

물질의 세 가지 상태

1 기체

01 / 기체의 성질

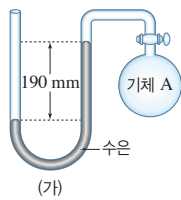
개념 확인 문제

14쪽

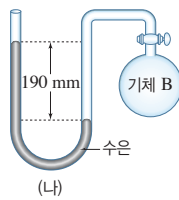
① 많 ② 강 ③ 반비례 ④ 비례 ⑤ 비례

- 1 (1) $P_{\text{기체 B}} > P_{\text{기체 A}}$ (2) 380 mmHg 2 (1) ○ (2) × (3) ×
 3 3기압 4 (1) ○ (2) ○ (3) × 5 ㉠ V ㉡ $\frac{1}{V}$ ㉢ $\frac{V}{T}$
 6 1.5 mol

1 **꼼꼼 문제 분석**



기체 A의 압력($P_{\text{기체 A}}$)이 대기압보다 작아서 수은 기둥이 밀려 들어왔다.
 $\Rightarrow P_{\text{기체 A}} = \text{대기압} - P_{\text{수은}}$



기체 B의 압력($P_{\text{기체 B}}$)이 대기압보다 커서 수은 기둥이 밀려났다.
 $\Rightarrow P_{\text{기체 B}} = \text{대기압} + P_{\text{수은}}$

(1) (가)에서는 기체 쪽으로 수은 기둥의 높이가 높으므로 $P_{\text{기체 A}}$ 은 대기압보다 190 mmHg가 작고, (나)에서는 대기압 쪽으로 수은 기둥의 높이가 높으므로 $P_{\text{기체 B}}$ 은 대기압보다 190 mmHg가 크다. 따라서 $P_{\text{기체 B}} > P_{\text{기체 A}}$ 이다.

(2) 대기압(1기압)은 760 mmHg이므로 $P_{\text{기체 A}} = 760 \text{ mmHg} - 190 \text{ mmHg} = 570 \text{ mmHg}$ 이고, $P_{\text{기체 B}} = 760 \text{ mmHg} + 190 \text{ mmHg} = 950 \text{ mmHg}$ 이다. 따라서 $|P_{\text{기체 A}} - P_{\text{기체 B}}| = 380 \text{ mmHg}$ 이다.

- 2 (1), (2) 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례하므로 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하다.
 (3) 헬륨 기체를 채운 풍선은 하늘 높이 올라갈수록 주위의 대기압이 낮아져 풍선 내부 기체의 부피가 늘어나므로 풍선의 크기는 점점 커진다.

3 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하다. 따라서 $P_1V_1 = P_2V_2$ 이므로 1기압 \times 12 L = $P \times$ 4 L, $P = 3$ 기압이다.

4 (2) 샤를 법칙에 의하면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례하므로 기체의 부피와 절대 온도의 비($\frac{V}{T}$)는 항상 일정하다.

(3) 아보가드로 법칙에 의하면 일정한 온도와 압력에서 기체의 종류와 관계없이 기체의 부피는 양(mol)에 비례한다.

5 샤를 법칙에 의하면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피(V)는 절대 온도(T)에 비례한다. 따라서 ㉠~㉢은 각각 V , $\frac{1}{V}$, $\frac{V}{T}$ 이다.

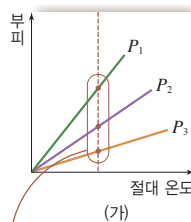
6 아보가드로 법칙에 의하면 일정한 온도와 압력에서 기체의 종류와 관계없이 기체의 부피는 양(mol)에 비례한다. 따라서 $\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$ 이므로 $\frac{12 \text{ L}}{0.5 \text{ mol}} = \frac{36 \text{ L}}{n}$, $n = 1.5 \text{ mol}$ 이다.

완자샘 비법 특강

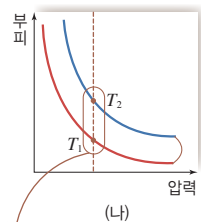
17쪽

Q1 (1) $P_3 > P_2 > P_1$ (2) $T_2 > T_1$ Q2 ㉠ 낮 ㉡ 클

Q1 **꼼꼼 문제 분석**



온도가 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 압력이 클수록 감소하므로 압력은 $P_3 > P_2 > P_1$ 이다.



압력이 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 온도가 높을수록 증가하므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

- (1) 일정한 온도에서 기체의 부피가 P_1 에서 가장 크고, P_3 에서 가장 작으므로 압력은 $P_3 > P_2 > P_1$ 이다.
 (2) 일정한 압력에서 기체의 부피가 T_1 보다 T_2 에서 크므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

Q2 $M = \frac{dRT}{P}$ 에서 $d = \frac{PM}{RT}$ 이므로 기체의 온도와 분자량이 일정할 때 기체의 밀도(d)는 압력에 비례한다. 이때 기체의 압력-밀도 그래프에서 기울기는 $\frac{M}{RT}$ 이다. 따라서 분자량이 같을 때에는 온도가 낮을수록, 온도가 같을 때에는 분자량이 클수록 기울기가 커진다.

개념 확인문제

18쪽

① nRT ② $\frac{wRT}{PV}$

1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 12.3 L 3 61.5기압 4 $\frac{3}{4}$

5 16 6 ㄱ, ㄴ, ㄹ, ㅁ

1 (1) $PV = nRT$ 에서 기체의 온도(T)와 양(n)이 일정할 때 $PV = k$ 이므로 보일 법칙을 설명할 수 있고, 압력(P)과 양(n)이 일정할 때 $V = kT$ 이므로 샤를 법칙을 설명할 수 있으며, 온도(T)와 압력(P)이 일정할 때 $V = kn$ 이므로 아보가드로 법칙을 설명할 수 있다.

