피가 크다.

(2) 열용량은 물질의 온도를 $1^\circ C$ 높이는 데 필요한 열량으로, 열용량이 클수록 질량이 같은 다른 액체에 비해 가열할 때 온도가 서서히 높아진다.

(3) 물이 분자량이 비슷한 메테인보다 끓는점이 높은 까닭은 수소 결합을 하기 때문이다.

(4) 물은 수소 결합을 하므로 다른 물질에 비해 표면 장력이 크다.

(5) 물은 수소 결합에 의해 응집력이 매우 크고 유리관과의 부착력도 크므로 모세관 현상이 잘 일어난다.

2 결합 A는 물 분자 사이의 수소 결합이고, 결합 B는 물 분자를 이루는 수소 원자와 산소 원자 사이의 공유 결합이다.

- (1) 얼음이 녹아 물로 될 때 끊어지는 결합은 분자 사이의 결합인 수소 결합(A)이다.
- (2) 물이 수소와 산소로 분해될 때 끊어지는 결합은 분자 내 공유 결합(B)이다.
- (3) 물이 얼면서 부피가 증가하는 까닭은 수소 결합(A)에 의해 물 분자 사이에 빈 공간이 많은 육각형 구조가 형성되기 때문이다.
- (4) 물의 열용량과 표면 장력이 큰 까닭은 물 분자 사이의 수소 결합(A) 때문이다.

3 (1) A에서 B로 변할 때 온도가 높아짐에 따라 열팽창이 일어나 얼음의 부피가 증가하므로 밀도가 감소한다.

- (2) B에서 C로 변할 때 얼음이 물로 용해되면서 수소 결합이 일부 끊어져 수소 결합의 수가 감소하고, 이때 부피가 감소하므로 밀도가 급격히 증가한다.
- (3) 같은 질량의 물의 부피는 4 °C인 D에서가 가장 작으므로 밀도가 가장 크다.

- 4** (1) 겨울철에 호수의 물이 표면부터 어는 까닭은 얼음은 질량이 같은 물보다 밀도가 작아 물 위에 뜨고, 4 °C 물의 밀도가 가장 크므로 물속에서 더 이상 대류가 일어나지 않기 때문이다.
- (2) 식물의 뿌리에서 흡수된 물이 잎까지 올라갈 수 있는 까닭은 물의 모세관 현상이 잘 일어나기 때문이다.
 - (3) 소금쟁이가 물 위에 떠 있을 수 있는 까닭은 물의 표면 장력이 크기 때문이다.

개념 확인 문제

60 쪽

- ① 증기 압력(증기압) ② 크다 ③ 끓음 ④ 높 ⑤ 기준 끓는점 ⑥ 크 ⑦ 낮

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × 2 (1) (가)=(나)=(다)
(2) (다)>(나)>(가) (3) (다) 3 (1) (가) 24 mmHg
(나) 72 mmHg (2) 물>에탄올 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×

- 1** (1) 증기 압력은 액체와 증기가 동적 평형을 이룰 때 증기가 나타내는 압력이다.
- (2) 같은 온도에서 분자 간 힘이 작은 액체일수록 증발이 잘 일어나므로 증기 압력이 크다.
 - (3) 같은 온도에서 액체의 종류가 같으면 액체의 양에 관계없이 증기 압력이 같다.

- (4) 기준 끓는점에서 모든 액체의 증기 압력은 대기압인 1기압이다.
- (5) 외부 압력이 높을수록 액체는 더 큰 증기 압력을 가져야 끓을 수 있으므로 끓는점이 높다.

2 (1) (가)~(다)에서 증발하는 입자 수가 일정하므로 액체의 증발 속도는 (가)=(나)=(다)이다.

- (2) (가)~(다)에서 기체 입자 수가 증가할수록 응축되는 입자 수도 증가하므로 기체의 응축 속도는 (다)>(나)>(가)이다.
- (3) 동적 평형에서는 증발 속도와 응축 속도가 같다. 따라서 증발하는 입자 수와 응축하는 입자 수가 같은 (다)가 동적 평형에 도달한 상태이다.

3 (1) 각 액체의 증기 압력은 수은 기둥의 높이 차와 같으므로 물의 증기 압력은 24 mmHg이고, 에탄올의 증기 압력은 72 mmHg이다.

- (2) 같은 온도에서 증기 압력이 작을수록 끓는점이 높으므로 끓는점은 물이 에탄올보다 높다.

4 (1) 20 °C에서 증기 압력은 A>B>C로, A가 가장 크다.

- (2) 증기 압력이 760 mmHg일 때의 온도는 C>B>A이므로 기준 끓는점은 C가 가장 높다.
- (3) 분자 간 힘이 큰 액체일수록 증발하기 어려워 증기 압력이 작다. 같은 온도에서 증기 압력은 A>B>C이므로 분자 간 힘의 크기는 C>B>A이다.

개념 확인 문제

64 쪽

- ① 결정성 ② 비결정성 ③ 이온 ④ 분자 ⑤ 공유 ⑥ 금속
⑦ 단순 입방 ⑧ $\frac{1}{8}$ ⑨ 1 ⑩ 체심 입방 ⑪ $\frac{1}{8}$ ⑫ 1
⑬ 2 ⑭ 면심 입방 ⑮ $\frac{1}{8}$ ⑯ $\frac{1}{2}$ ⑰ 4

- 1 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ 2 (1) 이온 결정 (2) 분자 결정 (3) 금속 결정 (4) 공유(원자) 결정 3 (1) (다) (2) (나) (3) (가)
4 (1) 체심 입방 구조 (2) 2

- 1** (1) 결정성 고체는 구성 입자들이 규칙적인 배열을 이루고 있는 고체이고, 비결정성 고체는 구성 입자들이 불규칙적으로 배열되어 있는 고체로 결정성 고체와 비결정성 고체는 구성 입자 배열의 규칙성 여부로 구분한다.
- (2) 이온 결정은 단단하지만, 외부 충격을 가하면 이온 층이 밀리면서 같은 전하를 띠는 이온끼리 만나 반발력이 생기므로 쉽게 부서진다.

(3) 분자 결정은 공유 결합을 하므로 분자를 구성하는 원자 간 결합력은 강하지만, 분자 간 결합력은 상대적으로 약하다. 따라서 녹는점이 낮다.

(4) 공유 결정은 원자들이 직접 공유 결합하여 형성되므로 다른 결정에 비해 구성 입자 간 결합력이 매우 강하다.

(5) 금속 결정은 자유 전자를 가지므로 외부에서 힘을 가해도 자유 전자가 이동하여 결합이 유지된다.

2 (1) MgO 결정은 Mg^{2+} 과 O^{2-} 이 이온 결합을 하여 규칙적으로 배열된 이온 결정이다.

(2) I_2 결정은 I_2 분자들이 분자 간 힘에 의해 규칙적으로 배열된 분자 결정이다.

(3) Cu 결정은 Cu 원자들이 금속 결합을 하여 규칙적으로 배열된 금속 결정이다.

(4) C(흑연) 결정은 C 원자들이 공유 결합을 하여 그물처럼 연결된 공유(원자) 결정이다.

3 (가)는 CO_2 분자가 규칙적으로 배열되어 이루어진 결정이므로 분자 결정이다. (나)는 Si 원자와 O 원자가 규칙적으로 결합하여 연결된 결정이므로 공유 결정이다. (다)는 Na^+ 과 Cl^- 이 결합하여 규칙적으로 배열된 결정이므로 이온 결정이다.

(1) 액체 및 수용액 상태에서 전기 전도성이 있는 결정은 이온 결정이므로 (다)이다.

(2) 원자들이 연속적으로 공유 결합을 하여 이루어진 결정은 공유 결정이므로 (나)이다.

(3) 입자 간 결합력이 약해 녹는점과 끓는점이 낮은 결정은 분자 결정이므로 (가)이다.

4 (1) 정육면체의 각 꼭짓점과 정육면체의 중심에 입자가 1개씩 자리 잡은 구조이므로 체심 입방 구조이다.

(2) 단위 세포 안에는 정육면체의 8개 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 있고, 정육면체의 중심에 입자 1개가 있으므로 단위 세포 안에 포함된 Cr 원자 수는 $2\left(\frac{1}{8} \times 8 + 1\right)$ 이다.

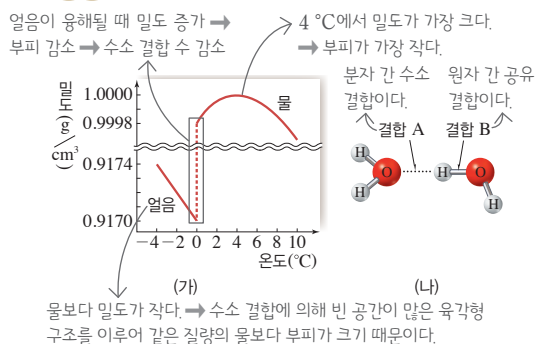
대표 자료 분석

65쪽

자료 1 1 감소 2 A: 수소 결합, B: 공유 결합, 결합력: B > A
3 (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

자료 2 1 (가) 분자 결정 (나) 이온 결정 (다) 금속 결정 2 (가) 면심 입방 구조 (나) 면심 입방 구조 (다) 체심 입방 구조
3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



0°C 얼음이 0°C 물로 용해될 때 수소 결합의 일부가 끊어져 빈 공간을 채우므로 부피가 감소한다.

1-2 (나)에서 결합 A는 물 분자 사이의 수소 결합이고, 결합 B는 물 분자 내의 수소 원자와 산소 원자 사이의 공유 결합이다. 수소 결합과 같은 분자 간 힘은 공유 결합과 같은 화학 결합에 비해 결합력이 매우 약하다.

1-3 (1) 얼음은 물 분자가 수소 결합에 의해 빈 공간이 많은 육각형 구조를 이루므로 같은 질량의 물보다 부피가 크다.

(2) -4°C에서 0°C가 될 때 얼음의 부피가 증가한다. 이는 온도가 높아짐에 따라 얼음의 열팽창이 이루어지기 때문이다.

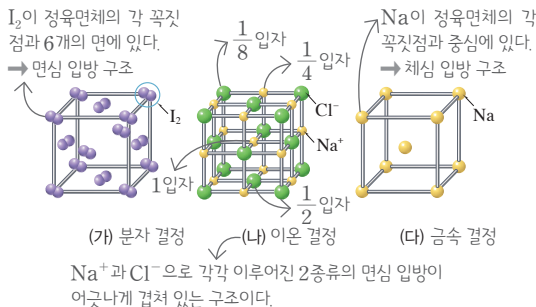
(3) 0°C 얼음이 0°C 물로 용해될 때 수소 결합(결합 A) 수가 감소하여 부피가 감소하므로 밀도가 증가한다. 상태가 변할 때 공유 결합(결합 B) 수는 변하지 않는다.

(4) 물의 밀도는 4°C에서 가장 크므로 같은 질량의 물의 부피는 4°C에서 가장 작다. 즉, 4°C에서 물 분자 간 평균 거리가 가장 가깝다.

(5) 물이 대부분의 액체와 다른 특성을 나타내는 것은 수소 결합(결합 A) 때문이다.

(6) 얼음은 물보다 밀도가 작아 물 위에 뜨고, 물의 밀도는 4°C에서 가장 크므로 추운 겨울철 호수의 물은 표면부터 얼게 된다. 따라서 (가)로 호수의 물이 표면부터 어는 현상을 설명할 수 있다.

2-1 꼼꼼 문제 분석



(가)는 I_2 분자들이 분자 간 힘에 의해 규칙적으로 배열된 분자 결정이다. (나)는 Na^+ 과 Cl^- 이 결합하여 규칙적으로 배열된 결정이므로 이온 결정이다. (다)는 Na 원자들이 금속 결합을 하여 규칙적으로 배열된 금속 결정이다.

②-2 (가)에서 I_2 는 정육면체의 각 꼭짓점과 6개의 면에 자리 잡고 있으므로 면심 입방 구조를 이루고 있다. (나)의 NaCl 결정은 Cl^- 과 Na^+ 으로 각각 이루어진 2종류의 면심 입방이 어긋나게 겹쳐 있는 구조이다. 따라서 (나)에서 Na^+ 은 면심 입방 구조를 이루고 있다. (다)에서 Na 원자는 정육면체의 각 꼭짓점과 정육면체의 중심에 자리 잡고 있으므로 체심 입방 구조를 이루고 있다.

②-3 (1) 분자 간 힘은 화학 결합에 비해 결합력이 매우 약하다. (가)는 분자 간 힘에 의해 결정을 이루고, (나)는 이온 결합으로 결정을 이루며, (다)는 금속 결합으로 결정을 이루므로 결정의 구성 입자 간 결합력이 가장 작은 것은 (가)이다.

(2) 액체 상태에서 전기 전도성이 있는 물질은 이온 결정인 (나)와 금속 결정인 (다)이다.

(3) (나)에서 Cl^- 은 면심 입방 구조이다. NaCl 결정은 2종류의 면심 입방이 어긋나게 겹쳐 있는 구조이다.

(4) (나)에서 단위 세포 안에 Na^+ 은 $\frac{1}{4}$ 입자가 정육면체의 12개 모서리에 있고, 1입자가 정육면체의 중심에 있다. 따라서 단위 세포 안에 포함된 Na^+ 의 수는 $4\left(=\frac{1}{4} \times 12 + 1\right)$ 이다.

(5) (나)에서 단위 세포 안에 Cl^- 은 $\frac{1}{8}$ 입자가 정육면체의 8개 꼭짓점에 있고, $\frac{1}{2}$ 입자가 정육면체의 6개 면에 있다. 따라서 단위 세포 안에 포함된 Cl^- 의 수는 $4\left(=\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6\right)$ 이다. (나)에서 단위 세포 안에 포함된 Na^+ 의 수는 4이고, Cl^- 의 수도 4이다.

(다)에서 단위 세포 안에 Na 원자는 $\frac{1}{8}$ 입자가 정육면체의 8개 꼭짓점에 있고, 1입자가 정육면체의 중심에 있다. 따라서 단위 세포 안에 포함된 Na 원자 수는 $2\left(=\frac{1}{8} \times 8 + 1\right)$ 이다. 단위 세포 안에 포함된 입자 수는 (나)가 8, (다)가 2이므로 (나)가 (다)의 4배이다.

내신 만점 문제

66쪽~69쪽

- | | | | | |
|----------|------|---------------|----------|------|
| 01 ① | 02 ⑤ | 03 ④ | 04 해설 참조 | 05 ④ |
| 06 해설 참조 | 07 ② | 08 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ | 09 ③ | |
| 10 ④ | 11 ④ | 12 ③ | 13 ② | 14 ① |
| 15 ① | 16 ⑤ | 17 ③ | 18 ② | |

01 결합 A는 물 분자 사이의 수소 결합이고, 결합 B는 물 분자 내의 산소 원자와 수소 원자 사이의 공유 결합이다.

ㄱ. 결합력은 원자 사이의 공유 결합(B)이 분자 사이의 수소 결합(A)보다 강하다.

|| **바로알기** || ㄴ. 얼음이 녹을 때 수소 결합 수가 감소하여 분자 사이의 빈 공간이 채워지므로 부피가 감소한다.

ㄷ. 물이 다른 액체보다 표면 장력이 큰 것은 수소 결합을 하여 분자 사이에 작용하는 힘이 크기 때문이다.

02 ㄱ. 호수의 표면이 언 것은 얼음이 물보다 밀도가 작아 물 위에 뜨고, 4°C 물의 밀도가 가장 크므로 물속에서 더 이상 대류가 일어나지 않기 때문이다.

ㄴ. 같은 질량의 부피는 0°C 얼음이 2°C 물보다 크므로 분자 사이의 평균 거리는 A가 B보다 멀다.

ㄷ. 물 1분자당 평균 수소 결합 수는 얼음이 물보다 크므로 A가 C보다 크다.

03 ① 0°C(A 구간)에서 물은 고체 상태와 액체 상태 사이에 상태 변화가 일어나므로 부피 변화가 크다.

② 일정한 질량의 물은 4°C일 때 부피가 가장 작으므로 밀도는 가장 크다.

③ 0°C에서 얼음이 물로 상태가 변할 때 수소 결합 수가 감소하므로 부피가 감소하고, 물이 얼음으로 상태가 변할 때 수소 결합 수가 증가하므로 부피가 증가한다.

⑤ 얼음은 온도가 높아질수록 열팽창이 일어나 분자 사이의 빈 공간이 커진다.

|| **바로알기** || ④ 4°C에서 물의 부피가 가장 작으므로 물 분자 사이의 평균 거리는 가장 가깝다.

04 **모범답안** 물은 분자 사이에 수소 결합을 하여 질량이 비슷한 다른 액체에 비해 열용량이 크므로 쉽게 가열되거나 냉각되지 않는다. 지구 표면은 약 70%가 바다로 이루어져 있으므로 열용량이 큰 바닷물이 지구 전체의 온도를 일정하게 유지하는 데 기여한다.

채점 기준	배점
지구 전체의 평균 온도가 일정한 까닭을 물의 열용량과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
물의 열용량이 크기 때문이라고만 서술한 경우	30 %

05 ㄱ. 수소 결합을 하는 물질은 암모니아와 물이다.

ㄷ. 물은 분자 사이에 수소 결합이 작용하므로 분자 사이에 분산력만 작용하는 메테인보다 끓는점이 높다.

|| **바로알기** || ㄴ. 물은 암모니아보다 녹는점과 끓는점이 높으므로 분자 사이에 작용하는 힘이 더 크다.

06 표면 장력이 클수록 액체 방울이 더 둥근 모양이다. 따라서 표면 장력은 수은>물>에탄올이다.

모범답안 액체의 종류에 따라 표면 장력이 다르고, 표면 장력이 클수록 액체 방울이 더 둥근 모양이 되기 때문이다.

채점 기준	배점
표면 장력의 크기를 언급하여 옳게 서술한 경우	100 %
표면 장력의 크기는 언급하지 않고 액체의 종류에 따라 표면 장력이 다르기 때문이라고만 서술한 경우	30 %

07 모세관 현상은 액체가 가는 관이나 미세한 틈을 따라 올라가는 현상이다.

ㄷ. 물이 유리관 속에서 위로 올라가는 까닭은 물과 유리 사이에는 부착력이 작용하고, 물 분자 사이에는 응집력이 작용하기 때문이다.

▮바로알기▮ ㄱ. 굵기가 더 가는 유리관을 사용하면 물과 유리관 사이의 부착력이 더 크게 작용하므로 h 가 증가한다.

ㄴ. 수은은 부착력에 비해 응집력이 훨씬 크기 때문에 모세관 현상이 잘 나타나지 않는다. 따라서 물 대신 수은을 사용하면 유리관 속 수은의 액면이 아래로 내려가므로 h 가 감소한다.

08 물이 얼음보다 밀도가 크고, 다른 액체에 비해 열용량과 표면 장력이 크며, 모세관 현상이 잘 일어나는 것은 모두 물 분자의 수소 결합으로 인해 나타나는 현상이다.

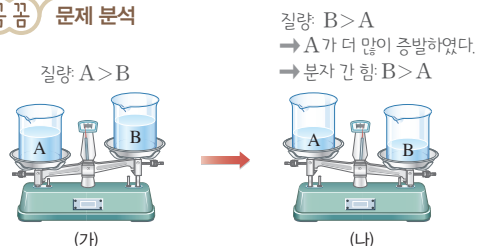
ㄱ. 얼음이 물 위에 뜨는 까닭은 얼음의 밀도가 물보다 작기 때문이다.

ㄴ. 풀잎에 맺힌 이슬 방울의 모양이 둥근 까닭은 물의 표면 장력이 크기 때문이다.

ㄷ. 내륙 지방의 일교차가 해안 지방보다 큰 까닭은 해안 지방의 경우 물의 열용량이 크기 때문이다.

ㄹ. 식물의 뿌리에서 흡수된 물이 잎까지 올라가는 까닭은 물의 모세관 현상 때문이다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

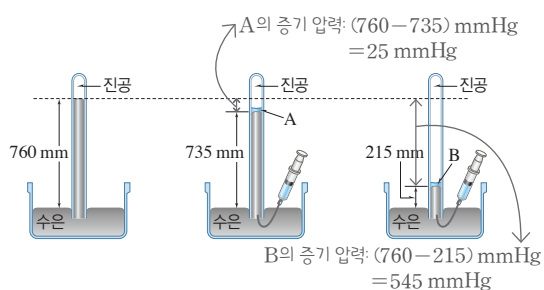


ㄱ, ㄴ. 일정한 시간이 흐른 (나)에서 A의 증발이 많이 일어났으므로 액체의 분자 간 힘은 A가 B보다 작다. 분자 간 힘이 작을수록 끓는점이 높으므로 끓는점은 B가 A보다 높다.

▮바로알기▮ ㄷ. 끓는점에서의 증기 압력은 대기압과 같으므로 A와 B가 같다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

액체의 증기 압력은 대기압과 수은 기둥의 높이 차에 해당하는 압력이다.

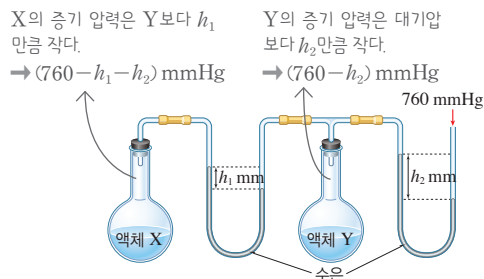


ㄴ. 액체 B를 넣은 유리관의 수은 기둥이 액체 A를 넣은 유리관의 수은 기둥보다 더 낮아졌으므로 액체의 증기 압력은 B가 A보다 크다. 따라서 분자 간 힘은 액체 A가 B보다 크다.

ㄷ. 액체의 증기 압력은 온도가 높을수록 증가한다. 25°C 에서 액체 B의 증기 압력은 $(760 - 215) \text{ mmHg} = 545 \text{ mmHg}$ 이므로 50°C 에서의 증기 압력은 545 mmHg 보다 크다.

▮바로알기▮ ㄱ. 액체 A의 증기 압력은 $(760 - 735) \text{ mmHg} = 25 \text{ mmHg}$ 이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

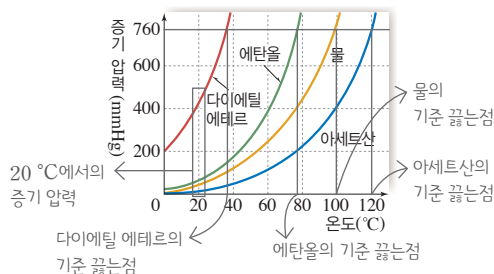


ㄱ. 증기 압력은 Y가 X보다 크므로 분자 간 힘은 X가 Y보다 크다.

ㄷ. 25°C 에서 Y의 증기 압력은 대기압에서 수은 기둥의 높이 차에 해당하는 압력을 뺀 $(760 - h_2) \text{ mmHg}$ 이고, X의 증기 압력은 Y의 증기 압력에서 h_1 을 뺀 $(760 - h_2 - h_1) \text{ mmHg}$ 이다.

▮바로알기▮ ㄴ. 증발 속도는 증기 압력이 큰 Y가 X보다 빠르다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 20 °C에서 증기 압력은 다이에틸 에테르>에탄올>물>아세트산이다.

ㄴ. 기준 끓는점은 외부 압력이 1기압, 즉 760 mmHg일 때의 끓는점이므로 기준 끓는점이 가장 높은 액체는 아세트산이다.

▶ **바로알기** ▶ ㄴ. 같은 온도에서 증기 압력은 에탄올이 물보다 크므로 분자 간 힘은 에탄올이 물보다 작다.

13 (가)의 석영과 (다)의 얼음은 결정성 고체이고, (나)의 유리는 비결정성 고체이다.

ㄴ. 녹는점이 일정한 고체는 결정성 고체인 (가)와 (다)이다.

▶ **바로알기** ▶ ㄱ. (가)와 (나)의 화학식은 같지만, (가)는 결정성 고체이므로 녹는점이 일정하고 (나)는 비결정성 고체이므로 녹는점이 일정하지 않다. 즉, (가)와 (나)의 녹는점은 같지 않다.

ㄴ. (가)는 공유 결정이고, (다)는 분자 결정이며, (나)는 비결정성 고체이다.

14 공유 결합 물질이면서 녹는점이 매우 높은 A는 공유 결정이고, 공유 결합 물질이지만 녹는점이 비교적 낮은 B는 분자 결정이다. 한편, 공유 결합 물질이 아닌 C는 이온 결정이나 금속 결정 중 하나이다.

ㄱ. 흑연과 다이아몬드는 공유 결정인 A에 해당된다.

▶ **바로알기** ▶ ㄴ. 공유 결정인 A를 구성하는 입자는 원자이고, 분자 결정인 B를 구성하는 입자는 분자이다.

ㄴ. C는 이온 결정과 금속 결정이 모두 해당된다. 이온 결정과 금속 결정은 녹는점이 높다.

15 (가)는 Na^+ 과 Cl^- 의 이온 결합으로 형성된 이온 결정이고, (나)는 C 원자의 공유 결합으로 형성된 공유(원자) 결정이며, (다)는 금속 양이온과 자유 전자로 이루어진 금속 결정이다.

ㄱ. (가)는 액체 상태 및 수용액 상태에서 전기 전도성이 있다.

▶ **바로알기** ▶ ㄴ. (나)는 원자들이 공유 결합으로 매우 강하게 결합하고 있으므로 1기압에서 승화성이 없다.

ㄴ. (가)에서 (-)전하를 띠는 입자는 음이온이고, (다)에서 (-)전하를 띠는 입자는 자유 전자이다.

16 A는 고체 상태와 액체 상태에서 모두 전기 전도성이 있고 은백색이므로 금속 결정이다.

B는 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만, 액체 상태에서는 전기 전도성이 있으므로 이온 결정이다.

C는 고체 상태와 액체 상태에서 모두 전기 전도성이 없고, 녹는점이 비교적 낮으므로 분자 결정이다.

ㄱ. 금속 결정인 A는 자유 전자에 의해 열전도성과 전기 전도성이 나타난다.

ㄴ. 이온 결정인 B는 외부에서 힘을 가할 때 이온 층이 밀리면서 같은 전하를 띠는 이온끼리 만나 반발하므로 부서지기 쉽다.

ㄴ. 분자 결정인 C는 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘, 수소 결합과 같은 분자 간 힘에 의해 규칙적으로 배열된 결정 구조를 이룬다.

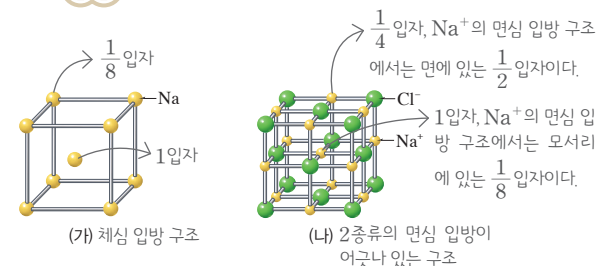
17 단위 세포에 포함된 입자 수를 계산할 때 정육면체의 꼭짓점에 있는 입자는 $\frac{1}{8}$ 입자, 모서리에 있는 입자는 $\frac{1}{4}$ 입자, 면에 있는 입자는 $\frac{1}{2}$ 입자, 중심에 있는 입자는 1입자로 계산한다.

ㄱ. (가)는 정육면체의 8개 꼭짓점에 입자가 1개씩 자리 잡은 단순 입방 구조이다.

ㄴ. (나)는 정육면체의 8개 꼭짓점에 입자가 1개씩, 정육면체의 중심에 입자 1개가 자리 잡은 체심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 입자 수는 $2\left(=\frac{1}{8} \times 8 + 1\right)$ 이다.

▶ **바로알기** ▶ ㄴ. (가)는 단순 입방 구조이고, (다)는 면심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 입자 수는 (가)가 $1\left(=\frac{1}{8} \times 8\right)$, (다)가 $4\left(=\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6\right)$ 이다. 따라서 단위 세포에 포함된 입자 수는 (다)가 (가)의 4배이다.

18 **문제 분석**



ㄴ. (가)는 정육면체의 8개 꼭짓점에 입자가 1개씩, 정육면체의 중심에 입자 1개가 자리 잡은 체심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 Na 원자 수는 $2\left(=\frac{1}{8} \times 8 + 1\right)$ 이다.

(나)에서 Na^+ 은 정육면체의 12개 모서리의 중심에 1개씩, 정육면체의 중심에 1개가 자리 잡았으므로 단위 세포에 포함된 Na^+ 수는 $4\left(=\frac{1}{4} \times 12 + 1\right)$ 이다.

따라서 (가)와 (나)에서 단위 세포에 포함된 Na 원자와 Na^+ 의 개수비는 $\text{Na} : \text{Na}^+ = 2 : 4 = 1 : 2$ 이다.

▶ **바로알기** ▶ ㄱ. (가)는 정육면체의 8개 꼭짓점에 입자가 1개씩, 정육면체의 중심에 입자 1개가 자리 잡은 체심 입방 구조이다.

ㄴ. (나)에서 Na^+ 과 가장 인접한 Cl^- 은 위, 아래, 좌, 우, 앞, 뒤에 1개씩 있으므로 총 6개이다.

- ① 크 ② 높 ③ 크 ④ 높 ⑤ H ⑥ 높 ⑦ 크
 ⑧ 크 ⑨ 크 ⑩ 기준 끓는점 ⑪ 높 ⑫ 작은 ⑬ 일정
 ⑭ 분자 ⑮ 원자 ⑯ 이온 결합 ⑰ 금속 결합 ⑱ 낮음
 ⑲ 단순 ⑳ 체심 ㉑ 면심

중단원 마무리 문제

71쪽~74쪽

- 01 ② 02 ③ 03 ② 04 ① 05 ③ 06 ⑤
 07 ㄱ, ㄷ 08 ④ 09 ① 10 ④ 11 ② 12 ③
 13 ④ 14 ④ 15 해설 참조 16 해설 참조

01 **문제 분석**

산소는 질소보다 분자량이 더 크므로 분산력이 커서 끓는점이 더 높다.

물질	구조식	분자량	끓는점(°C)
질소	$N \equiv N$ 무극성($\mu=0$)	28	-196
산소	$O=O$ 무극성($\mu=0$)	32	-183
사이안화 수소	$H-C \equiv N$ 극성($\mu \neq 0$)	27	25.6
프로페인	$H_3C-CH_2-CH_3$ 무극성($\mu=0$)	44	-42

사이안화 수소는 극성 물질이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하여 무극성 물질인 프로페인보다 끓는점이 더 높다.

ㄷ. 프로페인과 산소는 모두 무극성 물질이고, 프로페인은 산소보다 분자량이 더 크므로 분산력이 커서 끓는점이 더 높다.

바로알기 ㄱ. 산소와 질소는 모두 무극성 물질이고, 산소는 질소보다 분자량이 더 크므로 분산력이 커서 끓는점이 더 높다.

ㄴ. 사이안화 수소는 분자 내에 전기 음성도가 큰 N 원자가 있지만, H 원자가 N 원자에 결합되어 있지 않아 이웃한 분자와 수소 결합을 형성하지 않는다. 사이안화 수소의 끓는점이 프로페인보다 높은 것은 극성 물질인 사이안화 수소는 무극성 물질인 프로페인과 달리 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하기 때문이다.

02 ㄱ. 분자량이 가장 큰 HD(HI)가 분산력이 가장 크다.

ㄴ. HA(HF)는 다른 17족 원소의 수소 화합물보다 분자량이 작지만 끓는점이 높으므로 수소 결합을 하는 물질이다.

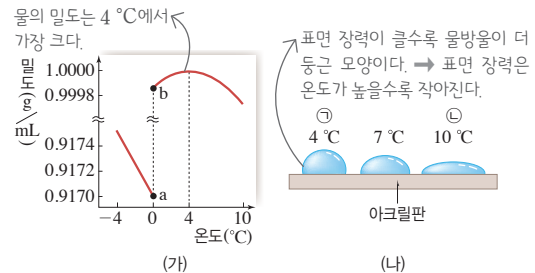
바로알기 ㄷ. 같은 족 원소는 주기가 커질수록 전기 음성도가 작아지므로 17족 원소의 수소 화합물인 HC(HBr)는 HB(HCl)보다 쌍극자 모멘트가 작다. HC가 HB보다 끓는점이 높은 까닭은 분자량이 커서 분산력이 더 크기 때문이다.

03 ㄴ. 모든 물질에는 분산력이 존재하므로 3가지 모두 해당된다.

바로알기 ㄱ. (가)와 (나)는 분자량이 같지만, 극성 물질인 (가)는 무극성 물질인 (나)와 달리 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하므로 (가)의 끓는점이 (나)보다 높다. 즉, ㉠은 21보다 작다.

ㄷ. 분자 사이에 수소 결합을 하는 물질은 (다)이다. (가)는 분자 내에 전기 음성도가 큰 O 원자가 있지만, H 원자가 O 원자에 결합되어 있지 않다. 따라서 이웃한 분자와 수소 결합을 형성하지 않는다.

04 **문제 분석**



ㄱ. (가)에서 얼음인 a가 물인 b보다 밀도가 작으므로 물은 같은 질량의 얼음보다 부피가 작다. 이는 얼음이 녹을 때 수소 결합이 끊어져 분자 사이의 빈 공간이 채워지기 때문이다. 따라서 평균 수소 결합 수는 a에서가 b에서보다 크다.

바로알기 ㄴ. 물의 밀도는 4 °C일 때가 10 °C일 때보다 크므로 물의 부피가 같으면 질량은 4 °C일 때가 10 °C일 때보다 크다. (나)에서 물방울의 부피가 같으므로 물방울의 질량은 ㉠이 ㉡보다 크다.

ㄷ. (나)에서 온도가 높을수록 물방울의 모양이 넓게 퍼지므로 표면 장력은 온도가 높을수록 작다는 것을 알 수 있다.

05 ㄱ. (가)의 A는 유리관 안쪽 액체 면이 위로 볼록한 모양이므로 A 입자 사이의 응집력이 유리관과의 부착력보다 크다.

(나)의 물은 유리관 안쪽 수면이 아래로 볼록한 모양이므로 물 분자 사이의 응집력보다 유리관과의 부착력이 더 크다.

ㄷ. (나)에서 더 가는 유리관을 사용하면 부착력이 크게 작용하여 물이 더 위로 올라가게 된다. 따라서 a가 증가한다.

바로알기 ㄴ. (나)에 같은 온도의 에탄올을 넣어 주면 에탄올의 표면 장력이 물보다 작으므로 a가 감소한다.

06 감압 용기에 90 °C의 물을 넣어 압력을 낮추었을 때 물이 끓는 까닭은 외부 압력이 낮아져 물의 증기 압력과 같아졌기 때문이다.

ㄱ. I은 열린 용기이므로 증발하는 물 분자 수가 응축하는 물 분자 수보다 크다. 따라서 물의 증발 속도는 응축 속도보다 빠르다.

ㄴ. 증기 압력은 온도에 따라 달라지는데, I과 II에서 물의 온도가 같으므로 물의 증기 압력은 I과 II에서 같다.

ㄷ. 높은 산 위는 대기압이 1기압보다 낮으므로 물이 100 °C보다 낮은 온도에서 끓는다. 이 현상과 실험의 결과는 모두 외부 압력이 낮아져 물의 끓는점이 낮아지기 때문에 나타나는 현상이다.

07 ㄱ. 20 °C에서 증기 압력이 가장 큰 액체는 A이므로 A가 증발이 가장 잘된다.

ㄷ. 분자 간 힘이 가장 큰 액체는 일정한 온도에서 증기 압력이 가장 작은 액체이므로 C이다.

바로알기 ㄴ. 기준 끓는점에서 증기 압력은 모두 대기압 (760 mmHg)과 같다.

08 ㄴ. 액체의 증기 압력이 클수록 끓는점이 낮으므로 h 는 B가 가장 크다.

ㄷ. A와 C의 끓는점이 78 °C이므로 78 °C에서 A와 C의 증기 압력은 대기압과 같다. 따라서 h_A 와 h_C 는 같다.

바로알기 ㄱ. 분자량이 작은 A가 분자량이 큰 B보다 끓는점이 높은 것은 A가 수소 결합을 하기 때문이다.

09 (가)는 공유 결정인 다이아몬드, (나)는 공유 결정인 흑연, (다)는 분자 결정인 얼음의 구조이다.

ㄱ. 다이아몬드와 흑연은 원자들이 공유 결합을 하여 연속적으로 연결되어 있고, 얼음은 분자 내 원자 사이에 공유 결합을 하고 있다.

바로알기 ㄴ. 공유 결정은 원자 사이에 공유 결합을 하여 결정을 구성하지만, 분자 결정은 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합이 작용하여 결정을 구성한다.

ㄷ. 공유 결정과 분자 결정은 고체 상태에서 전기 전도성이 없지만, 흑연은 예외로 고체 상태에서 전기 전도성이 있다.

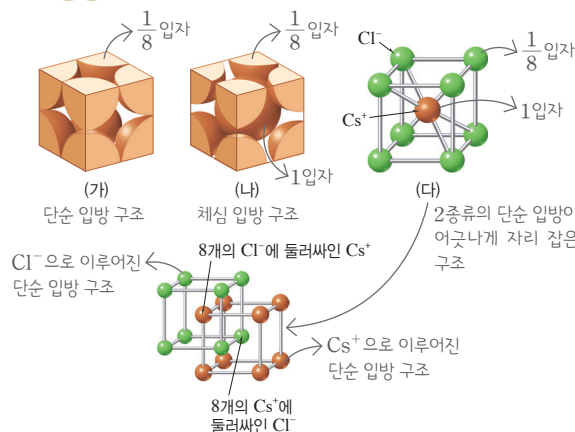
10 아이오딘은 분자 결정이므로 A이고, 염화 나트륨은 이온 결정이므로 C이며, 석영은 공유 결정이므로 B이다.

ㄱ. 분자 결정인 A(아이오딘)는 다른 결정에 비해 입자 간 결합력이 약해 승화성이 있다.

ㄷ. 이온 결정인 C(염화 나트륨)는 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만, 액체 상태에서는 이온들이 자유롭게 이동할 수 있으므로 전기 전도성이 있다.

바로알기 ㄴ. B(석영)는 공유 결정이므로 분자 결정인 A에 비해 녹는점이 매우 높다.

11 **꼭꼭** 문제 분석

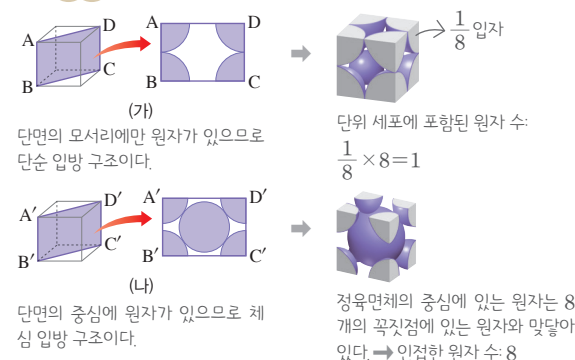


ㄷ. (다)의 단위 세포에서 Cs^+ 은 정육면체의 중심에 1개가 있고, Cl^- 은 정육면체의 8개 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 있으므로 총 $1(= \frac{1}{8} \times 8)$ 개가 있다.

바로알기 ㄱ. (나)는 체심 입방 구조이고, (다)는 Cs^+ 과 Cl^- 으로 각각 이루어진 2종류의 단순 입방이 어긋나게 자리 잡은 구조이므로 서로 다른 구조이다.

ㄴ. (가)의 단위 세포에는 정육면체의 8개 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 있으므로 포함된 입자 수는 $1(= \frac{1}{8} \times 8)$ 이다.

12 **꼭꼭** 문제 분석

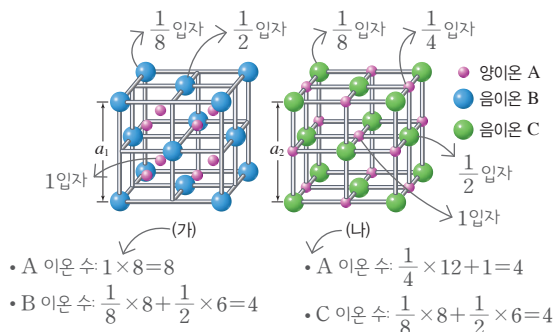


ㄱ. (가)는 단면의 모서리에만 원자가 있으므로 단순 입방 구조이고, (나)는 단면의 중심에 원자가 있으므로 체심 입방 구조이다.

ㄷ. (나)는 체심 입방 구조이므로, 정육면체의 중심에 있는 원자를 기준으로 하면 기준 원자는 8개의 꼭짓점에 있는 원자와 맞닿아 있다. 즉, 결정에서 한 원자에 가장 인접한 원자 수는 8이다.

바로알기 ㄴ. (가)는 단순 입방 구조로, 단위 세포에서 정육면체의 8개 꼭짓점에 원자가 1개씩 있으므로 단위 세포에 포함된 원자 수는 $1(= \frac{1}{8} \times 8)$ 이다.

13 **꼭꼭** 문제 분석



ㄴ. (나)는 A의 면심 입방과 C의 면심 입방이 어긋나게 자리 잡은 구조이다.

ㄷ. (가)의 단위 세포에서 A 이온은 정육면체 내부에 8개가 있으므로 입자 수는 $8(=1 \times 8)$ 이고, B 이온은 정육면체의 8개 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 있고, 6개 면에 $\frac{1}{2}$ 입자가 있으므로 입자 수는 $4(=\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6)$ 이다.

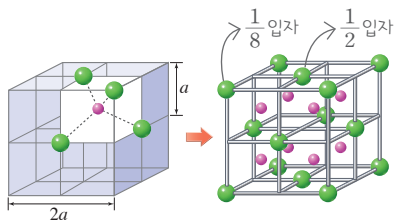
(나)의 단위 세포에서 A 이온은 정육면체의 12개 모서리에 $\frac{1}{4}$ 입자가 있고, 정육면체의 중심에 1입자가 있으므로 입자 수는 $4(=\frac{1}{4} \times 12 + 1)$ 이고, C 이온은 정육면체의 8개 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 있고, 정육면체의 6개 면에 $\frac{1}{2}$ 입자가 있으므로 입자 수는 $4(=\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6)$ 이다.

(가)에서 A와 B는 $8 : 4 = 2 : 1$ 로 결합하고, (나)에서 A와 C는 $4 : 4 = 1 : 1$ 로 결합하므로 B의 전하량은 C의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 이온 결합 물질의 화학식은 양이온과 음이온의 원소 기호 뒤에 이온의 개수비를 가장 간단한 정수비로 나타낸다. (가)에서 A와 B는 $2 : 1$ 로 결합하므로 (가)의 화학식은 A_2B 이고, (나)에서 A와 C는 $1 : 1$ 로 결합하므로 (나)의 화학식은 AC 이다.

14 **꼭꼭** 문제 분석

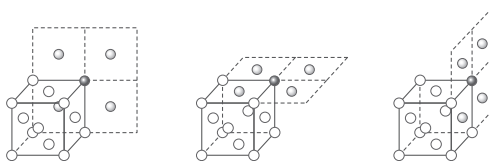
단위 세포에 포함된 A 양이온과 B 음이온을 모두 나타내면 다음과 같다.



ㄴ. A 양이온은 면심 입방 구조이므로 정육면체의 8개 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 있고, 6개 면에 $\frac{1}{2}$ 입자가 있으므로 입자 수는 $4(=\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6)$ 이다. B 음이온은 한 변의 길이가 a 인 8개의 정육면체 중심에 각각 위치하므로 입자 수가 8이다. 따라서 단위 세포에 포함된 이온 수는 12이다.

ㄷ. 단위 세포에 포함된 A 양이온 수는 4이고, B 음이온 수는 8이므로 이 화합물의 화학식은 AB_2 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A 양이온은 면심 입방 구조이므로 정육면체의 한 꼭짓점에 있는 A 양이온을 기준으로 할 때, 기준 이온에 가장 인접한 양이온은 상, 하, 좌, 우, 앞, 뒤의 12개 면에 있는 양이온이다. 따라서 A 양이온 1개와 가장 인접한 양이온 수는 12이다.



⬆ 면심 입방 구조에서 인접한 입자의 수

15 수소 결합은 분산력이나 쌍극자·쌍극자 힘보다 훨씬 강하다. 따라서 분산력만 작용하는 물질보다 수소 결합을 하는 물질의 끓는점이 더 높다.

▮ **모범답안** ▮ 에테인과 프로페인에는 분산력만 존재하지만, 메탄올에는 분산력뿐만 아니라 쌍극자·쌍극자 힘과 수소 결합이 존재하므로 메탄올의 끓는점이 가장 높다.

채점 기준	배점
3가지 물질에 존재하는 분자 간 힘의 종류를 모두 언급하여 옳게 서술한 경우	100 %
메탄올의 수소 결합만 언급하여 서술한 경우	20 %

16 ▮ **모범답안** ▮ 물 > 액체 A, 액체 A가 30°C 일 때의 증기 압력과 물이 60°C 일 때의 증기 압력이 같으므로, 온도가 같을 때는 물의 증기 압력이 더 작을 것이다. 증기 압력이 작은 액체일수록 끓는점이 높으므로 기준 끓는점은 물이 액체 A보다 높다.

채점 기준	배점
기준 끓는점을 옳게 비교하고, 그 까닭도 옳게 서술한 경우	100 %
기준 끓는점만 옳게 비교한 경우	40 %

수능 실전 문제

75쪽~77쪽

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

01 **꼼꼼** 문제 분석

물질	HX HF	HY HCl	X ₂ F ₂	Y ₂ Cl ₂
기준 끓는점(°C)	20	-85	a < -34	-34

HX의 끓는점이 높으므로 HX가 수소 결합을 하는 HF이다. → X:F, Y:Cl
 F₂는 Cl₂보다 분자량이 작으므로 분산력이 더 작다. → 끓는점: Cl₂ > F₂

선택지 분석

- ☒ Y는 Cl이다.
☒ a > -34이다. a < -34
☒ 분산력은 HX가 HY보다 크다. 작다

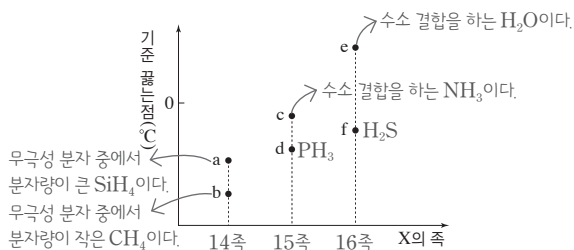
ㄱ. 수소 화합물의 기준 끓는점이 HX가 HY보다 높으므로 HX는 수소 결합을 하는 HF이다. 따라서 X는 F이고, Y는 Cl이다.

▮ **바로알기** ▮. F₂과 Cl₂는 무극성 물질이므로 분자 사이에 분산력이 작용한다. 분자량이 클수록 분산력이 크므로 a는 -34보다 작다.

ㄴ. 기준 끓는점이 HX가 HY보다 높은 것은 HX에 수소 결합이 존재하기 때문이다. 분자량은 HX보다 HY가 크므로 분산력은 HX가 HY보다 작다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

C, N, O, Si, P, S의 수소 화합물은 CH₄, NH₃, H₂O, SiH₄, PH₃, H₂S이다.



선택지 분석

- ☒ a는 CH₄이다. SiH₄
☒ 수소 결합을 하는 화합물은 c와 e이다.
☒ 3주기 원소를 포함한 화합물은 a, d, f이다.

CH₄, NH₃, H₂O, SiH₄, PH₃, H₂S 중 수소 결합을 하는 H₂O과 NH₃의 끓는점이 가장 높다. 따라서 c는 15족 원소의 수소 화합물인 NH₃이고, e는 16족 원소의 수소 화합물인 H₂O이다. d는 15족 원소인 P의 수소 화합물 PH₃이고, f는 16족 원소인 S의 수소 화합물 H₂S이다.

SiH₄과 CH₄은 무극성 분자이고, SiH₄의 분자량이 더 크므로 끓는점은 SiH₄이 CH₄보다 높다. 따라서 a는 SiH₄, b는 CH₄이다. ▮. 수소 결합을 하는 화합물은 c인 NH₃와 e인 H₂O이다.

ㄴ. 2주기 원소를 포함한 화합물은 b, c, e인 CH₄, NH₃, H₂O이고, 3주기 원소를 포함한 화합물은 a, d, f인 SiH₄, PH₃, H₂S이다.

▮ **바로알기** ▮. a는 무극성 분자 중에서 분자량이 큰 SiH₄이다.

03

선택지 분석

- ☒ 온도가 높을수록 H₂O(s)의 밀도가 감소하는 것은 ㉠ 결합의 수가 감소하기 때문이다. 열팽창
☒ 0 °C에서 H₂O(s)이 용해되면서 밀도가 급격히 증가하는 것은 ㉠ 결합 때문이다. ㉠ 결합
☒ H₂O(l)의 질량이 일정할 때 0 °C와 4 °C에서 ㉠ 결합 수는 같다.

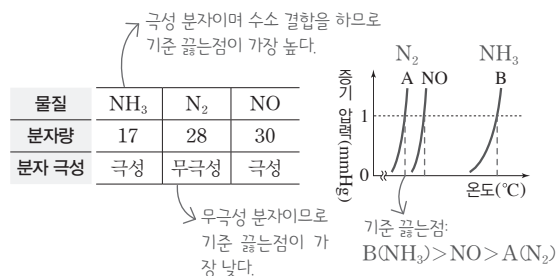
㉠ 결합은 수소 결합이고, ㉡ 결합은 공유 결합이다.

ㄴ. H₂O(l)의 질량이 일정할 때 0 °C와 4 °C에서 원자 간 공유 결합(㉡ 결합)의 수는 같다.

▮ **바로알기** ▮. 온도가 높을수록 H₂O(s)의 밀도가 감소하는 것은 H₂O(s)이 열팽창하여 부피가 증가하기 때문이다.

▮. 0 °C에서 H₂O(s)이 용해되면서 밀도가 급격히 증가하는 것은 수소 결합(㉠ 결합)이 끊어져 부피가 감소하기 때문이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

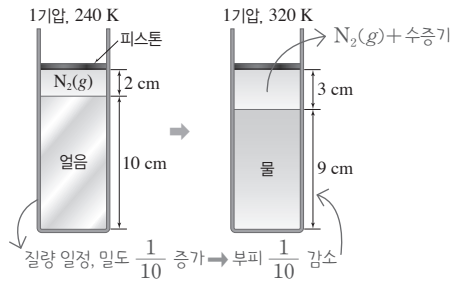
- ☒ B는 NH₃이다.
☒ A 분자 사이에는 분산력이 작용한다.
☒ NO 분자 사이에는 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다.

ㄱ. A는 기준 끓는점이 가장 낮으므로 무극성 물질인 N₂이다. B는 기준 끓는점이 가장 높으므로 극성 물질이며 수소 결합이 존재하는 NH₃이다.

▮. A는 무극성 물질인 N₂이므로 분자 사이에 분산력이 작용한다.

ㄴ. NO는 극성 물질이므로 분자 사이에 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



구분	얼음(240 K)	물(320 K)
1기압에서의 밀도(g/mL)	0.9	1.0

선택지 분석

- ㉠ 240 K과 320 K에서 N_2 의 부피비는 2 : 3이다.
 ✕ 320 K에서 물의 높이는 11 cm이다. 9
 ㉡ 320 K에서 물의 증기 압력은 $\frac{1}{9}$ 기압이다.

㉠. 240 K 얼음과 320 K 물의 밀도비가 0.9 : 1.0이므로 240 K 얼음이 녹아 320 K 물이 되면 물이 차지하는 높이는 9 cm가 된다. 이때 피스톤의 위치가 변하지 않으므로 N_2 의 높이는 3 cm가 된다. 따라서 240 K과 320 K에서 N_2 의 부피비는 2 : 3이다.

㉡. 240 K에서 N_2 의 압력은 1기압이고, N_2 의 양(mol)은 일정하므로 320 K에서 N_2 의 부분 압력을 P_{N_2} 라고 하면 다음 식이 성립한다.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1 \times 2}{240} = \frac{P_{N_2} \times 3}{320}, P_{N_2} = \frac{8}{9} \text{ 기압}$$

이때 전체 기체의 압력이 1기압이므로 320 K에서 물의 증기 압력은 $\frac{1}{9}$ 기압이다.

❗ **바로알기** ㉢. 240 K 얼음과 320 K 물의 질량이 같고, 얼음과 물의 밀도가 각각 0.9 g/mL, 1.0 g/mL이므로 부피비는 10 : 9이다. 따라서 320 K에서 물의 높이는 9 cm가 된다.

06

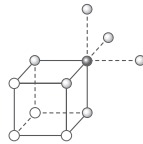
선택지 분석

- ㉠ ㉠으로 적절한 것은 면심 입방 구조이다.
 ㉡ ㉡에서 한 입자에 가장 인접한 입자 수는 6이다.
 ㉢ 단위 세포에 포함된 입자 수는 $\frac{7}{4}$ 이 $\frac{1}{1}$ 의 4배이다.

㉠. ㉠은 정육면체의 8개 꼭짓점과 6개 면의 중심에 입자가 1개씩 있으므로 면심 입방 구조이다.

㉢. ㉢은 정육면체의 8개 꼭짓점에 입자가 1개씩 있으므로 단순 입방 구조이다.

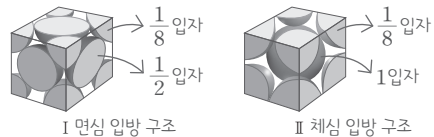
단순 입방 구조에서 한 꼭짓점에 있는 입자를 기준으로 할 때, 기준 입자의 상, 하, 좌, 우, 앞, 뒤의 각 꼭짓점에 입자가 1개씩 인접해 있으므로, 한 입자에 가장 인접한 입자 수는 6이다.



단순 입방 구조에서 인접한 입자 수

㉡. ㉡은 면심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 입자 수가 4 ($= \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6$)이고, ㉢은 단순 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 입자 수가 1 ($= \frac{1}{8} \times 8$)이다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



구분	I	II
구 1개의 질량(상댓값)	2	3
단위 세포의 질량(상댓값)	$4 \times 2 = 8$	$2 \times 3 = 6$
단위 세포 한 변의 길이(상댓값)	9	10
단위 세포의 부피(상댓값)	$9^3 = 729$	$10^3 = 1000$

선택지 분석

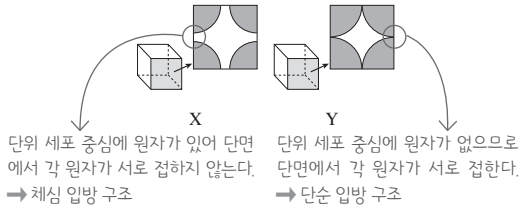
- ㉠ 단위 세포에 포함된 입자 수비는 I : II = 2 : 1이다.
 ㉡ 단위 세포의 질량은 I이 II보다 크다.
 ✕ 밀도는 II가 I보다 크다. 작다

㉠. I은 면심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 입자 수는 4 ($= \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6$)이다. II는 체심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 입자 수는 2 ($= \frac{1}{8} \times 8 + 1$)이다. 따라서 단위 세포에 포함된 입자 수비는 I : II = 4 : 2 = 2 : 1이다.

㉢. 단위 세포에 포함된 입자 수가 I은 4, II는 2이고, 구 1개의 질량이 I은 2, II는 3이므로 단위 세포의 질량은 I이 $4 \times 2 = 8$, II가 $2 \times 3 = 6$ 이다. 따라서 단위 세포의 질량은 I이 II보다 크다.

❗ **바로알기** ㉡. 단위 세포의 질량은 I이 $4 \times 2 = 8$, II가 $2 \times 3 = 6$ 이고, 단위 세포의 부피는 I이 $9^3 = 729$, II가 $10^3 = 1000$ 이다. 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이므로, 밀도는 I이 $\frac{8}{729}$, II가 $\frac{6}{1000}$ 이다. 따라서 단위 세포의 밀도는 I이 II보다 크다.

08 **문제 분석**



금속	X	Y
단위 세포에 포함된 원자 수	$a=2$	1
한 원자에 가장 인접한 원자 수	8	$b=6$

선택지 분석

- ✗ X의 결정 구조는 단순 입방 구조이다. 체심
- ✗ Y 결정의 단위 세포에 포함된 원자 수는 2이다. 1
- Ⓒ $b=3a$ 이다.

ㄷ. X는 단위 세포 중심에 원자가 있어 단면에서 각 원자가 서로 접하지 않으므로 체심 입방 구조이다. 따라서 단위 세포에 포함된 원자 수 a 는 $2\left(=\frac{1}{8} \times 8 + 1\right)$ 이다. Y는 단위 세포 중심에 원자가 없어 단면에서 각 원자가 서로 접하므로 단순 입방 구조이다. 따라서 한 원자에 가장 인접한 원자 수 b 는 6이다. 그러므로 $b=3a$ 이다.

|| **바로알기** || ㄱ. X는 체심 입방 구조, Y는 단순 입방 구조이다.

ㄴ. Y는 단순 입방 구조이므로 결정의 단위 세포에 포함된 원자 수가 $1\left(=\frac{1}{8} \times 8\right)$ 이다.

09

선택지 분석

- Ⓐ X의 결정 구조는 면심 입방 구조이다.
- Ⓒ X 1몰의 부피는 $\frac{Ma^3}{4w} \text{ cm}^3$ 이다.
- Ⓓ 한 원자에 가장 인접한 원자 수는 12이다.

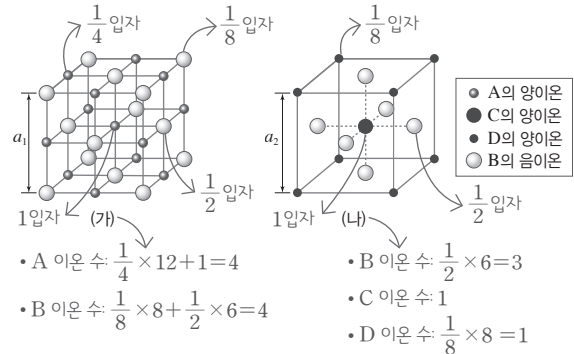
ㄱ. X는 정육면체의 각 꼭짓점과 면에 입자가 있으므로 면심 입방 구조이다.

ㄴ. 단위 세포 내 원자의 수는 $4\left(=\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6\right)$ 이고, 이때 질량은 $4w \text{ g}$, 부피는 $a^3 \text{ cm}^3$ 이다. 1몰의 질량은 $M \text{ g}$ 이므로 1몰의 부피를 V 라고 하면, $4w : a^3 = M : V$, $V = \frac{Ma^3}{4w} (\text{cm}^3)$ 이다.

ㄷ. 면심 입방 구조에서 정육면체의 한 꼭짓점에 있는 원자를 기

준으로 할 때, 기준 원자에 가장 인접한 원자는 상, 하, 좌, 우, 앞, 뒤의 12개 면에 있는 원자이므로 가장 인접한 원자 수는 12이다.

10 **문제 분석**



선택지 분석

- ✗ (가)의 단위 세포에 포함된 양이온과 음이온 수의 비는 13 : 14이다. 1 : 1
- Ⓒ (나)의 화학식은 CDB_3 이다.
- Ⓓ 단위 세포당 포함된 양이온 수는 (가)에서 (나)에서의 2배이다.

(가)의 단위 세포에서 양이온 A는 정육면체의 12개 모서리에 $\frac{1}{4}$ 입자가 있고, 정육면체의 중심에 1입자가 있으므로 양이온 A의 수는 $4\left(=\frac{1}{4} \times 12 + 1\right)$ 이다. 음이온 B는 정육면체의 8개 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 있고, 6개 면에 $\frac{1}{2}$ 입자가 있으므로 음이온 B의 수는 $4\left(=\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6\right)$ 이다.

(나)의 단위 세포에서 양이온 C는 정육면체의 중심에 1입자가 있으므로 양이온 C의 수는 1이다. 양이온 D는 정육면체의 8개 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 있으므로 양이온 D의 수는 $1\left(=\frac{1}{8} \times 8\right)$ 이다. 음이온 B는 정육면체의 6개 면에 $\frac{1}{2}$ 입자가 있으므로 음이온 B의 수는 $3\left(=\frac{1}{2} \times 6\right)$ 이다.

ㄴ. (나)의 단위 세포에 포함된 양이온 C와 D의 수는 각각 1이고, 음이온 B의 수는 3이므로 (나)의 화학식은 CDB_3 이다.

ㄷ. 단위 세포당 포함된 양이온 수는 (가)에서 4이고, (나)에서 2이므로 (가)에서 (나)에서의 2배이다.

|| **바로알기** || ㄱ. (가)의 단위 세포에 포함된 양이온 A와 음이온 B의 수는 각각 4이다. 따라서 (가)의 단위 세포에 포함된 양이온과 음이온 수의 비는 1 : 1이다.



01 용액의 농도

개념 확인 문제

83쪽

① 퍼센트 ② 10⁶ ③ 용액 ④ 몰랄 ⑤ 용매

- 1 (1) 용해 (2) 용액 (3) ㉠ 용매 ㉡ 용질 2 (1) × (2) ○ (3) ×
 3 (1) 10 % (2) 1 ppm (3) 0.2 M (4) 0.5 m 4 ㄷ 5 (1) ○
 (2) × (3) × (4) × (5) ○

- 1 (1), (2) 용질이 용매에 녹아 들어가는 현상을 용해라 하고, 용질이 용매에 용해되어 용질과 용매가 균일하게 섞여 있는 혼합물을 용액이라고 한다.
 (3) 같은 상태의 물질이 섞여 있는 용액에서는 양이 많은 물질이 용매, 양이 적은 물질이 용질이다.

- 2 (1) 퍼센트 농도는 용질의 질량을 이용하여 나타내는 농도이다. 용질의 입자 수를 이용하여 나타내는 농도는 몰 농도와 몰랄 농도이다.
 (3) 몰 농도는 온도에 따라 용액의 부피가 변하므로 온도의 영향을 받지만, 몰랄 농도는 온도에 관계없이 일정하다.

- 3 (1) 밀도가 1.84 g/mL이므로 용액 1 L의 질량은 1840 g이다. 따라서 퍼센트 농도는 $\frac{184 \text{ g}}{1840 \text{ g}} \times 100 = 10 \%$ 이다.
 (2) 10 kg은 10⁴ g이고 10 mg은 10⁻² g이므로, ppm 농도는 $\frac{10^{-2} \text{ g}}{10^4 \text{ g}} \times 10^6 = 1 \text{ ppm}$ 이다.
 (3) 수산화 나트륨 4 g은 $\frac{4 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이므로 수용액의 몰 농도는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 0.2 \text{ M}$ 이다.
 (4) 포도당 9.0 g은 $\frac{9.0 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.05 \text{ mol}$ 이므로 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.05 \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$ 이다.

- 4 몰 농도는 용액의 부피를 기준으로 하므로 온도가 변하면 농도도 변한다. 질량을 기준으로 하는 퍼센트 농도, ppm 농도, 몰랄 농도는 온도의 영향을 받지 않는다.

$$5 \quad (1) \text{ 용액의 몰 농도}(M) = \frac{\text{용질의 양}(\text{mol})}{\text{용액의 부피}(\text{L})}$$

$$\Rightarrow \text{용질의 양}(\text{mol}) = \text{용액의 몰 농도}(M) \times \text{용액의 부피}(\text{L})$$

따라서 0.1 M NaOH 수용액 1 L 속에 녹아 있는 NaOH의 양(mol)은 0.1 M × 1 L = 0.1 mol이다.

(2) NaOH의 화학식량이 40이므로 NaOH 0.1몰의 질량은 0.1 mol × 40 g/mol = 4.0 g이다. 따라서 x는 4.0이다.

(3) 온도가 높아지면 용질의 양(mol)은 일정하지만 용액의 부피가 증가하므로 몰 농도는 0.1 M보다 작아진다.

(4) NaOH(s)과 증류수의 부피 합이 1 L이므로 용액 속 증류수의 부피는 1 L보다 작다.

(5) 용액의 부피가 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 녹아 있는 용질의 양(mol)도 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 0.1 M NaOH 수용액 500 mL 속에 녹아 있는 NaOH의 양(mol)은 0.05몰이다.

86쪽

완자뽕

비법 특강

Q1 18.4 M, 500 m

Q2 1.1 m

$$\begin{aligned} \text{Q1} \cdot \text{몰 농도}(M) &= \frac{10ad}{M_w} \\ &= \frac{10 \times 98 \times 1.84}{98} = 18.4 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{몰랄 농도}(m) &= \frac{1000a}{(100-a)M_w} \\ &= \frac{1000 \times 98}{(100-98) \times 98} = 500 \text{ m} \end{aligned}$$

다른 풀이 98 % 황산 100 g은 부피가 $\frac{100 \text{ g}}{1.84 \text{ g/mL}} \approx 54.3 \text{ mL} = 0.0543 \text{ L}$ 이고, 물 2 g과 H₂SO₄ 98 g으로 이루어져 있다.

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 98 g은 } &\frac{98 \text{ g}}{98 \text{ g/mol}} = 1 \text{ mol이므로 98 \% 황산의 몰 농도는} \\ &\frac{1 \text{ mol}}{0.0543 \text{ L}} \approx 18.4 \text{ M이고, 몰랄 농도는 } \frac{1 \text{ mol}}{0.002 \text{ kg}} = 500 \text{ m이다.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Q2} \text{ 몰랄 농도}(m) &= \frac{1000a}{1000d - aM_w} \\ &= \frac{1000 \times 1}{(1000 \times 1.1) - (1 \times 180)} \approx 1.1 \text{ m} \end{aligned}$$

다른 풀이 1 M 포도당 수용액 1 L는 질량이 1000 mL × 1.1 g/mL = 1100 g이다. 이 용액 속에 녹아 있는 포도당의 양(mol)은 1몰이므로 포도당의 질량은 180 g이고, 물의 질량은 920 g이다. 따라서 1 M 포도당 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{1 \text{ mol}}{0.92 \text{ kg}} \approx 1.1 \text{ m}$ 이다.

① 질량 ② 양(mol) ③ 양(mol) ④ 질량(kg) ⑤ 질량(kg)

1 나, 르 2 (가) 6 (나) 0.1 (다) 0.094 (라) 1.06 3 (1) 0.01 M
(2) 0.01 m 4 12.5 M 5 6.25 m 6 0.46 m

1 나, 르. 몰 농도는 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)이므로 퍼센트 농도로부터 몰 농도를 구하려면 용액의 질량을 용액의 부피로 환산하기 위해 용액의 밀도를 알아야 한다. 또, 용질의 양(mol)을 구하려면 용질의 질량을 양(mol)으로 환산하기 위해 용질의 화학식량(몰 질량)을 알아야 한다.

2 (가) 요소의 질량 = 요소 수용액의 질량 $\times \frac{\text{퍼센트 농도}}{100}$ 이므로
6 % 요소 수용액 100 g 속 요소의 질량은 $100 \text{ g} \times \frac{6}{100} = 6 \text{ g}$ 이다.

(나) 요소의 분자량이 60이므로 요소 6 g은 $\frac{6 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이다.

(다) 6 % 요소 수용액 100 g 속에 요소 6 g이 녹아 있으므로 물의 질량은 $(100 - 6) \text{ g} = 94 \text{ g} = 0.094 \text{ kg}$ 이다.

(라) 몰랄 농도(m) = $\frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$ 이므로 6 % 요소 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{0.094 \text{ kg}} \approx 1.06 \text{ m}$ 이다.

3 (1) 수용액의 질량은 $1000 \text{ mL} \times 1.0 \text{ g/mL} = 1000 \text{ g}$ 이고, 퍼센트 농도는 0.18 %이므로 수용액 속에 녹아 있는 포도당의 질량은 $1000 \text{ g} \times \frac{0.18}{100} = 1.8 \text{ g}$ 이다. 포도당 1.8 g의 양(mol)은 $\frac{1.8 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.01 \text{ mol}$ 이다. 따라서 이 수용액의 몰 농도는 $\frac{0.01 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.01 \text{ M}$ 이다.

(2) 용매인 물의 질량은 $1000 \text{ g} - 1.8 \text{ g} = 998.2 \text{ g} = 0.9982 \text{ kg}$ 이므로 이 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.01 \text{ mol}}{0.9982 \text{ kg}} \approx 0.01 \text{ m}$ 이다.

4 36.5 % HCl(aq) 100 g 속에 녹아 있는 HCl은 36.5 g이므로 HCl의 양(mol)은 $\frac{36.5 \text{ g}}{36.5 \text{ g/mol}} = 1 \text{ mol}$ 이다. 따라서 HCl(aq)의 몰 농도는 다음과 같다.

$$\frac{1 \text{ mol}}{\frac{100 \text{ g}}{1.25 \text{ g/mL}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}} = 12.5 \text{ M}$$

5 20 % NaOH 수용액 100 g 속에 녹아 있는 NaOH은 20 g이므로 NaOH의 양(mol)은 $\frac{20 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.5 \text{ mol}$ 이다. 물의 질량은 80 g이므로 NaOH 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.5 \text{ mol}}{0.08 \text{ kg}} = 6.25 \text{ m}$ 이다.

6 0.5 M 요소 수용액은 용액 1000 mL 속에 요소 0.5 mol이 녹아 있다. 요소 0.5 mol의 질량은 $0.5 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} = 30 \text{ g}$ 이고, 수용액의 질량은 $1000 \text{ mL} \times 1.11 \text{ g/mL} = 1110 \text{ g}$ 이며 용매인 물의 질량은 $1110 \text{ g} - 30 \text{ g} = 1080 \text{ g} = 1.08 \text{ kg}$ 이므로 요소 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.5 \text{ mol}}{1.08 \text{ kg}} \approx 0.46 \text{ m}$ 이다.

대표 자료 분석

88쪽

자료 1 1 B > C > A 2 (가) 용질의 질량 (나) 용매의 질량
(다) 용질의 양(mol) 3 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\circ$ (4) $\times$
자료 2 1 (가) = (나) 2 0.5 m 3 1 % 4 (1) $\circ$ (2) $\circ$
(3) $\times$ (4) $\times$

①-1 꼼꼼 문제 분석

구분		A	B	C
		5 % 포도당 수용액 120 g	0.5 M 포도당 수용액 100 mL	0.5 m 포도당 수용액 100 g
용 질	양 (mol)	$\frac{1}{30}$	0.05	약 0.046
	질량(g)	6	9	8.26
용액의 질량(g)		120	105	100
용매의 질량(g)		114	96	91.74

- A: 수용액 속 포도당의 질량을 x 라고 하면 $\frac{x \text{ g}}{120 \text{ g}} \times 100 = 5 \%$ 이므로 $x = 6(\text{g})$ 이다.
- B: 수용액 속 포도당의 양(mol)을 y 라고 하면 $\frac{y \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 0.5 \text{ M}$, $y = 0.05(\text{mol})$ 이고, 포도당 0.05 mol의 질량은 $0.05 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol} = 9 \text{ g}$ 이다.
- C: 용매의 질량이 1 kg(=1000 g)일 때 용질은 90 g(=0.5 mol)이 녹아 있다. 따라서 수용액 100 g 속에 녹아 있는 포도당의 질량을 z 라고 하면 $1000 : 90 = (100 - z) : z$, $z \approx 8.26(\text{g})$ 이다.

①-2 (가)는 퍼센트 농도를 이용하여 구한 포도당 수용액 120 g 속에 들어 있는 용질의 질량이고, (나)는 용액의 질량에서 용질의 질량을 뺀 값이므로 용매의 질량이다. (다)는 용질의 질량을 물 질량으로 나눈 값이므로 용질의 양(mol)이다.

①-3 (1) A 수용액 속에 녹아 있는 포도당의 질량이 가장 작으므로 포도당의 양(mol)도 가장 작다.

(2) 포도당 6 g의 양(mol)은 $\frac{6 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = \frac{1}{30} \text{ mol}$ 이므로 밀도가 1.05 g/mL인 A 수용액의 몰 농도는 다음과 같다.

$$\frac{\frac{1}{30} \text{ mol}}{\frac{120 \text{ g}}{1.05 \text{ g/mL}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}} \approx 0.3 \text{ M}$$

(3) B 수용액의 질량은 105 g(=100 mL × 1.05 g/mL)이고, 용질의 질량은 9 g이므로 B 수용액의 용매의 질량은 96 g이다.

용질의 양(mol)은 0.05몰이므로 몰랄 농도는 $\frac{0.05 \text{ mol}}{0.096 \text{ kg}} \approx 0.52 \text{ m}$ 이다.

(4) C 수용액에서 용질의 질량은 8.26 g이고, 용매의 질량은 91.74(=100-8.26) g이므로 여기에 증류수 108.26 g을 더하면 용매의 질량은 200 g이 된다. 따라서 C 수용액의 몰랄 농도는

$$\frac{8.26 \text{ g}}{\frac{180 \text{ g/mol}}{0.2 \text{ kg}}} \approx 0.23 \text{ m}$$

②-1 **문제 분석**

구분		(가)	(나)
용질	양(mol)	0.05	0.05
	질량(g)	2	2
	용액의 질량(g)	102	100
	용매의 질량(g)	100	98
	용액의 질량(g)	102	100

(가)에서 A의 양(mol)은 $0.5 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 0.05 \text{ mol}$ 이다.

(나)에서 용액 속에 녹아 있는 A의 질량을 x 라고 하면 $\frac{x \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 2 \%$, $x = 2 \text{ (g)}$ 이다. 따라서 A의 양(mol)은 $\frac{2 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.05 \text{ mol}$ 이다.

②-2 (가) 용액의 밀도가 1.02 g/mL이므로 용액의 질량은 $100 \text{ mL} \times 1.02 \text{ g/mL} = 102 \text{ g}$ 이고, A의 질량은 $0.05 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} = 2 \text{ g}$ 이며, 물의 질량은 $102 \text{ g} - 2 \text{ g} = 100 \text{ g}$ 이다.

(나)에서 용액의 질량은 100 g이고, A의 질량은 2 g이므로 물의 질량은 98 g이다.

혼합 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.05 \text{ mol} + 0.05 \text{ mol}}{0.1 \text{ kg} + 0.098 \text{ kg}} \approx 0.5 \text{ m}$ 이다.

②-3 (가) 용액의 질량은 $100 \text{ mL} \times 1.02 \text{ g/mL} = 102 \text{ g}$ 이고, A의 질량은 $0.05 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} = 2 \text{ g}$ 이므로 물 98 g을 추가하면 퍼센트 농도는 $\frac{2 \text{ g}}{102 \text{ g} + 98 \text{ g}} \times 100 = 1 \%$ 가 된다.

②-4 (1) (가)와 (나) 수용액 속에 녹아 있는 A의 질량은 2 g으로 같다.

(2) (가) 수용액의 퍼센트 농도는 $\frac{2 \text{ g}}{102 \text{ g}} \times 100 \approx 1.96 \%$ 이다.

(3) (나) 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.05 \text{ mol}}{0.098 \text{ kg}} \approx 0.51 \text{ m}$ 이다.

(4) 수용액의 온도를 높이면 (나) 수용액의 퍼센트 농도는 변하지 않지만, (가) 수용액은 부피가 증가하므로 몰 농도가 작아진다.

내신 만점 문제

89쪽~91쪽

- 01 ③ 02 ① 03 해설 참조 04 ⑤ 05 ④
06 ③ 07 ④ 08 ④ 09 ② 10 ④
11 A: $\frac{50d}{M}$, B: $\frac{500d}{M}$, C: $\frac{1000}{M}$ 12 ③ 13 ②

01 ㄱ. 용액은 두 종류 이상의 순물질이 균일하게 섞여 있는 균일 혼합물이다.

ㄷ. 용해 현상은 (용매 - 용질) 입자 간 인력이 (용질 - 용질) 입자 간 인력 또는 (용매 - 용매) 입자 간 인력보다 강할 때 잘 일어난다.

❖ **바로알기** ㄴ. 극성 물질은 극성 용매에 잘 녹고, 무극성 물질은 무극성 용매에 잘 녹는다.

02 **문제 분석**

성분	수질 검사 결과		먹는 물의 수질 기준	
	($\times 10^{-4} \text{ g}$)	(ppm)	(mg/kg)	(ppm)
납	0.3	0.3	0.05 이하	0.05 이하
플루오린	1.0	1.0	1.5 이하	1.5 이하
수은	0.0005	0.0005	0.001 이하	0.001 이하
비소	검출되지 않음	—	0.01 이하	0.01 이하

② 지하수에 포함된 플루오린의 농도는 $\frac{(1.0 \times 10^{-4}) \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 0.0001 \%$ 이다.

③ 수은의 ppm 농도는 $\frac{(0.0005 \times 10^{-4}) \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 10^6 = 0.0005 \text{ ppm}$ 으로 먹는 물의 수질 기준 이하이다.

④ 비소는 먹는 물의 수질 기준이 $\frac{(0.01 \times 10^{-3}) \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 10^6 = 0.01 \text{ ppm}$ 이하이다.

⑤ 지하수 속에 녹아 있는 물질 중 1가지라도 먹는 물의 수질 기준보다 농도가 크면 먹는 물로 적합하지 않다. 지하수 속에 녹아 있는 납의 농도가 $\frac{(0.3 \times 10^{-4}) \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 10^6 = 0.3 \text{ ppm}$ 이므로 먹는 물의 수질 기준인 0.05 ppm보다 크다. 따라서 이 지하수는 먹는 물로 적합하지 않다.

■ **바로알기** ① 납의 수질 검사 결과는 0.3 ppm이다.

03 **모범답안** 물속에 녹아 있는 중금속 등의 물질은 용질의 질량이 매우 작기 때문에 용액 10⁶ g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)인 ppm 농도로 나타낸다.

채점 기준	배점
ppm 농도의 정의를 언급하며 용질의 질량이 매우 작기 때문이라고 옮겨 서술한 경우	100 %
용질의 질량이 매우 작기 때문이라고만 서술한 경우	30 %

04 ㄱ. 퍼센트 농도는 $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}} \times 100 = \frac{20 \text{ g}}{(180 + 20) \text{ g}} \times 100 = 10 \%$ 이다.

ㄴ. 이 수용액 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 $\frac{20 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} = 0.2 \text{ mol}$ 이고, 용매의 질량은 0.180 kg이다. 따라서 몰랄 농도는 $\frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}} = \frac{0.2 \text{ mol}}{0.180 \text{ kg}} \approx 1.1 \text{ m}$ 이다.

ㄷ. 몰 농도는 $\frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}} = \frac{\frac{20 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}}}{\frac{200 \text{ g}}{d \text{ g/mL}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}} = d \text{ M}$ 이다.

05 ㄴ. A는 일정한 부피의 액체를 측정할 때 사용하는 실험 기구이므로 부피 플라스크이다.

ㄷ. (라)에서 만든 수용액의 온도를 높이면 수용액의 부피가 1 L보다 커지므로 몰 농도는 0.1 M보다 작아진다.

■ **바로알기** ㄱ. 수용액의 몰 농도는 0.1 M이므로 1 L 속에 0.1 몰의 NaOH이 녹아 있다. NaOH의 화학식량이 40이므로 $\frac{x \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$, $x = 4(\text{g})$ 이다.

06 ㄱ. (가) 속에 녹아 있는 NaOH의 양(mol)은 0.1 M × 0.2 L = 0.02 mol이므로 질량은 0.02 mol × 40 g/mol = 0.8 g이다. (나) 속에 녹아 있는 NaOH의 질량은 0.4 g이므로 (가)가 (나)의 2배이다.

ㄴ. NaOH의 양(mol)은 (가)에서 0.02 mol, (나)에서 $\frac{0.4 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.01 \text{ mol}$ 이다. 따라서 (다)의 몰 농도는 $\frac{(0.02 + 0.01) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.03 \text{ M}$ 이다.

■ **바로알기** ㄷ. 수용액의 부피가 1 L이므로 증류수만의 부피는 1 L보다 작다.

07 ㄴ. (가)에서 만든 수용액 200 g에 A 40 g이 녹아 있으므로 (가)에서 만든 수용액 10 g에 포함된 A는 2 g이다. 따라서 (나)에서 만든 수용액에 녹아 있는 A의 양(mol)은 $\frac{2 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} = 0.02 \text{ mol}$ 이므로 몰 농도는 $\frac{0.02 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.02 \text{ M}$ 이다.

ㄷ. (가)에서 만든 수용액 50 g 속에 녹아 있는 A는 10 g이고, (나)에서 만든 수용액 500 mL 속에 녹아 있는 A는 1 g (= 0.01 mol × 100 g/mol)이므로 (다)에서 만든 수용액 속에 녹아 있는 A의 양(mol)은 $\frac{11 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} = 0.11 \text{ mol}$ 이다.

■ **바로알기** ㄱ. (가)에서 만든 수용액 속에 녹아 있는 A의 양(mol)은 $\frac{40 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} = 0.4 \text{ mol}$ 이므로 몰랄 농도는 $\frac{0.4 \text{ mol}}{0.16 \text{ kg}} = 2.5 \text{ m}$ 이다.

08 **문제 분석**

수용액	(가)	(나)
수용액의 양	100 mL	110 g
수용액의 밀도	0.96 g/mL	1.1 g/mL
용질의 종류와 질량	에탄올 24 g	요소 20 g
용질의 분자량	46	60
용질의 양(mol)	약 0.52 mol	약 0.33 mol

ㄴ. (나)에서 용매의 질량은 110 g - 20 g = 90 g이므로 (나)의

몰랄 농도는 $\frac{\frac{20 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{90 \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = \frac{100}{27} \text{ m}$ 이다.

ㄷ. (가)의 몰 농도는 $\frac{\frac{24 \text{ g}}{46 \text{ g/mol}}}{0.1 \text{ L}} \approx 5.2 \text{ M}$ 이다. (나)의 부피는

$\frac{110 \text{ g}}{1.1 \text{ g/mL}} = 100 \text{ mL}$ 이므로 몰 농도는 $\frac{\frac{20 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{0.1 \text{ L}} \approx 3.3 \text{ M}$ 이다. 따라서 몰 농도는 (가)가 (나)보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)에서 수용액의 질량은 $100 \text{ mL} \times 0.96 \text{ g/mL} = 96 \text{ g}$ 이다. 따라서 퍼센트 농도는 $\frac{24 \text{ g}}{96 \text{ g}} \times 100 = 25 \%$ 이다.

09 (가) 속에 녹아 있는 용질의 질량을 x 라고 하면, x 는 다음과 같다.

$$1000 \text{ g} : 1 \text{ mol} = (1000 - x) \text{ g} : \frac{x}{M} \text{ mol}, x = \frac{1000M}{1000 + M} (\text{g})$$

ㄴ. (나)의 몰랄 농도는 (가)의 2배이므로 추가로 녹인 X의 질량은 (가)의 질량인 $\frac{1000M}{1000 + M} \text{ g}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가) 속에 녹아 있는 용질의 질량은 $\frac{1000M}{1000 + M} \text{ g}$ 이다.

ㄷ. (가)에서 물 500 g을 증발시키면 용매의 질량이 $\frac{1}{2}$ 배보다 더 작아진다. 따라서 용액의 몰랄 농도는 2 m 보다 커진다.

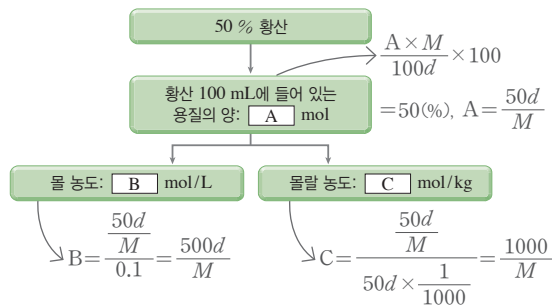
10 ㄴ. (가)와 (다)의 몰 농도가 같으므로 용질의 양(mol)은 같다. 그런데 용액 1 L당 용질의 질량은 (가)가 (다)보다 크므로 용매의 질량은 (가)가 (다)보다 작다. 따라서 몰랄 농도는 (가)가 (다)보다 크다.

ㄷ. (나)와 (다)는 용액 1 L의 질량과 용액 1 L당 용질의 질량이 같으므로 퍼센트 농도가 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 같은 부피의 용액 속에 녹아 있는 용질의 질량이 (가)가 (나)의 4배이므로 몰 농도는 (가)가 (나)의 4배이다. 따라서 $b = \frac{a}{4}$ 이다.

▮ **다른 풀이** ▮ X의 화학식량을 M_X 라 하면 (가)의 몰 농도 $a = \frac{40}{M_X}$ 이고, (나)의 몰 농도 $b = \frac{10}{M_X}$ 이다. 따라서 M_X 에 대해 정리하면 $\frac{40}{a} = \frac{10}{b}$ 이므로 $b = \frac{a}{4}$ 이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



50 % $\text{H}_2\text{SO}_4(aq)$ 100 mL의 질량은 $100 \text{ mL} \times d \text{ g/mL} = 100d \text{ g}$ 이다.

이 수용액 속에 들어 있는 용질의 질량을 x 라고 하면, $\frac{x \text{ g}}{100d \text{ g}} \times 100 = 50 \%$, $x = 50d (\text{g})$ 이다. 따라서 용질의 양(mol)은 $\frac{50d}{M}$ 이다.

이 수용액의 몰 농도 B는 $\frac{\frac{50d}{M} \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = \frac{500d}{M} \text{ M}$ 이고, 용매의 질량과 용질의 질량이 각각 50d g이므로 몰랄 농도 C는 다음과 같다.

$$\frac{\frac{50d}{M} \text{ mol}}{50d \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = \frac{1000}{M} m$$

12 ㄱ. (가) 속에 녹아 있는 KHCO_3 의 질량을 x 라고 하면, $\frac{x \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 10 \%$, $x = 10 (\text{g})$ 이다.

ㄷ. (가) 속에 녹아 있는 KHCO_3 의 질량은 10 g이고, 양(mol)은 $\frac{10 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이다. (나) 속에 녹아 있는 KHCO_3 의 양(mol)은 $3 \text{ M} \times 0.5 \text{ L} = 1.5 \text{ mol}$ 이므로 질량은 150 g이다. 따라서 (다) 속에 녹아 있는 KHCO_3 의 질량은 160 g이고, 용매의 질량은 $800 \text{ g} - 160 \text{ g} = 640 \text{ g}$ 이므로 몰랄 농도는 $\frac{1.6 \text{ mol}}{0.64 \text{ kg}} = 2.5 m$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (나)에 포함된 KHCO_3 의 양(mol)은 1.5몰로 150 g이다. 이때 (나) 수용액의 밀도가 제시되지 않았으므로 수용액의 질량은 알 수 없다. 따라서 물의 질량도 알 수 없다.

13 ㄷ. (가) 1 m A 수용액은 용매 1000 g(=1 kg)에 A가 100 g(=1 mol) 녹아 있으므로 용액의 질량은 1100 g이다. 따라서 1 m A 수용액의 질량이 100 g일 때 A의 질량 x 는 $1100 \text{ g} : 100 \text{ g} = 100 \text{ g} : x$ 이고, $x \approx 9.1 \text{ g}$ 이다.

(나) 1 M A 수용액은 용액의 부피가 1 L일 때 A가 100 g(=1 mol) 녹아 있으므로 용액의 부피가 0.1 L일 때는 A가 10 g 녹아 있다. 또, 수용액의 질량은 $100 \text{ mL} \times 1.05 \text{ g/mL} = 105 \text{ g}$ 이다.

(가)의 퍼센트 농도는 $\frac{9.1 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 9.1 \%$ 이고, (나)의 퍼센트

농도는 $\frac{10 \text{ g}}{105 \text{ g}} \times 100 \approx 9.5 \%$ 이므로 퍼센트 농도는 (나)가 (가)보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 용액 속 A의 질량은 (가)가 약 9.1 g이고, (나)가 10 g으로 (가)가 (나)보다 작다.

ㄴ. (나)에 A가 0.1 mol(=10 g) 녹아 있고, 수용액의 질량은 105 g이므로 용매의 질량은 $(105 - 10) \text{ g} = 95 \text{ g} = 0.095 \text{ kg}$ 이다. 용매의 질량이 0.1 kg보다 작으므로 (나)의 몰랄 농도는 1 m 보다 크다. 따라서 몰랄 농도는 (가)가 (나)보다 작다.

02 묶은 용액의 총괄성

개념 확인 문제

94 쪽

- ① 증기 압력 내림 ② $P^\circ_{\text{용매}}$ ③ $P_{\text{용액}}$ ④ 작다 ⑤ 라울
⑥ 물 분율

- 1 (1) 작다 (2) 작다 (3) 물 분율 2 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\circ$
3 0.595 mmHg 4 (가) > (다) > (나) 5 (1) $\circ$ (2) $\times$ (3) $\times$

1 (1) 일정한 온도에서 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 용질이 용매의 증발을 방해하므로 증기 압력이 순수한 용매의 증기 압력보다 작다.

(2) 용액의 농도가 클수록 증기 압력 내림이 커져 용액의 증기 압력이 작다.

(3) 증기 압력 내림(ΔP)은 용매의 종류에 따라 다르고, 용질의 종류에 관계없이 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)에 비례한다.

$$\Delta P = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}}$$

2 (1), (2) 수는 기둥이 설탕물 A 쪽으로 밀려 올라갔으므로 설탕물 A가 설탕물 B보다 증기 압력이 작다. 따라서 설탕물 A가 설탕물 B보다 농도가 크다.

(3) 설탕물 A에 설탕을 조금 첨가하여 녹이면 농도가 더 커지므로 증기 압력이 더 작아진다. 따라서 수는 기둥의 높이 차이 h 가 증가한다.

3 요소의 양(mol)은 $\frac{12 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0.2 \text{ mol}$ 이고, 물의 양(mol)은 $\frac{140.4 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 7.8 \text{ mol}$ 이므로 요소의 몰 분율은 $\frac{0.2 \text{ mol}}{0.2 \text{ mol} + 7.8 \text{ mol}} = 0.025$ 이다. 따라서 요소 수용액의 증기 압력 내림은 $\Delta P = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} = 23.8 \text{ mmHg} \times 0.025 = 0.595 \text{ mmHg}$ 이다.

4 증기 압력 내림은 용질의 몰 분율에 비례한다. 설탕 10 g보다 포도당 10 g의 양(mol)이 크므로 용질의 몰 분율은 (나)에서 (가)에서보다 크다. 따라서 몰의 질량이 같을 때 수용액의 증기 압력은 같은 질량의 설탕이 녹아 있는 수용액이 포도당이 녹아 있는 수용액보다 크다.

다른 풀이 용질의 양(mol)은 (가) $\frac{10}{342}$, (나) $\frac{10}{180}$, (다) $\frac{5}{342} + \frac{5}{180}$ 이고, 용매인 물의 양(mol)이 모두 같으므로 용질의 몰 분율은 (나) > (다) > (가)이다. 따라서 수용액의 증기 압력 내림은 (나) > (다) > (가)이므로 수용액의 증기 압력은 (가) > (다) > (나)이다.

5 (1) A의 몰 분율이 0일 때의 증기 압력인 3.1a가 용매인 물의 증기 압력이다.

(2) A의 몰 분율이 x 일 때 A 수용액의 증기 압력 내림은 $\Delta P = P^\circ_{\text{용매}} - P_{\text{용액}} = 3.1a - 3.0a = 0.1a$ 이다.

(3) $\Delta P = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} = 3.1a \times x = 0.1a$, $x = \frac{1}{31}$ 이다.

개념 확인 문제

97 쪽

- ① 높 ② 낮 ③ m ④ m ⑤ $w \times K_b$ ⑥ $w \times K_f$

- 1 (1) 몰랄 농도 (2) 1 m (3) 용매 (4) 크다 2 (1) $\circ$ (2) $\circ$ (3) $\times$
3 (1) 0.5 m (2) 100.255 $^\circ\text{C}$ (3) 180 4 (1) $\circ$ (2) $\circ$ (3) $\times$

1 (1) 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)과 어는점 내림(ΔT_f)은 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$$\Delta T_b = K_b \times m, \Delta T_f = K_f \times m$$

(2), (3) 몰랄 오름 상수(K_b)는 농도가 1 m인 용액의 끓는점 오름이고, 몰랄 내림 상수(K_f)는 농도가 1 m인 용액의 어는점 내림으로 용매의 종류에 따라 값이 다르다.