(2) 기체 상수(R)는 0°C , 1기압에서 기체 1 mol의 부피 22.4 L를 대입하여 구한 상수이지만 모든 조건에서 같은 값을 갖는다.

(3) $PV = nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 $M = \frac{dRT}{P}$ 이다. 따라서 일정한 온도와 압력에서 기체의 밀도(d)는 기체의 분자량(M)에 비례한다.

2 H_2O_2 의 분자량이 34이므로 H_2O_2 34 g의 양은 1 mol이다. 반응한 H_2O_2 와 생성된 O_2 의 계수비가 2 : 1이므로 H_2O_2 1 mol이 모두 반응하면 O_2 0.5 mol이 생성된다.

$PV = nRT$ 에서 $V = \frac{nRT}{P}$ 이므로 $\text{O}_2(g)$ 의 부피는 다음과 같다.

$$V = \frac{0.5 \text{ mol} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times (27 + 273) \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 12.3 \text{ L}$$

3 O_2 의 분자량은 32이므로 $\text{O}_2(g)$ 1.6 kg의 양은 50 mol이다.

$PV = nRT$ 에서 $P = \frac{nRT}{V}$ 이므로 $\text{O}_2(g)$ 의 압력은 다음과 같다.

$$P = \frac{50 \text{ mol} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times (27 + 273) \text{ K}}{20 \text{ L}} = 61.5 \text{ atm(기압)}$$

4 N_2 의 분자량은 28이므로 $\text{N}_2(g)$ 14 g의 양은 0.5 mol이고, O_2 의 분자량은 32이므로 $\text{O}_2(g)$ 32 g의 양은 1 mol이다.

$PV = nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $P \propto \frac{n}{V}$ 이므로 $\frac{P_1}{P_2}$ 은 다음과 같다.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{0.5 \text{ mol}}{2V \text{ L}}}{\frac{1 \text{ mol}}{3V \text{ L}}} = \frac{3}{4}$$

5 $PV = nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이다.

$$M = \frac{4 \text{ g} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times (27 + 273) \text{ K}}{1.5 \text{ atm} \times 4.1 \text{ L}} = 16$$

6 $M = \frac{wRT}{PV}$ 를 이용하여 기체의 분자량을 구하려면 기체의 온도, 압력, 부피, 질량이 필요하다. 따라서 측정해야 하는 실험 값은 실험실의 온도(ㄱ), 실험실의 대기압(ㄴ), 주사기에 포집된 $\text{X}(g)$ 의 부피(ㄷ), $\text{X}(g)$ 를 포집하기 전과 후 $\text{X}(g)$ 가 담긴 통의 질량(ㄹ)이다.

대표 자료 분석 1

19쪽

1 $T_2 = \frac{2}{3}T_1$ 2 $0.5n$ 3 3기압 4 (1) × (2) ○ (3) ×

1 샤를 법칙에 의하면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례하므로 기체의 부피와 절대 온도의 비($\frac{V}{T}$)

는 항상 일정하다. 따라서 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 이므로 $\frac{3 \text{ L}}{T_1} = \frac{2 \text{ L}}{T_2}$,

$T_2 = \frac{2}{3}T_1$ 이다.

2 아보가드로 법칙에 의하면 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 종류와 관계없이 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.

3 (다)와 (라)는 온도와 기체의 양(mol)이 일정하므로 보일 법칙에 의하여 압력과 부피의 곱(PV)이 같다. 추 1개가 가하는 압력을 x 라고 하면 (1기압 + x 기압) × 3 L = (1기압 + $2x$ 기압) × 2 L, $x = 1$ 이다. 따라서 (라)에서 기체의 압력은 (대기압) + (추 2개의 압력)이므로 3기압이다.

4 (1) (나) → (다)에서 추가하는 He의 양(mol)을 2배로 하면 부피가 2배가 되므로 4 L가 되는데, 온도를 $\frac{1}{2}T_2$ K으로 변화시키면 부피가 $\frac{1}{2}$ 이 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 K으로 변화시키면 기체의 부피는 다음과 같다.

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

(3) (라)에서 추 1개를 추가해도 온도와 기체의 양(mol)은 일정하므로 보일 법칙에 의하여 압력과 부피의 곱(PV)이 같다. (라)에서 추 1개를 추가하면 기체에 가해지는 압력은 4기압이므로 3기압×2L=4기압×V, $V = \frac{3}{2}L$ 이다.

대표자료분석 2

20쪽

1 ㉠, ㉡ 2 ㉢ > ㉠ 3 ㉠의 부피는 감소하고, ㉡의 부피는 증가한다. 4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

1 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례한다. (가)에서 (나)로 변하는 과정에서 부피가 감소하면 압력은 증가하므로 압력이 증가한 것은 ㉠과 ㉡이다.

2 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하다. (나)에서 모든 기체의 압력이 같은데 이때의 압력을 P라 하고, (가)에서 ㉠과 ㉡의 압력을 각각 P_㉠, P_㉡이라 하면 P_㉠×2.7L=P×2L, P_㉡×1.3L=P×1L이므로 P_㉠= $\frac{2}{2.7}P$, P_㉡= $\frac{1}{1.3}P$ 이다. 따라서 압력은 ㉡ > ㉠이다.

3 (가)에서 기체의 압력은 ㉡ > ㉠이므로 고정 장치 I만 제거하면 ㉠의 부피는 감소하고, ㉡의 부피는 증가한다.

4 (1) 밀도= $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이고, 같은 온도와 압력에서 기체의 밀도는 분자량에 비례한다. 따라서 분자량비는 A(g) : B(g) = $\frac{w_1}{2}$:

$$\frac{w_2}{1} = 1 : 2 \text{이므로 } w_1 = w_2 \text{이다.}$$

(2) (가) → (나)에서 ㉠과 ㉡의 부피는 모두 감소하지만, ㉡의 부피는 증가하므로 ㉡의 압력이 가장 크다.

(3) (가)와 (나)에서 B(g)의 압력을 각각 P₁, P₂라 하면 P₁×1.3L=P₂×1L이므로 $\frac{P_1}{P_2} = \frac{10}{13}$ 이다.

(4) PV=nRT에서 기체의 온도가 일정할 때 n∝PV이다. (나)에서 실린더 양쪽 A(g)의 부피와 압력이 같으므로 양(mol)도 같다. 따라서 전체 A(g)의 질량(g)은 2w₁이다.

(5) (나)에서 모든 기체의 압력은 P로 같고, (가)에서 ㉡의 압력을 P_㉡이라 하면 P_㉡×1L=P×2L이므로 P_㉡=2P이다. 따라서 $\frac{\text{(가)에서 ㉡의 압력}}{\text{(나)에서 B(g)의 압력}} = \frac{2P}{P} = 2$ 이다.

내신만점문제

21쪽-24쪽

- 01 ㉢ 02 1 03 (1) T₂>T₁ (2) C>A=B 04 ㉤
 05 ㉢ 06 ㉢ 07 ㉢ 08 해설 참조 09 ㉡
 10 ㉡ 11 ㉠ 12 ㉣ 13 ㉡ 14 ㉡ 15 ㉤
 16 ㉣ 17 ㉢ 18 ㉢ 19 해설 참조

01 단위 시간 동안 기체 분자가 용기 벽면에 충돌하는 횟수가 많을수록, 기체 분자가 강하게 충돌할수록 기체의 압력은 커진다.

ㄱ. 온도를 일정하게 유지하면서 H₂(g)를 추가하면 분자 수가 많아지므로 충돌하는 횟수가 증가한다.

ㄴ. 강철 용기 속 온도를 높이면 분자 운동이 활발해지므로 기체 분자가 충돌하는 횟수가 증가하고 더 강하게 충돌한다.

(바로알기) ㄷ. 온도와 부피, 양(mol)이 같으면 기체의 종류와 관계없이 기체의 압력은 같다.

02 — 꼼꼼 문제 분석

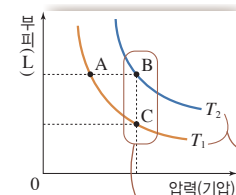
→ 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다.
 ⇒ 기체의 부피와 절대 온도의 비($\frac{V}{T}$)는 항상 일정하다.

| 실험 | 압력(기압) | 온도(K) | 부피(L) |
|-----|--------|-------|----------------------------------|
| (가) | 1 | 273 | V ₁ |
| (나) | 1 | 546 | V ₂ = 2V ₁ |
| (다) | 2 | 546 | V ₃ = V ₁ |

→ 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례한다.
 ⇒ 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하다.

압력이 같은 (가)와 (나)를 비교하면 샤를 법칙에 의해 $\frac{V_1}{273K} = \frac{V_2}{546K}$ 이므로 V₂=2V₁이다. 온도가 같은 (나)와 (다)를 비교하면 보일 법칙에 의해 1기압×V₂=2기압×V₃이므로 V₃= $\frac{V_2}{2}$ =V₁이다. 따라서 $\frac{V_1+V_3}{V_2} = \frac{V_1+V_1}{2V_1} = 1$ 이다.

03 — 꼼꼼 문제 분석



→ 온도가 일정할 때 기체의 부피와 압력은 반비례한다.

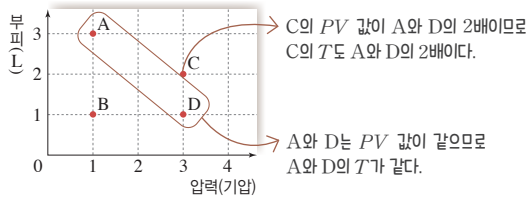
→ 압력이 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 온도가 높을수록 증가하므로 부피가 큰 B가 C보다 온도가 높다.
 ⇒ T₂>T₁

(1) 샤를 법칙에 의하면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다. 그래프에서 압력이 같은 B와 C의 부피를 비교하면 부피는 $B > C$ 이므로 $T_2 > T_1$ 이다.

(2) Ne(g)의 양(mol)이 같으므로 A~C에서 Ne(g)의 질량(w)은 같다. 밀도 $d = \frac{w}{V}$ 에서 Ne(g)의 질량이 같으므로 밀도는 부피에 반비례한다. 부피는 $A = B > C$ 이므로 밀도는 $C > A = B$ 이다.

04 **꼼꼼 문제 분석**

일정량의 기체의 PV 는 T 에 비례한다.



ㄱ. 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하다. A와 D에서 압력과 부피의 곱이 3으로 같으므로 He(g)의 온도는 같다.

ㄴ. 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이다. B와 D에서 부피는 1 L로 같고, He(g)의 질량도 같으므로 밀도는 같다.

ㄷ. A에서 압력과 부피의 곱은 3이고, C에서 압력과 부피의 곱은 6이다.

05 잠수부가 내뿜은 공기 방울이 수면에 가까워질수록 받는 압력이 감소하므로 부피가 커진다. 따라서 보일 법칙과 관련된 현상이다.

ㄱ, ㄴ. 보일 법칙과 관련된 현상이다.

바로알기 ㄷ. 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물에 넣으면 탁구공 속 기체의 온도가 높아져 부피가 증가하므로 탁구공이 퍼진다. 따라서 샤를 법칙과 관련된 현상이다.