(4) 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 0.2 m 포도당 수용액이 0.1 m 포도당 수용액보다 어는점 내림이 크다.

2 (1) 용매 A의 끓는점은 T_1 이고, 0.05 m 용액의 끓는점은 T_2 이므로 끓는점 오름은 $(T_2 - T_1)$ 이다.

(2) 0.05 m 용액의 끓는점 오름은 $(T_2 - T_1)$ 이고, 0.10 m 용액의 끓는점 오름은 $(T_3 - T_1)$ 이다. 용액의 몰랄 농도가 2배가 되면 끓는점 오름도 2배가 되므로 $(T_3 - T_1)$ 은 $(T_2 - T_1)$ 의 2배이다. 즉, $(T_3 - T_1)$ 과 $2(T_2 - T_1)$ 은 같다.

(3) 용매 A의 몰랄 오름 상수(K_b)가 x 이므로, 0.10 m 용액의 끓는점 오름은 $\Delta T_b = K_b \times m = x \times 0.10 = T_3 - T_1$ 이다. 따라서 $x = \frac{T_3 - T_1}{0.10} = 10(T_3 - T_1)$ 이다.

3 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 어는점 내림(ΔT_f)은 몰랄 내림 상수(K_f)와 몰랄 농도(m)의 곱에 비례한다.

(1) $\Delta T_f = K_f \times m = 1.86 \text{ }^\circ\text{C/m} \times \text{몰랄 농도}(m) = 0.93 \text{ }^\circ\text{C}$ 이므로 몰랄 농도(m) = 0.5 m이다.

(2) $\Delta T_b = K_b \times m = 0.51 \text{ }^\circ\text{C/m} \times 0.5 m = 0.255 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 X 수용액의 끓는점($^\circ\text{C}$)은 $100 \text{ }^\circ\text{C} + 0.255 \text{ }^\circ\text{C} = 100.255 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다.

$$(3) \text{ 분자량}(M) = \frac{1000 \times w \times K_f}{\Delta T_f \times W} = \frac{1000 \times 9 \times 1.86}{0.93 \times 100} = 180$$

4 (1) 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 어는점 내림(ΔT_f)은 몰랄 내림 상수(K_f)와 몰랄 농도(m)의 곱에 비례한다. 어는점 내림이 (가)가 (나)의 2배이므로 수용액의 몰랄 농도는 (가)가 (나)의 2배이다.

(2) 몰랄 농도는 (가)가 (나)의 2배이고, 용매의 질량이 같으므로 용질 A의 분자량을 M_A 라 하고 용질 B의 분자량을 M_B 라고 하면,

$\frac{6}{M_A} = 2 \times \frac{9}{M_B}$ 에서 $M_A : M_B = 1 : 3$ 이다. 따라서 용질의 분자량은 B가 A의 3배이다.

(3) 몰랄 농도가 (가) > (나)이므로 증기 압력 내림이 (가) > (나)이다. 따라서 증기 압력은 (가) < (나)이다.

개념 확인 문제

100 쪽

- ① 반투막 ② 삼투 현상 ③ 삼투압 ④ 반트호프
⑤ 몰 농도 ⑥ wRT ⑦ 종류 ⑧ 입자 수

1 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\circ$ 2 (1) $\times$ (2) $\circ$ (3) $\times$ 3 (1) (다) > (나) > (가) (2) (가) 30R (나) 60R (다) 90R 4 (1) $\square$ (2) $\square$ (3) $\square$

1 (1) 삼투 현상에 의해 용매 분자는 반투막을 통과하여 농도가 작은 용액에서 농도가 큰 용액 쪽으로 이동한다.

(2), (3) 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압은 용액의 몰 농도와 절대 온도에 비례한다. 따라서 같은 온도에서 0.1 M 포도당 수용액보다 몰 농도가 더 큰 0.2 M 설탕 수용액의 삼투압이 더 크다.

2 (1) 삼투압은 절대 온도에 비례하므로 (가)에서 온도를 높이면 삼투압이 더 커져 h 는 증가한다.

(2) (나)에서 가한 압력은 삼투압과 같으므로 $\pi = CRT = 0.5 \times R \times (273 + 27) = 150R$ 이다.

(3) 용질 입자인 포도당은 반투막을 통과하지 못한다.

3 (1) 용액의 농도가 클수록 칼데기관 속 수면이 더 높아진다. 따라서 수면의 높이는 (다) > (나) > (가)이다.

(2) 용액의 삼투압은 몰 농도에 비례하므로 (가)~(다)에서 삼투압은 다음과 같다.

- (가): $\pi = 0.1 \times R \times (273 + 27) = 30R$
- (나): $\pi = 0.2 \times R \times (273 + 27) = 60R$
- (다): $\pi = 0.3 \times R \times (273 + 27) = 90R$

4 (1) 소금물에 배추를 절이면 배추 속 수분이 소금물 쪽으로 빠져 나오므로 배추가 숨이 죽는다. 이는 삼투압과 관련된 현상이다.

(2) 자동차의 냉각수에 부동액을 넣으면 냉각수의 어는점이 낮아져 겨울철에도 잘 얼지 않는다. 이는 어는점 내림과 관련된 현상이다.

(3) 소금물은 순수한 물보다 끓는점이 높아져 물보다 높은 온도에서 끓는다. 이는 끓는점 오름과 관련된 현상이다.

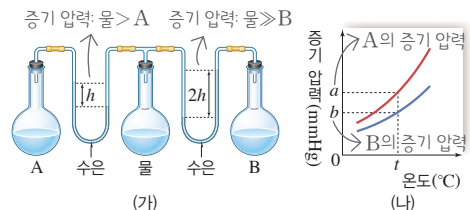
대표 자료 분석

101 쪽

자료 ① 1 물 > A > B 2 A: a mmHg, B: b mmHg
3 B > A 4 (1) $\circ$ (2) $\times$ (3) $\times$ (4) $\circ$

자료 ② 1 X > Y 2 $T_3 > T_4$ 3 X > Y 4 (1) $\times$
(2) $\circ$ (3) $\circ$

①-1 꼼꼼 문제 분석



액체의 증기 압력이 클수록 수은 기둥을 더 많이 밀어낸다. 따라서 물의 증기 압력이 가장 크고, 물과 A보다 물과 B에서 수은 기둥이 설탕물 쪽으로 더 많이 밀려 올라갔으므로 A보다 B의 증기 압력이 더 작다.

다른 풀이 (가)에서 물의 증기 압력을 H mmHg라고 하면, A의 증기 압력은 $(H - h)$ mmHg이고, B의 증기 압력은 $(H - 2h)$ mmHg이다. 따라서 물의 증기 압력이 가장 크고, A의 증기 압력은 B의 증기 압력보다 h 만큼 크다.

①-2 t °C에서 증기 압력이 $A > B$ 이므로 A의 증기 압력은 a mmHg이고, B의 증기 압력은 b mmHg이다.

①-3 기준 끓는점은 1기압일 때의 끓는점이고, 액체의 증기 압력이 클수록 끓는점이 낮다. 따라서 증기 압력이 큰 A가 B보다 기준 끓는점이 낮다.

①-4 (1) A의 증기 압력 내림은 순수한 용매인 물의 증기 압력과 A의 증기 압력의 차이인 h 이다.

(2), (4) 설탕물의 농도는 B가 A보다 크므로 어는점 내림은 B가 A보다 크다. 따라서 어는점은 A가 B보다 높다.

(3) 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)과 용매의 증기 압력($P_{\text{용매}}$)의 곱이고, A와 B의 ΔP 은 각각 h 와 $2h$ 이다.

따라서 각 수용액에서 설탕의 몰 분율 $X_{\text{용질}} = \frac{\Delta P}{P_{\text{용매}}}$ 이므로

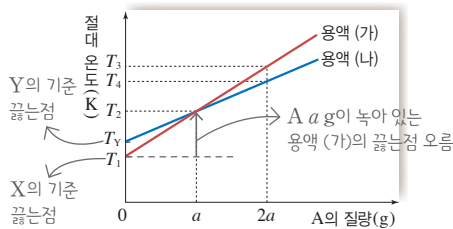
$$\frac{\text{A에서 설탕의 몰 분율}}{\text{B에서 설탕의 몰 분율}} = \frac{\frac{h}{P_{\text{용매}}}}{\frac{2h}{P_{\text{용매}}}} = \frac{1}{2} \text{이다.}$$

2-1 **꼼꼼** 문제 분석

A의 질량(g)	용매와 용액의 끓는점(K)	
	(가)	(나)
	용매 X 100 g	용매 Y 100 g
0	T_1	
a	T_2	T_2
$2a$	T_3	T_4

Y의 기준 끓는점을 T_Y 라고 하면, 기준 끓는점은 $T_Y > T_1$ 이다.

A의 질량에 따른 용액 (가)와 (나)의 끓는점을 그래프로 나타내면 다음과 같다.



기준 끓는점은 Y가 X보다 높으므로 T_1 에서 증기 압력은 X가 Y보다 크다. T_1 은 X의 기준 끓는점이므로 T_1 에서 X의 증기 압력은 1기압이고, Y는 아직 끓기 전이므로 Y의 증기 압력은 1기압보다 작다.

2-2 기준 끓는점은 Y가 X보다 높는데, X와 Y 100 g에 A를 각각 a g만큼 녹였을 때 용액의 끓는점이 T_2 로 같으므로 끓는점 오름은 X가 Y보다 크다. 따라서 A를 똑같이 $2a$ g씩 녹여도 끓는점은 용액 (가)가 (나)보다 높으므로 $T_3 > T_4$ 이다.

2-3 용액의 끓는점 오름은 $\Delta T_b = K_b \times m$ 이고, X와 Y 100 g에 A를 각각 a g만큼 녹였을 때 ΔT_b 은 X가 Y보다 크므로 K_b 도 X가 Y보다 크다.

2-4 (1) A를 녹이지 않았을 때 용액 (가)의 끓는점인 T_1 이 X의 끓는점이고, A a g이 녹아 있는 용액 (가)의 끓는점이 T_2 이므로 A a g이 녹아 있는 용액의 끓는점 오름은 $(T_2 - T_1)$ 이다.

(2) X의 K_b 가 Y의 K_b 보다 크므로 같은 질량의 A를 녹였을 때 끓는점 오름은 용액 (가)가 용액 (나)보다 항상 크다.

(3) 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 따라서 A a g이 녹아 있는 용액 (가)의 끓는점 오름인 $(T_2 - T_1)$ 은 A a g이 녹아 있는 용액 (가)에 A a g을 추가로 녹였을 때의 끓는점 오름인 $(T_3 - T_2)$ 와 같다.

내신 만점 문제

102쪽~105쪽

1 ㄷ 2 ㉓ 3 ㉔ 4 ㉑ 5 ㉔ 6 ㄷ 7 ㉕ 8 ㉑
9 ㉔ 10 해설 참조 11 ㉑ 12 ㉑ 13 ㉓ 14 ㉑
15 ㉑ 16 ㉔

01 ㄷ. 외부 압력이 1기압이므로 요소 수용액의 기준 끓는점은 수용액의 증기 압력이 1기압일 때의 온도인 $t^\circ\text{C}$ 이다.

▮ 바로알기 ▮ $\Delta P = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} = 1.0 \times X_{\text{용질}} = 0.1$ 이므로 $X_{\text{용질}} = 0.1$ 이고, 물 16.2 g은 0.9몰이므로 요소 x g은 0.1몰이다. 요소의 분자량이 60이므로 요소 0.1몰의 질량은 $0.1 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} = 6 \text{ g}$ 이다.

$\therefore X_{\text{용질}}$ 은 0.1이므로 $X_{\text{용매}} = 1 - X_{\text{용질}} = 0.9$ 이다.

02 용액의 농도가 작을수록 용매의 증발이 잘 일어난다. 증발량은 A가 B보다 많고, 밀폐 용기가 수증기로 포화되어 있어서 응축량은 A와 B에서 같으므로 A의 양은 점점 감소하고, B의 양은 점점 증가하다가 시간이 지나면 A와 B의 양이 모두 일정해진다. 따라서 A는 처음에 알짜 증발량이 0보다 크지만 점점 작아져 0이 되고, B는 처음에 알짜 증발량이 0보다 작지만 점점 커져 0이 된다.

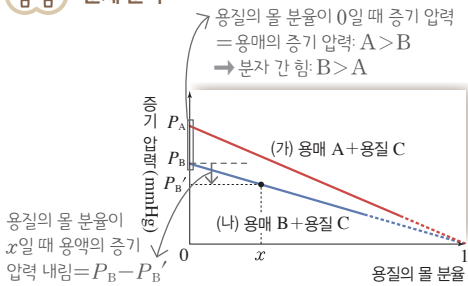
03 ㄴ. (가)는 1 M 포도당 수용액이고 밀도는 1 g/mL이므로 용액의 부피가 1 L이면 용액의 질량은 1000 g이고, 포도당의 질량은 180 g이다. 따라서 몰랄 농도는 $\frac{1 \text{ mol}}{0.82 \text{ kg}}$ 로 1 m보다 크다.

수용액의 몰랄 농도는 (가)가 (나)보다 크므로 수용액의 증기 압력은 (가)가 (나)보다 작다. 증기 압력이 작을수록 끓는점이 높으므로 수용액의 기준 끓는점은 (가)가 (나)보다 높다.

▮ 바로알기 ▮ $\therefore$ 기준 끓는점에서 증기 압력은 외부 압력인 1기압과 같으므로 (가)와 (나)의 증기 압력은 같다.

ㄷ. (가)의 몰랄 농도는 1 m보다 크다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 용질의 몰 분율이 0일 때의 증기 압력은 용매의 증기 압력과 같다. 용매 B의 증기 압력은 P_B 이고, 용질의 몰 분율이 x 일 때 용액 (나)의 증기 압력은 P_B' 이므로 증기 압력 내림은 $P_B - P_B'$ 이다.

바로알기 ㄱ. 용매의 증기 압력은 A가 B보다 크고, 이때 분자 간 힘이 클수록 증기 압력이 작으므로 분자 간 힘은 B가 A보다 크다.

ㄷ. 용질의 몰 분율이 x 일 때 용액의 증기 압력은 (가)가 (나)보다 크므로 기준 끓는점은 (나)가 (가)보다 높다.

05 ㄴ. 포도당 수용액의 증기 압력은 $P_{\text{용액}} = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}} = 150 \text{ mmHg} \times \frac{9.9}{9.9+0.1} = 148.5 \text{ mmHg}$ 이고, 요소 수용액의 증기 압력은 $P_{\text{용액}} = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}} = 150 \text{ mmHg} \times \frac{9.8}{9.8+0.2} = 147 \text{ mmHg}$ 이므로 수은 기둥의 높이 차(h)는 두 수용액의 증기 압력 차와 같다. 따라서 h 는 1.5 mm이다.

바로알기 ㄱ. 포도당 수용액이 요소 수용액보다 증기 압력이 크므로 (가)는 포도당 수용액이고, (나)는 요소 수용액이다.

ㄷ. 수용액에서 용질의 양(mol)은 요소가 포도당의 2배이지만, 요소 수용액에서 물의 양(mol)이 더 작으므로 몰랄 농도는 요소 수용액이 포도당 수용액의 2배보다 크다. 따라서 끓는점 오름도 요소 수용액이 포도당 수용액의 2배보다 크다.

06 ㄷ. X 수용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 $(T_1 - 100)$ 이고, 몰랄 농도(m)는 $\frac{10}{M_X} = \frac{100}{M_X}$ 이므로 물의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $\frac{\Delta T_b}{m} = \frac{(T_1 - 100)M_X}{100}$ 이다. Y 수용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 $(T_2 - 100)$ 이고, 몰랄 농도(m)는 $\frac{10}{M_Y} = \frac{100}{M_Y}$ 이므로 $(T_2 - 100) = \frac{(T_1 - 100)M_X}{100} \times \frac{100}{M_Y}$ 이다. 따라서 $M_Y = M_X \times \frac{(T_1 - 100)}{(T_2 - 100)}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 용액의 끓는점 오름은 Y 수용액이 X 수용액보다 크다. 따라서 용액 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 Y가 X보다 크다.

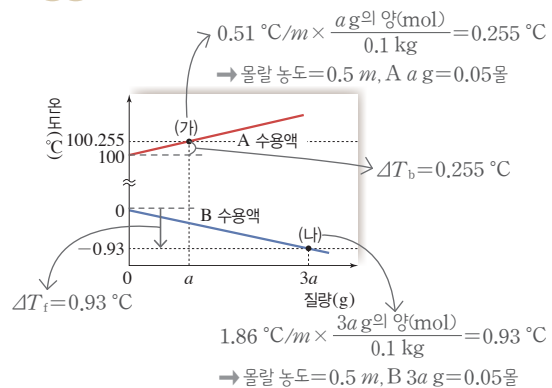
ㄴ. t_2 일 때 X 수용액은 끓고 있고, Y 수용액은 끓기 시작하므로 두 용액의 증기 압력은 대기압과 같다.

07 ㄱ. 용매의 끓는점은 용액의 끓는점에서 끓는점 오름을 뺀 값이므로 용매 A의 끓는점은 $76.75^\circ\text{C} (= 79.28^\circ\text{C} - 2.53^\circ\text{C})$ 이고, 용매 B의 끓는점은 $80.09^\circ\text{C} (= 82.62^\circ\text{C} - 2.53^\circ\text{C})$ 이다. 따라서 50°C 에서 증기 압력은 끓는점이 낮은 A가 끓는점이 높은 B보다 크다.

ㄴ. 용질 C의 분자량을 M_c 라고 하면 몰랄 농도는 (가)가 $\frac{w}{\frac{M_c}{0.1}} = \frac{10w}{M_c}$ 이고, (나)가 $\frac{w}{\frac{M_c}{0.05}} = \frac{20w}{M_c}$ 이다. (가)와 (나)의 끓는점 오름은 같고, 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 2배이므로 몰랄 오름 상수(K_b)는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 용액의 증기 압력 내림은 용매의 증기 압력과 용질의 몰 분율을 곱한 값이다. 용질 C의 양(mol)을 n_c 라고 하면 용질의 몰 분율은 (가)가 $\frac{n_c}{\frac{100}{2M} + n_c}$ 이고, (나)가 $\frac{n_c}{\frac{50}{M} + n_c}$ 로 (가)와 (나)가 같다. 따라서 용액의 증기 압력 내림은 용매의 증기 압력이 큰 (가)가 (나)보다 크다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. (나)에서 B 수용액의 어는점이 -0.93°C 이므로 어는점 내림은 0.93°C 이다. $1.86^\circ\text{C/m} \times \frac{3a \text{ g의 양(mol)}}{0.1 \text{ kg}} = 0.93^\circ\text{C}$ 이므로 B 수용액의 몰랄 농도는 0.5 m 이고, B $3a \text{ g}$ 은 0.05 mol 이다. 따라서 (나)의 끓는점 오름은 $0.51^\circ\text{C/m} \times 0.5 \text{ m} = 0.255^\circ\text{C}$ 이므로 끓는점은 100.255°C 이다.

ㄷ. (가)에서 A 수용액의 끓는점이 100.255°C 이므로 끓는점 오름은 0.255°C 이다. $0.51^{\circ}\text{C}/m \times \frac{a \text{ g의 양}(\text{mol})}{0.1 \text{ kg}} = 0.255^{\circ}\text{C}$ 이므로 A 수용액의 몰랄 농도는 $0.5 m$ 이다. (나)에서 B 수용액의 몰랄 농도도 $0.5 m$ 이므로 (가)와 (나)를 혼합한 수용액의 몰랄 농도는 $0.5 m$ 이다. 따라서 어는점 내림은 $1.86^{\circ}\text{C}/m \times 0.5 m = 0.93^{\circ}\text{C}$ 이므로 어는점은 -0.93°C 이다.

▣ **바로알기** ▮. (가)에서 A 수용액의 몰랄 농도는 $0.5 m$ 이므로 A $a \text{ g}$ 은 0.05 mol 이고 A의 몰 질량은 $20a \text{ g}$ 이다. 따라서 A의 분자량은 $20a$ 이다.

09 ㄷ. (다)에서 수용액이 어는 동안 용액의 농도가 점점 커지므로 어는점 내림이 계속 증가하여 온도가 점점 낮아진다.

▣ **바로알기** ▮. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례한다. 분자량은 포도당이 설탕보다 작으므로 용질과 용매의 질량이 같은 두 수용액의 몰랄 농도는 포도당 수용액이 설탕 수용액보다 크다. 따라서 어는점 내림은 포도당 수용액이 설탕 수용액보다 크므로 포도당 수용액의 어는점(t_1)이 설탕 수용액의 어는점(t_2)보다 낮다.

ㄴ. (나)에서 포도당 수용액 30 mL 를 사용하여도 몰랄 농도가 변하지 않으므로 어는점(t_1)이 변하지 않는다.

10 **모범답안** 1.9. 용액의 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례하는데, A와 B의 몰랄 농도비는 $0.31 : 0.62 = 1 : 2$ 이다.

따라서 $\frac{57}{1} : \frac{15}{0.25} = 1 : 2$ 이므로 $\frac{57 \times 2}{A \text{의 분자량}} = \frac{60}{B \text{의 분자량}}$ 에서 $\frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{114}{60} = 1.9$ 이다.

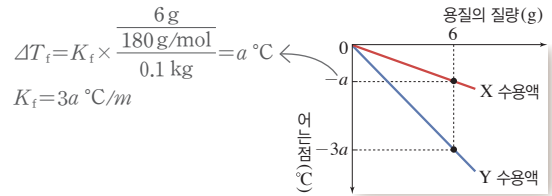
채점 기준	배점
$\frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}}$ 을 옮겨 구하고, 풀이 과정을 옮겨 서술한 경우	100 %
$\frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}}$ 만 옮겨 구한 경우	40 %

11 ㄴ. 용액 I과 Ⅲ은 용질의 종류와 질량이 같고 용매의 질량은 용액 I이 Ⅲ의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 몰랄 농도는 용액 I이 Ⅲ의 2배이다.

ㄷ. 용액의 어는점 내림은 몰랄 농도와 용매의 몰랄 내림 상수의 곱이고 몰랄 농도는 용액 I이 Ⅲ의 2배이므로 용매 A와 B의 몰랄 내림 상수를 각각 K_A , K_B 라고 하면 $t_1 : t_2 = 2 \times K_A : 1 \times K_B$ 이다. 따라서 $K_A : K_B = t_1 : 2t_2$ 이다.

▣ **바로알기** ▮. 용액 I과 Ⅱ에서 용매의 질량은 용액 I이 Ⅱ의 2배이고 어는점 내림은 용액 Ⅱ가 I의 2배이므로 용액 I과 Ⅱ는 용매의 종류가 같다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 용액의 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례한다. Y 수용액의 어는점 내림이 X 수용액의 3배이므로 몰랄 농도도 3배이다.

ㄷ. 몰랄 내림 상수 $K_f = 3a^{\circ}\text{C}/m$ 이고, 용질의 질량이 6 g 일 때 어는점 내림이 $3a^{\circ}\text{C}$ 이므로 Y의 분자량은 다음과 같다.

$$M = \frac{1000 \times w \times K_f}{\Delta T_f \times W} = \frac{1000 \times 6 \times 3a}{3a \times 100} = 60$$

▣ **다른 풀이** 같은 질량의 용질을 녹인 수용액의 어는점 내림이 Y 수용액이 X 수용액의 3배이므로 같은 질량의 양(mol)은 Y가 X의 3배이다. 즉, 분자량은 X가 Y의 3배이고 X의 분자량은 180이므로 Y의 분자량은 60이다.

▣ **바로알기** ▮. 용액의 어는점 내림은 몰랄 농도와 용매의 몰랄 내림 상수의 곱이다. 따라서 X 수용액의 어는점 내림으로 물의 몰랄 내림 상수 K_f 를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta T_f = K_f \times \frac{6 \text{ g}}{0.1 \text{ kg}} \times \frac{180 \text{ g/mol}}{180 \text{ g/mol}} = a^{\circ}\text{C}, K_f = 3a^{\circ}\text{C}/m$$

13 ㄱ. 두 수용액의 삼투압 차만큼 높이 차이가 나타나는데, 높이 차를 없애기 위해 가해 주어야 하는 압력이 P기압이므로 B 수용액과 A 수용액의 삼투압 차는 P기압이다.

ㄴ. 삼투 현상은 반투막을 사이에 두고 농도가 작은 용액 쪽에서 농도가 큰 용액 쪽으로 용매 입자가 이동하는 현상이다. (가)에서 (나)로 될 때 A 수용액의 수면이 낮아지고, B 수용액의 수면이 높아졌으므로, A 수용액의 용매가 B 수용액 쪽으로 이동한 것이다. 따라서 (가)에서 수용액의 농도는 A 수용액이 B 수용액보다 작다.

▣ **바로알기** ▮. 반투막은 물과 같이 크기가 작은 용매 입자는 통과하지만, 크기가 큰 용질 입자는 통과하지 못한다. 따라서 (나)에서 A 수용액의 용질은 B 수용액 쪽으로 이동하지 못하고, 용매만 이동한다.

14 $\pi = CRT$ 에 수용액 (가)의 값을 대입하면 물 농도 C는 다음과 같다.

$$0.24 \text{ atm} = C \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K}, C = 0.01 \text{ M}$$

ㄱ. X의 분자량을 M_X 라고 하면 $0.01 \text{ M} = \frac{0.18 \text{ g}}{0.1 \text{ L} \times M_X}$, $M_X = 180$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ 나. (나)에서 몰 농도(C)는 $\frac{0.36 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} \div 0.1 \text{ L} = 0.02 \text{ M}$

이므로 $\pi = CRT$ 에서 $\ominus = 0.02 \text{ M} \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K} = 0.48 \text{ atm}$ 이다.

다. (다)는 (나)와 X의 질량은 같고, 수용액의 부피만 2배이므로 몰 농도는 (나)의 $\frac{1}{2}$ 배인 0.01 M 이다. 따라서 $0.28 \text{ atm} = 0.01 \text{ M} \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times \text{㉠}, \text{㉡} = 350 \text{ K}$ 이다.

15 나. 삼투압은 용액의 몰 농도에 비례하므로 몰 농도는 B 수용액이 A 수용액의 2배이다. 두 수용액의 부피가 같으므로 용질의 양(mol)은 B가 A의 2배이다. 따라서 각 물질의 분자량을 M_A, M_B 라고 하면 $1 : 2 = \frac{0.01}{M_A} : \frac{0.04}{M_B}, M_B = 2M_A$ 이므로 분자량은 B가 A의 2배이다.

다. 물이 반투막을 통과하여 갈매기관 안으로 들어가므로 A 수용액과 B 수용액의 몰 농도는 모두 처음보다 감소한다.

▮ **바로알기** ▮ 나. 삼투압은 용액의 몰 농도에 비례하므로 초기 몰 농도는 B 수용액이 A 수용액의 2배이다.

16 ① 용액의 농도가 클수록 증기 압력 내림이 커지므로 증기 압력은 더 작다.

④ 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 따라서 용액의 몰랄 농도가 2배가 되면 끓는점 오름도 2배가 된다.

▮ **바로알기** ▮ ② 순수한 용매에 용질을 녹이면 어는점 내림 현상이 나타나므로 순수한 용매에 비해 용액의 어는점은 낮다.

중단원 핵심 정리

106쪽

- ① 극성 ② 무극성 ③ 용매 ④ 용액 ⑤ $\frac{10ad}{M_w}$
 ⑥ $\frac{1000a}{(100-a)M_w}$ ⑦ $\frac{1000a}{1000d-aM_w}$ ⑧ 비례 ⑨ 물 분율
 ⑩ 몰랄 농도 ⑪ 몰랄 농도 ⑫ 용매 ⑬ 삼투압(π)
 ⑭ 몰 농도 ⑮ 입자 수

중단원 마무리 문제

107쪽~110쪽

- 01 ① 02 ④ 03 ⑤ 04 ③ 05 ⑤ 06 ②
 07 ③ 08 ② 09 ⑤ 10 ① 11 ⑤ 12 나,
 나, 다 13 ③ 14 ① 15 해설 참조 16 해설 참조

01 나. 혈액 속 혈색소는 160 g/L 이므로 혈액 1000 g 에 혈색소 160 g 이 포함되어 있다. 따라서 퍼센트 농도는 $\frac{160 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100 = 16 \%$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ 나. 혈액의 부피를 1 L 로 하면 혈액 속 혈당의 ppm 농도는 $\frac{1.53 \text{ g}}{10^3 \text{ g}} \times 10^6 = 1530 \text{ ppm}$ 이다.

다. 혈액 속 혈당 수치는 1530 으로 정상보다 높으므로 정상이 아니다.

02 나. (가) 100 mL 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 $\frac{0.04 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.001 \text{ mol}$ 이므로 (가) 1 mL 에 포함된 용질의 양(mol)은 $1 \times 10^{-5} \text{ mol}$ 이다. 즉, (나)에서 용질의 양(mol)은 $1 \times 10^{-5} \text{ mol}$ 이고, 용액의 부피는 100 mL 이므로 몰 농도는 $1 \times 10^{-4} \text{ M} (= 0.0001 \text{ M})$ 이다.

다. 용액의 질량은 같고, 용질의 질량이 (가)가 (나)의 100배이므로 ppm 농도는 (가)가 (나)의 100배이다.

▮ **바로알기** ▮ 나. (가) 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 $\frac{0.04 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.001 \text{ mol}$ 이고, 용액의 질량은 $100 \text{ mL} \times 1 \text{ g/mL} = 100 \text{ g}$ 이며 용매의 질량은 $100 \text{ g} - 0.04 \text{ g} = 99.96 \text{ g}$ 이므로 (가)의 몰랄 농도는 $\frac{0.001 \text{ mol}}{0.09996 \text{ kg}} \approx 0.01 \text{ m}$ 이다.

03 꼬꼬 문제 분석

- (가) = 12 M 염산의 밀도(g/mL) $\times 1000 \text{ mL} = 12 \text{ M}$ 염산의 질량(g)
- (나) = $12 \text{ M} \times 1 \text{ L} \times$ 염화 수소의 몰 질량(g/mol)
 $= 12 \text{ mol} \times$ 염화 수소의 몰 질량(g/mol) = 염화 수소 12 mol 의 질량(g)
- 몰랄 농도 = $\frac{12 \text{ mol}}{\text{(나)}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$
 $\rightarrow$ 용매의 질량(g) = (가) - (나)

나. 12 M 염산의 밀도(g/mL)에 $1 \text{ L} (= 1000 \text{ mL})$ 를 곱한 값인 (가)는 12 M 염산의 질량(g)이다.

나. $12 \text{ M} \times 1 \text{ L}$ 는 염화 수소의 양(mol)인 12 mol 이고, 여기에 염화 수소의 몰 질량을 곱한 값인 (나)는 염화 수소 12 mol 의 질량(g)이다.

다. 용액의 몰랄 농도는 $\frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$ 이므로 용매의 질량(g)에 해당하는 (다)는 용액의 질량에서 용질의 질량을 뺀 '(가) - (나)'이다.

04 나. 0.5 M KHCO_3 수용액 100 mL 에 들어 있는 용질의 양(mol)은 $0.5 \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = 0.05 \text{ mol}$ 이므로 용질의 질량(g)은 $0.05 \text{ mol} \times 100 \text{ g/mol} = 5 \text{ g}$ 이다.

ㄷ. (다)에서 만든 수용액의 질량은 $100 \text{ mL} \times d \text{ g/mL} = 100d \text{ g}$ 이고, 용질의 질량이 5 g 이므로 용매의 질량은 $(100d - 5) \text{ g}$ 이다. 따라서 몰랄 농도는 다음과 같다.

$$\frac{0.05 \text{ mol}}{(100d - 5) \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = \frac{50}{100d - 5} m$$

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. A는 부피 플라스크이다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

10 % 수용액이므로 녹아 있는 용질의 질량은 10 g이다.		용액의 질량은 1000 g이고, 용질의 질량은 10 g이므로 퍼센트 농도는 1 %이다.
수용액	(가)	(나)
용질	X	Y
수용액의 양	100 g	1 L
퍼센트 농도(%)	⑩	⑦ ①
몰 농도(M)		0.2
밀도(g/mL)		1.0
용질의 분자량		⑤ 50

용질 10 g의 양(mol)이 0.2몰이므로 분자량은 50이다.

ㄱ. (가)에서 퍼센트 농도가 10 %이므로 용질 X의 질량은 10 g이다. (가)와 (나)에서 용질 X와 Y의 질량이 같으므로 Y의 질량도 10 g이다. 따라서 ⑦은 $\frac{10 \text{ g}}{1000 \text{ mL} \times 1.0 \text{ g/mL}} \times 100 = 1 \%$ 이다.

ㄴ. (나) 수용액은 Y 10 g이 녹아 있는 0.2 M 수용액 1 L이다. 따라서 Y 10 g의 양(mol)은 $0.2 \text{ M} \times 1 \text{ L} = 0.2 \text{ mol}$ 이고 Y의 몰 질량은 $\frac{10 \text{ g}}{0.2 \text{ mol}} = 50 \text{ g/mol}$ 이므로 분자량인 ⑤은 50이다.

ㄷ. (나)에서 Y 10 g의 양(mol)은 0.2 mol이고, 수용액의 질량은 $1000 \text{ L} \times 1 \text{ g/mL} = 1000 \text{ g}$ 이므로 용매인 물의 질량은 $(1000 - 10) \text{ g} = 990 \text{ g} = 0.990 \text{ kg}$ 이다. 따라서 (나)의 몰랄 농도는 $\frac{0.2 \text{ mol}}{0.990 \text{ kg}}$ 로 0.2 m보다 크다.

06 ㄴ. (가)에서 용액의 질량은 100 g이고, 밀도가 1 g/mL이므로 부피는 $\frac{100 \text{ g}}{1 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL/L}} = 0.1 \text{ L}$ 이다. 용질의 양(mol)은 $0.1 \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = 0.01 \text{ mol}$ 이므로 용질의 질량은 $0.01 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} = 0.6 \text{ g}$ 이고, 용매의 질량은 $100 \text{ g} - 0.6 \text{ g} = 99.4 \text{ g} = 0.0994 \text{ kg}$ 이다. 따라서 (가)의 몰랄 농도는 $\frac{0.01 \text{ mol}}{0.0994 \text{ kg}}$ 로 (나)의 몰랄 농도인 0.1 m보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)의 퍼센트 농도는 $\frac{0.6 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 0.6 \%$ 이다. (나)에서 용질의 질량을 $x \text{ g}$ 이라고 하면, 몰랄 농도는

$$\frac{\frac{x \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{(100 - x) \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = 0.1 m \text{ 이므로 } x = \frac{600}{1006} \text{ g이다. 따라서}$$

서 (나)의 퍼센트 농도는 $\frac{\frac{600}{1006} \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100$ 이므로 0.6 %보다 작다.

ㄷ. (나)에서 용매의 질량은 100 g보다 작으는데, 증류수 50 g을 증발시키면 남아 있는 용매의 질량은 (나)의 $\frac{1}{2}$ 배보다 작으므로 용액의 몰랄 농도는 (나)의 2배인 0.2 m보다 크다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

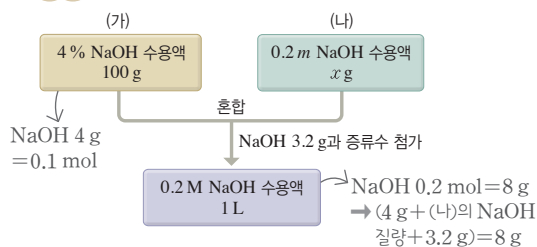
수용액	(가)	(나)	(다)
용질	A	B	A
부피(L)	a	3a	2a
몰 농도(M)	2b	2b	b
용질의 양(mol)	2ab	6ab	2ab

ㄱ. (가)와 (나)에서 용질의 양(mol)은 (가)가 (나)의 $\frac{1}{3}$ 배이고, 용질의 질량이 같으므로 화학식량은 A가 B의 3배이다.

ㄴ. 용액의 부피는 (가)가 (나)의 $\frac{1}{3}$ 배이고, 용액의 밀도가 모두 1 g/mL이므로 용액의 질량은 (가)가 (나)의 $\frac{1}{3}$ 배이다. 이때 용질의 질량이 같으므로 퍼센트 농도는 (가)가 (나)의 3배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. (가)와 (다)에서 용질의 질량은 같지만, 용액의 부피가 달라 용매의 부피가 다르다. 또, 용액의 밀도가 같으므로 용매의 질량도 다르다. 따라서 몰랄 농도가 다르다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

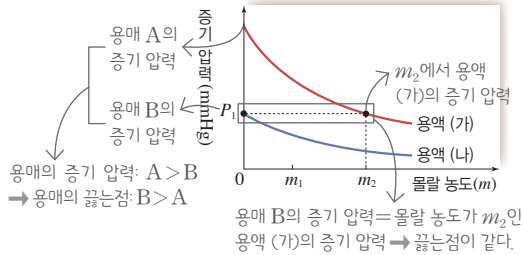


ㄴ. (가)에서 NaOH의 질량은 4 g이고, 0.2 M NaOH 수용액 1 L 속 NaOH의 양(mol)은 $0.2 \text{ M} \times 1 \text{ L} = 0.2 \text{ mol}$ 로 8 g이므로 (나)에서 NaOH의 질량은 0.8 g(=8 g - 4 g - 3.2 g)이다. 따라서 NaOH의 질량은 (가)가 (나)의 5배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)에서 NaOH의 질량은 4 g이고, 용매인 물의 질량은 $100 \text{ g} - 4 \text{ g} = 96 \text{ g}$ 이므로 몰랄 농도는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{0.096 \text{ kg}}$ 로 1 m보다 크다.

ㄷ. (나)에서 0.2 m NaOH 수용액에 녹아 있는 NaOH의 질량은 0.8 g이다. 따라서 $\frac{0.8 \text{ g}}{\frac{40 \text{ g/mol}}{0.2 \text{ m}}}=0.2 \text{ m}$ 이므로 용매의 질량은 100 g(=0.1 kg)이고, 용액의 질량인 x 는 100 g+0.8 g=100.8 g이다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 용액의 몰랄 농도가 0일 때의 증기 압력이 순수한 용매 A와 B의 증기 압력에 해당한다. 이때 용매 A의 증기 압력이 용매 B보다 크므로 용매의 기준 끓는점은 A가 B보다 낮다.

ㄴ. 용액의 끓는점은 외부 압력과 용액의 증기 압력이 같을 때의 온도이므로 외부 압력이 1기압일 경우 몰랄 농도가 m_1 인 두 용액 (가)와 (나)의 끓는점에서 증기 압력은 외부 압력인 1기압과 같다.

ㄷ. 외부 압력이 P_1 인 경우 용매 B의 증기 압력과 몰랄 농도가 m_2 인 용액 (가)의 증기 압력이 같다. 따라서 외부 압력 P_1 에서 용매 B와 몰랄 농도가 m_2 인 용액 (가)의 끓는점은 같다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

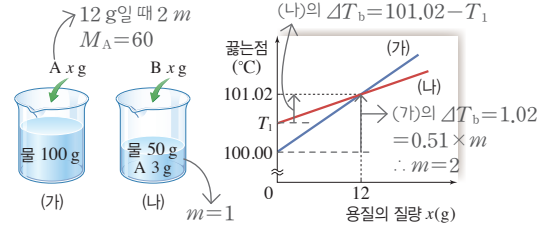
수용액	물 100 g에 용해된 용질의 질량	$\Delta T_b(^{\circ}\text{C})$
(가)	A 3 g + B 9 g	$2a$
(나)	A 3 g + B 18 g ↳ B 9 g 차이 ↳ B 18 g의 $\Delta T_b = 2a \Rightarrow$ A 3 g의 $\Delta T_b = a$	$3a$ ← a 차이
(다)	B 18 g + C 7.5 g ↳ $\Delta T_b = 2a \Rightarrow \Delta T_b = 5a$	$7a$
(라)	A 3 g + C 7.5 g ↳ $\Delta T_b = a \Rightarrow \Delta T_b = 5a$	㉠ $6a$

ㄱ. (가)와 (나) 수용액에서 B 9 g의 ΔT_b 는 $a^{\circ}\text{C}$ 이고, A 3 g의 ΔT_b 도 $a^{\circ}\text{C}$ 이다. ΔT_b 는 용매의 몰랄 오름 상수와 용액의 몰랄 농도의 곱에 비례하므로 물 100 g에 A 3 g이 용해된 용액과 물 100 g에 B 9 g이 용해된 용액의 몰랄 농도가 같다. 따라서 분자량은 B가 A의 3배이다.

|| 바로알기 || ㄴ. 끓는점 오름과 증기 압력 내림은 용질의 종류에 관계없이 입자 수에 비례한다. ΔT_b 이 (다) > (가)이므로, 증기 압력 내림도 (다) > (가)이다. 따라서 증기 압력은 (가)가 (다)보다 크다.

ㄷ. (다)에서 물 100 g에 B 18 g이 용해된 용액에 대한 ΔT_b 는 $2a^{\circ}\text{C}$ 이므로 물 100 g에 C 7.5 g이 용해된 용액의 ΔT_b 는 $5a^{\circ}\text{C}$ 이다. 따라서 물 100 g에 A 3 g이 용해된 용액의 ΔT_b 는 $a^{\circ}\text{C}$ 이고, 물 100 g에 C 7.5 g이 용해된 용액의 ΔT_b 는 $5a^{\circ}\text{C}$ 이므로 ㉠ = $6a$ 이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. (가)의 $\Delta T_b = 101.02^{\circ}\text{C} - 100.00^{\circ}\text{C} = 1.02^{\circ}\text{C}$ 이므로 $\Delta T_b = K_b \times m = 0.51^{\circ}\text{C}/m \times \text{몰랄 농도}(m) = 1.02^{\circ}\text{C}$, (가)의 몰랄 농도는 2 m이다. 물에 A 3 g을 넣을 때의 $\Delta T_b = (T_1 - 100.00)^{\circ}\text{C}$ 이고, 이 수용액에 B 12 g을 넣을 때의 $\Delta T_b = (101.02 - T_1)^{\circ}\text{C}$ 이므로 (나)의 $\Delta T_b = \{(T_1 - 100.00) + (101.02 - T_1)\}^{\circ}\text{C} = 1.02^{\circ}\text{C}$ 이다. 따라서 (나)의 몰랄 농도도 2 m이다.

ㄴ, ㄷ. $\Delta T_b = K_b \times m$ 이므로 A의 분자량을 M_A 라고 하면, (가)에서 $\Delta T_b = 1.02^{\circ}\text{C} = 0.51^{\circ}\text{C}/m \times \frac{12}{0.1} m$ 이므로 $M_A = 60$ 이다. 따라서 (나)에서 B를 더 녹이기 전 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{3 \text{ g}}{\frac{60 \text{ g/mol}}{0.05 \text{ kg}}} = 1 m$ 이므로, ΔT_b 는 0.51°C 이고, T_1 은 100.51°C 이다. (나)에서 B 12 g을 더 녹였을 때의 $T_b = (101.02 - 100.51)^{\circ}\text{C} = 0.51^{\circ}\text{C}$ 로, A 3 g이 녹아 있을 때와 B 12 g을 넣었을 때의 ΔT_b 이 같으므로 B의 분자량은 A의 4배이다.

12 **꼼꼼** 문제 분석

A의 양(mol): $x \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = 0.1x \text{ mol}$
[실험] A의 질량 $0.1x \text{ mol} \times 200 \text{ g/mol} = 20x \text{ g}$
(가) 500 mL 부피 플라스크에 x M A 수용액 100 mL를 넣은 후 표시선까지 증류수를 채웠다.
↳ 용액의 부피: 500 mL
↳ 용액의 질량: 500 mL $\times$ 1.0 g/mL = 500 g
(나) (가) 수용액의 어는점을 측정하였더니 -0.93°C 였다.
↳ $\Delta T_f = 0.93^{\circ}\text{C}$

[자료]

수용액의 밀도	물의 K_f	A의 분자량
1.0 g/mL	$1.86^{\circ}\text{C}/m$	200

↳ $\Delta T_f = 0.93 = 1.86 \times m, m = 0.5$

ㄱ. 수용액에서 $\Delta T_f = K_f \times m = 1.86^\circ\text{C}/m \times \text{몰랄 농도}(m) = 0.93^\circ\text{C}$ 이므로 몰랄 농도는 $0.5m$ 이다.

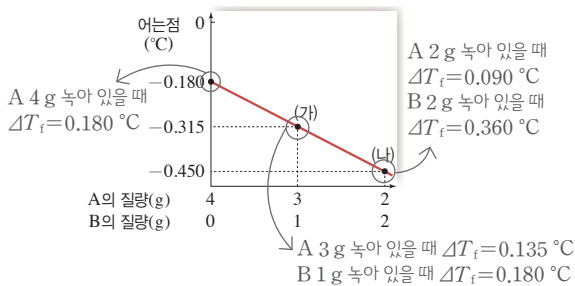
ㄴ, ㄷ. (가)에서 A의 양(mol)은 $xM \times 0.1\text{L} = 0.1x\text{mol}$ 이고, A의 분자량이 200이므로 A의 질량은 $0.1x\text{mol} \times 200\text{g/mol} = 20x\text{g}$ 이다.

$$\Delta T_f = K_f \times m = 1.86^\circ\text{C}/m \times \frac{0.1x\text{mol}}{\frac{500-20x}{1000}\text{kg}} = 0.93^\circ\text{C}$$

므로 $x = \frac{25}{11}$ 이다.

A의 질량은 $20x$ 이므로 $\frac{500}{11}\text{g}$ 이다.

13 꼭꼭 문제 분석



ㄱ. 물 100g에 A 4g이 녹아 있을 때 $\Delta T_f = 0^\circ\text{C} - (-0.180^\circ\text{C}) = 0.180^\circ\text{C}$ 이므로 A 2g이 녹아 있을 때 $\Delta T_f = \frac{0.180}{2}^\circ\text{C}$

$= 0.090^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 (나)의 B 2g에 의한 어는점 내림은 $\Delta T_f = -0.090^\circ\text{C} - (-0.450^\circ\text{C}) = 0.360^\circ\text{C}$ 이다.

$\Delta T_f = K_f \times m$ 에 의해 2g의 양(mol)은 B가 A의 4배이므로 분자량은 A가 B의 4배이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 ΔT_f 는 몰랄 농도에 비례하고, 용매의 양이 일정하므로 몰랄 농도는 용질의 양(mol)에 비례한다. 따라서 용질의 몰비는 (가) : (나) $= 0.315 : 0.450 = 7 : 10$ 이다.

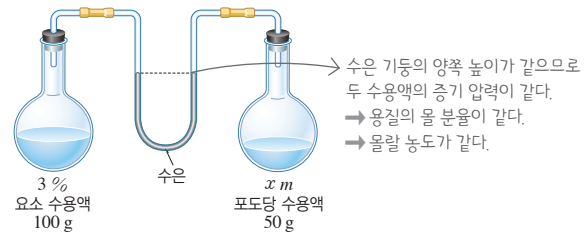
■ **바로알기** ㄷ. 어는점 내림은 (가)가 (나)보다 작으므로, 끓는점 옳름도 (가)가 (나)보다 작다. 따라서 끓는점은 (가)가 (나)보다 낮다.

14 ㄱ. 설탕물에 설탕을 추가하면 설탕물의 농도가 커지므로 삼투압이 증가하여 h 가 증가한다.

■ **바로알기** ㄴ. 삼투압은 물 농도와 절대 온도에 비례하므로 ($\pi = CRT$) 물과 설탕물의 온도가 높아지면 삼투압이 커져 h 가 증가한다.

ㄷ. 삼투 현상이 일어나는 동안에는 물이 설탕물 쪽에서 물 쪽으로 이동하는 양보다 물에서 설탕물 쪽으로 이동하는 양이 더 많으므로 설탕물의 농도가 작아진다.

15 꼭꼭 문제 분석



모범답안 (1) 0.52, 3% 요소 수용액 100g 속에 녹아 있는 요소의 질량은 3g이고 물의 질량은 97g이므로, 요소 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{3\text{g}}{\frac{60\text{g/mol}}{0.097\text{kg}}} \approx 0.52m$ 이다. 요소 수용액과 포도당 수용액은 몰랄 농도가 같으므로 x 는 약 0.52이다.

(2) 요소 수용액보다 포도당 수용액의 전체 질량이 작으므로 두 수용액에 각각 50g의 물을 더 넣으면 상대적으로 포도당 수용액에 들어 있는 물 분자의 물 분율이 더 증가하여 증기 압력이 더 커진다. 따라서 요소 수용액 쪽으로 수은 기둥이 높아진다.

채점 기준		배점
(1)	x를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	50 %
	x만 옳게 구한 경우	20 %
(2)	수은 기둥의 높이 변화와 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50 %
	수은 기둥의 높이 변화만 옳게 서술한 경우	20 %

16 꼭꼭 문제 분석

용액	(가)	(나)	(다)
용해된 용질의 질량(g)	A: a, B: b	A: 2a, B: b	A: 3a, B: 2b
용액의 어는점(°C)	t	t - 2k	t - 5k

(2k + k) 감소

모범답안 $(t + 3k)^\circ\text{C}$. (가)에 비해 (나) 용액에서 A가 $a\text{g}$ 만큼 추가되었을 때 어는점이 $2k$ 만큼 낮아지고, (나)에 비해 (다) 용액에서 A는 $a\text{g}$ 만큼 추가되고, B는 $b\text{g}$ 만큼 추가되었을 때 어는점이 $3k$ 만큼 더 낮아지므로 B $b\text{g}$ 은 어는점을 k 만큼 낮춘다. (가)에서 A $a\text{g}$ 과 B $b\text{g}$ 이 용해된 용액의 어는점이 $t^\circ\text{C}$ 이므로 순수한 용매 X의 어는점은 (가)의 어는점에 비해 $3k(=2k + k)$ 만큼 높으므로 $(t + 3k)^\circ\text{C}$ 이다.

채점 기준	배점
용매 X의 어는점을 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
용매 X의 어는점만 옳게 구한 경우	40 %

수능 실전 문제

111쪽~113쪽

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

01

선택지 분석

✗ 퍼센트 농도는 (가)가 (나)의 2배이다. 2배보다 크다

ㄴ $b = \frac{1.05}{1.1}a$ 이다.

✗ (나)에서 온도가 높아지면 a 와 b 는 감소한다. a 는 일정하다

ㄴ (나)에서 용액의 부피는 $\frac{1100}{1.05}$ mL이므로 A의 분자량을 M 이라고

할 때 몰랄 농도 $a = \frac{\frac{100}{M} \text{ mol}}{1 \text{ kg}}$ 이고, 몰 농도 $b = \frac{\frac{100}{M} \text{ mol}}{\frac{1.1}{1.05} \text{ L}}$ 이

다. 따라서 몰랄 농도와 몰 농도의 관계식은 $b = \frac{1.05}{1.1}a$ 이다.

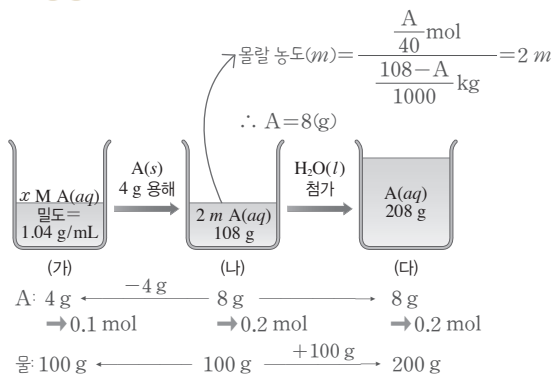
▮ **바로알기** ㄱ. (가)에서 용액의 질량은 용매의 질량 400 g과 A의 질량 100 g의 합인 500 g이므로 퍼센트 농도는 $\frac{100 \text{ g}}{500 \text{ g}} \times 100 = 20\%$ 이다.

(나)에서 용액의 질량은 용매의 질량 1000 g과 A의 질량 100 g의 합인 1100 g이므로 (나)의 퍼센트 농도는 $\frac{100 \text{ g}}{1100 \text{ g}} \times 100 \approx 9.1\%$ 이다.

따라서 퍼센트 농도는 (가)가 (나)의 2배보다 크다.

ㄷ. 온도가 높아지면 용액의 부피가 증가하므로 몰 농도 b 는 감소하지만, 몰랄 농도 a 는 온도에 관계없이 일정하다.

02 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ $x = 1$ 이다.

ㄴ A의 양(mol)은 (나)가 (가)의 2배이다.
 (가) 0.1 몰 (나) 0.2 몰

ㄷ (다)의 몰랄 농도는 1 m이다.

ㄱ. (나) 수용액 속 A의 질량을 w 라고 하면 (나)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{w}{40} \text{ mol}}{\frac{108-w}{1000} \text{ kg}} = 2 \text{ m}$ 이므로 $w = 8 \text{ (g)}$ 이다.

(가)에 A 4 g을 녹여 만든 (나)의 질량이 108 g이므로 (가)의 질량은 104 g이다.

(가)에는 A 4 g, 물 100 g이 들어 있고, (가)의 밀도는 1.04 g/mL 이므로 (가)의 부피는 100 mL이다. 따라서 (가)의 몰 농도(x)는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 1 \text{ M}$ 이다.

ㄴ. A는 (가)에 4 g, 즉 0.1몰이 녹아 있고, (나)에 8 g, 즉 0.2몰이 녹아 있으므로 A의 양(mol)은 (나)가 (가)의 2배이다.

ㄷ. (다)는 물 200 g에 A 8 g이 녹아 있으므로 (다)의 몰랄 농도는 $\frac{0.2 \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}} = 1 \text{ m}$ 이다.

03 꼼꼼 문제 분석

수용액의 부피(mL)	X			몰 농도 (M)	밀도 (g/mL)
	질량(g)	화학식량	양(mol)		
500	15	60	0.25	a	1.01

용액 500 mL에 X 15 g이 녹아 있으므로 용액 200 mL에는 X 6 g이 녹아 있다.

$\frac{0.25 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 0.5 \text{ M}$

선택지 분석

㉠ (가)의 a 는 0.5이다.

✗ (나)의 b 는 100이다. 98

✗ (가)의 몰랄 농도는 0.5 m보다 작다. 크다

ㄱ. (가)의 부피는 0.5 L이고, X의 양(mol)은 $\frac{15 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} =$

0.25 mol 이므로 $a = \frac{0.25 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 0.5 \text{ M}$ 이다.

▮ **바로알기** ㄴ. (가)는 밀도가 1.01 g/mL 이므로 (가) 200 mL의 질량은 202 g이다.

(가) 202 g에 포함된 X의 질량은 6 g이며 물 $b \text{ g}$ 을 추가한 (나)의 퍼센트 농도는 2 %이므로 $\frac{6 \text{ g}}{(202+b) \text{ g}} \times 100 = 2\%$, $b = 98$ 이다.

ㄷ. (가) 500 mL는 505 g이고, (가) 505 g 속 X의 질량이 15 g이므로 물의 질량은 490 g이다. X의 양(mol)은 $\frac{15 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0.25 \text{ mol}$ 이므로 (가) 500 mL의 몰랄 농도는 $\frac{0.25 \text{ mol}}{0.49 \text{ kg}}$ 로 0.5 m보다 크다.

04 공공 문제 분석

(가) 표와 같이 NaOH 수용액 A~C를 각각 2개씩 준비한다.

수용액	A	B	C
농도	2.5 %	2.5 m	2.5 M
질량 또는 부피	400 g	110 g	50 mL
용질의 질량	10 g	10 g	5 g

(나) 표와 같이 각각 두 수용액을 혼합한 후 증류수를 가하여 3개의 0.5 M NaOH 수용액을 만든다.

혼합한 수용액	A, B	A, C	B, C
0.5 M NaOH 수용액의 부피(mL)	V_1 = 1000 mL	V_2 = 750 mL	V_3 = 750 mL

선택지 분석

㉠ NaOH의 양(mol)은 A와 B가 같다.

㉡ V_2 는 750이다.

㉢ V_1 은 V_3 의 2배이다. 4/3 배

㉠. A는 2.5 % NaOH 수용액 400 g이므로 수용액 속에 녹아 있는 NaOH의 질량을 x 라고 하면 $\frac{x \text{ g}}{400 \text{ g}} \times 100 = 2.5 \%$, $x = 10 \text{ g}$ 이다.

B는 2.5 m NaOH 수용액 110 g이므로 수용액 속에 녹아 있는 NaOH의 질량을 y 라고 하면 $\frac{\frac{y}{40} \text{ mol}}{\frac{110-y}{1000} \text{ kg}} = 2.5 \text{ m}$, $y = 10 \text{ g}$

이다. A와 B 속에 각각 녹아 있는 NaOH의 질량이 같으므로 NaOH의 양(mol)도 같다.

㉡. C는 2.5 M NaOH 수용액 50 mL이므로 수용액 속에 녹아 있는 NaOH의 질량을 z 라고 하면 $\frac{\frac{z}{40} \text{ mol}}{0.05 \text{ L}} = 2.5 \text{ M}$, $z = 5 \text{ g}$ 이다. 따라서 A와 C를 혼합한 용액 속에 녹아 있는 NaOH의 양(mol)은 $\frac{(10+5) \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = \frac{3}{8} \text{ mol}$ 이다.

$0.5 \text{ M} \times \frac{V_2}{1000} \text{ L} = \frac{3}{8} \text{ mol}$ 이므로 V_2 는 750 mL이다.

㉢. A와 B를 혼합한 용액 속에 녹아 있는 NaOH의 양(mol)은 $\frac{(10+10) \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = \frac{1}{2} \text{ mol}$ 이다.

B와 C를 혼합한 용액 속에 녹아 있는 NaOH의 양(mol)은 $\frac{(10+5) \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = \frac{3}{8} \text{ mol}$ 이다.

용질의 양(mol)은 용액의 몰 농도와 부피의 곱인데, 용액의 몰 농도가 0.5 M로 같으므로 용액의 부피비는 용질의 몰비와 같다. 따라서 $V_1 : V_3 = \frac{1}{2} : \frac{3}{8} = 4 : 3$ 이므로 V_1 은 V_3 의 $\frac{4}{3}$ 배이다.

05

선택지 분석

㉠ (가)에서 용질의 몰 분율은 $\frac{7}{8}$ 이다. 1/8

㉡ $w = 30$ 이다.

㉢ $x = \frac{1}{18}P$ 이다. 17/18 P

㉠. 용매의 분자량을 M 이라고 하면 용질 X의 분자량은 $3M$ 이다. $\Delta P = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}}$ 이므로 (가)에서 $\Delta P = P - \frac{7}{8}P = \frac{1}{8}P = P \times X_{\text{용질}}$ 이다. 따라서 $X_{\text{용질}} = \frac{1}{8}$ 이다.

이때 X의 양(mol)은 $\frac{w}{3M}$ 이고, 용매의 양(mol)은 $\frac{100-w}{M}$ 이

므로 $X_{\text{용질}} = \frac{\frac{w}{3M}}{\frac{w}{3M} + \frac{100-w}{M}} = \frac{1}{8}$, $w = 30$ 이다.

㉡. (가)에서 $X_{\text{용질}} = \frac{1}{8}$ 이다.

㉢. (나)에서 X의 질량은 30 g, 용매의 질량은 170 g이므로 $P_{\text{용액}} = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}}$ 를 이용하여 x 를 구하면 다음과 같다.

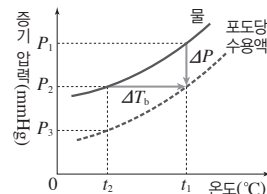
$$x = P_{\text{용액}} = P \times \frac{\frac{170}{M}}{\frac{30}{3M} + \frac{170}{M}} = \frac{17}{18}P$$

06 공공 문제 분석

같은 온도에서 용매의 증기 압력은 용액의 증기 압력보다 크다. $\Rightarrow t_1: P_1 > P_2, t_2: P_2 > P_3$

온도(°C)		t_1	t_2
증기 압력 (mmHg)	물	P_1	P_2
	a m 포도당 수용액	P_2	P_3

P_1 은 P_2 보다 크고, P_2 는 P_3 보다 크므로 온도는 t_1 이 t_2 보다 높다. 따라서 이를 그래프로 나타내면 다음과 같다.



선택지 분석

㉠ t_1 은 t_2 보다 높다.

㉢ $\frac{P_2}{P_1}$ 는 $\frac{P_3}{P_2}$ 보다 크다. 같다

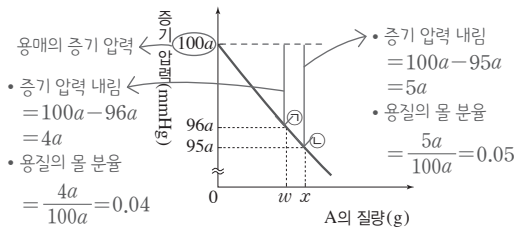
㉡ P_2 에서 a m 포도당 수용액의 끓는점 오름은 $(t_1 - t_2)$ 이다.

ㄱ. 같은 온도에서 용매인 물의 증기 압력은 용액의 증기 압력보다 크다. t_2 에서 물의 증기 압력과 t_1 에서 $a\text{ m}$ 포도당 수용액의 증기 압력이 P_2 로 같으므로 $t_1 > t_2$ 이다.

ㄴ. P_2 일 때 용매인 물의 끓는점은 t_2 이고, $a\text{ m}$ 포도당 수용액의 끓는점은 t_1 이므로 끓는점 오름은 $(t_1 - t_2)$ 이다.

▣ **바로알기** ▮. t_1 에서 $P_2 = X_{\text{용매}} \times P_1$ 이 성립하고, t_2 에서는 $P_3 = X'_{\text{용매}} \times P_2$ 가 성립한다. 이때 포도당 수용액의 몰랄 농도가 $a\text{ m}$ 로 일정하므로 온도가 달라도 용매의 몰 분율은 같다. 따라서 $\frac{P_2}{P_1} (= X_{\text{용매}})$ 와 $\frac{P_3}{P_2} (= X'_{\text{용매}})$ 은 같다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ☒ 용액의 기준 끓는점은 ㉠이 ㉡보다 **높다**. **낮다**
- ☒ ㉠에서 증기 압력 내림(ΔP)은 **96a**이다. **4a**
- ☒ $x = \frac{24}{19}w$ 이다.

ㄴ. $\Delta P = P^\circ_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}}$ 이므로 A의 분자량을 M_A 라고 하면 ㉠의 $\Delta P = 100a \times \frac{\frac{w}{M_A}}{n_{\text{물}} + \frac{w}{M_A}} = 4a$, ㉡의 $\Delta P = 100a \times \frac{\frac{x}{M_A}}{n_{\text{물}} + \frac{x}{M_A}} = 5a$ 이다. $\frac{w}{M_A} = \frac{n_{\text{물}}}{24}$, $\frac{x}{M_A} = \frac{n_{\text{물}}}{19}$ 이므로 $x = \frac{24}{19}w$ 이다.

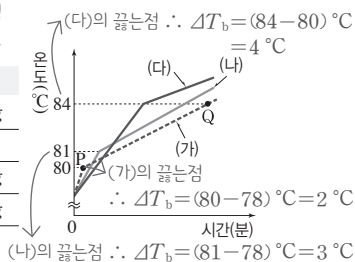
▣ **바로알기** ▮. 용액의 증기 압력은 ㉠이 ㉡보다 크므로 기준 끓는점은 ㉠이 ㉡보다 낮다.

▮. ㉠에서 용액의 증기 압력은 $96a$ 이므로 증기 압력 내림(ΔP)은 $100a - 96a = 4a$ 이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

용매의 종류가 같아서 끓는점 오름과 몰랄 농도에 비례한다.

용액	용매	용질
(가)	A 100 g	X 2a g
(나)	A 100 g	Y a g
(다)	B 300 g	Y 2a g
(라)	B 200 g	X 3a g



선택지 분석

- ☒ 분자량은 Y가 X의 **3배**이다. **$\frac{1}{3}$ 배**
- ☒ 몰랄 농도는 Q가 P의 3배이다.
- ☒ (라)의 끓는점 오름(ΔT_b)은 **3 °C**이다.

▮. (가)에서 용매인 A의 끓는점은 78 °C 이므로 끓는점 오름(ΔT_b)은 P에서 $80\text{ °C} - 78\text{ °C} = 2\text{ °C}$ 이고, Q에서 $84\text{ °C} - 78\text{ °C} = 6\text{ °C}$ 이다. ΔT_b 은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 몰랄 농도는 Q가 P의 3배이다.

ㄴ. (가)에서 ΔT_b 은 2 °C 이고, (나)에서 ΔT_b 은 $81\text{ °C} - 78\text{ °C} = 3\text{ °C}$ 이다. (가)와 (나)에서 용매의 종류가 같아 ΔT_b 이 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 X와 Y의 분자량을 각각 M_X , M_Y 라고 할 때 $2 : 3 = \frac{2a}{M_X} : \frac{a}{M_Y}$ 에서 $M_X : M_Y = 3 : 1$ 이다. 이때 (다)와 (라)는 용매의 종류가 같고, (다)의 ΔT_b 은 $84\text{ °C} - 80\text{ °C} = 4\text{ °C}$ 이므로 $4 : (\text{라})의 \Delta T_b = \frac{2a}{M_Y} : \frac{3a}{M_X}$ 이고, $M_X : M_Y = 3 : 1$ 이므로 (라)의 ΔT_b 은 3 °C 이다.

▣ **바로알기** ▮. $M_X : M_Y = 3 : 1$ 이므로 분자량은 Y가 X의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

09

선택지 분석

- ☒ (가)에서 끓는점 오름은 **0.63 °C**이다.
- ☒ ㉠은 **6.4**이다.
- ☒ 퍼센트 농도(%)는 (가)가 (나)의 **$\frac{1}{2}$ 배**이다. **$\frac{1}{2}$ 배보다 크다**.

ㄱ. (가)에서 $\Delta T_b = K_b \times m = 2.52\text{ °C/m} \times \frac{\frac{6.4}{128}\text{ mol}}{0.2\text{ kg}} = 0.63\text{ °C}$ 이다.

▮. 용매 A의 끓는점은 $(80.83 - 0.63)\text{ °C} = 80.2\text{ °C}$ 이다. (나)에서 $\Delta T_b = K_b \times m = 2.52\text{ °C/m} \times \frac{\frac{㉠}{128}\text{ mol}}{0.1\text{ kg}} = (81.46 - 80.2)\text{ °C}$ 이다. 따라서 ㉠은 6.4이다.

▣ **바로알기** ▮. (가)와 (나)에서 용질의 질량은 같고 용매 A의 질량이 (가)가 (나)의 2배이므로 용액의 질량은 (가)가 (나)의 2배보다 작다. 따라서 퍼센트 농도는 (가)가 (나)의 $\frac{1}{2}$ 배보다 크다.

▣ **다른 풀이** (가)에서 용질의 질량은 6.4 g이고, 용액의 질량은 206.4 g이므로 퍼센트 농도는 $\frac{6.4\text{ g}}{206.4\text{ g}} \times 100 \approx 3.1\%$ 이다.

(나)에서 용질의 질량은 6.4 g이고, 용액의 질량은 106.4 g이므로 퍼센트 농도는 $\frac{6.4 \text{ g}}{106.4 \text{ g}} \times 100 \approx 6.0 \%$ 이다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

용질의 종류	A			B		
용질의 분자량	60			$x=180$		
용질의 질량(g)	3	6	9	9	18	27
용질의 양(mol)	$\frac{3}{60}$	$\frac{6}{60}$	$\frac{9}{60}$	$\frac{9}{x}$	$\frac{18}{x}$	$\frac{27}{x}$
수용액의 어는점(°C)	$-t$	$-2t$	$-3t$	$-t$	$-2t$	$-3t$

선택지 분석

- ㉠ x 는 180이다.
 ㉡ 물의 몰랄 내림 상수는 $20t$ 이다.
 ㉢ A 3 g과 B 9 g이 포함된 두 수용액을 혼합한 수용액의 어는점은 $-2t$ 이다. $-t$

㉠. A 3 g과 B 9 g이 녹아 있는 두 수용액의 어는점이 같으므로 몰랄 농도가 같다. 따라서 $\frac{3}{60} = \frac{9}{x}$, $x=180$ 이다.

㉡. 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. A 3 g이 녹아 있는 용액의 어는점이 $-t$ 이므로 $t = K_f \times \frac{3}{60}$ 이다. 따라서 물의 몰랄 내림 상수 $K_f = 20t$ 이다.

㉢. A 3 g과 B 9 g이 포함된 두 수용액은 몰랄 농도가 같으므로 두 수용액을 혼합하여도 몰랄 농도가 변하지 않는다. 따라서 혼합 용액의 어는점은 혼합 전 두 수용액의 어는점과 같은 $-t$ 이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

용질 X, Y의 화학식량을 각각 M_X , M_Y 라고 할 때 용질의 양(mol)은 다음과 같다.

용액	(가)	(나)	(다)
용질의 질량(g)	X: 9 Y: 1	5 5	3 7
용질의 양(mol)	X: $\frac{9}{M_X}$ Y: $\frac{1}{M_Y}$ X+Y: $\frac{9}{M_X} + \frac{1}{M_Y}$	$\frac{5}{M_X}$ $\frac{5}{M_Y}$ $\frac{5}{M_X} + \frac{5}{M_Y}$	$\frac{3}{M_X}$ $\frac{7}{M_Y}$ $\frac{3}{M_X} + \frac{7}{M_Y}$
$\Delta T_f(^\circ\text{C})$	a	$x = \frac{5}{3}a$	$2a$

선택지 분석

- ㉠ 화학식량은 X가 Y의 3배이다.
 ㉡ 용매 A의 몰 분율은 (가)가 (다)보다 작다. **크다**
 ㉢ x 는 $\frac{5}{3}a$ 이다.

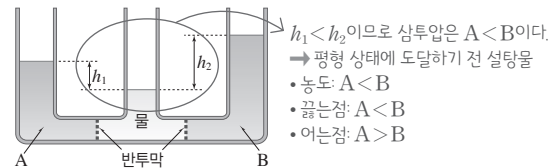
㉠. 용질 X, Y의 화학식량을 각각 M_X , M_Y 라고 할 때 (가)와 (다)에서 ΔT_f 은 1 : 2이고, 용매의 종류가 같을 때 ΔT_f 은 몰랄 농도에 비례하므로 $\left(\frac{9}{M_X} + \frac{1}{M_Y}\right) : \left(\frac{3}{M_X} + \frac{7}{M_Y}\right) = 1 : 2$ 이다. 따라서 $M_X : M_Y = 3 : 1$ 이므로 화학식량은 X가 Y의 3배이다.

㉢. (가)와 (나)에서 $\left(\frac{9}{3M_Y} + \frac{1}{M_Y}\right) : \left(\frac{5}{3M_Y} + \frac{5}{M_Y}\right) = \frac{12}{3M_Y} : \frac{20}{3M_Y} = a : x$ 이다. 따라서 $x = \frac{5}{3}a$ 이다.

㉡. A의 몰 분율은 $\frac{n_A}{n_A + n_{\text{용질}}}$ 인데, (가)와 (다)에서 용질의 몰비는 $\left(\frac{9}{3M_Y} + \frac{1}{M_Y}\right) : \left(\frac{3}{3M_Y} + \frac{7}{M_Y}\right) = \frac{12}{3M_Y} : \frac{24}{3M_Y} = 1 : 2$ 이다.

용질의 양(mol)은 (다)가 (가)보다 크므로 A의 몰 분율은 (가)가 (다)보다 크다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 설탕물을 용기에 넣은 초기 상태일 때 설탕물의 어는점은 A가 B보다 높다.
 ㉡ h_1 과 h_2 가 각각 0이 되기 위해 가해 주어야 하는 압력은 B가 A보다 크다.
 ㉢ 온도를 10°C 로 낮추면 물과 A의 수면의 높이 차는 h_1 보다 작아진다.

㉠. $h_1 < h_2$ 이므로 초기 상태일 때 설탕물의 농도는 B가 A보다 크다. 따라서 1기압에서 어는점은 A가 B보다 높다.

㉡. h_1 과 h_2 가 각각 0이 되기 위해 가해 주어야 하는 압력은 삼투압과 같으므로 B가 A보다 크다.

㉢. 온도를 10°C 로 낮추면 삼투압의 크기가 감소하므로 물과 A의 수면 높이 차는 h_1 보다 작아진다.



II. 반응엔탈피와 화학 평형

1

반응엔탈피



01

반응엔탈피

개념 확인 문제

121 쪽

- ① 반응열 ② 엔탈피(H) ③ 생성물 ④ 반응물 ⑤ 방출
⑥ < ⑦ < ⑧ 흡수 ⑨ > ⑩ > ⑪ 열화학 반응식
⑫ 상태

- 1 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ 2 ㄱ, ㄷ 3 ㄱ, ㄴ, ㄷ
4 (1) × (2) ○ (3) ×
5 $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g), \Delta H = -393.5 \text{ kJ}$

- 1 (1) 반응물과 생성물이 가진 에너지가 다르므로 화학 반응이 일어날 때 항상 열이 출입한다.
(2) 흡열 반응이 일어나면 열을 흡수하므로 주위의 온도가 낮아진다.
(3) 어떤 물질이 가진 엔탈피의 절댓값은 알아낼 수 없고, 화학 반응에서 출입하는 열량을 측정하여 엔탈피 변화를 알 수 있다.
(4) 화학 반응이 일어날 때 열을 방출하거나 흡수하는 것은 물질이 가진 엔탈피가 서로 다르기 때문이다.
(5) 반응엔탈피는 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때의 엔탈피 변화로, 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값이다.

2 ㄱ, ㄷ. 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 크므로, 엔탈피 차이만큼의 에너지를 흡수하는 흡열 반응이다. 흡열 반응에서는 엔탈피가 증가하므로 반응엔탈피(ΔH)가 0보다 크다.

3 열화학 반응식으로 반응물과 생성물의 종류 및 상태, 반응엔탈피(ΔH) 등을 알 수 있지만 반응물이나 생성물의 엔탈피는 알 수 없다.

4 (1) $\Delta H < 0$ 이므로 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크다. 즉, 반응물인 $[CH_4(g) \text{ 1몰} + O_2(g) \text{ 2몰}]$ 은 생성물인 $[CO_2(g) \text{ 1몰} + H_2O(l) \text{ 2몰}]$ 보다 엔탈피가 890.8 kJ만큼 크다.
(2) $CH_4(g)$ 1몰이 연소할 때 방출하는 열량이 890.8 kJ이므로 $CH_4(g)$ 2몰이 연소할 때 방출하는 열량은 1781.6 kJ이다.

(3) $CH_4(g)$ 이 연소하여 물($H_2O(l)$) 2몰이 생성될 때의 반응엔탈피가 -890.8 kJ 이다. 물질의 상태에 따라 반응엔탈피가 달라지므로 $CH_4(g)$ 이 연소하여 수증기($H_2O(g)$)가 생성될 때의 반응엔탈피는 알 수 없다.

5 $C(s, \text{흑연})$ 1몰이 $O_2(g)$ 와 반응하여 완전 연소하면 $CO_2(g)$ 1몰을 생성한다. 연소 반응은 발열 반응이므로 반응엔탈피(ΔH)는 0보다 작다.

개념 확인 문제

124 쪽

- ① 연소 엔탈피 ② 용해 엔탈피 ③ 중화 엔탈피 ④ 생성 엔탈피
⑤ 표준 생성 엔탈피 ⑥ 작을 ⑦ 분해 엔탈피 ⑧ 생성

- 1 (1) ㄹ (2) ㄷ (3) ㄷ (4) ㄱ (5) ㄱ 2 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○
(5) ○ 3 (1) × (2) × (3) ○ 4 $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g), \Delta H = -92.2 \text{ kJ}$
5 (1) -393.5 kJ/mol (2) -393.5 kJ/mol (3) 393.5 kJ/mol

- 1 (1) $NH_4NO_3(s)$ 1몰이 용매에 용해될 때의 반응엔탈피이므로 용해 엔탈피이다.
(2) 가장 안정한 성분 원소인 $H_2(g)$ 와 $Cl_2(g)$ 로부터 $HCl(g)$ 1몰이 생성될 때의 반응엔탈피이므로 생성 엔탈피이다.
(3) $CH_4(g)$ 1몰이 가장 안정한 성분 원소인 $C(s, \text{흑연})$ 과 $H_2(g)$ 로 분해될 때의 반응엔탈피이므로 분해 엔탈피이다.
(4) $CH_4(g)$ 1몰이 완전 연소할 때의 반응엔탈피이므로 연소 엔탈피이다.
(5) 산($HCl(aq)$)과 염기($NaOH(aq)$)가 중화 반응하여 물 1몰이 생성될 때의 반응엔탈피이므로 중화 엔탈피이다.

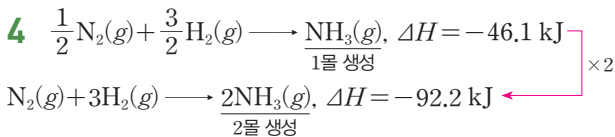
2 (1) 연소 엔탈피는 물질 1몰이 연소하여 가장 안정한 상태의 생성물로 될 때의 반응엔탈피이다. 예를 들어, 표준 상태($25^\circ C$, 1기압)에서의 메테인($CH_4(g)$) 연소 반응에서 생성물 중 이산화탄소는 기체 상태($CO_2(g)$), 물은 액체 상태($H_2O(l)$)일 때의 반응엔탈피이다.

- (2) 연소 반응은 발열 반응이므로 연소 엔탈피는 항상 0보다 작다.
(3) 중화 엔탈피는 산과 염기가 중화 반응하여 물 1몰이 생성될 때의 반응엔탈피이다.
(4), (5) 중화 반응은 산과 염기의 종류에 관계없이 알짜 이온 반응식이 같으므로 중화 엔탈피는 -55.8 kJ/mol 로 같다.

3 (1) $C(s, \text{흑연})$ 과 $C(s, \text{다이아몬드})$ 는 모두 원소이지만 $25^\circ C$, 1기압에서 가장 안정한 원소는 $C(s, \text{흑연})$ 이므로 $C(s, \text{흑연})$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이고 $C(s, \text{다이아몬드})$ 의 표준 생성 엔탈피는 0보다 크다.

(2) 같은 원소로부터 생성된 화합물만 표준 생성 엔탈피를 이용해 상대적 안정성을 비교할 수 있다.

(3) 분해 반응은 생성 반응의 반대 과정이므로, 분해 엔탈피는 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호가 반대이다.



5 (1) C(s, 흑연) 1몰이 산소와 반응하여 완전 연소하므로 반응 엔탈피는 C(s, 흑연)의 연소 엔탈피와 같다.

(2) 가장 안정한 성분 원소인 C(s, 흑연)와 $O_2(g)$ 로부터 $CO_2(g)$ 1몰이 생성되므로 반응엔탈피는 $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피와 같다.

(3) 분해 엔탈피는 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호는 반대이다.

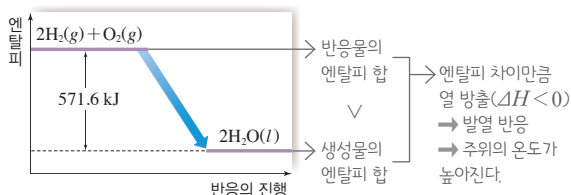
대표 자료 분석

125쪽

자료 1 1 높아진다. $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}),$
 $\Delta H = -571.6 \text{ kJ}$ 3 285.8 kJ 4 (1) ○ (2) ○
 (3) × (4) × (5) × (6) ×

자료 2 $1 - \Delta H_1$ 2 생성 엔탈피 3 $\frac{1}{2} \Delta H_3$ 4 (1) ○
(2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○

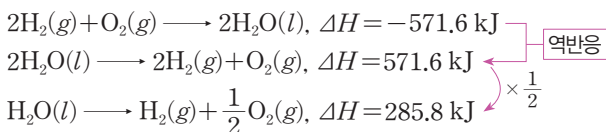
1-1 꼬꼬 문제 분석



①-2 열화학 반응식은 반응물과 생성물을 상태와 함께 나타내고, 반응엔탈피(ΔH)를 표시한다.

• 반응물: $\text{H}_2(g)$ 2몰 + $\text{O}_2(g)$ 1몰
 • 생성물: $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2몰
 $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l), \Delta H = -571.6 \text{ kJ}$

①-3 역반응의 반응엔탈피(ΔH)는 정반응의 반응엔탈피(ΔH)와 절댓값은 같고 부호는 반대이다. 또한 반응엔탈피는 반응에 참여한 반응물의 양에 비례한다.



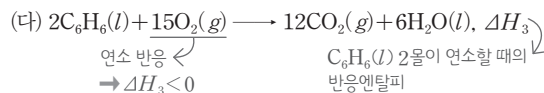
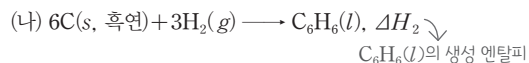
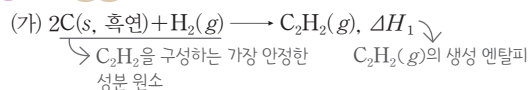
①-4 (1), (2) 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크므로 발열 반응이다.

(3), (4) 반응엔탈피는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값이므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2몰의 엔탈피가 $\text{H}_2(g)$ 2몰과 $\text{O}_2(g)$ 1몰의 엔탈피 합보다 571.6 kJ만큼 더 작다는 것을 알 수 있을 뿐, 각 물질의 엔탈피는 알 수 없다.

(5) $\text{H}_2(g)$ 1몰이 완전 연소하면 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1몰이 생성되므로, 이때 방출하는 열은 $285.8 \left(= \frac{571.6}{2} \right) \text{ kJ}$ 이다.

(6) 반응물과 생성물의 양이 2배가 되면 반응엔탈피의 크기도 2배가 된다. $\text{H}_2(g)$ 2몰과 $\text{O}_2(g)$ 1몰이 반응하여 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2몰을 생성할 때 571.6 kJ의 열을 방출하므로, $\text{H}_2(g)$ 4몰과 $\text{O}_2(g)$ 2몰이 반응하여 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 4몰을 생성할 때 방출하는 열은 1143.2 kJ이다.

②-1 문제 분석



(가)의 ΔH_1 은 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 1몰이 가장 안정한 성분 원소인 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 와 $\text{H}_2(g)$ 로부터 생성될 때의 반응엔탈피이므로 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 생성 엔탈피이다. 분해 반응은 생성 반응의 반대 과정이므로 분해 엔탈피는 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호는 반대이다.

②-2 (나)의 ΔH_2 는 $\text{C}_6\text{H}_6(l)$ 1몰이 가장 안정한 성분 원소인 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 과 $\text{H}_2(g)$ 로부터 생성될 때의 반응엔탈피이므로 $\text{C}_6\text{H}_6(l)$ 의 생성 엔탈피이다.

2-3 (다)의 ΔH_3 은 $\text{C}_6\text{H}_6(l)$ 2몰이 완전 연소할 때의 반응엔탈피이므로 $\text{C}_6\text{H}_6(l)$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{2} \Delta H_3$ 이다.

2-4 (1), (2) 분해 엔탈피는 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호는 반대이므로 $C_6H_6(l)$ 의 분해 엔탈피는 $-4H_f$ 이다.

(3) 25 °C, 1기압에서의 생성 엔탈피를 표준 생성 엔탈피라고 하며, 같은 원소로부터 생성된 화합물의 경우 표준 생성 엔탈피가 작을수록 상대적으로 안정하다. 따라서 ΔH_1 과 ΔH_2 를 비교하면 $C_2H_2(g)$ 과 $C_6H_6(l)$ 의 상대적 안정성을 비교할 수 있다.

(4) 연소 반응은 발열 반응이므로, 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.

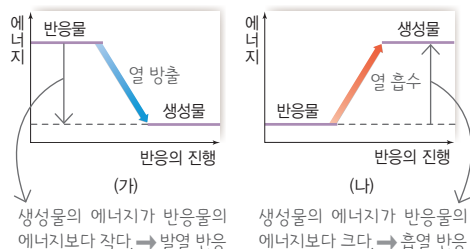
(5) (다)의 ΔH_3 은 $\text{CO}_2(g)$ 12몰이 생성될 때의 반응엔탈피이므로 $\text{CO}_2(g)$ 6몰이 생성될 때의 반응엔탈피는 $\frac{1}{2}\Delta H_3$ 이다.

내신 만점 문제

126 쪽 ~ 129 쪽

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

01 꼭꼭 문제 분석



ㄴ, ㄷ. (나)는 생성물의 에너지가 반응물의 에너지보다 큰 흡열 반응이므로 반응이 일어날 때 열을 흡수한다. 따라서 (나)의 반응이 일어날 때 주위의 온도가 낮아진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)는 생성물의 에너지가 반응물의 에너지보다 작은 발열 반응이므로 반응이 일어날 때 열을 방출한다.

02 ㄴ. 메테인의 연소는 발열 반응이므로 (나) 반응이 일어날 때 열이 방출된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 손난로는 화학 반응이 일어날 때 발생하는 열을 이용하는 것이므로, 철 가루와 산소의 반응은 발열 반응이다.

ㄷ. 냉찜질 주머니는 화학 반응이 일어날 때 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아지는 것을 이용하는 것이므로, 질산 암모늄($\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$)의 용해 반응은 흡열 반응이다. 따라서 (다)에서 생성물의 엔탈피는 반응물의 엔탈피보다 크다.

03 꼭꼭 문제 분석

NaOH(s)의 질량(g)	4	→ 용액의 질량은 $(4+96)\text{g} = 100\text{g}$ 이다.
물의 질량(g)	96	→ m
물의 처음 온도(°C)	25	→ 물의 온도가 9°C 높아졌으므로 발열 반응이 일어났다. → Δt
용액의 나중 온도(°C)	34	
용액의 비열(J/(g·°C))	4.2	→ $Q = cm\Delta t$ 로 방출한 열량을 구한다.

ㄱ. 용액의 온도가 높아졌으므로 NaOH(s)이 용해될 때 열을 방출한 것이다.

ㄴ, ㄷ. 열량계와 외부 사이의 열 출입이 없으므로, NaOH(s)이 용해될 때 방출한 열량은 열량계 속 용액이 얻은 열량과 같다. 용액의 질량은 $100(=4+96)\text{g}$, 온도 변화는 9°C이고, 용액의 비열이 $4.2\text{J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ 이므로 용액이 얻은 열량은 다음과 같다.

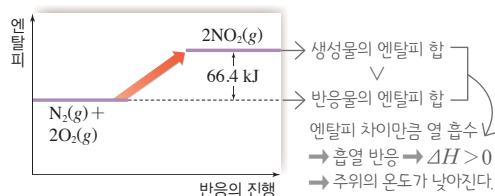
$$Q = cm\Delta t = 4.2\text{J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}) \times 100\text{g} \times 9^\circ\text{C} = 3780\text{J} = 3.78\text{kJ}$$

04 ㄱ. 반응물의 엔탈피가 생성물의 엔탈피보다 크므로 반응이 진행되면 엔탈피 차이만큼의 열을 방출한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 2몰의 $\text{O}_3(g)$ 과 3몰의 $\text{O}_2(g)$ 의 엔탈피 차이가 284.6 kJ이다.

ㄷ. 반응엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 것으로, 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 더 큰 발열 반응은 반응엔탈피(ΔH)가 0보다 작다.

05 꼭꼭 문제 분석



▮ **바로알기** ▮ ①, ② 반응물 [$\text{N}_2(g) + 2\text{O}_2(g)$]의 엔탈피 합이 생성물 $2\text{NO}_2(g)$ 의 엔탈피 합보다 작으므로 흡열 반응이다.

③, ④ $\text{NO}_2(g)$ 2몰의 엔탈피 합 - [$\text{N}_2(g)$ 1몰 + $\text{O}_2(g)$ 2몰]의 엔탈피 합 $> 0 \Rightarrow$ 반응엔탈피(ΔH) $> 0 \Rightarrow \Delta H = 66.4\text{kJ}$

06 ㄱ, ㄴ. 3가지 반응은 모두 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이다. 따라서 반응이 일어날 때 열을 방출하여 주위의 온도가 높아진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 발열 반응에서 엔탈피 합은 반응물이 생성물보다 크다.

07 ㄱ. 반응물의 종류는 질소(N_2)와 수소(H_2)이다.

ㄴ. 생성물인 NH_3 는 기체 상태이다.

ㄷ. 반응엔탈피(ΔH)의 크기는 -92kJ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 열화학 반응식으로 반응물의 엔탈피 합과 생성물의 엔탈피 합의 차이는 알 수 있지만, 반응물과 생성물 각각의 엔탈피는 알 수 없다.

08 **모범답안** -138kJ , $\text{N}_2(g)$ 1몰이 충분한 양의 $\text{H}_2(g)$ 와 반응하여 $\text{NH}_3(g)$ 를 생성할 때의 반응엔탈피(ΔH)는 -92kJ 이다. 따라서 $\text{N}_2(g)$ $1.5\left(=\frac{42}{28}\right)$ 몰이 반응할 때의 반응엔탈피(ΔH)는 $-138(=-92 \times 1.5)\text{kJ}$ 이다.

채점 기준	배점
반응엔탈피를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
반응엔탈피만 옳게 구한 경우	30 %

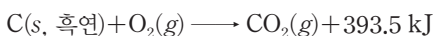
09 ㄱ. $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이다. 따라서 반응이 일어날 때 주위의 온도가 높아진다.

바로알기 ㄴ. 반응엔탈피로 생성물의 엔탈피 합과 반응물의 엔탈피 합의 차이는 알 수 있지만, 반응물과 생성물 각각의 엔탈피 절댓값은 알 수 없다.

ㄷ. $\text{HCl}(g)$ 2몰이 생성될 때 185 kJ의 열을 방출하므로 $\text{HCl}(g)$ 1몰이 생성될 때 92.5 kJ의 열을 방출한다.

10 ④ $\text{CaO}(s) + \text{CO}_2(g) \longrightarrow \text{CaCO}_3(s)$ 반응은 (나) 반응의 역반응이므로 반응엔탈피(ΔH)의 부호는 (나)의 반응엔탈피와 반대이다. 따라서 $\Delta H < 0$ 이다.

바로알기 ① 열화학 반응식에 반응열(Q)을 나타낼 때 반응열의 부호는 발열 반응은 '+', 흡열 반응은 '-'로 표시하여 생성물 쪽에 나타낸다. (가)는 발열 반응이므로, 반응열로 나타낸 열화학 반응식은 다음과 같다.



② (가)는 $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이다. 따라서 (가)에서 생성물의 엔탈피 합은 반응물의 엔탈피 합보다 작다.

③ (나)에서 $\text{CO}_2(g)$ 1몰이 생성될 때 178.3 kJ의 열을 흡수하므로 $\text{CO}_2(g)$ 2몰이 생성될 때에는 356.6 kJ의 열을 흡수한다.

⑤ 물질의 상태에 따라 반응엔탈피가 달라진다.

11 ②, ⑤ 생성 엔탈피는 가장 안정한 성분 원소로부터 어떤 물질 1몰이 생성될 때의 반응엔탈피이고, 분해 엔탈피는 어떤 물질 1몰이 가장 안정한 성분 원소로 분해될 때의 반응엔탈피이다. 따라서 분해 엔탈피는 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호는 반대이다.

③ 어떤 물질 1몰이 완전 연소할 때의 반응엔탈피는 연소 엔탈피이다. 연소 반응은 발열 반응이므로 연소 엔탈피는 항상 0보다 작다.

④ 중화 엔탈피는 산과 염기가 반응하여 물 1몰이 생성될 때의 반응엔탈피이다.

바로알기 ① 가장 안정한 성분 원소의 표준 생성 엔탈피(ΔH_f°)가 0이다. 즉, 모든 원소의 ΔH_f° 가 0은 아니다.