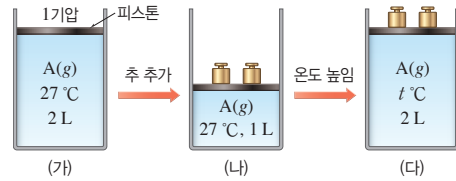
06 ㄱ. 샤를 법칙에 의하면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례하므로 기체의 부피와 절대 온도의 비($\frac{V}{T}$)는 항상 일정하다. 따라서 $\frac{V_1}{273 \text{ K}} = \frac{V_2}{(273+273) \text{ K}}$ 이므로 $V_2 = 2V_1$ 이다.

ㄴ. 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하므로 $1 \text{ 기압} \times V_1 = 0.5 \text{ 기압} \times V$ 이고, $V = 2V_1$ 이다. 또 $2V_1 = V_2$ 이므로 0.5 기압 , 0° C 에서 He(g)의 부피(L)는 V_2 이다.

바로알기 ㄷ. 1기압일 때 직선의 기울기는 $\frac{V_1}{273}$ 이다. 같은 온도

에서 기체의 부피는 압력에 반비례하므로 2기압일 때 직선의 기울기는 $\frac{V_1}{546}$ 이다.

[07-08] **꼼꼼 문제 분석**



- (가) → (나)는 온도는 일정할 때 압력이 증가하여 기체의 부피가 감소하는 과정이다. ⇒ 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례한다. (보일 법칙)
- (나) → (다)는 압력이 일정할 때 온도가 높아져 기체의 부피가 증가하는 과정이다. ⇒ 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다. (샤를 법칙)

07 ㄱ. (가)와 (나)는 온도와 기체의 양(mol)이 일정하므로 보일 법칙에 의해 압력과 부피의 곱(PV)이 같다. 추 1개가 가하는 압력을 x 라고 하면 $1 \text{ 기압} \times 2 \text{ L} = (1 \text{ 기압} + 2x \text{ 기압}) \times 1 \text{ L}$, $x = 0.5$ 이다. 따라서 추 1개가 가하는 압력은 0.5 기압 이다.

ㄴ. 분자량이 $A > B$ 이므로 B(g) $w \text{ g}$ 의 양(mol)은 A(g) $w \text{ g}$ 의 양(mol)보다 크다. 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 물질의 양(mol)에 비례하므로 (나)에 B(g) $w \text{ g}$ 을 첨가하면 전체 기체의 부피는 2 L보다 크다.

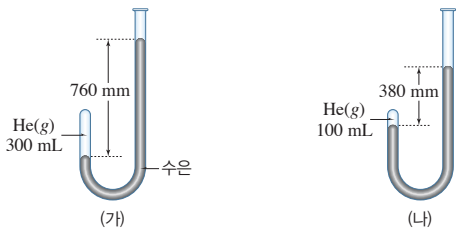
바로알기 ㄷ. (다)에 추 2개를 추가해도 온도와 기체의 양(mol)은 일정하므로 보일 법칙에 의하여 압력과 부피의 곱(PV)이 같다. (다)에서 압력은 2기압이므로 (다)에 추 2개를 추가하면 기체에 가해지는 압력은 3기압이다. 따라서 $2 \text{ 기압} \times 2 \text{ L} = 3 \text{ 기압} \times V$, $V = \frac{4}{3} \text{ L}$ 이다.

08 샤를 법칙에 의하면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다. 절대 온도는 섭씨 온도에 273을 더한 값과 같고, (나)와 (다)의 부피비가 1 : 2이므로 절대 온도의 비도 1 : 2이다.

모범 답안 (나)에서 (다)로 될 때 압력은 일정하고 기체의 부피는 1 L에서 2 L로 변하였으므로 $\frac{1 \text{ L}}{(27+273) \text{ K}} = \frac{2 \text{ L}}{(t+273) \text{ K}}$ 이다. 따라서 $t = 327$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--|------|
| (다)에서 기체의 온도 t 를 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100% |
| (다)에서 기체의 온도 t 만 옳게 구한 경우 | 50% |

09 — **꼼꼼 문제 분석**



He(g)의 압력:
760 mmHg + 760 mmHg
= 1520 mmHg → 2기압

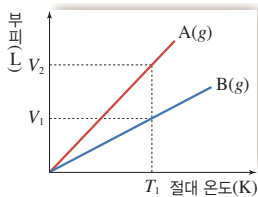
He(g)의 압력:
760 mmHg + 380 mmHg
= 1140 mmHg → 1.5기압

ㄷ. $PV = nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이다. (가)와 (나)의 몰비는 (가) : (나) = 2기압 × 0.3 L : 1.5기압 × 0.1 L = 4 : 1이다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. (가)에서 He(g)의 압력은 (760 + 760) mmHg = 1520 mmHg이므로 2기압이고, (나)에서 He(g)의 압력은 (760 + 380) mmHg = 1140 mmHg이므로 1.5기압이다.

10 — **꼼꼼 문제 분석**

$PV = nRT$ 에서 V와 T는 비례 관계이다.



- A(g)와 B(g)의 압력은 1기압으로 같다.
- $PV = nRT$ 에서 T와 P이 일정할 때 V는 n에 비례한다.
- T₁에서 부피: A(g) > B(g)
- 양(mol): A(g) > B(g)
- 분자량: B > A

ㄴ. 온도와 압력이 같을 때 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 몰비는 A : B = V₂ : V₁이다.

바로알기 ㄱ. 분자량 = $\frac{\text{질량}}{\text{기체의 양(mol)}}$ 이다. A(g)와 B(g)의 질량은 같지만 기체의 양(mol)은 A(g) > B(g)이므로 분자량은 B > A이다.