12 **꼭꼭** 문제 분석

(가) $\text{H}_2\text{SO}_4(l) \xrightarrow{\text{용해}} \text{H}_2\text{SO}_4(aq)$, $\Delta H_1 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(l)$ 의 용해 엔탈피

(나) $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + \frac{3}{2}\text{H}_2(g) \xrightarrow{\text{생성}} \text{NH}_3(g)$, ΔH_2
 $\searrow$
 NH_3 를 구성하는 가장 안정한 성분 원소 $\text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피

(다) $\text{CH}_3\text{OH}(l) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \xrightarrow{\text{연소}} \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$, ΔH_3
 $\searrow$
 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 의 연소 엔탈피
 $\rightarrow$ 연소 반응 $\rightarrow$ 발열 반응 $\rightarrow \Delta H_3 < 0$

ㄱ. ΔH_1 은 $\text{H}_2\text{SO}_4(l)$ 1몰이 물에 용해되어 $\text{H}_2\text{SO}_4(aq)$ 이 될 때의 반응엔탈피로, $\text{H}_2\text{SO}_4(l)$ 의 용해 엔탈피이다.

ㄴ. ΔH_2 는 $\text{NH}_3(g)$ 1몰이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응엔탈피이므로 $\text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피이다. 분해 엔탈피는 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호가 반대이므로 $\text{NH}_3(g)$ 의 분해 엔탈피는 $-\Delta H_2$ 이다.

ㄷ. ΔH_3 은 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 1몰이 완전 연소할 때의 반응엔탈피이므로 연소 엔탈피이다. 연소 엔탈피는 0보다 작다.

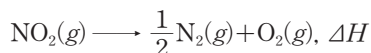
바로알기 ㄷ. $\text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 ΔH_2 이다.

13 ①, ② $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이고, 엔탈피의 합은 반응물이 생성물보다 크다.

③ $\text{NO}(g)$ 2몰이 완전 연소할 때 반응엔탈피가 -114.2 kJ 이므로 $\text{NO}(g)$ 의 연소 엔탈피는 $-57.1 \left(= -\frac{114.2}{2} \right) \text{ kJ/mol}$ 이다.

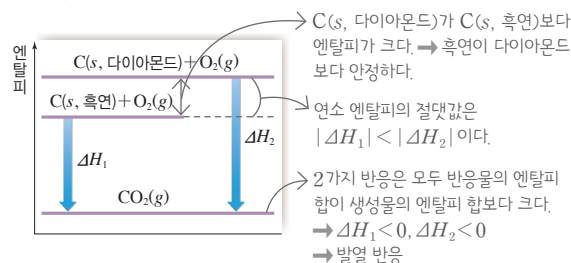
⑤ $\text{NO}(g)$ 60 g은 $2 \left(= \frac{60}{30} \right)$ 몰이므로, $\text{NO}(g)$ 60 g이 완전 연소하면 114.2 kJ의 열을 방출한다.

바로알기 ④ $\text{NO}_2(g)$ 의 분해 엔탈피는 $\text{NO}_2(g)$ 1몰이 가장 안정한 성분 원소로 분해되는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



따라서 제시된 열화학 반응식으로는 $\text{NO}_2(g)$ 의 분해 엔탈피는 알 수 없다.

14 **꼭꼭** 문제 분석



ㄷ. $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 와 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 연소 생성물은 $\text{CO}_2(g)$ 로 같은데 엔탈피는 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 가 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 보다 크다. 따라서 연소 엔탈피의 절댓값은 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 가 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 보다 크다.

바로알기 ㄱ. 2가지 반응은 모두 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크므로 발열 반응이다. 따라서 ΔH_1 과 ΔH_2 는 모두 음(-)의 값이다.

ㄴ. 가장 안정한 원소의 표준 생성 엔탈피가 0이다. $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 는 원소이지만 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 보다 엔탈피가 크므로 가장 안정한 원소는 아니다. 따라서 생성 엔탈피는 0보다 크다.

15 **문제 분석**

$\Delta H < 0 \rightarrow \text{HCl}(g)$ 의 용해는 발열 반응이다. $\Delta H > 0 \rightarrow \text{KCl}(s)$ 과 $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 의 용해는 흡열 반응이다.

물질	$\text{HCl}(g)$	$\text{KCl}(s)$	$\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$
$\Delta H(\text{kJ/mol})$	-74.8	17.2	25.7

$|\Delta H|$ 는 $\text{HCl}(g) > \text{NH}_4\text{NO}_3(s) > \text{KCl}(s)$ 이다.

ㄴ. $\text{KCl}(s)$ 의 용해는 흡열 반응이므로, $\text{KCl}(s)$ 을 물에 녹이면 용액의 온도가 낮아진다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. $\text{HCl}(g)$ 의 용해 엔탈피가 0보다 작으므로 $\text{HCl}(g)$ 의 용해는 발열 반응이다.

ㄷ. 화학 반응에서 출입하는 열량(Q)= $cm\Delta t$ 이므로, 용액의 비열과 질량이 같을 때 출입하는 열량이 클수록 온도 변화가 크다. 각 물질 1g이 용해될 때 출입하는 열량은 $\frac{\text{용해 엔탈피의 절댓값}}{\text{화학식량}}$

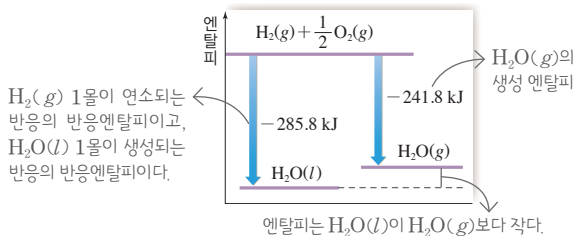
이므로, 1g을 녹일 때 용액의 온도 변화는 용해 엔탈피의 절댓값이 가장 크고 화학식량은 가장 작은 $\text{HCl}(g)$ 이 가장 크다.

16 ㄱ. 중화 반응이 일어나 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2몰이 생성될 때의 반응엔탈피(ΔH)가 -111.6 kJ 이므로, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1몰이 생성될 때의 중화 엔탈피(ΔH)는 -55.8 kJ/mol 이다.

ㄷ. $\Delta H < 0$ 으로 발열 반응이므로 반응이 일어나면 용액의 온도가 높아진다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 중화 반응은 산과 염기의 종류에 관계없이 알짜이온 반응식이 $\text{H}^+(aq) + \text{OH}^-(aq) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 이다. 따라서 산의 종류를 바꾸어도 중화 엔탈피는 일정하다.

17 **문제 분석**



ㄴ. 엔탈피는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 보다 작다. 따라서 표준 상태에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 보다 안정하다.

ㄷ. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 반응의 반응엔탈피이므로 -285.8 kJ/mol 이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 연소 엔탈피는 어떤 물질 1몰이 완전 연소하여 가장 안정한 생성물이 될 때 수반되는 엔탈피 변화이다. 따라서 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 반응의 반응엔탈피이므로 -285.8 kJ/mol 이다.

02 헤스 법칙

개념 확인 문제

132 쪽

- ① 흡수 ② 방출 ③ 결합 에너지 ④ 클 ⑤ 커 ⑥ 반응물 ⑦ 생성물

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×
3 (1) ○ (2) × (3) ○ 4 -185 kJ 5 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ

1 (1), (2) 기체 상태의 $\text{H}-\text{Cl}$ 결합이 끊어지면 $\text{H}(g)$ 과 $\text{Cl}(g)$ 로 되는데, 이때 에너지를 흡수하므로 기체 상태의 $\text{H}-\text{Cl}$ 결합을 끊을 때 432 kJ 의 에너지를 흡수한다. 따라서 $\text{HCl}(g)$ 의 결합 에너지는 432 kJ/mol 이다.

(3) $\text{H}(g)$ 과 $\text{Cl}(g)$ 로부터 $\text{HCl}(g)$ 가 생성되는 과정은 $\text{HCl}(g)$ 의 결합을 끊는 과정의 역반응이므로 발열 반응이다.

2 (1) 원자 사이의 결합을 끊는 과정은 항상 열을 흡수하는 흡열 반응($\Delta H > 0$)이므로, 결합 에너지는 0보다 크다.

(2) 결합 에너지가 클수록 결합이 강해 결합을 끊기 어렵다.

(3), (4) 같은 종류의 원자 사이의 결합에서 결합 수가 많을수록 결합의 세기가 크다. 결합 수가 많은 $\text{C}=\text{C}$ 가 $\text{C}-\text{C}$ 보다 결합의 세기가 크므로 두 원자 사이의 결합 1몰을 끊는 데 필요한 에너지는 $\text{C}=\text{C}$ 가 $\text{C}-\text{C}$ 보다 크다.

(5) 전기 음성도가 $\text{F} > \text{Cl}$ 이므로 결합의 극성은 $\text{HF} > \text{HCl}$ 이다. 결합의 극성이 클수록 결합 에너지가 크다.

3 (2) $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합}) < 0 \rightarrow \text{반응물의 결합 에너지 합} < \text{생성물의 결합 에너지 합}$

(3) 반응물의 결합이 끊어질 때에는 에너지를 흡수하고, 생성물의 결합이 형성될 때에는 에너지를 방출한다. 따라서 생성물의 결합 에너지 합이 반응물의 결합 에너지 합보다 큰 경우, 즉 물질을 이루는 원자들의 결합의 세기가 생성물이 반응물보다 큰 경우 방출하는 에너지가 흡수하는 에너지보다 크므로 열을 방출한다.

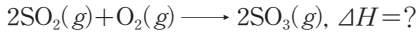
4 $\Delta H = \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합} = (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지} + \text{Cl}-\text{Cl} \text{ 결합 에너지}) - (2 \times \text{H}-\text{Cl} \text{ 결합 에너지}) = (436 \text{ kJ} + 243 \text{ kJ}) - (2 \times 432 \text{ kJ}) = -185 \text{ kJ}$

5 $\Delta H = (4 \times \text{C}-\text{H} \text{ 결합 에너지} + \text{Cl}-\text{Cl} \text{ 결합 에너지}) - (3 \times \text{C}-\text{H} \text{ 결합 에너지} + \text{C}-\text{Cl} \text{ 결합 에너지} + \text{H}-\text{Cl} \text{ 결합 에너지})$ 이다. 따라서 반응엔탈피(ΔH)를 구하기 위해서는 $\text{C}-\text{H}$ 결합 에너지, $\text{Cl}-\text{Cl}$ 결합 에너지, $\text{C}-\text{Cl}$ 결합 에너지, $\text{H}-\text{Cl}$ 결합 에너지가 필요하다.

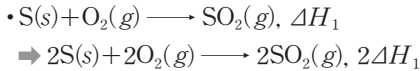
완자샘
비법 특강

Q1 -197 kJ Q2 -74.3 kJ/mol
Q3 -297 kJ Q4 $\Delta H_3 = \Delta H_4 - \Delta H_1 - \Delta H_2$

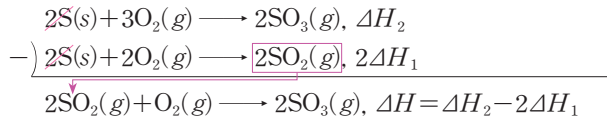
Q1 1단계 반응엔탈피를 구하고자 하는 반응의 열화학 반응식을 확인한다.



2단계 구하고자 하는 반응의 열화학 반응식이 나올 수 있도록 주어진 열화학 반응식의 계수를 변형한다.



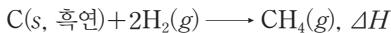
3단계 2단계의 열화학 반응식을 더하거나 빼서 구하고자 하는 반응의 열화학 반응식을 만든다.



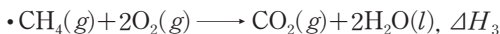
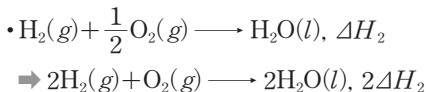
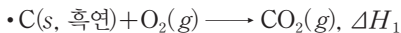
4단계 반응엔탈피를 계산하여 구한다.

$$\Delta H = \Delta H_2 - 2\Delta H_1 = -791 \text{ kJ} - 2 \times (-297 \text{ kJ}) = -197 \text{ kJ}$$

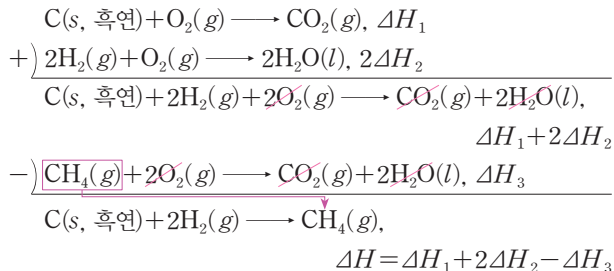
Q2 $\text{CH}_4(g)$ 의 생성 엔탈피를 구할 수 있는 열화학 반응식을 쓴다. 생성 엔탈피는 어떤 물질 1몰이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응엔탈피이므로, $\text{CH}_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



이 반응의 열화학 반응식이 나올 수 있도록 주어진 열화학 반응식의 계수를 변형한다.



헤스 법칙을 이용하여 구하고자 하는 반응의 열화학 반응식을 만든다.



반응엔탈피를 계산한다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_3 \\ &= -393.5 \text{ kJ} + 2 \times (-285.8 \text{ kJ}) - (-890.8 \text{ kJ}) = -74.3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Q3 그래프에서 $|\Delta H_1| = |\Delta H_2| + |\Delta H_3|$ 의 관계가 성립한다. 엔탈피 변화를 나타내는 화살표의 방향이 모두 같으므로 헤스 법칙에 따라 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 = -395 \text{ kJ} - (-98 \text{ kJ}) = -297 \text{ kJ}$$

Q4 그래프에서 $|\Delta H_1| + |\Delta H_2| = |\Delta H_3| + |\Delta H_4|$ 의 관계가 성립한다. 헤스 법칙은 반응물과 생성물이 같은 반응 경로에 적용되므로, 엔탈피 변화를 나타내는 화살표의 방향이 모두 같아 반응물과 최종 생성물이 같은 반응 경로가 되도록 화살표 방향이 다른 ΔH_3 에 (-) 부호를 붙인다.

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 = -\Delta H_3 + \Delta H_4 \text{이다.}$$

$$\text{따라서 } \Delta H_3 = \Delta H_4 - \Delta H_1 - \Delta H_2 \text{이다.}$$

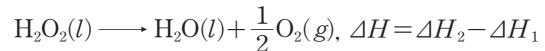
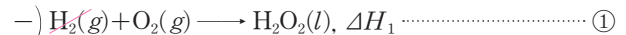
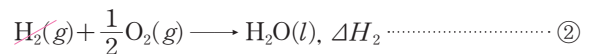
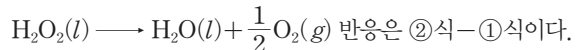
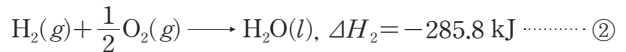
개념 확인 문제

138쪽

- ① 헤스(총열량 불변) ② $\Delta H_1 + \Delta H_2$ ③ 헤스 ④ 생성물
⑤ 반응물

1 -98 kJ	2 $-(a-b) \text{ kJ}$	3 $2\Delta H_1 + \Delta H_2$
4 $\frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H_2)$	5 44 kJ	

1 주어진 열화학 반응식을 각각 ①, ②로 한다.

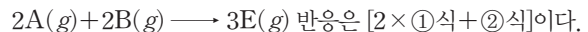
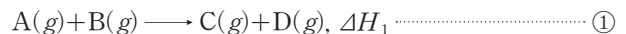


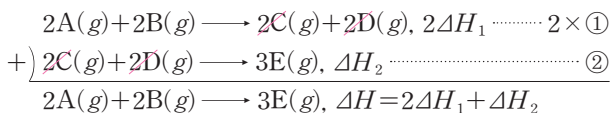
$$\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1 = -285.8 \text{ kJ} - (-187.8 \text{ kJ}) = -98 \text{ kJ}$$

2 그래프에서 $|a \text{ kJ}| = |b \text{ kJ}| + |\Delta H|$ 의 관계가 성립한다. 즉, $|\Delta H| = |a \text{ kJ}| - |b \text{ kJ}|$ 이다.

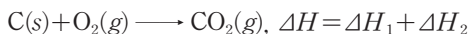
$2\text{NO}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2(g) + 2\text{O}_2(g)$ 반응은 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 작은 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다. 따라서 $\Delta H = -(a-b) \text{ kJ}$ 이다.

3 주어진 열화학 반응식을 각각 ①, ②로 한다.





4 헤스 법칙에 따라 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응엔탈피는 같다.



C(s) 6 g은 $\frac{1}{2} \left(= \frac{6}{12} \right)$ 몰이므로, C(s) 6 g이 완전 연소할 때의 반응엔탈피는 $\frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H_2)$ 이다.

5 $H_2O(l)$ 1몰이 기화되는 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.
 $H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g), \Delta H$

반응물과 생성물의 표준 생성 엔탈피를 이용하면 반응엔탈피를 구할 수 있다.

$\Delta H = \text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합} = -241.8 \text{ kJ} - (-285.8 \text{ kJ}) = 44 \text{ kJ}$

대표 자료 분석

139쪽

자료 1 1 C=O 2 298 kJ/mol 3 -680 kJ 4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

자료 2 1 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_4$ 2 $\frac{1}{2} \Delta H_2$
 3 $\frac{1}{2} \Delta H_4$ 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석

$\left(\begin{array}{c} \text{반응물의} \\ \text{결합 에너지 합} \end{array} \right) < \left(\begin{array}{c} \text{생성물의} \\ \text{결합 에너지 합} \end{array} \right) \rightarrow \Delta H < 0$
 (가) $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g), \Delta H = -8 \text{ kJ}$
 (나) $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g), \Delta H = ?$

결합	결합 에너지 (kJ/mol)	결합	결합 에너지 (kJ/mol)
C-H	410	H-H	436
O=O	498	H-O	430
C=O	732	I-I	152

→ 결합 에너지가 가장 크다. → 1몰의 공유 결합을 끊는 데 가장 큰 에너지가 필요하다.

공유 결합 1몰을 끊는 데 필요한 에너지가 결합 에너지이므로, 표의 결합 중 결합 1몰을 끊는 데 가장 큰 에너지가 필요한 것은 C=O이다.

1-2 $\Delta H = \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합} = (H-H \text{ 결합 에너지} + I-I \text{ 결합 에너지}) - (2 \times H-I \text{ 결합 에너지})$

$$-8(\text{kJ}) = (436 + 152) - (2 \times H-I \text{ 결합 에너지})$$

$$H-I \text{ 결합 에너지} = \frac{436 + 152 + 8}{2} = 298(\text{kJ/mol})$$

1-3 $\Delta H = \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합} = (4 \times C-H \text{ 결합 에너지} + 2 \times O=O \text{ 결합 에너지}) - (2 \times C=O \text{ 결합 에너지} + 4 \times O-H \text{ 결합 에너지})$
 $= (4 \times 410 + 2 \times 498) - (2 \times 732 + 4 \times 463) = -680(\text{kJ})$

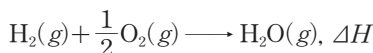
1-4 (1) 결합 에너지가 C-H < H-O이므로 결합의 세기는 C-H < H-O이다.

(2) (가)에서 $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합}) < 0$ 이므로, 생성물의 결합 에너지 합이 반응물의 결합 에너지 합보다 크다.

(3) •CH₄의 결합 에너지: $4 \times C-H \text{ 결합 에너지} = 4 \times 410 = 1640(\text{kJ/mol})$

•CO₂의 결합 에너지: $2 \times C=O \text{ 결합 에너지} = 2 \times 732 = 1464(\text{kJ/mol})$

(4) $H_2O(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.

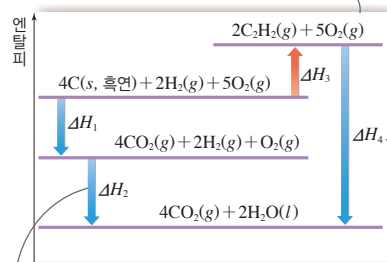


$\Delta H = (H-H \text{ 결합 에너지} + \frac{1}{2} \times O=O \text{ 결합 에너지}) - (2 \times H-O \text{ 결합 에너지})$ 로 구할 수 있다.

2-1 꼼꼼 문제 분석

$$|\Delta H_1| + |\Delta H_2| + |\Delta H_3| = |\Delta H_4|$$

→ 헤스 법칙에 의해 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_4$ 이다.



ΔH_2 는 $H_2O(l)$ 2몰이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응엔탈피 → $H_2O(l)$ 의 생성 엔탈피
 $= \frac{1}{2} \Delta H_2$

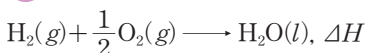
ΔH_4 는 $C_2H_2(g)$ 2몰이 완전 연소될 때의 반응엔탈피 → $C_2H_2(g)$ 의 연소 엔탈피
 $= \frac{1}{2} \Delta H_4$

그래프에서 $|\Delta H_1| + |\Delta H_2| + |\Delta H_3| = |\Delta H_4|$ 의 관계가 성립하고, 엔탈피 변화를 나타내는 화살표의 방향이 모두 같도록 화살표 방향이 위쪽인 ΔH_3 에 (-) 부호를 붙이면 다음과 같다.

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 = \Delta H_4$$

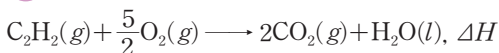
따라서 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_4$ 이다.

②-2 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피이다.



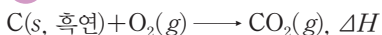
그림에서 ΔH_2 는 $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 반응의 반응엔탈피이므로, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\Delta H_2$ 이다.

②-3 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피이다.



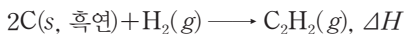
그림에서 ΔH_4 는 $2\text{C}_2\text{H}_2(g) + 5\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 반응의 반응엔탈피이므로, $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{2}\Delta H_4$ 이다.

②-4 (1) $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피이다.



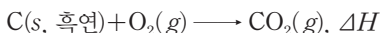
그림에서 ΔH_1 은 $4\text{C}(s, \text{흑연}) + 4\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{CO}_2(g)$ 반응의 반응엔탈피이므로, $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{4}\Delta H_1$ 이다.

(2) $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피이다.



그림에서 ΔH_3 은 $4\text{C}(s, \text{흑연}) + 2\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 반응의 반응엔탈피이므로, $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\Delta H_3$ 이다.

(3) $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피이다.



이 반응의 ΔH 는 $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피와도 같으므로 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{4}\Delta H_1$ 이다.

(4) C_2H_2 의 분자량이 26이므로 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 13 g은 $\frac{1}{2}$ 몰이다.

$\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피가 $\frac{1}{2}\Delta H_4$ 이므로 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ $\frac{1}{2}$ 몰이 완전 연소할 때 $\frac{1}{4}|\Delta H_4|$ 의 열을 방출한다.

(5) $4\text{C}(s, \text{흑연}) + 2\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 반응의 반응엔탈피 ΔH_3 은 0보다 크다. 이때 반응물에 고체 상태의 물질이 있으므로 반응물과 생성물의 결합 에너지로 반응엔탈피를 구할 수 없다. 따라서 반응물과 생성물의 결합 에너지를 비교할 수 없다.

내신 만점 문제

140 쪽 ~ 142 쪽

01 ③ 02 ② 03 ③ 04 ④ 05 ⑤ 06 ④

07 ③ 08 ② 09 ⑤ 10 ⑤

11 $2\Delta H_1 + 3\Delta H_2 - \Delta H_3$ 12 ④ 13 $\text{C}_2\text{H}_4(g) + 3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l), \Delta H = -1412 \text{ kJ}$

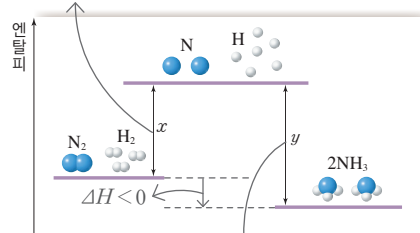
01 ㄱ. 결합 에너지가 클수록 결합의 세기가 크다.

ㄴ. 같은 원자 사이의 결합에서 두 원자 사이의 결합 수가 늘어날수록 결합 에너지가 커진다. 따라서 $\text{C}=\text{C}$ 의 결합 에너지는 $\text{C}-\text{C}$ 의 결합 에너지보다 크므로 $x > 350$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 결합 에너지는 결합의 극성이 클수록 커진다. $\text{H}-\text{Cl}$ 과 $\text{H}-\text{Br}$ 에서 수소 원자는 같고 할로젠 원소만 다르다. 이때 전기 음성도가 $\text{Cl} > \text{Br}$ 이므로 결합의 극성은 $\text{H}-\text{Cl}$ 이 $\text{H}-\text{Br}$ 보다 크다. 따라서 결합 에너지는 $\text{H}-\text{Cl}$ 이 $\text{H}-\text{Br}$ 보다 크므로 $y < 431$ 이다.

02 **문제 분석**

$\text{N}\equiv\text{N}$ 결합 1몰과 $\text{H}-\text{H}$ 결합 3몰을 끊는 데 필요한 에너지
 $\rightarrow x = [\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g)]$ 의 결합 에너지



$\text{N}-\text{H}$ 결합 6몰을 끊는 데 필요한 에너지 $\rightarrow y = 2 \times (3 \times \text{N}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) \rightarrow \text{N}-\text{H} \text{ 결합 에너지} = \frac{1}{6}y$ 이다.

ㄷ. $\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{NH}_3(g)$ 반응은 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 결합 에너지를 이용해 반응엔탈피(ΔH)를 구할 수 있다.

$\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합})$ 이며, 반응이 일어날 때 엔탈피가 작아지므로 반응엔탈피(ΔH) < 0이다. 따라서 결합 에너지의 합은 생성물인 $2\text{NH}_3(g)$ 가 반응물인 $[\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g)]$ 보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. x 는 $\text{N}\equiv\text{N}$ 결합 1몰과 $\text{H}-\text{H}$ 결합 3몰을 끊는 데 필요한 에너지이다. 따라서 x 는 $[\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g)]$ 의 결합 에너지이다.

ㄴ. y 는 $\text{N}-\text{H}$ 결합 6몰을 끊는 데 필요한 에너지이므로, $\text{N}-\text{H}$ 결합 1몰을 끊는 데 필요한 에너지는 $\frac{1}{6}y$ 이다.

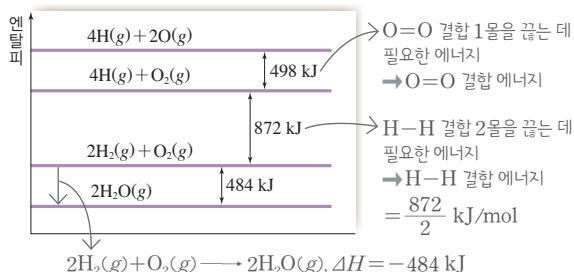
03 ㄱ. 결합 에너지는 $\text{A}_2(g)$ 가 436 kJ/mol, $\text{B}_2(g)$ 가 242 kJ/mol, $\text{AB}(g)$ 가 431 kJ/mol이다. 결합 에너지가 클수록 결합의 세기가 강하므로 결합을 끊기 어렵다.

ㄴ. $\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \longrightarrow 2\text{AB}(g), \Delta H$

$\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합})$
 $= (\text{A}-\text{A} \text{ 결합 에너지} + \text{B}-\text{B} \text{ 결합 에너지}) - (2 \times \text{A}-\text{B} \text{ 결합 에너지})$
 $= (436 + 242) - (2 \times 431) = -184 \text{ (kJ)}$

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 반응엔탈피(ΔH)가 -184 kJ로 0보다 작으므로, 반응물의 결합 에너지 합은 생성물의 결합 에너지 합보다 작다.

04 **문제 분석**



ㄴ. $\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{O}(\text{g}), \Delta H = 498 \text{ kJ}$

이 반응의 ΔH 는 O=O 결합 1몰이 끊어질 때의 반응엔탈피이므로 O=O의 결합 에너지는 498 kJ이다.

ㄷ. $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}), \Delta H = -484 \text{ kJ}$

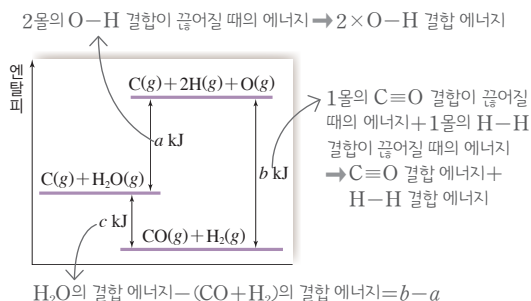
ΔH = 반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합
 $= (2 \times \text{H-H 결합 에너지} + \text{O=O 결합 에너지}) - (4 \times \text{O-H 결합 에너지}) = -484 \text{ kJ}$

주어진 자료로 H-H의 결합 에너지와 O=O의 결합 에너지를 알 수 있으므로 위 관계식을 이용하면 O-H의 결합 에너지를 구할 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $2\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 4\text{H}(\text{g}), \Delta H = 872 \text{ kJ}$

이 반응의 ΔH 는 H-H 결합 2몰이 끊어질 때의 반응엔탈피이므로 H-H의 결합 에너지는 $436 \left(= \frac{872}{2} \right) \text{ kJ/mol}$ 이다.

05 **문제 분석**



$a = 2 \times \text{O-H 결합 에너지} = 2 \times 463 = 926 \text{ (kJ)}$

$b = \text{C}\equiv\text{O 결합 에너지} + \text{H-H 결합 에너지}$
 $= 1072 + 436 = 1508 \text{ (kJ)}$

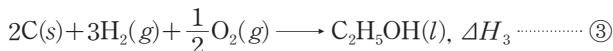
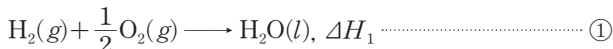
$b = a + c$ 이므로 헤스 법칙에 따라 $c = b - a$ 이다.

따라서 $c = 1508 - 926 = 582 \text{ (kJ)}$ 이다.

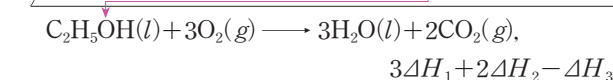
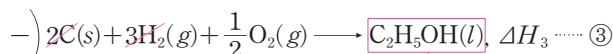
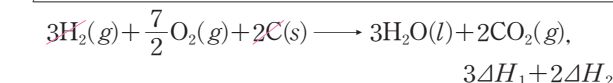
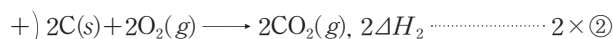
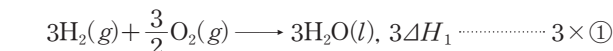
▮ **다른 풀이** ▮ $\text{C}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}), \Delta H = -c \text{ kJ}$

$-c \text{ kJ}$ = 반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합
 $= (2 \times \text{O-H 결합 에너지}) - (\text{C}\equiv\text{O 결합 에너지} + \text{H-H 결합 에너지})$
 $= (2 \times 463) - (1072 + 436) = 582 \text{ (kJ)}$

06 주어진 열화학 반응식을 각각 ①~③으로 한다.

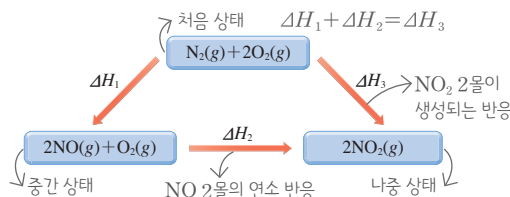


$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 반응은
 $[3 \times \text{①} + 2 \times \text{②} - \text{③}]$ 으로 구할 수 있다.



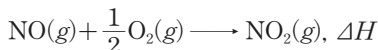
따라서 $\Delta H = 3\Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.

07 **문제 분석**



ㄱ. 반응물 $[\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g})]$ 가 생성물 $2\text{NO}_2(\text{g})$ 로 되는 반응에서 반응 경로가 다르더라도 반응엔탈피는 같으므로 $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ 이다. 따라서 $\Delta H_1 = \Delta H_3 - \Delta H_2$ 이다.

ㄷ. $\text{NO}(\text{g})$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



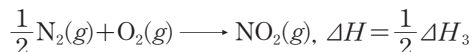
그림에서 $\text{NO}(\text{g})$ 2몰이 연소할 때의 반응엔탈피가 ΔH_2 이다.



따라서 $\text{NO}(\text{g})$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{2}\Delta H_2$ 이다.

$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ 에서 $\Delta H_2 = \Delta H_3 - \Delta H_1$ 이므로, $\text{NO}(\text{g})$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{2}(\Delta H_3 - \Delta H_1)$ 이다.

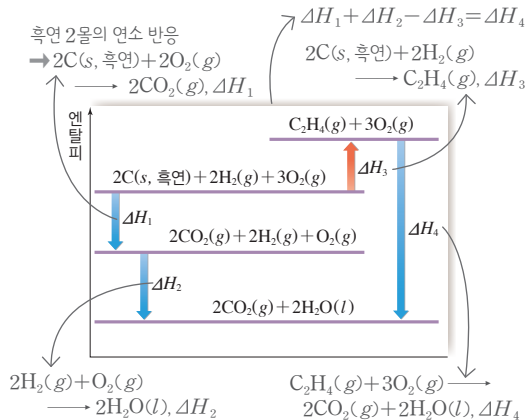
▮ **바로알기** ▮ ㄴ. $\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NO}_2(\text{g}), \Delta H_3$



$\text{NO}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피

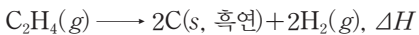
$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ 이므로, $\text{NO}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H_2)$ 이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

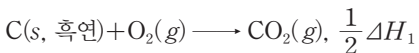
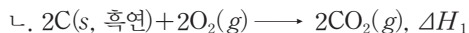


ㄷ. $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 1몰이 완전 연소할 때의 반응엔탈피가 ΔH_4 이다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 14 g, 즉 $\frac{1}{2} (= \frac{14}{28})$ 몰이 완전 연소할 때의 반응엔탈피는 $\frac{1}{2} \Delta H_4$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 분해 엔탈피는 어떤 물질 1몰이 가장 안정한 상태의 성분 원소로 분해될 때의 반응엔탈피이다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 의 분해 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.

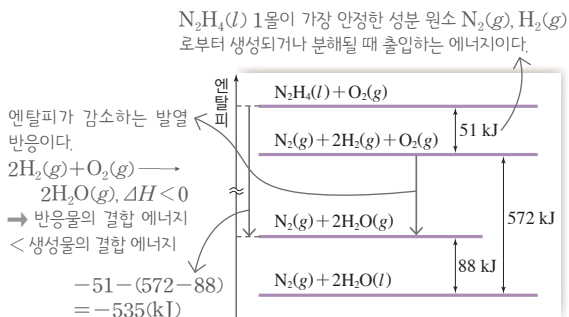


그림에서 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 생성 엔탈피가 ΔH_3 이므로 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 의 분해 엔탈피(ΔH)는 $-\Delta H_3$ 이다.



그림에서 $\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 = \Delta H_4$ 이므로 $\Delta H_1 = \Delta H_3 + \Delta H_4 - \Delta H_2$ 이다. 따라서 $\text{C}(\text{s, 흑연})$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{2} \Delta H_1 = \frac{1}{2} (\Delta H_3 + \Delta H_4 - \Delta H_2)$ 이다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

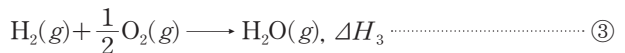
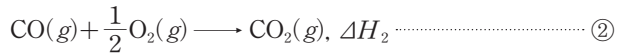
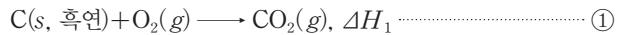


ㄱ. $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l})$ 1몰이 생성될 때 51 kJ의 에너지를 흡수하므로, $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l})$ 의 생성 엔탈피는 51 kJ/mol이다.

ㄴ. $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 반응이 일어날 때 엔탈피가 감소하므로($\Delta H < 0$), 반응물인 $[2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})]$ 의 결합 에너지 합이 생성물인 $2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 의 결합 에너지 합보다 작다.

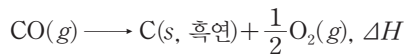
ㄷ. $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 의 반응엔탈피(ΔH)는 헤스 법칙에 따라 $-51 - (572 - 88) = -535(\text{kJ})$ 이다.

10 주어진 열화학 반응식을 각각 ①~④로 한다.

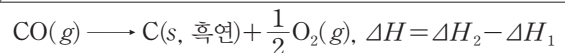
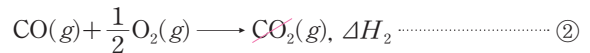


ㄱ. ①식은 $\text{C}(\text{s, 흑연})$ 1몰이 연소하는 반응의 열화학 반응식이므로, ΔH_1 은 $\text{C}(\text{s, 흑연})$ 의 연소 엔탈피이다.

ㄴ. $\text{CO}(\text{g})$ 의 분해 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.

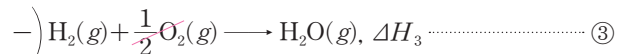
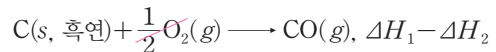
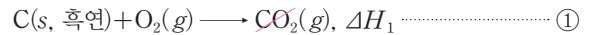


이 반응은 [②식 - ①식]으로 구할 수 있다.



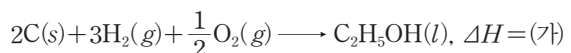
따라서 $\text{CO}(\text{g})$ 의 분해 엔탈피(ΔH)는 $\Delta H_2 - \Delta H_1$ 이다.

ㄷ. ④식은 [①식 - ②식 - ③식]으로 구할 수 있다.

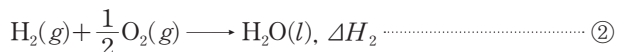


따라서 $\Delta H_4 = \Delta H_1 - \Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.

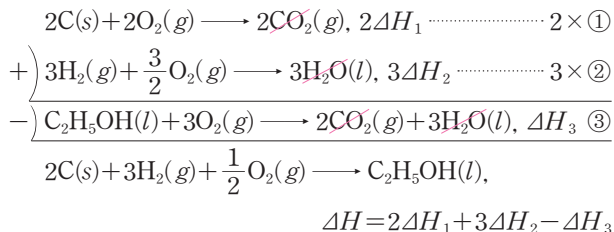
11 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



연소 엔탈피 $\Delta H_1 \sim \Delta H_3$ 에 해당하는 열화학 반응식은 다음과 같다.



$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 의 생성 반응은 $[2 \times \text{①식} + 3 \times \text{②식} - \text{③식}]$ 으로 구할 수 있다.

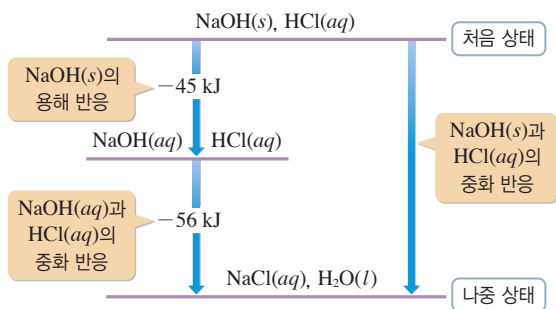


따라서 (가)는 $2\Delta H_1 + 3\Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.

12 꼼꼼 문제 분석

- 중화 엔탈피: -56 kJ/mol $\rightarrow$ 중화 반응으로 물 1몰이 생성될 때 방출하는 열량: 56 kJ
- $\text{NaOH}(s)$ 의 용해 엔탈피: -45 kJ/mol $\rightarrow$
 $\text{NaOH}(s) \longrightarrow \text{NaOH}(aq), \Delta H = -45 \text{ kJ}$
 $\rightarrow \text{NaOH}(s)$ 1몰이 용해될 때 방출하는 열량: 45 kJ

$\text{HCl}(aq)$ 에 $\text{NaOH}(s)$ 을 넣으면 $\text{NaOH}(s)$ 이 용해되면서 열을 방출하고, 중화 반응이 일어나면서 열을 방출하므로 이를 모두 고려해야 한다.



- $\text{NaOH}(s)$ 8 g이 용해될 때 방출하는 열량: NaOH 의 화학식량이 40이므로 $\text{NaOH}(s)$ 8 g은 0.2 mol 이다. 따라서 $\text{NaOH}(s)$ 8 g이 용해될 때 방출하는 열량은 $45 \text{ kJ/mol} \times 0.2 \text{ mol} = 9.0 \text{ kJ}$ 이다.
- 중화 반응할 때 방출하는 열량: $0.4 \text{ M HCl}(aq)$ 500 mL에 들어 있는 H^+ 의 양은 $0.4 \text{ mol/L} \times 0.5 \text{ L} = 0.2 \text{ mol}$ 이므로, 중화 반응으로 생성되는 물의 양(mol)은 0.2 mol 이다. 따라서 중화 반응으로 방출하는 열량은 $56 \text{ kJ/mol} \times 0.2 \text{ mol} = 11.2 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $0.4 \text{ M HCl}(aq)$ 500 mL에 $\text{NaOH}(s)$ 8 g을 넣어 반응시켰을 때 방출하는 열량은 $20.2 (= 9.0 + 11.2) \text{ kJ}$ 이다.

13 $\text{C}_2\text{H}_4(g)$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.
 $\text{C}_2\text{H}_4(g) + 3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l), \Delta H$
 $\Delta H = \text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합} = \{2 \times \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(g)) + 2 \times \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(l))\} - \{\Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_4(g)) + 3 \times \Delta H_f^\circ(\text{O}_2(g))\}$
 이때 $\text{O}_2(g)$ 는 가장 안정한 원소로 표준 생성 엔탈피가 0이다.
 $\Delta H = \{2 \times (-394) + 2 \times (-286)\} - 52 = -1412 (\text{kJ})$

중단원 핵심 정리

143쪽

- ① 반응엔탈피(ΔH) ② 생성물 ③ 반응물 ④ < ⑤ >
 ⑥ 음(-) ⑦ 양(+) ⑧ 계수 ⑨ 생성 엔탈피 ⑩ 분해 엔탈피
 ⑪ 결합 에너지 ⑫ 반응물 ⑬ 생성물 ⑭ 반응엔탈피
 ⑮ $\Delta H_1 - \Delta H_3$ ⑯ 생성물 ⑰ 반응물

중단원 마무리 문제

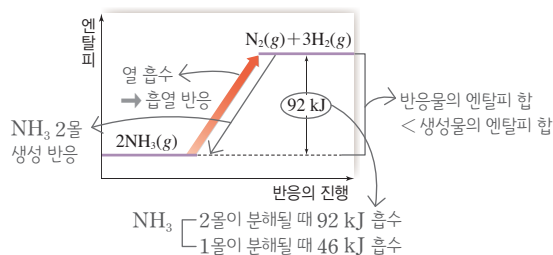
144쪽~148쪽

- 01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ② 05 $2\text{NO}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2\text{O}_4(g), \Delta H = -114.4 \text{ kJ}$ 06 ③ 07 ③ 08 ②
 09 ③ 10 ⑤ 11 ① 12 ④ 13 ⑤ 14 ③
 15 ② 16 ① 17 ④ 18 ④ 19 ④ 20 해설 참조
 21 해설 참조 22 해설 참조

01 ㄱ, ㄷ. 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크므로 발열 반응($\Delta H < 0$)이다. 발열 반응이 일어날 때 열을 방출하므로 주위의 온도가 높아진다.

❗ **바로알기** ㄴ. 반응물의 엔탈피 합은 생성물의 엔탈피 합보다 크다.

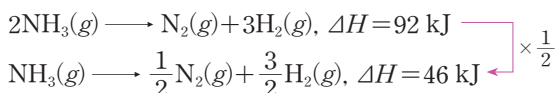
02 꼼꼼 문제 분석



①, ② (생성물의 엔탈피 합) > (반응물의 엔탈피 합)

$\Rightarrow \text{생성물의 엔탈피 합} - \text{반응물의 엔탈피 합} = \Delta H > 0$

③, ④ $\text{NH}_3(g)$ 2몰이 가장 안정한 성분 원소인 $\text{N}_2(g)$ 와 $\text{H}_2(g)$ 로 분해될 때 92 kJ의 열이 출입하므로 $\text{NH}_3(g)$ 1몰이 분해될 때는 46 kJ의 열이 출입한다.

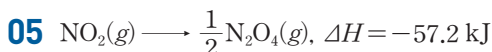


❗ **바로알기** ⑤ 생성 엔탈피는 물질 1몰이 성분 원소로부터 생성될 때의 반응엔탈피이므로 $\text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 -46 kJ/mol 이다.

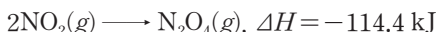
03 ㄱ, ㄷ. $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 이 용해될 때 용액의 온도가 낮아지므로 $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 의 용해 과정은 흡열 반응이다. 따라서 (나)에서 $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 이 모두 용해되지 않으면 흡수하는 열량이 작아지므로 용액의 온도가 덜 낮아져 t_1 과 t_2 의 온도 차가 작아진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 흡열 반응의 반응엔탈피(ΔH)는 0보다 크다.

04 ㄱ, ㄷ. 간이 열량계를 이용하여 반응열을 측정할 때, 화학 반응에서 출입하는 열량은 간이 열량계 속 용액이 흡수하거나 빼앗긴 열량과 같으므로 $Q = c \times m \times \Delta t$ (c : 용액의 비열, m : 용액의 질량, Δt : 온도 변화)로 구한다. 따라서 용액의 비열을 알아야 한다. 또, 실험에서 측정한 반응열은 $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 1g이 물에 용해될 때 흡수한 열량이고, 용해 엔탈피는 물질 1몰이 용해될 때의 반응엔탈피이므로, NH_4NO_3 의 화학식량을 알아야 한다.

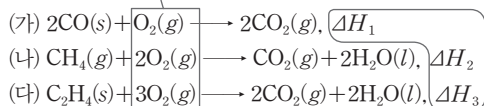


따라서 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 1몰이 생성될 때는 $\text{NO}_2(\text{g})$ 2몰이 반응하며, 반응물의 양에 비례하여 반응엔탈피도 커진다.



06 **문제 분석**

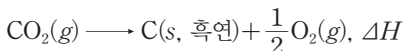
$\text{O}_2(\text{g})$ 와 반응하여 $\text{CO}_2(\text{g}), \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 를 생성하는 반응이므로 모두 연소 반응이다. 연소 엔탈피는 항상 0보다 작다. $\rightarrow \Delta H < 0$
연소 반응은 발열 반응이다.



ㄱ. 연소 반응은 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다.

ㄴ. 엔탈피는 어떤 물질이 특정 온도와 압력에서 가지는 고유한 에너지이므로, 온도와 압력이 같을 때 $\text{CO}_2(\text{g})$ 1몰의 엔탈피는 동일하다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. $\text{CO}_2(\text{g})$ 의 분해 엔탈피는 $\text{CO}_2(\text{g})$ 1몰이 가장 안정한 성분 원소인 C와 O_2 로 분해될 때의 반응엔탈피이다.



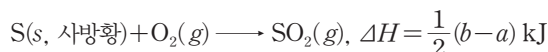
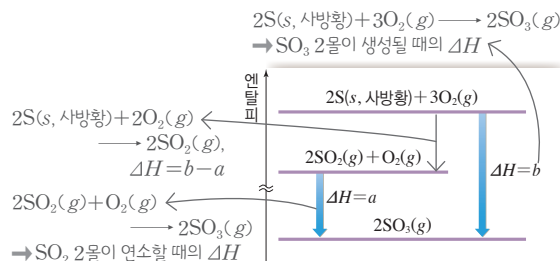
따라서 제시된 열화학 반응식으로 $\text{CO}_2(\text{g})$ 의 분해 엔탈피를 구할 수 없다.

07 ㄱ. (가)는 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 이 가장 안정한 성분 원소로 분해될 때의 반응이고, $\Delta H > 0$ 인 흡열 반응이다. 따라서 (가)의 역반응은 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 이 생성되는 반응으로, $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이다.

ㄷ. $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 의 분해 엔탈피는 $242 \left(= \frac{484}{2} \right) \text{ kJ}$ 이다. $\text{H}_2\text{O}_2(\text{g})$ 의 분해 엔탈피는 136 kJ이므로 분해 엔탈피는 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 이 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{g})$ 보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (나)는 $\Delta H > 0$ 이므로 반응물의 엔탈피 합은 생성물의 엔탈피 합보다 작다.

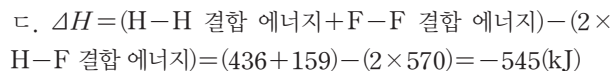
08 **문제 분석**



▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $\text{SO}_2(\text{g})$ 2몰이 완전 연소할 때의 반응엔탈피가 $a \text{ kJ}$ 이므로 $\text{SO}_2(\text{g})$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{2}a \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄴ. $\text{SO}_3(\text{g})$ 2몰이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응엔탈피가 $b \text{ kJ}$ 이므로 $\text{SO}_3(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}b \text{ kJ/mol}$ 이다.

09 ㄱ. 반응 I의 ΔH 는 H-H 결합 1몰과 F-F 결합 1몰이 끊어질 때의 반응엔탈피로, 반응이 끊어질 때에는 에너지를 흡수한다. 따라서 $a > 0$ 이다.

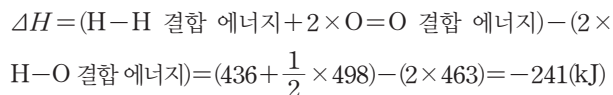
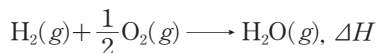


$\therefore c = -545 \text{ kJ}$

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 반응 II의 ΔH 는 H-F 결합 2몰이 형성될 때의 반응엔탈피(ΔH)로, H-F 결합이 끊어지는 반응의 역반응이다. 따라서 반응엔탈피(ΔH)는 $-(2 \times \text{H-F 결합 에너지}) = -(2 \times 570 \text{ kJ}) = -1140 \text{ kJ}$ 이다. 즉, b 는 -1140 kJ 이다.

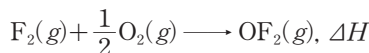
10 ㄱ. 결합 에너지가 $\text{O}_2(\text{g})$ 가 $\text{F}_2(\text{g})$ 보다 크므로 결합의 세기는 $\text{O}_2(\text{g})$ 가 $\text{F}_2(\text{g})$ 보다 크다.

ㄴ. $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



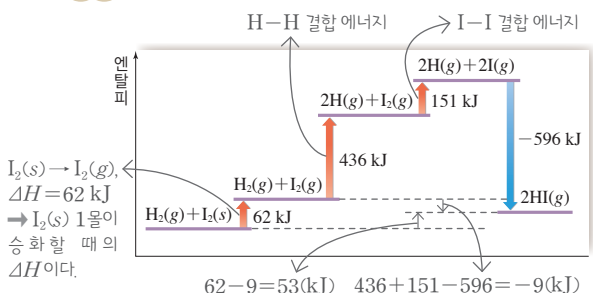
따라서 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 -241 kJ/mol 이다.

ㄷ. $\text{OF}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



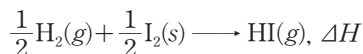
$\Delta H = (\text{F-F 결합 에너지} + \frac{1}{2} \times \text{O=O 결합 에너지}) - (2 \times \text{O-F 결합 에너지}) = (159 + \frac{1}{2} \times 498) - (2 \times 180) = 48 \text{ (kJ)}$
 따라서 $\text{OF}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 48 kJ/mol이다.

11 **문제 분석**



▮ **바로알기** ▮ $\therefore (\text{H-H 결합 에너지}) - (\text{I-I 결합 에너지}) = 436 \text{ kJ} - 151 \text{ kJ} = 285 \text{ kJ}$

㉔. 25 °C, 1기압에서 수소는 기체, 아이오딘은 고체 상태이므로, $\text{HI}(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.

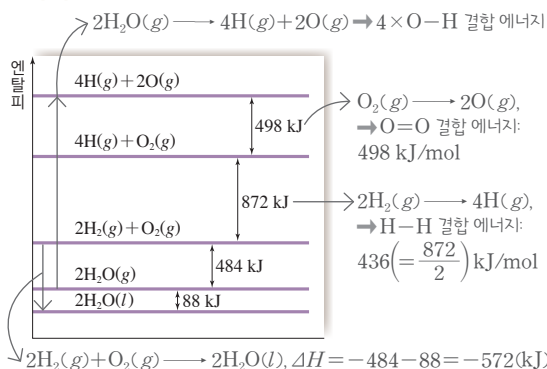


그림에서 헤스 법칙에 따라 다음 열화학 반응식을 구할 수 있다.



따라서 $\text{HI}(g)$ 의 생성 엔탈피는 26.5 kJ/mol이다.

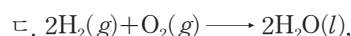
12 **문제 분석**



㉑. $2\text{H}_2(g) \longrightarrow 4\text{H}(g)$ 반응에서 872 kJ의 에너지를 흡수하므로 $\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}(g)$ 반응이 일어날 때에는 436 kJ의 에너지를 흡수한다. 따라서 H-H 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.

$2\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow 4\text{H}(g) + 2\text{O}(g)$ 반응은 O-H 결합 4몰이 끊어지는 반응으로, 이 반응의 반응엔탈피는 헤스 법칙에 따라 $(498 + 872 + 484) = 1854 \text{ (kJ)}$ 이다. 따라서 O-H 결합 에너지는 $463.5 \left(= \frac{1854}{4} \right) \text{ kJ/mol}$ 이다.

결합 에너지가 클수록 결합의 세기가 강하므로 결합의 세기는 O-H가 H-H보다 크다.



$$\Delta H = -(484 + 88) = -572 \text{ (kJ)}$$

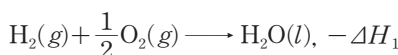
따라서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 표준 생성 엔탈피는 $-286 \left(= -\frac{572}{2} \right) \text{ kJ/mol}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ $\therefore \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 반응에서 498 kJ의 에너지를 흡수하므로, O=O의 결합 에너지는 498 kJ/mol이다.

13 ㉑. 반응물 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 생성물 $2\text{H}(g) + \text{O}(g)$ 로 되는 반응에서 반응 경로가 다르더라도 반응엔탈피는 같다.

따라서 $\Delta H_1 + \Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.

$\therefore \text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피이다.



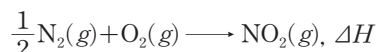
헤스 법칙에 의해 $-\Delta H_1 = \Delta H_4 - \Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.



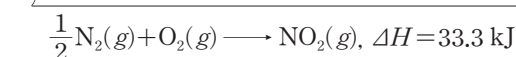
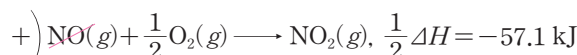
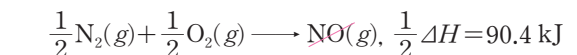
ΔH_3 은 O-H 결합 2몰이 끊어질 때 흡수하는 에너지이므로,

O-H 결합 에너지는 $\frac{1}{2} \Delta H_3$ 이다.

14 첫 번째 반응은 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{NO}(g)$ 2몰이 생성될 때의 반응엔탈피이므로, $\text{NO}(g)$ 의 생성 엔탈피는 90.4 kJ/mol이다. 분해 엔탈피는 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호는 반대이므로 $\text{NO}(g)$ 의 분해 엔탈피는 -90.4 kJ/mol이다. $\text{NO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.

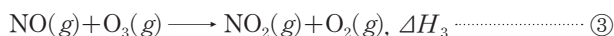


이 반응은 주어진 2가지 반응으로부터 구할 수 있다.

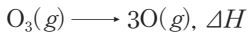


따라서 $\text{NO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\frac{1}{2}(180.8 - 114.2) = 33.3 \text{ (kJ/mol)}$ 이다.

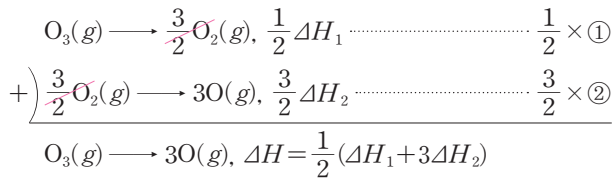
15 $\therefore$ 주어진 열화학 반응식을 각각 ①~③으로 한다.



$\text{O}_3(g)$ 1몰의 결합을 모두 끊는 데 필요한 에너지는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.

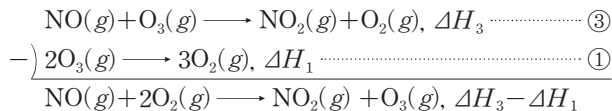


이 반응은 $\left[\frac{1}{2} \times \text{①식} + \frac{3}{2} \times \text{②식}\right]$ 으로 구할 수 있다.



■ **바로알기** ▮. 결합 에너지는 원자 사이의 공유 결합 1몰을 끊는데 필요한 에너지이므로, $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지는 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 반응의 반응엔탈피이다. 즉, ΔH_2 이다.

ㄷ. $\text{NO}(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_3(g)$ 반응은 $[\text{③식} - \text{①식}]$ 으로 구할 수 있다.

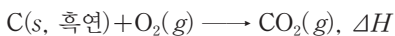


16 **꼼꼼** 문제 분석

- 수소($\text{H}_2(g)$)의 연소 엔탈피: -285.8 kJ/mol
 $\hookrightarrow \text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l), \Delta H = -285.8 \text{ kJ} \cdots \cdots \text{①}$
- 일산화 탄소($\text{CO}(g)$)의 생성 엔탈피: -110.5 kJ/mol
 $\hookrightarrow \text{C}(s, \text{흑연}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}(g), \Delta H = -110.5 \text{ kJ} \cdots \cdots \text{②}$
- 이산화 탄소($\text{CO}_2(g)$)의 생성 엔탈피: -393.5 kJ/mol
 $\hookrightarrow \text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g), \Delta H = -393.5 \text{ kJ} \cdots \cdots \text{③}$

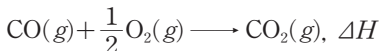
▮. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 반응은 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 반응과 같으므로, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 -285.8 kJ/mol 이다.

■ **바로알기** ▮. 25°C , 1기압에서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 이 연소할 때 생성되는 가장 안정한 상태의 물질은 $\text{CO}_2(g)$ 이므로, $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.

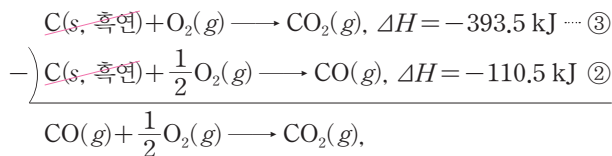


이 반응의 반응엔탈피는 $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피와 같으므로 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 연소 엔탈피는 -393.5 kJ/mol 이다.

ㄷ. $\text{CO}(g)$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



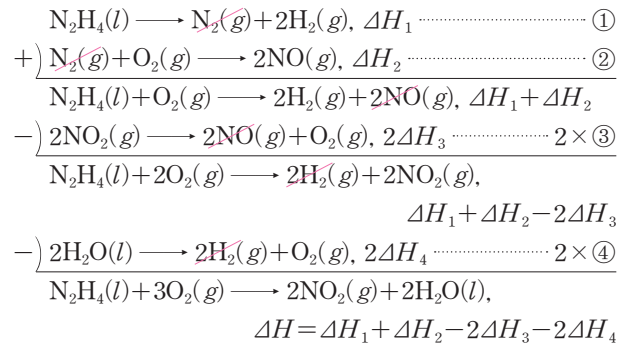
이 반응은 $[\text{③식} - \text{②식}]$ 으로 구할 수 있다.



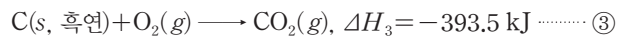
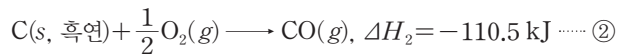
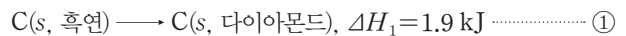
따라서 $\text{CO}(g)$ 의 연소 엔탈피는 -283 kJ/mol 이다.

17 $\Delta H_1 \sim \Delta H_4$ 에 해당하는 열화학 반응식을 각각 ①~④로 한다.

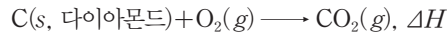
$\text{N}_2\text{H}_4(l) + 3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 반응은 $[\text{①식} + \text{②식} - 2 \times \text{③식} - 2 \times \text{④식}]$ 으로 구할 수 있다.



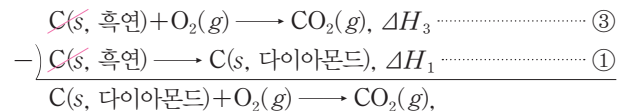
18 ▮. 주어진 자료로부터 알 수 있는 열화학 반응식은 다음과 같다.



$\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 1몰의 연소 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.

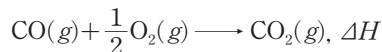


이 반응은 $[\text{③식} - \text{①식}]$ 으로 구할 수 있다.

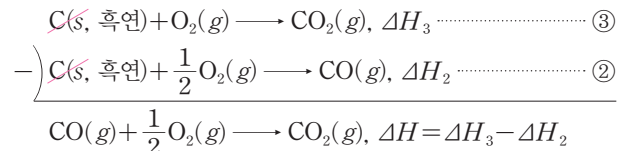


$\Delta H = (-393.5) - (1.9) = -395.4(\text{kJ})$ 이므로, $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 1몰이 완전 연소할 때 395.4 kJ 의 열을 방출한다.

ㄷ. $\text{CO}(g)$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



이 반응은 $[\text{③식} - \text{②식}]$ 으로 구할 수 있다.



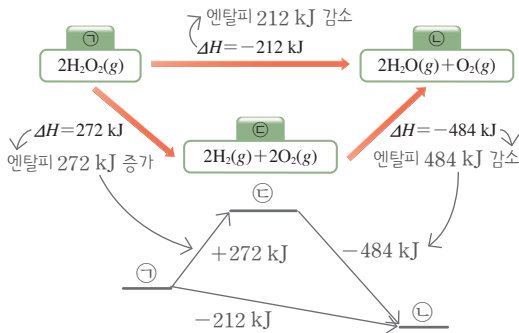
■ **바로알기** ▮. $\text{C}(s, \text{흑연}) \longrightarrow \text{C}(s, \text{다이아몬드}), \Delta H$

$\Delta H = \text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합} = 1.9 \text{ kJ} - 0 = 1.9 \text{ kJ}$

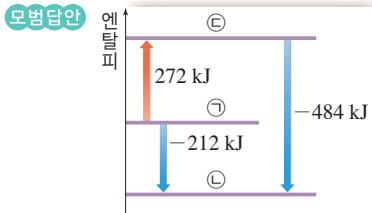
즉, $\Delta H > 0$ 이므로 흡열 반응이다.

19 $\Delta H = \Delta H_f^\circ(\text{생성물}) - \Delta H_f^\circ(\text{반응물})$
 $= \{10 \times \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(g)) + 4 \times \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(l))\} - \{\Delta H_f^\circ(\text{C}_{10}\text{H}_8(s)) + 12 \times \Delta H_f^\circ(\text{O}_2(g))\}$
 이때 $\text{O}_2(g)$ 는 가장 안정한 원소로 표준 생성 엔탈피가 0이다.
 $-5157 = \{10 \times (-394) + 4 \times (-286)\} - (\Delta H_f^\circ(\text{C}_{10}\text{H}_8(s)) + 12 \times 0)$
 $\therefore \Delta H_f^\circ(\text{C}_{10}\text{H}_8(s)) = 73(\text{kJ/mol})$

20 **문제 분석**



엔탈피(H)는 ㉒ < ㉓ < ㉔이고, ㉓이 ㉔보다 272 kJ만큼 작고 ㉒보다는 212 kJ만큼 크다. ㉔은 ㉒보다 484 kJ만큼 크다.



채점 기준	배점
엔탈피(H) 크기 순서가 옳고, 반응엔탈피(ΔH) 관계 3가지를 모두 옳게 나타낸 경우	100 %
엔탈피(H) 크기 순서가 옳고, 반응엔탈피(ΔH) 관계 2가지를 옳게 나타낸 경우	60 %
엔탈피(H) 크기 순서만 옳게 나타낸 경우	30 %

21 $\text{N}_2(g) + 2\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2\text{H}_4(g), \Delta H = ?$
 $\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{NH}_3(g), \Delta H_1 \dots\dots\dots (가)$
 $\text{N}_2\text{H}_4(g) + \text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{NH}_3(g), \Delta H_2 \dots\dots\dots (나)$
 $\text{N}_2(g) + 2\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2\text{H}_4(g), \Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2$

모범답안 95.4 kJ/mol, $\text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.
 $\text{N}_2(g) + 2\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2\text{H}_4(g), \Delta H$
 이 반응은 (가)식-(나)식으로 구할 수 있고, 헤스 법칙에 따라 $\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 = (-92.2) - (-187.6) = 95.4(\text{kJ})$ 이다. 따라서 $\text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 95.4 kJ/mol이다.

채점 기준	배점
$\text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
$\text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피만 옳게 구한 경우	50 %

22 **문제 분석**

$\text{S}(s, \text{사방황})$ 의 승화 엔탈피	$\xrightarrow{\Delta H_1} \text{S}(s, \text{사방황}) \longrightarrow \text{S}(g), \Delta H_1 \quad ①$
$\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지	$\xrightarrow{\Delta H_2} \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g), \Delta H_2 \dots\dots\dots ②$
$\text{SO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피	$\xrightarrow{\Delta H_3}$
$\xrightarrow{\Delta H_3} \text{S}(s, \text{사방황}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{SO}_2(g), \Delta H_3 \dots\dots\dots ③$	

$\text{SO}_2(g) \longrightarrow \text{S}(g) + 2\text{O}(g), \Delta H$
 $\text{S}(s, \text{사방황}) \longrightarrow \text{S}(g), \Delta H_1 \dots\dots\dots ①$
 $+) \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g), \Delta H_2 \dots\dots\dots ②$
 $\text{S}(s, \text{사방황}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{S}(g) + 2\text{O}(g), \Delta H_1 + \Delta H_2$
 $-) \text{S}(s, \text{사방황}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{SO}_2(g), \Delta H_3 \dots\dots\dots ③$
 $\text{SO}_2(g) \longrightarrow \text{S}(g) + 2\text{O}(g), \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$

모범답안 $\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$, $\text{SO}_2(g)$ 1몰의 결합을 모두 끊는 데 필요한 에너지는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.

$\text{SO}_2(g) \longrightarrow \text{S}(g) + 2\text{O}(g), \Delta H$
 $\text{S}(s, \text{사방황}) \longrightarrow \text{S}(g), \Delta H_1$
 $+) \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g), \Delta H_2$
 $-) \text{S}(s, \text{사방황}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{SO}_2(g), \Delta H_3$
 $\text{SO}_2(g) \longrightarrow \text{S}(g) + 2\text{O}(g), \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$

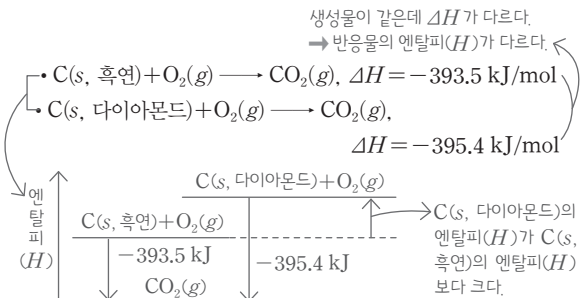
채점 기준	배점
필요한 에너지를 $\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta H_3$ 을 이용해 옳게 나타내고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
필요한 에너지만 옳게 나타낸 경우	50 %

수능 실전 문제

149 쪽~151 쪽

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

01 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ (가)는 공유 결정이고, (나)는 분자 결정이다. **공유 결정**
☒ 표준 생성 엔탈피는 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 크다. **작다**
☒ C(s) $\longrightarrow$ C(g) 반응의 반응엔탈피는 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 크다.

ㄷ. 고체 상태의 물질이 승화되어 기체 상태로 될 때의 반응은 흡열 반응이다. C(s, 다이아몬드)의 엔탈피가 C(s, 흑연)의 엔탈피보다 크므로 고체 상태의 두 물질이 각각 승화되어 C(g)로 될 때 반응엔탈피(ΔH)는 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 크다.

|| **바로알기** || ㄱ. (가)와 (나)는 탄소(C) 원자가 공유 결합으로 결합을 이룬 것으로, 모두 공유 결정이다. (가)는 흑연, (나)는 다이아몬드의 결정 구조 모형이다.

ㄴ. 엔탈피(H)는 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 작으므로 표준 생성 엔탈피는 C(s, 다이아몬드)가 C(s, 흑연)보다 크다.

02

선택지 분석

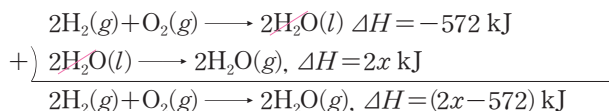
- ☒ ㉠ 22.5 ☒ ㉡ 45 ☒ ㉢ 67.5
☒ ㉣ 90 ☒ ㉤ 112.5

H₂O(l)의 기화 엔탈피를 x kJ/mol이라고 하면, x 는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



x 를 구하기 위해 제시된 결합 에너지를 이용해야 한다. 결합 에너지를 이용해서 반응엔탈피를 구하려면 반응물과 생성물이 모두 기체이어야 하므로, 헤스 법칙을 이용해 결합 에너지로 반응엔탈피를 구할 수 있는 열화학 반응식을 만든다.

주어진 열화학 반응식에 ($2 \times \text{H}_2\text{O}(l)$ 의 기화 반응식)을 더하면 다음 반응식을 얻을 수 있다.



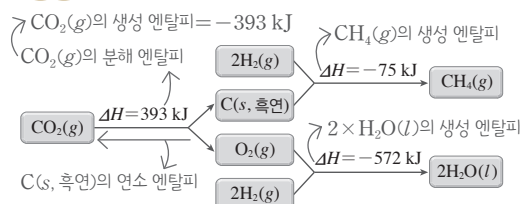
이 반응의 반응엔탈피(ΔH)는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값과 같다.

$$(2x - 572) \text{ kJ} = (2 \times \text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지} + \text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지}) - (4 \times \text{O}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) = (2 \times 436 + 498) - (4 \times 463) = -482(\text{kJ})$$

$$\therefore x = \frac{-482 + 572}{2} = 45 \text{ kJ}$$

따라서 H₂O(l)의 기화 엔탈피는 45 kJ/mol이다.

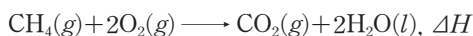
03 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ☒ C(s, 흑연)의 연소 엔탈피는 393 kJ/mol이다. **-393 kJ/mol**
☒ 생성 엔탈피는 H₂O(l)이 CH₄(g)보다 크다. **-286 kJ/mol < -75 kJ/mol $\Rightarrow$ CH₄(g)이 더 크다.**
☒ CH₄(g)의 연소 엔탈피는 -890 kJ/mol이다.

ㄷ. CH₄(g)의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



$$\Delta H = \text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합} = \{\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(g)) + 2 \times \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(l))\} - (\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4(g))) = -393 \text{ kJ} + (-572 \text{ kJ}) - (-75 \text{ kJ}) = -890 \text{ kJ}$$

따라서 CH₄(g)의 연소 엔탈피는 -890 kJ/mol이다.

|| **바로알기** || ㄱ. C(s, 흑연)의 연소 엔탈피는 C(s, 흑연) + O₂(g) $\longrightarrow$ CO₂(g) 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다. 이 반응은 CO₂(g) 분해 반응의 역반응이므로, C(s, 흑연)의 연소 엔탈피는 CO₂(g)의 분해 엔탈피와 크기가 같고 부호가 반대이다.

ㄴ. H₂O(l)의 생성 엔탈피는 $-286 \left(= \frac{-572}{2} \right)$ kJ이고,

CH₄(g)의 생성 엔탈피는 -75 kJ이므로, 생성 엔탈피는 CH₄(g)이 H₂O(l)보다 크다.

04

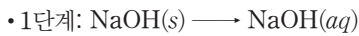
선택지 분석

- ☒ $\Delta H_1 = \Delta H_2$ 이다. **$\Delta H_2 = \frac{1}{10} \times \text{NaOH(s) 용해 엔탈피} + \Delta H_1 \Rightarrow |\Delta H_1| < |\Delta H_2|$**
☒ 중화 엔탈피는 $10\Delta H_1$ kJ/mol이다.
☒ 중화 반응으로 생성된 물의 양은 (가)와 (나)에서 같다.

ㄴ. 1 M HCl 100 mL에 들어 있는 H⁺과 1 M NaOH 수용액 100 mL에 들어 있는 OH⁻의 양(mol)은 모두 0.1 mol이다. 따라서 실험 (가)에서 중화 반응으로 물 0.1몰이 생성되므로, ΔH_1 은 중화 엔탈피의 $\frac{1}{10}$ 이다. 그러므로 물 1몰이 생성될 때인 중화 엔탈피는 $10\Delta H_1$ kJ/mol이다.

ㄷ. 실험 (가)와 (나)에서 반응한 H⁺과 OH⁻은 0.1몰로 같으므로 생성된 물의 양도 (가)와 (나)에서 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 실험 (나)에서는 다음과 같은 두 단계의 경로로 반응이 일어난다.



1단계에서 용해된 $\text{NaOH}(s)$ 4 g은 0.1몰이므로 이때의 반응엔탈피는 $\text{NaOH}(s)$ 용해 엔탈피의 $\frac{1}{10}$ 이다.

0.5 M $\text{HCl}(aq)$ 200 mL에 들어 있는 H^+ 의 양(mol)은 0.1몰이므로, 2단계 중화 반응에서 생성된 물의 양(mol)은 0.1몰이고 중화 반응의 반응엔탈피는 ΔH_1 과 같다.

따라서 $\Delta H_2 = \frac{1}{10} \times \text{NaOH}(s)$ 의 용해 엔탈피 + ΔH_1 이다.

$\text{NaOH}(s)$ 용해 반응과 중화 반응은 모두 $\Delta H < 0$ (발열 반응)이므로, $\Delta H_1 < \Delta H_2$ 이다.

05

선택지 분석

㉠ $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 엔탈피는 x kJ/mol이다.



㉡ $\text{H}_2(g)$ 의 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.

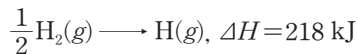
㉢ $a = 2x + 210$ 이다.

ㄱ. 25 °C, 1기압에서 C의 가장 안정한 원소는 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 이므로, $\text{C}(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



이 반응이 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 반응과 같으므로 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 엔탈피는 x kJ/mol이다.

ㄴ. 표준 상태에서 H의 가장 안정한 원소는 $\text{H}_2(g)$ 이므로 $\text{H}(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)이다.



이 반응의 ΔH 는 $\frac{1}{2} \times (\text{H}-\text{H}$ 결합 에너지)와 같으므로 $\text{H}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $436 (= 218 \times 2)$ kJ/mol이다.

ㄷ. $\Delta H = \text{생성물의 표준 생성 엔탈피의 합} - \text{반응물의 표준 생성 엔탈피의 합}$

$= \{2 \times \Delta H_f^\circ(\text{C}(g)) + 2 \times \Delta H_f^\circ(\text{H}(g))\} - \Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_2(g))$

$\Rightarrow a = (2x + 2 \times 218) - 226 = 2x + 210$

06

선택지 분석

㉠ $a > b$ 이다. $a = b = 0$

㉡ ΔH 는 -830 kJ이다.

㉢ $x - y = -215$ 이다.

ㄴ. $\text{F}_2(g), \text{Cl}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이다. 따라서 제시된 반응의 반응엔탈피(ΔH) = 생성물의 표준 생성 엔탈피 합 - 반응물의 표준 생성 엔탈피 합 = $\Delta H_f^\circ(\text{CF}_4(g)) - \Delta H_f^\circ(\text{CCl}_4(g)) = -930 - (-100) = -830$ (kJ/mol)이다.

ㄷ. 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응엔탈피(ΔH)는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값과 같다.

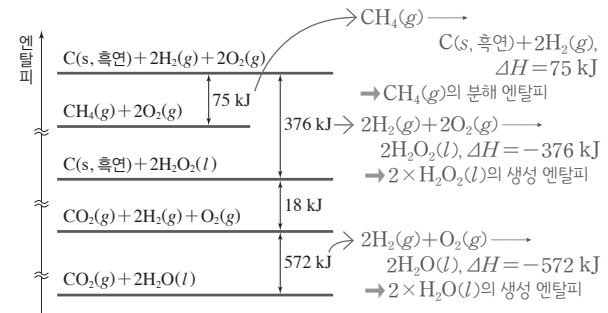
$\Delta H = (4 \times \text{C}-\text{Cl}$ 결합 에너지 + $2 \times \text{F}-\text{F}$ 결합 에너지) - $(4 \times \text{C}-\text{F}$ 결합 에너지 + $2 \times \text{Cl}-\text{Cl}$ 결합 에너지)

$= 4 \times 410 + 2x - (4 \times 510 + 2y) = -830$ (kJ/mol)

$\therefore x - y = -215$ (kJ/mol)

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 25 °C에서 F와 Cl의 가장 안정한 원소는 각각 $\text{F}_2(g), \text{Cl}_2(g)$ 이므로 표준 생성 엔탈피는 모두 0이다. 따라서 $a = b$ 이다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

㉠ $\text{CH}_4(g)$ 의 분해 엔탈피(ΔH)는 75 kJ/mol이다.

㉡ $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\frac{-572}{2} = -286$ kJ/mol이다.

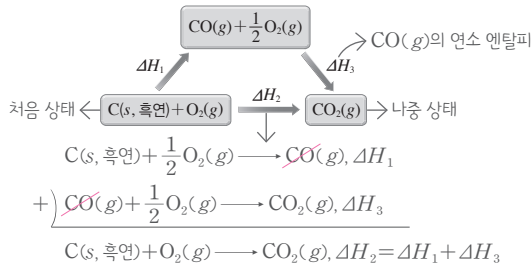
㉢ $\text{H}_2\text{O}_2(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) + \frac{1}{2} \text{O}_2(g)$ 의 반응엔탈피(ΔH)는 -98 kJ이다.

ㄱ. $\text{CH}_4(g) \longrightarrow \text{C}(s, \text{흑연}) + 2\text{H}_2(g), \Delta H = 75 \text{ kJ}$
 따라서 $\text{CH}_4(g)$ 의 분해 엔탈피(ΔH)는 75 kJ/mol이다.

ㄷ. $\text{H}_2\text{O}_2(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) + \frac{1}{2} \text{O}_2(g)$ 의 반응엔탈피(ΔH)는 생성물의 생성 엔탈피와 반응물의 생성 엔탈피 차로 구할 수 있다.
 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 $-286 \left(= \frac{-572}{2} \right)$ kJ/mol, $\text{O}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 0, $\text{H}_2\text{O}_2(l)$ 의 생성 엔탈피는 $-188 \left(= \frac{-376}{2} \right)$ kJ/mol이므로 $\Delta H = -286 - (-188) = -98$ (kJ)이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 생성 엔탈피는 물질 1몰이 생성될 때의 반응엔탈피이므로, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 -286 kJ/mol이다.

08 문제 분석



선택지 분석

㉠ $\text{CO}(g)$ 의 연소 엔탈피는 $\Delta H_2 - \Delta H_1$ 이다.

㉡ $|\Delta H_1| > |\Delta H_2|$ 이다.

$$\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2 \Rightarrow |\Delta H_1| < |\Delta H_2|$$

㉢ $\text{CO}(g)$ 의 결합 에너지는 $(\Delta H_3 + 2a - \frac{b}{2}) \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄱ. $\text{CO}(g)$ 의 연소 엔탈피는 $\text{CO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g)$ 반응의 반응엔탈피(ΔH)이므로, $\text{CO}(g)$ 의 연소 엔탈피는 ΔH_3 이다. $\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2$ 이므로 $\Delta H_3 = \Delta H_2 - \Delta H_1$ 이다.

ㄴ. $\text{CO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g), \Delta H_3$

$$\Delta H_3 = (\text{C} \equiv \text{O} \text{ 결합 에너지} + \frac{1}{2} \times \text{O} = \text{O} \text{ 결합 에너지}) - (2 \times$$

$$\text{C} = \text{O} \text{ 결합 에너지}) = \text{C} \equiv \text{O} \text{ 결합 에너지} + \frac{b}{2} - 2a$$

$$\therefore \text{CO}(g) \text{의 결합 에너지} = (\Delta H_3 + 2a - \frac{b}{2}) \text{ kJ/mol}$$

▮ **바로알기** ▮. C(s, 흑연) 의 연소 반응은 발열 반응이다. 따라서 $\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta H_3$ 은 모두 음(-)의 값이다. 또, $\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2$ 이므로 $|\Delta H_1| < |\Delta H_2|$ 이다.

09

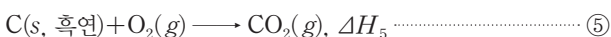
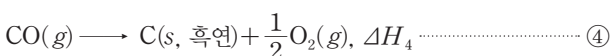
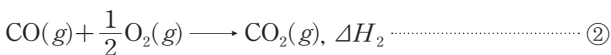
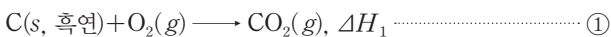
선택지 분석

㉠ $\Delta H_1 = \Delta H_5$

㉡ $\Delta H_2 = \Delta H_3$ $\Delta H_2 \neq \Delta H_3$

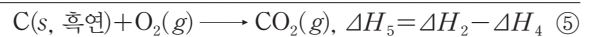
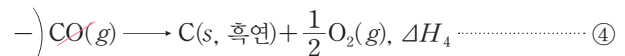
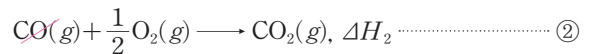
㉢ $\Delta H_5 = \Delta H_2 - \Delta H_4$

$\Delta H_1 \sim \Delta H_5$ 에 해당하는 열화학 반응식은 다음과 같다.



ㄱ. ①식과 ⑤식에서 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으므로 출입하는 에너지가 같다. 따라서 $\Delta H_1 = \Delta H_5$ 이다.

ㄴ. $\Delta H_5 = \Delta H_2 - \Delta H_4$ 관계가 성립하는지는 ②식-④식=⑤식의 성립 여부를 판단할 수 있다.



②식-④식=⑤식이 성립하므로 $\Delta H_5 = \Delta H_2 - \Delta H_4$ 이다.

▮ **바로알기** ▮. ②식과 ③식에서는 반응물과 생성물의 종류가 다르므로 출입하는 에너지가 같지 않다. 따라서 $\Delta H_2 \neq \Delta H_3$ 이다.

10

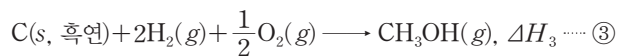
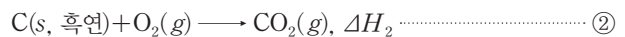
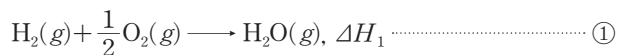
선택지 분석

㉠ $t^\circ\text{C}$, P 기압에서 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 ΔH_1 이다.

㉡ $\text{CH}_3\text{OH}(g)$ 의 연소 엔탈피는 $2\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.

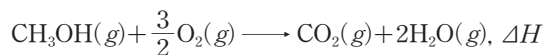
㉢ $[\text{CH}_3\text{OH}(g) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g)]$ 의 결합 에너지 함은 $[\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)]$ 의 결합 에너지 함보다 크다. **작다**

$t^\circ\text{C}$, P 기압에서 물질은 모두 기체 상태이므로 $\Delta H_1 \sim \Delta H_3$ 에 해당하는 열화학 반응식은 다음과 같다.

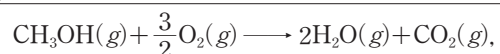
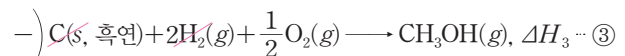
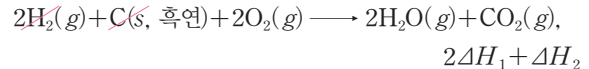
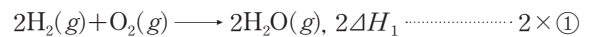


ㄱ. $\text{H}_2(g)$ 의 연소 반응은 $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ 이므로 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 생성 반응과 같다. 따라서 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 ΔH_1 이다.

ㄴ. $\text{CH}_3\text{OH}(g)$ 의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응엔탈피이다.

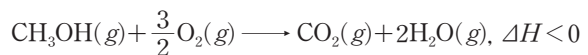


이 반응은 $[2 \times ①\text{식} + ②\text{식} - ③\text{식}]$ 으로 구할 수 있다.



$$\Delta H = 2\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$$

▮ **바로알기** ▮. $\text{CH}_3\text{OH}(g)$ 의 연소 반응이므로 발열 반응이다.



$\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지의 합} - \text{생성물의 결합 에너지의 합})$
 < 0 이므로 반응물인 $[\text{CH}_3\text{OH}(g) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g)]$ 의 결합 에너지 합은 생성물인 $[\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)]$ 의 결합 에너지 합보다 작다.

11 품 품 문제 분석

[열화학 반응식] $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 이 가장 안정한 성분 원소로 분해되는 반응
 $\rightarrow \Delta H_1 = \text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 분해 엔탈피 = -226 kJ

- $\text{C}_2\text{H}_2(g) \rightarrow 2\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{H}_2(g), \Delta H_1$
- $\text{C}_2\text{H}_4(g) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2(g) + \text{H}_2(g), \Delta H_2$
- $\text{C}_2\text{H}_6(g) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(g) + \text{H}_2(g), \Delta H_3$

[표준 생성 엔탈피] $\text{H}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피 = 0

물질	$\text{C}_2\text{H}_2(g)$	$\text{C}_2\text{H}_4(g)$	$\text{C}_2\text{H}_6(g)$
표준 생성 엔탈피(kJ/mol)	226	53	-84

$$\Delta H_2 = \text{C}_2\text{H}_2(g) \text{의 } \Delta H_f^\circ - \text{C}_2\text{H}_4(g) \text{의 } \Delta H_f^\circ$$

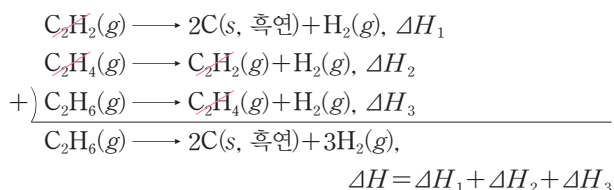
$$\Delta H_3 = \text{C}_2\text{H}_4(g) \text{의 } \Delta H_f^\circ - \text{C}_2\text{H}_6(g) \text{의 } \Delta H_f^\circ$$

선택지 분석

- ☐ $\Delta H_1 < 0$ 이다.
- ☒ $\Delta H_2 < \Delta H_3$ 이다. $\Delta H_2(173 \text{ kJ}) > \Delta H_3(137 \text{ kJ})$
- ☐ $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = 84 \text{ kJ}$ 이다.

ㄱ. ΔH_1 은 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 이 가장 안정한 성분 원소로 분해될 때의 반응엔탈피이며, 분해 엔탈피는 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호가 반대이다. $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피가 226 kJ/mol 이므로 분해 엔탈피 $\Delta H_1 = -226 \text{ kJ} < 0$ 이다.

ㄴ. $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ 은 주어진 3가지 열화학 반응식을 모두 더한 열화학 반응식의 반응엔탈피(ΔH)이다.



이 반응은 $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 이 가장 안정한 성분 원소로 분해되는 반응이므로, 이 반응의 반응엔탈피(ΔH)는 $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 분해 엔탈피와 같다. $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 표준 생성 엔탈피가 -84 kJ/mol 이므로, $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = 84 \text{ kJ}$ 이다.

|| **바로알기** || ㄷ. $\text{H}_2(g)$ 는 25°C , 1기압에서 H의 가장 안정한 원소이므로 표준 생성 엔탈피가 0이다.

$$\Delta H_2 = \text{C}_2\text{H}_2(g) \text{의 표준 생성 엔탈피} - \text{C}_2\text{H}_4(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}$$

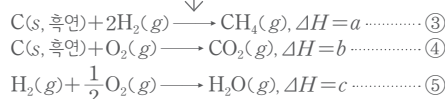
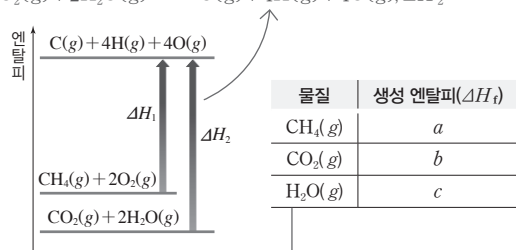
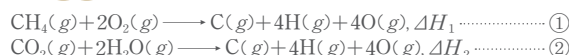
$$= 226 - 53 = 173(\text{kJ})$$

$$\Delta H_3 = \text{C}_2\text{H}_4(g) \text{의 표준 생성 엔탈피} - \text{C}_2\text{H}_6(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}$$

$$= 53 - (-84) = 137(\text{kJ})$$

따라서 $\Delta H_2 > \Delta H_3$ 이다.

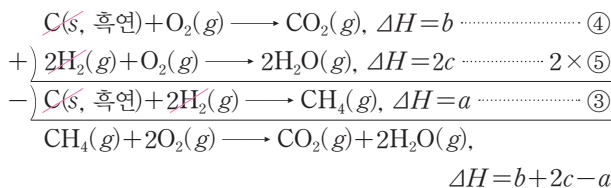
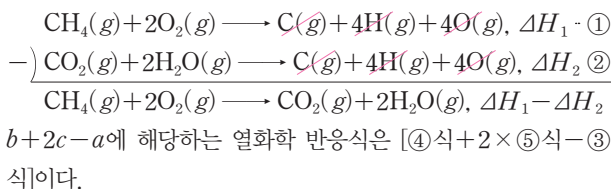
12 품 품 문제 분석



선택지 분석

- ☒ C-H의 결합 에너지는 $\frac{1}{4}\Delta H_1$ 보다 크다. **작다**
- ☒ $\Delta H_2 = -(b+2c)$ 이다. $\Delta H_2 \neq -(b+2c)$
- ☐ $\Delta H_1 - \Delta H_2 = b + 2c - a$ 이다.

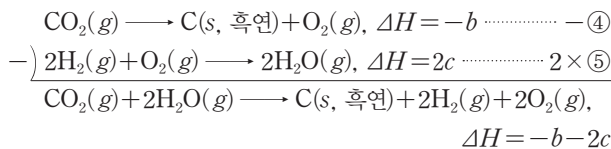
ㄴ. $\Delta H_1 - \Delta H_2$ 에 해당하는 열화학 반응식은 $[\text{①식} - \text{②식}]$ 이다.



$[\text{①식} - \text{②식}]$ 으로 구한 반응식과 $[\text{④식} + 2 \times \text{⑤식} - \text{③식}]$ 으로 구한 반응식이 같으므로 $\Delta H_1 - \Delta H_2 = b + 2c - a$ 이다.

|| **바로알기** || ㄱ. $\Delta H_1 = (4 \times \text{C-H 결합 에너지}) + (2 \times \text{O=O 결합 에너지})$ 이므로 C-H의 결합 에너지는 $\frac{1}{4}\Delta H_1$ 보다 작다.

ㄷ. $-(b+2c)$ 에 해당하는 열화학 반응식은 $[-\text{④식} - 2 \times \text{⑤식}]$ 이다.



이때 얻은 반응식의 생성물 H_2 와 O_2 는 분자 상태이다. 그러나 ΔH_2 에 해당하는 열화학 반응식은 $\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{C}(g) + 4\text{H}(g) + 4\text{O}(g)$ 으로, 생성물 H와 O가 원자 상태이므로 $\Delta H_2 \neq -(b+2c)$ 이다.

2

화학 평형



01 화학 평형

개념 확인 문제

156 쪽

- 1 가역 2 $\rightleftharpoons$ 3 화학 평형 4 정반응 5 역반응
6 동적 7 동일한 8 (화학) 평형

- 1 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\circ$ (4) $\circ$ (5) $\times$ 2 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\circ$ (4) $\circ$
3 (1) $t_1 > t_2$ (2) 정반응 속도 = 역반응 속도 (3) $[A] : [B] = 3 : 1$
4 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\circ$

- 1 (1) 화학 평형은 정반응 속도와 역반응 속도가 같아 겉보기에 반응이 멈춘 것처럼 보이는 상태이다.
(2) 비가역 반응은 한 방향으로만 반응이 일어나기 때문에 화학 평형에 도달하지 않는다.
(3), (4) 화학 평형에서는 정반응 속도와 역반응 속도가 같으므로 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지된다.
(5) 화학 반응식의 계수비는 반응 초기부터 화학 평형에 도달할 때까지 반응하고 생성된 물질의 양적 관계를 의미하는 것이지만, 평형 상태에서 각 물질의 농도비를 의미하는 것은 아니다.

- 2 (1) 가역 반응에서 반응 초기에는 역반응 속도가 정반응 속도에 비해 매우 느려 역반응이 일어나지 않는 것처럼 보일 뿐, 역반응도 일어난다.
(2), (3) $\text{NH}_3(g)$ 의 생성과 분해 반응은 가역 반응이므로 반응물인 $\text{N}_2(g)$ 와 $\text{H}_2(g)$ 만 넣고 반응시키거나, 생성물인 $\text{NH}_3(g)$ 만 넣고 반응시키더라도 동일한 화학 평형에 도달한다.
(4) 화학 평형에서는 반응물과 생성물이 함께 존재한다.

- 3 (1), (2) t_2 이후 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지되므로 화학 평형이다. 반응물 A만 용기에 넣어 평형에 도달할 경우이므로, 평형에 도달할 때까지 정반응 속도는 점점 느려지고 역반응 속도는 점점 빨라져 평형에 도달하면 정반응 속도와 역반응 속도 같아진다.
(3) 화학 평형에서 $[A]$ 는 3 M, $[B]$ 는 1 M이다. 화학 반응식의 계수비 $A : B = 2 : 1$ 은 반응 초기부터 평형에 도달할 때까지 반응한 A와 B의 몰비이므로 평형 농도와는 관계가 없다.

- 4 (1) 반응물을 넣은 직후에는 반응물이 생성물로 되는 정반응이 빠르게 진행되지만 시간이 지날수록 반응물의 농도가 감소하므로 정반응은 점점 느려진다. 따라서 v_1 은 정반응 속도이다.

- (2) 시간이 지남에 따라 점점 빨라지는 v_2 는 역반응 속도이므로, 시간 t 에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같아지는 화학 평형에 도달한다. 화학 평형은 정반응과 역반응이 일어나지 않는 것이 아니라, 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나는 동적 평형이다.
(3) 시간 t 이후에는 정반응 속도와 역반응 속도가 같으므로 $[A]$ 와 $[B]$ 가 일정하게 유지된다.

160 쪽

완자샘

비법 특강

- Q1 ① -1.0 ② -2.0 ③ +2.0
④ $\text{A}(g) + 2\text{B}(g) \rightleftharpoons 2\text{C}(g)$ ⑤ $\frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]^2}$
⑥ $\frac{4}{3}$

- Q1 ①, ②, ③, ④ 그림에서 처음 농도와 평형 농도를 비교하면 반응 농도를 알 수 있으며, 각 물질의 반응 농도비는 화학 반응식의 계수비와 같다.
⑤, ⑥ 화학 반응식으로부터 구한 평형 상수식에 평형 농도를 대입하여 평형 상수를 구한다.

$$K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]^2} = \frac{2.0^2}{3.0 \times 1.0^2} = \frac{4}{3}$$

개념 확인 문제

161 쪽

- 1 평형 상수(K) 2 온도 3 부분 압력 4 정반응 5 생성물 6 반응 지수(Q) 7 정반응 8 역반응

- 1 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\times$ (4) $\circ$ 2 (1) $K = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]}$
(2) $K = [\text{NH}_3][\text{HCl}]$ (3) $K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 3 2
4 (1) $\circ$ (2) $\times$ (3) $\times$ (4) $\circ$ 5 (1) 25 (2) 역반응

- 1 (1) 평형 상수는 일반적으로 단위를 표시하지 않는다.
(2) 온도가 일정할 때 평형 상수는 반응물의 농도와 관계없이 일정한 값을 갖는다.
(3) 평형 상수는 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비로, 정반응과 역반응은 반응물과 생성물이 반대가 되므로 평형 상수도 달라진다. 어떤 반응의 평형 상수가 K 일 때 역반응의 평형 상수는 $\frac{1}{K}$ 이다.
(4) 평형 상수가 1보다 매우 작은 반응은 역반응이 정반응보다 우세하게 일어나는 반응이므로 평형 상태에서 반응물의 양이 생성물의 양보다 더 크다.

2 $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ $K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$

[A], [B], [C], [D]: 평형 상태에서 각 물질의 농도

(2) 반응에 고체가 포함된 경우 고체의 농도는 1로 하므로 평형 상수식에 나타내지 않는다. NH_4Cl 은 고체이므로 평형 상수식에 나타내지 않는다.

(3) H_2O 은 용매이므로 평형 상수식에 나타내지 않는다.

3 용기의 부피가 1 L이므로 기체 A와 B의 처음 농도는 각각 $[A]=1.0\text{ M}$, $[B]=2.0\text{ M}$ 이고, 기체 C의 평형 농도는 $[C]=1.0\text{ M}$ 이다. 또, 평형에 도달할 때까지 반응하는 물질의 몰비는 화학 반응식의 계수비($A:B:C=1:2:2$)와 같으므로, 반응물과 생성물의 양적 관계는 다음과 같다.

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

처음 농도(M)	1.0	2.0	0
반응 농도(M)	-0.5	-1.0	+1.0
평형 농도(M)	0.5	1.0	1.0

→ 주어진 값을 이용해 반응 농도와 평형 농도를 구한다.

각 물질의 평형 농도를 평형 상수식에 대입하여 평형 상수를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]^2} = \frac{1.0^2}{0.5 \times 1.0^2} = 2$$

4 (1), (2) 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)에 반응물과 생성물의 현재 농도를 대입하여 구하므로, 대입하는 농도에 따라 달라진다.

(3) 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)와 같다는 것은 평형 상태임을 의미한다. 평형 상태에서는 정반응 속도와 역반응 속도가 같다.

(4) 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 작은 상태는 평형 상태와 비교할 때 반응물의 농도가 생성물의 농도보다 큰 상태이다. 따라서 평형 상태에 도달하려면 반응물이 소모되어야 하므로 평형에 도달할 때까지 정반응이 진행되어 반응물의 농도가 감소한다.

5 반응의 진행 방향은 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)를 비교하여 예측할 수 있다. 용기의 부피가 10 L이므로 N_2 , H_2 , NH_3 의 농도는 각각 $[N_2]=0.1\text{ M}$, $[H_2]=0.4\text{ M}$, $[NH_3]=0.4\text{ M}$ 이다.

(1) $Q = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{0.4^2}{0.1 \times 0.4^3} = 25$

(2) $Q > K$ 이므로 역반응이 우세하게 진행된다.

대표 자료 분석

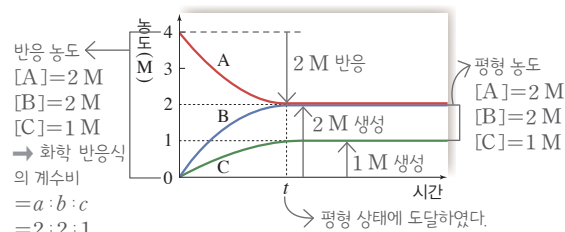
162쪽

자료 1 $2A(g) \rightleftharpoons 2B(g) + C(g)$ $2K = \frac{[B]^2[C]}{[A]^2}$

3 1 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

자료 2 1 4 2 4 3 $Q < K$ 4 (1) × (2) ○ (3) ×

①-1 꼼꼼 문제 분석



처음 농도와 평형 농도의 차를 이용하면 반응 농도를 구할 수 있다.

물질	A	B	C
처음 농도(M)	4	0	0
평형 농도(M)	2	2	1
반응 농도(M)	-2	+2	+1

반응한 물질의 농도비가 $A:B:C=2:2:1$ 이며, 이는 화학 반응식의 계수비와 같으므로 $a:b:c=2:2:1$ 이고, 화학 반응식은 $2A(g) \rightleftharpoons 2B(g) + C(g)$ 이다.

①-2,3 화학 반응식으로 평형 상수식을 쓰고, 각 물질의 평형 농도를 대입하여 평형 상수를 구한다.

• 평형 농도: $[A]=2\text{ M}$, $[B]=2\text{ M}$, $[C]=1\text{ M}$

$$K = \frac{[B]^2[C]}{[A]^2} = \frac{2^2 \times 1}{2^2} = 1$$

①-4 (1) 시간 t 이후 각 물질의 농도가 일정하므로 평형 상태이다. 시간 t 에 도달할 때까지 반응물의 농도가 감소하므로 평형에 도달할 때까지 정반응 속도는 감소한다.

(2) 화학 평형 상태는 정반응과 역반응이 끊임없이 일어나는 동적 평형 상태이다.

(3) 같은 조건에서 A 2몰, B 1몰, C 2몰을 넣었을 때 용기의 부피가 1 L이므로 A, B, C의 현재 농도는 각각 $[A]=2\text{ M}$, $[B]=1\text{ M}$, $[C]=2\text{ M}$ 이다. 따라서 반응 지수(Q)는 다음과 같다.

$$Q = \frac{[B]^2[C]}{[A]^2} = \frac{1^2 \times 2}{2^2} = \frac{1}{2}$$

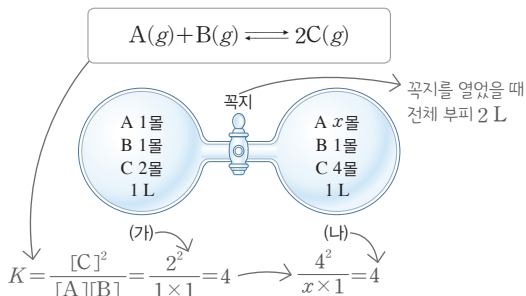
$Q < K$ 이므로, 정반응이 우세하게 일어난다.

(4) 2 L 강철 용기에 A 1몰, B 2몰, C 1몰을 넣었을 때 각 물질의 몰 농도는 $[A]=0.5\text{ M}$, $[B]=1\text{ M}$, $[C]=0.5\text{ M}$ 이므로, 반응 지수(Q)는 다음과 같다.

$$Q = \frac{[B]^2[C]}{[A]^2} = \frac{1^2 \times 0.5}{0.5^2} = 2$$

온도가 같으므로 평형 상수(K)는 1이다. 따라서 반응 지수(Q)가 평형 상수보다 크므로, 반응 지수가 평형 상수와 같아지려면 생성물이 소모되는 반응이 일어나야 한다. 즉, 역반응이 우세하게 진행된다.

2-1 **문제 분석**



용기 (가)의 부피가 1 L이므로 평형 농도는 각각 $[A]=1\text{ M}$, $[B]=1\text{ M}$, $[C]=2\text{ M}$ 이고 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{2^2}{1 \times 1} = 4$$

2-2 온도가 같으므로 (가)와 (나)에서 평형 상수는 4로 같다. (나)에서 각 물질의 평형 농도가 각각 $[A]=x\text{ M}$, $[B]=1\text{ M}$, $[C]=4\text{ M}$ 이므로 x 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{4^2}{x \times 1} = 4, x = 4$$

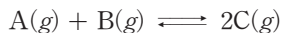
2-3 꼭지를 열었을 때 각 물질의 양(mol)은 A가 5몰, B가 2몰, C가 6몰이다. 이때 반응 용기의 부피는 2 L가 되므로 각 물질의 농도는 $[A]=2.5\text{ M}$, $[B]=1\text{ M}$, $[C]=3\text{ M}$ 이다. 따라서 이때 반응 지수(Q)는 다음과 같다.

$$Q = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{3^2}{2.5 \times 1} = 3.6 < 4$$

꼭지를 열었을 때 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작다.

2-4 (1) 평형 상수는 온도가 일정하면 농도와 관계없이 일정하다. 꼭지를 열기 전 평형 상태와 꼭지를 열어 새로운 평형에 도달했을 때의 온도는 같으므로 평형 상수는 4로 같다.

(2), (3) 꼭지를 열었을 때 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 작으므로 정반응이 우세하게 진행된다. 따라서 평형에 도달할 때까지 반응한 A의 농도를 $y\text{ M}$ 이라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.



처음 평형 농도(M)	2.5	1	3
반응 농도(M)	$-y$	$-y$	$+2y$
새로운 평형 농도(M)	$2.5-y$	$1-y$	$3+2y$

평형 상수식에 새로운 평형 농도를 대입하여 y 를 구한다.

$$\frac{(3+2y)^2}{(2.5-y)(1-y)} = 4, y = \frac{1}{26}$$

따라서 $[C] = \frac{40}{13}\text{ M}$ 이고, 이때 용기의 부피가 2 L이므로 C의

양(mol)은 $\frac{80}{13}$ 몰이다.

내신 만점 문제

163 쪽 ~ 165 쪽

01 ②	02 ②	03 ①	04 ㄱ, ㄴ	05 ㄷ
06 ④	07 ③	08 ④	09 ③	10 해설 참조
11 ①	12 ⑤	13 ①		

01 ② 화학 평형에서는 정반응과 역반응이 모두 일어나므로 반응물과 생성물이 함께 존재한다.

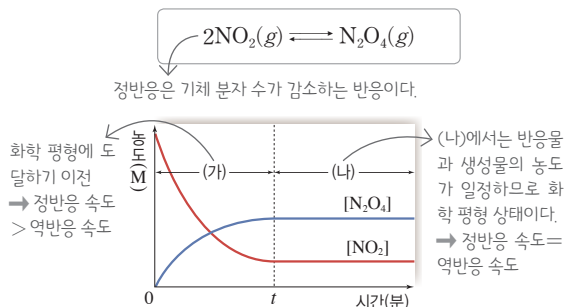
▮ **바로알기** ① 화학 평형은 겉으로 보기에 변화가 없어 반응이 정지된 것처럼 보이지만, 실제로는 정반응과 역반응이 같은 속도로 계속 일어나고 있는 동적 평형 상태이다.

③ 반응이 정지된 상태가 아니므로 정반응과 역반응 속도는 0이 아니다.

④ 화학 평형에서 반응물의 전체 농도와 생성물의 전체 농도가 항상 같지는 않다.

⑤ 화학 평형에 도달하는 반응은 가역 반응이다. 연소 반응, 기체 생성 반응 등의 비가역 반응은 화학 평형에 도달하지 않는다.

02 **문제 분석**



나. (나)에서는 반응물과 생성물의 농도가 일정하므로 화학 평형 상태이다. 따라서 정반응 속도와 역반응 속도가 같다.

▮ **바로알기** ㄱ. (가)에서도 정반응과 역반응이 모두 일어난다.

ㄷ. 정반응은 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 반응 초기에 비해 평형 상태에서의 기체 분자 수가 더 작다. 따라서 온도와 부피가 일정하므로 용기 속 기체의 전체 압력은 (가)에서 (나)에서보다 크다.

03 ㄱ. 화학 평형에서는 정반응과 역반응이 모두 일어나므로 반응물과 생성물이 함께 존재한다.

▮ **바로알기** ㄴ. CO와 H_2 의 반응 초기 농도가 같지만 반응 몰비가 $\text{CO} : \text{H}_2 = 1 : 2$ 이므로 평형에 도달할 때까지 반응한 양이 다르다. 따라서 화학 평형에서 CO와 H_2 의 양(mol)은 같지 않다.

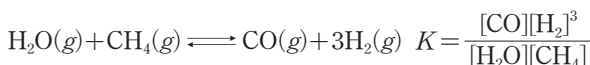
ㄷ. 평형 상태에서 정반응과 역반응이 계속 일어나므로 CH_3OH 은 계속 생성되고, 또 CO와 H_2 로 계속 분해된다.

04 ㄱ. 화학 반응식에서 항상 일정한 값을 나타내는 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비, 즉 평형 상수(K)는 다음과 같이 나타낸다.

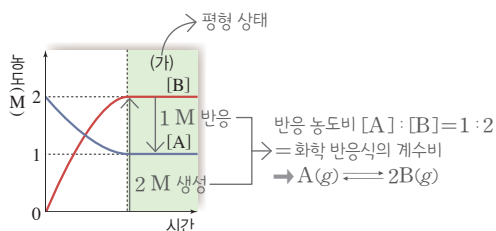
$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD \quad K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

ㄴ. 고체인 CaCO_3 과 CaO 은 평형 상수식에 나타내지 않는다.

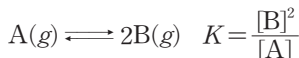
▮ **바로알기** ㄷ. 일반적으로 반응에 물이 용매로 사용된 경우 물의 농도는 생략하는데, ㄷ의 반응에서 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 은 용매가 아니라 반응물이다. 따라서 평형 상수식에 포함시켜야 한다.



05 **문제 분석**



ㄷ. 온도가 같으면 평형에 도달했을 때 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비, 즉 평형 상수는 항상 일정하다.



이때 역반응에서의 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비 $\frac{[\text{A}]}{[\text{B}]^2}$ 도 일정하다.

▮ **바로알기** ㄱ, ㄴ. 화학 반응에서 반응물과 생성물의 처음 농도가 다를 경우 평형에 도달했을 때의 농도도 다르다.

ㄷ. 화학 평형에서의 농도비는 화학 반응식의 계수비와 관계가 없다.

06 ㄴ. 처음 용기에 $\text{H}_2(g)$ 와 $\text{Cl}_2(g)$ 를 각각 1몰씩 넣었을 때 평형 상태에서 $\text{HCl}(g)$ 1.8몰이 생성되었다. 각 물질이 반응하거나 생성되는 몰비는 화학 반응식의 계수비와 같으므로, 평형에 도달할 때까지 반응한 $\text{H}_2(g)$, $\text{Cl}_2(g)$ 와 생성된 $\text{HCl}(g)$ 의 몰비는 $\text{H}_2(g) : \text{Cl}_2(g) : \text{HCl}(g) = 1 : 1 : 2$ 이다. 용기의 부피가 1 L이므로 반응물과 생성물의 양적 관계는 다음과 같다.

	$\text{H}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{HCl}(g)$		
처음 농도(M)	1	1	0
반응 농도(M)	-0.9	-0.9	+1.8
평형 농도(M)	0.1	0.1	1.8

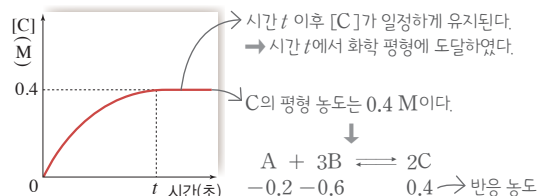
각 물질의 평형 농도는 $[\text{H}_2]=0.1 \text{ M}$, $[\text{Cl}_2]=0.1 \text{ M}$, $[\text{HCl}]=1.8 \text{ M}$ 이므로, 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{[\text{HCl}]^2}{[\text{H}_2][\text{Cl}_2]} = \frac{1.8^2}{0.1 \times 0.1} = 324$$

ㄷ. 반응 전 반응물 H_2 와 Cl_2 의 총 양(mol)은 2몰이고, 반응 후 평형 상태에서 H_2 , Cl_2 , HCl 의 총 양(mol)도 $2(=0.1+0.1+1.8)$ 몰이므로, 평형 상태에서 기체의 전체 압력은 반응 전과 같다.

▮ **바로알기** ㄱ. 평형 상태에서 Cl_2 의 양(mol)은 0.1몰이다.

07 **문제 분석**



ㄱ. 용기의 부피가 1 L이므로 A와 B의 처음 농도는 각각 1 M이고, 그래프에서 C의 평형 농도는 0.4 M이다. 반응 몰비는 화학 반응식의 계수비와 같으므로 $A : B : C = 1 : 3 : 2$ 이다. 따라서 평형에 도달할 때까지 반응물과 생성물의 양적 관계는 다음과 같다.

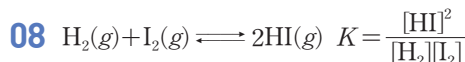
	$\text{A}(g) + 3\text{B}(g) \rightleftharpoons 2\text{C}(g)$		
처음 농도(M)	1	1	0
반응 농도(M)	-0.2	-0.6	+0.4
평형 농도(M)	0.8	0.4	0.4

따라서 시간 t (평형 상태)에서 $[\text{A}]$ 는 0.8 M이다.

ㄷ. 각 물질의 평형 농도를 평형 상수식에 대입하여 평형 상수를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]^3} = \frac{0.4^2}{0.8 \times 0.4^3} = \frac{25}{8}$$

▮ **바로알기** ㄴ. 평형 상태에서 각 기체의 양은 A 0.8몰, B 0.4몰, C 0.4몰이므로 B와 C의 몰 분율은 $\frac{0.4}{1.6} = \frac{1}{4}$ 로 같다.



실험 (나)의 평형 농도로 평형 상수를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{8.0^2}{4.0 \times 2.0} = 8.0$$

온도가 일정하면 농도에 관계 없이 평형 상수는 일정하다.

• 실험 (가): $\frac{8.0^2}{x \times 4.0} = 8.0, x = 2.0$

• 실험 (다): $\frac{y^2}{2.0 \times 1.0} = 8.0, y = 4.0$

09 ㄱ. 반응 초기 상태 (가)에서 화학 평형 상태 (나)에 도달할 때까지 C가 $0.4(=1.0-0.6)$ 몰 감소했으므로, (가)에서 (나)에 도달할 때까지 역반응이 우세하게 일어났다.

용기의 부피가 1 L이고, 반응 몰비가 A : B : C = 1 : 1 : 2이므로, 역반응이 우세하게 일어나 평형에 도달할 때까지 반응물과 생성물의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
처음 농도(M)	x	0	1
반응 농도(M)	+0.2	+0.2	-0.4 ← 역반응 진행
평형 농도(M)	$x+0.2$	0.2	0.6

(나)에서 A(g)가 0.8몰이므로 $x+0.2=0.8$, $x=0.6$ 이다.

$$\therefore K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{0.6^2}{0.8 \times 0.2} = \frac{9}{4}$$

▮ **바로알기** ▮. (나)에서 각 기체의 양(mol)은 A가 0.8몰, B가 0.2몰, C가 0.6몰이므로 B의 몰 분율은 $\frac{0.2}{1.6} = \frac{1}{8}$ 이다.

10 용기의 부피가 1 L이므로 처음 농도는 $[H_2]=[F_2]=1.2$ M 이고, 평형에 도달할 때까지 반응한 H_2 와 F_2 의 농도를 x M이라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.

	$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HF(g)$		
처음 농도(M)	1.2	1.2	0
반응 농도(M)	- x	- x	+ $2x$
평형 농도(M)	$1.2-x$	$1.2-x$	$2x$

$$K = \frac{[HF]^2}{[H_2][F_2]} = \frac{(2x)^2}{(1.2-x)(1.2-x)} = 16, x=0.8$$

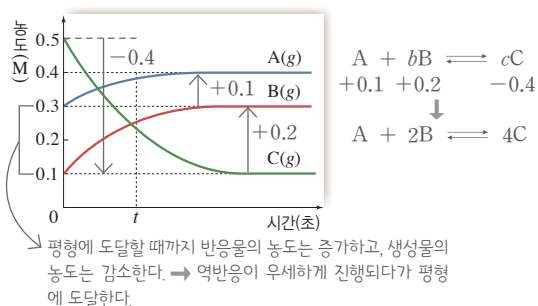
따라서 $[H_2]=[F_2]=0.4$ M, $[HF]=1.6$ M이다.

◻ **모범답안** ▮ $[H_2]=[F_2]=0.4$ M, $[HF]=1.6$ M, H_2 와 F_2 이 각각 x 몰씩 반응했다면 평형 상태에서 $[H_2]=[F_2] = (1.2-x)$ M이고 $[HF]=2x$ M 이므로, x 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K = \frac{[HF]^2}{[H_2][F_2]} = \frac{(2x)^2}{(1.2-x)(1.2-x)} = 16, x=0.8$$

채점 기준	배점
평형 농도를 옮겨 구하고, 풀이 과정을 옮겨 서술한 경우	100 %
평형 농도만 옮겨 구한 경우	50 %

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 화학 평형에 도달할 때까지 [A]가 0.1 M 증가할 때 [B]는 0.2 M 증가하고 [C]는 0.4 M 감소하므로, 화학 반응식의 계수비는 1 : 2 : 4이다. 따라서 반응 계수는 $b : c = 2 : 4$ 이므로 $\frac{c}{b} = 2$ 이다.

▮ **바로알기** ▮. 각 물질의 평형 농도는 $[A]=0.4$ M, $[B]=0.3$ M, $[C]=0.1$ M이므로 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{[C]^4}{[A][B]^2} = \frac{0.1^4}{0.4 \times 0.3^2} = \frac{1}{360}$$

ㄴ. 평형에 도달할 때까지 반응물의 농도는 증가하고 생성물의 농도는 감소하므로, 역반응이 우세하게 진행되다가 평형에 도달한다. 따라서 시간 t 에서는 역반응이 우세하게 일어나므로, 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 크다.

12 **꼼꼼** 문제 분석

물질	A	B	C
처음 농도(M)	0.4	0.4	0
평형 농도(M)	0.3	0.3	0.2
반응 농도(M)	-0.1	-0.1	+0.2

→ 반응 몰비는 A : B : C = 1 : 1 : 2이다.
→ $a : b : c = 1 : 1 : 2$

(가) 반응 몰비는 화학 반응식의 계수비와 같으며, 화학 반응식으로 구한 평형 상수식에 각 물질의 평형 농도를 대입한다.

$$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g) \quad K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{0.2^2}{0.3 \times 0.3} = \frac{4}{9}$$

(나) 1 L 강철 용기에 A, B, C를 각각 1몰씩 넣으면 각 물질의 농도는 $[A]=[B]=[C]=1$ M이고, 반응 지수(Q)는 다음과 같다.

$$Q = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{1^2}{1 \times 1} = 1$$

$Q > K$ 이므로 생성물의 농도가 감소하는 역반응이 우세하게 진행된다.

13 ㄱ. 용기의 부피가 1 L이므로 (가)에서 평형 농도는 각각 $[A]=2$ M, $[B]=2$ M이고, $K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{2^2}{2} = 2$ 이다.

▮ **바로알기** ▮. 온도가 같으므로 (가)와 (나)에서 평형 상수는 2로 같다. 또, 용기의 부피가 1 L이므로 (나)에서 평형 농도는 각각 $[A]=x$ M, $[B]=4$ M이다.

$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{4^2}{x} = 2, x=8$$

ㄴ. 꼭지를 열었을 때 반응 용기의 부피는 2 L이고, A의 양(mol)은 10몰, B의 양(mol)은 6몰이므로 농도는 $[A]=5$ M, $[B]=3$ M이다. 따라서 반응 지수(Q)는 $Q = \frac{3^2}{5} = \frac{9}{5}$ 이다.

$Q < K$ 이므로 꼭지를 열면 정반응이 우세하게 일어난다.

02 화학 평형 이동

168 쪽

원자핵

비법 특강

Q1 산소(O₂)의 농도 감소

Q2 두꺼워진다.

Q1 높은 산에는 공기가 희박하여 호흡을 통해 몸속으로 들어오는 산소(O₂)의 양이 감소하므로, O₂의 농도를 증가시키는 방향으로 평형이 이동한다. 즉, 산소 헤모글로빈(Hb(O₂)₄)이 헤모글로빈(Hb)과 O₂로 분해되는 역반응 쪽으로 평형이 이동하여, O₂의 농도를 증가시킨다. 이로 인해 혈액을 통해 운반되어 세포로 공급되는 O₂의 농도는 오히려 감소하게 되므로 고산병이 나타난다.

Q2 ① CO₂(g) + H₂O(l) ⇌ H₂CO₃(aq)

② H₂CO₃(aq) ⇌ H⁺(aq) + HCO₃⁻(aq)

③ CaCO₃(s) + H₂CO₃(aq) ⇌ Ca²⁺(aq) + 2HCO₃⁻(aq)

혈액 속 CO₂의 농도가 증가하면 반응 ①은 CO₂의 농도가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 이때 H₂CO₃의 농도가 증가하므로 반응 ②는 H₂CO₃의 농도가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 이에 따라 HCO₃⁻의 농도가 증가하므로 반응 ③은 HCO₃⁻의 농도가 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 CaCO₃의 농도가 증가한다. 따라서 달걀 껍데기의 두께가 두꺼워진다.

개념 확인 문제

169 쪽

① 평형 이동 ② 감소 ③ 작아 ④ 정반응 ⑤ 증가
⑥ 커 ⑦ 역반응

1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 (1) ○ (2) × (3) ○ 3 (1) × (2) ○
(3) ○ (4) × 4 ㄷ

1 (1) 어떤 반응이 평형 상태에 있을 때 농도, 압력, 온도 등의 조건이 변하지 않으면 평형 상태가 계속 유지된다.
(2) 어떤 반응이 평형 상태에 있을 때 반응물을 첨가하면 반응물의 농도가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.
(3) 어떤 반응이 평형 상태에 있을 때 생성물을 제거하면 생성물의 농도가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

2 (1) 시간 t 에서 N₂의 농도가 급격히 증가했으므로 N₂를 첨가했다. $K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$ 에서 반응물인 N₂의 농도가 커지면 평형 상수식의 분모의 값이 커지므로 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작아진다.

(2) 시간 t 에서 N₂를 첨가하였으므로 (나)에서는 N₂의 농도가 감소하는 정반응이 우세하게 일어난다.

(3) 온도가 일정하면 평형 상수는 일정하다. 처음 평형 상태 (가)에서와 새로운 평형 상태 (다)에서의 온도가 같으므로 평형 상수는 같다.

3 (1) H₂SO₄(aq)을 첨가하면 수용액 속 H⁺의 농도가 증가하므로 H⁺의 농도가 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 용액이 주황색으로 변한다.

(2) HCl(aq)을 첨가하면 H⁺의 농도가 증가하므로 평형 상수식 $\frac{[\text{CrO}_4^{2-}]^2[\text{H}^+]^2}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]}$ 에서 분자의 값이 커진다. 따라서 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 커진다.

(3) NaOH 수용액을 첨가하면 OH⁻이 H⁺과 중화 반응하므로 수용액 속 H⁺의 농도가 감소한다. 따라서 H⁺의 농도가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(4) K₂CrO₄를 첨가하면 생성물인 CrO₄²⁻을 첨가한 것과 같으므로 CrO₄²⁻의 농도가 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

4 화학 반응이 평형 상태에 있을 때 조건에 변화를 주면, 그 변화를 줄이는 방향으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

ㄱ. 반응물인 PCl₅를 제거하면 PCl₅의 농도가 증가하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄴ. 생성물인 PCl₃를 첨가하면 PCl₃의 농도가 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄷ. 생성물인 Cl₂를 제거하면 Cl₂의 농도가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

개념 확인 문제

172 쪽

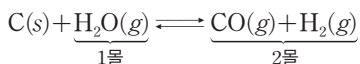
① 감소 ② 증가 ③ 작아 ④ 정반응 ⑤ 기체 ⑥ 압력
⑦ 부피

1 (1) × (2) × (3) ○ 2 (1) 역반응 (2) 평형이 이동하지 않음
(3) 정반응 3 (1) Q=4K (2) 역반응 4 ㄱ 5 (1) × (2) ○
(3) ×

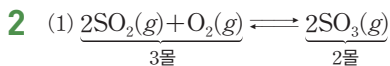
1 (1) 어떤 반응이 평형 상태에 있을 때 압력을 높이면 압력을 감소시키는 방향으로 평형이 이동한다.

(2) 온도가 일정하면 압력이 변해도 평형 상수는 일정하다.

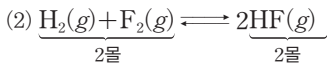
(3) 고체나 액체가 포함된 반응에서는 기체의 양(mol)만 비교한다.



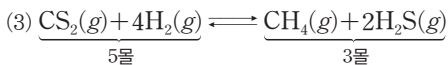
따라서 압력을 높이면 기체의 양(mol)(분자 수)이 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.



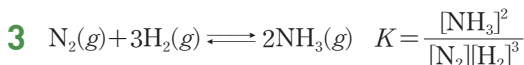
반응 용기의 압력을 낮추면 기체의 양(mol)이 증가하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.



반응물과 생성물이 모두 기체 상태이고 양쪽 계수의 합이 2로 같으므로, 정반응이나 역반응이 일어나도 기체의 양(mol)이 변하지 않는다. 따라서 압력이 변해도 평형은 이동하지 않는다.



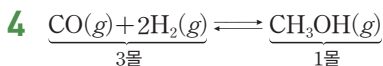
반응 용기의 압력을 높이면 기체의 양(mol)이 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.



(1) $\text{NH}_3(g)$ 생성 반응이 평형 상태에 있을 때 압력을 낮추어 부피를 2배로 늘리면 N_2 , H_2 , NH_3 의 농도는 각각 처음 평형 농도의 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 이때 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)의 관계는 다음과 같다.

$$Q = \frac{\left(\frac{1}{2}[\text{NH}_3]\right)^2}{\left(\frac{1}{2}[\text{N}_2]\right)\left(\frac{1}{2}[\text{H}_2]\right)^3} = 4 \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = 4K$$

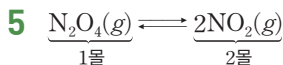
(2) $Q > K$ 이므로, Q가 K와 같아지려면 분자인 $\text{NH}_3(g)$ 의 농도가 감소해야 하므로 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.



ㄱ. 정반응이 기체의 양(mol)이 감소하는 방향이므로 평형 상태에 있을 때 압력을 높이면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄴ. 평형 상태에 있을 때 부피를 증가시키면 압력이 낮아지므로 기체의 양(mol)이 증가하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄷ. 아르곤(Ar)은 비활성 기체로 반응에 참여하지 않고 기체 전체의 부피가 일정하므로, Ar을 첨가해도 반응에 관여하는 물질의 농도가 변하지 않는다. 따라서 평형이 이동하지 않는다.



(1) 압력을 가한 직후에는 부피가 줄어들어 농도가 증가하는 효과(단위 부피당 NO_2 분자 수 증가)가 있어 적갈색이 진해진다.

(2) (나)에서 (다)는 새로운 평형 상태에 도달하는 과정으로, 압력이 증가했으므로 기체의 양이 감소하는 방향 즉, $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 가 생성되는 역반응이 우세하게 일어난다.

(3) (나)에서 (다)로 진행될 때 역반응이 우세하게 일어나 $\text{NO}_2(g)$ 의 양(mol)이 감소하므로 (나)와 (다)에서 $\text{NO}_2(g)$ 와 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 양은 다르다. 평형 상태에서 반응물과 생성물의 양이 같은 것은 아니다.

개념 확인 문제

176 쪽

- ① 흡열(열을 흡수하는) ② 발열(열을 방출하는) ③ 역반응
④ 정반응 ⑤ 낮을 ⑥ 높을 ⑦ 르사틀리에 ⑧ 줄이는(감소시키는)

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 (1) 역반응 (2) 역반응 3 작아진다.
4 ㄴ 5 (1) $a+b > c$ (2) 음(-)의 값

1 (1) 어떤 반응이 평형 상태에 있을 때 온도를 높이면 온도 변화를 줄이기 위해 열을 흡수하는 쪽으로 반응이 진행된다. 즉, 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(2) 어떤 반응이 평형 상태에 있을 때 온도를 낮추면 온도 변화를 줄이기 위해 열을 방출하는 쪽으로 반응이 진행된다. 즉, 발열 반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(3) 온도가 달라지면 평형 상수도 변한다.

2 (1) $\Delta H < 0$ 이므로 정반응은 발열 반응이다. 따라서 온도를 높이면 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(2) $\Delta H > 0$ 이므로 정반응은 흡열 반응이다. 따라서 온도를 낮추면 발열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

3 입자 모형 와 가 A_2 또는 B_2 이며, 가 AB이다.

온도가 300 K에서 400 K로 높아졌을 때 생성물인 AB의 수가 감소하고, 반응물인 A_2 와 B_2 의 수는 증가했으므로 역반응이 일어났다. 즉, 온도가 높아졌을 때 역반응이 일어났으므로 역반응은 흡열 반응이고, 정반응은 발열 반응이다. 발열 반응은 온도가 높아지면 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 생성물의 농도가 감소하므로 평형 상수(K)가 작아진다.

4 수득률을 높이려면 평형을 정반응 쪽으로 이동시켜야 한다.

ㄱ. NH_3 생성 반응은 정반응이 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 온도를 높이면 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 수득률이 낮아진다.

ㄴ. 압력을 높이면 기체의 양(mol)이 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률이 높아진다.

ㄷ. 촉매를 사용하면 평형에 도달하는 속도가 빨라질 뿐 수득률은 변하지 않는다.

5 (1) 압력이 높을수록 수득률이 높아지므로 압력이 높을수록 정반응이 우세하게 진행된다. 즉, 정반응이 기체의 양(mol)이 감소하는 방향이므로 화학 반응식의 계수는 $(a+b) > c$ 이다.

(2) 온도가 낮을수록 수득률이 높아지므로 온도가 낮을수록 정반응이 우세하게 진행된다. 즉, 정반응은 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다.

자료 1 1 정반응 2 (가)>(나) 3 (가)=(나) 4 (1) ○
(2) × (3) × (4) ○

자료 2 1 $a < b$ 2 음(-)의 값 3 $K_I = K_{II} < K_{III}$
4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석

$2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ → 정반응이 기체의 양이 감소하는 방향이다.

(가) 처음 평형 상태 (나) 새로운 평형 상태

→ 온도가 같으면 평형 상수는 같다.

압력이 증가하면 기체의 양이 감소하는 쪽으로 평형이 이동한다.
↓
정반응 쪽으로 평형 이동

①-2 (가)에서 (나)로 되는 동안 기체 분자 수가 감소하는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 NO_2 의 양은 감소하고 N_2O_4 의 양은 증가한다. 따라서 NO_2 의 몰 분율이 감소하므로 NO_2 의 몰 분율은 (가)에서 (나)에서보다 크다.

①-3 (가)와 (나)에서 온도가 같으므로 평형 상수는 (가)와 (나)에서 같다.

①-4 (1) 압력이 증가할 때 기체의 양(mol)이 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 혼합 기체의 전체 분자 수는 (가)에서 (나)에서보다 많다.

(2) (가)의 평형 상태에서 압력을 가해 2기압이 되도록 한 직후에는 부피가 $\frac{1}{2}$ 배로 감소하므로 NO_2 와 N_2O_4 의 농도가 각각 처음의 2배가 된다. 이때의 반응 지수(Q)는 다음과 같다.

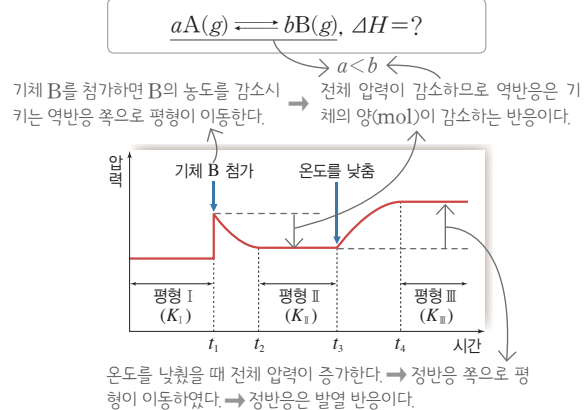
$$Q = \frac{2[\text{N}_2\text{O}_4]}{(2[\text{NO}_2])^2} = \frac{2}{4} \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = \frac{1}{2} K$$

반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 작으므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(3) 온도가 같으므로 기체의 양(mol)이 같을 때 기체의 부피는 압력에 반비례한다. (가)에 압력을 가해 2배로 하면 평형은 기체 분자 수를 감소시키는 방향으로 진행하므로 (나)에서 기체의 양(mol)은 (가)에서보다 작다. 따라서 혼합 기체의 부피는 (가)에서 (나)에서의 2배보다 크다.

(4) 부피가 일정한 용기에 반응에 영향을 미치지 않는 비활성 기체를 넣어 압력이 변해도 평형이 이동하지 않는다.

2-1 꼼꼼 문제 분석



기체 B를 첨가하면 B의 농도를 감소시키는 역반응 쪽으로 평형이 이동하는데, 이때 전체 압력이 감소하였으므로 역반응은 기체의 양(mol)이 감소하는 반응이다. 따라서 화학 반응식의 계수는 $a < b$ 이다.

②-2 온도를 낮췄을 때 전체 압력이 증가했으므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하였다. 온도를 낮추면 평형은 발열 반응 쪽으로 이동하므로 정반응은 발열 반응($\Delta H < 0$)이다.

②-3 평형 I과 II에서의 온도는 같으므로 평형 상수 K_I 와 K_{II} 는 같다. 평형 III에서의 온도는 평형 I과 II에서의 온도보다 낮고, 발열 반응의 경우 온도가 낮을수록 생성물의 농도가 커져 평형 상수가 커지므로 K_{III} 은 K_I 와 K_{II} 보다 크다.

②-4 (1) t_1 에서 기체 B를 첨가하면 평형 상수식 $\frac{[\text{B}]^b}{[\text{A}]^a}$ 에서 분자의 값이 커지므로 반응 지수(Q)가 K_I 보다 커진다. 따라서 B의 농도를 감소시키는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(2) t_3 에서 온도를 낮췄을 때 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 $t_3 \sim t_4$ 에서는 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르다.

(3) t_4 이후 반응물인 기체 A를 첨가하면 A의 농도가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

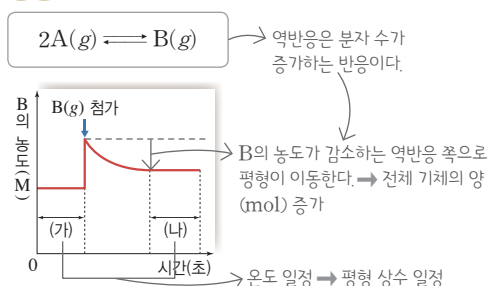
(4) 정반응은 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 생성물의 엔탈피 합은 반응물의 엔탈피 합보다 작다.

내신 만점 문제

178쪽~181쪽

- 01 ② 02 ③ 03 ④ 04 ④ 05 ② 06 해설
참조 07 ① 08 ⑤ 09 ③ 10 ⑤ 11 (가) H_2
첨가 (나) 온도 높임 12 ④ 13 ③ 14 ② 15 ㄱ, ㄷ
16 ①

01 **문제 분석**



ㄷ. 평형 상태 (가)에서 생성물인 B를 첨가하면 새로운 평형 (나)에 도달할 때까지 B의 농도가 감소하는 역반응이 우세하게 일어난다. 이때 역반응은 기체의 양(mol)이 증가하는 방향(B(g) → 2A(g))이므로 용기 속 전체 기체의 양(mol)은 (나)에서가 (가)에서보다 많다. 용기의 부피와 온도가 일정하므로 기체의 전체 압력은 기체의 양(mol)이 많은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

■ **바로알기** ㄱ. 평형 상태 (가)에서 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형 상태 (나)에 도달하므로 반응물인 A의 몰 농도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄴ. (가)와 (나)에서의 온도가 같으므로 평형 상수는 같다.

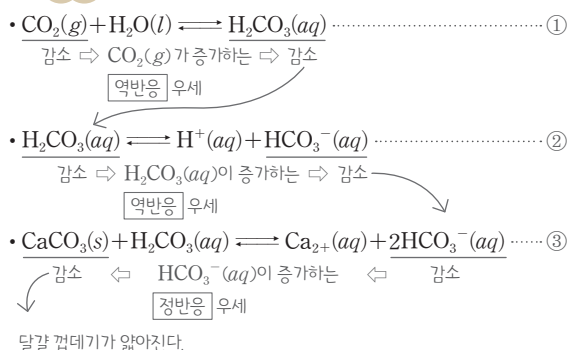
02 평형 상태의 혼합 용액에 NaOH 수용액을 넣으면 OH⁻과 H⁺이 중화 반응하여 H⁺의 농도가 감소하므로, H⁺의 농도가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄱ, ㄷ. 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 생성물인 CrO₄²⁻의 양(mol)이 증가한다. 따라서 수용액은 노란색으로 변한다.

■ **바로알기** ㄴ. 반응의 평형 상수식 $K = \frac{[\text{CrO}_4^{2-}]^2[\text{H}^+]^2}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]}$ 에서

분자의 값인 [H⁺]가 감소하면 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작아진다. 따라서 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)와 같아지려면 분자의 값이 커져야 하므로 생성물의 농도가 커지는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

03 **문제 분석**

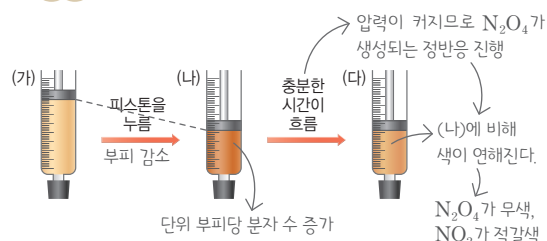


ㄴ. 혈액 속 H⁺의 농도가 증가하면 반응 ②는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 H₂CO₃의 농도가 증가한다. 이에 따라 반응 ③은 H₂CO₃의 농도를 감소시키는 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 CaCO₃의 양이 감소하므로, 달걀 껍데기가 얇아진다.

ㄷ. 땀샘이 없는 닭은 호흡으로 열을 방출하므로 여름철 닭의 호흡량이 많아지면 CO₂의 방출량이 증가하므로 혈액 속 CO₂의 농도가 감소한다. 따라서 반응 ①은 감소한 CO₂의 농도를 증가시키기 위해 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 이때 H₂CO₃의 농도가 감소하므로 반응 ②도 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 이에 따라 HCO₃⁻의 농도가 감소하므로 반응 ③은 HCO₃⁻의 농도를 증가시키기 위해 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 CaCO₃의 양이 감소하므로 달걀 껍데기가 얇아진다.

■ **바로알기** ㄱ. 혈액에 CO₂가 많이 녹으면 CO₂의 농도가 감소한 것과 반대 방향으로 평형이 이동한다. 즉, 반응 ①과 ②가 정반응 쪽으로 평형이 이동하고, 이에 따라 HCO₃⁻이 증가하므로 반응 ③은 역반응 쪽으로 이동하므로 CaCO₃의 양이 증가하여 달걀 껍데기가 두꺼워진다.

04 **문제 분석**



① (가)에서와 (다)에서 온도가 같으므로 평형 상수는 같다.

② 압력을 높이면 기체의 양(mol)이 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 즉, (나)에서 N₂O₄가 생성되는 정반응 쪽으로 평형이 이동하고, 그 결과 새로운 평형 상태인 (다)에서 혼합 기체의 색이 (나)에 비해 연해졌으므로 N₂O₄가 무색이고 NO₂가 적갈색을 띠는 기체이다.

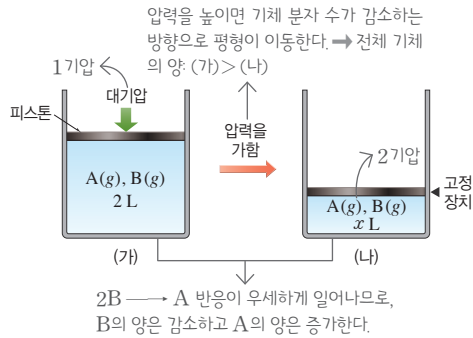
③ 압력을 가해 부피를 $\frac{1}{2}$ 배로 줄였다고 가정하면 각 물질의 농도는 각각 처음 평형 농도의 2배가 되는데, 평형 상수 $K = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2}$

이므로 분모의 값이 분자의 값보다 더 크게 증가한다. 따라서 $Q < K$ 이므로 정반응이 우세하게 진행된다.

⑤ 압력이 높아져 기체의 양(mol)이 감소하는 방향으로 평형이 이동하므로 혼합 기체 전체의 양(mol)은 (다)에서가 (가)에서보다 적다.

■ **바로알기** ④ 압력을 가한 직후인 (나)에서 혼합 기체의 색이 진해진 것은 평형이 이동한 것이 아니라 부피가 줄어들어 적갈색을 띠는 NO₂ 기체의 농도가 커졌기 때문이다.

05 **문제 분석**



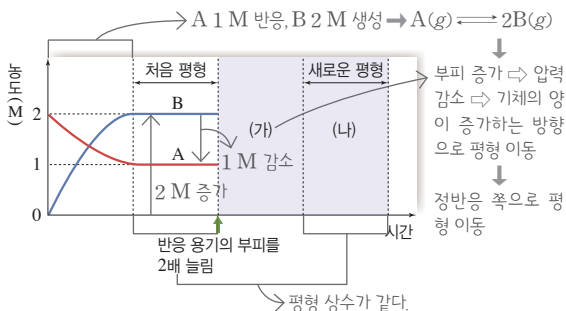
ㄱ. (가)에서 압력을 높이면 기체 분자 수가 감소하는 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. (나)의 압력이 2기압이므로 기체의 양(mol)이 같다면 부피는 1 L이다. 그러나 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 (나)에서 기체의 양이 (가)에서보다 작으므로 부피는 1 L보다 작다.

ㄴ. 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 B의 양은 감소하고 A의 양은 증가하여 B의 몰 분율은 감소한다.

▣ **바로알기** ▣ 나. A의 양(mol)이 같다면 전체 기체의 압력이 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 A의 부분 압력도 (나)에서가 (가)에서의 2배가 된다. 그러나 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 A의 양이 증가하므로 A의 부분 압력은 (나)에서가 (가)에서의 2배보다 크다.

ㄷ. (나)의 피스톤은 고정되어 있으므로 부피가 일정하게 유지된다. 따라서 반응에 참여하지 않는 비활성 기체를 첨가해 압력이 변해도 반응물과 생성물의 평형 농도는 변하지 않으므로 평형은 이동하지 않는다.

06 **문제 분석**



(1) A로부터 B가 생성되는 반응에서 평형에 도달할 때까지 반응한 A와 B의 농도비가 1 : 2이므로 화학 반응식은 $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ 이다. 평형 상태에서 용기의 부피를 2배로 증가시키면 압력이 감소하므로 기체 분자 수가 증가하는 정반응이 우세하게 일어난다.

(2) 처음 평형과 새로운 평형 (나)에서 온도가 같으므로 평형 상수(K)는 같다. 따라서 평형 상수식에 처음 평형 농도 $[A]=1$, $[B]=2$ 를 대입하여 평형 상수를 구한다.

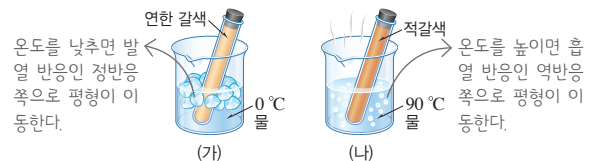
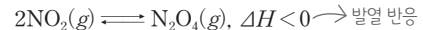
▣ **모범답안** ▣ (1) 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르다. 화학 반응식이 $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ 이므로, 평형 상태에서 부피를 증가시키면 전체 기체의 양(mol)이 증가하는 정반응이 우세하게 일어나기 때문이다.

$$(2) K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{2^2}{1} = 4$$

채점 기준	배점
(1) 정반응 속도와 역반응 속도를 옳게 비교하고, 그 까닭을 화학 반응식과 이를 근거로 한 평형 이동으로 옳게 서술한 경우	70 %
(1) 정반응 속도와 역반응 속도를 옳게 비교하고, 그 까닭을 화학 반응식을 제시하지 않고 정반응 쪽으로 평형 이동이 일어난다고만 서술한 경우	40 %
(1) 정반응 속도와 역반응 속도만 옳게 비교한 경우	20 %
(2) 평형 상수를 옳게 구한 경우	30 %

07 주어진 반응에서 반응물과 생성물이 모두 기체 상태이고, 양쪽 계수의 합이 2로 같으므로 압력을 변화시켜도 평형이 이동하지 않는다. 따라서 외부 압력이 2배가 되면 용기 속 전체 압력도 2배로 되고 더 이상 변화가 없다.

08 **문제 분석**



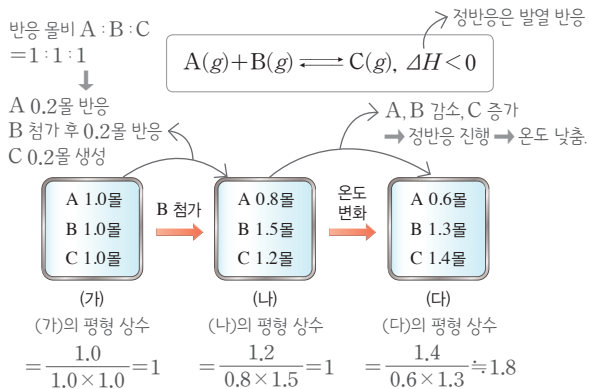
ㄱ, ㄴ. $\Delta H < 0$ 이므로 정반응이 발열 반응이다. 온도를 높이면 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 NO_2 의 농도는 (나)에서가 (가)에서보다 크고, N_2O_4 의 몰 분율은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 제시된 반응은 온도가 높을수록 역반응 쪽으로 평형이 이동하고 이때 기체 분자 수는 증가한다. 따라서 시험관 속 전체 기체 분자 수는 (나)에서가 (가)에서보다 많다.

09 ㄱ. $\Delta H < 0$ 이므로 정반응이 발열 반응이다. 따라서 온도를 높이면 온도를 낮추는 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 A의 농도는 300 K에서보다 400 K에서의 평형 상태에서 더 크다. 따라서 400 K에서 A의 평형 농도는 C_1 보다 크다. ㄴ. 온도가 높아지면 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 빨라져 평형에 도달하는 시간이 짧아진다. 따라서 평형에 도달하는 시간은 t_1 보다 작다.

■ **바로알기** ▮. 정반응이 발열 반응이므로 온도가 높을수록 역반응이 우세하게 일어나 반응물의 농도가 커지므로 평형 상수가 작아진다. $2A(g) \rightleftharpoons B(g)$ 반응의 평형 상수식은 $\frac{[B]}{[A]^2}$ 이므로 400 K일 때의 $\frac{[B]}{[A]^2}$ 는 300 K일 때보다 작다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

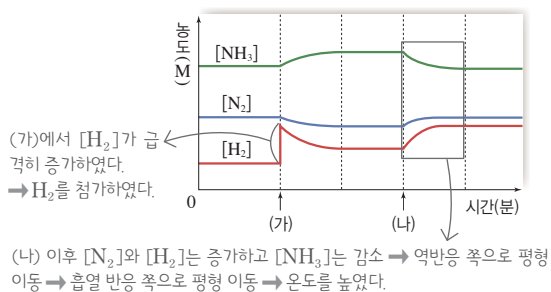
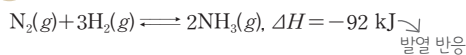


ㄱ. 평형에 도달할 때까지 반응하는 몰비는 화학 반응식의 계수비와 같다. (나)에서 A의 감소량이 0.2몰이고 C의 증가량은 0.2몰이므로 B는 첨가한 이후 0.2몰이 감소한다. 따라서 (가)에 B를 첨가한 직후 B의 양(mol)은 1.7몰이고, 첨가한 B의 양(mol)은 0.7몰이다.

ㄴ. (나)에서 (다)로 평형이 이동할 때 반응물인 A와 B의 양(mol)은 감소하고 생성물인 C의 양(mol)은 증가했으므로 정반응이 우세하게 일어났다. 주어진 반응은 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 (나)에서 온도를 낮춘 것이다. 따라서 온도는 (나)에서가 (다)에서보다 높다.

ㄷ. 온도가 일정한 (가)와 (나)의 평형 상수는 같고, 온도 변화에 의해 정반응이 진행된 (다)의 평형 상수는 (가) 또는 (나)보다 크다.

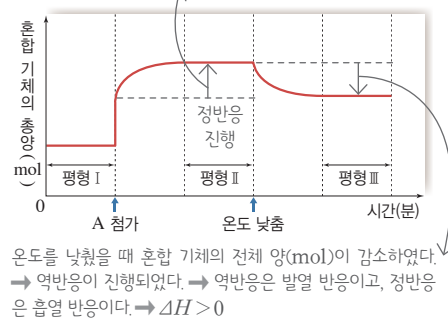
11 **꼼꼼** 문제 분석



(가)에서 $[H_2]$ 가 급격히 증가하였으므로 H_2 를 첨가한 것이다. H_2 첨가에 의해 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 H_2 , N_2 의 농도는 감소하고 NH_3 의 농도는 증가하여 새로운 평형에 도달하였다. (나)에서 특정 물질의 농도가 급격하게 변하지 않으므로 반응물이나 생성물의 농도를 변화시킨 것이 아니다. 또, 부피가 일정한 밀폐된 강철 용기이므로 부피를 변화시켜 압력 변화에 따라 평형 이동이 일어난 것도 아니다. (나) 이후 생성물인 NH_3 의 농도는 감소하고 반응물인 N_2 와 H_2 의 농도가 증가하였다. 따라서 (나)에서 온도가 높아져 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한 것이다.

12 **꼼꼼** 문제 분석

A를 첨가했을 때 혼합 기체의 전체 양(mol)이 증가하였다.
→ 화학 반응식의 계수는 $a < b$ 이다.



ㄴ. 평형 I에서 반응물인 A를 첨가하면 정반응이 진행되는데, 이때 혼합 기체의 총양(mol)이 증가하므로 화학 반응식의 계수는 $a < b$ 이다.

평형 II에서 온도를 낮추었을 때 혼합 기체의 총양(mol)이 감소하므로 역반응이 진행되었다. 따라서 역반응이 발열 반응이고, 정반응은 흡열 반응이므로 $\Delta H > 0$ 이다.

ㄷ. 일정한 온도에서 용기의 부피를 줄이면 압력이 증가하므로 기체의 양(mol)이 감소하는 역반응 쪽으로 반응이 진행된다. 따라서 B의 양(mol)이 감소하므로 B의 몰 분율이 감소한다.

■ **바로알기** ▮. $a < b$ 이다.

13 ㄱ. 실험 I과 실험 II에서 압력이 일정할 때 온도가 높을수록 평형 상수가 커진다. 즉, 온도가 높을수록 정반응 쪽으로 평형이 이동하는데, 온도가 높아지면 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동하므로 정반응은 흡열 반응($\Delta H > 0$)이다.

ㄴ. 온도가 낮아지면 열을 방출하는 발열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

■ **바로알기** ▮. 실험 II와 실험 III을 비교하면 온도가 일정할 때 압력이 2배로 되어도 평형 상수는 일정하다. 평형 상수는 온도가 일정하면 변하지 않으므로 이 자료만으로 화학 반응식의 계수 a 와 b 의 크기를 비교할 수 없다.

14 주어진 화학 반응식으로부터 평형 상수식을 쓰고, 평형 상수식에 평형 농도를 대입하여 a 와 b 를 구하면 다음과 같다.

• 평형 I: $K = \frac{[C]^2}{[A]^a[B]^b} = \frac{2^2}{2^a \times 1^b} = 2, 2^a = 2 \therefore a = 1$

• 평형 II: $K = \frac{[C]^2}{[A]^a[B]^b} = \frac{2^2}{1^a \times 2^b} = 1, 2^b = 4 \therefore b = 2$

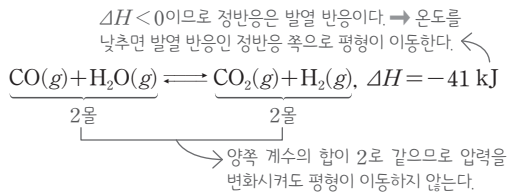
따라서 화학 반응식은 $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 이다.

ㄷ. 평형 I에서 압력을 높이면 전체 기체의 양(mol)이 감소하는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 생성물인 C의 양이 증가한다.

바로알기 ㄱ. $\frac{b}{a} = 2$ 이다.

ㄴ. 정반응이 발열 반응이므로 온도가 낮을수록 평형 상수가 크다. 평형 상수는 평형 I에서가 평형 II에서보다 크므로 평형 상수가 큰 I에서가 II에서보다 온도가 낮다.

15 **꼼꼼** 문제 분석

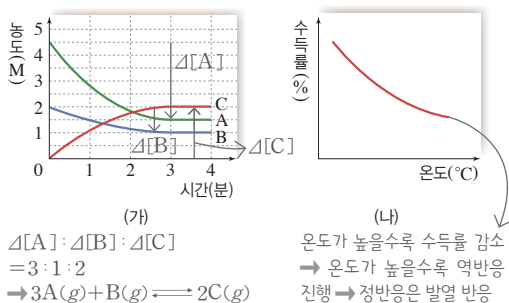


ㄱ. 정반응이 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 반응 용기의 온도를 낮추면 발열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄷ. 반응 용기에 수증기(H_2O)를 넣으면 $H_2O(g)$ 의 농도가 증가하므로, 이를 감소시키는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

바로알기 ㄴ. 반응물과 생성물이 모두 기체 상태이고 양쪽 계수의 합이 2로 같으므로 정반응이나 역반응에 의해 기체의 양(mol)이 변하지 않는다. 따라서 용기의 부피가 변해 압력이 변해도 평형은 이동하지 않는다.

16 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. (가)에서 화학 평형에 도달할 때까지 [A]는 3 M 감소, [B]는 1 M 감소, [C]는 2 M 증가하였으므로 화학 반응식의 계수비는 $a : b : c = 3 : 1 : 2$ 이다. 따라서 $a + b + c = 6$ 이다.

바로알기 ㄴ. 온도가 높을수록 수득률이 감소하므로 온도가 높을수록 역반응이 우세하게 일어난다. 즉, 역반응은 흡열 반응이고, 정반응은 발열 반응이다. 따라서 $\Delta H < 0$ 이다.

ㄷ. $3A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 이므로 반응물이 생성물보다 기체의 전체 양(mol)이 많다. 따라서 압력을 낮추면 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 생성물인 C의 수득률이 감소한다.

3 상평형

개념 확인 문제

184 쪽

- ① 상평형 ② 속도 ③ 상평형 그림 ④ 용해 ⑤ 증기 압력 ⑥ 승화 ⑦ 3중점 ⑧ 음 ⑨ 낮아 ⑩ 증기 압력 ⑪ 3중점 ⑫ 3중점 ⑬ 승화

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × 2 (1) 액체 (2) 고체 (3) 액체 (4) 액체 3 (1) 승화 (2) 용해, 기화 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ 5 (1) ㄷ (2) ㄴ

1 (1) 상평형 그림은 고체, 액체, 기체 상태 사이의 평형을 온도와 압력에 따라 나타낸 그림이다.

(2) 용해 곡선은 고체와 액체가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸 곡선이다.

(3) 증기 압력 곡선은 액체의 증기 압력이 외부 압력과 같아졌을 때의 온도를 나타낸 것이므로 증기 압력 곡선 상의 온도는 주어진 압력에서 물질의 끓는점이다.

(4) 3중점보다 낮은 압력에서는 승화가 일어난다.

2 상평형 그림에서 각 온도와 압력에 해당하는 영역에서 물의 안정한 상을 찾는다.

3 (1) A에서 온도를 일정하게 하고 압력을 낮추면 승화 곡선을 지나 기체가 된다.

(2) A는 3중점보다 압력이 높으므로, 이 압력에서 온도를 높여 주면 액체를 거쳐 기체로 상태가 변한다.

4 (1) 이산화 탄소의 3중점의 압력은 5.1기압으로 1기압보다 높으므로 1기압에서는 액체 상태로 존재하지 않는다. 따라서 이산화 탄소의 기준 어는점은 없다.

(2) 이산화 탄소의 상평형 그림에서 용해 곡선의 기울기는 양의 값을 가지므로 압력이 높을수록 어는점이 높다.

(3) -56.6°C , 5.1기압은 3중점의 온도와 압력이므로 이 조건에서 고체, 액체, 기체가 평형을 이룬다. 따라서 용해 속도와 기화 속도가 같다.

(4) 이산화 탄소는 3중점의 압력이 1기압보다 높으므로, 1기압에서 고체와 기체 사이에 승화가 일어난다.

5 (1) 높은 산에서는 대기압이 지표면보다 낮아 물의 끓는점이 낮아지므로, 물이 100 °C보다 낮은 온도에서 빨리 끓는다. 상평형 그림에서 압력에 따른 끓는점 변화는 증기 압력 곡선으로 설명할 수 있다.

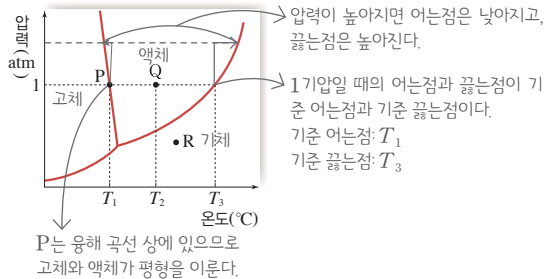
(2) 동결 건조 식품은 3중점 이하의 압력에서 얼음이 승화하는 현상을 이용한 것으로, 승화 곡선으로 설명할 수 있다.

대표 자료 분석

185쪽

- 자료 1** 1 어는점: T_1 , 끓는점: T_3 2 용해 속도=응고 속도
3 Q: 액체, R: 기체 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ×
- 자료 2** 1 높아진다. 2 5.1기압, $-56.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3 승화 곡선
4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

①-1, 2, 3 꼼꼼 문제 분석



①-4 (1), (3) 물의 용해 곡선의 기울기는 음의 값을 가지므로 압력이 높을수록 어는점이 낮다. 따라서 2기압에서 물의 어는점은 T_1 보다 낮고, 얼음에 압력을 가하면 어는점이 낮아져 얼음이 녹는다.

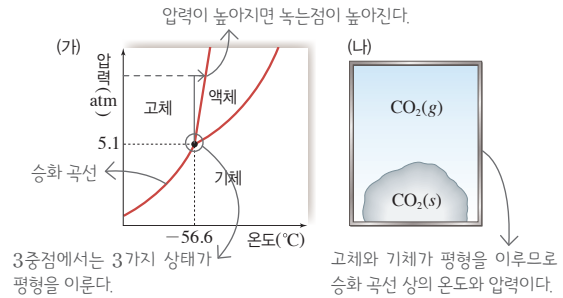
(2) 물의 증기 압력 곡선의 기울기는 양의 값을 가지므로 압력이 높을수록 끓는점이 높다. 따라서 2기압에서 물의 끓는점은 T_3 보다 높다.

(4) R에서 온도를 일정하게 유지하고 압력을 높여 증기 압력 곡선에 이르면 액화가 일어난다.

(5) 1기압, T_3 은 물의 증기 압력 곡선 상의 온도와 압력이므로 이 조건에서는 액체와 기체가 평형을 이룬다. 즉 물의 증발 속도와 응축 속도는 같다.

(6) 물의 3중점의 압력이 1기압보다 낮으므로 1기압에서 승화가 일어나지 않는다. 따라서 1기압에서 동결 건조 식품을 만들 수 없다.

②-1, 2, 3 꼼꼼 문제 분석



②-4 (1) (나)에서 고체와 기체 상태가 평형을 이루므로 승화 곡선 상의 온도와 압력이다. 따라서 압력은 5.1기압보다 작다.

(2), (5) 이산화 탄소의 3중점의 압력이 1기압보다 높으므로 1기압에서 자발적으로 승화한다. 따라서 드라이아이스는 실온에서 녹지 않고 승화하여 크기가 점점 작아진다.

(3) 이산화 탄소는 1기압에서 액체 상태로 존재하지 못하므로, 1기압에서 어는점이 존재하지 않는다.

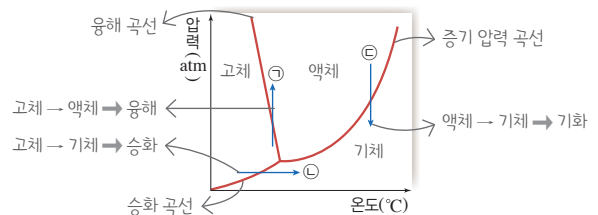
(4) 이산화 탄소가 액체 상태로 존재할 수 있는 가장 낮은 온도는 3중점의 온도인 $-56.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이다.

내신 만점 문제

186쪽~187쪽

- 01 ④ 02 ③ 03 ② 04 ④ 05 ⑤ 06 ③
07 ④ 08 해설 참조

01 꼼꼼 문제 분석

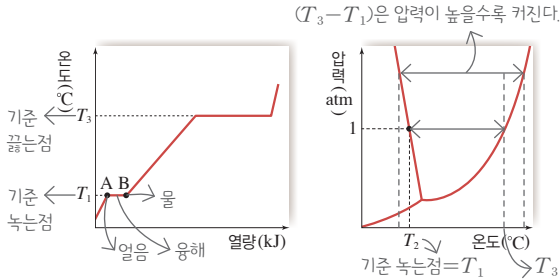


02 ㄱ. P_1, T_1 은 승화 곡선 상의 온도와 압력이다.

ㄷ. 증기 압력 곡선의 기울기가 양의 값을 가지므로, 압력이 커질수록 끓는점이 높아진다. 따라서 P_2 보다 압력이 높아지면 A는 더 높은 온도에서 끓는다.

■ **바로알기** ㄴ. P_2, T_2 는 증기 압력 곡선 상의 온도와 압력이므로, P_2, T_2 에서 증발 속도와 응축 속도는 같다.

03 꼬꼬 문제 분석



㉔. T_3 은 끓는점이고 T_1 은 녹는점이다. 상평형 그림에서 용해 곡선의 기울기가 음의 값이므로, 압력이 커질수록 녹는점은 낮아진다. 반면, 증기 압력 곡선의 기울기는 양의 값이므로 압력이 커질수록 끓는점은 높아진다.

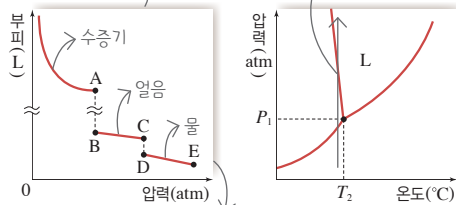
따라서 $(T_3 - T_1)$, 즉 끓는점과 녹는점의 차는 2기압에서가 1기압에서보다 크다.

▣ 바로알기 ▣ ㉕. (가)에서 얼음에 열을 가했을 때 첫 번째 수평 구간에서는 용해가 일어나고, 두 번째 수평 구간에서는 기화가 일어나므로 T_1 은 기준 녹는점, T_3 은 기준 끓는점이다. (나)에서 T_2 는 용해 곡선에서 1기압일 때의 온도이므로 기준 녹는점이다. 따라서 T_1 과 T_2 는 같다.

㉖. 기준 녹는점에서 A는 얼음(고체)이고, B는 물(액체)이다. 물의 밀도는 액체인 B에서 고체인 A에서보다 크기 때문에 얼음에 압력을 가하면 밀도가 커져 물이 된다. 따라서 용해 곡선의 기울기는 음의 값을 가진다.

04 꼬꼬 문제 분석

부피가 급격하게 변하는 상태 변화가 두 번 일어났다. → 세 가지 상태를 모두 포함한다.



A까지는 보일 법칙을 따르는 기체 상태, BC는 고체 상태, DE는 액체 상태이다.

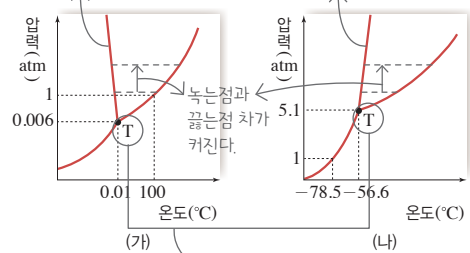
㉔. A에서 B로의 변화는 승화이므로 3중점의 압력인 P_1 보다 낮은 압력에서 일어난다.

㉕. (가)의 구간 DE는 액체 상태이므로 (나)의 L 영역에 속한다.

▣ 바로알기 ▣ ㉖. (가)에서 상태 변화가 두 번 일어나므로 (가)의 온도 T_1 은 T_2 보다 낮다. T_2 보다 높은 온도에서는 압력을 높이면 상태 변화가 기체에서 액체로 한 번만 일어난다.

05 꼬꼬 문제 분석

용해 곡선의 기울기가 음의 값을 가지는 경우 압력을 가할수록 녹는점이 낮아진다. 용해 곡선의 기울기가 양의 값을 가지는 경우 압력을 가할수록 녹는점이 높아진다.



3중점(T)보다 낮은 압력에서 온도를 변화시키는 경우 승화 곡선을 통과하면서 승화가 일어난다.

⑤ (가)와 (나)의 상평형 그림에서 세로축의 압력을 나타내는 점에서 가로로 선을 그렸을 때 그 선과 용해 곡선, 증기 압력 곡선이 만나는 지점의 온도가 각각 그 압력에서의 녹는점과 끓는점이며, 압력이 커지면 녹는점과 끓는점의 차가 커진다.

▣ 바로알기 ▣ ① 물질 (가)는 용해 곡선의 기울기가 음의 값을 가지므로 고체보다 액체의 밀도가 크다. 따라서 액체 > 고체 > 기체 순으로 밀도가 크다.

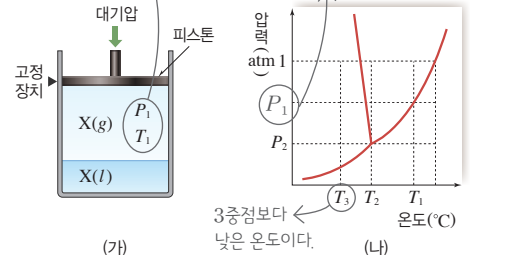
② 물질은 3중점(T)보다 낮은 압력에서 온도를 변화시킬 때 승화가 일어난다. 따라서 일반적으로 승화성 물질은 3중점의 압력이 대기압(1기압)보다 높은 물질이므로 (나)만 승화성이 있다.

③ 1기압, 25 °C에서 (가)는 액체 상태, (나)는 기체 상태로 존재한다.

④ (가)는 용해 곡선의 기울기가 음의 값을 가지므로 압력이 높아지면 녹는점이 낮아지고, (나)는 용해 곡선의 기울기가 양의 값을 가지므로 압력이 높아지면 녹는점이 높아진다.

06 꼬꼬 문제 분석

진공인 실린더에 액체를 넣었을 때 압력 P_1 은 온도 T_1 에서 액체 X의 증기 압력이다.



㉕. 고정 장치를 제거하지 않았으므로 실린더의 부피는 일정하게 유지되고 P_1 은 액체의 증기에 의한 압력이다. 따라서 T_1 일 때 액체의 증기 압력은 P_1 이다.

ㄴ. (나)의 상평형 그림에서 T_1 일 때 액체의 증기 압력 P_1 은 1기압보다 작다. 따라서 대기압(1기압)에서 (가)의 고정 장치를 제거 하면 외부 압력이 실린더 내부 압력 P_1 보다 크므로 실린더 내부 부피가 감소한다.

❗ **바로알기** ㄷ. (가)에서 고정 장치를 제거하지 않고 온도를 T_3 으로 낮추어 새로운 평형에 도달하면 물질 X는 고체와 기체가 평형을 이룬다. (나)의 승화 곡선에서 T_3 일 때의 압력은 P_2 보다 작다.

07 (가) 압력솥 내부의 압력은 1기압보다 높아 물의 끓는점이 높아져 100°C 보다 높은 온도에서 끓는다. 따라서 쌀이 빨리 익는다. 이러한 현상은 증기 압력 곡선으로 설명할 수 있다.

(나) 동결 건조는 얼음을 승화시켜 건조시키는 방법으로, 승화 곡선으로 설명할 수 있다.

(다) 스케이트를 탈 때 스케이트 날이 닿는 부분은 압력이 높아져 얼음이 녹아 물이 되고, 물이 얼음과 스케이트 날의 마찰력을 감소시켜 스케이트를 잘 탈 수 있다. 이러한 압력에 따른 녹는점 변화는 용해 곡선으로 설명할 수 있다.

08 **모범답안** 식품을 기준 어는점(0°C)보다 낮은 온도로 냉동(동결)시킨다. 얼린 식품을 물의 3중점의 압력인 0.006기압 이하로 낮추어 식품 속 얼음을 승화시켜 식품 속 수분을 제거한다.

채점 기준	배점
동결과 승화에 필요한 온도와 압력 조건을 포함시켜 동결 건조 방법을 옳게 서술한 경우	100 %
동결과 승화에 필요한 온도와 압력 조건 중 하나만 포함시켜 서술한 경우	40 %

중단원 해시 정리

188 쪽~189 쪽

- ① 농도 ② $\frac{[C]^d[D]^d}{[A]^a[B]^b}$ ③ 온도 ④ 정반응 ⑤ 역반응
 ⑥ 정반응 ⑦ 역반응 ⑧ 감소 ⑨ 증가 ⑩ 작아
 ⑪ 커 ⑫ 증가 ⑬ 감소 ⑭ $\frac{1}{4}$ ⑮ 흡열 ⑯ 발열
 ⑰ 커 ⑱ 작아 ⑲ 르샤틀리에 ⑳ 정반응 ㉑ 3중점
 ㉒ 낮아 ㉓ 높아 ㉔ 높아 ㉕ 3중점 ㉖ 승화

중단원 마무리 문제

190 쪽~195 쪽

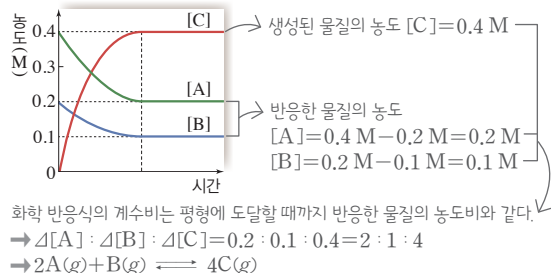
- 01 ④ 02 ① 03 ① 04 ④ 05 ② 06 ⑤
 07 ③ 08 ② 09 ③ 10 ① 11 ⑤ 12 ③
 13 ③ 14 ④ 15 ③ 16 ③ 17 ④ 18 ②
 19 해설 참조 20 해설 참조

01 ㄴ. 화학 평형 상태에서는 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나므로 N_2O_4 의 생성 속도와 분해 속도는 같다.

ㄷ. 화학 평형 상태에서는 반응물과 생성물의 농도가 일정하므로 용기 속 전체 기체의 분자 수도 일정하다. 따라서 용기 속 기체의 압력은 일정하게 유지된다.

❗ **바로알기** ㄱ. 화학 반응식의 계수비는 반응 초기부터 화학 평형에 도달할 때까지 반응하거나 생성되는 물질의 몰비를 의미한다. 화학 반응식만으로 평형 상태에서 존재하는 반응물과 생성물의 농도비를 알 수 없다.

02 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. $a+b+c=2+1+4=7$ 이다.

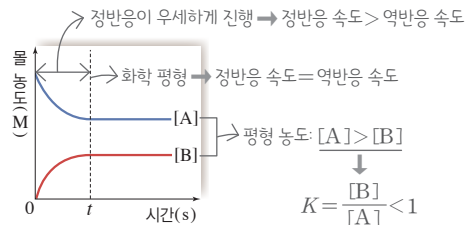
❗ **바로알기** ㄴ. $K = \frac{[C]^4}{[A]^2[B]} = \frac{0.4^4}{0.2^2 \times 0.1} = 6.4$

ㄷ. 1 L 용기에 A, B, C를 각각 1몰씩 넣으면 각 물질의 농도는 $[A]=[B]=[C]=1\text{ M}$ 이므로 반응 지수(Q)는 1이다.

$$Q = \frac{[C]^4}{[A]^2[B]} = \frac{1^4}{1^2 \times 1} = 1$$

$Q < K$ 이므로 정반응 쪽으로 반응이 진행되다가 평형에 도달한다.

03 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 평형 상태에 도달할 때까지 정반응이 우세하게 진행되는데 정반응 속도는 줄어들고 역반응 속도는 빨라지다가, 평형에 도달하면 정반응 속도와 역반응 속도가 같아진다. 따라서 평형에 도달할 때까지는 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르므로 $\frac{\text{정반응 속도}}{\text{역반응 속도}} > 1$ 이다.

❗ **바로알기** ㄴ. 화학 평형은 가역 반응에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같아 반응이 정지된 것처럼 보이는 동적 평형 상태이다.

t 초에서 평형 상태에 도달했으며, 평형 상태에서도 반응은 계속어난다.

ㄷ. $K = \frac{[B]}{[A]}$ 이다. 평형 상태에서 $[A] > [B]$ 이므로 $K < 1$ 이다.

04 ㄴ, ㄷ. (나)에서 전체 압력이 3기압인데 Cl_2 의 몰 분율이 0.4이므로, Cl_2 의 부분 압력은 $1.2(=3 \times 0.4)$ 기압이다. 따라서 Cl_2 의 양(mol)은 $n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.2 \times 8}{0.08 \times 600} = 0.2$ (몰)이다.

화학 반응식에서 PCl_3 과 Cl_2 의 계수가 같으므로, 생성된 PCl_3 의 양도 0.2몰이고 (나)에서 PCl_3 의 부분 압력도 1.2기압이다. 따라서 (나)에서 전체 압력이 3기압이므로 PCl_5 의 부분 압력은 $0.6(=3 - 1.2 - 1.2)$ 기압이고 양(mol)은 다음과 같다.

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{0.6 \times 8}{0.08 \times 600} = 0.1 \text{ (몰)}$$

이로부터 평형 상수를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[PCl_3][Cl_2]}{[PCl_5]} = \frac{\frac{0.2}{8} \times \frac{0.2}{8}}{\frac{0.1}{8}} = \frac{1}{20}$$

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 평형에 도달할 때까지 생성된 PCl_3 과 Cl_2 가 0.2몰이므로 반응한 PCl_5 도 0.2몰이다. (나)에서 PCl_5 의 양이 0.1몰이므로 (가)에서 넣어 준 PCl_5 의 양은 0.3몰이다.

05 ㄷ. (나)에서 온도를 높이면 평형이 흡열 반응 쪽인 역반응 쪽으로 이동하므로 N_2O_4 의 양은 감소한다. 또, 온도 증가에 따라 전체 기체의 부피가 증가하므로 $[N_2O_4]$ 는 감소한다.

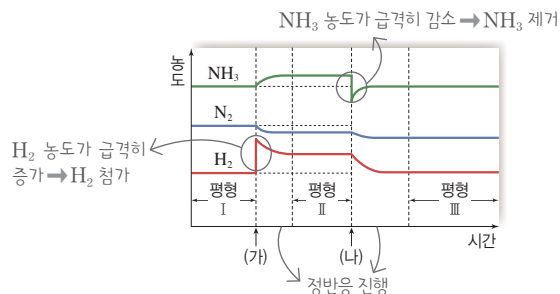
▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)와 (나)에서 전체 기체의 양은 같고 부피가 같으므로 전체 기체의 압력은 1기압으로 같다. (가)에서 고정 장치를 제거해도 전체 기체의 압력은 대기압과 같으므로 기체의 부피가 변하지 않고 물질의 농도도 변하지 않는다. 따라서 (가)에서 고정 장치를 제거해도 평형은 이동하지 않는다.

ㄴ. (가)에서는 실린더가 고정된 상태이므로 반응에 영향을 미치지 않는 비활성 기체인 헬륨(He)을 넣어도 부피가 변하지 않는다. 따라서 $[NO_2]$, $[N_2O_4]$ 가 변하지 않으므로 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)와 같다. 그러나 (나)에 He을 넣으면 부피가 증가하므로 $[NO_2]$, $[N_2O_4]$ 가 모두 감소하며, 이때 반응 계수가 큰 NO_2 의 농도 감소 효과가 더 크다. 예를 들어, 헬륨을 넣어 부피가 2배가 되었다고 가정하면 이때 물질의 농도는 처음의 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로, 반응 지수(Q)는 다음과 같다.

$$Q = \frac{\frac{1}{2}[N_2O_4]}{\left(\frac{1}{2}[NO_2]\right)^2} = 2 \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2} = 2K$$

Q가 K보다 커지므로, Q는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

06 꼬꼬 문제 분석



ㄴ. (나)에서 생성물인 NH_3 의 농도가 급격히 감소하므로, NH_3 를 제거한 것이다. 따라서 NH_3 의 농도가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄷ. 온도가 일정하므로 평형 상태 I, II, III에서 평형 상수(K)는 모두 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)에서 H_2 의 농도가 급격히 증가하므로 H_2 를 첨가한 것이다.

07 ㄱ. ㄴ. 부피가 1 L로 일정한 강철 용기에 SO_3 5몰을 넣고 반응시켰을 때, t 초 이후 생성물인 SO_2 의 농도가 3 M로 일정하게 유지되므로 t 초에서 평형에 도달하였다. 평형에 도달할 때까지 반응한 물질의 양적 관계는 다음과 같다.

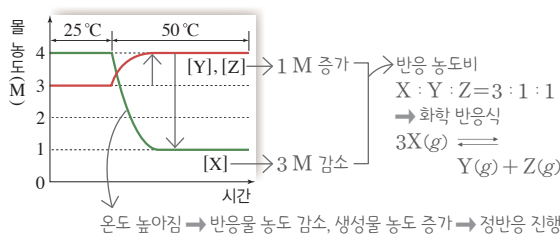
	$2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$		
처음 농도(M)	5	0	0
반응 농도(M)	-3	+3	+1.5
평형 농도(M)	2	3	1.5

평형 상태일 때 $[SO_3]$ 는 2 M이고, 평형 상수식에 평형 농도를 대입하면 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{[SO_2]^2[O_2]}{[SO_3]^2} = \frac{3^2 \times \frac{3}{2}}{2^2} = \frac{27}{8}$$

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. $SO_3(g)$ 이 $SO_2(g)$ 과 $O_2(g)$ 로 되는 반응은 흡열 반응($\Delta H > 0$)이므로 온도를 $T^\circ C$ 에서 $2T^\circ C$ 로 높이면 온도를 낮추는 흡열 반응 쪽으로 반응이 진행된다. 즉, 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 반응물인 SO_3 의 몰 분율은 감소한다.

08 꼬꼬 문제 분석



부피가 일정하므로 물질의 양(mol)은 몰 농도에 비례한다. 온도를 변화시켰을 때 각 물질의 농도 변화는 다음과 같다.

물질	X	Y	Z
처음 농도(mol/L)	4	3	3
평형 농도(mol/L)	1	4	4
반응 농도(mol/L)	-3	+1	+1

따라서 화학 반응식은 $3X(g) \rightleftharpoons Y(g) + Z(g)$ 이다.

∴ 50 °C에서의 평형 농도를 평형 상수식에 대입하면 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{[Y][Z]}{[X]^3} = \frac{4 \times 4}{1^3} = 16$$

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $a + b + c = 3 + 1 + 1 = 5$ 이다.

ㄴ. 온도가 높아졌을 때 반응물이 감소하고 생성물이 증가하는 정반응이 일어나므로 X의 분해 반응은 흡열 반응이다.

09 ㄱ. (나)에서 시험관을 얼음물에 넣어 온도를 낮췄을 때 $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(aq)$ 의 농도가 증가해 붉은색을 띠므로, 온도를 낮추면 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 즉, 역반응이 발열 반응이므로 정반응은 흡열 반응($\Delta H > 0$)이다.

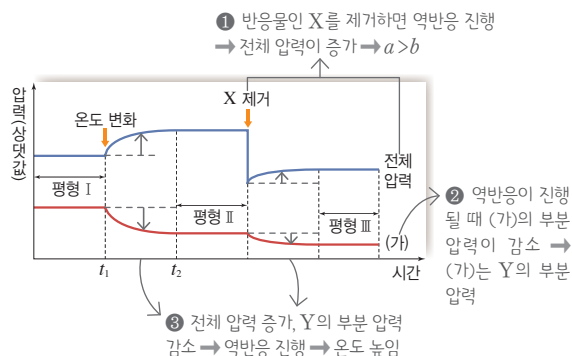
ㄴ. 용매의 농도는 평형 상수식에 나타내지 않으므로 제시된 반응의 평형 상수식은 다음과 같다.

$$K = \frac{[\text{CoCl}_4^{2-}]}{[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}][\text{Cl}^-]^4}$$

그런데 용액에 물($\text{H}_2\text{O}(l)$)을 넣으면 반응물과 생성물의 농도가 같은 비율로 감소하며, 이때 평형 상수에서 분모의 값이 분자의 값보다 더 크게 감소한다. 따라서 용액에 물을 넣으면 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 커지므로 평형이 역반응 쪽으로 이동한다.

▮ **바로알기** ▮ ∴ 용액에 $\text{NaCl}(aq)$ 을 소량 넣으면 반응물인 Cl^- 의 농도가 증가하므로, Cl^- 의 농도를 감소시키는 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 붉은색이 연해지고 파란색이 진해진다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

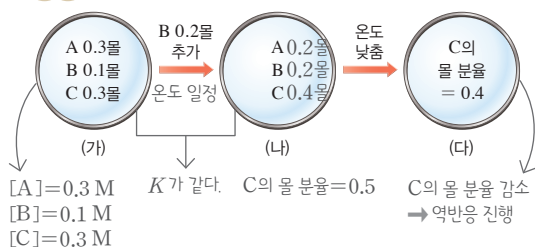


ㄱ. 반응물인 X를 제거하면 X의 농도가 증가하는 역반응이 진행되는데, 이때 전체 압력이 증가하므로 반응 계수는 $a > b$ 이고, 부분 압력이 감소하는 (가)는 Y의 부분 압력이다.

▮ **바로알기** ▮ ∴ $t_1 \sim t_2$ 에서 전체 압력은 증가하고 Y의 부분 압력이 작아지므로 역반응이 우세하게 일어난다.

ㄴ. 정반응이 발열 반응이므로 역반응은 흡열 반응이고, t_1 에서 역반응이 진행되므로 온도를 높인 것이다. 이후 온도 변화가 없으므로, 각 평형에서의 온도는 평형 I에서보다 평형 II와 평형 III에서 높다. 발열 반응은 온도가 높을수록 평형 상수가 작아지므로 평형 상수는 평형 I에서가 평형 III에서보다 크다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. (가)와 (나)에서의 온도가 같으므로 평형 상수(K)는 같다.

$$K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{0.3}{0.3 \times 0.1} = 10$$

∴ (가)에 B 0.2몰을 추가하여 평형 (나)에 도달할 때까지 반응한 A의 양을 x몰이라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$		
반응 전(몰)	0.3	(0.1+0.2)	0.3
반응(몰)	-x	-x	+x
평형(몰)	0.3-x	0.3-x	0.3+x

이때 반응 용기의 부피가 1 L이고, (나)의 평형 상수(K)가 10이므로 x를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{(0.3+x)}{(0.3-x)^2} = 10$$

$$10(0.3-x)^2 = (0.3+x), (10x-6)(x-0.1)=0$$

$x=0.6$ 인 경우 조건에 부합되지 않으므로, $x=0.1$ 이다.

따라서 (나)에서 각 물질의 양(mol)은 A가 0.2몰, B가 0.2몰, C가 0.4몰이므로, (나)에서 B의 몰 분율은 $\frac{1}{4}$ 이다. (가)에서 B의 몰 분율은 $\frac{1}{7}$ 이므로 (나)에서 B의 몰 분율 = $\frac{7}{4}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 C의 몰 분율은 0.5이고, (나)의 온도를 낮추어 새로운 평형 (다)에 도달했을 때 C의 몰 분율이 0.4로 감소했다. 즉, 온도를 낮추었을 때 C의 양이 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 역반응이 발열 반응이고, 정반응은 흡열 반응($\Delta H > 0$)이다.

12 **꼼꼼** 문제 분석

온도가 높을수록 C의 양 감소 → 온도가 높을수록
역반응 쪽으로 평형 이동 → 역반응이 흡열 반응

온도(K)	300	300	400
반응 용기의 부피(L)	1	2	1
C의 평형 농도(M)	0.50	0.31	0.40
	0.50몰	0.62몰	0.4몰

부피 2배 → C의 양 증가 → 압력을
낮추면 정반응 쪽으로 평형 이동

ㄱ. 온도는 300 K로 같고 반응 용기의 부피가 2배 되었을 때 생성물인 C의 양(mol)이 증가하였다. 용기의 부피가 커져 압력이 감소하면 기체의 양(mol)이 증가하는 쪽으로 평형이 이동하므로, 제시된 반응은 정반응이 기체의 양(mol)이 증가하는 방향이다. 따라서 반응 계수는 $a+b < c+d$ 이다.

ㄴ. 용기의 부피는 1 L로 같고 온도가 300 K에서 400 K로 높아질 때 생성물인 C의 양이 감소하므로, 온도가 높을수록 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 역반응이 흡열 반응이고 정반응이 발열 반응($\Delta H < 0$)이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 발열 반응은 온도가 높을수록 역반응이 진행되어 반응물의 농도는 커지고 생성물의 농도는 작아지므로 평형 상수(K)가 작아진다.