ㄷ. 절대 온도와 부피 그래프에서 직선의 기울기는 압력이 클수록 작아지고, 기체의 양(mol)이 클수록 커진다.

11 ㄴ. $PV = nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 $M = \frac{dRT}{P}$ 이다. (가)~(다)에 들어 있는 물질은 같은 물질이다. 즉, 분자량이 같으므로 $d \propto \frac{P}{T}$ 이다. (가)~(다)에서 $\frac{P}{T}$ 는 각각 $\frac{1}{300}$, $\frac{2}{300}$, $\frac{3}{400}$ 이므로 밀도는 (다) > (나) > (가)이다.

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

$$n_{(가)} : n_{(나)} : n_{(다)} = \frac{1 \times 3}{300R} : \frac{2 \times 2}{300R} : \frac{3 \times 1}{400R} = 12 : 16 : 9$$

이다. 따라서 기체의 양(mol)은 (나) > (가)이다.

ㄷ. 단위 부피당 분자 수는 $\frac{n}{V}$ 에 비례한다. $PV = nRT$ 에서

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

이므로 단위 부피당 분자 수비는 (가) : (나) : (다) = $\frac{1}{300} : \frac{2}{300} : \frac{3}{400} = 4 : 8 : 9$ 이다. 따라서 단위 부피당 분자 수는 (다) > (나)이다.

12 $PV = nRT$ 에서 $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 (가)와 (나)의 양(mol)은 각각 $\frac{PV}{RT}$, $\frac{P \times 2V}{R \times \frac{3}{2}T}$ 이다. 따라서 $x : y = 1 : \frac{4}{3}$ 이고, $\frac{x}{y} = \frac{3}{4}$ 이다.

13 $PV = nRT$ 에서 $T \propto \frac{PV}{n}$ 이므로 A(g)와 B(g)를 비교하면 $T : xT = \frac{PV}{n} : \frac{PV}{2n}$, $x = \frac{1}{2}$ 이다.

$PV = nRT$ 에서 $P \propto \frac{nT}{V}$ 이므로 A(g)와 C(g)를 비교하면 $P : yP = \frac{nT}{V} : \frac{2n \times 3T}{1.5V}$, $y = 4$ 이다. 따라서 $x \times y = 2$ 이다.

14 $PV = nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이다. 따라서 A(g)~C(g)의 양(mol)은 모두 같다. 고정 장치 I과 II를 모두 제거했을 때 A(g), B(g), C(g)의 압력은 3P기압이고, 부피는 2 L로 모두 같다.

ㄷ. 고정 장치 I과 II를 모두 제거해도 C(g)의 부피는 2 L로 변화 없다.

바로알기 ㄱ. A(g)~C(g)의 양(mol)은 모두 같다.

ㄴ. 고정 장치 I과 II를 제거하면 A(g)의 압력은 감소하고, B(g)의 압력은 증가하며, C(g)의 압력은 변화 없다.

15 $PV = nRT$ 에서 $V = \frac{n}{P}RT$ 이므로 X(g)의 부피비는 다음과 같다.

$$V_{(가)} : V_{(나)} : V_{(다)} = \frac{a}{2b} : \frac{a}{b} : \frac{2a}{b} = 1 : 2 : 4$$

이다. 따라서 $\frac{V_{(나)}}{V_{(가)} + V_{(다)}} = \frac{2}{1+4} = \frac{2}{5}$ 이다.

16 $PV=nRT=\frac{w}{M}RT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이고, 산소 기체의 질량은 (w_1-w_2) g이다.

$$M=\frac{(w_1-w_2) \text{ g} \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times (27+273) \text{ K}}{1 \text{ atm} \times 0.24 \text{ L}}$$

$$=100(w_1-w_2) \text{이다.}$$

17 $M=\frac{dRT}{P}$ 에서 $T=\frac{PM}{dR}$ 이므로 $T \propto \frac{P}{d}$ 이다. 따라서

$$T_A : T_B : T_C = \frac{1}{2} : \frac{2}{1} : \frac{3}{3} = 1 : 4 : 2 \text{이다.}$$

18 $\therefore PV=nRT$ 에서 $P=\frac{nRT}{V}$ 이다. A에서 X(g)의 압력은 다음과 같다.

$$P=\frac{0.1 \text{ mol} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K}}{1 \text{ L}}=2.46 \text{ atm}$$

(기압)이다.

$\therefore PV=nRT$ 에서 기체의 양(mol)이 일정할 때 $PV \propto T$ 이다.

$$PV \text{의 비는 } A : B : C = P \times 1 : 2P \times \frac{1}{2} : 4P \times \frac{1}{2} = 1 : 1 : 2$$

이다. A에서 온도는 300 K이므로 B와 C에서 온도는 각각 300 K, 600 K이다.

바로알기 $\therefore M=\frac{dRT}{P}$ 에서 기체의 밀도 $d=\frac{PM}{RT}$ 이므로 B

와 C에서 기체의 밀도는 각각 $\frac{2PM}{300R}$, $\frac{4PM}{600R}$ 이다. 즉, $\frac{PM}{150R}$ 으로 같다.

19 $PV=nRT$ 에서 (가)와 (나)는 기체의 압력(P)과 부피(V)가 같으므로 nRT 도 서로 같다. 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수가 각각 1과 2이므로 (가)와 (나)에서 몰비는 A(g) : B(g) = 1 : 2이다.

모범 답안 $PV=nRT$ 에서 (가)와 (나)의 압력과 부피가 같으므로 nRT 도 같다. (가)에서 A(g)의 양(mol)을 n 이라고 하면 (나)에서 B(g)의 양(mol)은 $2n$ 이다. 따라서 $nRT_1=2nRT_2$ 이므로 $\frac{T_1}{T_2}=2$ 이다.