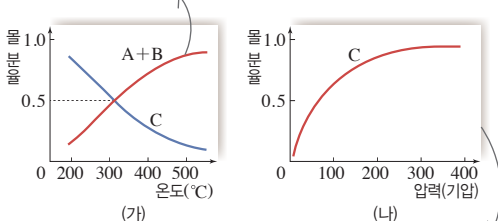
13 ㄱ. 온도가 높을수록 평형 상수가 작아지므로 역반응 쪽으로 평형이 이동한 것이다. 온도가 높아지면 열을 흡수하는 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동하므로 역반응이 흡열 반응이고 정반응이 발열 반응이다. 따라서 정반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.

ㄴ. 온도가 낮아지면 열을 방출하는 발열 반응 쪽으로 평형이 이동하므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 압력이 높을수록 수득률이 높아지므로, 압력이 높아지면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

14 **꼼꼼** 문제 분석

온도가 높을수록 반응물의 몰 분율이 증가 → 온도가 높을수록 역반응 쪽으로 평형 이동 → 역반응은 흡열 반응, 정반응은 발열 반응



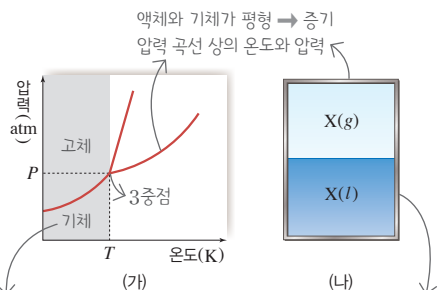
압력이 높을수록 생성물의 몰 분율이 증가 → 압력이 높을수록
정반응 쪽으로 평형 이동 → 정반응이 기체의 양(mol)이 감소하는 방향

ㄴ. 온도가 높을수록 역반응이 일어나므로 $\Delta H < 0$ 이다.

ㄷ. 반응 초기에 넣어 준 A와 B의 양(mol)이 같고 반응식의 계수가 같으므로, 평형에 도달할 때까지 반응한 양(mol)이 같다. 따라서 평형에서 A와 B의 양(mol)은 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 정반응은 기체의 양(mol)이 감소하는 방향이므로 c는 2보다 작다.

15 **꼼꼼** 문제 분석

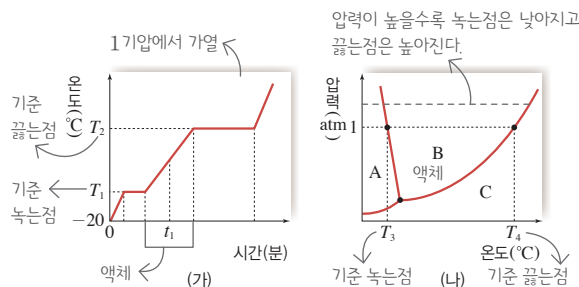


온도가 T보다 낮은 조건에서는 액체와 기체가 평형을 이루는 온도는 고체와 기체가 평형을 이룬다. T보다 높고, 압력은 P보다 크다.

ㄱ, ㄴ. (가)의 상평형 그림에서 3중점의 온도와 압력이 T와 P이므로 증기 압력 곡선의 시작 온도와 압력은 T와 P이다. 따라서 (나)에서 액체와 기체가 평형을 이루는 온도는 T보다 높고, 압력은 P보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. T보다 낮은 온도에서는 고체와 기체가 평형을 이루므로 고체 상태뿐만 아니라 기체 상태로도 존재한다.

16 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. (가)에서 T_1 은 기준 녹는점이고, T_2 은 기준 끓는점이다. (나)에서 T_3 와 T_4 도 기준 녹는점, 기준 끓는점이다.

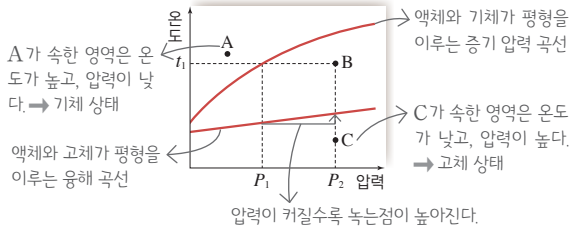
따라서 $T_1 = T_3$, $T_2 = T_4$ 이므로 $(T_2 - T_1) = (T_4 - T_3)$ 이다.

ㄴ. (가)에서 가열 시간 t_1 일 때 물의 상태는 액체이므로 (나)에서 B 영역에 속한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 용해 곡선의 기울기가 음의 값이므로 압력이 높을수록 녹는점은 낮아지고, 증기 압력 곡선의 기울기가 양의 값이므로 압력이 높을수록 끓는점은 높아진다.

따라서 1.5기압에서 가열하면 T_1 은 작아지고 T_2 는 높아진다.

17 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 외부 압력이 P_1 일 때 증기 압력 곡선 상의 온도가 t_1 이다. 따라서 외부 압력이 P_1 일 때 끓는점은 t_1 이다.

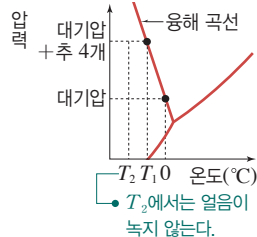
ㄷ. C는 고체 상태이고, B는 액체 상태이다. 따라서 P_2 에서 C에서 B로 상태가 변할 때 열을 흡수한다.

▶ **바로알기** ▶ ㄱ. 용해 곡선에서 압력이 커질수록 온도(녹는점)가 높아지므로 용해 곡선의 기울기는 양의 값을 가진다. 따라서 밀도는 고체 > 액체이다.

18 ㄷ. 녹는점은 용해 곡선 상의 온도로, 외부 압력이 같으면 녹는점이 같다. (나)와 (라)에서 얼음에 가해지는 압력이 (대기압 + 추 4개)로 같으므로 얼음의 녹는점은 같다.

▶ **바로알기** ▶ ㄱ, ㄴ. 온도가 T_1 로 같은 실험 I과 II에서 (대기압 + 추 2개)의 압력으로는 얼음이 녹지 않지만 (대기압 + 추 4개)의 압력으로 얼음이 녹는다. 즉, 압력이 증가하면 녹는점이 낮아져 얼음이 녹으므로, 상평형 그림에서 용해 곡선의 기울기는 음의 값을 가진다. 또, 실험 III에서 온도 T_2 일 때 (대기압 + 추 4개)의 압력으로는 얼음이 녹지 않는다.

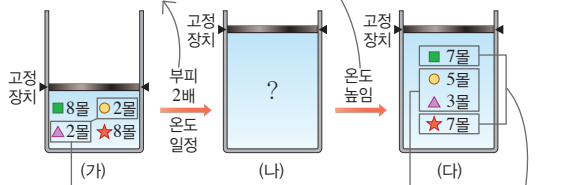
이로부터 T_1 은 1기압에서 얼음의 녹는점인 0°C 보다 낮은 온도이고, T_2 는 T_1 보다 낮은 온도이다. 이를 바탕으로 상평형 그림을 모식적으로 나타내면 오른쪽과 같다.



19 **꼼꼼** 문제 분석

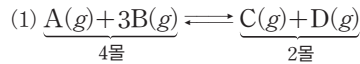
기체의 양(mol)이 감소하는 반응이므로 부피를 증가(압력을 감소)시키면 역반응 진행

$\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 온도를 높이면 역반응 진행



역반응이 진행될 때 증가하는 물질 ●와 ▲는 반응물이므로 A와 B 중 하나이다. → 반응 물질 가 ● : ▲ = 3 : 1이므로 B는 ●, A는 ▲이다.

역반응이 진행될 때 감소하는 물질 ■와 ★은 생성물이므로 C와 D 중 하나이다.



일정한 온도에서 부피를 2배로 하면 압력이 감소하므로 기체의 양(mol)이 증가하는 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(2) 정반응이 발열 반응이므로 온도를 높이면 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 생성물의 양은 감소하고, 반응물의 양은 증가한다. 따라서 증가하는 ▲와 ●는 A와 B 중 하나인데, B는 A의 3배 만큼 증가하므로 화학 반응식의 계수가 1인 A가 ▲이고 계수가 3인 B가 ●이다. 감소하는 ■와 ★은 C와 D 중 하나이다.

▶ **모범답안** (1) 부피를 2배로 하면 압력이 감소하므로 평형은 기체의 양(mol)(또는 분자 수)이 증가하는 역반응 쪽으로 이동한다.

(2) $\frac{49}{375}$. 발열 반응은 온도를 높이면 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로, (가)에서 (나), (나)에서 (다)로 될 때 평형이 모두 역반응 쪽으로 이동한다. 따라서 감소한 ■과 ★은 각각 C와 D 중 하나이고, 3몰이 증가한 ●은 B

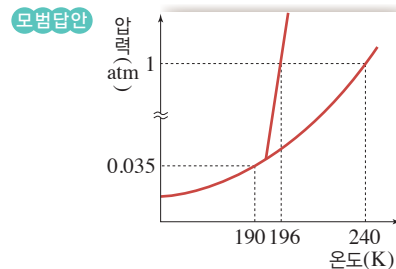
이고 ▲은 A이다. 이로부터 평형 상수(K)는 $K = \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{A}][\text{B}]^3} = \frac{7 \times 7}{3 \times 5^3} = \frac{49}{375}$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 평형 이동 방향과 그 까닭을 옳게 서술한 경우	40%
평형 이동 방향만 옳게 쓴 경우	20%
(2) 평형 상수를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	60%
평형 상수만 옳게 구한 경우	30%

20 • 증기 압력 곡선에서 증기 압력이 1기압이 되는 온도는 240 K이며, 기준 녹는점이 196 K이므로 1기압에서 용해 곡선 상의 온도는 196 K이다.

• 실험 조건에서 고체의 밀도가 항상 액체보다 크므로, 압력이 커질수록 녹는점이 높아진다. 즉, 용해 곡선의 기울기는 양의 값을 가진다.

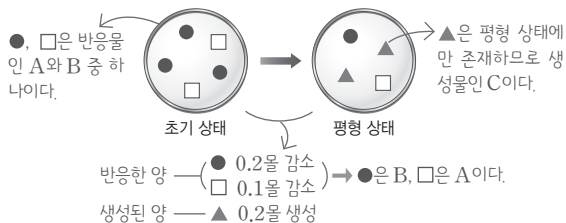
• 기체와 고체만 존재하는 영역은 3중점보다 낮은 온도이므로 190 K는 3중점보다 낮은 온도이고, 이 온도에서 고체의 증기 압력은 0.035기압이다.



채점 기준	배점
4가지 자료를 모두 옳게 나타낸 경우	100 %
3가지 자료를 옳게 나타낸 경우	60 %
1가지~2가지 자료만 옳게 나타낸 경우	30 %

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

01 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ① 5 ② 10 ③ 15 ④ 20 ⑤ 40

반응 초기 상태에 존재하는 ●, □은 반응물인 A와 B 중 하나이고 평형 상태에만 존재하는 ▲은 생성물인 C이다.

반응 초기부터 평형에 도달할 때까지 반응한 ●의 양이 0.2몰, □의 양이 0.1몰, 생성된 ▲의 양이 0.2몰이다. ●를 A라고 하면 □은 B가 되는데, □이 B일 경우 반응 몰비가 ● : □ = 2 : 1이 되므로 A의 반응 계수 a 는 4가 되어 주어진 조건(3이하의 자연수)에 부합하지 않는다. 이로부터 ●은 B, □은 A이며 반응 몰비는 A : B : C = 1 : 2 : 2이고, 반응 계수 a , c 는 각각 1, 2이다. 용기의 부피가 1 L이고 모형 1개가 0.1몰이므로 평형 농도는 $[A]=[B]=0.1$ M, $[C]=0.2$ M이고 평형 상수는 다음과 같다.

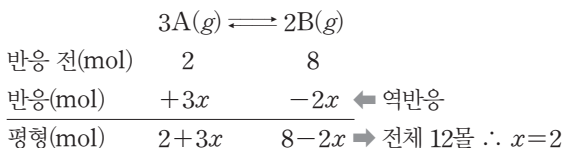
$$A + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g) \quad K = \frac{[C]^2}{[A][B]^2} = \frac{0.2^2}{0.1 \times 0.1^2} = 40$$

02

선택지 분석

- ㉠ A의 평형 농도는 2 M이다.
㉡ 평형 상태에서 $\frac{B \text{의 질량}}{A \text{의 질량}} = 2$ 이다. $\frac{4 \text{몰} \times 1.5}{8 \text{몰}} = \frac{3}{4}$
㉢ 평형 상수(K)는 $\frac{1}{16}$ 이다. $K = \frac{[B]^2}{[A]^3} = \frac{1^2}{2^3} = \frac{1}{8}$

㉣. 반응 전 전체 기체는 10몰이고 꼭지를 열어 반응이 진행된 후 평형에 도달했을 때 전체 기체가 12몰이므로, 기체의 양(mol)이 증가하였다. 따라서 꼭지를 열었을 때 역반응이 우세하게 진행되다가 평형에 도달한다.



따라서 평형 상태에서 A의 양(mol)은 8몰이고, 용기 전체 부피가 4 L이므로 A의 평형 농도는 2 M이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉡. 평형 상태에서 물질의 양(mol)은 A는 8몰이고, B는 4몰이다. 화학 반응식의 계수비가 A : B = 3 : 2이고, 화학 반응에서 반응 전 물질의 질량의 합은 반응 후 물질의 질량의 합과 같으므로 A와 B의 분자량 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$A \text{의 분자량} \times 3 = B \text{의 분자량} \times 2$$

따라서 분자량, 즉 물질 1몰의 질량은 B가 A의 1.5배이므로 평형 상태에서 $\frac{B \text{의 질량}}{A \text{의 질량}} = \frac{4 \text{몰} \times 1.5}{8 \text{몰}} = \frac{3}{4}$ 이다.

㉢. B의 평형 농도는 $1 \left(= \frac{4 \text{몰}}{4 \text{L}} \right)$ M이므로 $K = \frac{[B]^2}{[A]^3} = \frac{1^2}{2^3} = \frac{1}{8}$ 이다.

03

선택지 분석

- ㉠ (가)에서 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 크다. 작다
㉡ (나)에서 $\frac{x}{y} = 0.2$ 이다. $\frac{1}{5} = 0.2$
㉢ 평형 상수(K)는 50이다.

㉣. (가)에서 반응이 진행되어 (나)에 도달할 때까지 A가 0.1몰 감소하므로 반응물인 A가 소모되는 정반응이 우세하게 진행되다가 평형에 도달한다.

	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$		
처음(몰)	0.2	0.2	0.4
반응(몰)	-0.1	-0.1	+0.1
평형(몰)	0.1	0.1	0.5

따라서 (나)에서 A는 0.1몰, B는 0.1몰, C는 0.5몰 존재하므로, $\frac{x}{y} = \frac{0.1}{0.5} = 0.2$ 이다.

$$\text{㉢. 평형 상수}(K) = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{0.5}{0.1 \times 0.1} = 50$$

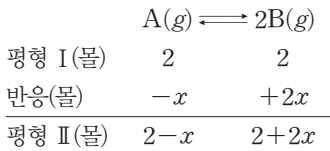
▮ **바로알기** ▮ ㉣. (가)에서 정반응이 우세하게 진행되므로 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작다.

04

선택지 분석

- ㉠ 평형 II에서 혼합 기체의 양(mol)은 $\frac{25}{3}$ 몰이다.
㉡ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{15}{32}$ 이다.
㉢ $P = \frac{53}{25}$ 이다. $\frac{128}{125}$

7. 평형 I에 반응에 참여하지 않는 비활성 기체를 넣고 고정 장치를 제거하면 기체의 부피가 증가한다. 따라서 기체의 압력이 감소하므로 기체의 양(mol)이 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형 II에 도달한다. 평형 I에서 평형 II에 도달할 때까지 반응한 A의 양을 x 몰이라고 하면, 양적 관계는 다음과 같다.



이때 비활성 기체인 He(g)은 반응에 참여하지 않으므로, 평형 II에서 전체 기체의 양은 $(4+x)$ 몰+He(g) 4몰= $(8+x)$ 몰이다.

A(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{5}$ 이므로 x 는 다음과 같다.

$$\frac{2-x}{8+x} = \frac{1}{5}, 10-5x=8+x \therefore x = \frac{1}{3}$$

따라서 평형 II에서 혼합 기체의 양은 $\frac{25}{3} (=8 + \frac{1}{3})$ 몰이다.

ㄴ. 부피가 V_1 인 평형 I에서의 평형 상수는 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 평형 I: } K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{2}{V_1}\right)^2}{\frac{2}{V_1}} = \frac{2}{V_1}$$

부피가 V_2 인 평형 II에서 A(g)는 $\frac{5}{3} (=2 - \frac{1}{3})$ 몰이고, B(g)는 $\frac{8}{3} (=2 + \frac{2}{3})$ 몰이므로, 평형 II에서의 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 평형 II: } K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{8}{3V_2}\right)^2}{\frac{5}{3V_2}} = \frac{64}{15V_2}$$

평형 I과 평형 II에서 온도가 같으므로 평형 상수(K)가 같다. 따라서 $\frac{2}{V_1} = \frac{64}{15V_2}$ 이므로 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{15}{32}$ 이다.

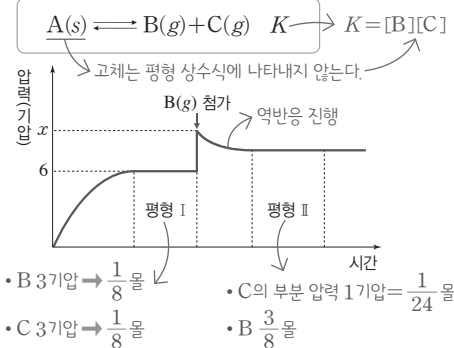
▮ **바로알기** ▮ $PV=nRT$ 에서 $T = \frac{PV}{nR}$ 이고, 평형 I과 II의 온도가 같으므로 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\frac{PV_1}{4n} = \frac{1 \times V_2}{\frac{25}{3}n}, P = \frac{V_2}{V_1} \times \frac{12}{25} = \frac{32}{15} \times \frac{12}{25} = \frac{128}{125}$$

▮ **다른 풀이** ▮ ㄷ. 일정 온도에서 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례하고 부피에 반비례한다. 평형 I에서 혼합 기체의 양(4몰)은 평형 II에서 혼합 기체의 양($\frac{25}{3}$ 몰)의 $\frac{12}{25}$ 만큼의 양이고, 평형 I에서 전체 기체의 부피 $V_1 = \frac{15}{32}V_2$ 이므로 평형 I에서 혼합 기체의 압력 P 는 다음과 같다.

$$P = 1\text{기압} \times \frac{12}{25} \times \frac{32}{15} = \frac{128}{125}$$

05 문제 분석



선택지 분석

- ✕ 평형 II에서 평형 상수(K)는 $\frac{1}{8}$ 이다. $\frac{1}{64}$
- 용기 속 A(s)의 질량은 평형 II에서가 평형 I에서보다 크다.
- $x=14$ 이다.

ㄴ. 평형 I에서 생성물 B(g)를 첨가하면 B(g)의 농도가 감소하는 역반응이 우세하게 진행되다가 평형 II에 도달하므로, A(s)의 질량은 평형 II에서가 평형 I에서보다 크다.

ㄷ. 순수한 고체는 평형 상수식에 나타나지 않으므로 주어진 반응의 평형 상수는 $K = [B][C]$ 이다.

평형 I에서 1L 용기 속에 들어 있는 기체의 전체 압력이 6기압인데, B(g)와 C(g)의 반응 몰비가 같으므로 부분 압력은 각각 3기압이고 각 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{3 \times 1}{24} = \frac{1}{8} \text{ 몰}$$

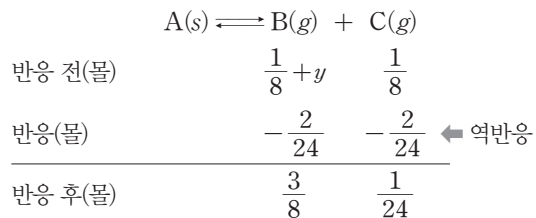
따라서 $[B] = [C] = \frac{1}{8}$ M이므로 평형 상수는 다음과 같다.

$$\text{평형 I에서 } K = [B][C] = \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$$

평형 I과 II에서 온도가 같으므로 평형 II에서의 평형 상수도 $\frac{1}{64}$ 이다. 평형 II에서 C(g)의 부분 압력이 1기압이므로 C(g)의 양은 $\frac{1}{24}$ 몰이고, 평형 상수를 이용해 B(g)의 양을 구하면 다음과 같다.

$$K = [B] \times \frac{1}{24} = \frac{1}{64}, [B] = \frac{3}{8} \text{ M} \therefore \text{B의 양(mol)} = \frac{3}{8}$$

평형 I에서 첨가한 B의 양을 y 몰이라고 하면, B를 첨가한 이후 평형 II에 도달할 때까지의 양적 관계는 다음과 같다.



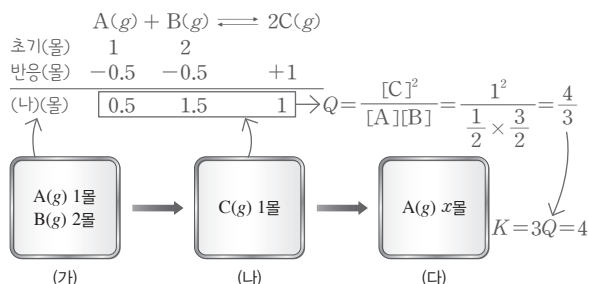
$$\frac{1}{8} + y - \frac{2}{24} = \frac{3}{8} \therefore y = \frac{1}{3} \text{ 몰}$$

이로부터 B(g)를 넣어 준 직후 전체 기체의 양은 $\frac{7}{12} \left(= \frac{1}{8} + \frac{1}{3} + \frac{1}{8} \right)$ 몰이고, 압력은 다음과 같다.

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{7}{12} \text{ mol} \times \frac{24 \text{ 기압} \cdot \text{L/mol}}{1 \text{ L}} = 14 \text{ 기압} \therefore x = 14$$

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 평형 II에서 평형 상수(K)는 $\frac{1}{64}$ 이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



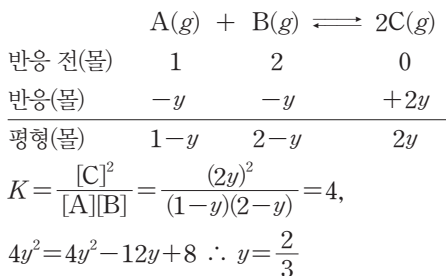
선택지 분석

- ㄱ. (나)에서 C의 몰 분율은 $\frac{1}{3}$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 반응 지수(Q)는 $\frac{4}{3}$ 이다.
- ㄷ. $x = \frac{1}{3}$ 이다.

ㄱ. (가)에서 (나)로 될 때까지 생성된 C(g)의 양(mol)이 1몰이므로 반응한 A(g)와 B(g)의 양은 각각 0.5몰이다. 따라서 (나)에서 A(g)는 0.5몰, B(g)는 1.5몰이고 전체 기체의 양이 3몰이므로 C의 몰 분율은 $\frac{1}{3}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 반응 지수(Q) = $\frac{1^2}{\frac{1}{2} \times \frac{3}{2}} = \frac{4}{3}$ 이다.

ㄷ. (다)에서 평형 상수 $K = 3Q$ 이므로 $K = 4$ 이다. (가)에서 평형 (다)에 도달할 때까지 반응한 A와 B의 양을 각각 y몰이라고 하면, 양적 관계는 다음과 같다.



따라서 (다)에서 A의 양은 $\frac{1}{3} \left(= 1 - \frac{2}{3} \right)$ 몰이므로 $x = \frac{1}{3}$ 이다.

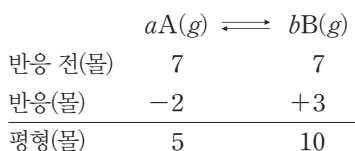
07

선택지 분석

- ㄱ. $T_1 < T_2$ 이다.
- ㄴ. 평형 I에서 평형 상수(K)는 40이다. $\frac{[B]^3}{[A]^2} = \frac{2^3}{1^2} = 8$
- ㄷ. $x = \frac{7}{8}$ 이다.

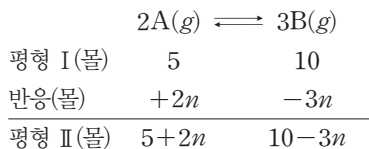
ㄱ. A의 몰 분율이 평형 II에서가 평형 I에서보다 크므로 평형 II는 I보다 역반응이 더 진행되어 평형을 이룬다. 정반응이 발열 반응이므로 흡열 반응인 역반응이 일어나려면 온도가 높아져야 하므로, 온도는 $T_1 < T_2$ 이다.

ㄷ. 평형 I에서 전체 기체의 양(mol)이 15몰인데 A의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$ 이므로 A의 양이 5몰, B의 양이 10몰이다. 따라서 평형 I에 도달할 때까지의 양적 관계는 다음과 같다.



이로부터 화학 반응식의 계수 $a=2, b=3$ 이다.

평형 II는 평형 I에서 역반응이 우세하게 진행되다가 도달한 평형이므로, 이때 생성된 A의 양을 2n몰이라고 하면 반응한 B의 양은 3n몰이므로 양적 관계는 다음과 같다.

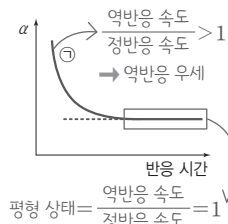


이때 전체 기체의 양은 $(15-n)$ 몰이고, A의 몰 분율이 $\frac{2}{3}$ 이므로 $\frac{5+2n}{15-n} = \frac{2}{3}, n = \frac{15}{8}$ 이다. 따라서 평형 II에서 전체 기체의 양은 $15 \times \frac{7}{8}$ 이므로 $x = \frac{7}{8}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 평형 I에서의 농도는 $[A] = 1 \left(= \frac{5 \text{ 몰}}{5 \text{ L}} \right) \text{ M}, [B] = 2 \left(= \frac{10 \text{ 몰}}{5 \text{ L}} \right) \text{ M}$ 이다. 따라서 평형 상수(K) = $\frac{[B]^3}{[A]^2} = \frac{2^3}{1^2} = 8$ 이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

실험	I	II
기체의 양(mol)		
A	0.3	0.4
B	0.3	0.4
C	0.1	0.4
$Q = \frac{[B][C]}{[A]^2}$	$\frac{1}{3}$	1



선택지 분석

- ㉠ ㉠은 실험 II에서 일어나는 반응에 대한 α 를 나타낸 것이다.
- ㉡ 실험 I에서 반응 초기 상태에서 $\alpha < 1$ 이다.
- ㉢ 실험 I의 평형 상태에서 온도를 $2T$ 로 하여 새로운 평형에 도달하면 B의 몰 분율은 작아진다.
흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형 이동 $\rightarrow$ 생성물의 몰 분율 증가

㉠, ㉡. 실험 I과 II의 반응 초기의 반응 지수(Q)는 다음과 같다.

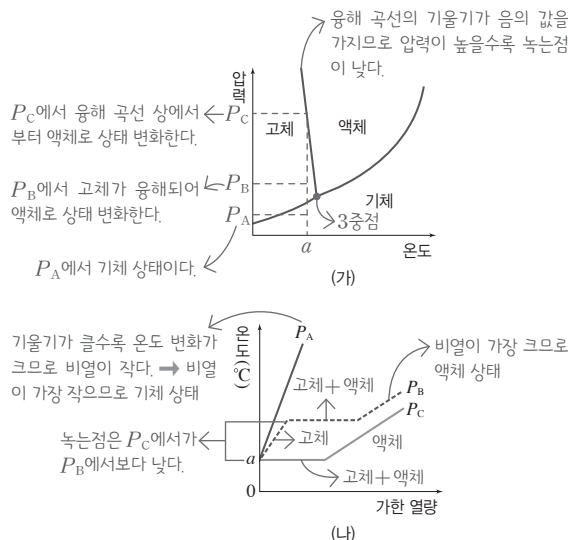
• 실험 I: $Q_I = \frac{0.3 \times 0.1}{0.3^2} = \frac{1}{3}$ • 실험 II: $Q_{II} = \frac{0.4 \times 0.4}{0.4^2} = 1$

이때 주어진 온도 T 에서 $K = \frac{2}{3}$ 이므로 $Q_I < K$ 인 실험 I은 평형에 도달할 때까지 정반응이 우세하게 일어나므로, 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르다가 평형에 도달하면 정반응 속도와 역반응 속도가 같아진다. 즉 α ($\frac{\text{역반응 속도}}{\text{정반응 속도}}$)는 1보다 작다.

실험 II에서는 $Q_{II} > K$ 이므로 평형에 도달할 때까지 역반응이 우세하게 일어나 역반응 속도가 정반응 속도보다 빠르다가, 평형에 도달하면 정반응 속도와 역반응 속도가 같아진다. 따라서 그림의 ㉠은 α ($\frac{\text{역반응 속도}}{\text{정반응 속도}}$)가 1보다 크고, 점점 감소하다가 일정해지므로 실험 II에서 일어나는 반응에 대한 α 를 나타낸 것이다.

▶ **바로알기** ㉢. 주어진 반응의 정반응이 흡열 반응이므로 실험 I의 평형 상태에서 온도를 $2T$ 로 높이면 평형은 흡열 반응인 정반응 쪽으로 이동한다. 따라서 B의 양이 증가하므로 B의 몰 분율은 처음 평형 상태보다 커진다.

09 **포함 문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ $P_A < P_C < P_B$ 이다. $P_A < P_B < P_C$
- ㉡ 온도 a 는 3중점의 온도보다 낮다.
- ㉢ 물질 X의 3중점의 압력은 P_C 보다 높다. 낮다

㉡. 온도 a 와 P_A 에서는 기체 상태로만 존재하므로 온도 a 는 3중점의 온도보다 낮다.

▶ **바로알기** ㉠. (나)에서 기울기가 클수록 같은 열량을 가했을 때 온도 변화가 큰 것이므로 비열이 가장 작은 P_A 에서는 기체 상태로만 존재하고, P_B 에서는 고체에서 액체 상태로 상태 변화가 일어나고, P_C 에서는 고체와 액체가 상평형을 이루다가 액체로 변한다. 따라서 압력은 P_A 가 가장 낮고, P_C 가 가장 높으므로 $P_A < P_B < P_C$ 이다.

㉢. 압력 P_C 에서는 고체와 액체가 상평형을 이루고 있으므로 3중점의 압력은 P_C 보다 낮다.

10

선택지 분석

- ㉠ 기준 녹는점은 16.6°C 이다.
- ㉡ 상평형 그림에서 용해 곡선의 기울기는 음의 값을 가진다.
기준 녹는점의 온도가 3중점의 온도보다 높으므로 압력이 높을수록 녹는점이 높아진다. $\rightarrow$ 용해 곡선의 기울기는 양의 값을 가진다.
- ㉢ 온도 t 에서 압력을 0.013기압으로 낮추면 승화가 일어난다.

㉠. 16.6°C 에서 밀도가 크게 감소하므로 부피가 크게 증가한다. 즉, 고체가 액체로 되는 상태 변화가 일어나므로 1기압에서의 녹는점, 즉 기준 녹는점은 16.6°C 이다.

▶ **바로알기** ㉡. 3중점의 온도와 압력이 16.5°C , 0.013기압이고 1기압일 때의 녹는점은 16.6°C 이므로, 압력이 높을수록 녹는점이 높아진다. 따라서 물질 A의 상평형 그림에서 용해 곡선의 기울기는 양의 값을 가진다.

㉢. $t^\circ\text{C}$, 0.013기압에서 물질 A의 안정한 상은 고체이므로 승화가 일어나지 않는다.

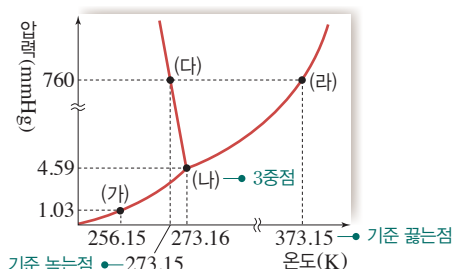
11

선택지 분석

- ㉠ 고체 ㉡ 액체 ㉢ 고체, 액체
- ㉣ 고체, 기체 ㉤ 액체, 기체

3가지 상태가 평형을 이루고 있는 (나)가 3중점이고, (가)는 3중점보다 낮은 온도와 압력이므로 승화 곡선 상의 상태이다.

3중점의 압력보다 높은 압력에서 안정한 상의 수가 2인 (다)와 (라)는 용해 곡선 상이나 증기 압력 곡선 상의 상태 중 하나이므로, 온도가 낮은 (다)가 용해 곡선 상의 상평형 상태이다. 압력이 1기압(760 mmHg)일 때의 온도 273.15 K가 3중점의 온도보다 낮으므로 X의 상평형 그림에서 용해 곡선의 기울기는 음의 값을 가진다. 이를 근거로 X의 상평형 그림을 모식적으로 나타내면 다음과 같다.



따라서 300 K에서 액체와 기체가 평형을 이루고 있는 물질 X의 온도를 270 K로 점차 낮추면 3중점을 지나 승화 곡선에 이르게 되므로 X는 고체와 기체가 평형을 이룬다.

12

선택지 분석

- ㉠ $\frac{P_1}{P_2} > 1$ 이다.
- ㉡ 꼭지를 열어 평형에 도달할 때까지 $\text{CO}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$ 반응의 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르다.
- ㉢ 꼭지를 열고 T K를 유지하여 평형에 도달했을 때 $\text{CO}_2(\text{s})$ 의 양은 0.075몰이다.

㉠. (나)에서 오른쪽 용기에 들어 있는 CO_2 는 온도 T K에서 기체 상태로만 존재하므로 승화 곡선 아래쪽에 위치한다. 즉, 압력 P_2 는 P_1 보다 작으므로 $\frac{P_1}{P_2} > 1$ 이다.

㉡. (나)에서 꼭지를 열면 부피가 2배가 되므로 압력이 P_1 보다 작아진다. 따라서 평형에 도달하기 위해 고체($\text{CO}_2(\text{s})$)가 기체($\text{CO}_2(\text{g})$)로 되는 승화가 일어나야 한다.

㉢. T K, P_1 기압에서 기체 1몰의 부피가 16 L이므로, (나)에서 꼭지를 열어 부피가 4 L가 되었을 때 T K, P_1 기압에서 상평형에 도달하려면 $\text{CO}_2(\text{g})$ $0.25 \left(= \frac{4}{16} \right)$ 몰이 있어야 한다. 꼭지를

열기 전 $\text{CO}_2(\text{g})$ 는 왼쪽 용기에 $0.125 \left(= \frac{2}{16} \right)$ 몰이 있고 오른쪽 용기에 0.1몰이 있으므로, 꼭지를 열면 총 0.225몰이 되어 평형에 도달하기 위해서는 $0.025 (= 0.25 - 0.225)$ 몰이 더 필요하다. 따라서 $\text{CO}_2(\text{s})$ 0.025몰이 승화하여 평형에 도달하고, 이때 남아 있는 $\text{CO}_2(\text{s})$ 의 양은 $0.075 (= 0.1 - 0.025)$ 몰이다.

3

산 염기 평형



산 염기 평형

개념 확인 문제

205쪽

- ① 이온화 ② 강 ③ 강산 ④ 약산 ⑤ 강염기 ⑥ 약염기
 ⑦ $\frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ ⑧ $\frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$ ⑨ 강 ⑩ 강

- 1 ㉠, ㉡, ㉢ 2 (1) $K_a = \frac{[\text{F}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HF}]}$
 (2) $K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$ (3) $K_a = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$
 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 4 (1) 역반응 (2) $[\text{HA}] > [\text{A}^-]$
 (3) 7×10^{-6}

1 ㉠. HA 분자는 10개 중 9개가 H_3O^+ 과 A^- 으로 이온화하였고, HB 분자는 10개 중 1개만 H_3O^+ 과 B^- 으로 이온화하였다. 따라서 이온화하는 정도는 HA가 HB보다 크다.

㉡. 물의 양과 물에 녹인 HA와 HB의 양(mol)이 같으므로 수용액의 농도는 같다. 같은 농도의 수용액에서 HA 수용액은 HB 수용액보다 전하를 운반하는 이온의 농도가 크므로 전기 전도도가 크다.

㉢. 마그네슘이 H^+ 과 반응하면 수소 기체가 발생한다.



HA 수용액은 HB 수용액보다 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 크므로 마그네슘 조각을 넣은 직후 수소 기체가 더 격렬하게 발생한다.

2 이온화 상수는 평형 상수의 일종이다. 일반적으로 산이나 염기의 이온화 과정에서 용매인 물의 농도는 거의 일정하므로 $[\text{H}_2\text{O}]$ 는 상수로 보고, 평형 상수(K)에 $[\text{H}_2\text{O}]$ 를 곱한 새로운 평형 상수로 이온화 상수를 나타낸다.

3 (1) 산과 염기의 이온화 상수는 온도가 같으면 농도에 관계없이 일정하다.

(2) 염기의 이온화 상수가 클수록 염기가 물에 녹아 이온화하는 정도가 크다.

(3) 수용액에 물을 첨가하면 농도가 묽어져 평형이 이동하지만, 평형 상수는 온도가 일정하면 농도에 관계없이 일정하다.

(4) 염기의 이온화 상수가 클수록 염기의 이온화 반응의 정반응이 우세하게 일어난 쪽에서 평형을 이루므로 생성물인 이온 BH^+ , OH^- 의 농도가 크다.

4 $HA(aq)$ 의 이온화 상수 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ 이다.

(1), (2) $HA(aq)$ 의 이온화 상수(K_a)가 매우 작으므로 역반응이 우세하게 일어나 반응물이 더 남아 있는 쪽에서 평형이 이루어진다. 따라서 $[HA]$ 가 $[A^-]$ 보다 크다.

(3) 0.1 M HA 수용액에서 평형에 도달할 때까지 반응한 농도를 x 라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.

	$HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$
처음 농도(M)	0.1 0 0
반응 농도(M)	$-x$ $+x$ $+x$
평형 농도(M)	$0.1 - x$ x x

HA 의 이온화 상수가 매우 작으므로 $0.1 - x \approx 0.1$ 로 하여 계산하면 x 는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{x \times x}{0.1 - x} \approx \frac{x^2}{0.1} = 4.9 \times 10^{-10}$$

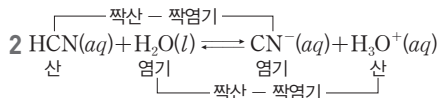
$$x^2 = 49 \times 10^{-12} \therefore x = 7 \times 10^{-6}$$

개념 확인 문제

207쪽

- ① 산 ② 염기 ③ 짝산-짝염기 ④ 짝염기 ⑤ 짝산
⑥ 약

1 (1) HCl , NH_4^+ (2) NH_3 - NH_4^+ , HCl - Cl^-



3 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\bigcirc$ 4 NH_4^+

1 (1) 브뢴스테드-로리 산은 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질이다. 암모니아(NH_3)와 염화 수소(HCl)의 반응에서 정반응이 일어날 때는 HCl 가 H^+ 을 내놓으므로 산이고, 역반응이 일어날 때는 NH_4^+ 이 H^+ 을 내놓으므로 산으로 작용한다.

(2) 짝산-짝염기는 H^+ 의 이동에 의해 산과 염기로 되는 한 쌍의 물질이다. 염기인 NH_3 의 짝산은 NH_4^+ 이고, 산인 HCl 의 짝염기는 Cl^- 이다.

2 사이안화 수소(HCN)는 물에 녹아 H^+ 을 내놓는 산이다.

3 (1) 산 CH_3COOH 의 짝염기는 CH_3COO^- 이다.

(2) 산의 이온화 상수(K_a)가 매우 작으므로 역반응이 우세하게 일어난 쪽에서 평형이 이루어진다. 즉, 생성물이 반응물에 비해 강산, 강염기이므로 역반응에서 산으로 작용하는 H_3O^+ 이 정반응에서 산으로 작용하는 CH_3COOH 보다 강한 산이다.

(3) 역반응이 우세하게 일어난 쪽에서 평형을 이루므로 역반응에서 염기로 작용하는 CH_3COO^- 이 H_2O 보다 강한 염기이다.

4 염기의 이온화 상수(K_b)가 작을수록 염기의 세기는 약하고 그 짝산의 세기는 강하다. 정반응에서 H^+ 을 내놓는 H_2O 과 역반응에서 H^+ 을 내놓는 NH_4^+ 이 산이고, NH_3 의 이온화 상수(K_b)가 매우 작으므로 NH_3 의 짝산인 NH_4^+ 이 H_2O 보다 강한 산이다.

- 염기의 세기: $\boxed{NH_3} < OH^-$ — 짝산-짝염기
- 산의 세기: $H_2O < \boxed{NH_4^+}$

개념 확인 문제

210쪽

- ① 음이온 ② 양이온 ③ 가수 분해 ④ 음이온 ⑤ 염기성
⑥ CH_3COO^- (아세트산 이온) ⑦ OH^- (수산화 이온) ⑧ 양
이온 ⑨ 산성 ⑩ NH_4^+ (암모늄 이온) ⑪ H_3O^+ (하이드로늄
이온)

- 1 (1) $\bigcirc$ (2) $\times$ (3) $\times$ (4) $\bigcirc$ 2 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$ (4) $\bigcirc$
3 $\angle$, $\angle$ 4 $\angle$, $\angle$ 5 $\angle$, $\square$ 6 $\angle$

1 (1) 염은 양이온과 음이온이 결합하여 생성된 이온 화합물이다.

(2) 중화 반응으로 생성된 염이 모두 물에 잘 녹는 것은 아니다. 중화 반응으로 생성된 염 중에서 $BaSO_4$, $CaCO_3$ 등은 물에 잘 녹지 않는다.

(3) 염이 물에 녹아 생성된 이온이 어떤 반응을 하느냐에 따라 염 수용액의 액성이 달라진다. $KHCO_3$ 은 H 를 포함하고 있지만, 물에 녹아 생성된 HCO_3^- 이 가수 분해하여 수산화 이온(OH^-)을 내놓으므로 염기성을 띤다.

(4) $NaOH$ 과 HCl 의 중화 반응으로 생성된 염화 나트륨($NaCl$)은 수용액에서 Na^+ 과 Cl^- 으로 거의 그대로 존재한다.

2 (1) 약산의 음이온은 물보다 강한 염기이므로 물과 반응하여 OH^- 을 생성한다.

(2) 강산의 음이온은 물과 반응하지 않는다.

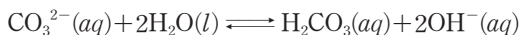
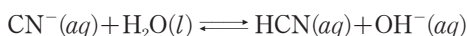
(3) 약염기의 양이온은 물보다 강한 산이므로 물과 반응하여 H_3O^+ 을 생성한다.

(4) 강염기의 양이온은 물과 반응하지 않는다.

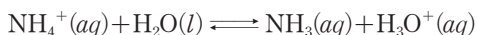
3 $\angle$, $\angle$. $NaCl$ 과 Na_2SO_4 은 강염기의 양이온과 강산의 음이온으로 이루어진 염으로, 물에 녹아 가수 분해하지 않아 H_3O^+ 이나 OH^- 을 생성하지 않으므로 수용액은 중성이다.

$\angle$, $\angle$. KCN 과 K_2CO_3 의 양이온인 K^+ 은 가수 분해하지 않는다.

그러나 각 물질에서 약산의 짝염기인 CN^- 과 CO_3^{2-} 은 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 수용액은 염기성을 나타낸다.



□. NH_4NO_3 의 음이온 NO_3^- 은 가수 분해하지 않지만 약염기의 짝산인 NH_4^+ 은 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 수용액은 산성을 나타낸다.



4 NH_4Cl 은 강산의 음이온인 Cl^- 과 약염기의 양이온인 NH_4^+ 이 결합하여 생성된 염으로 물에 녹으면 이온화한다(ㄱ). 이때 생성된 NH_4^+ 의 일부가 물과 반응하여 H_3O^+ 을 생성한다(ㄷ).

5 BTB 용액은 산성에서 노란색, 염기성에서 파란색을 띤다. NH_4Cl 과 NH_4NO_3 수용액에서 약염기의 양이온인 NH_4^+ 이 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로, 염 수용액에 BTB 용액을 떨어뜨리면 노란색을 나타낸다.

6 ㄱ. 중화 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

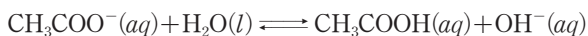
$$nMV = n'M'V'$$

(n, n' : 산과 염기의 가수, M, M' : 산과 염기의 몰 농도, V, V' : 산과 염기의 부피)

따라서 0.1 M 아세트산(CH_3COOH) 수용액 50 mL에 0.1 M 수산화 나트륨(NaOH) 수용액 50 mL를 혼합하면 H^+ 과 OH^- 이 1 : 1의 몰비로 반응하여 중화 반응이 완결된다.

ㄴ. 중화 반응이 완결된 후 용액에는 CH_3COO^- , Na^+ 등의 이온이 존재한다.

ㄷ. CH_3COO^- 은 약산의 음이온으로 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 수용액은 염기성이다.



대표 자료 분석

211쪽

자료 1 1 HNO_2 의 $K_a = \frac{[\text{NO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HNO}_2]}$,

CH_3COOH 의 $K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$

2 $\text{HNO}_2, \text{H}_3\text{O}^+$ 3 $\text{H}_2\text{O}, \text{CH}_3\text{COO}^-$

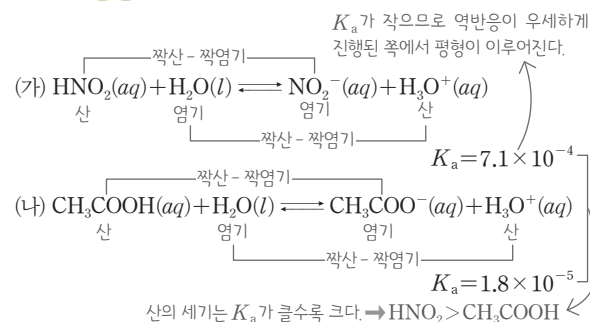
4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

자료 2 1 (가) 산성 (나) 염기성 2 NH_4^+

3 $\text{CH}_3\text{COO}^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{OH}^-(aq)$

4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

1-1 꼼꼼 문제 분석



이온화 반응 (가)와 (나)의 이온화 상수(K_a)는 각각 다음과 같다.

(가) $K_a = \frac{[\text{NO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HNO}_2]}$ (나) $K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$

1-2,3 (가)의 정반응에서는 HNO_2 이 H^+ 을 내놓는 산으로 작용하고, 역반응에서는 H_3O^+ 이 H^+ 을 내놓는 산으로 작용한다. (나)의 정반응에서는 H_2O 이 H^+ 을 받는 염기로 작용하고, 역반응에서는 CH_3COO^- 이 H^+ 을 받는 염기로 작용한다.

1-4 (1) (가)에서 HNO_2 이 H^+ 을 내놓고 NO_2^- 이 되므로 HNO_2 의 짝염기는 NO_2^- 이다.

(2), (3) (가) 반응의 K_a 는 매우 작으므로 역반응이 우세하게 진행된 쪽에서 평형이 이루어진다. 즉, 역반응의 산과 염기의 세기가 정반응의 산과 염기의 세기보다 강하므로, H_3O^+ 은 HNO_2 보다 강한 산이다.

(4) (나)의 정반응에서는 CH_3COOH 이 역반응에서는 H_3O^+ 이 H^+ 을 내놓으므로 산으로 작용한다.

(5) (나) 반응의 K_a 는 매우 작으므로 역반응이 우세하게 진행된 쪽에서 평형이 이루어진다. 즉, 역반응의 염기가 정반응의 염기보다 강한 염기이므로, CH_3COO^- 은 H_2O 보다 강한 염기이다.

(6) 이온화 상수(K_a)가 HNO_2 이 CH_3COOH 보다 크므로 산의 세기는 HNO_2 이 CH_3COOH 보다 강하고, 그 짝염기의 세기는 CH_3COO^- 이 NO_2^- 보다 강하다.

2-1,2 꼼꼼 문제 분석

염	NaCl	NH_4Cl	CH_3COONa	Na_2CO_3
수용액의 액성	중성	(가)	염기성	(나)
음이온의 짝산	HCl	HCl	CH_3COOH	H_2CO_3
짝산 세기	강산	강산	약산	약산
양이온의 짝염기	NaOH	NH_3	NaOH	NaOH
짝염기 세기	강염기	약염기	강염기	강염기

가수 분해하여 H_3O^+ 생성

가수 분해하여 OH^- 생성

(가) NH_4Cl 의 음이온 Cl^- 은 강산의 음이온이므로 물과 반응하지 않고, 양이온 NH_4^+ 은 약염기의 양이온으로 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 수용액은 산성이다.

(나) Na_2CO_3 의 양이온 Na^+ 은 강염기의 양이온이므로 가수 분해하지 않고, 음이온 CO_3^{2-} 은 약산의 음이온으로 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 수용액은 염기성이다.

2-3 CH_3COONa 의 양이온 Na^+ 은 강염기의 양이온이므로 가수 분해하지 않고, CH_3COO^- 은 약산의 음이온으로 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 수용액은 염기성이다.

2-4 (1) NaCl 은 강산의 음이온과 강염기의 양이온으로 이루어진 염이므로 수용액에서 가수 분해하지 않는다. 따라서 수용액은 중성이다.

(2) NH_4Cl 수용액이 산성인 까닭은 NH_4^+ 이 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하기 때문이다. Cl^- 은 물속에서 거의 그대로 존재한다.

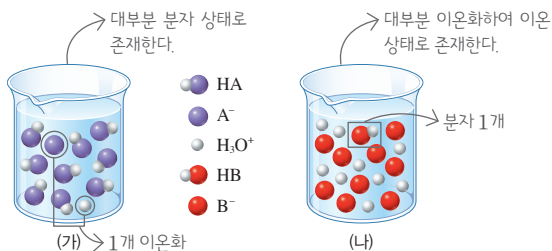
(3), (4) Na_2CO_3 을 물에 녹이면 Na^+ 은 물속에 거의 그대로 존재하고, CO_3^{2-} 이 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 Na_2CO_3 을 녹인 수용액에 BTB 용액을 떨어뜨리면 파란색을 나타낸다.

내신 만점 문제

212쪽~215쪽

- 01 ③ 02 ③ 03 ② 04 ⑤ 05 ② 06 ㄱ, ㄴ, ㄷ 07 ⑤ 08 ① 09 ⑤ 10 ② 11 ⑤
12 ④ 13 ③ 14 ④ 15 ⑤ 16 ③ 17 ④

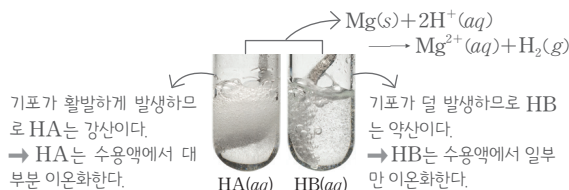
01 꼬꼬 문제 분석



ㄱ, ㄴ. HA는 수용액에서 대부분 분자 상태로 존재하므로 약산이고, HB는 수용액에서 대부분 이온화하여 이온 상태로 존재하므로 강산이다. 따라서 이온화 정도와 산의 세기는 $\text{HA} < \text{HB}$ 이다.

바로알기 ㄷ. $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이므로, 수용액의 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 클수록 pH는 작다. (가)는 약산의 수용액이고, (나)는 강산의 수용액이므로 pH는 (가) > (나)이다.

02 꼬꼬 문제 분석



ㄱ. 농도와 부피가 같은 두 수용액에 크기가 같은 마그네슘 리본을 넣었을 때 기포는 HA(aq) 에서가 HB(aq) 에서보다 활발하게 발생하므로 수용액 속 H_3O^+ 의 농도는 HA(aq) 이 HB(aq) 보다 크다. 따라서 음이온의 농도도 HA(aq) 이 HB(aq) 보다 크다.

ㄴ. HA(aq) 이 HB(aq) 보다 이온의 농도가 크므로 전류가 더 잘 흐려 전기 전도도가 더 크다.

바로알기 ㄷ. 수용액 속 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 HA(aq) 가 HB(aq) 보다 크므로 수용액의 pH는 HB(aq) 가 HA(aq) 보다 크다.

03 ㄴ. B(aq) 의 이온화 상수(K_b)가 매우 작으므로 역반응이 우세하게 일어난 쪽에서 평형이 이루어진다. 즉, 평형 상태에서 대부분 B(aq) 로 존재하고, $\text{BH}^+(\text{aq})$ 과 $\text{OH}^-(\text{aq})$ 은 매우 적게 존재한다. 따라서 평형 상태에서 $[\text{B}]$ 가 $[\text{BH}^+]$ 보다 크다.

바로알기 ㄱ. $K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$

ㄷ. 이온화 상수는 온도가 일정하면 농도에 관계없이 일정하다. 따라서 온도가 일정하면 B의 농도가 커져도 K_b 는 변하지 않는다.

04 ㄱ. 물 농도가 같은 HA(aq) 과 HB(aq) 에서 이온화하여 생성된 $[\text{B}^-]$ 가 $[\text{A}^-]$ 보다 크므로, 이온화 정도가 $\text{HA} < \text{HB}$ 이고 산의 세기는 HB가 HA보다 강하다. 따라서 산의 이온화 상수(K_a)는 $\text{HA} < \text{HB}$ 이다.

ㄴ. 1가 산이 이온화하여 생성된 음이온의 농도와 H_3O^+ 의 농도는 같다. 따라서 수용액 속 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 HB(aq) 이 HA(aq) 보다 크므로 수용액의 pH는 HA(aq) 이 HB(aq) 보다 크다.

ㄷ. 물에 용해된 HA는 $\frac{1}{10}$ 이 이온화하였고, HB는 $\frac{1}{2}$ 이 이온화하였으므로 이온화도는 HB가 HA의 5배이다.

05 꼬꼬 문제 분석

$$3 = -\log[\text{H}_3\text{O}^+], [\text{H}_3\text{O}^+] = 1.0 \times 10^{-3}$$

수용액	물 농도(M)	pH	이온화 상수(K_a)
HA(aq)	0.1	3	(가)
HB(aq)	1	(나)	1.0×10^{-8}

$[\text{H}_3\text{O}^+]$ 를 x 라고 하면

$$\frac{x^2}{1-x} = 1.0 \times 10^{-8}, 1-x \approx 1, x = 1.0 \times 10^{-4} \rightarrow \text{pH} = 4$$

ㄷ. pH는 HA(aq)이 3이고, HB(aq)이 4로 HA(aq)이 HB(aq)보다 작으므로 산의 세기는 HA가 HB보다 강하다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)에서 HA(aq)의 pH가 3이므로 $[H_3O^+]$ 는 $1.0 \times 10^{-3} M$ 이다. 이로부터 0.1 M HA(aq)의 이온화 평형은 다음과 같은 양적 관계가 성립한다.

	$HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$		
반응 전(M)	0.1	0	0
반응(M)	-1.0×10^{-3}	$+1.0 \times 10^{-3}$	$+1.0 \times 10^{-3}$
평형(M)	약 0.1	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}

$$HA \text{의 이온화 상수}(K_a) = \frac{(1.0 \times 10^{-3})^2}{0.1} = 1.0 \times 10^{-5}$$

ㄴ. (나)에서 HB(aq)의 농도가 1.0 M이고, K_a 가 1.0×10^{-8} 이다. 1.0 M HB(aq)의 이온화 평형에서 $[H_3O^+]$ 를 x 라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.

	$HB(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons B^-(aq) + H_3O^+(aq)$		
반응 전(M)	1	0	0
반응(M)	$-x$	$+x$	$+x$
평형(M)	$1-x$	x	x

$$K_a = \frac{x^2}{1-x} = 1.0 \times 10^{-8} \text{이고, 이때 HA는 } K_a \text{가 매우 작은 약}$$

산이므로 $1-x \approx 1$ 로 하여 계산하면 다음과 같다.

$$x = 1.0 \times 10^{-4}, [H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-4}$$

$$\therefore pH = -\log(1.0 \times 10^{-4}) = 4$$

▮ **다른 풀이** ▮ ㄱ. 0.1 M HA(aq)의 pH가 3이므로 수용액 속 $[H_3O^+]$ 는 $1.0 \times 10^{-3} M$ 이다. 물 농도가 C M인 산 HA에서 $[H_3O^+] = C\alpha$ 이다.

$$1.0 \times 10^{-3} M = 0.1 M \times \alpha$$

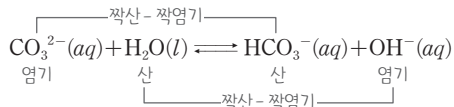
$$\therefore 0.1 M \text{ HA의 이온화도}(\alpha) = 0.01$$

약산의 이온화 상수(K_a)와 초기 물 농도(C), 이온화도(α) 사이에는 $K_a = C\alpha^2$ 의 관계가 성립한다.

$$K_a = 0.1 \times (1.0 \times 10^{-2})^2 = 1.0 \times 10^{-5}$$

ㄴ. 25 °C에서 약산 HB의 이온화 상수(K_a)는 1.0×10^{-8} 이므로 물 농도가 1.0 M인 HB(aq)의 이온화도(α)는 1.0×10^{-4} 이다. 따라서 1.0 M HB(aq) 속 $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-4}$ 이므로 pH는 4이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

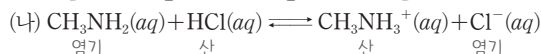
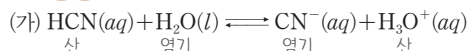


ㄱ. 정반응에서는 H_2O 이, 역반응에서는 HCO_3^- 이 H^+ 을 내놓는 산으로 작용한다.

ㄴ. H_2O 과 OH^- 은 H^+ 의 이동에 의해 산과 염기로 되므로 H_2O 의 짝염기는 OH^- 이다.

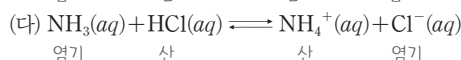
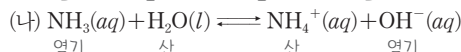
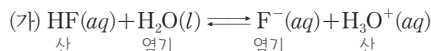
ㄷ. CO_3^{2-} 과 HCO_3^- 은 H^+ 의 이동에 의해 산과 염기로 되므로 CO_3^{2-} 의 짝산은 HCO_3^- 이다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



(가)의 정반응에서는 H^+ 을 받는 H_2O 이 염기이고, 역반응에서는 CN^- 이 염기이다. (나)의 정반응에서는 H^+ 을 받는 CH_3NH_2 이 염기이고, 역반응에서는 Cl^- 이 염기이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

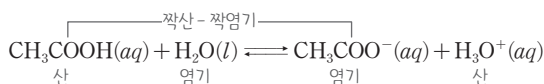


ㄱ. H_2O 은 (가)에서는 H^+ 을 받는 염기로 작용하고, (나)에서는 H^+ 을 내놓는 산으로 작용한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. NH_3 는 (나)와 (다)에서 모두 H^+ 을 받는 염기로 작용하므로 양쪽성 물질이 아니다.

ㄷ. (다)에서 NH_3 와 NH_4^+ 은 H^+ 의 이동에 의해 산과 염기로 되는 짝산-짝염기 쌍이다. 따라서 NH_4^+ 의 짝염기는 NH_3 이다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. H_2O 은 H^+ 을 받으므로 염기로 작용하였다.

ㄴ. 염기에 H^+ 1개가 결합한 것이 짝산이다.

ㄷ. 이온화 상수(K_a)가 매우 작으므로 역반응이 우세하게 일어난 쪽에서 평형을 이룬다. 따라서 역반응의 산 H_3O^+ 이 정반응의 산 CH_3COOH 보다 강한 산이다.

10 ㄷ. 0.1 M HA(aq)에서 이온화하여 생성된 $[H_3O^+]$ 를 x M이라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.

	$HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$		
반응 전(M)	0.1	0	0
반응(M)	$-x$	$+x$	$+x$
평형(M)	$0.1-x$	x	x

$$K_a = \frac{x^2}{0.1-x} = 1.0 \times 10^{-7} \text{이다. 이때 HA는 } K_a \text{가 매우 작은}$$

약산이므로 $0.1-x \approx 0.1$ 이라고 할 수 있다.

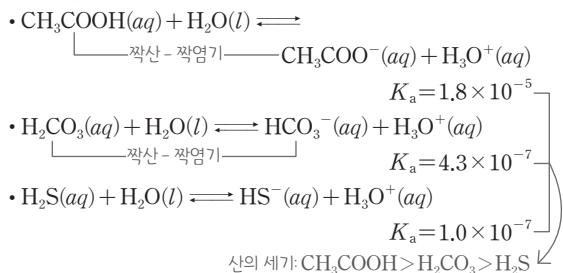
$$\frac{x^2}{0.1} = 1.0 \times 10^{-7}, x^2 = 1.0 \times 10^{-8}, x = [H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-4}$$

$$pH = -\log[H_3O^+] = -\log(1.0 \times 10^{-4}) = 4$$

■ **바로알기** ■ 7. HA의 이온화 상수가 매우 작으므로 이온화 평형은 역반응이 우세하게 일어난 쪽에서 이루어진다. 즉, 역반응의 산과 염기가 정반응의 산과 염기보다 세기가 강하므로 염기의 세기는 A^- 이 H_2O 보다 강하다.

나. 반응물이 더 남아 있는 쪽에서 평형이 이루어지므로, $[A^-]$ 이 $[HA]$ 보다 작다. 따라서 $\frac{[A^-]}{[HA]} < 1$ 이다.

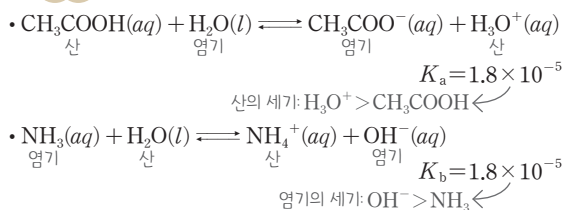
11 문제 분석



나. 이온화 상수(K_a)가 클수록 산의 세기가 강하므로 CH_3COOH 이 H_2CO_3 보다 강한 산이다. 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하므로 CH_3COO^- 은 HCO_3^- 보다 약한 염기이다.

ㄷ. H_2CO_3 이 H_2S 보다 강한 산이므로 같은 농도의 수용액에서 더 강한 산성을 나타낸다. 따라서 농도가 같을 때 수용액의 pH는 $\text{H}_2\text{CO}_3(aq)$ 이 $\text{H}_2\text{S}(aq)$ 보다 작다.

■ **바로알기** 7. 이온화 상수가 CH_3COOH 이 H_2S 보다 크므로 CH_3COOH 이 H_2S 보다 강한 산이다.

12 문제 분석

① H_2O 은 CH_3COOH 과의 반응에서는 염기로 작용하고, NH_3 와의 반응에서는 산으로 작용한다.

② 이온화 평형에서 H^+ 을 받는 물질은 염기이므로 CH_3COO^- 은 CH_3COOH 의 짝염기이다.

③ 아세트산(CH_3COOH)은 K_a 가 매우 작은 약산이므로 산의 세기는 $\text{CH}_3\text{COOH} < \text{H}_3\text{O}^+$ 이다.

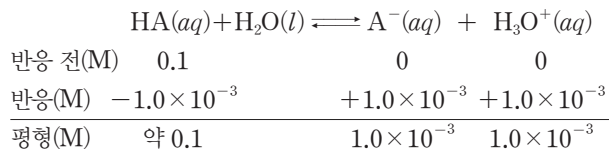
⑤ 두 수용액의 농도와 이온화 상수가 같으므로 평형 상태에서 CH_3COO^- 의 농도와 NH_4^+ 의 농도는 같다.

■ **바로알기** | ④ 암모니아(NH_3)가 약염기이므로 염기의 세기는 $\text{NH}_3 < \text{OH}^-$ 이다.

13 $\cdot 3 = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow \text{HA}(aq) \rightleftharpoons [\text{H}_3\text{O}^+] = 1.0 \times 10^{-3}$

$$\bullet 5 = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow \text{HB}(aq) \rightleftharpoons [\text{H}_3\text{O}^+] = 1.0 \times 10^{-5}$$

7. 0.1 M HA(aq)의 이온화 평형은 다음과 같은 양적 관계가 성립한다.


$$\text{이온화 상수 } K_a = \frac{(1.0 \times 10^{-3})^2}{0.1} = 1.0 \times 10^{-5} \text{이다.}$$

↳ pH가 작을수록 $[H_3O^+]$ 가 큰 강한 산이다. pH는 $HA(aq)$ 이 $HB(aq)$ 보다 작으므로 산의 세기는 HA 가 HB 보다 강하다.

■ **바로알기** ■ ㉔. 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하다. 산의 세기는 HA가 HB보다 강하므로 염기의 세기는 B⁻이 A⁻보다 강하다.

14 각 염의 수용액에서 액성은 다음과 같다.

염	NaCl	NH ₄ Cl	KHSO ₄	NaHCO ₃	CH ₃ COONa
액성	중성	산성	(가) 산성	(나) 염기성	염기성

① NaCl은 가수 분해하지 않으므로 Na^+ 과 Cl^- 으로 존재한다.

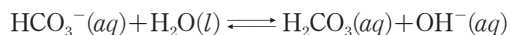
② NH_4Cl 수용액은 약염기의 양이온인 NH_4^+ 이 일부 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 산성을 나타낸다.

③ K^+ 과 HSO_4^- 은 가수 분해하지 않는데, HSO_4^- 은 강산의 음이온으로 추가로 이온화할 수 있는 수소 이온을 가지고 있어 다음과 같이 이온화하므로 수용액은 산성을 나타낸다.



⑤ CH_3COONa 수용액은 약산의 음이온인 CH_3COO^- 이 일부 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다.

■ **바로알기** ④ NaHCO_3 수용액은 약산의 음이온인 HCO_3^- 이 일부 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 염기성을 나타낸다.



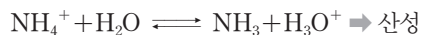
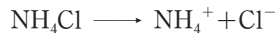
15 ㄱ. $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ 은 물에 녹아 약산의 음이온인 HCO_3^- 이 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다.



$\text{HCO}_3^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(aq) + \text{OH}^-(aq) \Rightarrow$ 염기성
따라서 NaHCO_3 을 녹인 수용액 (나)의 pH는 (가)보다 크다.

↳. $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이므로 pH가 작을수록 H_3O^+ 의 농도가 크다. 따라서 수용액의 H_3O^+ 농도는 (다) > (가) > (나) 순이다.

ㄷ. pH가 6.0보다 큰 용액 (나)에 NH_4Cl 을 녹였을 때 pH가 5.6으로 감소하므로, NH_4Cl 수용액의 NH_4^+ 이 가수 분해하여 H_3O^+ 의 농도를 증가시킨다.

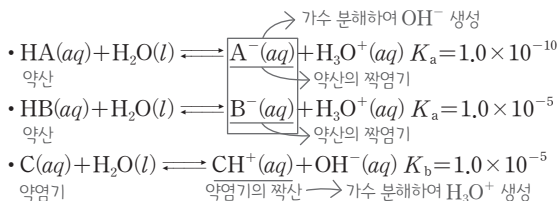


16 ㄱ. Na^+ 은 중화 반응의 구경꾼 이온이고, 가수 분해하지 않으므로 반응 전후에 양(mol)이 변하지 않는다. 반응 전 Na^+ 의 양(mol)은 $0.1 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 0.01 \text{ mol}$ 이다. 반응 후 용액의 부피는 200 mL이므로 혼합 용액에서 $\text{Na}^+(aq)$ 의 몰 농도는 $\frac{0.01 \text{ mol}}{0.2 \text{ L}} = 0.05 \text{ M}$ 이다.

ㄴ. 중화 반응으로 생성된 염 NaA의 양이온 Na^+ 은 가수 분해하지 않지만, 음이온인 A^- 은 약산의 짝염기이므로 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다. 따라서 수용액의 pH는 7보다 크다.

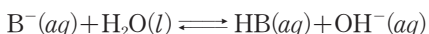
|| 바로알기 || ㄷ. 중화 반응이 완결되므로 Na^+ 과 A^- 의 양(mol)은 같다. 그런데 Na^+ 은 가수 분해하지 않지만 음이온인 A^- 은 일부가 가수 분해하므로, 수용액 속 $[\text{Na}^+] > [\text{A}^-]$ 이다. 따라서 $\frac{[\text{Na}^+]}{[\text{A}^-]} > 1$ 이다.

17 문제 분석



ㄴ. $\text{CHCl}(aq)$ 에서 $\text{CH}^+(aq)$ 은 약염기의 짝산으로 일부가 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 수용액은 산성이다.

ㄷ. $\text{CHB}(aq)$ 에서 $\text{B}^-(aq)$ 은 일부가 가수 분해한다.

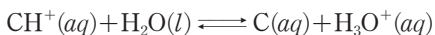


이때 $\text{B}^-(aq)$ 의 이온화 상수(K_b)를 $\text{HB}(aq)$ 의 이온화 상수(K_a)와 물의 이온화 상수(K_w)를 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$K_b = \frac{[\text{HB}][\text{OH}^-]}{[\text{B}^-]} = \frac{[\text{HB}]}{[\text{B}^-][\text{H}_3\text{O}^+]} \times \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{1} = \frac{K_w}{K_a}$$

$$= \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9} \quad \left(\frac{1}{K_a} \right) \quad \left(K_w \right)$$

또, $\text{CH}^+(aq)$ 은 약염기의 짝산으로 일부가 가수 분해한다.



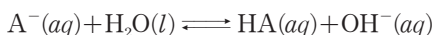
이때 $\text{CH}^+(aq)$ 의 이온화 상수(K_a)를 $\text{C}(aq)$ 의 이온화 상수(K_b)와 K_w 를 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{C}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}^+]} = \frac{[\text{C}]}{[\text{CH}^+][\text{OH}^-]} \times [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = \frac{K_w}{K_b}$$

$$= \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9}$$

$\text{CHB}(aq)$ 에서 $\text{B}^-(aq)$ 의 K_b 와 $\text{CH}^+(aq)$ 의 K_a 가 같으므로 수용액은 중성이다.

|| 바로알기 || ㄱ. $\text{NaA}(aq)$ 에서 A^- 은 약산의 짝염기로 일부가 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 수용액은 염기성이다.



02 완충 용액

개념 확인 문제

219 쪽

- ① 완충 ② 공통 이온 ③ CH_3COO^- ④ CH_3COO^-
 ⑤ $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{H}_3\text{O}^+)$ ⑥ H_2CO_3 ⑦ HCO_3^-

- 1 ㄱ, ㄷ, ㄹ 2 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ 3 (가) ㄱ (나) ㄷ
 4 (1) × (2) × (3) ○

1 ㄱ. $\text{HF}(aq) + \text{NaF}(aq)$ 는 약산인 HF와 그 짝염기인 F^- 의 혼합 용액이므로 완충 작용을 한다.

ㄴ. HCl 은 강산이고 NaOH 은 강염기이므로 혼합 용액에는 중화 반응 후 생성된 NaCl 이 존재한다. NaCl 은 물속에서 완전히 이온화하므로 완충 작용을 할 수 없다.

ㄷ. $\text{NH}_3(aq) + \text{NH}_4\text{Cl}(aq)$ 은 약염기인 NH_3 와 그 짝산인 NH_4^+ 의 혼합 용액이므로 완충 작용을 한다.

ㄹ. $\text{NaH}_2\text{PO}_4(aq) + \text{Na}_2\text{HPO}_4(aq)$ 는 약산인 H_2PO_4^- 과 그 짝염기인 HPO_4^{2-} 의 혼합 용액이므로 완충 작용을 한다.

2 (1) 아세트산(CH_3COOH) 수용액의 이온화 평형 상태에서 Cl^- 은 존재하지 않으므로 $\text{HCl}(aq)$ 을 넣을 때 Cl^- 은 공통 이온이 아니다.

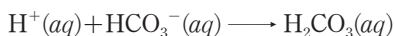
(2), (3) CH_3COONa 이 이온화하여 CH_3COO^- 을 생성하므로 CH_3COOH 수용액에 CH_3COONa 을 넣으면 공통 이온 효과가 나타난다. 공통 이온인 CH_3COO^- 의 농도가 커지면 르 샤틀리에 원리에 따라 이온화 평형이 CH_3COO^- 의 농도를 감소시키는 역반응 쪽으로 이동하여 새로운 평형에 도달한다.

(4) CH_3COOH 은 약산이므로 이 수용액에 CH_3COOH 의 짝염기인 CH_3COO^- 을 포함한 CH_3COONa 을 넣어 주면 완충 용액이 된다.

3 (가) 산이 내놓은 H^+ 은 수용액 속 NH_3 와 반응한다. (나) 염기가 내놓은 OH^- 은 수용액 속 NH_4^+ 과 중화 반응한다.

4 (1), (2) 혈액은 약산인 H_2CO_3 과 그 짝염기인 HCO_3^- 으로 이루어진 완충 용액이므로 소량의 산이나 염기가 들어오더라도 pH가 크게 변하지 않는다.

(3) 혈액에 소량의 $\text{HCl}(aq)$ 이 들어오면 H^+ 과 HCO_3^- 이 반응하여 H_2CO_3 을 생성하므로 혈액 속 H_2CO_3 의 농도가 증가한다.



이때 증가한 H_2CO_3 은 H_2O 과 CO_2 로 분해되며, CO_2 는 몸 밖으로 배출된다.

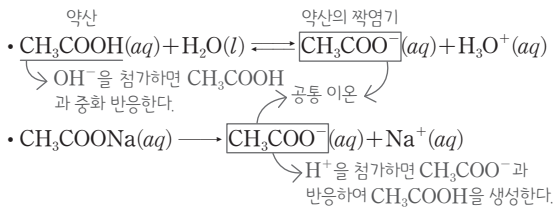
자료 1 1 거의 변화 없다. 2 정반응 3 거의 변화 없다.

4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ×

자료 2 1 H_2CO_3 , HCO_3^- 2 역반응 3 증가한다.

4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



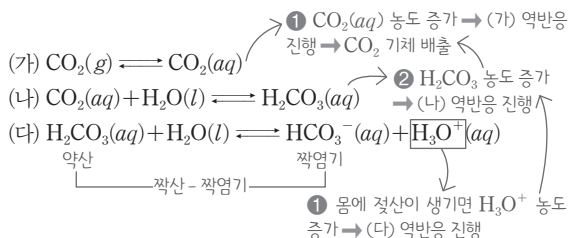
혼합 용액은 완충 용액이므로 pH 변화가 거의 없다.

1-2 염기가 내놓은 OH⁻은 CH₃COOH과 중화 반응한다.
 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{OH}^-(aq) \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$
 중화 반응으로 H₃O⁺이 감소하므로 CH₃COOH의 이온화 평형은 정반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

1-3 CH₃COOH의 $K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 이다. 이때 $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 가 거의 1이므로 혼합 용액의 [H₃O⁺]는 K_a와 같다. K_a는 온도가 일정하면 농도에 관계 없이 일정하므로, 용액에 증류수를 넣어 10배로 희석해도 pH 변화는 거의 없다.

1-4 (1) 같은 양(mol)의 아세트산(CH₃COOH)과 아세트산 나트륨(CH₃COONa)을 혼합했으므로, 용액 중에는 CH₃COOH과 CH₃COO⁻이 비슷한 농도로 공존한다.
 (2), (3) CH₃COOH(aq)에 강염기 NaOH(aq)을 넣거나, 강산 HCl(aq)에 CH₃COONa(aq)을 넣으면 완충 작용을 하지 못한다.
 (4) 혼합 용액에 NaCl(aq)을 넣어 주어도 이온화 평형에 관여하는 공통 이온이 없으므로 평형이 이동하지 않는다.

2-1 꼼꼼 문제 분석



완충 작용을 하는 물질은 약산인 H₂CO₃과 그 짝염기인 HCO₃⁻이다.

2-2 몸에 젖산이 생기면 H⁺의 농도가 증가하므로 반응 (다)의 평형에서 H⁺의 농도를 감소시키는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

2-3 몸에 염기가 유입되면 OH⁻이 H₂CO₃과 중화 반응한다.
 $\text{H}_2\text{CO}_3(aq) + \text{OH}^-(aq) \rightarrow \text{HCO}_3^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$
 따라서 HCO₃⁻의 농도는 증가한다.

2-4 (1) H₂CO₃(aq)과 NaHCO₃(aq)의 혼합 용액은 약산인 H₂CO₃과 그 짝염기인 HCO₃⁻의 혼합 용액으로 완충 용액이다.
 (2) 혈액에 소량의 산이 유입되면 H⁺은 HCO₃⁻과 반응한다.
 $\text{HCO}_3^-(aq) + \text{H}^+(aq) \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3(aq)$
 이 반응으로 H₂CO₃의 농도가 증가하므로, 반응 (나)는 H₂CO₃의 농도를 감소시키는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 이에 따라 몸속 CO₂의 농도가 증가하므로 반응 (가)의 역반응이 진행되어 CO₂가 몸 밖으로 배출된다.
 (3), (4) 혈액에 소량의 염기가 유입되면 중화 반응이 일어나 (다)의 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 H₂CO₃의 농도가 감소하므로, 반응 (나)는 H₂CO₃의 농도를 증가시키는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

내신 만점 문제

221 쪽 ~ 222 쪽

01 ② 02 ③ 03 ㄷ 04 ④ 05 ㄱ, ㄴ 06 ⑤
 07 ① 08 ④ 09 ①

01 약산과 그 짝염기가 섞여 있는 수용액이나, 약염기와 그 짝산이 섞여 있는 수용액이 완충 용액이다. (다)는 약염기(NH₃)와 그 짝산(NH₄⁺)의 혼합 용액이므로 완충 작용을 한다.

▮ **바로알기** ▮ (가)는 강산(H₂SO₄)과 그 짝염기(HSO₄⁻)의 혼합 용액이므로 완충 작용을 하지 못한다.

(나)는 강염기(NaOH)와 그 양이온(Na⁺)의 혼합 용액이므로 완충 작용을 하지 못한다.

02 ㄱ. HA는 K_a가 작은 약산이고 A⁻은 HA의 짝염기이므로, HA와 A⁻을 1 : 1의 몰비로 혼합한 용액은 완충 용액이다.
 ㄴ. B는 K_b가 작은 약염기이고 BH⁺은 B의 짝산이므로, B와 BH⁺을 1 : 1의 몰비로 혼합한 용액은 완충 용액이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. HA와 B를 1 : 1의 몰비로 혼합하면 중화 반응에 의해 염의 수용액이 되므로 완충 용액이 아니다.

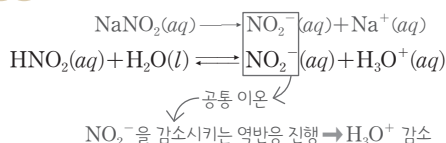
03 ㄷ. $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 에 CH_3COONa 를 넣으면 CH_3COO^- 의 농도가 증가하므로, CH_3COO^- 의 농도를 감소시키는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 H_3O^+ 의 농도는 감소한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 에 Mg 조각을 넣으면 Mg 이 H^+ 과 반응하여 H_2 기체가 발생하므로 H^+ 이 소모된다. 따라서 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 CH_3COOH 의 농도가 감소한다.
ㄴ. 산 수용액인 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 에 염기인 NaOH 을 넣으면 중화 반응이 일어나 H_3O^+ 이 감소하므로 용액의 pH가 커진다.

04 ㄴ, ㄷ. $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 에 CH_3COONa 를 녹이면 CH_3COO^- 의 공통 이온 효과에 의해 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 CH_3COOH 의 몰 농도가 증가하고, H_3O^+ 의 몰 농도는 감소한다. 따라서 용액의 pH는 커진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 온도가 일정하면 K_a 는 변하지 않는다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

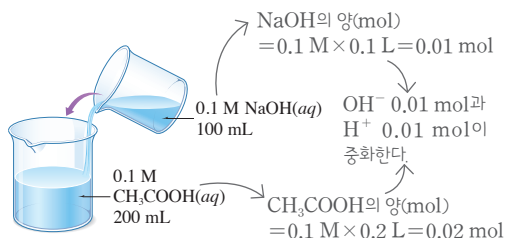


▮ **바로알기** ▮ ㄷ. NO_2^- 의 공통 이온 효과에 의해 평형이 역반응 쪽으로 이동한다.

06 ㄱ. 산의 몰 농도가 같더라도 수용액에서의 이온화 정도는 HCl 가 CH_3COOH 보다 크므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 $\text{HCl}(aq)$ 이 더 크다. 따라서 용액의 pH는 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 작은 (나)가 (가)보다 크다.
ㄴ. (다)에서 $\text{CH}_3\text{COO}^-(aq)$ 의 공통 이온 효과가 나타난다.
 $\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$
 $\text{CH}_3\text{COONa} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-(aq) + \text{Na}^+(aq)$
즉, (다)에서는 CH_3COO^- 을 감소시키는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 H_3O^+ 의 몰 농도가 감소한다. 따라서 H_3O^+ 의 몰 농도는 (나)가 (다)보다 크다.

ㄷ. (다)는 완충 용액이므로 NaOH 을 소량 넣어도 pH 변화가 크지 않지만 산 수용액인 (나)는 pH가 크게 증가한다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



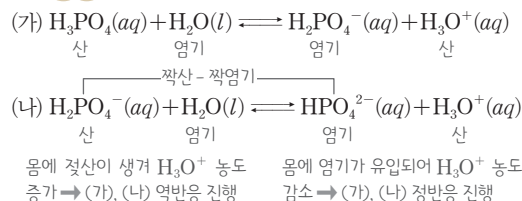
ㄱ. 0.1 M 아세트산(CH_3COOH) 수용액 200 mL에 들어 있는 CH_3COOH 의 양은 0.02 mol이고, 0.1 M 수산화 나트륨(NaOH) 수용액 100 mL에 들어 있는 NaOH 의 양(mol)은 0.01 mol이다. 따라서 이 두 수용액을 혼합하면 H^+ 0.01 mol과 OH^- 0.01 mol이 중화 반응을 하므로, 혼합 용액은 CH_3COOH 0.01 mol과 CH_3COONa 0.01 mol의 혼합 용액과 같아진다. 즉, 이 혼합 용액은 약산(CH_3COOH)과 그 짝염기(CH_3COO^-)가 1 : 1의 몰비로 혼합된 용액이므로 완충 용액이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ, ㄷ. 완충 용액이 아닌 경우 증류수를 넣어 10배로 희석시키면 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 $\frac{1}{10}$ 배로 감소하므로 pH가 1만큼 커진다. 그러나 완충 용액은 소량의 산을 첨가하거나 물을 넣어 희석하여도 pH가 거의 일정하게 유지된다.

08 (가) 소량의 $\text{HCl}(aq)$ 을 첨가하면 H^+ 이 HCO_3^- 과 반응(ㄴ)하므로 혈액의 pH는 거의 일정하게 유지된다.

(나) 소량의 NaOH 수용액을 첨가하면 OH^- 이 H_2CO_3 과 중화 반응(ㄷ)을 하여 pH는 거의 일정하게 유지된다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. NaH_2PO_4 가 수용액에서 이온화하면 H_2PO_4^- 이 생성되고, Na_2HPO_4 이 이온화하면 HPO_4^{2-} 이 생성된다. H_2PO_4^- 은 약산이고, HPO_4^{2-} 은 H_2PO_4^- 의 짝염기이므로 NaH_2PO_4 과 Na_2HPO_4 혼합 수용액은 완충 용액이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 몸에 젖산이 생기면 H_3O^+ 의 농도가 증가하므로 (나)에서 평형이 역반응 쪽으로 이동한다.

ㄷ. 체내에 유입된 OH^- 이 H_2PO_4^- 과 중화 반응하여 HPO_4^{2-} 과 H_2O 이 생성되므로 HPO_4^{2-} 의 농도가 증가한다.

중단원 핵심 정리

223쪽

- ① 클 ② 강산 ③ 약산 ④ $\frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ ⑤ $\frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$
 ⑥ 정반응 ⑦ 강 ⑧ 일정 ⑨ H^+ (수소 이온) ⑩ NH_4^+
 ⑪ OH^- ⑫ > ⑬ 약산+강염기 ⑭ 강산+약염기 ⑮ pH
 ⑯ HCO_3^-

01 ③	02 ①	03 0.05	04 ③	05 ⑤	06 ①
07 ②	08 ③	09 ⑤	10 ④	11 ⑤	12 ④
13 ②	14 ④	15 ②	16 해설 참조	17 해설 참조	

01 ㄱ. HA는 수용액에서 대부분 이온화하고, HB는 일부만 이온화한다. 따라서 수용액 속 이온의 농도는 (가) > (나)이므로 수용액의 전류의 세기는 (가) > (나)이다.

ㄷ. 수용액 속 H^+ 의 농도가 클수록 pH는 작다. H^+ 의 농도가 (가) > (나)이므로 pH는 (가) < (나)이다.

❗ **바로알기** ㄴ. Mg이 수용액 속 H^+ 과 반응하면 H_2 기체가 발생한다.



H^+ 의 농도는 (가) > (나)이므로 기체 발생 정도는 (가)에서가 (나)에서보다 더 활발하다.

02 HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = 1.0 \times 10^{-5}$

이때 pH가 3이므로 수용액 속 $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-3} M$ 이고, HA가 이온화하여 생성된 H_3O^+ 의 양과 A^- 의 양이 같으므로 $[A^-] = 1.0 \times 10^{-3} M$ 이다. 이 값을 이온화 상수식에 대입하면 다음과 같다.

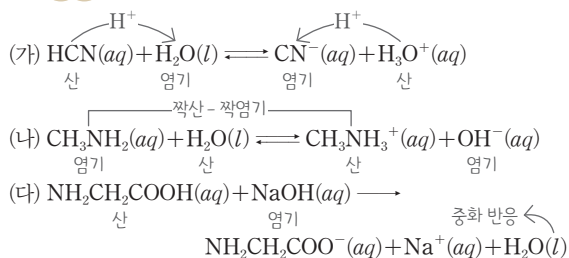
$$K_a = \frac{1.0 \times 10^{-3} \times [H_3O^+]}{[HA]} = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$\frac{[H_3O^+]}{[HA]} = 1.0 \times 10^{-2} \left(= \frac{1}{100} \right)$$

03 1몰의 HA를 물에 녹여 이온화 평형을 이룰 때 수용액 속 H_3O^+ (H^+)과 A^- 은 각각 0.2몰이고, 분자 상태로 존재하는 HA는 0.8몰이다. 수용액의 부피가 1 L이므로 각 입자의 몰 농도는 $[HA] = 0.8 M$, $[H^+] = 0.2 M$, $[A^-] = 0.2 M$ 이다. 이 값을 이온화 상수식에 대입하여 이온화 상수를 구하면 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{0.2 \times 0.2}{0.8} = 0.05$$

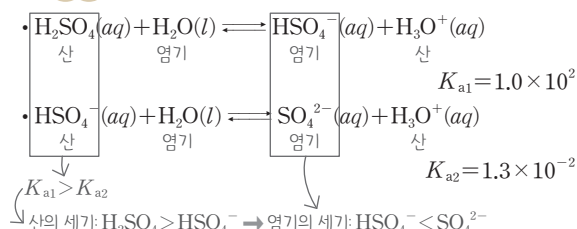
04 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. (가)에서 HCN은 H^+ 을 내놓으므로 브뢴스테드·로리 산이다.
 ㄴ. H^+ 의 이동에 의해 산과 염기로 되는 한 쌍의 물질이 짝산-짝염기이다. (나)에서 CH_3NH_2 이 H^+ 을 받으면 $CH_3NH_3^+$ 이 되므로 CH_3NH_2 의 짝산은 $CH_3NH_3^+$ 이다.

❗ **바로알기** ㄷ. (다)는 중화 반응으로 NH_2CH_2COOH 은 H^+ 을 내놓으므로 브뢴스테드·로리 산이다.

05 **꼭꼭** 문제 분석

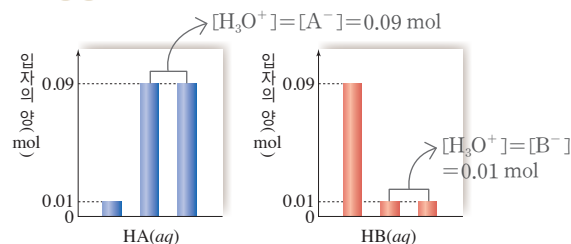


ㄱ. HSO_4^- 은 H_3O^+ 과의 반응에서는 염기로 작용하고, H_2O 과의 반응에서는 산으로 작용하므로 양쪽성 물질이다.

ㄴ. H_2SO_4 의 이온화 반응에서 H_2O 은 H^+ 을 받으므로 브뢴스테드·로리 염기이다.

ㄷ. $K_{a1} > K_{a2}$ 이므로 산의 세기는 H_2SO_4 이 HSO_4^- 보다 강하다. 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하므로 H_2SO_4 의 짝염기인 HSO_4^- 보다 HSO_4^- 의 짝염기인 SO_4^{2-} 의 세기가 강하다.

06 **꼭꼭** 문제 분석

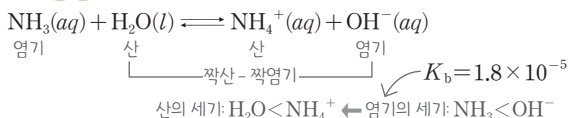


ㄱ. 물에 녹은 산 HA와 HB의 전체 양(mol)은 같은데, 산이 수용액에서 이온화하여 생성된 H_3O^+ 과 음이온의 양(mol)은 HA가 HB보다 크므로 이온화하는 정도는 HA가 HB보다 크다.

❗ **바로알기** ㄴ. H_3O^+ 의 양(mol)은 HA(aq)에서 0.09 mol이고, HB(aq)에서 0.01 mol이다. 수용액의 부피는 모두 100 mL이므로 $[H_3O^+]$ 는 HA(aq)에서 0.9 M이고, HB(aq)에서 0.1 M이다. 따라서 수용액의 pH는 $[H_3O^+]$ 가 큰 HA(aq)가 HB(aq)보다 작다.

ㄷ. 산의 세기는 이온화가 잘 되는 HA가 HB보다 강하다. 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하므로 염기의 세기는 B^- 이 A^- 보다 강하다.

07 **문제 분석**

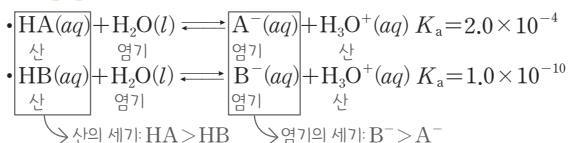


ㄴ. NH_3 의 이온화 상수(K_b)가 매우 작으므로 정반응보다 역반응이 우세하게 일어난 쪽에서 이온화 평형이 이루어진다. 따라서 산의 세기는 역반응에서 산으로 작용하는 NH_4^+ 이 정반응에서 산으로 작용하는 H_2O 보다 강하다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 이온화 상수가 매우 작으므로 반응물이 더 남아 있는 쪽에서 평형이 이루어진다. 따라서 평형 상태에서 $[\text{NH}_3]$ 가 $[\text{NH}_4^+]$ 보다 크다.

ㄷ. H_2O 과 OH^- 은 H^+ 의 이동에 의해 산과 염기로 되는 짝산-짝염기 관계이며, OH^- 이 염기로 작용하므로 OH^- 의 짝산이 H_2O 이다.

08 **문제 분석**

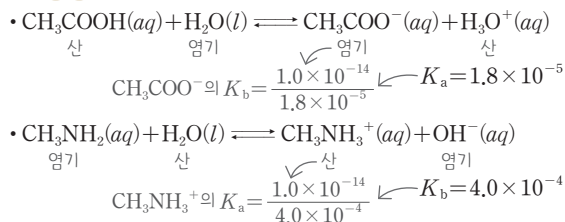


ㄱ. HA 의 이온화 상수가 HB 의 이온화 상수보다 크므로 산의 세기는 HA 가 HB 보다 강하다.