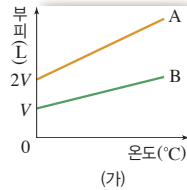
| 채점 기준 | 배점 |
|---|------|
| $\frac{T_1}{T_2}$ 을 구하고, 풀이 과정을 옮겨 서술한 경우 | 100% |
| $\frac{T_1}{T_2}$ 만 옮겨 구한 경우 | 50% |

실력 UP 문제

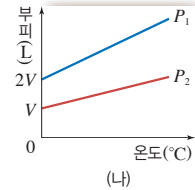
25쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ⑤ 04 ⑤

01 **꼼꼼 문제 분석**



- 질량: a g
- 압력: P_1
- 부피: 일정한 온도에서 A가 B의 2배이다.
- 기체의 양(mol) : $n_A=2n_B$



- 질량: b g
- 부피: 일정한 온도에서 P_1 일 때가 P_2 일 때의 2배이다.
- 압력 : $P_1=\frac{1}{2}P_2$

$\therefore PV=nRT=\frac{w}{M}RT$ 에서 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이다. (가)의 0°C에서 A(g)와 B(g)의 T, P, w가 같으므로 $M \propto \frac{1}{V}$ 이다. 분자량비는 A(g) : B(g) = $\frac{1}{2V} : \frac{1}{V} = 1 : 2$ 이다.

다른 풀이 $PV=nRT$ 에서 기체의 온도와 압력이 일정할 때 $V \propto n$ 이다. (가)에서 압력은 P_1 으로 일정하고, 0°C에서 기체의 부피는 A(g)가 B(g)의 2배이므로 기체의 양(mol)도 A가 B의 2배이다. 이때 A와 B의 질량이 같으므로 분자량($=\frac{\text{질량}}{\text{기체의 양(mol)}}$)은 B(g)가 A(g)의 2배이다.

바로알기 \therefore (가)에서 B(g)는 a g, 273 K, P_1 에서의 부피가 V이고, (나)에서 B(g)는 b g, 273 K, P_1 에서의 부피가 2V이다. $PV=nRT$ 에서 기체의 온도와 압력이 일정할 때 $V \propto n$ 이므로 기체의 양(mol)은 (나)가 (가)의 2배이다. 또한 같은 물질인 경우 질량은 기체의 양(mol)에 비례하므로 $b=2a$ 이다. 즉, $a=\frac{1}{2}b$ 이다.

\therefore 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하다. (나)에서 $P_1 \times 2V = P_2 \times V$ 이므로 $P_1 = \frac{1}{2}P_2$ 이다.

02 $\therefore PV=nRT$ 에서 $\frac{P}{T}=\frac{n}{V}R$ 이다. (가)에서 $\frac{P}{T}$ 의 비는 A(g) : B(g) = $\frac{1}{2} : 3$ 이므로 $\frac{P}{T}$ 는 B(g) > A(g)이다. (나)에서 $\frac{n}{V}R$ 의 비는 $\ominus : \omin� = \frac{b}{2}R : \frac{a}{3}R$ 이므로 $\frac{n}{V}R$ 는 $\omin� > \omin�$ 이다. 따라서 $\omin�$ 과 $\omin�$ 은 각각 B(g), A(g)이다.

ㄴ. ㉠과 ㉡은 각각 B(g), A(g)이므로 PV의 비는 A(g) : B(g)=1기압×3L : 3기압×2L=1 : 2이다.

ㄷ. $\frac{b}{2}R : \frac{a}{3}R = 3 : \frac{1}{2}$ 이므로 $b=4a$ 이다. A(g)와 B(g)가 같은 질량이고, 몰비가 1 : 4이므로 분자량비는 A(g) : B(g)=4 : 1이다.

다른 풀이 $M = \frac{wRT}{PV}$ 에서 질량이 일정하므로 분자량비는 A(g) : B(g) = $\frac{2R}{1 \times 3} : \frac{R}{3 \times 2} = 4 : 1$ 이다.

03 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이다. 용기 I과 II에서 밀도는 각각 $w=d$,

$$\frac{2w+xw}{2} = \frac{5}{2}d \text{이므로 } x=3 \text{이다.}$$

$PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이다. A(g) w g의 양을 n mol이라 하면 용기 I과 II에서 전체 기체의 몰비는 I : II=1 : 4이다. 용기 II에서 A(g) $2w$ g의 양은 $2n$ mol이므로 B(g) $3w$ g의 양은 $2n$ mol이다.

분자량 = $\frac{\text{질량}}{\text{기체의 양(mol)}}$ 이므로 분자량비는 A(g) : B(g) = $\frac{2w}{2n} : \frac{3w}{2n} = 2 : 3$ 이다. 따라서 $\frac{A \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} \times x = \frac{2}{3} \times 3 = 2$ 이다.

04 ㄱ. A(g)의 압력은 760 mmHg(대기압)+760 mmHg=1520 mmHg이므로 B(g)의 압력은 1520 mmHg-380 mmHg=1140 mmHg이다. 따라서 $x=1140$ 이다.

ㄴ. $M = \frac{wRT}{PV}$ 에서 온도와 부피가 일정할 때 $M \propto \frac{w}{P}$ 이다. A(g)와 B(g)의 온도와 부피가 같고, 기체의 압력비는 A(g) : B(g)=1520 mmHg : 1140 mmHg=4 : 3이며, 질량이 각각 w_1 g, w_2 g이므로 분자량비는 A(g) : B(g) = $\frac{w_1}{4} : \frac{w_2}{3} = 3w_1 : 4w_2$ 이다.

ㄷ. A(g)의 압력은 B(g)의 압력의 $\frac{4}{3}$ 이다. $PV=nRT$ 에서 기체의 양(mol)과 부피가 일정할 때 $P \propto T$ 이므로 B(g)의 온도를 $\frac{4}{3}T$ K으로 높이면 B(g)의 압력이 $\frac{4}{3}$ 가 된다. 따라서 A(g)와 B(g)의 압력이 같아지므로 가운데 U자관의 수는 기둥의 높이가 같아진다.

02 / 혼합 기체

개념 확인 문제

28쪽

① 부분 압력 ② 몰분율 ③ 몰분율

- 1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ 2 $\frac{6}{5}$ 기압 3 $\frac{9}{5}$ 기압
4 $\frac{9}{4}$ 기압 5 (1) $\frac{2}{3}$ (2) (가) $\frac{2}{3}$ P기압 (나) P기압

- 1** (1) 부분 압력 법칙에 의해 혼합 기체의 전체 압력은 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같다.
(2) 혼합 기체에서 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력에 성분 기체의 몰분율을 곱해서 구한다.
(3) 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부분 압력은 몰분율에 비례한다.

2 A(g)의 부분 압력=2기압× $\frac{2}{5} = \frac{4}{5}$ 기압이다. 따라서 B(g)의 부분 압력=2기압- $\frac{4}{5}$ 기압= $\frac{6}{5}$ 기압이다.

다른 풀이 혼합 기체에서 성분 기체의 몰분율의 합은 1이므로 B(g)의 몰분율= $1 - \frac{2}{5} = \frac{3}{5}$ 이고, B(g)의 부분 압력=2기압× $\frac{3}{5} = \frac{6}{5}$ 기압이다.

3 보일 법칙에 의해 꼭지를 열기 전과 후 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하므로 꼭지를 열었을 때 He(g)와 Ne(g)의 부분 압력을 각각 P_{He} , P_{Ne} 이라 하면 다음과 같다.

$$3\text{기압} \times 2\text{L} = P_{He} \times 5\text{L}, P_{He} = \frac{6}{5}\text{기압}$$

$$1\text{기압} \times 3\text{L} = P_{Ne} \times 5\text{L}, P_{Ne} = \frac{3}{5}\text{기압}$$

따라서 전체 압력 $P = P_{He} + P_{Ne} = \frac{6}{5}$ 기압 + $\frac{3}{5}$ 기압 = $\frac{9}{5}$ 기압이다.

다른 풀이 $PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이고, 꼭지를 연 후 혼합 기체의 전체 양(mol)은 꼭지를 열기 전의 각 성분 기체의 양(mol)의 합과 같으므로 (3기압×2L)+(1기압×3L)= $P \times 5\text{L}$, $P = \frac{9}{5}$ 기압이다.

4 A(g)와 B(g)의 몰비가 1 : 3이므로 B(g)의 몰분율 = $\frac{B(g) \text{의 양(mol)}}{\text{전체 기체의 양(mol)}} = \frac{3}{4}$ 이고, 전체 압력은 3기압이므로 B(g)의 부분 압력=3기압× $\frac{3}{4} = \frac{9}{4}$ 기압이다.

5 (1) $PV=nRT$ 에서 기체의 부피가 일정할 때 $T \propto \frac{P}{n}$ 이므로

로 $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{P}{3}}{\frac{2P}{4}} = \frac{2}{3}$ 이다.

(2) (가)에서 A(g)의 몰분율 = $\frac{A(g)의 양(mol)}{전체 기체의 양(mol)} = \frac{2}{3}$ 이므로

(가)에서 A(g)의 부분 압력 = $P기압 \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3}P기압$ 이다.

(나)에서 A(g)의 몰분율 = $\frac{A(g)의 양(mol)}{전체 기체의 양(mol)} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$ 이므로

로 (나)에서 A(g)의 부분 압력 = $2P기압 \times \frac{1}{2} = P기압$ 이다.

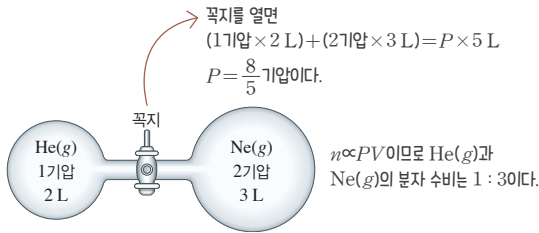
대표 자료 분석 1

29쪽

1 He(g) : Ne(g) = 1 : 3 2 He(g) : $\frac{1}{4}$, Ne(g) : $\frac{3}{4}$ 3 $\frac{8}{5}$ 기압

4 He(g) : $\frac{2}{5}$ 기압, Ne(g) : $\frac{6}{5}$ 기압 5 (1) ○ (2) × (3) ○

꼼꼼 문제 분석



1 $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이므로 He(g)과 Ne(g)의 분자 수비는 He(g) : Ne(g) = (1기압 × 2 L) : (2기압 × 3 L) = 1 : 3이다.

2 He(g)과 Ne(g)의 몰비가 1 : 3이므로 He(g)의 몰분율 = $\frac{1}{4}$ 이고, Ne(g)의 몰분율 = $\frac{3}{4}$ 이다.

3 $PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이고, 꼭지를 연 후 혼합 기체의 전체 양(mol)은 꼭지를 열기 전의 각 성분 기체의 양(mol)의 합과 같으므로 (1기압 × 2 L) + (2기압 × 3 L) = $P \times 5 L$, $P = \frac{8}{5}$ 기압이다.