ㄷ. 두 수용액의 농도가 같을 때 수용액 속 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 산의 세기가 큰 $\text{HA}(aq)$ 이 $\text{HB}(aq)$ 보다 크다. 따라서 수용액의 pH는 $\text{HB}(aq)$ 이 $\text{HA}(aq)$ 보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하므로 염기의 세기는 B^- 이 A^- 보다 강하다.

09 **문제 분석**



ㄱ. CH_3COOH 의 짝염기인 CH_3COO^- 의 이온화 상수(K_b)는 물의 이온화 상수(K_w)를 이용해 구한다.

$$K_b \times K_a = K_w, K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = \frac{1}{18} \times 10^{-8}$$

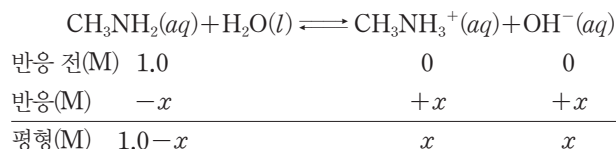
CH_3COO^- 의 K_b 는 CH_3NH_2 의 K_b 보다 작으므로 염기의 세기는 CH_3NH_2 이 CH_3COO^- 보다 강하다.

ㄴ. CH_3NH_3^+ 의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4.0 \times 10^{-4}} = \frac{1}{4} \times 10^{-10}$$

CH_3NH_3^+ 의 K_a 는 CH_3COOH 의 K_a 보다 작으므로, 산의 세기는 CH_3COOH 이 CH_3NH_3^+ 보다 강하다.

ㄷ. $1.0 \text{ M } \text{CH}_3\text{NH}_2(aq)$ 에 들어 있는 $[\text{OH}^-]$ 를 $x \text{ M}$ 이라고 하면 이온화 평형에서 다음과 같은 양적 관계가 성립한다.



$$K_b = \frac{x^2}{1.0 - x} = 4.0 \times 10^{-4} \text{이다. } \text{CH}_3\text{NH}_2 \text{은 } K_b \text{가 매우 작으}$$

므로 $1.0 - x \approx 1.0$ 로 하여 계산하면 다음과 같다.

$$x = 2 \times 10^{-2} \text{ M} = [\text{OH}^-], \text{ pOH} = -\log(2 \times 10^{-2}) = 2 - \log 2$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14, \text{ pH} = 14 - (2 - \log 2) = 12 + \log 2$$

따라서 pH는 12보다 크다.

10 **문제 분석**

염	CH_3COONa	NaCl	NH_4Cl
수용액에 BTB 용액을 넣었을 때의 색	파란색	초록색	노란색
액성	염기성	중성	산성
염 생성 반응	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{약산}) + \text{NaOH}(\text{강염기})$	$\text{HCl}(\text{강산}) + \text{NaOH}(\text{강염기})$	$\text{HCl}(\text{강산}) + \text{NH}_3(\text{약염기})$
가수 분해	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$	가수 분해하지 않음	$\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$

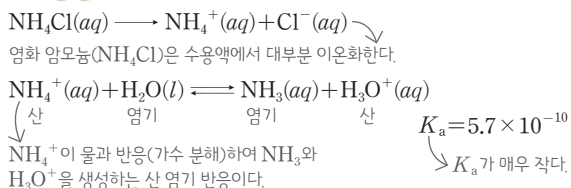
ㄴ. 약산의 음이온 CH_3COO^- 은 가수 분해하여 염기성을, 약염기의 양이온 NH_4^+ 은 가수 분해하여 산성을 나타낸다.

ㄷ. $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ 은 약산과 약염기의 염이므로 양이온과 음이온이 모두 가수 분해하는데, 가수 분해 결과 생성된 H_3O^+ 과 OH^- 이 중화 반응하여 거의 중성이 되므로 BTB 용액을 넣으면 초록색을 나타낸다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. NaOH 이 물에 녹아 생성된 양이온 Na^+ 은 가수 분해하지 않고 NH_3 가 물에 녹아 생성된 양이온 NH_4^+ 은 가수 분해하므로, NaOH 은 강염기이고 NH_3 는 약염기이다.

11 KNO_3 , NH_4NO_3 , Na_2CO_3 중에서 강산의 음이온과 강염기의 양이온으로 이루어진 KNO_3 는 가수 분해하지 않으므로 (다)에 해당한다. NH_4NO_3 의 양이온 NH_4^+ 은 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하고, Na_2CO_3 의 음이온 CO_3^{2-} 은 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다. 따라서 (가)는 Na_2CO_3 , (나)는 NH_4NO_3 이다.

12 포 문제 분석



④ 염화 암모늄(NH_4Cl)이 물에 녹으면 NH_4^+ 과 Cl^- 이 1 : 1로 생성되는데, NH_4^+ 은 일부가 가수 분해하여 NH_3 로 되므로 수용액에 가장 많이 존재하는 이온은 Cl^- 이다.

▮ **바로알기** ① 산인 NH_4^+ 의 짝염기는 NH_3 이다.

② NH_4^+ 의 가수 분해 반응의 K_a 가 매우 작으므로 역반응이 우세하게 일어난 쪽에서 평형을 이룬다. 따라서 역반응의 산인 H_3O^+ 이 정반응의 산인 NH_4^+ 보다 더 강한 산이다.

③ NH_4^+ 이 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 수용액은 산성을 띤다. 즉, 수용액의 pH는 7보다 작다.

⑤ NH_4^+ 은 약염기의 양이온으로, 강산과 약염기의 중화 반응으로 생성된 염이 가수 분해하면 H_3O^+ 을 생성한다. 약산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 염은 약산의 음이온 일부가 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다.

13 ㄷ. 평형 상태의 수용액에 NaA를 소량 녹이면 A^- 의 농도가 증가하므로 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 H_3O^+ 의 농도가 감소한다. 따라서 수용액의 pH는 커진다.

▮ **바로알기** $\hookrightarrow$. K_a 가 매우 작으므로 역반응의 산과 염기의 세기가 정반응의 산과 염기의 세기보다 강하다. 즉, 산의 세기는 H_3O^+ 이 HA보다 강하다.

ㄴ. 이온화 상수는 평형 상수의 일종으로 온도가 일정하면 농도에 관계없이 일정한 값을 갖는다. 따라서 평형 상태의 수용액에 HA를 더 녹여도 K_a 는 변하지 않는다.

14 ㄴ. 0.1 M B(aq) 50 mL를 완전 중화시키기 위해 필요한 0.1 M HCl(aq)의 부피는 50 mL이므로, 0.1 M B(aq) 50 mL에 HCl(aq) 25 mL를 넣으면 중화 반응이 절반 진행된다.

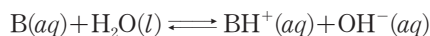
• 0.1 M B(aq) 25 mL 중화 $\Rightarrow$ 중화 후 BH^+ 25 mL 생성

• 0.1 M B(aq) 25 mL 남아 있음.

따라서 혼합 용액에는 중화되지 않고 남은 약염기인 B와 그 짝산 BH^+ 이 같은 양(mol) 존재하므로 혼합 용액은 완충 용액이다.

ㄷ. 2.0 M HA(aq) 100 mL에 들어 있는 HA의 양(mol)은 0.2몰이다. 여기에 NaOH(s) 0.1몰을 넣으면 NaOH 0.1몰이 모두 반응하여 염 NaA 0.1몰을 생성하고, 중화되지 않은 약산 HA가 0.1몰 남는다. 따라서 혼합 용액에는 약산 HA와 그 짝염기 A^- 이 같은 양 존재하므로 완충 용액이다.

▮ **바로알기** $\hookrightarrow$. 1.0 M B(aq)이 이온화 평형을 이룰 때 생성된 OH^- 의 몰 농도를 x M이라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.



반응 전(M)	1.0	0	0
반응(M)	$-x$	$+x$	$+x$
평형(M)	$1.0-x$	x	x

평형 농도를 이온화 상수식에 대입하면 다음과 같다.

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} = \frac{x^2}{1.0-x} = 9.0 \times 10^{-8}$$

B의 K_b 가 작아 이온화하는 농도 x M가 매우 작으므로 $1.0-x \approx 1$ 로 하여 계산할 수 있다.

$$x^2 = 9.0 \times 10^{-8}, x = 3 \times 10^{-4} \therefore [\text{OH}^-] = 3.0 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{pOH} = -\log(3 \times 10^{-4}) = 4 - \log 3$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14, \text{pH} = 14 - (4 - \log 3) = 10 + \log 3$$

따라서 pH는 10보다 크다.

15 ㄷ. 혈액 속 H^+ 의 농도가 증가하면 H^+ 이 HCO_3^- 과 반응하여 소모되므로 pH가 유지된다.



이 반응으로 H_2CO_3 의 농도가 증가하므로, 증가한 H_2CO_3 의 농도를 줄이는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 혈액 속 CO_2 의 농도가 증가한다.

▮ **다른 풀이** 혈액 속 H^+ 의 농도가 증가하면 H^+ 의 농도를 감소시키는 방향으로 평형이 이동하므로 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

▮ **바로알기** $\hookrightarrow$. 혈액 속에 CO_2 의 농도가 증가하면 CO_2 의 농도를 줄이는 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 H^+ 의 농도가 증가한다. 따라서 혈액의 pH는 작아진다.

ㄴ. 혈액에 소량의 염기가 유입되어 OH^- 의 농도가 증가하면, OH^- 이 H_2CO_3 과 중화 반응하여 HCO_3^- 이 생성되므로 HCO_3^- 의 농도가 증가한다.



▮ **다른 풀이** 혈액에 유입된 OH^- 이 H^+ 과 중화 반응하여 혈액 속 H^+ 의 농도가 감소하므로 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 HCO_3^- 의 농도가 증가한다.

16 포 문제 분석

HCOO^- 의 $K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-4}} = \frac{1}{2} \times 10^{-10}$

약산	이온화 상수 (K_a)	약염기	이온화 상수 (K_b)
HCOOH	2×10^{-4}	CH_3NH_2	4×10^{-4}
HCN	6×10^{-10}	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	4×10^{-10}

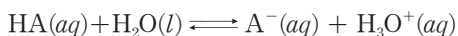
CN^- 의 $K_b = \frac{1 \times 10^{-14}}{6 \times 10^{-10}} = \frac{1}{6} \times 10^{-4}$

모범답안 (1) $\text{CN}^- > \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 > \text{HCOO}^-$, HCOO^- 의 이온화 상수(K_b)는 $\frac{1 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-4}} = \frac{1}{2} \times 10^{-10}$ 이고, CN^- 의 이온화 상수(K_b)는 $\frac{1 \times 10^{-14}}{6 \times 10^{-10}} = \frac{1}{6} \times 10^{-4}$ 이다. 염기의 이온화 상수(K_b)가 클수록 염기의 세기가 강하다.

(2) $\text{CH}_3\text{NH}_2(aq)$ 농도가 같은 산 또는 염기 수용액에서 이온화 상수가 클수록 이온화 정도가 크고, 수용액 속 이온의 농도가 크다.

채점 기준	배점
(1) 염기의 세기를 옳게 비교하고, 그 까닭을 K_b 를 구하여 옳게 서술한 경우	60 %
염기의 세기만 옳게 비교한 경우	20 %
(2) 0.1 M 수용액 중 전체 이온의 농도가 가장 큰 것을 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	40 %
0.1 M 수용액 중 전체 이온의 농도가 가장 큰 것만 옳게 쓴 경우	20 %

17 (1) 0.1 M $\text{HA}(aq)$ 의 pH가 3.0이므로 이온화 평형 상태에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다.



반응 전(M)	0.1	0	0
반응(M)	-1.0×10^{-3}	$+1.0 \times 10^{-3}$	$+1.0 \times 10^{-3}$
평형(M)	$0.1 - 10^{-3}$	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{(1.0 \times 10^{-3})^2}{0.1 - (1.0 \times 10^{-3})} \approx \frac{10^{-6}}{0.1} = 1.0 \times 10^{-5}$$

다른 풀이 처음 농도가 C M인 약산 HA의 이온화도를 α 라고 할 때 약산의 $K_a = C\alpha^2$ 이다.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = C\alpha, 1 \times 10^{-3} \text{ M} = 0.1 \text{ M} \times \alpha, \alpha = 0.01$$

$$\text{HA의 이온화 상수}(K_a) = 0.1 \times (1.0 \times 10^{-2})^2 = 1.0 \times 10^{-5}$$

(2) 산이 내놓은 H^+ 과 염기가 내놓은 OH^- 은 1 : 1의 몰비로 중화 반응하므로 0.1 M $\text{HA}(aq)$ 10 mL를 완전 중화시키는 데 필요한 0.1 M $\text{NaOH}(aq)$ 의 부피는 10 mL이다. 따라서 용액 I에 0.1 M $\text{NaOH}(aq)$ 5 mL를 넣으면, $\text{NaOH}(aq)$ 5 mL가 모두 반응하여 염 NaA 를 생성한다. 또한 혼합 용액에는 중화 반응하지 않은 $\text{HA}(aq)$ 5 mL가 남아 있으므로, 용액 II는 약산 HA와 그 짝염기 A^- 이 같은 양(mol)으로 들어 있는 완충 용액이다. 따라서 용액 II에 소량의 $\text{HCl}(aq)$ 을 넣어도 pH는 크게 감소하지 않는다.

모범답안 (1) $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$

(2) pH는 크게 변하지 않는다. 용액 II는 약산인 HA와 그 짝염기 A^- 이 같은 양(mol)으로 들어 있는 완충 용액이므로, 소량의 $\text{HCl}(aq)$ 을 넣어도 pH는 거의 일정하게 유지된다.

채점 기준	배점
(1) HA의 이온화 상수를 옳게 구한 경우	40 %
(2) pH 변화를 옳게 쓰고 그 까닭을 옳게 서술한 경우	60 %
pH 변화만 옳게 쓴 경우	30 %

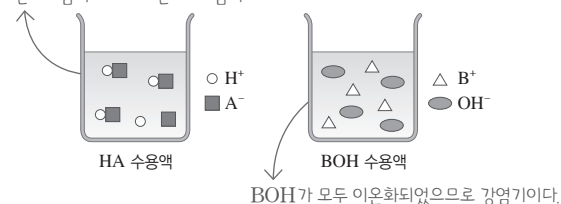
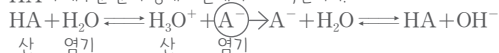
수능 실전 문제

228쪽~229쪽

01 ④ 02 ② 03 ④ 04 ③ 05 ② 06 ③
07 ③ 08 ⑤

01 문제 분석

HA가 대부분 분자 상태로 존재하므로 약산이다.



BOH가 모두 이온화되었으므로 강염기이다.

선택지 분석

☒ HA의 이온화도는 $\frac{1}{3}$ 이다. $\frac{1}{4}$

☒ HA의 짝염기는 ■이다.

☒ 두 수용액을 같은 부피로 혼합한 용액의 액성은 염기성이다.

ㄴ. HA의 짝염기는 A^- 이므로 ■이다.

ㄷ. BOH는 수용액에서 모두 이온화하므로 강염기이다. 물에 녹인 HA와 BOH의 양(mol)이 같으므로 두 수용액을 같은 부피로 혼합하면 중화 반응이 완결되어 염 BA를 생성한다. 이때 BA의 양이온 B^+ 은 가수 분해하지 않지만, 음이온 A^- 은 약산의 짝염기로 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다. 따라서 수용액의 액성은 염기성이다.

바로알기 ㄱ. 용해된 HA 4개 중 1개가 이온화하였으므로 이온화도 $\left(= \frac{\text{이온화한 물질의 양(mol)}}{\text{용해된 물질의 양(mol)}} \right)$ 는 $\frac{1}{4}$ 이다.

02

선택지 분석

☒ pH는 $\text{HA}(aq)$ 이 $\text{HB}(aq)$ 보다 크다. 작다

☒ Mg 조각을 넣을 때 기체가 발생하는 정도는 $\text{HA}(aq)$ 이 $\text{HB}(aq)$ 보다 크다.

☒ 염기의 세기는 A^- 이 B^- 보다 강하다. 약하다

ㄴ. 이온화도가 클수록 $[\text{H}^+]$ 가 크고 산의 세기가 강하다. Mg 조각을 넣을 때 기체의 발생 정도는 이온화도가 커서 $[\text{H}^+]$ 가 큰 $\text{HA}(aq)$ 이 $\text{HB}(aq)$ 보다 크다.

바로알기 ㄱ. $[\text{H}^+]$ 는 $\text{HA}(aq)$ 이 $\text{HB}(aq)$ 보다 크므로 pH는 $\text{HB}(aq)$ 이 $\text{HA}(aq)$ 보다 크다.

ㄷ. 산의 세기는 $HA > HB$ 이고, 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하므로 염기의 세기는 B^- 이 A^- 보다 강하다.

03

선택지 분석

- ① 2 ② 3 ③ 4 ④ 5 ⑤ 6

HA $0.1 \left(= \frac{6}{60} \right)$ 몰이 녹아 있는 수용액의 부피가 1 L이므로 수용액의 초기 농도 x 는 0.1 M이다. 또, HA가 이온화할 때 생성된 H_3O^+ 의 양과 A^- 의 양이 같으므로 y 는 0.02 M이다.

따라서 $\frac{x}{y} = \frac{0.1}{0.02} = 5$ 이다.

04

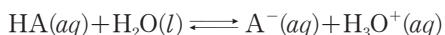
선택지 분석

- ㉠ $x=1$ 이다.
 ㉡ 25 °C에서 HA(aq)의 이온화 상수(K_a)는 1×10^{-6} 이다.
 ✕ x M NaA(aq)의 $\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = 10000$ 이다. 1×10^6

ㄱ. (나)에서 $\frac{[HA]}{[A^-]} = 4$ 이므로 $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{1}{4}$ 이고, $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 약산인 HA가 이온화하여 중화 반응한 정도를 의미한다. 즉, NaOH(aq) 20 mL를 가할 때 $[A^-] : [HA] = 4 : 1$ 이므로, 중화 반응이 $\frac{1}{5}$ 진행된다. 따라서 x M HA(aq) 80 mL를 완전히 중화시키는 데 필요한 0.8 M NaOH(aq)의 부피는 100 mL이다. 중화 반응의 양적 관계 ($n_1V_1M_1 = n_2V_2M_2$)를 이용해 x 를 구하면 다음과 같다.

$$1 \times x \times 80 = 1 \times 0.8 \times 100, x = 1$$

ㄴ. (가)에서 pH가 3이므로 HA(aq)의 이온화 평형 상태에서 $[H_3O^+] = [A^-] = 1 \times 10^{-3}$ M이다.



반응 전(M)	1	0	0
반응(M)	-1×10^{-3}	$+1 \times 10^{-3}$	$+1 \times 10^{-3}$
평형(M)	$1 - 1 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}	1×10^{-3}

$$K_a = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{1 - (1 \times 10^{-3})} \div \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{1} = 1 \times 10^{-6}$$

▮ **바로알기** ㄷ. HA는 이온화 상수가 작은 약산이므로, HA의 짝염기 A^- 은 수용액에서 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다. A^- 의 이온화 상수(K_b) = $\frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-6}} = 1 \times 10^{-8}$ 이므로, A^- 과 물의 반응에서 생성된 OH^- 의 몰 농도를 a M이라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.

	$A^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HA(aq) + OH^-(aq)$	
반응 전(M)	1	0 0
반응(M)	$-a$	$+a$ $+a$
평형(M)	$1-a$	a a

$$K_b = \frac{a^2}{1-a} \div a^2 = 1 \times 10^{-8}, a = 1 \times 10^{-4}$$

$[OH^-] = 1 \times 10^{-4}$ M이고 25 °C에서 $[H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-10}$ M이다.

따라서 $\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = \frac{1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-10}} = 1 \times 10^6$ 이다.

05

선택지 분석

- ✕ 25 °C에서 HA의 이온화 상수(K_a)는 2000 a^2 이다. $4000a^2$
 ㉠ 염기의 세기는 B^- 이 A^- 보다 강하다.
 ✕ pH는 HB(aq)이 HA(aq)의 2배이다. 같다

ㄴ. HA(aq)의 부피가 50 mL이고 수용액 속 H_3O^+ 의 양(mol)이 a 몰이므로 이온화 평형 상태에서 $[H_3O^+] = [A^-] = 20a$ ($= \frac{a}{0.05}$) M이다. HA는 약산으로 이온화 정도가 매우 작으므로, 이온화 평형 상태에서 $[HA]$ 는 초기 농도와 같은 0.1 M이라고 할 수 있다. 따라서 이온화 상수는 다음과 같다.

$$HA \text{의 } K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{(20a)^2}{0.1} = 4000a^2$$

HB(aq)의 부피가 100 mL이고 수용액 속 H_3O^+ 의 양(mol)이 $2a$ 몰이므로 이온화 평형 상태에서 $[H_3O^+] = [B^-] = 20a$ M이다. 또, HB도 약산이므로 이온화 평형 상태에서 $[HB]$ 는 초기 농도와 같은 0.2 M이라고 할 수 있다.

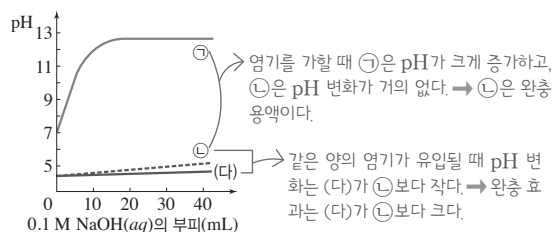
$$HB \text{의 } K_a = \frac{[B^-][H_3O^+]}{[HB]} = \frac{(20a)^2}{0.2} = 2000a^2$$

산의 세기는 이온화 상수가 큰 HA가 HB보다 강하므로 그 짝염기의 세기는 B^- 이 A^- 보다 강하다.

▮ **바로알기** ㄱ. HA의 K_a 는 $4000a^2$ 이다.

ㄷ. HA(aq)과 HB(aq) 속 $[H_3O^+]$ 는 모두 $20a$ M이므로 pH는 HA(aq)과 HB(aq)이 같다.

06 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ ㉡은 용액 (나)이다.
 ㉢ 완충 용액의 농도가 클수록 완충 효과가 크다.
 ✕ ㉣ 용액 ㉡에 NaOH(aq) 대신 HCl(aq)을 넣으면 pH가 크게 감소한다. 크게 감소하지 않고 거의 일정하다

ㄱ. 염기를 가할 때 ㉡은 pH 변화가 거의 없으므로 완충 용액이다. 따라서 ㉡은 약산과 그 짝염기의 혼합 용액인 (나)이다.
 ㄴ. 완충 효과는 (다)가 (나)보다 크므로 완충 용액의 농도가 클수록 완충 효과가 크다.

▣ 바로알기 ▣ ㄷ. 용액 ㉡은 완충 용액이므로 염기 대신 산 수용액을 소량 넣어도 pH는 거의 일정하게 유지된다.

07

선택지 분석

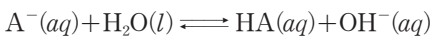
- ① 0.001 ② 0.01 ③ 0.1 ④ 1 ⑤ 10

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} (25^\circ C)$$

$$\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = \frac{[OH^-][OH^-]}{[H_3O^+][OH^-]} = \frac{[OH^-]^2}{K_w}$$

• 0.01 M BOH(aq): $\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = \frac{[OH^-]^2}{K_w} = \frac{[OH^-]^2}{1.0 \times 10^{-14}} = 1.0 \times 10^{10}$ 이므로, $[OH^-] = 0.01$ M이다. 즉, 염기 BOH는 녹은 용질이 모두 이온화하므로 강염기이다. 따라서 B^+ 은 가수 분해하지 않는다.

• 0.1 M BA(aq): $\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} > 1$ 로 수용액이 염기성이므로 음이온인 A^- 이 가수 분해했다.



이 이온화 평형에서 생성된 $[OH^-]$ 는 다음과 같다.

$$\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = \frac{[OH^-]^2}{K_w} = 1.0 \times 10^4, [OH^-] = 1.0 \times 10^{-5} M$$

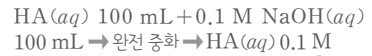
$$A^- \text{의 } K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} = \frac{(1.0 \times 10^{-5})^2}{0.1} = 1.0 \times 10^{-9}$$

• x M HA(aq): HA의 K_a 와 그 짝염기의 K_b 사이에는 $K_a = \frac{K_w}{K_b}$ 관계가 성립한다. HA의 짝염기 A^- 의 $K_b = 1.0 \times 10^{-9}$ 이므로 HA의 $K_a = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-9}} = 1.0 \times 10^{-5}$ 이다.

HA(aq) x M 수용액의 $\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = \frac{[OH^-]^2}{K_w} = 1.0 \times 10^{-8}$ 이므로 $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-11}$ M이고, $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-3}$ 이다.

$$HA \text{의 } K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{(1.0 \times 10^{-3})^2}{x} = 1.0 \times 10^{-5} M, x = 0.1(M)$$

08 문제 분석



용액	부피(mL)		pH
	HA(aq)	NaOH(aq)	
(가)	150	0	x
(나)	100	50	5
(다)	75	75	y

$\frac{[A^-]}{[HA]} = 1$

$\xrightarrow[\text{완전 중화}]{HA(aq) + NaOH(aq)} H_2O(l) + NaA(aq)$
 A^- 가수 분해

선택지 분석

- ㉠ $x = 3$ 이다.
 ㉢ (나)는 완충 용액이다. $HA : A^- = 1 : 1$ 로 존재
 ㉣ $y > 7$ 이다. A^- 이 가수 분해하여 OH^- 생성

ㄱ. HA의 K_a 는 1.0×10^{-5} 이고, (나)에서 pH가 5이므로 $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-5}$ M이다. 따라서 HA(aq) 100 mL와 0.1 M NaOH(aq) 50 mL를 혼합한 (나)에서는 다음 관계식이 성립한다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{[A^-] \times 10^{-5}}{[HA]} = 1.0 \times 10^{-5}, \frac{[A^-]}{[HA]} = 1$$

즉, 중화 반응하고 남은 HA와 중화 반응으로 생성된 A^- 의 양 (mol)이 같으므로, (나)는 중화 반응이 절반 진행된 용액이다. 따라서 HA(aq) 100 mL를 완전 중화시키는 데 필요한 0.1 M NaOH(aq)의 부피는 100 mL이므로, 중화 반응의 양적 관계를 이용하여 HA(aq)의 몰 농도 M 를 구하면 다음과 같다.

$$1 \times M \times 100 = 1 \times 0.1 \times 100, M = 0.1 \text{ M}$$

(가)에서 0.1 M HA(aq)이 평형을 이룰 때 $[H_3O^+] = [A^-]$ 를 a M이라고 하면 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{a^2}{0.1} = 1.0 \times 10^{-5}, a^2 = 1.0 \times 10^{-6}$$

따라서 $a = [H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-3}$ M이므로 pH는 3이다.

즉, 용액 (가)에서 $x = 3$ 이다.

▣ 다른 풀이 ▣ 약산에서 $[H_3O^+] = C\alpha$, $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$ 이므로 $[H_3O^+] = \sqrt{CK_a}$ 이다. 따라서 $[H_3O^+] = \sqrt{0.1 \times 1 \times 10^{-5}} = 10^{-3}$ M이므로 pH=3이다.

ㄴ. (나)는 HA(aq) 50 mL와 NaOH(aq) 50 mL가 중화 반응하여 염 NaA를 생성하고, 혼합 용액에는 중화 반응하지 않은 HA(aq) 50 mL가 남아 있다. 따라서 약산인 HA와 그 짝염기 A^- 이 1 : 1의 몰비로 혼합된 완충 용액이다.

ㄷ. (다)는 농도가 같은 HA(aq)과 NaOH(aq)이 같은 부피로 혼합된 용액이므로 중화 반응이 완결된 용액이다. 이때 생성된 염 NaA이 수용액에 존재하며, 약산의 음이온인 A^- 이 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 용액의 액성은 염기성(pH > 7)이다. 따라서 $y > 7$ 이다.



Ⅲ. 반응 속도와 촉매

1 반응 속도

01 반응 속도

개념 확인 문제

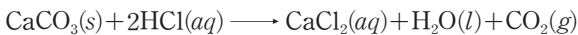
238쪽

① 빠른 ② 느린 ③ 반응 속도 ④ 평균 반응 속도 ⑤ 순간 반응 속도 ⑥ 접선 ⑦ 순간

1 (1) 빠른 (2) 느린 (3) 느린 (4) 빠른 2 (1) 이산화 탄소 (2) ⑦ 감소 ④ 질량 (3) 감소 3 0.8 mL/s 4 (1) ○ (2) ○ (3) × 5 (1) 0.1 M/s (2) $v_1 > v_2$

1 (1), (4) 불꽃놀이나 양금 생성 반응은 빠른 반응의 예이다.
(2), (3) 석회 동굴의 생성 반응이나 철의 부식 반응은 느린 반응의 예이다.

2 (1) 충분한 양의 묽은 염산에 탄산 칼슘을 넣어 반응시키면 염화 칼슘과 물이 생성되고, 이산화 탄소 기체가 발생하여 솜을 빠져나간다.



(2), (3) 이 반응에서 일정 시간 동안 발생하는 이산화 탄소 기체의 질량은 점점 감소하다가 0이 된다. 따라서 일정 시간 동안 감소한 반응 용기의 질량 변화량으로 반응의 빠르기를 나타낼 수 있다.

3 10초에서 30초 사이에 발생한 B 기체의 부피는 16(=46-30) mL이므로 반응 속도는 $\frac{16 \text{ mL}}{20 \text{ s}} = 0.8 \text{ mL/s}$ 이다.

4 (1) 반응 속도는 일정 시간 동안 감소한 반응물의 양이나 증가한 생성물의 양으로 나타낼 수 있다.

(2) 반응 속도는 항상 양의 값을 갖는다. 그런데 반응물의 농도 변화량은 음의 값을 나타내므로 반응물의 농도 변화량을 이용하여 반응 속도를 나타낼 때에는 앞에 '-'를 붙여 양의 값을 갖게 만든다.

(3) 반응 속도는 $\frac{\text{물질의 농도 변화량}}{\text{시간}}$ 이므로 반응 속도의 단위는 M/s 또는 M/min이다.

5 (1) 10초에서 30초 사이에 생성물 B(g)의 농도 변화량은 2 M이므로 평균 반응 속도는 $\frac{2 \text{ M}}{20 \text{ s}} = 0.1 \text{ M/s}$ 이다.

(2) 반응이 진행될수록 접선의 기울기가 감소하므로 순간 반응 속도는 점점 느려진다. 따라서 접선의 기울기가 더 큰 v_1 이 v_2 보다 더 크다.

대표 자료 분석

239쪽

자료 1 1 0~10초 2 0.9 mL/s 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

자료 2 1 $1.28 \times 10^{-4} \text{ M/s}$ 2 0.016 M 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석

→ 발생한 수소 기체가 주사기에 모인다.
 $\text{Mg}(s) + 2\text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{MgCl}_2(aq) + \text{H}_2(g)$
 → 일정 시간 동안 발생한 수소 기체의 부피를 측정하여 반응 속도를 구할 수 있다.

묽은 염산 마그네슘 조각

시간(s)	0	10	20	30	40	50	60
부피(mL)	0	18	27	32	35	36	36
부피 변화량(mL)		18	9	5	3	1	0
반응 속도(mL/s)		1.8	0.9	0.5	0.3	0.1	0

시간이 지날수록 10초 단위의 구간에서 발생하는 수소 기체의 부피가 점점 감소하므로 반응 속도는 반응 초기인 0~10초 구간에서 가장 빠르다.

1-2 10초~20초 구간에서 수소 기체 9 mL가 발생하므로 반응 속도는 $\frac{9 \text{ mL}}{10 \text{ s}} = 0.9 \text{ mL/s}$ 이다.

1-3 (1) 이 실험에서 반응 속도는 단위 시간 동안 발생하는 수소 기체의 부피를 측정하여 구한다.

(2) 일정 시간 동안 발생하는 수소 기체의 부피는 점점 감소한다. 따라서 시간이 지날수록 반응 속도가 점점 느려진다.

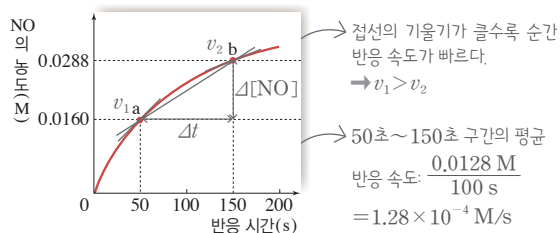
(3) 일정 시간 동안 발생하는 수소 기체의 부피가 점점 감소하므로 일정 시간 동안 묽은 염산 속 수소 이온(H^+)의 농도 변화량은 점점 감소한다.

(4) 50초 이후에는 발생하는 수소 기체의 부피가 0이 되므로 반응 속도는 점차 느려지다 50초 이후에 0이 된다.

2-1 **꼭꼭** 문제 분석



→ NO₂와 NO의 계수비가 같으므로 주어진 시간 동안 감소하거나 생성되는 양(mol)이 같다.



50초~150초 구간에서 NO(g)의 농도 변화량은 0.0128 M(= 0.0288 M - 0.0160 M)이므로 평균 반응 속도는 $\frac{0.0128 \text{ M}}{100 \text{ s}} = 1.28 \times 10^{-4} \text{ M/s}$ 이다.

2-2 화학 반응식에서 NO와 NO₂의 계수비가 같으므로 주어진 시간 동안 감소하거나 생성되는 양(mol)이 같다. 0~50초 구간에서 NO의 농도가 0.016 M만큼 증가하므로 NO₂의 농도는 0.016 M만큼 감소한다.

2-3 (1) 시간-농도 그래프에서 두 지점 사이를 지나는 직선의 기울기는 평균 반응 속도이고, 특정 시간의 한 지점에서의 접선의 기울기는 순간 반응 속도이다.

(2) 초기 반응 속도는 반응이 시작되는 지점에서의 순간 반응 속도로, 시간-농도 그래프에서 0초일 때 접선의 기울기이다.

(3) 반응이 진행될수록 접선의 기울기가 감소하므로 반응 속도는 점점 감소한다.

(4) 50초에서의 순간 반응 속도는 50초에서 접선의 기울기에 해당하므로 0~50초 사이의 평균 반응 속도인 $\frac{0.0160}{50} \text{ M/s}$ 보다 작다.

내신 만점 문제

240 쪽~241 쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ① 05 해설 참조
06 ③ 07 ⑤ 08 ⑤ 09 ④

01 철의 부식(가)이나 종이의 변색(나)은 느린 반응에 해당하고, 강철 솜의 연소(다)나 염산과 수산화 나트륨의 중화 반응(라)은 빠른 반응에 해당한다.

02 ㄴ. 평균 반응 속도가 가장 큰 구간은 발생한 수소 기체의 부피 증가량이 가장 큰 0~20초일 때이다.

ㄷ. 반응이 진행될수록 20초 단위의 구간에서 발생한 수소 기체의 부피가 점점 감소하므로 반응 속도는 점점 느려진다.

바로알기 ㄱ. 수용액 속 염화 이온(Cl⁻)은 반응에 참여하지 않으므로 농도가 변하지 않고 일정하다.

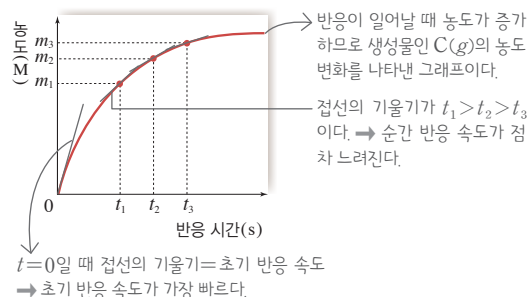
03 ① 반응 속도는 항상 양의 값으로 나타낸다.

②, ③ 반응 속도는 반응물이나 생성물의 양의 변화량으로 나타내고, 측정된 양을 시간으로 나누어 계산하므로 반응 속도의 단위는 mL/s, M/s 등으로 나타낸다.

④ 초기 반응 속도는 반응이 시작되는 지점, 즉 t=0에서의 순간 반응 속도이다.

바로알기 ⑤ 평균 반응 속도는 시간-농도 그래프에서 두 점을 지나는 직선의 기울기로 구할 수 있다.

[04~05] **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 반응 시간에 따라 농도가 점점 증가하므로 그래프의 세로축은 생성물인 C(g)의 농도이다.

바로알기 ㄴ. 초기 반응 속도는 t=0일 때 접선의 기울기이다.

$\frac{m_1}{t_1}$ 은 0~t₁초 사이의 평균 반응 속도이다.

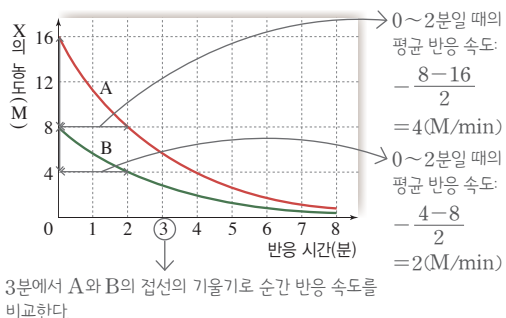
ㄷ. t₂에서의 순간 반응 속도는 t₂에서의 접선의 기울기이다.

$\frac{m_3 - m_1}{t_3 - t_1}$ 은 t₁초~t₃초 구간의 평균 반응 속도이다.

05 **모범답안** t₁>t₂>t₃, 순간 반응 속도는 각 시각에서의 접선의 기울기에 해당하므로 순간 반응 속도는 t₁에서가 가장 빠르고 시간이 지날수록 점차 느려진다.

채점 기준	배점
순간 반응 속도의 크기를 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
순간 반응 속도의 크기만 옳게 비교한 경우	40 %

06 꼭꼭 문제 분석



- ㄱ. 초기 반응 속도는 그래프의 기울기가 더 큰 A가 B보다 크다.
 ㄴ. 0~2분일 때의 평균 반응 속도는 A의 경우 4 M/분이고, B의 경우 2 M/분이다. 따라서 A가 B의 2배이다.
바로알기 ㄷ. 3분에서의 순간 반응 속도는 접선의 기울기에 해당하므로 B가 A보다 작다.

07 꼭꼭 문제 분석

시간(분)	0	10	20	30	40
O ₂ 의 농도 (M)	0.000	0.021	0.036	0.043	0.047
농도 변화량 (M)	0.021	0.015	0.007	0.004	

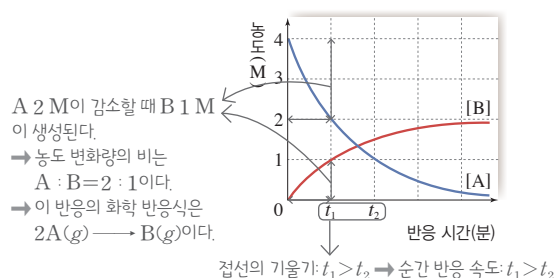
→ 단위 시간당 O₂의 발생량은 점점 감소한다.

- ㄱ. 시간이 지남에 따라 단위 시간당 생성물인 O₂의 농도 변화량이 감소하는 것으로 보아 단위 시간당 O₂의 발생량은 감소한다.
 ㄴ. 20분~30분일 때의 평균 반응 속도는 $\frac{(0.043-0.036)\text{ M}}{(30-20)\text{ 분}} = 0.0007\text{ M/분}$ 이다.
 ㄷ. 화학 반응식에서 NO₂와 O₂의 계수비가 4 : 1이므로 같은 시간 동안 농도 변화량은 NO₂가 O₂의 4배이다.

- 08** ㄱ. 화학 반응식에서 N₂와 H₂의 계수비가 1 : 3이므로 N₂ 1 mol이 반응할 때 같은 시간 동안 H₂는 3 mol이 반응하여 NH₃를 생성한다. 따라서 같은 시간 동안 N₂와 H₂의 농도가 감소하는 속도비도 1 : 3이다.
 ㄴ. 화학 반응식에서 N₂와 NH₃의 계수비가 1 : 2이므로 N₂ 1 mol이 충분한 양의 H₂와 반응할 때 같은 시간 동안 NH₃ 2 mol이 생성된다. 따라서 같은 시간 동안의 농도 변화량은 NH₃가 N₂의 2배이다.

ㄷ. 반응 속도(v) = $-\frac{\Delta[\text{H}_2]}{3\Delta t} = \frac{\Delta[\text{NH}_3]}{2\Delta t}$ 이므로 $v = -\frac{2\Delta[\text{H}_2]}{\Delta t} = \frac{3\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t}$ 로도 나타낼 수 있다.

09 꼭꼭 문제 분석



- ㄱ. A가 2 M 감소할 때 B는 1 M 생성되므로 화학 반응식의 계수비는 $a : b = 2 : 1$ 이다.
 ㄷ. $t_1 \sim t_2$ 에서 A의 농도 감소량은 1 M, B의 농도 증가량은 0.5 M이므로 평균 반응 속도는 A가 B의 2배이다. 즉, A의 농도 감소 속도는 B의 농도 증가 속도의 2배이다.
바로알기 ㄴ. t_1 과 t_2 에서의 순간 반응 속도는 각 점에서의 접선의 기울기에 해당하므로 순간 반응 속도는 t_1 에서가 t_2 에서보다 크다.

02 반응 속도식/활성화 에너지

개념 확인 문제

244쪽

- ① 반응 속도식 ② $k[\text{A}]^m[\text{B}]^n$ ③ 반응 속도 상수 ④ 농도
 ⑤ 2차 ⑥ 1차 ⑦ 3차 ⑧ 반감기 ⑨ 정비례 ⑩ 일정

- 1 $v = k[\text{B}]$ 2 (1) $\times$ (2) $\circ$ (3) $\times$ 3 (1) $v = k[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$
 (2) 3차 4 (1) $\circ$ (2) $\circ$ (3) $\times$ 5 (1) 1차 반응
 (2) $1/\text{s}(=\text{s}^{-1})$ (3) 2초 (4) 0.025 M

- 1** $a\text{A} + b\text{B} \rightarrow c\text{C}$ 의 반응에서 [A]를 일정하게 하고 [B]를 2배로 할 때 반응 속도가 2배가 되므로 이 반응의 반응 속도는 B의 농도에 정비례한다. 즉, 이 반응에서 B에 대한 반응 차수는 1차이다. 또, [B]를 일정하게 하고 [A]를 2배로 할 때 반응 속도의 변화가 없었으므로 이 반응의 반응 속도는 A의 농도에 영향을 받지 않는다. 즉, 이 반응에서 A에 대한 반응 차수는 0차이다. 따라서 반응 속도식은 $v = k[\text{B}]$ 이다.

- 2** (1) 반응 속도(v)는 A와 B의 농도에 비례한다.
 (2) 반응 속도 상수는 반응의 종류, 온도에 의해서 변한다.
 (3) 반응 속도 상수의 단위는 반응 차수에 따라 달라진다.

3 (1) 실험 I 과 II에서 [NO]가 일정하고 [O₂]가 실험 II가 실험 I의 2배일 때 초기 반응 속도가 2배이므로 반응 속도는 [O₂]에 비례함을 알 수 있다. 한편 실험 II와 III에서 [O₂]가 일정하고 [NO]가 실험 III이 실험 II의 2배일 때 초기 반응 속도가 4배이므로 반응 속도는 [NO]의 제곱에 비례함을 알 수 있다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$ 이다.

(2) 이 반응에서 NO에 대한 반응 차수는 2차이고, O₂에 대한 반응 차수는 1차이므로 전체 반응 차수는 3차이다.

4 (1) 1차 반응에서 반응 속도는 반응물의 농도에 정비례하므로 반응물의 농도가 진할수록 빠르다.

(2) 1차 반응에서 반응 속도는 반응물의 농도에 정비례하므로 반응물의 농도에 따른 반응 속도 그래프에서 기울기가 반응 속도 상수(k)이다.

(3) 1차 반응의 반감기는 반응물의 초기 농도와 관계없이 항상 일정하다.

5 (1) 이 반응은 시간이 지남에 따라 A의 농도가 일정한 비율로 감소하므로 A에 대한 1차 반응이다.

(2) 이 반응은 1차 반응이므로 반응 속도 상수(k)의 단위는 $1/\text{s}(=\text{s}^{-1})$ 이다.

(3) 농도가 절반이 되는 데 2초가 걸리므로 반감기는 2초이다.

(4) 6초에서의 농도는 0.05 M이므로 다음 반감기인 8초에서 0.025 M이 된다.

개념 확인 문제

247쪽

- ① 유효 충돌 ② 활성화 에너지 ③ 활성화 ④ 활성화물
⑤ 느리 ⑥ 정반응 ⑦ 역반응

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (1) × (2) × (3) × (4) ○
3 174.6 kJ 4 -41 kJ 5 (1) × (2) ○ (3) ○

1 (1) 화학 반응이 일어나기 위해서는 충분한 에너지를 가진 입자들이 적합한 방향으로 충돌해야 한다.

(2) 활성화 에너지는 화학 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지로, 반응물과 생성물 사이에 넘어야 하는 에너지 장벽이라고 할 수 있다.

(3) ΔH 는 활성화 에너지에 관계없이 일정하다.

2 (1) 활성화 상태는 에너지가 가장 높은 상태이다. (가)는 반응물이다.

(2) E_a 가 낮아져도 ΔH 는 변하지 않는다.

(3) 반응 속도 상수가 변해도 ΔH 는 변하지 않는다.

(4) 이 반응은 발열 반응으로 정반응의 활성화 에너지보다 역반응의 활성화 에너지가 더 크다.

3 반응엔탈피(ΔH)=정반응의 활성화 에너지(E_a)-역반응의 활성화 에너지(E_a')이므로 $E_a'=E_a-\Delta H=(184-9.4)$ kJ=174.6 kJ이다.

4 반응엔탈피(ΔH)=정반응의 활성화 에너지(E_a)-역반응의 활성화 에너지(E_a')이므로 $\Delta H=E_a-E_a'=(248-289)$ kJ=-41 kJ이다.

5 (1) 흡열 반응의 경우에는 활성화 에너지에 반응엔탈피(ΔH) 값이 포함되므로 정반응의 활성화 에너지가 항상 ΔH 보다 크다. 그러나 발열 반응의 경우에는 정반응의 활성화 에너지에 ΔH 값이 포함되지 않으므로 정반응의 활성화 에너지와 $|\Delta H|$ 값을 비교할 수 없다.

(2) 발열 반응이므로 일단 반응이 진행되면 방출한 에너지의 일부가 반응하지 못한 분자들의 활성화 에너지로 쓰일 수 있다.

(3) 역반응의 활성화 에너지(E_a')=정반응의 활성화 에너지(E_a)- ΔH 이므로 $E_a'=210 \text{ kJ}-(-180 \text{ kJ})=390 \text{ kJ}$ 이다.

대표 자료 분석

248쪽

- 자료 ① 1 $v=k[\text{A}][\text{B}]$ 2 2차 3 $2.8 \times 10^2/\text{M} \cdot \text{s}$
4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ×
자료 ② 1 $v=k[\text{X}]$ 2 4초 3 0.25 M 4 (1) × (2) ×
(3) ○ (4) ○

①-1 꼼꼼 문제 분석

실험	반응물의 초기 농도(M)		초기 반응 속도 (M/s)
	[A]	[B]	
I	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	2.8×10^{-6}
II	2.0×10^{-4} 2배	1.0×10^{-4} 2배	5.6×10^{-6} 2배
III	1.0×10^{-4}	2.0×10^{-4} 2배	5.6×10^{-6} 2배

[A] 2배 → 초기 반응 속도 2배
→ A에 대한 반응 차수: 1차

[B] 2배 → 초기 반응 속도 2배
→ B에 대한 반응 차수: 1차

반응 속도식을 $v=k[\text{A}]^m[\text{B}]^n$ 이라고 할 때, 실험 I과 II를 비교하면 [B]가 일정하고 [A]가 2배 증가할 때 초기 반응 속도가 2배 빨라지므로 이 반응은 A에 대한 반응 차수가 1차이다. 즉, $m=1$ 이다. 또, 실험 I과 III을 비교하면 [A]가 일정하고 [B]가 2배 증가할 때 초기 반응 속도가 2배 빨라지므로 이 반응은 B에

대한 반응 차수가 1차이다. 즉 $n=1$ 이다.
따라서 $v=k[A][B]$ 이다.

①-2 A와 B에 대한 반응 차수가 각각 1차이므로 전체 반응 차수는 2차이다.

①-3 $v=k[A][B]$ 에 실험 I의 값을 넣으면 $k \times (1.0 \times 10^{-4} \text{ M})^2 = 2.8 \times 10^{-6} \text{ M/s}$ 이므로 $k=2.8 \times 10^2/\text{M} \cdot \text{s}$ 이다.

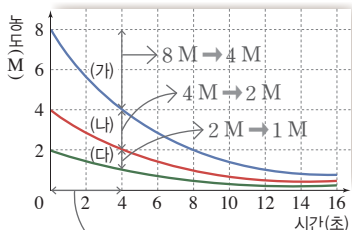
①-4 (1) 반응 속도식에서 반응 차수는 반응식의 계수와 다르며, 실험을 통해서만 구할 수 있다.

(2) 이 반응의 반응 속도는 [B]에 비례하므로 B에 대하여 1차 반응이다.

(3) 이 반응은 A와 B에 대하여 각각 1차 반응이므로 A와 B의 농도를 각각 2배로 하면 초기 반응 속도는 4배 빨라진다.

(4) 반응 속도 상수(k)는 반응물 농도의 영향을 받지 않으므로 A와 B의 농도가 변해도 달라지지 않는다.

2-1 공공 문제 분석



→ (가)~(다) 모두 반응물의 초기 농도가 절반으로 되는 데 4초가 걸린다. → 반감기: 4초

반응물의 초기 농도에 관계없이 반응물의 농도가 시간에 따라 일정한 비율로 감소하므로 이 반응은 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[X]$ 이다.

②-2 (가)~(다) 모두 반응물의 초기 농도가 절반으로 줄어드는 데 4초가 걸리므로 반감기는 4초이다.

②-3 (다)의 반감기가 4초이고 초기 농도가 2 M이므로 4초에서 1 M, 8초에서 0.5 M, 12초에서 0.25 M이다.

②-4 (1) (가)~(다)는 반감기가 4초로 일정한 1차 반응으로, 반응 차수는 (가)~(다)가 모두 같다.

(2) (나)에서 시간이 지나도 반감기는 4초로 일정하다.

(3) $X(g) \longrightarrow Y(g)$ 반응은 X의 초기 농도에 관계없이 X의 농도가 시간에 따라 일정한 비율로 감소하므로 1차 반응이다.

(4) $X(g) \longrightarrow Y(g)$ 반응은 1차 반응이므로 반응 속도가 반응물의 농도에 비례한다.

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

01 ① 실험 I 과 II 에서 A의 농도가 같을 때 B의 농도가 1.2배가 되어도 초기 반응 속도가 변하지 않으므로 이 반응은 B에 대한 0차 반응이다. 실험 II와 III에서 B의 농도가 같을 때 A의 농도가 3배가 되면 초기 반응 속도가 3배가 되므로 A에 대한 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다.

② 실험 III에서 A의 농도가 0.60 M일 때 반응 속도는 0.060 M/s이므로 실험 IV에서 A의 농도가 0.70 M일 때의 반응 속도 x 는 0.070 M/s이다.

③ 반응 속도식은 $v=k[A]$ 로 B에 대해 0차 반응이므로 B의 농도를 증가시켜도 반응 속도는 변하지 않는다.

⑤ 이 반응은 1차 반응이므로 반응 속도 상수(k)의 단위는 $\text{s}^{-1}(=1/\text{s})$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 반응 속도 상수는 농도의 영향을 받지 않으며, 온도의 영향을 받는데, 온도가 일정하므로 실험 I 과 III에서 반응 속도 상수는 같다.

02 ㄱ. 실험 I 과 II 에서 B의 농도가 일정할 때, A의 농도를 2배로 하면 초기 반응 속도가 2배가 되므로 A에 대한 반응 차수는 1차이다. 실험 II와 III에서 A의 농도가 일정할 때, B의 농도를 2배로 하면 초기 반응 속도가 4배가 되므로 B에 대한 반응 차수는 2차이다. 따라서 전체 반응 차수는 3차이다.

ㄴ. 반응 속도식은 $v=k[A][B]^2$ 이므로 실험 I의 농도와 반응 속도를 대입하면 반응 속도 상수 k 는 $0.05 \text{ M/s} = k \times 0.5 \text{ M} \times (0.5 \text{ M})^2$ 에서 $k=0.4 \text{ M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 반응 용기의 부피가 2배로 되면 각 물질의 농도는 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반응 속도는 $\frac{1}{8}$ 배가 된다. 따라서 실험 III에서 반응 용기의 부피를 2배로 하면 초기 반응 속도는 0.05 M/s가 된다.

03 ㄱ. 순간 반응 속도는 그래프에서 주어진 시간에서의 접선의 기울기에 해당하므로 1분일 때가 2분일 때보다 크다. 또한 이 반응은 1차 반응으로, 반응 속도가 반응물의 농도에 비례하므로 [A]가 큰 1분일 때가 2분일 때보다 순간 반응 속도도 크다.

ㄴ. 3분일 때 A의 몰 농도는 $1.2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 0.15 \text{ M}$ 이고, 이때 반응한 A의 몰 농도는 1.05 M이다. 화학 반응식에서 A와 B의 계수비는 1 : 2이므로 생성된 B의 몰 농도는 $2 \times 1.05 \text{ M} = 2.1 \text{ M}$ 로 A의 14배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉔. A의 반감기가 1분이므로 초기 농도가 1.6 M이면 1분일 때 0.8 M, 2분일 때 0.4 M, 3분일 때 0.2 M, 4분일 때 0.1 M이다.

04 반응 속도가 [A]에 비례하므로 이 반응은 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다.

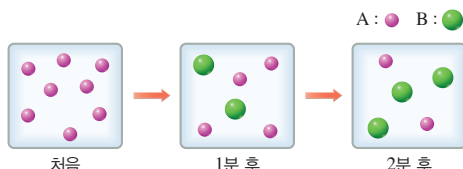
㉔. T_1 에서 $[A]=0.2\text{ M}$ 일 때 $v=0.8\text{ M/s}$ 이다. T_1 에서의 반응 속도 상수를 k_1 이라고 하면 $k_1=\frac{v}{[A]}$ 이므로 $k_1=\frac{0.8\text{ M/s}}{0.2\text{ M}}=4/\text{s}$ 이다.

T_2 에서 $[A]=0.2\text{ M}$ 일 때 $v=0.4\text{ M/s}$ 이다. T_2 에서의 반응 속도 상수를 k_2 라고 하면 $k_2=\frac{v}{[A]}$ 이므로 $k_2=\frac{0.4\text{ M/s}}{0.2\text{ M}}=2/\text{s}$ 이다. 따라서 T_1 에서의 반응 속도 상수 k_1 은 T_2 에서의 반응 속도 상수 k_2 의 2배이다.

㉔. 농도가 같을 때 초기 반응 속도는 T_2 일 때가 T_1 일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 반감기는 T_2 일 때가 T_1 일 때의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉕. 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다.

05 **문제 분석**



→ A 입자 4개가 감소할 때 B 입자 2개가 증가하므로
A : B = 2 : 1로 반응한다.
→ 화학 반응식은 $2A \longrightarrow B$ 이다.

시간에 따른 입자 수 변화를 나타내면 다음과 같다.

시간(분)	0	1	2
입자 수			
A	8	4	2
B	0	2	3

→ A의 초기 입자 수가 절반이 되는 데 걸리는 시간이 1분이다. → 반감기: 1분

㉕. 반응물인 A의 농도가 절반이 되는 반감기가 1분이므로 이 반응은 1차 반응이다. 따라서 전체 반응 차수는 1차이다.

㉔. A의 초기 농도를 2배로 하여도 반응 속도 상수(k)는 변하지 않는다. k 는 반응의 종류, 온도에 따라 달라지며 농도에 영향을 받지 않는다.

▮ **바로알기** ▮ ㉔. 화학 반응식은 $2A \longrightarrow B$ 이므로 반응 속도(v) = $-\frac{1}{2} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$ 이다. 따라서 B의 단위 시간당 농도 변화량은 A의 농도 변화량의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

06 **문제 분석**

표는 시간에 따른 A와 B의 농도 및 농도 변화량을 나타낸 것이다.

A와 B의 계수비가 2 : 1이므로 A의 농도 변화량은 B의 2배이다.

시간(분)	0	t	$2t$	$3t$
농도(M)				
A	2.0	1.0	0.5	0.25
$\Delta[A]$		-1	-0.5	-0.25
B	0	0.5	0.75	0.875
$\Delta[B]$		+0.5	+0.25	+0.125

A의 초기 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간이 t 분(반감기: t 분)으로 일정하다. → 1차 반응

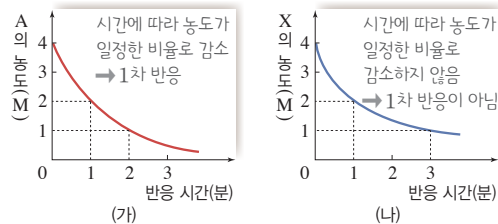
㉕. 1차 반응이므로 반응 속도가 A의 농도에 비례한다.

㉔. 반감기가 t 분이므로 t 분일 때 A의 농도는 1.0 M이다.

㉔. t 분일 때 농도는 A가 1.0 M, B와 C가 각각 0.5 M이고, $3t$ 분일 때 농도는 A가 0.25 M, B와 C가 각각 0.875 M이다. 따라서 혼합 기체의 농도는 t 분일 때와 $3t$ 분일 때 모두 2 M로 같다.

▮ **다른 풀이** ▮ 화학 반응식에서 반응물과 생성물의 계수의 합이 같으므로 화학 반응 전과 후 기체 입자 수의 변화가 없다. 따라서 혼합 기체의 농도는 t 분일 때와 $3t$ 분일 때 모두 A의 초기 농도인 2 M과 같다.

07 **문제 분석**



㉔. 0~1분에서 반응물인 A와 X의 농도 변화량은 2 M로 같으므로 0~1분에서 평균 반응 속도는 (가)와 (나)가 같다.

㉔. A의 초기 농도를 2 M로 하여 반응시켰을 때 2분 후는 반감기를 2회 지나므로 A의 농도는 0.5 M이 된다. A와 B의 계수비가 같고 반응한 A의 농도 변화량이 1.5 M($=2.0\text{ M}-0.5\text{ M}$)이므로 생성된 B의 농도도 1.5 M이다.

X의 초기 농도를 2 M로 하여 반응시켰을 때 2분 후 농도 변화는 그래프 (나)에서 3분이 경과했을 때의 X의 농도와 같은 1 M이다. 즉, 1분~3분에서 반응한 X의 농도 변화량은 1 M이고 X와 Y의 계수비가 2 : 1이므로 생성된 Y의 농도는 0.5 M이다. 따라서 생성물의 농도는 [B]가 [Y]의 3배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉕. (가)는 반감기가 1분으로 일정한 1차 반응이고, (나)는 반감기가 일정하지 않으므로 1차 반응이 아니다. 따라서 $m+n$ 은 2가 아니다.

08 **문제 분석**

그림에서 (가)와 (나)에서의 시간에 따른 X의 농도([X])는 다음과 같다.

		반감기 15초로 일정 → 1차 반응						
시간(초)		0	5	10	15	20	25	30
X의 농도 (M)	(가)	$\frac{1}{2}$	—	—	$\frac{1}{4}$	—	—	$\frac{1}{8}$
	(나)	2	—	1	—	$\frac{1}{2}$	—	$\frac{1}{4}$

→ 반감기 10초로 일정 → 1차 반응
→ 반응 속도식 $v=k[X]$

(가)와 (나)는 시간에 따라 [X]가 감소하는 비율이 일정한 1차 반응이다. 동일한 농도에 대해 반응 속도는 반감기의 역수와 같다. (가)의 반감기는 15초, (나)의 반감기는 10초이므로 반응 속도는 동일한 농도에 대해 (나)가 (가)의 1.5배이고, 반응 속도 상수도 (나)가 (가)의 1.5배이다.

09 **문제 분석**

시간(분)	0	1	2	3	4
A의 농도 (M)	2.0	1.75	$1.50x$	1.25	1.0
농도 변화량 (M)		0.25	0.25	0.25	0.25

→ 1분 동안의 농도 감소량이 0.25 M로 일정하다.

ㄱ. A의 농도는 1분당 0.25 M만큼 일정하게 감소하므로 2분에서의 x 는 1분에서의 농도인 1.75 M에서 0.25 M이 감소한 1.5(M)이다.

ㄴ. 이 반응은 A의 농도에 관계없이 1분 동안의 농도 감소량이 0.25 M로 일정하다. 즉, 반응 속도가 농도의 영향을 받지 않는다. 반응 속도가 A의 농도에 비례하는 반응은 1차 반응으로 농도가 시간에 따라 일정한 비율로 감소한다.

ㄷ. 이 반응은 A의 농도에 관계없이 반응 속도가 일정한 0차 반응이므로 반응 속도(v)는 k 로 일정하다. 0차 반응의 반응 속도식 $v=k$ 이므로 k 의 단위는 M/분이다.

10 ㄴ. 유효 충돌이 일어나려면 반응이 일어나기에 적합한 방향과 활성화 에너지보다 큰 에너지를 가져야 하므로 활성화 에너지보다 작은 에너지를 가진 입자인 경우 방향이 맞아도 유효 충돌이 일어나지 않는다.

ㄴ. 활성화 에너지보다 큰 에너지를 가진 입자들이 충돌하더라도 반응이 일어나려면 적합한 방향으로 충돌이 일어나야 한다.

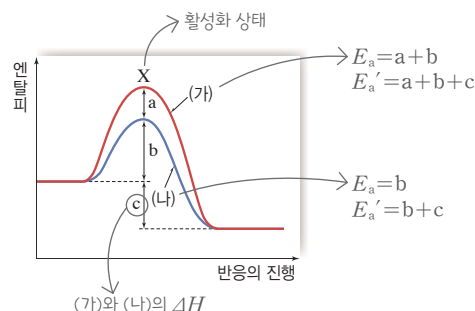
ㄷ. 활성화 에너지가 클수록 활성화물이 되기 위해 필요한 에너지가 크므로 반응할 수 있는 입자 수가 적어 반응 속도가 느리다.

11 ㄱ. ΔH =(반응물의 결합 에너지 합)-(생성물의 결합 에너지 합)이다. HI가 분해되는 반응은 ΔH 가 0보다 크므로 반응물의 결합 에너지 합은 생성물의 결합 에너지 합보다 크다.

ㄴ. E_a 는 농도, 온도 등의 영향은 받지 않으며, 촉매에 의해서만 변한다. 따라서 HI의 농도를 2배로 해도 E_a 는 변하지 않는다.

ㄷ. 역반응의 활성화 에너지(E_a')= $E_a - \Delta H$ 이다. 따라서 $E_a' = 184 \text{ kJ} - 9.4 \text{ kJ} = 174.6 \text{ kJ}$ 이다.

12 **문제 분석**



③ 역반응의 활성화 에너지(E_a')는 정반응의 활성화 에너지(E_a) + ΔH 이므로 (나)에서 역반응의 활성화 에너지는 정반응의 활성화 에너지 b 와 반응엔탈피(ΔH) c 를 더한 $b+c$ 이다.

ㄴ. 이 반응은 A의 농도에 관계없이 1분 동안의 농도 감소량이 0.25 M로 일정하다. 즉, 반응 속도가 농도의 영향을 받지 않는다. 반응 속도가 A의 농도에 비례하는 반응은 1차 반응으로 농도가 시간에 따라 일정한 비율로 감소한다.

ㄷ. 이 반응은 A의 농도에 관계없이 반응 속도가 일정한 0차 반응이므로 반응 속도(v)는 k 로 일정하다. 0차 반응의 반응 속도식 $v=k$ 이므로 k 의 단위는 M/분이다.

10 ㄴ. 유효 충돌이 일어나려면 반응이 일어나기에 적합한 방향과 활성화 에너지보다 큰 에너지를 가져야 하므로 활성화 에너지보다 작은 에너지를 가진 입자인 경우 방향이 맞아도 유효 충돌이 일어나지 않는다.

ㄴ. 이 반응은 A의 농도에 관계없이 1분 동안의 농도 감소량이 0.25 M로 일정하다. 즉, 반응 속도가 농도의 영향을 받지 않는다. 반응 속도가 A의 농도에 비례하는 반응은 1차 반응으로 농도가 시간에 따라 일정한 비율로 감소한다.

ㄷ. 이 반응은 A의 농도에 관계없이 반응 속도가 일정한 0차 반응이므로 반응 속도(v)는 k 로 일정하다. 0차 반응의 반응 속도식 $v=k$ 이므로 k 의 단위는 M/분이다.

중단원 해심 정리

252 쪽

- ① 시간 ② 평균 ③ 순간 ④ 초기 ⑤ $k[A]^m[B]^n$
⑥ $m+n$ ⑦ 비례 ⑧ 농도 ⑨ 유효 충돌 ⑩ 활성화 에너지 ⑪ 활성화물

중단원 마무리 문제

253 쪽~256 쪽

- 01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ② 05 ⑤ 06 ①
07 ⑤ 08 ⑤ 09 ③ 10 ③ 11 ② 12 ②
13 ① 14 ③ 15 해설 참조 16 해설 참조

01 ① 과일이 익는 것은 느린 반응이고, 나무의 연소는 빠른 반응으로 (가)는 (나)에 비해 느린 반응이다.

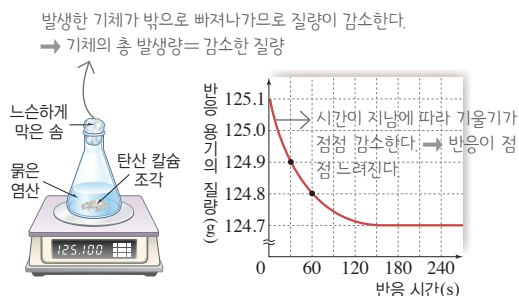
② 나무의 연소는 빠른 반응이므로 반응 결과를 바로 확인할 수 있다.

③ 석회 동굴이 생성되는 과정은 수천~수만 년이 걸리는 매우 느린 반응으로 (가)~(라) 중 가장 느린 반응이다.

④ 야광 팔찌를 꺾으면 빛이 나는 것은 빠른 반응이고, 과일이 익는 것은 느린 반응으로 (라)는 (가)에 비해 빠르게 일어난다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ (가)~(라)의 반응의 빠르기를 구분하는 것은 상대적으로 비교하여 구분한 것으로 객관적인 기준이 아니다.

02 **꼭** **꼭** 문제 분석



ㄴ. 0~30초 구간에서의 질량 감소량은 0.2 g, 30초~60초 구간에서의 질량 감소량은 0.1 g으로 단위 시간당 질량 변화량이 점점 감소한다.

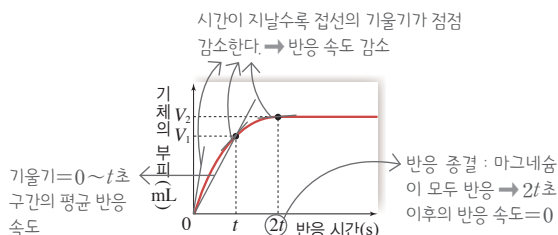
ㄷ. 평균 반응 속도는 $\frac{\text{반응 용기 전체의 질량 변화량}}{\text{시간 변화}}$ 이므로

0~30초일 때는 $\frac{(125.1-124.9)}{30} = \frac{1}{150}$ (g/s)이고,

30초~60초일 때는 $\frac{(124.9-124.8)}{30} = \frac{1}{300}$ (g/s)이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 맑은 염산에 탄산 칼슘을 넣으면 $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ 의 중화 반응이 일어나 맑은 염산의 농도는 감소한다.

03 **꼭** **꼭** 문제 분석



① 시간이 지날수록 일정한 시간 간격으로 발생하는 기체의 부피가 감소한다.

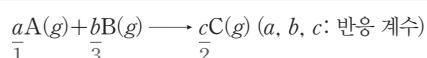
② 0~t초 동안 증가한 생성물의 양은 V_1 이므로 0~t초일 때의 평균 반응 속도 $v = \frac{V_1}{t}$ 이다.

④ 특정 시간의 한 점에서의 접선의 기울기가 순간 반응 속도이다. t초, 2t초에서 그 점의 기울기가 시간이 지날수록 점점 감소하므로 순간 반응 속도는 t초일 때가 2t초일 때보다 빠르다.

⑤ 마그네슘 조각의 질량이 2 g으로 일정하므로 충분한 양의 2 M 묽은 염산을 사용해도 발생하는 수소 기체의 부피(V_2)는 일정하다.

▮ **바로알기** ▮ ③ 2t초 이후 생성물의 양에는 변화가 없으므로 반응 속도는 0이다.

04 **꼭** **꼭** 문제 분석



시간(분)	기체의 농도(M)		
	[A]	[B]	[C]
0	0.100	0.200	0.000
t	0.090	0.170	0.020
2t	0.085	x 0.155	y 0.030

농도 변화량의 비가
A : B : C = 1 : 3 : 2
이다.

ㄷ. A의 농도 변화량으로 구한 평균 반응 속도는 0~t분일 때는 $\frac{0.010}{t}$ 이고, t분~2t분일 때는 $\frac{0.005}{t}$ 이므로 0~t분일 때가 t분~2t분일 때의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 일정 시간 동안의 농도 변화량은 계수에 비례하므로 $a=1, b=3, c=2$ 임을 알 수 있다. 따라서 $a+b$ 는 c와 같지 않다.

ㄴ. t분~2t분일 때 A의 농도 감소량이 0.005 M이므로 B는 0.170 M에서 0.015 M 감소한 0.155 M이고, C는 0.020 M에서 0.010 M 증가한 0.030 M이다. 즉, $x=0.155, y=0.030$ 이므로 x는 5y가 아니다.

05 **꼭** **꼭** 문제 분석

실험	[A](M)	[B](M)	초기 반응 속도(M/s)
I	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	2.5×10^{-2}
II	1.0×10^{-1}	2.0×10^{-1}	5.0×10^{-2}
III	2.0×10^{-1}	2.0×10^{-1}	2.0×10^{-1}

ㄱ. 반응 속도식을 $v = k[A]^m[B]^n$ 이라고 하면

• 실험 I, II 비교 - [A] 일정, [B] 2배일 때 반응 속도는 $2(=2^1)$ 배 → B에 대한 1차 반응이므로 $n=1$

• 실험 II, III 비교 - [B] 일정, [A] 2배일 때 반응 속도는 $4(=2^2)$ 배 → A에 대한 2차 반응이므로 $m=2$

따라서 반응 속도식은 $v=k[A]^2[B]$ 이다.

ㄷ. A와 B의 농도를 각각 $4.0 \times 10^{-1} \text{ M}$ 로 하면 실험 Ⅲ과 비교하여 A와 B의 농도가 각각 2배가 된 것이므로 반응 속도는 실험 Ⅲ의 8배가 된다. 따라서 1.6 M/s 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 반응 속도 상수는 농도에 의해 달라지지 않으므로 실험 I, II, III에서 반응 속도 상수는 모두 같다.

06 X의 초기 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간은 3초로 일정하므로 이 반응은 X에 대한 1차 반응이다.

① 1차 반응이므로 반응 속도식은 $v=k[X]$ 이며, 반응 속도 상수의 단위는 $1/\text{s}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ② 반응 속도 상수는 농도의 영향을 받지 않으므로 A, B, C에서 반응 속도 상수는 모두 같다.

③ 반응물의 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간은 3초로 일정하므로 반감기는 3초이다.

④ 3초일 때 접선의 기울기는 A에서 가장 크고 C에서 가장 작으므로 순간 반응 속도는 C에서 가장 작다.

⑤ X에 대한 1차 반응이므로 반응 속도는 X의 농도에 정비례한다.

07 **꼭꼭** 문제 분석

(가)는 A의 농도가 절반이 되는 데 20초가 걸린다.
→ 반감기: 20초

반응	화학 반응식	반응물의 농도(M)		반응 속도식	반응 차수
		$t=0$	$t=20\text{초}$		
(가)	$A \rightarrow P$	0.8	0.4	$v=k_1[A]$	1차
(나)	$B \rightarrow Q$	2.0	0.5	$v=k_2[B]$	1차

→ (나)는 B의 농도가 $\frac{1}{4}$ 이 되는 데 20초가 걸렸으므로 절반이 되는 데는 10초가 걸린다. → 반감기: 10초

ㄱ. (가)와 (나)는 모두 1차 반응으로 (가)의 반감기는 20초이고, (나)의 반감기는 10초이다. 따라서 반감기는 (가)가 (나)의 2배이다.

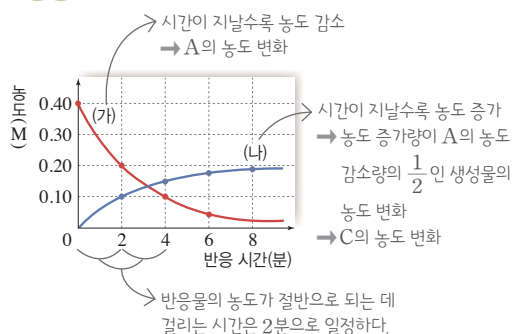
ㄴ. 반응 속도 상수는 반감기에 반비례하므로 k_2 는 k_1 보다 크다.
ㄷ. $t=40\text{초}$ 일 때 (가)는 반감기가 2번 진행되어 농도는 $0.2 \text{ M} \left(= 0.8 \times \left(\frac{1}{2} \right)^2 \right)$ 이고, (나)는 반감기가 4번 진행되어 농도는 $0.125 \text{ M} \left(= 2.0 \times \left(\frac{1}{2} \right)^4 \right)$ 이므로 (가)가 (나)보다 크다.

08 ㄱ. 그래프에서 반응 속도는 A의 농도에 정비례하므로 A에 대한 1차 반응이다. 실험 II에서 A의 농도는 실험 I의 2배이고, B의 농도는 $\frac{1}{2}$ 배인데 반응 속도가 실험 I과 같으므로 B에 대한 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[A][B]$ 이다.

ㄴ. 이 반응은 A에 대한 1차 반응이므로 실험 I과 III에서 B의 농도가 일정할 때 A의 농도를 3배하면 반응 속도는 3배가 된다. 따라서 $a=0.6 \text{ M/초}$ 이다.

ㄷ. A에 대한 1차 반응, B에 대한 1차 반응으로 전체 반응 차수는 2차이므로, 반응 속도 상수의 단위는 $1/\text{M} \cdot \text{초} (\text{M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$ 이다.

09 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 반감기가 2분인 1차 반응이므로 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다. 즉, 반응 속도는 A의 농도에 정비례한다.

ㄷ. 화학 반응식에서 A와 B의 계수비가 같으므로 같은 시간 동안 A의 농도 감소량과 B의 농도 증가량은 같다.

반감기가 2분이므로 A의 농도 변화는 다음과 같다.

$$0.40 \text{ M} \xrightarrow{2\text{분 후}} 0.20 \text{ M} \xrightarrow{2\text{분 후}} 0.10 \text{ M} \xrightarrow{2\text{분 후}} 0.05 \text{ M} \xrightarrow{2\text{분 후}} 0.025 \text{ M}$$

즉, 8분 동안 A의 농도가 $(0.40 - 0.025) \text{ M}$ 만큼 감소한다. 생성물인 B는 A가 감소한 만큼 생성되므로 8분일 때 B의 농도는 0.375 M 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (가)는 시간이 지날수록 농도가 감소하므로 A의 농도 변화이다. (나)는 시간이 지날수록 농도가 증가하므로 생성물의 농도 변화이다. 그런데 (나)의 농도 증가량은 A의 농도 감소량의 $\frac{1}{2}$ 이므로 C의 농도 변화를 나타낸 것이다.

10 ㄱ. 0~10초에서 감소한 X의 농도 변화량을 $x \text{ M}$ 이라 하면 10초일 때 X와 Y의 농도는 다음과 같다.

	$X(g) \longrightarrow 2Y(g)$	
초기(M)	4	0
반응(M)	$-x$	$+2x$
10초(M)	$4-x$	$2x$

이때 Y의 몰 분율이 $\frac{6}{7}$ 이므로 $\frac{2x}{(4-x)+2x} = \frac{6}{7}$, $x=3$ 이다.

따라서 10초일 때 X의 농도는 1 M 이고, Y의 농도는 6 M 이다. $X(g)$ 의 농도가 0~10초에서 $4 \text{ M} \rightarrow 1 \text{ M}$ 로 감소하므로 반감기는 5초이다.

ㄷ. X의 반감기는 5초이므로 20초일 때에는 반감기가 4번 지난 후이므로 X의 농도는 0.25 M이다. 10초~20초에서 X의 농도는 1 M에서 0.25 M로 0.75 M 감소하므로 평균 반응 속도는 0.075 M/초이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 20초일 때 X의 농도는 0.25 M이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

그래프의 자료를 시간에 따른 A의 농도로 변환하여 표로 나타내면 다음과 같다.

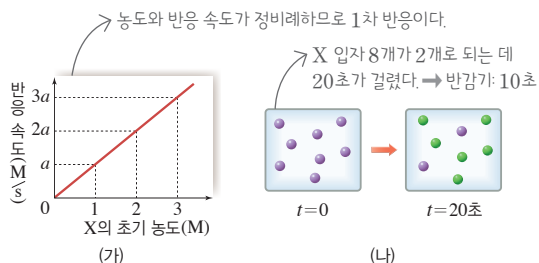
시간(분)	0	1	2	3	4	5	6
[A] (M)	(가)	1	—	—	$\frac{1}{2}$	—	$\frac{1}{4}$
	(나)	2	—	1	—	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

ㄴ. (가)와 (나)에서 반감기가 일정하므로 A에 대한 1차 반응이고, 반감기는 (가)에서 3분, (나)에서 2분이다. 이때 반응 속도 상수는 반감기에 반비례하므로 반응 속도 상수는 (나)가 (가)보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A의 초기 농도는 (가)에서 1 M이고 (나)에서 2 M이므로 (가)가 (나)의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

ㄷ. 초기 농도가 1 M인 (가)와 초기 농도가 2 M로 (가)의 2배인 (나)의 농도가 6분일 때 같아졌으므로 12분일 때 A의 농도는 (가)가 (나)의 2배가 된다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



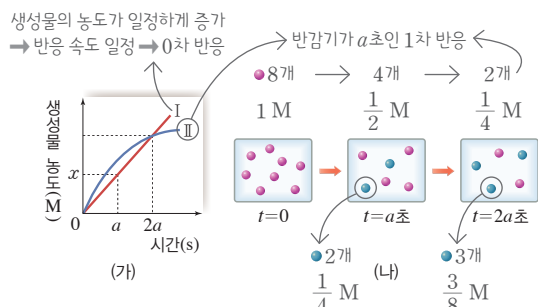
이 반응은 초기 반응 속도가 X의 농도에 정비례하는 1차 반응이고, 반감기는 10초이다.

ㄷ. (나)에서 X가 반응하여 Y가 생성될 때 전체 양(mol)은 변하지 않으므로 화학 반응식에서 반응물과 생성물의 계수는 같다. 10초일 때 X의 농도는 절반이 되므로 0.5 M이 되고, 생성된 Y의 농도도 0.5 M이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $x=y$ 이다.

ㄴ. $v=k[X]$ 이므로 $[X]=1(M)$ 일 때 $v=a(M/s)$ 를 대입하면 반응 속도 상수 $k=a(s^{-1})$ 이다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. I은 시간이 지남에 따라 생성물의 농도가 일정하게 증가하므로 반응 속도가 반응물의 농도에 관계없이 일정한 반응이다. 이러한 반응을 0차 반응이라고 한다. (나)에서 반응물은 a초마다 농도가 절반이 되므로 반감기가 a초인 1차 반응이고, (가)의 II에 해당한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (나)는 반감기가 a초인 1차 반응이다. 따라서 II에 해당한다.

ㄷ. (나)에서 2a초일 때 생성물의 농도가 $\frac{3}{8} M (=0.375 M)$ 이므로 x 는 $\frac{3}{16} M$ 이다.

14 ㄱ. (가)는 활성화 상태로 반응물의 결합 일부가 끊어지고 생성물의 결합 일부가 형성된 매우 불안정한 상태이다.

ㄷ. ΔH 는 E_a 에 관계없이 일정하다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. E_a 는 반응물의 농도의 영향을 받지 않는다.

15 **꼼꼼** 문제 분석

A와 B의 반응 몰비는 2 : 1이므로 온도 T_1 과 T_2 에서 시간에 따른 A의 농도는 다음과 같다.

시간(분)		0	2	4	6	8
B의 농도(M)	T_1	0	0.23	0.40	0.52	0.60
	T_2	0	$\frac{1}{2}$	0.40	$\frac{1}{2}$ a	0.75
A의 농도(M)	T_1	1.6	1.14	0.80	0.56	0.40
	T_2	1.6	0.80	0.40	0.20	0.10

$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ → 반감기 2분

이 반응은 반감기가 일정한 1차 반응으로 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다.

▮ **모범답안** (1) T_2 에서 반감기가 2분이므로 6분일 때 A는 0.2 M이다. A와 B의 반응 몰비가 2 : 1이므로, 6분 동안 A가 1.40($=1.60-0.20$) M 반응하면 B는 0.7 M 생성된다.

(2) $k_1 : k_2 = 1 : 2$, 1차 반응이므로 반응 속도 상수(k)는 반감기에 반비례하고, T_1 과 T_2 에서의 반감기는 각각 4분과 2분이므로 $k_1 : k_2 = 1 : 2$ 이다.

채점 기준	배점
(1) α 를 옳게 구하고 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	50 %
α 만 옳게 구한 경우	20 %
(2) k_1 과 k_2 의 비를 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
k_1 과 k_2 의 비만 옳게 구한 경우	20 %

16 모범답안 $\frac{2}{5}$. A의 양(mol)을 1몰로 가정하고 0~20초에서 반응한 A의 양을 $2x$ 몰이라고 하면, 생성된 B의 양은 x 몰이다. 20초일 때 A의 몰 분율이 $\frac{1-2x}{(1-2x)+x} = \frac{2}{3}$ 이므로, $x = \frac{1}{4}$ 이다. 즉, 20초일 때 A의 양이 0.5몰이므로 반감기가 20초이다. 따라서 40초일 때 A의 양은 0.25몰이고, A의 몰 분율은 $\frac{0.25}{0.25+0.375} = \frac{2}{5}$ 이다.

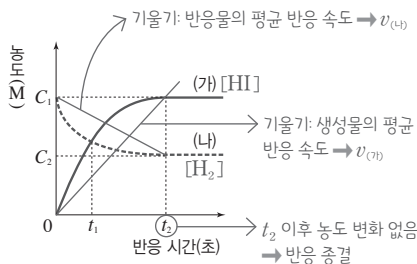
채점 기준	배점
몰 분율과 반감기를 포함한 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
몰 분율을 옳게 구하였으나, 풀이 과정이 미흡한 경우	50 %
몰 분율만 옳게 구한 경우	20 %

수능 실전 문제

257 쪽~259 쪽

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

01 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ $C_1 = 2C_2$ 이다.
- ㉡ $0 \sim t_1$ 에서 I_2 의 농도 변화량은 (가)와 같다. (나)
- ㉢ t_1 에서 접선의 기울기의 절댓값은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

(가)는 농도가 점점 증가하므로 생성물인 $[HI]$ 의 변화이고, (나)는 농도가 점점 감소하므로 반응물인 $[H_2]$ 의 변화이다.

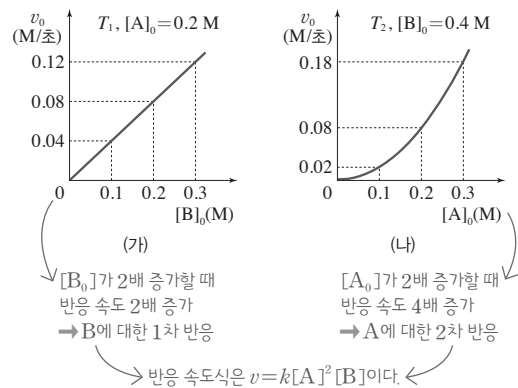
㉠. $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$ 반응에서 계수비는 $H_2 : I_2 : HI = 1 : 1 : 2$ 이므로 증가한 생성물의 농도는 감소한 반응물의 농도의 2배이다. $C_1 = 2(C_1 - C_2)$ 이므로, $C_1 = 2C_2$ 이다.

다른 풀이 반응 속도 $v = -\frac{[H_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{[HI]}{\Delta t}$ 이다. 따라서 반응 속도 $v = -\frac{C_2 - C_1}{t_2} = \frac{1}{2} \frac{C_1}{t_2}$ 이므로 $C_1 = 2C_2$ 이다.

㉡. $C_1 = 2C_2$ 이므로 HI 의 생성 속도는 H_2 의 감소 속도의 2배로, 접선의 기울기인 순간 반응 속도는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다. 따라서 t_1 에서 접선의 기울기의 절댓값은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

바로알기 ㉢. H_2 와 I_2 이 1 : 1의 몰비로 반응하므로 H_2 와 I_2 의 농도 변화량은 같다. 따라서 $0 \sim t_1$ 에서 I_2 의 농도 변화량은 (나)와 같다.

02 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 전체 반응 차수는 3차이다.
- ㉡ T_1 일 때 반응 속도 상수(k)는 $10 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{s}$ 이다.
- ㉢ 반응 속도 상수는 T_1 에서가 T_2 에서보다 크다.

㉠. A에 대한 반응 차수는 2차이고, B에 대한 반응 차수는 1차이므로 전체 반응 차수는 3차이다.

㉡. 온도가 T_1 인 (가)에서 $[A]_0$ 가 0.2 M, $[B]_0$ 가 0.1 M일 때 v_0 가 0.04 M/초이므로, 이를 $v = k[A]^2[B]$ 에 대입하여 T_1 일 때의 k 를 구한다.

$$0.04 \text{ M/초} = k \times (0.2 \text{ M})^2 \times 0.1 \text{ M}$$

$$\therefore k = 10/\text{M}^2 \cdot \text{초} = 10 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{s}$$

㉢. 온도가 T_2 인 (나)에서 $[A]_0$ 가 0.1 M, $[B]_0$ 가 0.4 M일 때 v_0 가 0.02 M/초이므로, 이를 $v = k[A]^2[B]$ 에 대입하여 T_2 일 때의 k 를 구한다.

$$0.02 \text{ M/초} = k \times (0.1 \text{ M})^2 \times 0.4 \text{ M}$$

$$\therefore k = 5/\text{M}^2 \cdot \text{초} = 5 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{s}$$

따라서 반응 속도 상수는 T_1 에서가 T_2 에서보다 크다.

03 **문제 분석**

생성된 C의 양 일정 → B에 대한 0차 반응

실험	반응 전 기체의 부분 압력(기압)		t초일 때 기체의 전체 압력(기압)	A B C		
	A	B				
I	6	6	9	3	4.5	1.5
II	6	12	15	3	10.5	1.5
III	12	6	12	6	3	3

생성된 C의 양 2배 → A에 대한 1차 반응
→ $v=k[A]$

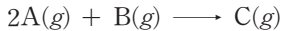
선택지 분석

✕ $v=k[A]^2$ 이다. $v=k[A]$

ㄴ 실험 II에서 t초일 때 부분 압력은 A가 C의 2배이다.

㉢ 실험 III에서 2t초일 때 기체의 전체 압력은 9기압이다.

ㄴ. 실험 II에서 A와 B를 반응시켰을 때 C의 부분 압력을 x기압이라고 하면, t초일 때 A~C의 부분 압력은 다음과 같다.

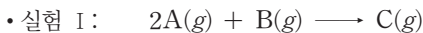


반응 전(기압)	6	12	0
반응(기압)	-2x	-x	+x
반응 후(기압)	6-2x	12-x	x

t초일 때 기체의 전체 압력이 15기압이므로 $(6-2x)+(12-x)+x=15$ 기압, $x=1.5$ 이다.

따라서 t초일 때 A의 부분 압력은 3기압이고, C의 부분 압력은 1.5기압으로 A가 C의 2배이다.

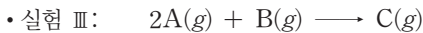
㉢. 실험 I과 III에서 t초일 때 각 기체의 부분 압력은 다음과 같다.



반응 전(기압)	6	6	0
반응(기압)	-2x	-x	+x
반응 후(기압)	6-2x	6-x	x

$$(6-2x)+(6-x)+x=9, x=1.5$$

→ A 3기압, B 4.5기압, C 1.5기압



반응 전(기압)	12	6	0
반응(기압)	-2x	-x	+x
반응 후(기압)	12-2x	6-x	x

$$(12-2x)+(6-x)+x=12, x=3$$

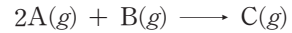
→ A 6기압, B 3기압, C 3기압

기체의 반응에서 기체의 부분 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로 기체의 부분 압력은 몰 농도로 나타낼 수 있다. 실험 I과 II에서 A의 농도가 일정할 때 B의 농도를 2배로 하여도 t초일 때 생성되는 C의 농도가 일정하므로 반응 속도는 B에 대한 0차 반응이다. 실험 I과 III에서 B의 농도가 일정할 때 A의 농도를

2배로 하면 t초일 때 C의 양이 2배가 되므로 A에 대한 1차 반응이다.

또, 실험 II에서 t초일 때 A의 부분 압력이 반응 전의 절반이 되므로 이 반응의 반감기는 t초이다.

따라서 실험 III의 경우 t초일 때와 2t초일 때 A~C의 부분 압력은 다음과 같다.



[t초일 때] 반응 전(기압)	6	3	3
반응(기압)	-3	-1.5	+1.5
[2t초일 때] 반응 후(기압)	3	1.5	4.5

실험 III에서 2t초일 때 기체의 전체 압력은 9기압(=A 3기압+B 1.5기압+C 4.5기압)이다.

▮ **바로알기** ▮ A에 대해서는 1차 반응이고, B에 대해서는 0차 반응이므로 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다.

04 **문제 분석**

A의 농도 2배, 반응 속도 2배
→ A에 대한 1차 반응

실험	I			II		
	반응 시간(t)(분)	0	3 $\frac{1}{2}$ 배	0	$\frac{1}{8}$ 배	3
농도(M)	A	0.32	x 0.04	0.64	0.08	
	B	0	0.42	0	y 0.84	
	C	0	0.07	0	0.14	
초기 반응 속도			v		2v	

반응 농도비 A : B : C = 4 : 6 : 1

$\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$
→ 3분 동안
반감기 3번
→ 반감기 1분

선택지 분석

㉠ $a=4, b=6$ 이다.

㉡ $x+y=0.88$ 이다.

㉢ $t=2$ 분일 때 I에서 [A] : II에서 [C]=2 : 3이다.

㉠. A의 초기 농도는 실험 II에서 실험 I에서의 2배이고, 초기 반응 속도는 실험 II에서 실험 I에서 2배이므로 반응 속도는 [A]에 정비례한다. 즉, A에 대한 1차 반응이다.

한편, 실험 II에서 A의 농도가 3분 동안 0.64 M에서 0.08 M로 $\frac{1}{8}$ 로 되었으므로 반감기가 3번($\frac{1}{2^3}$) 경과하였다. 따라서 반감기는 1분이고, 이를 실험 I에 적용하면 $t=3$ 분일 때 x 는 $0.32 \times \left(\frac{1}{2^3}\right) = 0.04$ 이다.

실험 I에서 반응 몰비는 A : B : C = 0.28 (=0.32-0.04) : 0.42 : 0.07이므로 화학 반응식의 계수비는 4 : 6 : 1이다. 따라서 $a=4, b=6$ 이다.

㉡. 화학 반응식의 계수비가 4 : 6 : 1이므로 실험 II에서 A

0.56 M(=0.64 M-0.08 M)이 반응하면 B 0.84 M과 C 0.14 M이 생성된다. 즉, y 는 0.84이다. x 는 0.04이고, y 는 0.84이므로 $x+y=0.88$ 이다.

ㄷ. 반감기가 1분이므로 $t=2$ 분일 때 I에서 $[A]=0.08$ M이고, II에서 $[C]=0.12$ M이므로 I에서 $[A]$: II에서 $[C]=0.08$ M : 0.12 M = 2 : 3이다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

B의 초기 농도가 $\frac{1}{2}$ 배일 때, 생성되는 C의 양도 $\frac{1}{2}$ 배

→ B에 대한 1차 반응

실험		I	II	III
반응 초기 양(mol)	A	16	24	16
	B	16	8	8
전체 기체 양(mol)	$t=10$ 분	24 B: 8, C: 16	28 A: 16, B: 4 C: 8	20 A: 8, B: 4 C: 8
	$t=20$ 분	24 B: 8, C: 16	26 A: 12, B: 2 C: 12	x 18 A: 4, B: 2 C: 12

A의 초기 농도가 달라져도 생성되는 C의 양 일정
→ A에 대한 0차 반응

선택지 분석

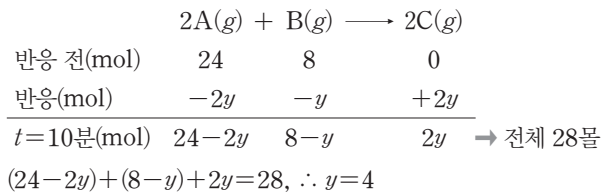
- ㄱ. 반응 속도는 B의 농도에 비례한다.
- ㄴ. $x=9a$ 이다.
- ㄷ. $t=20$ 분일 때, C(g)의 몰 분율은 I과 III에서 같다.

실험 I에서는 $t=10$ 분일 때와 $t=20$ 분일 때 전체 기체의 양(mol)이 같으므로 $t=10$ 분에서 반응이 완결되었다.

이 반응은 화학 평형에 도달하는 반응이 아니므로, 반응이 완결되었을 때 반응물 중 어느 한 가지가 모두 소모된다. B 16몰이 모두 소모된 경우 C 32몰이 생성되어야 하는데 반응 후 전체 기체의 양이 24몰이므로, A가 전부 반응한 경우이다.

실험 I에서 반응한 양(mol)을 y 몰이라고 하면, 반응이 완결되었을 때 A는 모두 소모되므로 전체 기체 24몰은 B $(16-y)$ 몰과 C $2y$ 몰의 합이다. 따라서 $y=8$ 몰이므로, A 16몰과 반응하는 B는 8몰로 A의 계수 $a=2$ 이다.

실험 II에서 반응 후 남은 기체의 양은 다음과 같다.

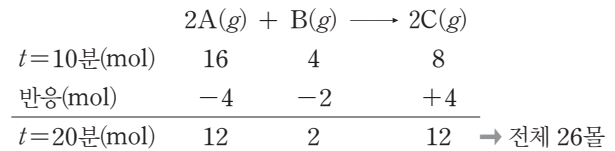


→ $t=10$ 분일 때 A 16몰, B 4몰, C 8몰이다.

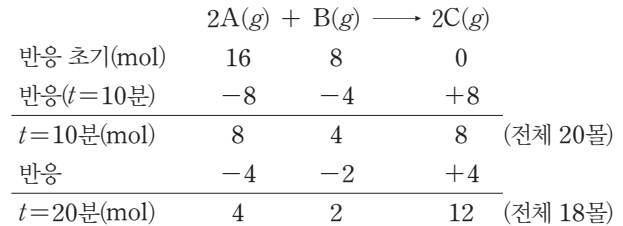
이와 같은 방법으로 실험 II의 $t=20$ 분일 때와 실험 III에서 반응

후 남은 기체의 양을 구해 정리하면 다음과 같다.

[실험 II]



[실험 III]



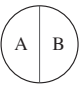
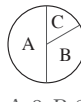
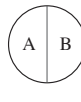
따라서 $x=18$ 이다.

ㄱ. 실험 II와 III에서 B의 양(mol)이 일정할 때 A의 양(mol)이 달라져도 $t=10$ 분일 때 생성되는 C의 양(mol)이 8몰로 같다. 따라서 A에 대한 0차 반응이다. 또한 실험 I과 III에서 B의 농도는 실험 I에서 실험 III에서의 2배이며 $t=10$ 분일 때 생성되는 C의 양도 실험 I에서 실험 III에서의 2배이므로 반응 속도는 B의 농도에 비례하는 1차 반응이다.

ㄴ. 화학 반응식에서 A의 계수 $a=2$ 이고, 실험 III에서 $t=20$ 분일 때 전체 기체의 양(mol) $x=18$ 몰이므로 $x=9a$ 이다.

ㄷ. $t=20$ 분일 때, C(g)의 몰 분율은 I에서 $\frac{16}{24}$ 이고, III에서 $\frac{12}{18}$ 이므로 몰 분율은 $\frac{2}{3}$ 로 같다.

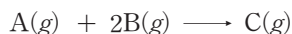
06 **꼼꼼** 문제 분석

실험	I		II	
	0	t	0	t
반응 시간(초)	0	t	0	t
전체 양(mol)	8	6	4	3
물비	 A: 4, B: 4	 A: 3, B: 2 C: 1	 A: 2, B: 2	(가) A: 1.5 B: 1 C: 0.5

선택지 분석

- ✗ 반감기는 t 초이다. t 초보다 크다
- ㄴ 실험 I에서 t 초일 때 B는 2몰, C는 1몰이다.
- ㄷ (가)에서 물질의 물비는 A : B : C = 3 : 2 : 1이다.

ㄴ. 실험 I에서 반응 전 A와 B의 양(mol)은 4몰로 같고, t 초 후 전체 양(mol)은 6몰이므로 생성되는 C의 양(mol)을 x 라 하면 t 초일 때 각 물질의 양은 다음과 같이 구한다.



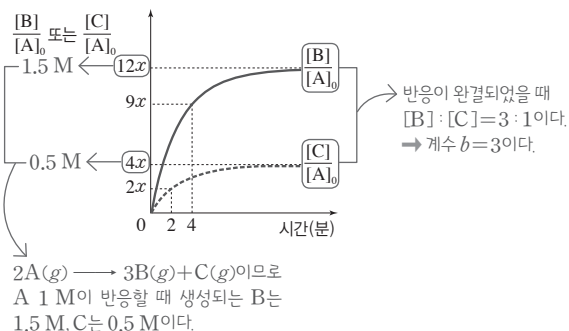
초기 양(mol)	4	4	0
반응하는 양(mol)	$-x$	$-2x$	$+x$
t 초일 때 양(mol)	$4-x$	$4-2x$	x

$(4-x) + (4-2x) + x = 6$, $x=1$ 이므로, t 초일 때 A는 3몰, B는 2몰, C는 1몰이다.

ㄷ. 이 반응은 A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. 실험 I의 초기 농도가 실험 II의 초기 농도의 2배이고, 실험 II에서 t 초일 때 전체 양(mol)은 3몰이므로 A는 1.5몰, B는 1몰, C는 0.5몰이다. 따라서 (가)에서 물질의 몰비는 $A:B:C=3:2:1$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 실험 I과 II에서 t 초일 때 A의 양(mol)이 절반보다 크므로 반감기는 t 초보다 크다.

07 **문제 분석**



선택지 분석

- ✗ A에 대한 2차 반응이다. 1차
- $x = \frac{1}{8}$ 이다.
- 반감기는 2분이다.

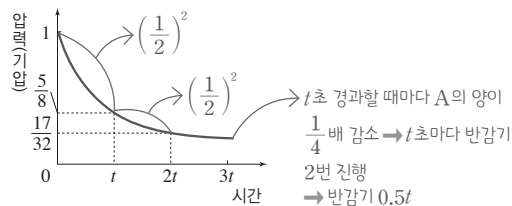
ㄴ. 그래프에서 반응이 완결되었을 때 생성물의 농도비 $\frac{[B]}{[A]_0}$ 가 $\frac{[C]}{[A]_0}$ 의 3배이므로 B의 계수 b 는 C의 계수 1의 3배인 3이다. 따라서 1 M의 A가 모두 반응할 때 생성되는 B의 농도는 1.5 M이므로 $12x=1.5$, $x=\frac{1}{8}$ 이다.

ㄷ. 2분일 때 $[C]=2x=\frac{1}{4}$ M이고, A와 C의 계수비가 2:1이므로 소모된 $[A]=\frac{1}{2}$ M이고, 남아 있는 $[A]=\frac{1}{2}$ M이다. 한편, 4분일 때 $[B]=9x=\frac{9}{8}$ M이고, A와 B의 계수비가 2:3이므로 소모된 $[A]=\frac{6}{8} M = \frac{3}{4} M$ 이고, 남아 있는 $[A]=\frac{1}{4} M$ 이다.

따라서 2분이 경과할 때마다 A의 농도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반감기는 2분이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A는 반감기가 2분으로 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다.

08 **문제 분석**



A(mol)	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$
B(mol)	0	$\frac{3}{8}$	$\frac{15}{32}$

선택지 분석

- ✗ 반감기는 t 이다. $0.5t$
- ✗ $2t$ 일 때의 양(mol)은 B가 A의 1.5배이다.
 $A=\frac{1}{16}$ 몰, $B=\frac{15}{32}$ 몰 $\rightarrow$ B가 A의 7.5배
- 반응 속도는 t 일 때가 $2t$ 일 때의 4배이다.

ㄷ. 반응 초기 1몰의 기체 A가 나타내는 압력이 1기압이므로, 시간 t 와 $2t$ 일 때 전체 기체의 압력은 전체 기체의 양(mol)과 같다. A 2몰이 반응할 때 B 1몰이 생성되므로, 다음과 같은 양적 관계가 성립한다.



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

$$\bullet t\text{일 때: } (1-2x)+x=\frac{5}{8} \therefore x=\frac{3}{8} \rightarrow A=\frac{1}{4}\text{ 몰}$$

$$\bullet 2t\text{일 때: } (1-2x)+x=\frac{17}{32} \therefore x=\frac{15}{32} \rightarrow A=\frac{1}{16}\text{ 몰}$$

따라서 A의 농도가 절반으로 되는 데 걸리는 시간이 $0.5t$ 로 일정하므로, 이 반응은 1차 반응으로 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. A의 농도는 t 일 때가 $2t$ 일 때의 4배이므로 반응 속도는 t 일 때가 $2t$ 일 때의 4배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A에 대한 1차 반응이고, A 1몰이 $\frac{1}{4}$ 몰로 되는 데 t 가 걸리므로 반감기는 $0.5t$ 이다.

ㄴ. $2t$ 일 때의 양(mol)은 A가 $\frac{1}{16}$ 몰이고, B가 $\frac{15}{32}$ 몰이다. 따라서 B가 A의 7.5배이다.

09 공공 문제 분석

시간(초)	0	t	$2t$	$3t$
P (기압)	3.2	4.4	5.0	5.3
ΔP		+1.2	+0.6	+0.3

→ Δt 동안 P 의 증가량이 반으로 줄어든다. → 반감기가 t 초로 일정

선택지 분석

- ㉠ 반감기는 t 초이다.
- ㉡ $b=6$ 이다.
- ㉢ t 초일 때 $[B]$ 는 $2t$ 초일 때 $[C]$ 의 4배이다.

㉠. 온도가 일정할 때 기체의 압력은 양(mol)에 비례한다. t 초 동안 P 의 증가량이 반으로 일정하게 감소하므로 반감기가 t 초로 일정한 1차 반응이다.

㉡. 반감기가 t 초이므로 다음과 같은 양적 관계가 성립한다.

	$4A(g) \longrightarrow bB(g) + C(g)$
초기(기압)	3.2 0 0
반응	-1.6 +0.4 b +0.4
t 초일 때(기압)	1.6 0.4 b 0.4

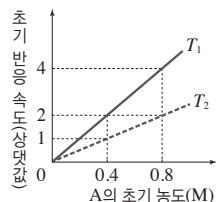
이때 전체 기체의 압력이 4.4기압이므로 $1.6 + 0.4b + 0.4 = 4.4$ 이고, b 는 6이다.

㉢. 시간에 따른 A~C의 압력은 다음과 같다.

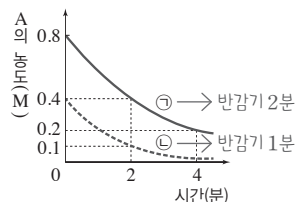
시간(초)		0	t	$2t$	$3t$
P (기압)	전체	3.2	4.4	5.0	5.3
	A	3.2	1.6	0.8	0.4
	B	0	2.4	3.6	4.2
	C	0	0.4	0.6	0.7

t 초일 때 B는 2.4기압이고, $2t$ 초일 때 C는 0.6기압이다. 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로 t 초일 때 $[B]$ 는 $2t$ 초일 때 $[C]$ 의 4배이다.

10 공공 문제 분석



(가)
초기 반응 속도가 $[A]$ 에 비례하므로 1차 반응이다. → 농도가 같을 때 초기 반응 속도가 빠른 T_1 의 온도가 T_2 보다 높다.



(나)
초기 반응 속도가 빠를수록 반감기가 짧다.

선택지 분석

- ㉠. ㉠은 T_1 에서의 반응이다. T_2
- ㉡. ㉡에서 2분일 때 B의 농도는 0.15 M이다.
- ㉢. B의 생성 속도는 4분일 때 ㉠과 1분일 때 ㉡이 같다. 다르다

(가)에서 초기 반응 속도는 A의 농도에 비례하는 1차 반응이고, 그래프의 기울기가 T_1 에서 T_2 에서의 2배이므로 온도 $T_1 = 2T_2$ 이다. 한편 (나)에서 ㉠은 반감기가 2분이고, ㉡은 반감기가 1분이므로 ㉠은 온도가 낮은 T_2 이고, ㉡은 온도가 높은 T_1 이다.

㉡. ㉡에서 2분일 때 반응한 A의 농도는 0.3 M이므로 생성된 B의 농도는 0.15 M이다.

바로알기 ㉠. ㉠은 T_2 에서의 반응이다.

㉢. 4분일 때 ㉠에서 A의 농도는 0.2 M이고, 1분일 때 ㉡에서 A의 농도는 0.2 M이지만 반응 속도 상수가 ㉡에서가 ㉠에서의 2배이므로 B의 생성 속도는 같지 않다.

11 공공 문제 분석

시간(초)	0	t	$2t$	$3t$
$[A] + [B](M)$	2.0 [A] 1.2 [B] 0.8	1.4 [A] 1.0 [B] 0.4	1.0 [A] 0.8 [B] 0.2	0.6 [A] 0.6 [B] 0.1
$[X] + [Y](M)$	0	0.8 [X] 0.4 [Y] 0.4	1.4 [X] 0.8 [Y] 0.6	1.9 [X] 1.2 [Y] 0.7
전체 기체의 농도 합(M)	2.0	2.2	2.4	2.6

선택지 분석

- ㉠. $m=1, n=0$ 이다. $m=0, n=1$
- ㉡. 1차 반응의 반감기는 t 초이다.
- ㉢. $2t$ 에서 $[X]$ 와 $[Y]$ 는 같다. 다르다

$A(g) \longrightarrow 2X(g)$ 반응은 반응 후 기체의 양(mol)이 증가하고, $B(g) \longrightarrow Y(g)$ 반응은 기체의 양(mol)의 변화가 없다. 이때 t 초마다 전체 기체의 몰 농도의 합이 0.2 M씩 일정하게 증가하므로 $A(g) \longrightarrow 2X(g)$ 은 0차 반응이고, $B(g) \longrightarrow Y(g)$ 은 1차 반응이다.

㉡. t 초마다 전체 기체의 몰 농도의 합이 0.2 M씩 증가하는 것은 $A(g) \longrightarrow 2X(g)$ 반응의 영향이고, $B(g) \longrightarrow Y(g)$ 반응은 $B(g)$ 가 소모된 만큼 $Y(g)$ 가 생성되어 몰 농도 변화량에 영향을 미치지 못한다. 따라서 $B(g) \longrightarrow Y(g)$ 반응의 반감기는 t 초이다.

바로알기 ㉠. $A(g) \longrightarrow 2X(g)$ 은 0차 반응이므로 $m=0$ 이고, $B(g) \longrightarrow Y(g)$ 은 1차 반응이므로 $n=1$ 이다.

ㄷ. 초기에 전체 기체의 몰 농도의 합이 2.0 M이므로 A와 B의 초기 농도를 $[A]=2.0-a$, $[B]=a$ 로 두면 0~t초에서는 다음과 같은 양적 관계가 성립한다.

	$A(g) \longrightarrow 2X(g)$	
초기(M)	$2.0-a$	0
반응(M)	-0.2	+0.4
t초일 때(M)	$1.8-a$	0.4

	$B(g) \longrightarrow Y(g)$	
초기(M)	a	0
반응(M)	$-\frac{a}{2}$	$+\frac{a}{2}$
t초일 때(M)	$\frac{a}{2}$	$\frac{a}{2}$

t초일 때 $[A]+[B]=1.4$ 이므로 $(1.8-a)+\frac{a}{2}=1.4$, $a=0.8$ 이

다. 따라서 초기 농도는 $[A]=1.2$, $[B]=0.8$ 이고, t초일 때의 농도는 $[A]=1.0$, $[B]=0.4$ 이다.

t초~2t초에서는 다음과 같은 양적 관계가 성립한다.

	$A(g) \longrightarrow 2X(g)$	
t초일 때(M)	1.0	0.4
반응(M)	-0.2	+0.4
2t초일 때(M)	0.8	0.8

	$B(g) \longrightarrow Y(g)$	
t초일 때(M)	0.4	0.4
반응(M)	-0.2	+0.2
2t초일 때(M)	0.2	0.6

따라서 2t에서 $[X]$ 는 0.8 M이고, $[Y]$ 는 0.6 M이다.

12

선택지 분석

- ㄱ. (가)에서 H—I 결합 일부가 끊어지고 새로운 결합 일부가 형성된다.
- ✗ 반응엔탈피(ΔH)는 $b-a$ 이다. $a-b$
- ㄷ. a가 작아지면 반응할 수 있는 입자 수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

ㄱ. (가)는 H—I 결합 일부가 끊어지고 새로운 결합 일부가 형성된 매우 불안정한 활성화 상태이다.

ㄷ. 반응이 일어나기 위해서는 반응을 일으킬 수 있는 충분한 운동 에너지를 가진 입자가 적합한 방향으로 충돌해야 한다. 활성화 에너지 a가 작아지면 반응이 일어날 수 있는 운동 에너지를 가진 입자 수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 반응엔탈피(ΔH)는 정반응의 활성화 에너지-역반응의 활성화 에너지이므로 $a-b$ 이다.

2

반응 속도와 농도, 온도, 촉매



01 반응 속도와 농도, 온도

개념 확인 문제

265 쪽

- ① 충돌수 ② 부피 ③ 충돌수 ④ 증가 ⑤ 증가 ⑥ 활성화 에너지 ⑦ 온도

- 1 (1) (다) (2) (다)>(나)>(가) (3) 빨라 2 (1) × (2) × (3) ○
3 ㄴ, ㄷ, ㄹ 4 (1) < (2) < (3) < 5 (1) ㄷ (2) ㄱ (3) ㄴ (4) ㄱ

1 (1) 입자 사이의 충돌수가 가장 많은 것은 단위 부피당 입자 수가 가장 큰 (다)이다.

(2) 단위 부피당 입자 수가 증가할수록 충돌수가 증가하여 반응 속도가 빨라지므로 반응 속도는 (다)>(나)>(가) 순이다.

(3) (다)의 부피를 줄이면 단위 부피당 입자 수가 증가하여 반응 속도는 빨라진다.

2 (1) 압력이 증가하여 부피가 감소하면 단위 부피당 입자 수가 증가하므로 입자의 충돌수는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

(2) (가)에서 (나)로 변할 때 단위 부피당 입자 수가 증가하므로 기체의 농도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

(3) 반응 속도는 단위 부피당 입자 수가 많아 충돌수가 큰 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.

3 고체 물질을 잘게 쪼개면 표면적이 증가하여 입자 사이의 충돌수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

4 (1), (2) 온도가 높아지면 분자의 평균 운동 에너지가 증가하므로 운동 에너지가 큰 분자 수가 많아진다. 따라서 온도 및 분자의 평균 운동 에너지는 $T_1 < T_2$ 이다.

(3) 온도가 높아지면 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가한다. 따라서 반응할 수 있는 분자 수는 $T_1 < T_2$ 이다.

5 (1) 알약을 가루로 만들면 표면적이 증가하므로 가루로 복용했을 때 체내 흡수가 빠르다.

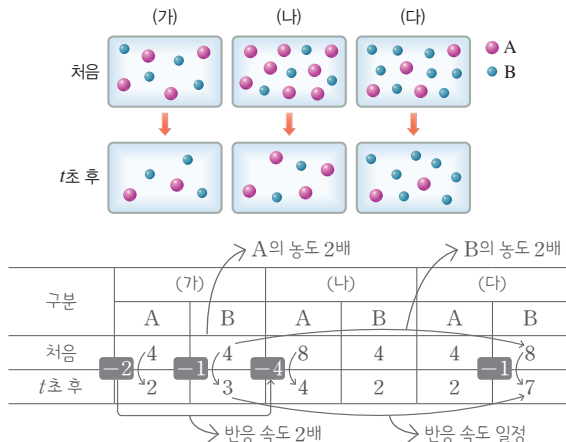
(2) 저산소증에 걸린 사람은 체내의 산소 농도를 높여 주기 위해 고압 산소 치료기를 이용하여 치료한다.

(3) 생선을 얼음과 함께 보관하면 생선의 온도가 낮아져 생선의 부패 속도가 느려진다.

(4) 밀폐 용기 속은 산소의 농도가 작으므로 음식을 밀폐 용기에 보관하면 음식의 부패 속도가 느려진다.

- 자료 1 1 농도 2 (나) > (가) = (다) 3 느려진다.
4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×
- 자료 2 1 $T_1 < T_2$ 2 $T_1 < T_2$ 3 $T_1 = T_2$ 4 (1) ○
(2) × (3) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



단위 부피당 입자 수가 많을수록 충돌수가 증가하므로 충돌수에 영향을 미치는 요인은 농도이다.

1-2 (가)와 (나)에서 B(g)의 농도가 일정할 때 A(g)의 농도가 2배가 되면 반응 속도가 2배가 되므로 A에 대한 1차 반응이다. (가)와 (다)에서 A(g)의 농도가 일정할 때 B(g)의 농도가 2배가 되어도 반응 속도가 변하지 않으므로 B에 대한 0차 반응이다. 따라서, 반응 속도는 A의 농도에 정비례하므로 A의 농도가 가장 큰 (나)에서 반응 속도가 가장 빠르고, A의 농도가 같은 (가)와 (다)에서는 반응 속도가 같다.

1-3 (다)에서 용기의 부피를 2배로 하면 반응물의 농도가 절반이 되므로 반응 속도가 느려진다.

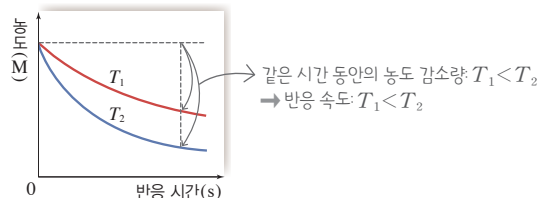
1-4 (1) A에 대한 1차 반응이고, B에 대한 0차 반응이므로 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다.

(2) (나)에서가 (가)에서보다 단위 부피당 입자 수가 많으므로 입자들 사이의 평균 거리가 가까워 충돌수가 더 많다.

(3) 용기의 부피를 $\frac{1}{2}$ 배로 하면 단위 부피당 입자 수가 2배로 증가한다.

(4) 숯을 작은 조각으로 쪼개면 표면적이 커지므로 숯을 쪼개서 태울 때 더 빠르게 연소한다. 즉, 농도에 의해 반응 속도가 변하는 경우가 아니므로 제시된 모형으로는 설명할 수 없다.

2-1 꼼꼼 문제 분석



T_1 보다 T_2 에서 단위 시간당 농도 감소량이 크므로 T_1 보다 T_2 에서 반응 속도가 더 빠르다.

2-2 온도가 높을수록 반응 속도가 빠르다. 반응 속도는 T_1 에서보다 T_2 에서 더 빠르므로 온도는 T_1 보다 T_2 가 높다.

2-3 온도가 달라져도 활성화 에너지는 변하지 않으므로 T_1 과 T_2 에서의 활성화 에너지는 같다.

2-4 (1) 온도가 높을수록 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 반응 속도가 빨라지므로 유효 충돌수는 $T_1 < T_2$ 이다.

(2) 온도가 높을수록 분자의 평균 운동 에너지가 크므로 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 기체 분자 수는 $T_1 < T_2$ 이다.

(3) 온도가 높아질 때 입자 사이의 충돌수도 증가하지만, 온도 상승에 따른 반응 속도 변화의 주된 까닭은 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 분자 수가 증가하기 때문이다.

내신 만점 문제

267쪽~268쪽

- 01 ④ 02 ③ 03 해설 참조 04 ④ 05 ②
06 ① 07 ② 08 ③

01 ㄱ, ㄴ, ㄷ. 일정한 온도에서 기체에 가해지는 압력이 감소하여 부피가 증가하면 기체의 농도, 즉 단위 부피당 입자 수가 감소하여 단위 시간당 충돌수가 감소하므로 반응 속도가 느려진다.

▶▶▶ 바로알기 ▶▶▶ 리. 반응물이 기체이므로 부피가 변해도 반응물 사이의 접촉 면적은 변하지 않는다. 반응물의 표면적 변화에 따라 반응 속도가 변하는 경우는 반응물에 고체가 포함된 경우에 해당한다.

02 아연과 묽은 염산이 반응하면 수소 기체가 발생한다.



ㄴ. 염산의 농도가 증가하면 반응 속도가 빨라지므로 반응이 완결될 때까지의 시간 t 가 짧아진다.

ㄷ. 시간이 지날수록 그래프에서 접선의 기울기가 작아지므로 반응 속도는 점점 느려진다. 즉, 시간이 지날수록 반응물의 충돌수가 점점 감소한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 염산의 양은 아연 조각이 모두 반응하기에 충분하므로 생성되는 수소 기체의 총 부피(V)는 아연 조각의 양에 따라 결정된다. 따라서 V 가 커지려면 아연 조각의 양을 증가시켜야 한다. 염산의 농도가 5%에서 10%로 증가해도 아연 조각의 양이 일정하므로 V 는 변하지 않는다.

ㄴ. 아연 조각을 작게 잘라서 사용해도 아연 조각의 양이 그대로 이므로 V 는 변하지 않는다.

03 고체 물질의 표면적이 커지면 반응 속도가 빨라진다.

▮ **모범답안** 알약보다 가루약을 먹을 때 더 빠르게 흡수된다. 숯이나 장작을 작은 조각으로 쪼개어 태우면 더 빠르게 연소한다. 등

채점 기준	배점
표면적으로 반응 속도를 조절하는 예 2가지를 옳게 서술한 경우	100 %
표면적으로 반응 속도를 조절하는 예 1가지만 옳게 서술한 경우	40 %

04 **꼼꼼** 문제 분석

실험	0.2 M KIO_3 수용액의 부피(mL)	종류수의 부피(mL)	NaHSO_3 수용액의 농도(M)	시간 (s)	반응 속도 (s^{-1})
I	10.0	0	0.1	6.0	$\frac{1}{6}$
II	7.5	2.5	0.1	8.0	$\frac{1}{8}$
III	x	$10.0 - x$	0.1	12.0	$\frac{1}{12}$

종류수로 묻혀지 않은 실험 I에서 KIO_3 의 물 농도가 0.2 M이므로, 실험 II에서의 물 농도는 $0.2 \text{ M} \times \frac{7.5}{10.0} = 0.15 \text{ M}$ 이다.

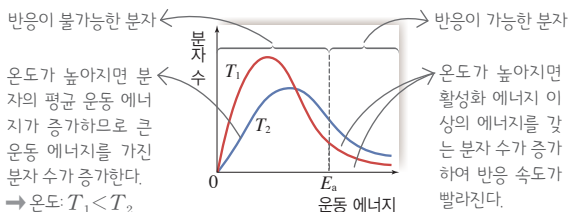
$[\text{KIO}_3]$ 에 대한 1차 반응

ㄱ. 실험 III의 반응 속도는 실험 I의 0.5배이므로 KIO_3 수용액의 농도는 실험 I의 0.5배이다. 따라서 x 는 5.0이다.

ㄴ, ㄷ. 이 반응은 반응 속도가 $[\text{KIO}_3]$ 에 비례하므로 $[\text{KIO}_3]$ 에 대한 1차 반응이다. 또 이 실험의 결과로부터 반응물의 농도가 반응 속도에 미치는 영향을 알 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 반응 속도가 빠를수록 용액의 색이 청람색으로 변하는데 걸린 시간이 짧다. 즉, 반응 속도는 시간의 역수에 비례한다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



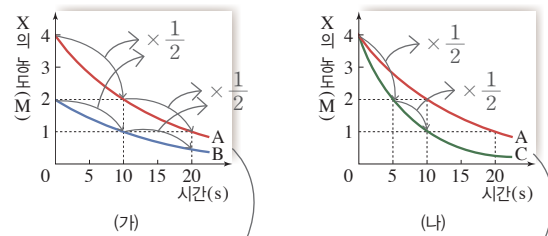
온도가 높아지면 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 큰 운동 에너지를 가진 입자 수가 증가하므로 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

ㄴ. E_a 이상에서 곡선의 아래쪽 면적은 T_2 에서 T_1 에서보다 더 크므로 T_1 에서 T_2 로 변할 때 E_a 이상의 에너지를 갖는 기체 분자 수가 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 온도가 높아져도 E_a 는 변하지 않고, E_a 이상의 에너지를 가진 분자 수가 증가한다.

ㄴ. 반응 속도 상수(k)는 온도에 따라 변한다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



A와 B에서 반감기가 10초로 같다.
→ X의 분해 반응은 1차 반응이다.

C에서의 반감기: 5초

ㄱ. 초기 반응 속도는 시간 0에서의 접선의 기울기가 더 큰 A에서가 B에서보다 빠르다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 초기 농도가 같을 때 반감기는 C에서가 A에서보다 짧다. 즉, C에서가 A에서보다 반응 속도가 더 빠르므로 온도는 C에서가 A에서보다 높다.

ㄷ. 반응 속도 상수(k)가 클수록 반응 속도가 빠르고, 반감기가 짧을수록 반응 속도가 빠르다. 즉, 반감기는 반응 속도 상수에 반비례한다. 따라서 반응 속도 상수는 반감기가 가장 짧은 C에서 가장 크다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

수용액의 온도($^{\circ}\text{C}$)	20	30	40
$\times$ 표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간(초)	70	33	15
반응 속도	$\frac{1}{70}$	$\frac{1}{33}$	$\frac{1}{15}$

ㄱ. $\times$ 표가 보이지 않게 되는 까닭은 화학 반응에 의해 노란색 황(S) 양금이 생성되기 때문이다.

ㄴ. $\times$ 표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간이 짧을수록 반응 속도가 빠르다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 온도가 10°C 높아질 때 반응 속도가 2배 정도 빨라지는 까닭은 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가하기 때문이다. 온도가 10°C 높아질 때 충돌수는 약 2% 증가한다.

08 ① 압력솥에서는 물이 높은 온도에서 끓기 때문에 밥이 빨리 된다.

② 비닐하우스는 온도를 인위적으로 높여 식물이 빨리 자라게 한다.

④, ⑤ 온도를 낮추어 음식의 부패 속도나 발효 속도를 늦추는 사례이다.

바로알기 ③ 에베레스트 산과 같이 고도가 높은 곳은 기압이 낮아 산소의 양이 부족하다. 따라서 산소의 농도가 큰 산소 호흡기를 사용해야 한다.

02 반응 속도와 촉매

개념 확인 문제

271 쪽

- ① 촉매 ② 정촉매 ③ 빨라 ④ 부촉매 ⑤ 느려
⑥ 변하지 않

- 1 A: 부촉매, B: 정촉매 2 (1) × (2) ○ (3) × (4) ×
3 (1) ○ (2) ○ (3) × 4 a, c 5 (1) ○ (2) ○ (3) ×

1 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아져 반응 속도가 빨라지고, 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 커져 반응 속도가 느려진다.

2 (1) 온도를 높이면 E_a 는 변하지 않지만, 기체 분자들의 평균 운동 에너지가 커져 E_a 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가한다.
(2), (4) 정촉매를 사용하면 활성화 에너지 E_a 가 E_a' 로 작아지므로 반응할 수 있는 입자 수가 증가한다. 정촉매를 사용했을 때 반응할 수 있는 입자 수는 $A+B+C$ 이다.

(3) 부촉매를 사용하면 활성화 에너지 E_a 가 E_a'' 로 커지므로 반응할 수 있는 입자 수가 감소한다.

3 (1) 과산화 수소가 분해되면 물과 산소 기체가 생성된다. 이 산소 기체에 의해 주방용 세제가 거품을 발생시킨다.
(2) KI은 과산화 수소의 분해 반응 속도를 빠르게 해주는 정촉매이다.
(3) 정촉매로 작용한 KI이 활성화 에너지를 감소시키므로 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가하여 과산화 수소의 분해 반응 속도가 빨라진다. 분자의 운동 에너지는 온도에 의해서만 변한다.

4 촉매를 사용하면 정반응의 활성화 에너지(a)와 역반응의 활성화 에너지(c)는 변하지만, 반응물과 생성물의 엔탈피는 변하지 않으므로 반응엔탈피(b)는 변하지 않는다.

5 (1) 촉매는 활성화 에너지가 작거나 큰 새로운 반응 경로로 반응이 일어나게 한다.

(2) 정촉매는 정반응과 역반응의 활성화 에너지를 모두 감소시키므로 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 빨라진다.

(3) 촉매를 사용해도 생성물의 양은 변하지 않는다.

개념 확인 문제

275 쪽

- ① 효소 ② 활성화 에너지 ③ 기질 특이성 ④ 활성 자리
⑤ 표면 ⑥ (화학) 결합 ⑦ 유기 ⑧ 광촉매

- 1 (가) 기질 (나) 효소 (다) 효소·기질 복합체 2 (1) ○ (2) ×
(3) × 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ 4 (1) × (2) ×
(3) ○ 5 (1) ㄱ (2) ㄷ (3) ㄴ

1 (나)의 활성 자리에 (가)가 결합하므로 (가)는 기질, (나)는 효소이며, 기질과 효소가 결합한 (다)는 효소·기질 복합체이다.

2 (1) 효소에는 기질과 결합하여 촉매 작용을 하는 특정 자리인 활성 자리가 있다.

(2) 효소와 기질이 결합하여 효소·기질 복합체가 될 때 활성화 에너지가 작아지므로 반응 속도가 빨라진다.

(3) (라)는 생성물이며, 생성물과 분리된 효소가 다시 촉매 작용을 할 수 있다.

3 (1) 효소는 활성 자리에 맞는 특정 기질에만 작용하여 반응 속도를 변화시킨다.

(2) 효소는 효소의 활성이 최대가 되는 온도(최적 온도)가 존재하는데, 대부분의 효소는 체온 범위의 온도에서 가장 활발하게 작용한다.

(3) 효소마다 반응 속도가 최대가 되는 pH가 존재하며, pH에 따라 그 기능이 크게 영향을 받는다.

(4) 효소는 발효 식품, 생활용품, 의약품 등을 만드는 데 활용된다.

4 (1) X는 금속 원소로 이루어진 표면 촉매로, 반응의 활성화 에너지를 감소시키지만 반응엔탈피(ΔH)를 변화시키지는 않는다.

(2) 촉매는 반응물이나 생성물에 포함시키지 않으므로 화학 반응식은 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ 이다.

(3) X는 H—H 결합과 N≡N 결합을 약화시켜 반응의 활성화 에너지를 작게 하고, 활성화 상태의 H 원자와 N 원자들이 결합하여 NH_3 를 생성하도록 한다.

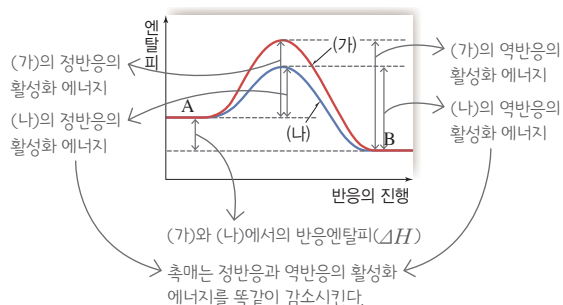
- 5** (1) 표면 촉매는 화학 반응의 활성화 에너지를 작게 하는 금속이나 금속 산화물과 같은 고체 상태의 촉매이다.
- (2) 광촉매는 빛에너지를 받을 때 촉매 작용을 일으키는 물질이다.
- (3) 유기 촉매는 탄소, 수소, 질소, 산소 등의 비금속 원소로 이루어진 유기물 형태의 촉매로, 반응 선택성이 높고 금속 촉매에 비해 쉽게 분해되어 친환경적이다.

대표 자료 분석

276 쪽

- 자료 1** 1 정촉매 2 (가) < (나) 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×
- 자료 2** 1 (표면) 촉매 2 활성화 에너지 3 $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$ 4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석

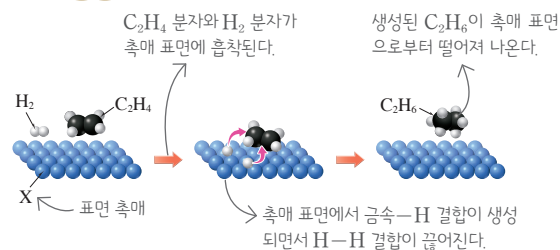


(가)에 비해 X를 사용한 (나)에서 활성화 에너지가 작으므로 X는 정촉매이다.

1-2 반응 속도는 활성화 에너지가 작은 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다. (가)와 (나)에서의 온도가 같으므로 반응 속도 상수 k 는 반응 속도가 빠른 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

- 1-3** (1) X는 정촉매이므로 정반응과 역반응의 활성화 에너지를 모두 감소시킨다.
- (2) 촉매에 의해 활성화 에너지는 변하지만 반응엔탈피(ΔH)는 변하지 않는다.
- (3) 활성화 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 작으므로 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.
- (4) (가)와 (나)는 활성화 에너지가 달라 반응 속도가 다를 뿐 평형 상수는 같다.
- (5) 온도가 일정하므로 분자의 평균 운동 에너지는 (가)와 (나)에서 같다.

2-1 꼼꼼 문제 분석



고체 X는 표면 촉매로, 표면에 반응물이 흡착되면 반응물을 이루는 원자 사이의 화학 결합이 약해져 활성화 에너지가 작아지므로 반응이 쉽게 일어날 수 있다.

2-2 고체 X 표면에서 금속-H 결합을 형성하여 H-H 결합을 약화시킴으로써 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 빠르게 한다.

2-3 촉매는 화학 반응식의 반응물이나 생성물에 포함시키지 않으므로 화학 반응식은 $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$ 이다.

- 2-4** (1) 고체 X와 같은 표면 촉매는 금속이나 금속 산화물이다.
- (2), (4) 고체 X 표면에 기체 반응물인 C_2H_4 과 H_2 가 흡착되면 고체 X가 H와 결합을 형성하여 H-H 결합이 약화되므로 반응이 빨라진다.
- (3) 고체 X는 표면 촉매이므로 기질 특이성이 없다. 기질 특이성은 생체 촉매인 효소의 특성이다.
- (5) 촉매는 반응물로 작용하여 생성물로 변하는 것이 아니므로 반응 전후에 질량이 변하지 않는다.

내신 만점 문제

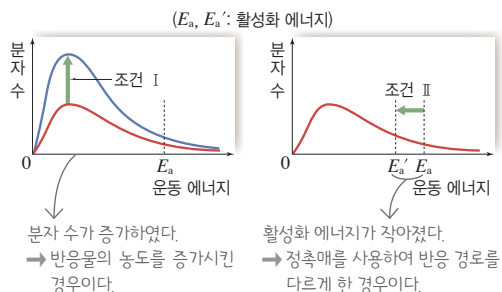
277 쪽 ~ 278 쪽

- 01 ④ 02 ② 03 ② 04 ③ 05 ⑤ 06 ③
07 해설 참조 08 ㄴ, ㄷ 09 ②

01 ㄴ, ㄷ. 반응 경로가 (가)에서 (나)로 변할 때 활성화 에너지가 작아지므로 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수, 즉 반응이 일어날 수 있는 분자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

바로알기 ㄱ. 반응엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값으로, 반응 경로가 (가)에서 (나)로 변해도 반응엔탈피(ΔH)는 변하지 않는다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

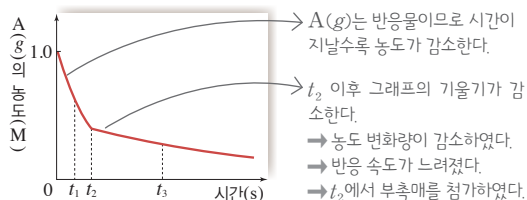


ㄴ. 조건 II는 정촉매를 사용하여 활성화 에너지를 감소시킨 경우이므로 반응 경로가 달라져 반응 속도가 빨라진다.

▮ **바로알기** ㄱ. 조건 I은 '농도 증가'에 해당하며, 조건 II는 '정촉매 사용'에 해당한다.

ㄷ. 분자의 운동 에너지는 온도에 의해서만 변하며, 농도 변화와 촉매의 사용에 의해서는 변하지 않는다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



ㄷ. 화학 반응식에서 계수의 합은 반응물보다 생성물이 더 크므로 화학 반응 후 전체 기체 입자 수가 증가한다. 따라서 용기 내 기체의 압력은 반응이 더 많이 진행된 t_3 일 때가 t_2 일 때보다 크다.

▮ **바로알기** ㄱ. t_2 에서 고체 촉매를 넣은 후 A의 농도 변화량이 감소하므로 t_2 에서 부촉매를 첨가하여 반응 속도가 느려졌다. 부촉매는 활성화 에너지를 증가시키므로, 부촉매를 넣기 전인 t_1 일 때가 부촉매를 넣은 후인 t_3 일 때보다 활성화 에너지가 작다.

ㄴ. 온도가 일정하므로 A(g) 분자의 평균 운동 에너지는 일정하다. 따라서 t_1 일 때와 t_3 일 때 분자의 평균 운동 에너지는 같다.

04 **꼼꼼** 문제 분석

실험	온도	첨가한 촉매	초기 반응 속도
I	T_1	없음	$4v$
II	T_1	X(s)	v
III	T_2	없음	$2v$

촉매 X 첨가 후 반응 속도가 느려졌다.
→ X는 부촉매이다.

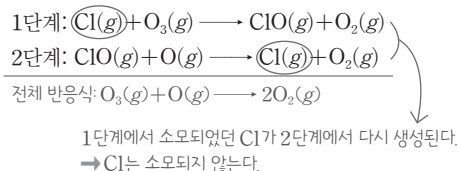
→ (촉매가 없을 때) 반응 속도가 느려졌다. → 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

ㄱ. 실험 I과 II에서 온도가 같을 때 고체 X를 넣은 실험 II의 반응 속도가 실험 I의 반응 속도보다 느리므로 X는 부촉매이다.

ㄴ. 실험 I과 III에서 T_1 일 때의 반응 속도가 T_2 일 때의 반응 속도보다 빠르므로 온도는 T_1 이 T_2 보다 높다.

▮ **바로알기** ㄷ. 실험 II는 부촉매를 첨가했으므로 실험 I보다 활성화 에너지가 크지만, 실험 III은 첨가한 촉매가 없으므로 활성화 에너지가 실험 I과 같다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



①, ②, ④ Cl는 O_3 분해 반응의 촉매로 작용한다. 즉, 활성화 에너지를 작게 하는 새로운 반응 경로로 바꾸어 반응을 빠르게 한다. ③ Cl는 O_3 분해 반응 후 없어지지 않으므로 계속 오존을 분해하는 촉매로 작용한다.

▮ **바로알기** ⑤ 화학 평형은 농도, 압력, 온도에 의해 이동하며, 촉매에 의해서는 이동하지 않는다. 촉매는 반응 속도를 빠르게 하여 평형에 도달하는 데 걸리는 시간을 감소시킨다.

06 ㄱ, ㄴ. 수크레이스는 효소이므로 설탕 분해 반응의 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 빠르게 한다. 수크레이스에서 A는 설탕과만 결합하는 특정 자리인 활성 자리이다.

▮ **바로알기** ㄷ. 수크레이스와 결합하는 기질은 설탕이며, 포도당과 과당은 생성물이다.

07 **모범답안** 백금(Pt), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd) 등의 금속은 표면 촉매로, 자동차 배기가스에 포함된 C_xH_y , NO_x , CO 등의 해로운 기체들이 CO_2 , H_2O , N_2 등으로 변하는 반응의 활성화 에너지를 작게 하여 반응이 잘 일어나도록 한다.

채점 기준	배점
표면 촉매를 언급하고 촉매 변환기에서 금속의 역할을 옳게 서술한 경우	100 %
표면 촉매를 언급하지 않고 촉매의 역할만 서술한 경우	60 %
표면 촉매만 언급한 경우	20 %

08 ㄴ. 고체 X는 촉매로, 화학 반응 전후에 질량이 변하지 않는다.

ㄷ. 고체 X는 표면에 흡착된 반응물의 원자 사이의 화학 결합을 약화시킴으로써 활성화 에너지를 감소시켜 반응이 빠르게 일어나게 한다.

▮ **바로알기** ㄱ. 고체 X는 표면 촉매이다.

09 이산화 타이타늄(TiO_2)이 표면에 빛을 받으면 전자가 들뜨게 되며 이 전자가 산소와 반응하여 활성 산소가 만들어지는데, 활성 산소는 반응성이 커서 유해 물질을 분해한다.

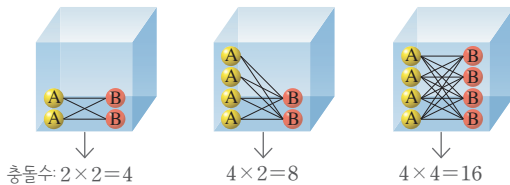
- ① 충돌수 ② 압력 ③ 표면적 ④ 활성화 에너지(E_a)
 ⑤ < ⑥ = ⑦ 표면적 ⑧ 활성화 에너지 ⑨ 작아져
 ⑩ 커져 ⑪ 기질 특이성 ⑫ 표면 ⑬ 광촉매

중단원 마무리 문제

280 쪽~283 쪽

- 01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ④ 05 ④ 06 ①
 07 ② 08 ③ 09 ② 10 ① 11 ④ 12 ②
 13 ④ 14 ⑤ 15 해설 참조 16 해설 참조

01 **꼼꼼** 문제 분석



충돌수는 입자 수의 곱(농도의 곱)에 비례하므로 반응 속도는 농도 곱에 비례하는 형태로 표현할 수 있다.

⑤ 단위 부피당 입자 수가 증가하면 입자 사이의 충돌수가 많아져 반응 속도가 빨라진다. 따라서 모형은 농도에 따른 반응 속도를 설명하는 모형이다. 강철 솥은 산소의 농도가 약 21 %인 공기 중에서도 순수한 산소 기체 속에서 더 빠르게 연소한다.

바로알기 ① 침에는 녹말을 분해하는 효소인 아밀레이스가 들어 있으므로, 먹다 남은 밥은 침의 효소로 인해 그대로 놓아둔 밥에 비해 쉽게 상한다. - 촉매

② 압력솥에서는 압력이 높아져 물이 100 °C보다 높은 온도에서 끓으므로 쌀이 익는 속도가 빨라져 밥이 빨리 된다. - 온도

③ 온도가 낮은 냉장고에서는 김치가 익는 속도가 느리므로 오랫동안 보관할 수 있다. - 온도

④ 암석이 기계적 풍화를 받으면 부서지면서 표면적이 커지기 때문에 화학적 풍화가 잘 일어난다. - 표면적

02 고체의 표면적이 반응 속도에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험이다. 고체의 표면적이 커지면 반응물 사이의 접촉 면적이 증가하여 입자 사이의 충돌수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

ㄴ. 입자 사이의 충돌수는 표면적이 큰 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. 반응 속도 상수(k)는 반응에 따라 고유한 값을 가지며, 고체 물질의 표면적 변화에 의해서는 변하지 않는다. 따라서 (가)와 (나)에서 반응 속도 상수는 같다.

바로알기 ㄱ. 고체의 표면적이 커져도 활성화 에너지는 변하지 않으므로 (가)와 (나)에서 활성화 에너지는 같다.

03 ㄱ. 생성된 H_2 의 부피가 일정하게 유지되는 시간, 즉 반응이 완결되는 시간이 짧을수록 반응 속도가 빠르다. 따라서 반응 속도는 T_1 에서가 T_2 에서보다 빠르므로, 온도는 T_1 이 T_2 보다 높다.

ㄷ. 온도는 활성화 에너지를 변화시키지 않으므로, 활성화 에너지는 T_1 과 T_2 에서 같다.

바로알기 ㄴ. T_1 에서가 T_2 에서보다 반응 속도가 빠르므로 반응 속도 상수(k)는 T_1 에서가 T_2 에서보다 크다.

04 ㄴ. (가)와 (다)는 반응물의 농도와 온도는 같고, 표면적이 (다)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 초기 반응 속도는 표면적이 큰 (다)에서가 (가)에서보다 빠르다.

ㄷ. (나)와 (라)에서 반응한 탄산 칼슘의 양이 같으므로 반응이 완결되었을 때 생성되는 기체의 총량(mol)은 같다.

바로알기 ㄱ. (가)와 (나)는 온도가 같으므로 반응 속도 상수(k)가 같다.

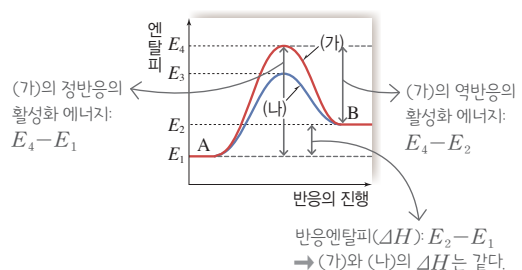
05 ㄱ. 실험 I과 II에서 I_2 의 농도를 2배로 하면 반응 속도가 2배가 된다. 따라서 실험 I과 II의 반응 속도 차이는 충돌수 때문이다.

ㄴ. 온도가 높을수록 분자의 운동 에너지가 커져 반응할 수 있는 입자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다. 따라서 실험 III에서 T_1 과 T_2 의 반응 속도 차이는 분자의 운동 에너지 때문이다.

ㄷ. 실험 I과 II에서 I_2 의 농도를 2배로 하면 반응 속도가 2배가 되고, 실험 II와 III에서 H_2 의 농도를 2배로 하면 반응 속도가 2배가 되므로 반응 속도는 $v = k[A][B]$ 이다. 즉, 반응 속도는 $[H_2]$ 와 $[I_2]$ 의 영향을 받는다.

바로알기 ㄴ. 온도가 높을수록 반응 속도가 빠르므로 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

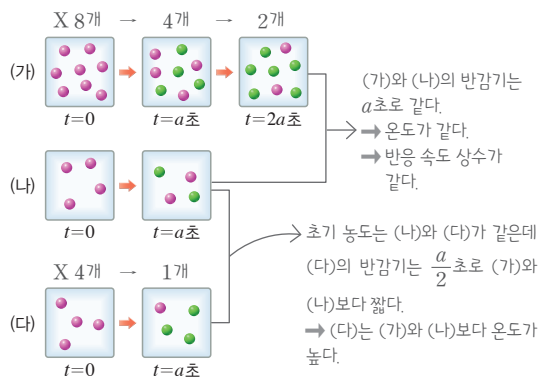


ㄱ. (가)에서 정반응의 활성화 에너지는 $E_4 - E_1$ 이고, 역반응의 활성화 에너지는 $E_4 - E_2$ 이므로 그 차이는 $(E_4 - E_1) - (E_4 - E_2) = E_2 - E_1$ 이다.

▮ **바로알기** ▮. (가)에서 온도를 높여도 활성화 에너지는 변하지 않으므로 (나)로 경로가 바뀌지 않는다.

ㄴ. (나)는 (가)보다 촉매에 의해 활성화 에너지가 $E_4 - E_3$ 만큼 감소하지만, 반응엔탈피(ΔH)는 $E_2 - E_1$ 로 변하지 않는다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. (나)와 (다)에서 초기 농도가 같은데, 반감기는 (나)에서가 a 초, (다)에서가 $\frac{a}{2}$ 초로 (나)에서가 (다)에서보다 길다. 즉, 반응 속도는 (나)에서가 (다)에서보다 느리므로 온도는 (나)에서가 (다)에서보다 낮다.

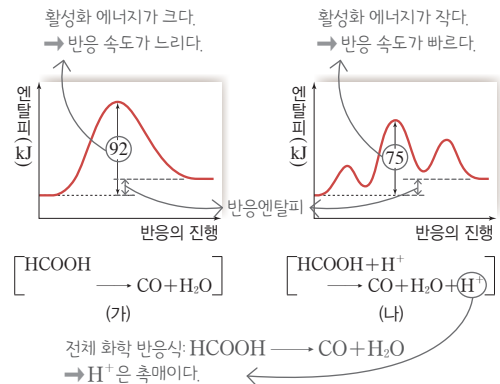
▮ **바로알기** ▮. (가)와 (나)에서 반감기가 a 초로 같으므로 반응 속도 상수(k)는 (가)와 (나)에서 같다.

ㄴ. 온도가 높아지면 분자들의 평균 속력이 커지므로 충돌수가 증가한다. 그러나 온도 상승에 따른 반응 속도 변화의 주된 요인은 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가하기 때문이다. 즉, 반응 속도는 (다)에서가 (나)에서의 2배로 빠르지만, 충돌수는 (다)에서가 (나)에서의 2배보다 작다.

08 ㄱ. ㄴ. 반응 경로 I과 II에서 A의 초기 농도와 온도가 같을 때, B의 초기 생성 속도는 반응 경로 I에서가 반응 경로 II에서보다 빠르다. 따라서 반응 경로 I에 첨가한 물질인 (다)는 정촉매이다. 정촉매는 활성화 에너지를 작게 하여 반응 속도를 빠르게 하므로 반응 경로 I의 활성화 에너지인 (가)는 185보다 작다.

▮ **바로알기** ▮. B의 초기 생성 속도는 반응 경로 I에서가 반응 경로 II에서보다 빠르므로 반응 속도 상수는 k_1 이 (나)보다 크다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. (나)가 (가)보다 반응 속도가 빠르므로 전체 반응에 대한 반응 속도 상수(k)는 (나)가 (가)보다 크다.

▮ **바로알기** ▮. (나)에서 H⁺은 활성화 에너지를 작게 하는 정촉매이다.

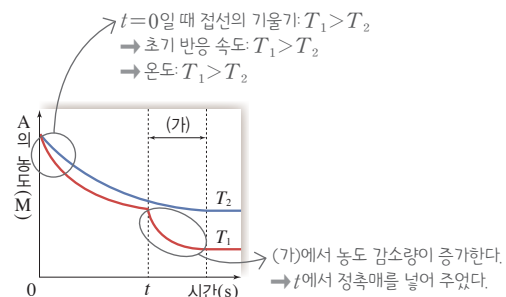
ㄴ. (가)와 (나)는 반응 경로가 다를 뿐 반응물과 생성물의 종류가 같은 동일한 반응이다. 즉, 촉매에 의해 반응 경로가 달라져도 최종 반응물과 생성물의 엔탈피는 변하지 않으므로, 반응엔탈피(ΔH)도 변하지 않는다.

10 ㄱ. E_2 가 E_1 보다 크므로 첨가한 X는 부촉매임을 알 수 있다.

▮ **바로알기** ▮. 평균 운동 에너지는 T_2 에서가 T_1 에서보다 크므로 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

ㄴ. (가)의 a 는 활성화 에너지로, 온도에 의해서는 변하지 않는다. 따라서 (가)의 a 는 T_1 과 T_2 에서 같다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. T_1 일 때 (가)에서 반응물인 A의 농도 감소량이 증가하므로 시간 t 에서 정촉매를 넣어 주었다. 따라서 t 에서 활성화 에너지가 감소한다.

ㄴ. (가)에서 반응 속도 상수는 온도가 높고 정촉매가 첨가된 T_1 에서가 T_2 에서보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $t=0$ 일 때의 순간 반응 속도가 초기 반응 속도로, $t=0$ 인 지점에서 그래프의 접선의 기울기와 같다. $t=0$ 인 지점에서 그래프의 접선의 기울기는 T_1 에서가 T_2 에서보다 크므로, 초기 반응 속도는 T_1 에서 더 크다.

12 ㄴ. 효소는 반응 경로를 다르게 할 뿐 반응에 직접 참여하지 않으므로 반응 전과 후 질량이 변하지 않는다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 효소는 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 빠르게 하는 생체 촉매이다.

ㄷ. 하나의 효소는 활성 자리가 맞는 특정 기질과만 반응하여 효소·기질 복합체를 형성한다.

13 ④ Pt은 표면 촉매로, Pt 표면에서 Pt-H 결합이 생성되고 H-H 결합이 끊어진다.

▮ **바로알기** ▮ ① 촉매에 의해 반응엔탈피는 변하지 않는다.

② C_2H_4 과 H_2 가 Pt 표면에 흡착되어 H-H 결합이 끊어지고 이 H와 C_2H_4 사이에 새로운 C-H 결합이 생성된다.

③, ⑤ 촉매는 반응물로 작용하여 소모되는 것이 아니므로 반응 전후 질량이 변하지 않는다. 또한 촉매는 반응물이나 생성물에 포함되지 않으므로 화학 반응식은 $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$ 이다.

14 ㄱ. 이산화 타이타늄은 광촉매로 가장 많이 사용되는 물질이고, 막 표면이 빛에너지를 받으면 산소, 물과 반응을 일으키므로 광촉매의 원리를 모식적으로 나타낸 것이다.

ㄴ. 광촉매가 빛에너지를 받으면 표면의 전자가 들뜬게 되고, 들뜬 전자가 이동하여 빈 공간(양공)이 생긴다. 이 전자와 양공이 흡착 물질과 산화 환원 반응을 한다.

ㄷ. (가)는 산소(O_2)가 전자를 얻어(환원) 생성된 활성 산소(O_2^-)로, 반응성이 매우 커서 유기물을 분해한다.

15 **모범답안** (1) 실험 I과 II에서 ΔH 가 같다. 촉매에 의해 물질의 엔탈피는 변하지 않으므로 생성물의 엔탈피와 반응물의 엔탈피 차이인 반응엔탈피(ΔH)는 변하지 않는다.

(2) 실험 I에서가 II에서보다 k 가 크다. k 는 온도가 높을수록 큰데, 실험 I이 II보다 온도가 높기 때문이다.

(3) 실험 II에서가 I에서보다 E_a 가 크다. 정촉매를 사용하면 E_a 가 감소하기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) ΔH 를 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	35 %
ΔH 만 옳게 비교한 경우	15 %
(2) k 를 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	35 %
k 만 옳게 비교한 경우	15 %
(3) E_a 를 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	30 %
E_a 만 옳게 비교한 경우	15 %

16 **모범답안** (1) 기질 특이성, 하나의 효소는 특정한 기질에만 결합하여 작용한다.

(2) $a-b$, 효소에 의해 반응 경로가 달라져 활성화 에너지는 $(a-b)$ 만큼 감소한다.

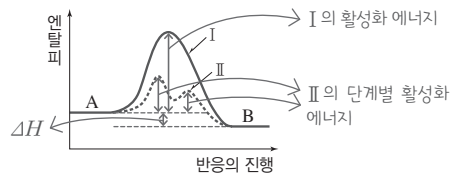
채점 기준	배점
(1) 효소의 특성을 옳게 쓰고, 그 특성을 옳게 서술한 경우	50 %
효소의 특성만 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 감소한 활성화 에너지의 크기를 옳게 구하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
감소한 활성화 에너지의 크기만 옳게 구한 경우	30 %

수능 실전 문제

284 쪽~285 쪽

01 ④ 2 ② 3 ⑤ 4 ② 5 ③ 6 ③ 7 ④

01 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

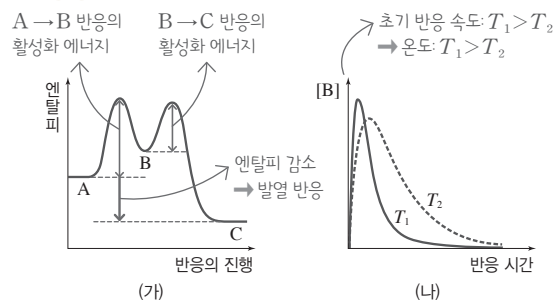
- ✕ 평형 상수 ㉠ 초기 반응 속도
 ㉡ 반응 속도 상수(k) ✕ 반응엔탈피(ΔH)

ㄴ, ㄷ. II는 I에 비해 활성화 에너지가 작은 새로운 경로로 반응이 진행되므로 반응 속도가 크다. 따라서 초기 반응 속도는 II에서가 I에서보다 크며, 반응 속도 상수도 II에서가 I에서보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 평형 상수는 온도에 의해서만 달라지므로 평형 상수는 I과 II에서 서로 같다.

ㄹ. 반응 경로가 달라져 반응 속도가 달라질 뿐 반응엔탈피(ΔH)는 I과 II에서 서로 같다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

☒ $\Delta H > 0$
 $\Delta H < 0$

☒ $k_2 > k_1$

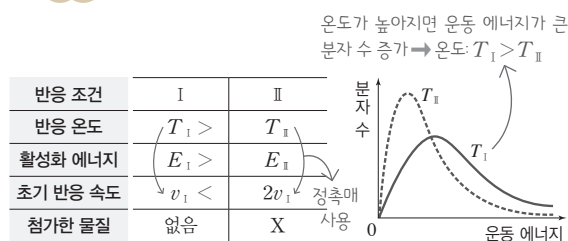
☒ $T_2 > T_1$
 $T_1 > T_2$

ㄴ. 활성화 에너지는 $A \rightarrow B$ 반응에서가 $B \rightarrow C$ 반응에서보다 크므로 반응 속도 상수는 k_2 가 k_1 보다 크다.

▣ **바로알기** ㄱ. 반응물인 A의 엔탈피가 생성물인 C의 엔탈피보다 크므로 이 반응은 발열 반응이다. 발열 반응에서 반응엔탈피(ΔH)는 0보다 작다.

ㄷ. A의 초기 농도가 같을 때 초기 반응 속도는 T_1 에서가 T_2 에서보다 크므로 온도는 T_1 이 T_2 보다 높다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

☒ $E_1 > E_2$ 이다.

☒ X는 정확해이다.

☒ I과 II에서의 반응 경로는 서로 다르다.

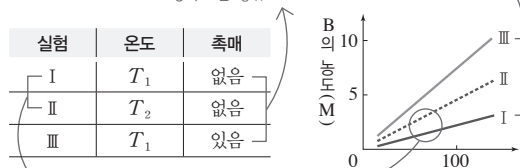
ㄱ. 온도가 $T_1 > T_2$ 인데 초기 반응 속도는 반응 조건 II에서가 반응 조건 I에서보다 크므로 활성화 에너지는 반응 조건 I에서가 반응 조건 II에서보다 크다.

ㄴ. 반응 조건 II에서의 활성화 에너지가 반응 조건 I에서의 활성화 에너지보다 작으므로 반응 조건 II에서 X는 활성화 에너지를 감소시키는 정확해이다.

ㄷ. 정확해인 X에 의해 반응 경로가 달라지므로 반응 조건 I과 반응 조건 II에서의 반응 경로는 서로 다르다.

04 **꼼꼼** 문제 분석

I과 III 비교: 촉매가 있을 때 생성된 B의 농도가 더 크다.
 $\Rightarrow$ III에서 정확해를 넣었다.



I과 II 비교: T_1 보다 T_2 일 때 생성된 B의 농도가 더 크다. $\Rightarrow$ 온도: $T_2 > T_1$

선택지 분석

☒ T_1 은 T_2 보다 높다. 낮다

☒ 반응 속도 상수는 I에서가 II에서보다 크다. 작다

☒ III의 촉매는 활성화 에너지를 감소시킨다.

ㄷ. A의 초기 농도와 온도가 일정할 때 생성물인 B의 농도가 실험 III이 실험 I보다 크므로 반응 속도는 실험 III에서가 실험 I에서보다 크다. 따라서 실험 III에서 넣어 준 촉매는 활성화 에너지를 감소시키는 정확해이다.

▣ **바로알기** ㄱ. A의 초기 농도가 일정할 때 B의 농도는 실험 II가 실험 I보다 크므로 반응 속도는 실험 II에서가 실험 I에서보다 크다. 따라서 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

ㄴ. 온도는 T_2 가 T_1 보다 높으므로 반응 속도 상수는 실험 II에서가 실험 I에서보다 크다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

실험	초기 반응 조건		0~50초 동안 생성된 C(g)의 양(몰)
	첨가한 물질	온도	
I	없음	T_1	n
II	없음	T_2	$5n$
III	X(s)	T_1	$100n$

I과 II 비교: T_1 보다 T_2 에서 반응 속도가 빠르다. $\Rightarrow$ 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

I과 III 비교: X(s)를 첨가하면 반응 속도가 빨라진다. $\Rightarrow$ X(s)는 정확해이다.

선택지 분석

☒ T_2 가 T_1 보다 높다.

☒ II에서 0~50초에서의 $-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = 8n \text{ M/s}$ 이다.

☒ III에서 X(s)는 활성화 에너지를 증가시킨다. 감소

ㄱ. 일정 시간 동안 생성되는 C(g)의 양은 실험 II에서가 I에서보다 크므로 반응 속도는 실험 II에서가 실험 I에서보다 빠르다. 즉, 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

ㄴ. 화학 반응식에서 계수의 비는 소모되거나 생성되는 물질의 몰비이므로, 반응 속도를 표현할 때 반응물이나 생성물의 농도 변화를 화학 반응식의 계수로 나누어 준다. 따라서 $-\frac{\Delta[A]}{2\Delta t} = \frac{\Delta[C]}{\Delta t}$ 의 관계가 성립한다.

실험 II에서 C가 5n몰 생성될 때 A는 10n몰 반응하며, A(aq)의 부피는 0.025 L이므로 감소한 $[A] = \frac{10n \text{ 몰}}{0.025 \text{ L}} = 400n \text{ M}$ 이다. 따라서 0~50초에서의 $-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{400n \text{ M}}{50 \text{ s}} = 8n \text{ M/s}$ 이다.

▣ **바로알기** ▣ 다. 일정 시간 동안 생성되는 C(g)의 양은 실험 III에서가 실험 I에서보다 크므로 X(s)는 활성화 에너지를 감소시키는 정촉매이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

밀폐 용기에서 기체의 부분 압력은 그 기체의 양(몰)에 비례한다.

반응 시간 (분)	온도 (K)	X의 압력 (기압)	Y의 압력 (기압)
0	T_1	3.2	0
1	T_1	1.6	0.8
2	T_1	0.8	1.2
3	T_2	0.8	x

온도가 높아졌음에도 X의 압력이 일정하므로 넣어 준 고체 촉매는 부촉매이다.

반응 몰비 = X : Y = 2 : 1
→ 화학 반응식
 $2X(g) \longrightarrow Y(g)$

선택지 분석

- ㉠ $a=2b$ 이다.
- ✕ x 는 1.2기압이다. 1.2기압보다 크다
- ㉡ 평균 반응 속도는 0~1분에서가 2분~3분에서의 4배보다 크다.

㉠. 온도와 압력이 같을 때 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례하며, 반응하거나 생성되는 기체의 몰비는 화학 반응식의 계수비와 같다. 일정 시간 동안 감소하는 X의 압력이 증가하는 Y의 압력의 2배이므로, 반응 몰비는 X : Y = 2 : 1이다. 따라서 계수비는 $a : b = 2 : 1$ 이다.

㉡. $PV=nRT$ 에서 부피(V)가 일정할 때 압력(P)은 기체의 양(n)과 온도(T)에 비례한다. 3분일 때 온도가 T_1 이라면 X의 압력은 0.4기압으로 2분일 때의 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 이때 X의 양은 0.4n몰이라고 할 수 있다. 그런데 3분에서 온도가 T_2 이고 $T_2 < 2T_1$ 이므로 온도에 의한 압력 증가는 2배보다 작다. 따라서 2분~3분 사이에 온도만 T_2 로 높아졌다면 3분일 때 X의 압력은 0.8기압보다 작아야 하는데, X의 압력이 0.8기압이므로 2분이 경과한 직후 넣어 준 촉매는 부촉매이고 부촉매의 작용으로 반응 속도가 느려져 이때의 X의 양은 0.4n몰보다 크다.

평균 반응 속도 = $\frac{\text{반응물의 농도 변화량}}{\text{반응 시간}}$ 이다.

따라서 0~1분 사이의 평균 반응 속도는 1.6n M/분이고, 반응 시간 3분에서 X의 양을 $n_{3\text{분}}$ 이라고 하면 2분~3분 사이의 평균 반응 속도는 $(0.8n - n_{3\text{분}})$ M/분이다. 3분일 때 X의 양이 0.4n몰보다 크므로($n_{3\text{분}} > 0.4n$ 몰), 2분~3분 사이의 평균 반응 속도는 0.4n M/분보다 작다.

• 0~1분 사이의 평균 반응 속도 = 1.6n M/분

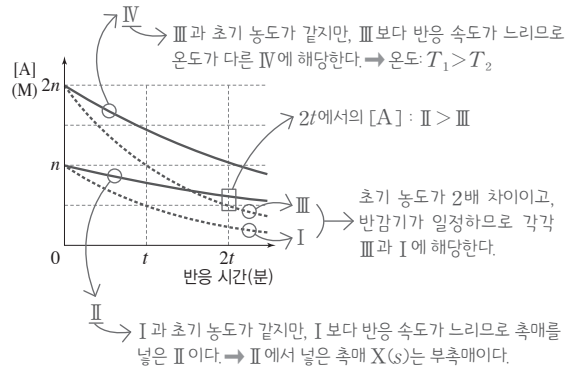
• 2분~3분 사이의 평균 반응 속도 < 0.4n M/분

따라서 평균 반응 속도는 0~1분에서가 2분~3분에서의 4배보다 크다.

▣ **바로알기** ▣ 나. 2분~3분일 때도 반응이 진행되므로 3분에서 Y의 양은 2분에서보다 많고, 온도는 T_2 로 높아진다. 부피가 일정할 때 기체의 양이 많아지고 온도가 높아지므로 3분에서 Y의 압력은 1.2기압보다 크다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

실험	I	II	III	IV
A(g)의 초기 농도(M)	n	n	$2n$	$2n$
온도	T_1	T_1	T_1	T_2
촉매	없음	X(s)	없음	없음



선택지 분석

- ✕ X(s)는 정촉매이다. 부촉매
- ㉠ 2t에서 [A]는 실험 II에서가 III에서보다 크다.
- ㉡ 반응 속도 상수(k)는 실험 III에서가 IV에서보다 크다.

나. 이 반응은 [A]에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. 따라서 초기 농도가 n M일 때 반감기가 t로 일정한 점선 그래프가 실험 I이고, 2n M일 때 반감기가 t로 일정한 점선 그래프가 실험 III이며, 초기 농도가 n M일 때의 점선 그래프가 실험 II이다. 따라서 2t에서 [A]는 실험 II에서가 III에서보다 크다.

㉡. 실험 III과 IV에서 반감기는 IV에서가 III에서보다 크므로 온도는 T_1 이 T_2 보다 높다. 따라서 반응 속도 상수(k)도 실험 III에서가 IV에서보다 크다.

▣ **바로알기** ▣ 나. 실험 II는 실험 I과 초기 농도가 같지만, 반응 속도가 더 느리므로 X(s)는 부촉매이다.





IV. 전기 화학과 이용

1

전기 화학과 이용



01 화학 전지의 원리

개념 확인 문제

292 쪽

- 1 큰 2 Zn 3 큰 4 작은 5 작은 6 큰 7 큰
8 작은

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○
3 Zn > Cu > Ag 4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○
5 (1) 반응 안 함
(2) $2\text{Ag}^+(aq) + \text{Mg}(s) \longrightarrow \text{Mg}^{2+}(aq) + 2\text{Ag}(s)$
(3) $3\text{Cu}^{2+}(aq) + 2\text{Al}(s) \longrightarrow 2\text{Al}^{3+}(aq) + 3\text{Cu}(s)$
(4) 반응 안 함
(5) $\text{Fe}^{2+}(aq) + \text{Mg}(s) \longrightarrow \text{Mg}^{2+}(aq) + \text{Fe}(s)$
(6) 반응 안 함

- 1 (1) 수소보다 반응성이 큰 금속은 자신이 산화되면서 염산의 수소 이온(H^+)을 환원시켜 수소(H_2) 기체를 발생한다.
(2) 수소보다 산화되기 어려운 금속은 H^+ 을 환원시키지 못하므로 산 수용액과 반응하지 않는다.
(3) 반응성이 큰 금속일수록 전자를 잃고 산화되기 쉽다.

- 2 (1) Mg은 전자를 잃고 산화되면서 염산 속 H^+ 을 환원시켜 H_2 기체를 발생한다.
 $\text{Mg}(s) + 2\text{H}^+(aq) \longrightarrow \text{Mg}^{2+}(aq) + \text{H}_2(g)$
(2) Mg이 염산 속 H^+ 을 환원시키므로 반응성은 Mg이 H보다 크다.
(3) Cu는 염산 속 H^+ 을 환원시키지 못하므로 반응성은 H가 Cu보다 크다.
(4) 반응성은 $\text{Mg} > \text{H} > \text{Cu}$ 이다.

- 3 Cu^{2+} 이 들어 있는 CuSO_4 수용액에 Zn판을 넣었을 때 금속이 석출되는 반응이 일어난 것으로 보아, 금속의 반응성은 $\text{Zn} > \text{Cu}$ 이다.
 $\text{Cu}^{2+}(aq) + \text{Zn}(s) \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(aq) + \text{Cu}(s)$
또, Cu^{2+} 이 들어 있는 CuSO_4 수용액에 Ag판을 넣었을 때 반응이 일어나지 않은 것으로 보아, 금속의 반응성은 $\text{Cu} > \text{Ag}$ 이다.

$\text{Cu}^{2+}(aq) + 2\text{Ag}(s) \longrightarrow$ 반응이 일어나지 않음
따라서 반응성의 크기는 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ag}$ 이다.

- 4 (1) Fe은 전자를 잃고 Fe^{2+} 으로 산화되고, Ag^+ 은 전자를 얻어 Ag으로 환원된다.
(2) Fe은 Fe^{2+} 으로 산화되면서 Ag^+ 을 Ag으로 환원시키므로 반응성은 Fe이 Ag보다 크다.
(3) NO_3^- 은 반응에 참여하지 않는 구경꾼 이온이므로 반응 전후 NO_3^- 의 수는 일정하다. 즉, NO_3^- 은 산화되거나 환원되지 않는다.
(4) Ag^+ 2개가 반응할 때 Fe^{2+} 1개가 생성되므로 수용액 속의 양이온 수는 감소한다.
 $2\text{Ag}^+(aq) + \text{Fe}(s) \longrightarrow \text{Fe}^{2+}(aq) + 2\text{Ag}(s)$

- 5 수용액 속에 양이온 상태로 들어 있는 금속의 이온화 경향이 넣어 준 금속보다 작아야 반응이 일어난다.
(1) 반응성은 $\text{Zn} > \text{Fe}$ 이므로 염화 아연 수용액에 철을 넣으면 반응이 일어나지 않는다.
 $\text{Zn}^{2+}(aq) + \text{Fe}(s) \longrightarrow$ 반응 안 함
(2) 반응성은 $\text{Mg} > \text{Ag}$ 이므로 질산 은 수용액에 마그네슘을 넣으면 다음의 반응이 일어난다.
 $2\text{Ag}^+(aq) + \text{Mg}(s) \longrightarrow \text{Mg}^{2+}(aq) + 2\text{Ag}(s)$
(3) 반응성은 $\text{Al} > \text{Cu}$ 이므로 염화 구리(II) 수용액에 알루미늄을 넣으면 다음의 반응이 일어난다.
 $3\text{Cu}^{2+}(aq) + 2\text{Al}(s) \longrightarrow 2\text{Al}^{3+}(aq) + 3\text{Cu}(s)$
(4) 반응성은 $\text{Ca} > \text{Ag}$ 이므로 질산 칼슘 수용액에 은을 넣으면 반응이 일어나지 않는다.
 $\text{Ca}^{2+}(aq) + 2\text{Ag}(s) \longrightarrow$ 반응 안 함
(5) 반응성은 $\text{Mg} > \text{Fe}$ 이므로 염화 철(II) 수용액에 마그네슘을 넣으면 다음의 반응이 일어난다.
 $\text{Fe}^{2+}(aq) + \text{Mg}(s) \longrightarrow \text{Mg}^{2+}(aq) + \text{Fe}(s)$
(6) 반응성은 $\text{Na} > \text{Ni}$ 이므로 염화 나트륨 수용액에 니켈을 넣으면 반응이 일어나지 않는다.
 $2\text{Na}^+(aq) + \text{Ni}(s) \longrightarrow$ 반응 안 함

개념 확인 문제

298 쪽

- 1 화학 전지 2 전해질 3 산화 4 환원 5 묶은 황산
6 분극 7 염다리 8 1차 9 2차

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×
3 (1) (-)극: Zn판, (+)극: Cu판 (2) (-)극: $\text{Zn}(s) \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(aq) + 2e^-$, (+)극: $\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$ (3) 증가한다.
(4) Zn판 → Cu판 4 (1) × (2) × (3) ○

- 1** (1) 화학 전지는 산화 환원 반응을 이용하여 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.
 (2) 화학 전지의 (-)극에서는 산화 반응이 일어나므로 금속이 전자를 잃는다.
 (3) 볼타 전지는 분극 현상이 일어나지만, 다니엘 전지는 분극 현상이 일어나지 않는다.

- 2** (1) 금속의 반응성은 $Zn > Cu$ 이므로 반응성이 큰 아연(Zn) 판은 전자를 잃는 산화 반응이 일어나는 산화 전극((-)극)으로 작용한다.
 (2) 금속의 반응성이 작은 Cu판에서는 도선을 따라 이동해 온 전자를 전해질 수용액 속의 H^+ 이 받는 환원 반응이 일어난다.
 (3) 화학 전지에서 전자는 (-)극에서 (+)극으로 이동하므로 ㉠은 전자의 이동 방향, ㉡은 전류의 이동 방향이다.
 (4) Zn은 전자를 잃고 산화되므로 Zn판의 질량은 감소한다. 반면, Cu판에서는 전해질 수용액 속의 H^+ 이 전자를 얻어 H_2 로 환원되므로 Cu판의 질량은 변하지 않는다.
 (5) 볼타 전지에서 일어나는 전체 반응은 $Zn(s) + 2H^+(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2(g)$ 이므로 전지 반응이 진행되면 수용액 속 양이온 수가 감소한다.

- 3** (1) 금속의 반응성은 $Zn > Cu$ 이므로 반응성이 큰 Zn판이 (-)극(산화 전극)이고, 반응성이 작은 Cu판이 (+)극(환원 전극)이다.
 (2) (-)극(산화 전극)에서는 Zn이 전자를 잃고 산화되어 수용액에 Zn^{2+} 으로 녹아 들어간다. 즉, (-)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.
 (-)극: $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$
 (+)극(환원 전극)에서는 $CuSO_4$ 수용액 속 Cu^{2+} 이 전자를 받아 Cu로 석출된다. 즉, (+)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.
 (+)극: $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$
 (3) Cu판에서는 전해질 수용액 속의 Cu^{2+} 이 Cu로 석출되는 환원 반응이 일어나므로 Cu판의 질량이 증가한다.
 (4) Zn판에서는 전자를 잃는 산화 반응이 일어나고, Cu판에서는 전자를 얻는 환원 반응이 일어나므로 전자는 Zn판에서 Cu판으로 이동한다.

- 4** (1) 1차 전지는 한 번 사용하여 방전되면 재사용할 수 없는 전지이다.
 (2) 납축전지는 방전되면 충전하여 여러 번 사용할 수 있는 2차 전지이고, 건전지는 1차 전지이다.
 (3) 리튬 이온 전지는 가볍고 에너지 밀도가 높아 휴대용 전자 기기에 많이 사용된다.

개념 확인 문제

302쪽

- ① 반쪽 전지 ② 표준 전극 전위 ③ 표준 수소 전극
 ④ 0.00 ⑤ 표준 환원 전위 ⑥ 전지 전위 ⑦ $E^\circ_{(+)\text{극}}$
 ⑧ $E^\circ_{(-)\text{극}}$
- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × 2 (1) A (2) (-)
 극: A, (+)극: C (3) +1.56 V 3 (1) (-)극: Pb, (+)극: Cu
 (2) +1.10 V 4 (1) × (2) ○ (3) ○

- 1** (1) 표준 수소 전극은 전극 전위의 기준이 되는 전극으로, 이때의 전위를 0.00 V로 정한다.
 (2) 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작을수록 산화되기 쉽다. 금속의 반응성은 전자를 잃고 산화되려는 정도를 의미하므로 표준 환원 전위가 작을수록 금속의 반응성이 크다.
 (3) 수소보다 이온화 경향이 작은 금속은 수소 이온보다 환원되기 쉬우므로 표준 환원 전위가 (+)값이다.
 (4) 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉬우므로 전자를 얻는 (+)극이 된다.
 (5) 표준 전지 전위는 (+)극의 표준 환원 전위에서 (-)극의 표준 환원 전위를 빼서 구하므로 두 전극의 표준 환원 전위 차이가 클수록 크다.
 (6) 표준 전지 전위가 (+)값일 때 자발적인 전지 반응이 일어난다.

- 2** (1) 금속의 반응성은 전자를 잃고 산화되려는 정도를 의미하므로 표준 환원 전위가 작을수록 금속의 반응성이 크다. 따라서 금속의 반응성은 $A > B > C$ 이다.
 (2) 표준 환원 전위의 차이가 클수록 전지의 표준 전지 전위가 크므로 A와 C로 이루어진 전지의 표준 전지 전위가 가장 크다. 이때 표준 환원 전위가 큰 C가 (+)극이고, 표준 환원 전위가 작은 A가 (-)극이다.
 (3) 표준 전지 전위는 (+)극의 표준 환원 전위에서 (-)극의 표준 환원 전위를 빼서 구하므로 금속 A와 C로 만든 다니엘 전지의 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 다음과 같다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} \\ = +0.80 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = +1.56 \text{ V}$$

- 3** (1) Pb와 Cu로 화학 전지를 구성할 때 표준 환원 전위가 작은 Pb이 (-)극이 되고, 표준 환원 전위가 큰 Cu가 (+)극이 된다.
 (2) 표준 전지 전위는 (+)극의 표준 환원 전위에서 (-)극의 표준 환원 전위를 빼서 구하므로 Zn과 Cu로 만든 다니엘 전지의 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 다음과 같다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} \\ = +0.34 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = +1.10 \text{ V}$$

4. (1) 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작을수록 산화되기 쉽다. 수소의 표준 환원 전위는 0.00 V이므로 수소보다 표준 환원 전위가 작은 금속인 C와 D가 수소보다 반응성이 크다.

(2) 금속 B를 (-)극으로 사용할 때 (+)극으로 사용할 수 있는 금속은 B보다 표준 환원 전위가 큰 금속이다. 즉, (+)극으로 사용할 수 있는 금속은 A이다.

(3) 표준 환원 전위가 가장 큰 금속과 표준 환원 전위가 가장 작은 금속으로 구성된 전지의 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)가 가장 크다. 따라서 A와 D로 구성된 전지의 표준 전지 전위가 가장 크다.

대표 자료 분석

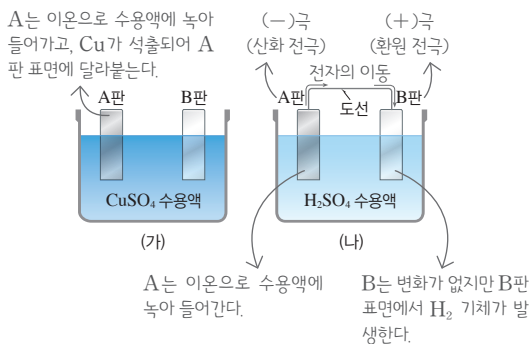
303 쪽

- 자료 1 1 A > Cu > B 2 (-)극: A판, (+)극: B판 3 (1) ×
(2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○
- 자료 2 1 (-)극: $\text{Zn(s)} \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$,
(+)극: $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu(s)}$ 2 +1.10 V
3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

1-1 꼼꼼 문제 분석

[실험 과정]

금속 A, B를 그림과 같이 장치하여 금속 표면에서 일어나는 변화를 관찰한다.



[실험 결과]

- 반응성: A > Cu → 반응성: Cu > B
(가) A판 표면에 붉은색 고체가 석출되었고, B판에서는 변화가 없었다.
(나) A판은 질량이 감소하였고, B판 표면에 기체가 발생하였다.
→ A가 이온으로 수용액에 녹아 들어가므로 → 수소 기체

(가)에서 CuSO₄ 수용액에 금속 A와 B를 각각 넣을 때 A판 표면에서만 붉은색 고체(구리)가 석출되는 것으로 보아, A는 전자를 잃고 산화되면서 Cu²⁺을 환원시킬 수 있지만 B는 Cu²⁺을 환원시키지 못함을 알 수 있다. 따라서 금속의 반응성은 A > Cu > B이다.

①-2 반응성이 큰 A판에서는 산화 반응이 일어나므로 A판은 (-)극(산화 전극)으로 작용하고, 반응성이 작은 B판에서는 환원 반응이 일어나므로 B판은 (+)극(환원 전극)으로 작용한다.

①-3 (1) (가)에서 A는 전자를 잃고 A 이온으로 산화된다.

(2) (가)의 A판에서는 수용액 속 Cu²⁺이 전자를 얻어 금속 Cu로 환원된다.

(3), (4) (나)에서 반응성이 큰 A판 표면에서는 A가 전자를 잃고 산화되면서 이온으로 되고, 전자가 도선을 따라 B판으로 이동하여 B판의 표면에서 수용액 속 H⁺이 환원되는 반응이 일어난다. 그러나 B는 반응이 일어나는 전극으로서의 역할만 하므로 수용액에 B 이온은 생성되지 않는다.

(5) (나)에서 A가 산화되면서 내놓은 전자는 도선을 따라 B판으로 이동하여 수용액 속 H⁺을 환원시킨다.

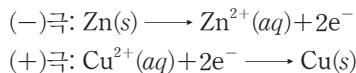
2-1 꼼꼼 문제 분석



반쪽 반응	표준 환원 전위(V)
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu(s)}$	+0.34
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Zn(s)}$	-0.76

→ 표준 환원 전위가 작은 금속이 (-)극이 되고, 표준 환원 전위가 큰 금속이 (+)극이 된다.
→ Zn판이 (-)극, Cu판이 (+)극이다.

(-)극은 산화 전극이므로 환원되기 어려운 물질이 산화되고, (+)극은 환원 전극이므로 환원되기 쉬운 물질이 환원된다. Zn과 Cu의 반응성은 Zn > Cu이므로 (-)극에서는 Zn이 산화되고, (+)극에서는 Cu²⁺이 환원되는 다음과 같은 반응이 일어난다.



②-2 전지의 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 (+)극의 표준 환원 전위에서 (-)극의 표준 환원 전위를 빼서 구한다. 따라서 $E^\circ_{\text{전지}} = +0.34 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = +1.10 \text{ V}$ 이다.

②-3 (1) Cu판에서는 Cu²⁺이 전자를 얻어 환원되어 Cu로 되므로 Cu²⁺의 농도가 감소한다. 따라서 CuSO₄ 수용액의 푸른색이 점점 없어진다.

(2) Cu판에서 기체가 발생하지 않으므로 분극 현상이 나타나지 않는다.

(3) Zn판에서 산화 반응이 일어나고, Cu판에서 환원 반응이 일어나므로 전자는 Zn판에서 도선을 따라 Cu판으로 이동한다.

(4) Zn판에서는 Zn이 산화되어 Zn^{2+} 으로 녹아 들어가 수용액 속의 양전하가 증가하므로 전하의 균형을 맞추기 위해 염다리의 음이온이 $ZnSO_4$ 수용액 쪽으로 이동한다. 또, Cu판에서는 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu로 되어 수용액 속의 양전하가 감소하므로 전하의 균형을 맞추기 위해 염다리의 양이온이 $CuSO_4$ 수용액 쪽으로 이동한다.

(5) (-)극에서는 Zn이 전자를 잃고 산화되어 Zn^{2+} 을 생성하고, (+)극에서는 Cu^{2+} 이 전자를 얻어 환원되어 Cu를 생성하므로 전지 반응이 진행될수록 수용액 속 $\frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$ 는 증가한다.

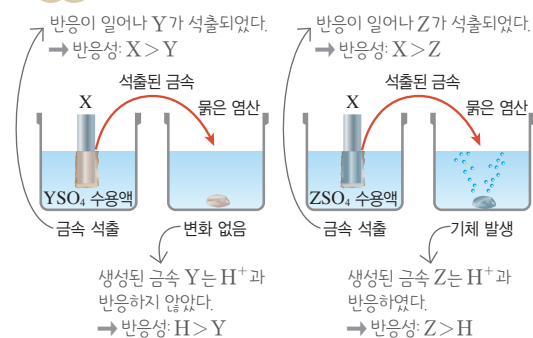
나신 만점 문제

304쪽~307쪽

01 ④	02 ④	03 ⑤	04 ②	05 ④	06 ②
07 해설 참조	08 ④	09 ⑤	10 ③	11 ④	
12 ③	13 ②	14 ③	15 B>C>A	16 ③	
17 ⑤	18 ④				

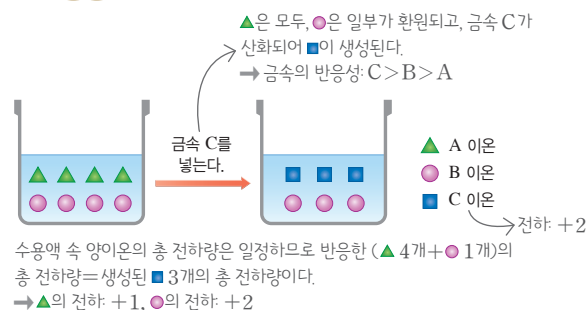
01 Fe^{2+} 이 들어 있는 수용액에 금속 A를 넣었을 때 Fe이 석출되었으므로 A가 전자를 잃고 산화되고 Fe^{2+} 이 전자를 얻어 환원되었다. 즉, 금속의 반응성은 $A > Fe$ 이다. 또, Fe^{2+} 이 들어 있는 수용액에 금속 B를 넣었을 때 반응이 일어나지 않았으므로 금속의 반응성은 $Fe > B$ 이다. 따라서 금속 A, B, Fe의 반응성은 $A > Fe > B$ 이다.

02 꼼꼼 문제 분석



묽은 염산에 넣었을 때 기체가 발생하는 Z는 수소(H)보다 반응성이 크고, 기체가 발생하지 않는 Y는 수소(H)보다 반응성이 작다. 또, X는 Z보다 반응성이 크므로 수소(H)보다 반응성이 큰 금속은 X, Z이다.

03 꼼꼼 문제 분석

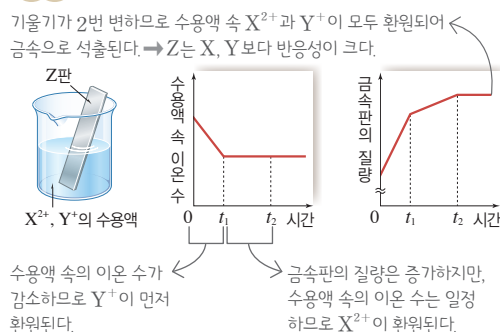


ㄴ. 수용액에 금속 C를 넣을 때 A 이온 4개와 B 이온 1개가 반응하고, C 이온이 3개 생성된다. 생성된 C 이온의 전하가 +2이므로 반응한 양이온의 총 전하량은 +6이다. 따라서 A 이온의 전하는 +1이고, B 이온의 전하는 +2이다.

ㄷ. C는 전자를 내놓고 산화되고, A 이온과 B 이온은 전자를 얻어 환원된다.

▶ **바로알기** ㄱ. 수용액에 금속 C를 넣을 때 A 이온은 모두, B 이온은 일부가 반응하여 C 이온이 생성된 것으로 보아, C가 전자를 잃고 C 이온으로 산화되면서 A 이온과 B 이온이 전자를 얻어 금속 A와 B로 환원됨을 알 수 있다. 이때 A 이온이 먼저, B 이온이 나중에 환원되므로 금속의 반응성은 $C > B > A$ 이다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 반응 시간 $t_1 \sim t_2$ 에서 Z 원자 1개가 반응하여 Z^{2+} 1개가 생성될 때 수용액 속 X^{2+} 1개가 반응하여 X 1개를 생성한다. 즉, Z판에서는 Z 원자 1개가 X 원자 1개로 치환된 것과 같다. 이때 금속판의 질량이 증가하는 것으로 보아, 원자 1개의 질량은 X가 Z보다 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 원자량은 $X > Z$ 이다.

▶ **바로알기** ㄱ. 반응 시간 $0 \sim t_1$ 에서는 이온 수가 감소하므로 Z는 Z^{2+} 으로 산화되고 Y^+ 은 Y로 환원된다.



또, 반응 시간 $t_1 \sim t_2$ 에서도 금속판의 질량 변화가 일어나므로 반응이 일어나며, 이때 수용액의 이온 수가 일정하므로 Z는 Z^{2+} 으로 산화되고 X^{2+} 은 X로 환원된다.

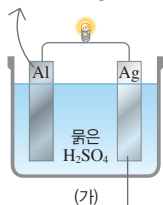


금속 Z판을 수용액에 넣을 때 반응성이 작은 금속의 이온이 먼저 환원되므로 금속의 반응성은 X가 Y보다 크다.

ㄷ. 금속의 반응성은 $Z > X > Y$ 이므로 Z^{2+} 의 수용액에 금속 Y판을 넣으면 반응이 일어나지 않는다.

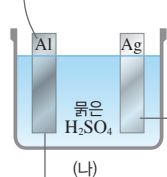
05 꼭꼭 문제 분석

반응성이 $Al > Ag$ 이므로
Al이 Al^{3+} 으로 산화된다.
 $Al \longrightarrow Al^{3+} + 3e^-$



수용액 속 H^+ 이 이동해 온 전자를 받아 H_2 로 환원된다.
 $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$

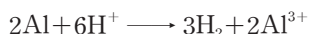
반응성이 $Al > H$ 이므로
Al이 Al^{3+} 으로 산화된다.
 $Al \longrightarrow Al^{3+} + 3e^-$



수용액 속 H^+ 은 Al이 내놓은 전자를 받아 H_2 로 환원된다.

반응성이 $H > Ag$ 이므로 변화 없다.

④ (가)와 (나)에서는 모두 다음과 같은 반응이 일어난다.



즉, H^+ 6개가 반응하여 소모될 때 Al^{3+} 2개가 생성되므로 수용액 속 양이온 수는 (가)와 (나)에서 모두 감소한다.

❶ **바로알기** ① Al은 H보다 반응성이 크므로 (가)와 (나) 모두에서 Al은 전자를 잃고 Al^{3+} 으로 산화되고, H^+ 은 전자를 얻어 H_2 로 환원된다.

② (가)와 (나)에서 Al은 전자를 잃고 Al^{3+} 으로 산화되어 수용액 속으로 녹아 들어가므로 Al판의 질량은 (가)와 (나)에서 모두 감소한다.

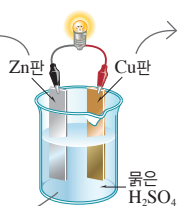
③ (가)에서 Ag판은 (+)극(환원 전극)으로 작용하므로 Ag판 표면에서는 전해질 수용액 속 H^+ 이 전자를 얻어 H_2 기체를 생성하는 반응이 일어난다. 그러나 Ag은 H보다 반응성이 작으므로 (가)와 (나) 모두에서 Ag판의 Ag은 반응하지 않는다. 따라서 Ag판의 질량은 (가)와 (나)에서 모두 변화 없다.

⑤ 황산 이온(SO_4^{2-})은 반응에 참여하지 않는 구경꾼 이온이므로 (가)와 (나)에서 그 수가 변하지 않는다.

06 꼭꼭 문제 분석

Zn이 내놓은 전자는
Cu판으로 이동한다.

Zn이 Zn^{2+} 으로 산화되어 용액 속으로 녹아 들어가므로 Zn판의 질량은 감소한다.



수용액 속의 H^+ 이 도선을 통해 이동해 온 전자를 받아 H_2 기체로 환원된다. 따라서 Cu판의 질량은 변화가 없다.
 $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$

ㄴ. Zn판이 (-)극(산화 전극)이고, Cu판이 (+)극(환원 전극)이므로 전자는 Zn판에서 Cu판으로 이동한다.

❶ **바로알기** ㄱ. Zn판의 Zn은 산화되지만, Cu판의 Cu는 변화가 없다.

ㄷ. Zn이 Zn^{2+} 으로 녹아 들어가므로 Zn판의 질량은 감소하지만, Cu판에서는 수소 기체가 발생하므로 Cu판의 질량은 변하지 않는다.

07 볼타 전지는 묽은 황산을 전해질로 사용하므로 H^+ 이 환원되어 H_2 기체가 발생하고, 발생한 H_2 기체가 (+)극인 구리판 표면에 달라붙어 전지의 전압이 급격히 떨어지는 분극 현상이 나타난다. 반면, 다니엘 전지는 금속 이온이 들어 있는 수용액을 전해질로 사용하므로 환원되어 생성되는 물질이 H_2 기체가 아닌 금속 고체이다. 따라서 분극 현상이 나타나지 않는다.

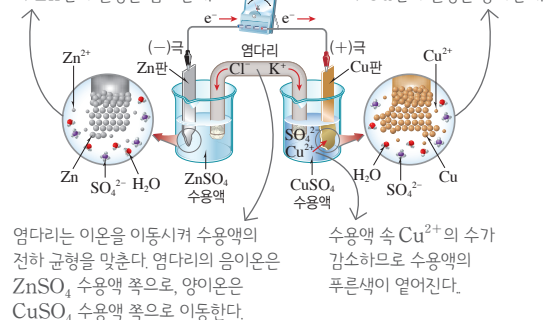
모범답안 볼타 전지는 묽은 황산을 전해질로 사용하므로 H_2 기체가 발생하여 분극 현상이 나타난다. 그러나 다니엘 전지는 금속 이온이 들어 있는 수용액을 전해질로 사용하므로 H_2 기체가 발생하지 않아 분극 현상이 나타나지 않는다.

채점 기준	배점
다니엘 전지에서는 H_2 기체가 발생하지 않아 분극 현상이 나타나지 않는다고 서술한 경우	100 %
분극 현상을 방지하기 위해서라고만 서술한 경우	50 %

08 꼭꼭 문제 분석

Zn이 Zn^{2+} 으로 산화되어 용액 속으로 녹아 들어간다.
→ Zn판의 질량은 감소한다.

Cu^{2+} 이 Cu로 환원되어 Cu판에 달라붙는다.
→ Cu판의 질량은 증가한다.



Zn이 Cu보다 반응성이 크므로 Zn판이 (-)극(산화 전극)이고, Cu판이 (+)극(환원 전극)이다. (-)극에서는 Zn이 전자를 잃어 Zn^{2+} 으로 산화되고, (+)극에서는 Cu^{2+} 이 전자를 얻어 Cu로 환원된다.

ㄴ. (+)극인 Cu판에서는 Cu^{2+} 이 전자를 얻어 Cu로 환원된다.
 $Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$

이때 수용액 속 Cu^{2+} 의 농도가 점점 감소하므로 $CuSO_4$ 수용액의 푸른색이 점점 없어진다.

ㄷ. (-)극인 Zn판에서는 Zn이 전자를 잃어 Zn^{2+} 으로 산화된다.
 $Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$

Zn 원자 1개가 산화되어 수용액 속으로 녹아 들어갈 때 Cu^{2+} 1개가 환원되어 Cu로 석출된다. 이때 원자량은 $Zn > Cu$ 이므로 두 전극의 질량의 합은 감소한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 염다리는 염화 칼륨(KCl), 질산 칼륨(KNO_3) 등을 채운 관으로, 전지 반응이 일어날 때 염다리 속의 음이온은 $ZnSO_4$ 수용액 쪽으로 이동하고, 양이온은 $CuSO_4$ 수용액 쪽으로 이동하여 양쪽 수용액의 전하 균형을 맞추는 역할을 한다. 전지는 외부 도선을 통해 (-)극인 Zn판에서 (+)극인 Cu판으로 이동한다.

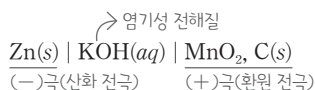
09 망가니즈 건전지의 (-)극은 아연통, (+)극은 탄소 막대, 전해질로는 이산화 망가니즈, 염화 암모늄, 흑연 가루의 반죽을 사용한다.

ㄱ. 아연통은 (-)극(산화 전극)으로, Zn이 Zn^{2+} 으로 산화되므로 아연통의 질량은 점점 감소한다.

ㄴ. 탄소 막대는 (+)극(환원 전극)으로, H^{+} 이 H_2 로 환원되는 반응이 일어난다.

ㄷ. MnO_2 는 감극제로, H_2 를 H_2O 로 산화시켜 분극 현상을 방지한다.

10 **꼭** 문제 분석



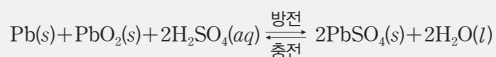
ㄱ. 알칼리 건전지는 한 번 사용하여 방전되면 재사용할 수 없는 1차 전지이다.

ㄷ. 알칼리 건전지는 전해질이 염기성 물질인 KOH이므로 아연통이 부식되지 않는다.

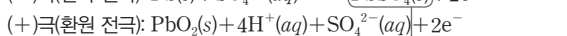
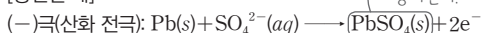
▮ **바로알기** ▮ ㄴ. Zn이 Zn^{2+} 으로 산화되는 극은 (-)극이다. (+)극에서는 MnO_2 가 Mn_2O_3 로 환원된다.

11 **꼭** 문제 분석

납축전지가 충전, 방전될 때 전체 반응식은 다음과 같다.



[방전될 때]



H^{+} 이 H_2O 로 되므로
 H^{+} 의 수가 감소한다.

ㄴ. 납축전지가 방전될 때 두 전극에서 모두 생성되는 황산 납($PbSO_4$)은 물에 녹지 않으며, 두 전극을 이루는 Pb이나 PbO_2 보다 무거우므로 두 전극의 질량이 모두 증가한다.

ㄷ. 납축전지가 방전될 때 H_2SO_4 이 소모되므로 수용액의 H^{+} 농도가 감소하여 pH가 커진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 화학 전지에서 산화가 일어나는 전극은 전자를 공급하는 (-)극이다. 납축전지에서 Pb판은 산화되므로 (-)극으로 작용한다.

12 ① 리튬 이온 전지는 (-)극은 흑연(C), (+)극은 리튬 코발트 산화물($LiCoO_2$), 전해질로 유기 용매가 사용된 2차 전지이다.

② 리튬 이온 전지는 가볍고 에너지 저장 능력이 매우 커서 휴대용 전자 기기에 많이 사용된다.

④ 리튬 이온 전지를 충전할 때는 Li^{+} 이 (+)극에서 (-)극으로 이동하고, 방전할 때는 Li^{+} 이 (-)극에서 (+)극으로 이동한다.

⑤ 리튬 이온 전지에 폴리머(고분자 중합체) 상태의 전해질을 사용한 리튬-폴리머 전지는 다른 전지들에 비해 성능이 뛰어나다.

▮ **바로알기** ▮ ③ Li은 원자량이 가장 작은 금속이므로 다른 2차 전지에 비해 가볍다.

13 ① 표준 수소 전극은 전극 전위의 기준이 되는 것으로, 이때의 전위는 0.00 V이다.

③ 표준 전극 전위는 25 °C, 1기압, 1 M 수용액, 즉 표준 상태 일 때의 전극 전위이다.

④ 표준 환원 전위는 표준 수소 전극과 연결하여 측정한 반쪽 전지의 환원 전위이다. 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 작을수록 산화되기 쉽다.

⑤ 표준 전지 전위는 25 °C에서 전해질 수용액의 농도가 1 M, 기체의 압력이 1기압일 때 두 반쪽 전지를 연결한 화학 전지의 전위로, (+)극과 (-)극의 표준 환원 전위 차이로 구한다.

▮ **바로알기** ▮ ② 금속의 반응성은 전자를 잃고 산화되려는 정도를 의미하므로 반응성이 큰 금속일수록 표준 환원 전위가 작다.

14 ㄱ. 표준 환원 전위(E°)가 클수록 환원되기 쉽다. 따라서 환원되기 가장 쉬운 금속의 양이온은 E° 가 가장 큰 Cu^{2+} 이다.

ㄴ. E° 가 작을수록 금속의 반응성이 크다. 즉, 산화되기 쉽다. 수소의 E° 는 0.00 V이므로 E° 가 0.00 V보다 작은 Zn과 Fe은 수소보다 산화되기 쉽다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 표준 전지 전위($E^{\circ}_{\text{전지}}$)는 (+)극(환원 전극)의 E° 에서 (-)극(산화 전극)의 E° 를 뺀 값이다. Zn과 Cu를 전극으로 하는 다니엘 전지에서 (-)극은 Zn이고, (+)극은 Cu이므로 $E^{\circ}_{\text{전지}}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E^{\circ}_{\text{전지}} &= E^{\circ}_{(+)\text{극}} - E^{\circ}_{(-)\text{극}} \\ &= +0.34 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = +1.10 \text{ V} \end{aligned}$$

15 금속의 반응성은 전자를 잃고 산화되려는 정도를 의미하므로 반응성이 큰 금속일수록 표준 환원 전위가 작다. A~C 중 D와의 전지에서 전지 전위가 가장 작게 측정된 B의 표준 환원 전위가 가장 작고, 전지 전위가 가장 크게 측정된 A의 표준 환원 전위가 가장 크다. 따라서 금속의 반응성 크기는 $B > C > A$ 이다.

16 ㄱ. 표준 환원 전위(E°)가 클수록 환원되기 쉽다. 즉, 금속의 반응성은 표준 환원 전위가 작은 B가 A보다 크다. 따라서 $A^{2+}(aq)$ 에 B(s)를 넣으면 반응성이 큰 B가 산화되면서 A^{2+} 이 환원되는 산화 환원 반응이 일어난다.



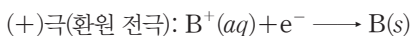
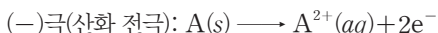
ㄴ. B의 E° 는 H의 E° 보다 작으므로 B는 H보다 반응성이 크다. 따라서 B의 반쪽 전지를 표준 수소 전극에 연결하면 B 전극에서 산화 반응이 일어난다.

▶ **바로알기** ㄴ. A의 E° 는 표준 수소 전극의 전위보다 크므로 A는 H보다 반응성이 작다. 따라서 $HCl(aq)$ 에 A(s)를 넣으면 반응이 일어나지 않는다.

17 ㄱ. 표준 환원 전위(E°)가 큰 쪽이 (+)극(환원 전극)이 되고, 표준 환원 전위가 작은 쪽이 (-)극(산화 전극)이 되므로 A와 B를 전극으로 하는 화학 전지에서 A는 (-)극(산화 전극)이고 B는 (+)극(환원 전극)이다. 따라서 전자는 외부 도선을 따라 A에서 B로 이동한다.

ㄴ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 (+)극(환원 전극)의 E° 에서 (-)극(산화 전극)의 E° 를 뺀 값이다. 따라서 이 전지의 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$) = $+0.80 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = +1.56 \text{ V}$ 이다.

ㄷ. 이 전지의 전극 반응은 다음과 같다.



전지 반응이 진행될 때 A^{2+} 의 농도는 증가하고, B^+ 의 농도는 감소하므로 $\frac{[A^{2+}]}{[B^+]}$ 는 증가한다.

18 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 (+)극(환원 전극)의 E° 에서 (-)극(산화 전극)의 E° 를 뺀 값이며, $E^\circ_{\text{전지}}$ 가 (+)값이면 전지 반응이 자발적으로 일어나고 (-)값이면 전지 반응이 자발적으로 일어나지 않는다.

$$\textcircled{1} E^\circ_{\text{전지}} = -0.76 \text{ V} - (-1.66 \text{ V}) = +0.90 \text{ V}$$

$$\textcircled{2} E^\circ_{\text{전지}} = +0.34 \text{ V} - (-1.66 \text{ V}) = +2.00 \text{ V}$$

$$\textcircled{3} E^\circ_{\text{전지}} = +0.80 \text{ V} - (-1.66 \text{ V}) = +2.46 \text{ V}$$

$$\textcircled{4} E^\circ_{\text{전지}} = -0.76 \text{ V} - (+0.34 \text{ V}) = -1.10 \text{ V}$$

$$\textcircled{5} E^\circ_{\text{전지}} = +0.80 \text{ V} - (+0.34 \text{ V}) = +0.46 \text{ V}$$

따라서 $E^\circ_{\text{전지}} < 0$ 인 $\textcircled{4}$ 의 경우는 반응이 자발적으로 일어나지 않는다.

02 전기 분해의 원리

개념 확인 문제

311쪽

- ① 전기 분해 ② 음 ③ 양 ④ 물(H_2O) ⑤ 물(H_2O)
 ⑥ 산소(O_2) ⑦ 수소(H_2) ⑧ (+)(산화 전극) ⑨ (-)(환원 전극)
 ⑩ (+)(산화 전극) ⑪ (-)(환원 전극)

1 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 2 (1) (+)극: Cl_2 , (-)극: Cu
 (2) (+)극: Cl_2 , (-)극: Na (3) (+)극: O_2 , (-)극: Cu (4) (+)극:
 O_2 , (-)극: H_2 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 4 (1) ㉠ 산
 화 ㉡ 환원 (2) ㉠ 큰 ㉡ 작은

1 (1) 전기 분해는 전기 에너지를 이용하여 산화 환원 반응을 일으켜 물질을 분해하는 반응이다.

(2) 전해질 용융액을 전기 분해할 때 (-)극에서는 항상 전해질의 양이온이 환원된다.

(3) 전해질 수용액을 전기 분해할 때 (-)극에서 물이 환원되면 수소 기체와 함께 OH^- 이 생성되므로 (-)극 주변의 pH는 커진다.

(4) 물을 전기 분해할 때 염화 나트륨을 넣어 주면 (+)극에서는 염소 기체가 생성되므로 염화 나트륨은 적절한 전해질이 아니다.

2 전해질 용융액을 전기 분해하면 (+)극에서는 전해질의 음이온이 산화되고, (-)극에서는 전해질의 양이온이 환원된다.

전해질 수용액을 전기 분해하면 F^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , NO_3^- 등이 녹아 있는 경우 (+)극에서 물이 산화되어 O_2 기체가 발생하고, Li^+ , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , NH_4^+ 등이 녹아 있는 경우 (-)극에서 물이 환원되어 H_2 기체가 발생한다.

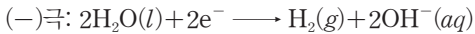
(1) 염화 구리(II)($CuCl_2$) 용융액을 전기 분해하면 (+)극에서는 Cl_2 기체가 발생하고, (-)극에서는 고체 Cu가 생성된다.

(2) 염화 나트륨($NaCl$) 용융액을 전기 분해하면 (+)극에서는 Cl_2 기체가 발생하고, (-)극에서는 액체 Na이 생성된다.

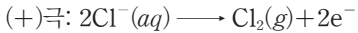
(3) 황산 구리(II)($CuSO_4$) 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서는 SO_4^{2-} 대신 물이 산화되어 O_2 기체가 발생하고, (-)극에서는 고체 Cu가 생성된다.

(4) 황산 나트륨(Na_2SO_4) 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서는 SO_4^{2-} 대신 물이 산화되어 O_2 기체가 발생하고, (-)극에서는 Na^+ 대신 물이 환원되어 H_2 기체가 발생한다.

3 (1), (3) $NaCl$ 수용액을 전기 분해하면 (-)극에서는 물이 환원되어 H_2 기체가 발생한다. 이때 OH^- 이 함께 생성되어 수용액의 액성이 염기성이 되므로 (-)극 주변에 BTB 용액을 떨어뜨리면 파란색을 띤다.



(2), (4) NaCl 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서는 Cl^- 이 산화되어 Cl_2 기체가 발생한다. 따라서 (+)극 막대의 질량은 변하지 않는다.



4 (1) 은 도금 시 Ag을 (+)극에, 도금할 물체를 (-)극에 연결하여 전류를 흘려 주면 (+)극에서 Ag이 Ag^+ 으로 산화되어 수용액에 녹아 들어가고, (-)극에서 Ag^+ 이 Ag으로 환원되어 물체에 도금된다.

(2) 구리의 제련 시 (+)극의 구리판에 포함된 불순물 중 구리보다 반응성이 큰 금속은 산화되어 수용액 속에 이온 상태로 존재하고, 구리보다 반응성이 작은 금속은 산화되지 않고 찌꺼기로 남는다.

개념 확인 문제

314 쪽

- ① 수소 연료 전지 ② (-)산화 전극, 연료극 ③ (+)환원 전극, 공기극 ④ 탄소 ⑤ 수소(H_2) ⑥ 산소(O_2) ⑦ 물 (H_2O) ⑧ 광분해

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ 2 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ 4 (1) A: 산소(O_2), B: 수소(H_2) (2) 산화: 광촉매 전극, 환원: 백금 전극

1 (1) 수소 연료 전지는 수소를 연료로 하여 화학 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 장치이다.

(2) 연료 전지는 기존의 화학 전지와는 달리 연료를 외부에서 계속적으로 공급하는 화학 전지이다.

(3) 수소 연료 전지에서 연료는 수소이고, 산소는 수소를 산화시키는 산화제이다.

(4) 수소 연료 전지는 연료가 외부에서 공급되면 계속 사용할 수 있으므로 충전할 필요가 없다.

(5) 수소 연료 전지는 최종 생성물이 물이므로 환경오염 물질을 배출하지 않는다.

2 수소 연료 전지에서 (-)극으로는 H_2 기체를 공급하고, (+)극으로는 O_2 기체를 공급한다.

(1) (-)극은 산화 전극이므로 H_2 가 전자를 내놓고 산화된다.

(2) (+)극은 환원 전극이므로 O_2 가 전자를 얻어 환원된다.

(3) (-)극 쪽에서 생성된 H^+ 은 (+)극 쪽으로 이동하여 O_2 와 반응하여 물을 생성한다.

(4) 최종 생성물이 물이므로 환경오염 물질을 배출하지 않는다.

3 (1) 수소 연료 전지는 에너지 효율이 40 % ~ 60 % 정도로, 화석 연료에 비해 높다.

(2) 수소 연료 전지는 운송수단뿐만 아니라 가정용 발전, 산업용 발전, 휴대용 전자 기기의 전지 등에 이용할 수 있어 활용 범위가 넓다.

(3) 물을 전기 분해하여 수소를 제조하는 방법은 전기 에너지가 많이 소모되므로 비용이 많이 든다.

(4) 화석 연료와 수증기를 반응시켜 수소를 얻는 방법은 많은 양의 이산화 탄소를 배출하므로 지구 온난화와 기후 변화 등의 문제를 일으킨다.

(5) 수소는 가연성이 있어 폭발 위험성이 있다. 따라서 수소 연료 전지를 실용화하려면 연료인 수소의 안전성 확보가 필요하다.

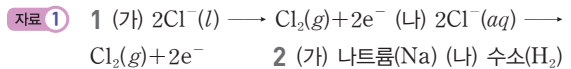
4 광촉매 전극에 빛을 쬌어 주면 광촉매 전극에서 물이 전자를 내놓고 산소로 산화되고, 전자는 외부 도선을 따라 백금 전극으로 이동하여 수소 이온을 수소 기체로 환원시키므로 수소를 얻을 수 있다.

(1) A에서는 산소(O_2), B에서는 수소(H_2)가 생성된다.

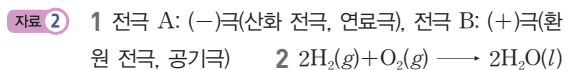
(2) 광촉매 전극에서는 산화 반응이, 백금 전극에서는 환원 반응이 일어난다.

대표 자료 분석

315 쪽

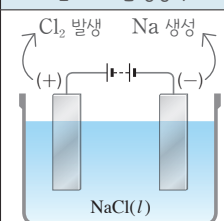
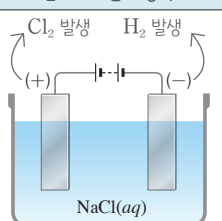


- 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) × (6) ○



- 3 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

①-1 **문제 분석**

구분	염화 나트륨 용융액	염화 나트륨 수용액
전기 분해 장치	 (가)	 (나)
(+)극	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2e^-$	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2e^-$
(-)극	$\text{Na}^+ + e^- \longrightarrow \text{Na}$	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

전해질 용융액을 전기 분해하면 (+)극에서는 음이온이 끌려와 전자를 잃고 산화된다. 또, 전해질 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서는 물과 전해질의 음이온 중에서 산화되기 쉬운 물질이 먼저 산화된다. 따라서 (가)와 (나)의 (+)극에서는 공통적으로 Cl^- 이 전자를 잃고 산화되어 Cl_2 기체가 발생하는 반응이 일어난다.
 (가)의 (+)극(산화 전극): $2\text{Cl}^-(l) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + 2e^-$
 (나)의 (+)극(산화 전극): $2\text{Cl}^-(aq) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + 2e^-$

①-2 (가)는 전해질 용융액이므로 (-)극에서는 전해질의 양이온이 끌려와 전자를 얻어 환원된다. 즉, Na^+ 이 전자를 얻어 환원되어 액체 Na이 생성된다.

(-)극(환원 전극): $\text{Na}^+(l) + e^- \longrightarrow \text{Na}(l)$

(나)는 전해질 수용액이므로 (-)극에서는 물과 전해질의 양이온 중에서 환원되기 쉬운 물질(표준 환원 전위가 큰 물질)이 먼저 환원된다. 따라서 물이 환원되어 H_2 기체가 발생한다.

(-)극(환원 전극): $2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$

①-3 (1) 전기 분해 장치의 (+)극에서는 전자를 잃는 산화 반응이 일어나고, (-)극에서는 전자를 얻는 환원 반응이 일어난다.

(2) (나)의 (-)극에서는 Na^+ 대신 물이 환원되어 H_2 기체가 발생한다.

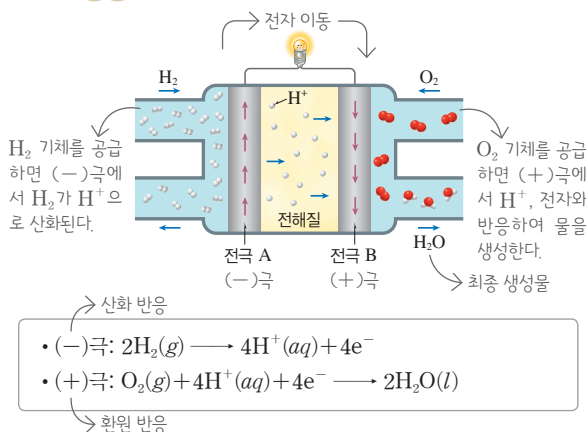
(3) (가)와 (나)의 (+)극에서는 공통적으로 Cl^- 이 전자를 잃고 산화되어 Cl_2 기체가 생성된다.

(4) (가)의 (-)극에서는 액체 Na이 생성되고, (나)의 (-)극에서는 H_2 기체가 발생한다.

(5) (가)에서는 (나)에서와 달리 OH^- 이 생성되지 않으므로 pH가 커지지 않는다.

(6) (나)에서는 (-)극에서 물이 환원될 때 H_2 기체와 함께 OH^- 이 생성되므로 (-)극 주변의 pH는 커진다.

②-1 **꼼꼼** 문제 분석



전극 A에서는 H_2 기체가 전자를 잃는 산화 반응이 일어나므로 전극 A는 (-)극(산화 전극, 연료극)이다. 또, 전극 B에서는 O_2 기체가 전자를 얻는 환원 반응이 일어나므로 전극 B는 (+)극(환원 전극, 공기극)이다.

②-2 수소 연료 전지의 각 전극에서 일어나는 반쪽 전지 반응을 더하면 다음과 같다.

(-)극(산화 전극, 연료극): $2\text{H}_2(g) \longrightarrow 4\text{H}^+(aq) + 4e^-$

(+)극(환원 전극, 공기극): $\text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^-$

$\longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$

전체 반응: $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$

②-3 (1) 전극 A는 (-)극이므로 H_2 기체가 전자를 잃는 산화 반응이 일어난다.

(2) 전극 B는 (+)극이므로 O_2 가 환원되어 물이 생성된다.

(3) 전극 A는 (-)극이고, 전극 B는 (+)극이므로 전자는 전극 A에서 도선을 따라 전극 B로 이동한다.

(4), (5) 전지 반응의 전체 반응은 수소와 산소가 반응하여 물을 생성하는 반응이다. 따라서 전체 반응식은 수소의 연소 반응식과 같다.

내신 만점 문제

316 쪽 ~ 318 쪽

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

01 ① 전기 분해는 전기 에너지를 이용하여 (-)극에서는 물질을 환원시키고, (+)극에서는 물질을 산화시켜 분해 생성물을 얻는 반응이다.

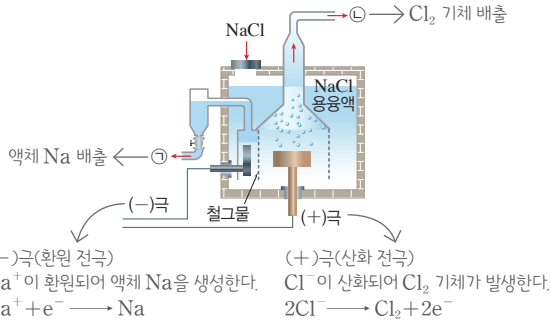
③ 전해질 용융액을 전기 분해할 때 용융액 속에는 전해질의 양이온과 음이온만 존재하므로 (+)극에서는 항상 전해질의 음이온이 산화된다.

④ 순수한 물은 전기를 통하지 않으므로 KNO_3 , Na_2SO_4 등과 같은 전해질을 조금 넣어 분해한다.

⑤ 전기 분해로 금속을 제련하여 불순물이 포함된 금속에서 순수한 금속을 얻거나, 금속의 표면에 다른 금속을 입히는 도금을 할 수 있다.

▮ 바로알기 ▮ ② 전해질 수용액을 전기 분해할 때 (-)극에서는 전해질의 양이온과 물 분자 중에서 환원되기 쉬운 것(표준 환원 전위가 큰 것)이 먼저 환원된다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



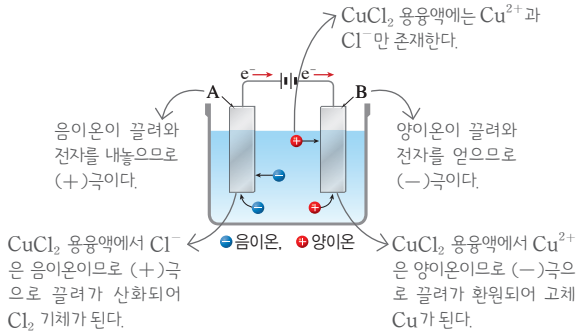
NaCl 용융액에는 Na⁺과 Cl⁻만 존재하므로 (-)극에서는 Na⁺이 전자를 얻어 액체 Na이 되고, (+)극에서는 Cl⁻이 전자를 잃고 Cl₂ 기체가 발생한다.

(-)극(환원 전극): $\text{Na}^+(l) + e^- \longrightarrow \text{Na}(l)$

(+)극(산화 전극): $2\text{Cl}^-(l) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + 2e^-$

따라서 (-)극(환원 전극)에서 생성되어 ㉠으로 배출되는 물질은 Na이고, (+)극(산화 전극)에서 생성되어 ㉡으로 배출되는 물질은 Cl₂이다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



CuCl₂ 용융액에는 Cu²⁺과 Cl⁻만 존재하므로 (+)극에서는 음이온인 Cl⁻이 Cl₂로 산화되고, (-)극에서는 양이온인 Cu²⁺이 Cu로 환원된다.

(+)극(산화 전극): $2\text{Cl}^-(l) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + 2e^-$

(-)극(환원 전극): $\text{Cu}^{2+}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$

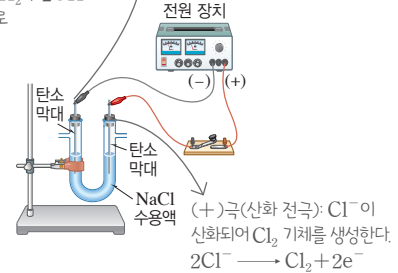
모범답안 전극 A: 염화 이온(Cl⁻)이 산화되어 염소(Cl₂) 기체가 발생한다.

전극 B: 구리 이온(Cu²⁺)이 환원되어 고체 구리(Cu)가 생성된다.

채점 기준	배점
전극 A와 B에서 일어나는 반응을 생성 물질을 포함하여 모두 옳게 서술한 경우	100 %
전극 A와 B 중 한 극에서 일어나는 반응만 생성 물질을 포함하여 옳게 서술한 경우	40 %
전극 A와 B에서 생성되는 물질만 옳게 쓴 경우	

04 **꼼꼼** 문제 분석

(-)극(환원 전극): Na⁺보다 물이 환원되기 쉬우므로 물이 대신 환원되어 H₂ 기체를 생성한다.
 $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
 → OH⁻이 생성되므로 염기성을 나타낸다.



(-)극에서는 물과 전해질의 양이온 중에서 환원되기 쉬운 물질(표준 환원 전위가 큰 물질)이 먼저 환원된다. 따라서 물이 환원되어 H₂ 기체가 발생한다.

(-)극(환원 전극): $2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$

(+)극에서는 Cl⁻이 전자를 잃고 산화되어 Cl₂ 기체가 발생한다.

(+)극(산화 전극): $2\text{Cl}^-(aq) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + 2e^-$

05 ㄷ. 반응이 진행될 때 (-)극에서 H₂ 기체와 함께 OH⁻이 생성되므로 (-)극 주변 수용액의 pH는 증가한다.

▮ 바로알기 ▮ ㄱ. (+)극에서는 Cl⁻이 전자를 잃고 산화되는 반응이 일어난다.

ㄴ. Na⁺보다 H₂O이 환원되기 쉬우므로 (-)극에서는 H₂O이 환원되어 H₂ 기체가 발생한다. 따라서 (-)극 막대의 질량은 변하지 않는다.

06 • (-)극(환원 전극): 구리 전극의 표면에서 Cu²⁺이 전자를 얻어 환원된다.

$\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$

• (+)극(산화 전극): 백금 전극의 표면에서 SO₄²⁻ 대신 물이 산화되어 O₂ 기체가 발생한다.

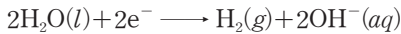
$2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^-$

ㄱ. (+)극에서는 물이 산화되어 O₂가 발생하는데, 이때 H⁺도 함께 생성되므로 수용액 속 H⁺ 농도가 커져 수용액의 pH는 작아진다.

ㄴ. 구리 전극의 표면에서 Cu²⁺이 환원되어 금속 Cu로 석출되므로 구리 전극의 질량이 증가한다.

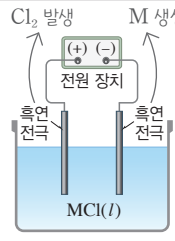
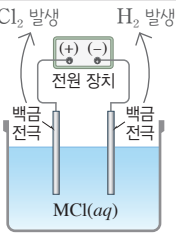
▮ 바로알기 ▮ ㄷ. 백금 전극은 반응성이 작아 자신은 전자를 전달만 하고 수용액 속 물이 산화되어 산소 기체가 발생한다.

07 전해질 수용액을 전기 분해할 때 (-)극에서 H₂ 기체가 발생하는 경우는 물이 환원된 경우이다.



물이 환원된 것으로 보아 전해질의 양이온이 물보다 환원되기 어려운 경우이므로 전해질의 양이온은 이온화 경향이 큰 금속의 양이온이다. 따라서 X로 적절한 것은 NaNO_3 , KI , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 이다.

08 꼭꼭 문제 분석

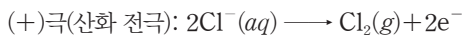
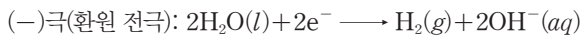
구분	MCl 용융액	MCl 수용액
전기 분해 장치	 (가)	 (나)
(+)극	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2e^-$	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2e^-$
(-)극	$\text{M}^+ + e^- \longrightarrow \text{M}$	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
	(-)극의 질량이 증가한다. ←	pH가 증가한다. ←

- 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽다. ←
- $\text{M}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{M}(s) \quad E^\circ = -2.71 \text{ V}$
 - $2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq) \quad E^\circ = -0.83 \text{ V}$
 - $\text{Cl}_2(g) + 2e^- \longrightarrow 2\text{Cl}^-(aq) \quad E^\circ = +1.36 \text{ V}$

(가)의 MCl 용융액에는 M^+ 과 Cl^- 만 존재한다. 따라서 (-)극에서는 M^+ 이 끌려와 전자를 얻어 환원되고, (+)극에서는 Cl^- 이 끌려와 전자를 잃고 산화된다.



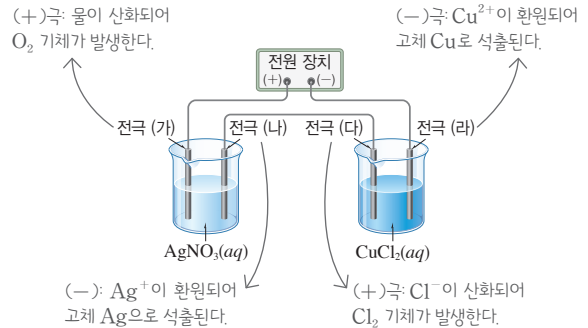
(나)의 MCl 수용액에는 전해질의 M^+ 과 Cl^- 뿐만 아니라 물도 존재한다. 따라서 (-)극에서는 M^+ 과 물 중에서 환원되기 쉬운 물질, 즉 표준 환원 전위가 더 큰 물이 환원된다. 또, (+)극에서는 Cl^- 과 물 중에서 산화되기 쉬운 물질, 즉 Cl^- 이 끌려와 전자를 잃고 산화된다.



ㄱ. (가)와 (나)의 (+)극에서는 공통적으로 Cl^- 이 끌려와 전자를 잃고 산화되어 Cl_2 기체가 발생한다. 따라서 (+)극에서 생성되는 물질은 (가)와 (나)에서 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ, ㄷ. (가)의 (-)극에서는 M^+ 이 전자를 얻어 금속 M이 석출되므로 pH는 변화 없고, 전극의 질량이 증가한다. (나)의 (-)극에서는 물이 환원되어 H_2 기체가 생성되고, 이때 OH^- 도 함께 생성되므로 (-)극 주변의 pH는 커지고, 전극의 질량은 변하지 않는다.

09 꼭꼭 문제 분석



[실험 결과]

- (가)와 (다)에서 기체가 발생하였다. → (가) O_2 , (다) Cl_2 발생
- (나)와 (라)에서 금속이 석출되었다. → (나) Ag, (라) Cu 석출

전극 (가)~(라)의 반쪽 반응은 다음과 같다.

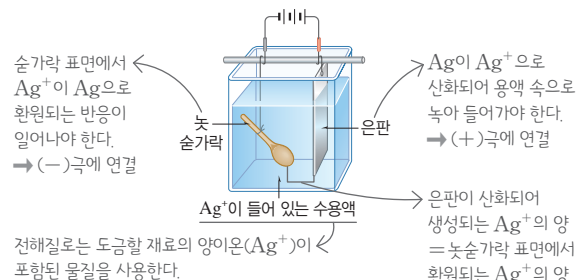
전극	반쪽 반응
(가)	(+)극 $2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^-$
(나)	(-)극 $\text{Ag}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s)$
(다)	(+)극 $2\text{Cl}^-(aq) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + 2e^-$
(라)	(-)극 $\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$

ㄷ. (가)에서는 $2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^-$ 반응이 일어나 전자 4몰의 이동에 의해 O_2 기체 1몰이 발생하고, (다)에서는 $2\text{Cl}^-(aq) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + 2e^-$ 반응이 일어나 전자 2몰의 이동에 의해 Cl_2 기체 1몰이 발생한다. 따라서 같은 양의 전류가 흘렀을 때 발생하는 기체의 부피비는 (가) : (다) = 1 : 2이다.

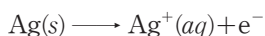
▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)는 (+)극이므로 전자를 잃는 산화 반응이, (나)는 (-)극이므로 전자를 얻는 환원 반응이 일어난다.

ㄴ. (나)에서는 $\text{Ag}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s)$ 반응이 일어나 전자 1몰의 이동에 의해 Ag 1몰이 석출되고, (라)에서는 $\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$ 반응이 일어나 전자 2몰의 이동에 의해 Cu 1몰이 석출된다. 따라서 같은 양의 전류가 흘렀을 때 석출되는 금속의 몰비는 (나) : (라) = 2 : 1이다.

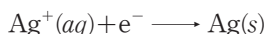
10 꼭꼭 문제 분석



ㄱ. Ag판은 (+)극으로, 산화 반응이 일어나 Ag^+ 으로 수용액 속에 녹아 들어가므로 질량이 감소한다.



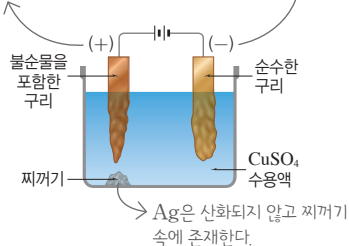
ㄴ. 낫순가락은 (-)극이므로 낫순가락의 표면에서 Ag^+ 이 전자를 받아 Ag으로 환원된다.



▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (-)극에서 환원되는 Ag^+ 의 수만큼 (+)극에서 Ag이 산화되어 Ag^+ 으로 수용액 속에 녹아 들어가므로 수용액 속 Ag^+ 의 수는 일정하다.

11 **문제 분석**

- (+)극에서 Cu가 산화된다.
 $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e^-$
- Cu보다 반응성이 큰 Fe도 산화된다.
 $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$
- (-)극에서 Cu^{2+} 이 환원된다.
 $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$



ㄱ. (-)극에서는 전해질 수용액 속에 존재하는 Cu^{2+} 이 전자를 얻어 Cu로 석출되는 반응이 일어나므로 구리의 질량이 점점 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (+)극에 연결된 구리에 포함된 Ag은 Cu보다 산화되기 어려우므로 산화되지 않고 원소 상태로 찌꺼기 속에 존재한다.

ㄴ. (+)극에 연결된 구리에 포함된 Fe은 Cu보다 산화되기 쉬우므로 구리보다 먼저 산화되어 전해질 수용액에 Fe^{2+} 상태로 존재한다.

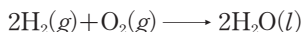
12 ㄱ. 전극 A로 H_2 기체가 공급되므로 전극 A에서는 H_2 가 전자를 잃고 H^+ 으로 산화되는 반응이 일어난다. 따라서 A는 (-)극, 즉 산화 전극이다.

ㄴ. 전극 B로 O_2 기체가 공급되므로 전극 B에서는 O_2 가 환원되는 반응이 일어난다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 전극 A에서 H_2 기체가 산화되어 생성된 H^+ 은 전해질 막을 통과하여 전극 B에서 O_2 와 반응하여 H_2O 를 생성한다.

13 물을 분해하여 얻는 물질 중 연료로 사용하는 물질은 수소이다.

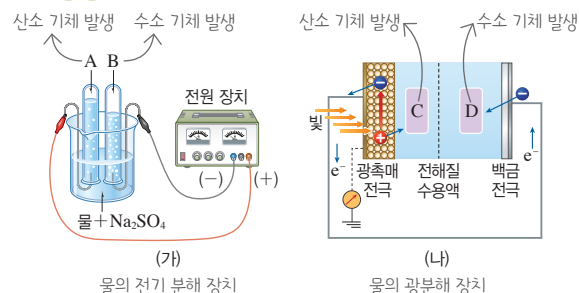
ㄴ. 수소가 연소할 때 물을 생성한다.



▮ **바로알기** ▮ ㄱ. X는 수소이다.

ㄴ. 수소를 얻기 위해 광분해 방법으로 분해하는 물질은 물이다.

14 **문제 분석**



ㄱ. (가)는 물의 전기 분해 장치로, 전기 에너지 소모가 많아 수소를 생산하는 데 비용이 많이 들어 비효율적이다.

ㄴ. (나)는 물의 광분해 장치로, 광촉매 전극은 식물의 엽록소와 같이 물을 산화시키는 역할을 한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (가)의 A와 (나)의 C에서는 산화 반응을 통해 산소 기체가 발생하고, (가)의 B와 (나)의 D에서는 환원 반응을 통해 수소 기체가 발생한다.

중단원 핵심 정리

319 쪽

- | | | | | | |
|-------|-------|-------|------|------|--------|
| ① 크 | ② 작은 | ③ 큰 | ④ 화학 | ⑤ 전기 | ⑥ 불타 |
| ⑦ 분극 | ⑧ 다니엘 | ⑨ 염다리 | ⑩ 1 | ⑪ 2 | ⑫ 0.00 |
| ⑬ 환원 | ⑭ 음이온 | ⑮ 양이온 | ⑯ 산소 | ⑰ 수소 | |
| ⑱ 광분해 | | | | | |

중단원 마무리 문제

320 쪽~324 쪽

- | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| 01 ⑤ | 02 ⑤ | 03 ② | 04 ④ | 05 ③ | 06 ③ |
| 07 ④ | 08 ⑤ | 09 ④ | 10 ④ | 11 ② | 12 ④ |
| 13 ② | 14 ① | 15 ④ | 16 ① | 17 해설 참조 | |
| 18 해설 참조 | 19 해설 참조 | 20 해설 참조 | 21 해설 참조 | 22 해설 참조 | |

01 ㄱ. Zn은 H보다 반응성이 크므로 $\text{HCl}(aq)$ 에 Zn판을 담그면 Zn은 전자를 잃고 산화되면서 H_2 기체가 발생한다.

ㄴ. Zn이 산화되는 반쪽 반응은 $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$ 이므로 Zn 1몰이 반응할 때 이동한 전자의 양은 2몰이다. Zn의 원자량이 65이므로 Zn 3.25 g은 0.05몰이다. 따라서 Zn 0.05몰이 반응할 때 이동한 전자의 양은 0.1몰이다.

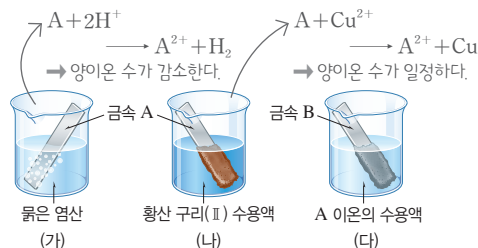
ㄷ. 이 반응의 알짜 이온 반응식은 다음과 같다.

$$\text{Zn} + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$$

$$\text{H}^+ \text{ 2개가 반응하여 } \text{Zn}^{2+} \text{ 1개가 생성되므로 수용액 속 양이온 수는 감소한다.}$$

02 **꼼꼼** 문제 분석

- (가) 금속 A를 묽은 염산에 담갔더니 기체가 발생하였다.
 → H_2 기체가 생성되므로 금속 A는 H보다 반응성이 크다.
- (나) 금속 A를 황산 구리(II) 수용액에 담갔더니 금속이 석출되었고, 수용액 속 이온 수는 일정하였다.
 → Cu^{2+} 이 Cu로 석출되므로 반응성은 A가 Cu보다 크다.
 • 반응이 일어나도 이온 수가 일정하므로 생성된 A 이온 수와 반응한 Cu^{2+} 의 수가 같다 → A 이온의 전하는 +2이다.
- (다) 금속 A 이온의 수용액에 금속 B를 담갔더니 금속이 석출되었다. → A^{2+} 이 A로 석출되므로 반응성은 B가 A보다 크다.



ㄱ. (나)에서 금속 A와 황산 구리(II) 수용액이 반응할 때 생성된 A 이온 수와 반응한 Cu^{2+} 의 수가 같다. 이로부터 A 이온의 전하가 +2임을 알 수 있다. 따라서 (가)에서 일어나는 반응을 알짜 이온 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



반응이 일어날 때 음이온 수는 일정하고 양이온 수는 감소하므로 양이온 수 음이온 수 는 감소한다.

ㄴ. (나)에서 A가 산화되어 A^{2+} 이 생성되고, Cu^{2+} 이 환원되어 Cu가 생성되므로 A 이온 수는 증가하고 Cu^{2+} 수는 감소한다.

따라서 (나)에서 $\frac{\text{A 이온 수}}{\text{Cu}^{2+} \text{ 수}}$ 는 증가한다.

ㄷ. (나)에서 반응이 일어났으므로 반응성은 $\text{A} > \text{Cu}$ 이며, (다)에서도 반응이 일어났으므로 반응성은 $\text{B} > \text{A}$ 이다. 즉, B는 Cu보다 반응성이 크므로 황산 구리(II) 수용액에 금속 B를 담그면 금속 Cu가 석출된다.

03 (가)는 볼타 전지이고, (나)는 다니엘 전지이다.

ㄴ. 아연은 구리보다 반응성이 크므로 아연판에서는 전자를 잃는 산화 반응이, 구리판에서는 전자를 얻는 환원 반응이 일어난다. 따라서 아연판은 (-)극(산화 전극)으로 작용하고, 구리판은 (+)극(환원 전극)으로 작용한다.

▮ **바로알기** ㄱ. (가)의 구리판에서는 H_2 기체가 생성되므로 분극 현상이 나타나지만, (나)의 구리판에서는 기체가 발생하지 않으므로 분극 현상이 나타나지 않는다.

ㄷ. (-)극인 아연판에서는 두 전지 모두 아연이 산화되는 반응이 일어난다. 그러나 (+)극인 구리판에서는 (가)의 경우 H^+ 이 환원되고, (나)의 경우 Cu^{2+} 이 환원되는 반응이 일어난다.

04 B의 표면에서 H_2 가 발생하므로 B 전극에서 전해질의 H^+ 이 전자를 얻어 H_2 로 환원되는 반응이 일어난다. 따라서 B 전극은 (+)극(환원 전극)이고, A 전극은 (-)극(산화 전극)이다.

ㄴ. A 전극은 (-)극으로 작용하여 A가 산화되어 A^{2+} 을 생성하므로 기체가 발생하는 동안 $[\text{A}^{2+}]$ 는 증가한다.

ㄷ. 전자는 도선을 따라 (-)극인 A 전극에서 (+)극인 B 전극으로 이동한다.

▮ **바로알기** ㄱ. A 전극은 (-)극으로 작용하므로 A는 H보다 반응성이 크고, B 전극은 (+)극으로 작용하므로 B는 A보다 산화되기 어렵다. 즉, B의 E° 는 A의 E° 보다 크므로 $a < b$ 이다.

05 ㄱ. E° 가 큰 금속이 (+)극(환원 전극)이 되고, E° 가 작은 금속이 (-)극(산화 전극)이 되므로 Cd은 산화되고, Ag^+ 은 환원된다.

ㄴ. $E^\circ_{\text{전지}}$ 는 (+)극으로 작용하는 물질의 E° 에서 (-)극으로 작용하는 물질의 E° 를 빼서 구한다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} = +0.80 \text{ V} - (-0.40 \text{ V}) = +1.20 \text{ V}$$

▮ **바로알기** ㄷ. Cd판이 담긴 비커에서는 산화 반응이 일어나 Cd^{2+} 수가 증가하고, Ag판이 담긴 비커에서는 Ag^+ 이 환원되어 Ag 수가 감소하며, 이때 음이온은 반응에 참여하지 않는다. 따라서 Ag판이 담긴 비커에서 양전하의 양이 적어지므로 염다리의 양이온인 K^+ 은 전하의 균형을 맞추기 위해 Ag판이 담긴 비커 쪽으로 이동한다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

반쪽 반응	$E^\circ(\text{V})$	표준 환원 전위가 크다. → 환원되기 쉽다. → 반응성이 작다. → 반응성: $\text{A} > \text{B} > \text{C} > \text{D}$
$\text{A}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{A}$	-0.76	
$\text{B}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{B}$	-0.45	
$\text{C}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{C}$	+0.34	
$\text{D}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{D}$	+0.80	

ㄱ. E° 가 클수록 환원되기 쉽고, E° 가 작을수록 산화되기 쉽다. 따라서 산화가 가장 잘 되는 금속은 E° 가 가장 작은 A이다.

ㄴ. $\text{B} + \text{C}^{2+} \longrightarrow \text{B}^{2+} + \text{C}$ 반응에서 $E^\circ_{\text{전지}}$ 는 C의 E° 에서 B의 E° 를 빼서 구한다. 즉, $E^\circ_{\text{전지}} = +0.34 \text{ V} - (-0.45 \text{ V}) = +0.79 \text{ V}$ 로 (+)값이므로 반응이 자발적으로 일어난다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 반쪽 전지 B와 D를 이용하여 만든 전지에서 E° 가 큰 D가 (+)극(환원 전극)이고, E° 가 작은 B가 (-)극(산화 전극)이므로 $E^\circ_{\text{전지}}$ 는 다음과 같다.

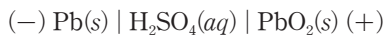
$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} = +0.80 \text{ V} - (-0.45 \text{ V}) = +1.25 \text{ V}$$

07 E° 는 B가 A보다 크므로 A 전극에서는 산화 반응이 일어나고, B 전극에서는 환원 반응이 일어난다. 즉, A는 (-)극(산화 전극)이고, B는 (+)극(환원 전극)이다.

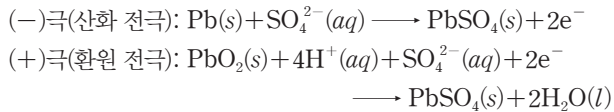
ㄴ, ㄷ. A 전극은 (-)극(산화 전극)이므로 A가 산화되어 A^{2+} 이 된다. 따라서 A판의 질량은 감소하고, A^{2+} 의 농도는 증가한다. 또, B 전극은 (+)극(환원 전극)이므로 전해질 수용액 속 B^{2+} 이 전자를 얻어 B로 석출된다. 따라서 B판의 질량은 증가하고, B^{2+} 의 농도는 감소한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} = (b-a) \text{ V}$ 이다.

08 ① 납축전지는 2차 전지로, 충전하면 재사용할 수 있다.
② 화학 전지식에서 (-)극은 왼쪽에 쓰고, (+)극은 오른쪽에 쓴다. 따라서 Pb는 (-)극으로 작용하고, PbO_2 는 (+)극으로 작용한다.



③, ④ 전지를 사용하면 (-)극인 Pb이 전자를 잃어 산화되고, (-)극과 (+)극 표면에 각각 $PbSO_4$ 이 석출되므로 두 전극의 질량이 모두 증가한다.



▮ **바로알기** ▮ ⑤ 전지를 사용하면 H_2SO_4 이 소모되어 묽은 황산의 농도가 묽어지므로 전해질의 pH가 커진다.

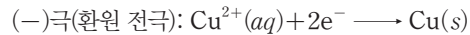
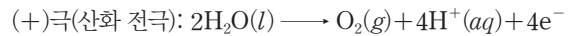
09 NaCl 수용액에는 Na^+ , Cl^- , H_2O 이 존재한다. 이 수용액에 전류를 흘려 주면 (-)극(환원 전극)에서는 Na^+ 과 H_2O 중에서 환원되기 쉬운 H_2O 이 환원되어 H_2 기체(㉠)를 생성한다. 또, (+)극(산화 전극)에서는 Cl^- 과 H_2O 중에서 산화되기 쉬운 Cl^- (㉡)이 산화되어 Cl_2 기체가 생성된다.

ㄴ. 전극 B는 (+)극으로, Cl^- (㉡)이 전자를 잃고 산화되어 Cl_2 기체를 생성한다.

ㄷ. 전극 A에서는 H_2O 이 전자를 얻어 환원되는 반응이 일어나므로 전극 A는 (-)극이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 전극 A에서는 H_2O 이 환원되어 H_2 가 생성되므로 ㉠은 H_2 이다.

10 $CuSO_4$ 수용액을 전기 분해하면 (+)극(산화 전극)에서는 물이 산화되어 O_2 기체가 발생하고, (-)극(환원 전극)에서는 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu가 석출된다.



① (+)극에 연결된 전극 A는 (+)극(산화 전극)이다.

② 전기 분해가 진행되면 (+)극(산화 전극)에서 물이 산화되어 H^+ 의 농도가 커지므로 수용액의 pH가 작아진다.

③ 전기 분해가 진행되면 (-)극(환원 전극)인 전극 B에서는 Cu가 석출되므로 전극 B의 질량이 증가한다.

⑤ 전극 A(산화 전극)에서는 O_2 기체가 발생하고, 전극 B(환원 전극)에서는 금속 Cu가 석출된다.

▮ **바로알기** ▮ ④ (+)극(산화 전극)에서는 전자 4몰에 의해 O_2 기체 1몰이 발생하고, (-)극(환원 전극)에서는 전자 2몰에 의해 Cu 1몰이 생성된다. 따라서 같은 시간 동안 같은 전기량에 의해 전극 A, B에서 생성되는 물질의 몰비는 A : B = 1 : 2이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

• 물의 산화 반응: $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

→ O_2 기체 발생, pH 감소

• 물의 환원 반응: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

→ H_2 기체 발생, pH 증가

수용액	산화 반응 (+)극		환원 반응 (-)극	
	생성 물질	pH 변화	생성 물질	pH 변화
ACl_2	Cl_2		(가)	일정
BSO_4	(나)	감소	H_2	(다)

pH 변화가 없으므로 A^{2+} 이 환원되어 A가 생성된다. → (가): A

pH가 감소했으므로 H_2O 이 산화되어 O_2 와 H^+ 이 생성된다. → (나): O_2

H_2 가 생성되므로 H_2O 이 환원되었다. 따라서 OH^- 도 생성된다. → (다): 증가

① ACl_2 수용액을 전기 분해할 때 (-)극 주변에서 pH 변화가 없으므로 (-)극에서 물이 아닌 A^{2+} 이 환원되어 A가 생성된다는 것을 알 수 있다.

③ BSO_4 수용액을 전기 분해할 때 (-)극에서 H_2O 이 환원되어 H_2 와 함께 OH^- 이 생성되므로 pH는 증가한다.

④ ACl_2 수용액을 전기 분해할 때 (-)극에서 A^{2+} 이 환원되어 A가 생성되므로 표준 환원 전위는 A가 물보다 크다. 또, BSO_4 수용액을 전기 분해할 때 (-)극에서 물이 환원되어 H_2 가 생성되므로 표준 환원 전위는 물이 B보다 크다. 따라서 표준 환원 전위는 A가 B보다 크다.

⑤ BSO_4 수용액을 전기 분해할 때 물이 분해되어 (+)극에서는 O_2 기체가, (-)극에서는 H_2 기체가 생성되므로 물을 전기 분해할 때 BSO_4 를 전해질로 사용할 수 있다.

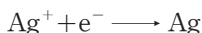
▮ **바로알기** ▮ ② BSO_4 수용액을 전기 분해할 때 (+)극 주변에서 pH가 감소했으므로 (+)극에서 H_2O 이 산화되어 O_2 와 H^+ 이 생성되었음을 알 수 있다.

12 각 수용액을 전기 분해할 때 (-)극에서 일어나는 반응은 각각 다음과 같다.



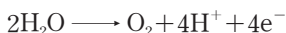
같은 양의 전자가 이동할 때 생성되는 금속의 양(mol)은 $\text{Cu} : \text{Ag} = 1 : 2$ 이고, 원자량은 $\text{Ag} > \text{Cu}$ 이므로 같은 전하량에 의해 석출된 금속의 질량이 큰 (가)는 AgNO_3 수용액이고, (나)는 CuSO_4 수용액이다.

ㄴ. (가)에서 금속이 석출되는 반응은 다음과 같다.



Ag 은 원자량이 108이므로 Ag 21.6 g은 0.2몰이고, 화학 반응식에서 Ag 1몰이 생성될 때 이동한 전자의 양은 1몰이므로 Ag 0.2몰이 생성될 때 이동한 전자의 양은 0.2몰이다.

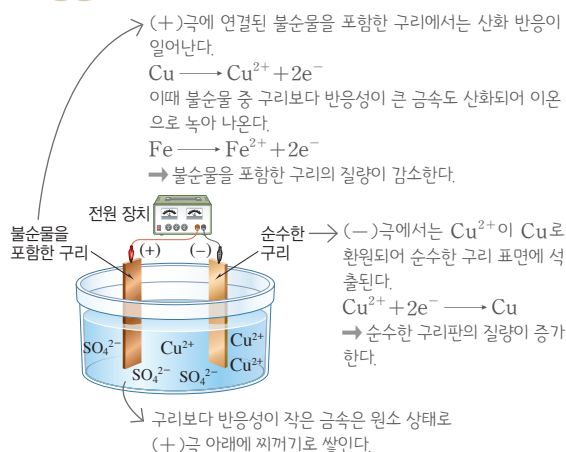
ㄷ. (가)와 (나)의 두 수용액을 전기 분해할 때 (+)극에서는 모두 다음과 같은 물의 산화 반응이 일어나면서 산소(O_2) 기체가 발생한다.



따라서 t에서 발생한 기체의 양(mol)은 (가)와 (나)에서 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)는 AgNO_3 수용액이다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



전기 분해 장치에 일정한 양의 전류가 흐를 때 (+)극에서는 금속이 전자를 잃고 산화되는데, 이때 Cu 뿐만 아니라 불순물로 포함된 금속 중 Cu 보다 반응성이 큰 금속(Fe)도 산화된다.



(-)극에서는 전해질 속 Cu^{2+} 이 전자를 얻어 Cu 로 환원되는 반응이 일어난다.



ㄴ. 불순물을 포함한 구리에서는 산화 반응이 일어나 금속이 금속 이온으로 수용액에 녹아 들어가므로 질량이 감소한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. Cu 보다 반응성이 큰 Fe 은 전해질 수용액에 이온 상태로 존재한다.

ㄷ. 전기 분해 장치에서 전자 4몰에 해당하는 전기량이 흘렀다고 가정하면 (+)극에서 산화되어 생성된 Cu^{2+} 의 수는 1몰, Fe^{2+} 의 수는 1몰이고, (-)극에서는 Cu^{2+} 2몰이 환원된다. 따라서 전해질 속 Cu^{2+} 의 수는 감소한다.

14 전해질 수용액의 전기 분해에는 전해질의 양이온, 음이온 외에도 물이 관여할 수 있다. 따라서 전극 (가)~(라)의 반응은 다음과 같다.

전극	반응식
(가)	(+)극 $2\text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$
(나)	(-)극 $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$
(다)	(+)극 $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^-$
(라)	(-)극 $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$

ㄱ. 전극 (가)에서는 전자 2몰의 이동에 의해 염소(Cl_2) 기체 1몰이 생성되고, 전극 (다)에서는 전자 4몰의 이동에 의해 산소(O_2) 기체 1몰이 생성된다. 따라서 같은 전하량에 의해 생성되는 물질의 몰비는 2 : 1인데, 같은 온도와 압력이므로 몰비는 기체의 부피비가 된다. 따라서 전극 (가)와 (다)에서 생성되는 물질의 부피비는 $\text{Cl}_2 : \text{O}_2 = 2 : 1$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 전극 (라)에서는 구리가 전극의 표면에 석출되므로 전극의 질량이 증가하지만, 전극 (나)에서는 수소(H_2) 기체가 발생하므로 전극의 질량은 변화 없다.

ㄷ. 전극 (나) 주변에서는 물이 환원되므로 OH^- 의 농도가 커져 pH가 커지고, 전극 (다) 주변에서는 물이 산화되므로 H^+ 의 농도가 커져 pH가 작아진다.

15 수소는 반응성이 커서 화합물의 형태로 존재하는데, 대부분은 물의 성분 원소로 포함되어 있다. 따라서 수소를 얻기 위해 광촉매 전극을 이용하여 물을 분해하는 연구가 진행되고 있다. 또 수소 연료 전지의 전체 반응은 수소와 산소가 반응하여 물을 생성하는 반응이다. 따라서 제시된 설명에서 ㉠으로 적절한 물질은 물이다.

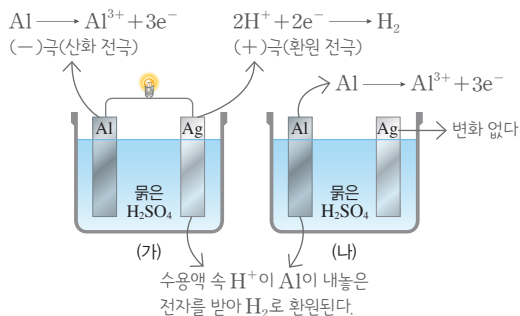
16 A로 유입된 물질이 (-)극에서 산화되므로 A로는 H_2 기체가 유입되고, B로 유입된 물질이 (+)극에서 환원되므로 B로는 O_2 기체가 유입된다. (+)극에서는 전해질을 통해 이동해 온 H^+ 과 O_2 , 전자가 반응하여 H_2O 를 생성하고, 생성된 물이 C로 배출된다.

17 **모범답안** (가) 금속 A 막대를 금속 B 이온의 수용액에 넣었을 때 반응이 일어났으므로 반응성은 $\text{A} > \text{B}$ 이다.

(나) 반응이 진행되면서 용액의 전체 이온 수가 감소했으므로 금속 A가 전자를 잃고 산화된 금속 A 이온의 전하보다 전자를 얻어 환원되는 금속 B 이온의 전하가 더 작음을 알 수 있다. 따라서 금속 이온의 전하 크기는 $A > B$ 이다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)를 옳게 서술한 경우	100 %
(가)와 (나) 중 1가지만 옳게 서술한 경우	40 %

18 📌 문제 분석

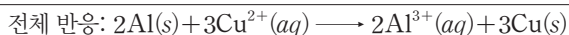
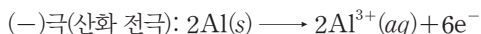
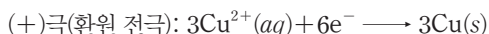


모범답안 공통점: Al이 산화되어 Al^{3+} 으로 녹아 들어가므로 Al판의 질량이 감소한다. 수용액 속 H^+ 이 H_2 기체로 환원되어 H^+ 의 농도가 감소하므로 수용액의 pH가 커진다. 등

차이점: (가)에서는 전지가 형성되므로 반응성이 작은 Ag판에서 H_2 기체가 발생하지만, (나)에서는 H보다 반응성이 큰 Al판에서 H_2 기체가 발생한다.

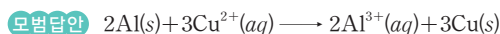
채점 기준	배점
공통점과 차이점을 각각 1가지씩 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 1가지만 옳게 서술한 경우	40 %

19 표준 환원 전위가 큰 Cu가 (+)극(환원 전극)이 되고, 표준 환원 전위가 작은 Al이 (−)극(산화 전극)이 된다.



전체 반응식을 구할 때 전자의 양(mol)을 맞추기 위해 반쪽 반응에 정수배를 해 주더라도 표준 전지 전위를 구할 때에는 정수배를 하면 안 된다.

$$\begin{aligned} \text{표준 전지 전위}(E^\circ_{\text{전지}}) &= E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} \\ &= +0.34 \text{ V} - (-1.66 \text{ V}) = +2.00 \text{ V} \end{aligned}$$



$$E^\circ_{\text{전지}} = +2.00 \text{ V}$$

채점 기준	배점
전체 반응식과 표준 전지 전위를 모두 옳게 쓴 경우	100 %
전체 반응식과 표준 전지 전위 중 1가지만 옳게 쓴 경우	50 %

20 전해질 수용액을 전기 분해하면 전해질의 양이온이 (−)극에서 환원되고, 음이온이 (+)극에서 산화되어 전해질의 성분 원소로 분해된다. 전해질 수용액을 전기 분해하면 각 전극에서 물과 전해질을 구성하는 이온이 서로 경쟁하여 (+)극에서는 산화되기 쉬운 물질이 산화되고, (−)극에서는 환원되기 쉬운 물질이 환원된다.

모범답안 전극 B: $\text{Na}^+(\text{l}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Na}(\text{l})$, $\text{NaCl}(\text{l})$ 에 존재하는 양이온은 Na^+ 뿐이기 때문이다.

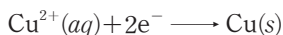
전극 D: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$, $\text{NaCl}(\text{aq})$ 에는 Na^+ 과 H_2O 이 존재하는데, H_2O 이 Na^+ 보다 더 환원되기 쉽기 때문(표준 환원 전위가 더 크기 때문이다).

채점 기준	배점
전극 B와 D에서 일어나는 반쪽 반응을 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
전극 B와 D에서 일어나는 반쪽 반응만 옳게 쓴 경우	40 %
전극 B와 D에서 일어나는 반쪽 반응 중 1가지만 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	

21 (+)극에서는 Cu와 Cu보다 반응성이 큰 금속이 산화되어 수용액 속에 녹아 들어간다.



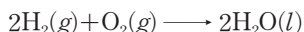
(−)극에서는 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu로 석출된다.



모범답안 (가) Ag (나) Fe, Zn, Cu, Cu보다 표준 환원 전위가 작은 금속은 Cu가 산화될 때 모두 산화될 수 있으므로 전해질 수용액에 이온 상태로 존재한다. 반면, Cu보다 표준 환원 전위가 큰 금속은 Cu보다 산화되기 어려우므로 찌꺼기에 금속 원소 상태로 존재한다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)를 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
(가)와 (나)만 옳게 쓴 경우	40 %

22 수소 연료 전지에서 일어나는 반응은 다음과 같다.



모범답안 최종 생성물이 물이므로 환경오염 물질을 배출하지 않기 때문이다.

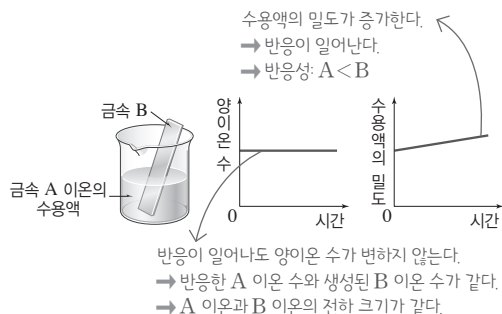
채점 기준	배점
최종 생성물인 물을 언급하여 옳게 서술한 경우	100 %
최종 생성물인 물을 언급하지 못한 경우	0 %

수능 실전 문제

325 쪽 ~ 327 쪽

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

01 **문제 분석**



선택지 분석

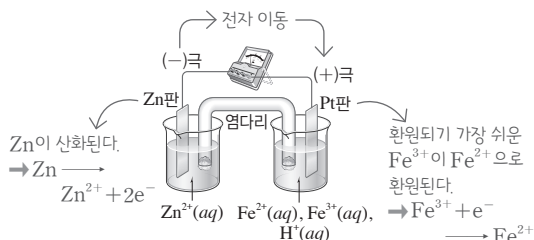
- ㉠ 반응성은 $A < B$ 이다.
- ㉡ 금속 이온의 전하 크기는 A 이온과 B 이온이 같다.
- ㉢ 원자량은 $A > B$ 이다. $A < B$

㉠. 시간에 따라 수용액의 밀도가 증가하므로 반응이 일어났다. 따라서 반응성은 $A < B$ 이다.

㉡. 반응이 일어나도 양이온 수가 변하지 않으므로 반응한 A 이온 수와 생성된 B 이온 수가 같다. 따라서 금속 양이온의 전하 크기는 A 이온과 B 이온이 같다.

㉢. 수용액에서 A 이온 1개가 환원되어 A로 될 때 B 이온 1개가 생성되는데, 이때 수용액의 밀도가 증가하므로 금속 이온 1개의 질량은 B 이온이 A 이온보다 크다. 따라서 원자량은 $A < B$ 이다.

02 **문제 분석**



반쪽 반응	$E^\circ(V)$
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	-0.76
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	-0.45
$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	+0.77

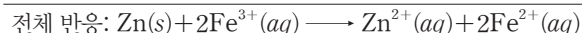
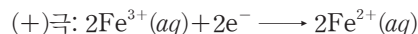
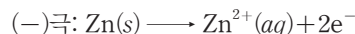
E° 가 클수록 환원되기 쉽다.

선택지 분석

- ㉠ 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 +1.53 V이다.
- ㉡ 전지 반응이 일어날 때 Zn판의 질량은 감소하고, Pt판의 질량은 증가한다. 일정하다
- ㉢ 전지 반응이 일어날 때 $\frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]}$ 는 증가한다. 감소

㉠. (-)극에서는 Zn이 Zn^{2+} 으로 산화되고, (+)극에서는 환원되기 가장 쉬운 Fe^{3+} 이 Fe^{2+} 으로 환원된다. 따라서 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$) = $E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} = +0.77 V - (-0.76 V) = +1.53 V$ 이다.

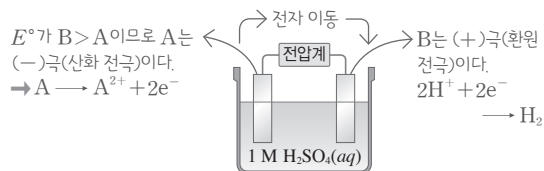
㉡. 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.



Zn판에서 Zn이 전자를 잃고 Zn^{2+} 이 되어 용액 속으로 녹아 들어가기로 Zn판의 질량은 감소한다. Pt판에서는 Fe^{3+} 이 전자를 얻어 Fe^{2+} 으로 환원되므로 Pt판의 질량은 일정하다.

㉢. (+)극에서 Fe^{3+} 이 환원되어 Fe^{2+} 을 생성하므로 $[Fe^{3+}]$ 는 감소하고, $[Fe^{2+}]$ 는 증가한다. 따라서 $\frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]}$ 는 감소한다.

03 **문제 분석**



반쪽 반응	$E^\circ(V)(25^\circ C)$
$A^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow A(s)$	-0.76
$B^+(aq) + e^- \rightarrow B(s)$	+0.80

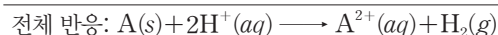
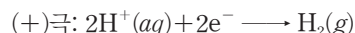
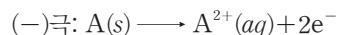
E° 가 큰 것이 환원 전극으로 작용한다.

선택지 분석

- ㉠ B는 산화 전극이다. 환원 전극
- ㉡ 반응이 진행됨에 따라 수용액의 질량은 증가한다.
- ㉢ 이 전지의 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 +0.76 V이다.

표준 환원 전위(E°)가 $B > A$ 이므로 A는 (-)극(산화 전극)이고, B는 (+)극(환원 전극)이다.

㉡. 이 화학 전지의 각 극에서 일어나는 반응과 전체 반응은 다음과 같다.



반응이 진행되면 수용액 속의 H^+ 이 환원되면서 A^{2+} 이 생성되므로 수용액의 질량은 반응 전보다 증가한다.

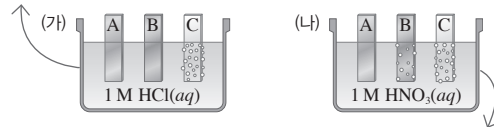
㉢. (-)극에서는 A가 A^{2+} 으로 산화되고, (+)극에서는 수용액 속의 H^+ 이 H_2 로 환원된다. 따라서 $E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} = 0.00 V - (-0.76 V) = +0.76 V$ 이다.

㉣. 표준 환원 전위가 큰 B는 (+)극(환원 전극)이다.

04 **문제 분석**

표면에서 기포가 발생하는 금속은 H^+ 을 H_2 로 환원시킨다.

→ 금속 A와 B는 H보다 산화되기 어렵고, C는 H보다 산화되기 쉽다.



표면에서 기포가 발생하는 금속은 NO_3^- 을 NO 로 환원시킨다.

→ 금속 A는 NO 보다 산화되기 어렵고, B와 C는 NO 보다 산화되기 쉽다.

반쪽 반응	$E^\circ(V)$
$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$	0.00
$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \longrightarrow NO(g) + 2H_2O(l)$	+0.96
$A^+(aq) + e^- \longrightarrow A(s)$	$a > 0$
$B^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow B(s)$	+0.34
$C^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow C(s)$	$b < 0$

선택지 분석

㉠ $a > b$ 이다.

✕ (가)와 (나)의 금속 C 표면에서 생성되는 기체는 같은 종류이다.

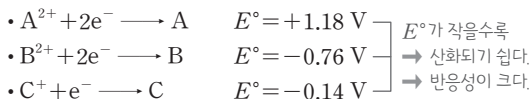
✕ (가)에서 금속 A와 B를 도선으로 연결하면 B가 전지의 환원 전극이 된다.

㉠. (가)에서 표면에서 기체가 발생하는 C는 H보다 산화되기 쉬우므로 C의 표준 환원 전위 b 는 H^+ 의 표준 환원 전위인 0보다 작고, A는 H보다 산화되기 어려우므로 A의 표준 환원 전위 a 는 H^+ 의 표준 환원 전위인 0보다 크다. 따라서 $a > b$ 이다.

▮ **바로알기** ㉡. $NO_3^-(aq)$ 이 환원되어 $NO(g)$ 를 생성하는 반응의 표준 환원 전위는 $H^+(aq)$ 이 환원되어 $H_2(g)$ 를 생성하는 반응의 표준 환원 전위보다 크므로 (가)에서는 H_2 가 발생하고 (나)에서는 NO 가 발생한다.

㉢. (나)에서 금속 A는 변화가 없고, 금속 B 표면에서는 $NO_3^-(aq)$ 이 환원되어 NO 기체가 발생하므로 표준 환원 전위는 A가 B보다 크다. 따라서 (가)에서 A와 B를 도선으로 연결하면 A는 전지의 환원 전극이 되고, B는 전지의 산화 전극이 된다.

05 **문제 분석**



선택지 분석

✕ A~C 중 $HCl(aq)$ 에 넣을 때 산화되는 것은 1가지이다.

✕ $B^{2+}(aq)$ 에 C(s)를 넣으면 B가 석출된다. ^{2가지(B, C)}반응이 일어나지 않는다

㉠ $A^{2+} + 2C \longrightarrow A + 2C^+$ 반응의 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 +1.32 V이다.

㉢. $A^{2+} + 2C \longrightarrow A + 2C^+$ 반응에서 (-)극과 (+)극의 반쪽 전지 반응은 다음과 같다.

(-)극: $2C \longrightarrow 2C^+ + 2e^-$, (+)극: $A^{2+} + 2e^- \longrightarrow A$

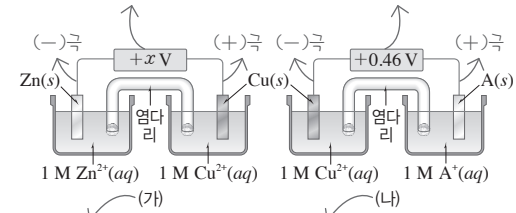
따라서 전체 반응의 $E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} = +1.18 V - (-0.14 V) = +1.32 V$ 이다.

▮ **바로알기** ㉠. $HCl(aq)$ 에 넣을 때 산화되는 금속은 H보다 표준 환원 전위가 작은 금속이다. 따라서 A~C 중 $HCl(aq)$ 에 넣을 때 산화되는 것은 B와 C로 2가지이다.

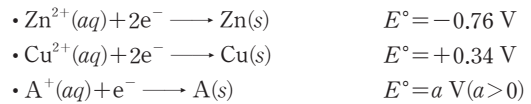
㉡. 표준 환원 전위가 작을수록 금속이 산화되기 쉬우므로 반응성은 B가 C보다 크다. 따라서 $B^{2+}(aq)$ 에 C(s)를 넣으면 반응이 일어나지 않는다.

06 **문제 분석**

$$\begin{aligned}
 +x V &= E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} & +0.46 V &= E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} \\
 &= +0.34 V - (-0.76 V) & &= E^\circ_{(+)\text{극}} - (+0.34 V) \\
 &= +1.10 V & \therefore E^\circ_{(+)\text{극}} &= a V = +0.80 V
 \end{aligned}$$



E° 는 $Cu > Zn$ 이므로 Zn은 (-)극, Cu는 (+)극이다. E° 는 $A > Cu$ 이므로 Cu는 (-)극, A는 (+)극이다.



→ (나)에서 A가 (-)극으로 작용하려면 $a < 0$ 이 되어야 하는데, $a > 0$ 라고 했으므로 A는 (+)극으로 작용한다.

선택지 분석

㉠ (가)의 반응이 진행될수록 Zn 전극의 질량이 감소한다.

✕ (나)의 반응이 진행될수록 $\frac{[Cu^{2+}]}{[A^+]}$ 는 감소한다. 증가

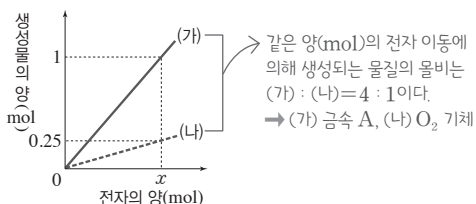
㉢ $x = 1.10$ 이다.

㉠. (가)에서 E° 는 $Cu > Zn$ 이므로 Zn은 (-)극(산화 전극)으로 작용한다. 따라서 반응이 진행될수록 Zn이 Zn^{2+} 으로 수용액 속에 녹아 들어가므로 Zn의 질량이 감소한다.

㉢. $E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}}$ 이므로 (가)에서 $+x V = +0.34 V - (-0.76 V) = +1.10 V$ 이다. 즉, $x = 1.10$ 이다.

▮ **바로알기** ㉡. (나)의 표준 전지 전위가 +0.46 V이고 $a > 0$ 이므로 A의 표준 환원 전위는 +0.80 V이다. 표준 환원 전위가 A가 더 크므로 A(s)가 환원 전극, Cu(s)가 산화 전극이 된다. 따라서 반응이 진행될수록 $[A^+]$ 는 감소하고, $[Cu^{2+}]$ 는 증가한다.

07 꼭꼭 문제 분석



반쪽 반응	$E^\circ(V)$
$A^+(aq) + e^- \rightarrow A(s)$	$\ominus$
$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0.83
$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	$+1.23$

(-)극에서 A가 생성되려면 E° 는 $A > 0$ 이어야 한다.
 $\rightarrow \ominus > -0.83$

선택지 분석

- ☒ (가)는 H_2 기체이다. 금속 A
- ☐ x는 1이다.
- ☐ $\ominus > -0.83$ 이다.

그래프에서 같은 양(mol)의 전자 이동에 의해 생성되는 물질의 몰비는 (가) : (나) = 4 : 1이다. 표의 반쪽 반응식으로 보아 4몰의 전자가 이동할 때 A는 4몰, H_2 는 2몰, O_2 는 1몰 생성되므로 (가)는 금속 A이고, (나)는 O_2 기체이다.

나. (가)는 A이고, A 1몰이 생성될 때 이동한 전자의 양은 1몰이므로 x는 1이다.

다. 표준 환원 전위가 큰 물질일수록 환원되기 쉬우므로 (-)극에서 A가 생성되려면 A의 표준 환원 전위가 물의 표준 환원 전위보다 커야 한다. 따라서 $\ominus > -0.83$ 이다.

바로알기 ㄱ. 같은 양(mol)의 전자 이동에 의해 생성되는 물질의 몰비는 (가) : (나) = 4 : 1이므로 (가)는 금속 A이고, (나)는 O_2 기체이다.

08 꼭꼭 문제 분석

전기 분해 장치	(가)	(나)
전원 장치	전원 장치	전원 장치
전극	전극	전극
용액	$CuSO_4(aq)$	$CuCl_2(aq)$
(+)극	$2H_2O(l) \xrightarrow{pH \text{ 감소}} O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$ O_2 기체 발생	$2Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$ Cl_2 기체 발생
(-)극	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ 금속 Cu 석출	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ 금속 Cu 석출

부피비 $O_2 : Cl_2 = 1 : 2$

선택지 분석

- ☒ (가)에서 수용액의 pH가 커진다. 작아진다
- ☒ (가)와 (나)에서 발생하는 기체의 종류는 같다.
 (가) O_2 기체, (나) Cl_2 기체
- ☐ 발생하는 기체의 부피비는 (가) : (나) = 1 : 2이다.

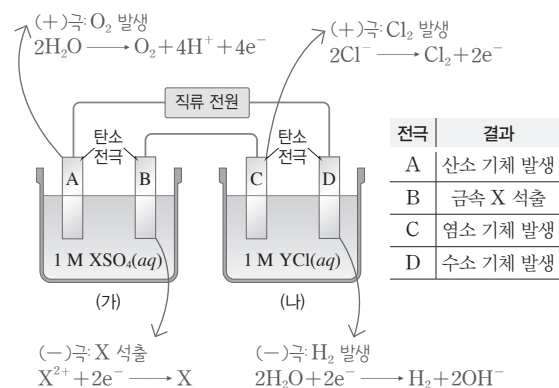
(가)의 (+)극에서는 O_2 기체가 발생하고, (-)극에서는 금속 Cu가 석출된다. (나)의 (+)극에서는 Cl_2 기체가 발생하고, (-)극에서는 금속 Cu가 석출된다.

다. 같은 양의 전자 이동에 의해 발생하는 기체의 몰비는 $O_2 : Cl_2 = 1 : 2$ 이다. 일정한 온도와 압력에서 기체의 양(mol)과 부피는 비례하므로 발생하는 기체의 부피비는 (가) : (나) = 1 : 2이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 금속 Cu가 석출되면서 H^+ 이 생성되므로 수용액의 pH는 작아진다.

나. (가)에서는 O_2 기체가 발생하고, (나)에서는 Cl_2 기체가 발생한다.

09 꼭꼭 문제 분석



선택지 분석

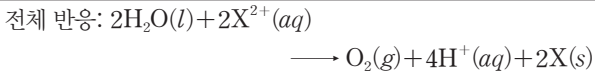
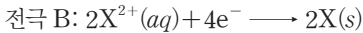
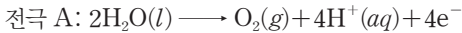
- ☒ A에서 환원 반응이 일어난다. 산화 반응
- ☒ (가)에서 수용액의 전체 양이온 수는 감소한다. 증가
- ☐ (나)의 C와 D에서 생성되는 기체의 양(mol)은 같다.

각 전극에서 일어나는 반응의 반쪽 반응식은 다음과 같다.

전극	반응식
A	$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$
B	$X^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow X(s)$
C	$2Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$
D	$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

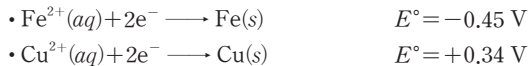
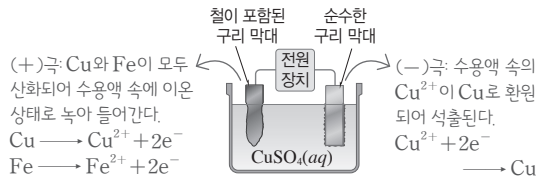
다. 전극 C와 전극 D에서 Cl_2 기체와 H_2 기체가 각각 1몰이 생성될 때 이동한 전자의 양(mol)이 같으므로 같은 양의 전류를 흘려 줄 때 생성되는 기체의 양(mol)은 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 전극 A에서는 H_2O 이 산화되어 O_2 가 생성된다.
 ㄴ. (가)의 전극 A와 전극 B에서 반응이 일어날 때 이동한 전하의 양(mol)을 같게 하면 전체 반응은 다음과 같다.



따라서 수용액의 전체 양이온 수는 증가한다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 순수한 구리 막대는 전원 장치의 (-)극에 연결한다.
 ㉡ Fe는 수용액에 양이온으로 존재한다.
 ㉢ Fe이 포함된 구리 막대의 감소한 질량과 순수한 구리 막대의 증가한 질량은 같다.
 ㉣ Fe이 포함된 구리 막대에서 Cu와 Fe이 산화되고, 순수한 구리 막대의 표면에서 Cu^{2+} 이 Cu로 환원되므로 Fe이 포함된 구리 막대에서 감소한 질량과 순수한 구리 막대에서 증가한 질량은 같지 않다.

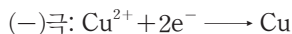
ㄱ. 순수한 구리 막대에서 전해질 수용액 속 Cu^{2+} 이 전자를 얻어 석출되는 반응이 일어나야 하므로 순수한 구리 막대는 전원 장치의 (-)극에 연결한다.

ㄴ. Fe은 Cu보다 표준 환원 전위가 작아 반응성이 크므로 전자를 잃고 산화되어 전해질 수용액에 Fe^{2+} 의 형태로 존재한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 전기 분해 장치의 (+)극에서는 금속이 전자를 잃고 산화되는데, 이때 Cu와 Fe이 모두 산화된다.



(-)극에서는 Cu^{2+} 이 전자를 얻어 Cu로 환원되는 반응이 일어난다.



전기 분해 장치에서 전자 4몰이 이동했다고 가정하면 (+)극에서 Cu와 Fe이 각각 1몰씩 산화될 때 (-)극에서는 Cu 2몰이 생성된다. 따라서 Fe이 포함된 구리 막대의 감소한 질량과 순수한 구리 막대의 증가한 질량은 같지 않다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

→ 수소 → 광합성에서 엽록소에 흡수된 빛에 의해 물이 분해되는 과정
 (가)는 ㉠ 물의 광분해로 얻을 수 있다. (가)는 연소시켰을 때 생성되는 물질이 (나)이기 때문에 환경 친화적인 에너지원이다.
 → 물

선택지 분석

- ㉠ (가)는 물의 전기 분해로도 얻을 수 있다.
 ㉡ (나)는 수소 연료 전지의 연료로 이용할 수 있다. (가)
 ㉢ ㉠은 흡열 반응이다.

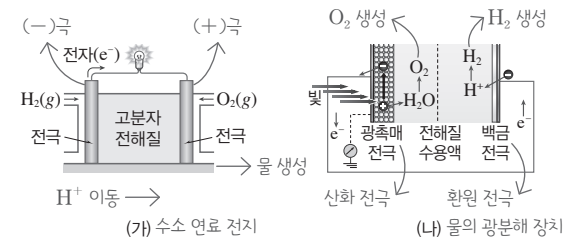
물의 광분해로 수소와 산소를 얻을 수 있는데, (가)를 연소시킨다고 하였으므로 (가)는 수소이다.

ㄱ. 물을 전기 분해하면 수소와 산소를 얻을 수 있다.

ㄷ. 물의 광분해는 빛에너지를 흡수하여 물을 분해하는 것이므로 흡열 반응이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 수소를 연소시켰을 때 생성되는 물질, 즉 (나)는 물이다. 수소 연료 전지의 연료는 수소이다.

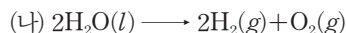
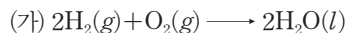
12 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 생성물이 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이다. (가) $\text{H}_2\text{O}(l)$ (나) $\text{H}_2(g)$, $\text{O}_2(g)$
 ㉡ 산화 환원 반응이 일어난다.
 ㉢ 태양광을 에너지로 이용한다. (가) 화학 에너지 (나) 태양광

(가)의 수소 연료 전지와 (나)의 물의 광분해에서 일어나는 반응은 다음과 같다.



ㄴ. (가)에서는 $\text{H}_2(g)$ 가 산화되고, $\text{O}_2(g)$ 가 환원되어 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 생성되고, (나)에서는 태양광이 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 을 산화 환원 반응시켜 $\text{H}_2(g)$ 와 $\text{O}_2(g)$ 가 생성된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)의 생성물은 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이지만, (나)의 생성물은 $\text{H}_2(g)$ 와 $\text{O}_2(g)$ 이다.

ㄷ. (가)는 화학 에너지를 이용하고, (나)는 태양광을 에너지로 이용한다.