4 전체 압력이 $\frac{8}{5}$ 기압이고, He(g)과 Ne(g)의 몰분율이 각각 $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ 이므로 He(g)과 Ne(g)의 부분 압력은 다음과 같다.

He(g)의 부분 압력 : $\frac{8}{5}기압 \times \frac{1}{4} = \frac{2}{5}기압$

Ne(g)의 부분 압력 : $\frac{8}{5}기압 \times \frac{3}{4} = \frac{6}{5}기압$

다른 풀이 꼭지를 열었을 때 He(g)과 Ne(g)의 부분 압력을 각각 P_{He} , P_{Ne} 이라 하면 다음과 같다.

1기압 × 2 L = $P_{He} \times 5 L$, $P_{He} = \frac{2}{5}기압$

2기압 × 3 L = $P_{Ne} \times 5 L$, $P_{Ne} = \frac{6}{5}기압$

5 (1) 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱(PV)은 일정하다. 꼭지를 열면 He(g)의 부피는 2 L에서 5 L로 커지므로 보일 법칙에 의해 압력은 꼭지를 열기 전보다 작아진다.

(2) 꼭지를 열면 He(g)과 Ne(g)이 차지하는 부피는 5 L로 같다.

(3) $PV=nRT$ 에서 기체의 양(mol)과 부피가 일정할 때 $P \propto T$ 이므로 T K에서 He(g)의 부분 압력이 $\frac{2}{5}$ 기압이면 2T K에서는 $\frac{4}{5}$ 기압이다.

내신 만점 문제

30쪽~32쪽

- | | | | | |
|------|-----------|----------|------|------|
| 01 ③ | 02 0.75기압 | 03 나, 다 | 04 ⑤ | 05 ⑤ |
| 06 ⑤ | 07 나 | 08 해설 참조 | 09 ④ | 10 ① |
| 11 ⑤ | 12 ③ | | | |

01 가. 기체가 혼합되면 각 성분 기체는 용기 전체로 퍼져 공간을 차지하므로 각 성분 기체의 부피는 혼합 기체의 전체 부피와 같다. 즉, N₂(g)의 부피는 건조 공기의 부피인 3 L과 같다. 나. O₂(g)의 몰분율이 0.21이고, 전체 압력이 2기압이므로 (나)에서 O₂(g)의 부분 압력은 2기압 × 0.21 = 0.42기압이다.

바로알기 다. 기체의 밀도 $d = \frac{PM}{RT}$ 에서 온도가 일정할 때 $d \propto PM$ 이다. N₂(g)의 몰분율이 0.78이고, 전체 압력이 2기압이므로 (나)에서 N₂(g)의 부분 압력은 2기압 × 0.78 = 1.56기압이며, O₂(g)의 부분 압력은 0.42기압이다. 따라서 밀도비는 N₂(g) : O₂(g) = 1.56기압 × 28 : 0.42기압 × 32 = 13 : 4이다.

02 N₂의 분자량이 28이므로 N₂(g) 8.4 g의 양은 0.3 mol이고, CO₂의 분자량이 44이므로 CO₂(g) 8.8 g의 양은 0.2 mol이다. 온도와 부피가 일정할 때 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로 부분 압력의 비는 N₂(g) : CO₂(g) = 0.45기압 : P_{CO₂} = 0.3 mol : 0.2 mol, P_{CO₂} = 0.3기압이다. 따라서 전체 압력은 0.75기압이다.

다른 풀이 $N_2(g)$ 의 몰분율 = $\frac{N_2(g)의 양(mol)}{전체 기체의 양(mol)} = \frac{0.3}{0.5}$ 이다.

$N_2(g)$ 의 부분 압력 = 전체 압력 $\times N_2(g)$ 의 몰분율이므로 0.45기압
 $압 = P \times \frac{0.3}{0.5}$, $P = 0.75$ 기압이다.

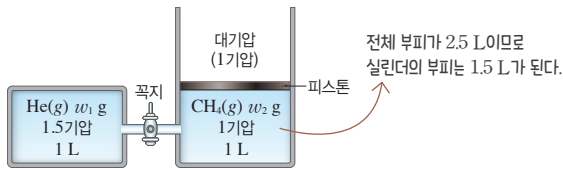
03 나. 기체의 부피는 기체 분자들이 운동하는 공간의 크기로, 기체가 혼합되면 각 성분 기체는 용기 전체로 퍼져 공간을 차지하므로 각 성분 기체의 부피는 모두 같다.

다. 기체의 양(mol) = $\frac{질량}{분자량}$ 이다. He(g)의 질량과 분자량이 모두 $H_2(g)$ 의 2배이므로 기체의 양(mol)이 같다. 따라서 부분 압력도 같다.

바로알기 가. 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부피는 전체 부피와 같고, 밀도 = $\frac{질량}{부피}$ 이다. 질량은 He(g) > $H_2(g)$ 이므로 밀도는 He(g) > $H_2(g)$ 이다.

04 **꼼꼼 문제 분석**

꼭지를 열면 전체 압력이 대기압과 같은 1기압이 된다.
 $\Rightarrow (1.5기압 \times 1 L) + (1기압 \times 1 L) = 1기압 \times V$, $V = 2.5 L$ 이다.



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

$$(1.5기압 \times 1 L) + (1기압 \times 1 L) = 1기압 \times V, V = 2.5 L이다.$$

가. $PV = nRT = \frac{w}{M}RT$ 에서 온도가 일정할 때 $w \propto MPV$

이다. He와 CH_4 의 분자량은 각각 4와 16이므로 $\frac{w_1}{w_2} = \frac{4 \times 1.5기압 \times 1 L}{16 \times 1기압 \times 1 L} = \frac{3}{8}$ 이다.

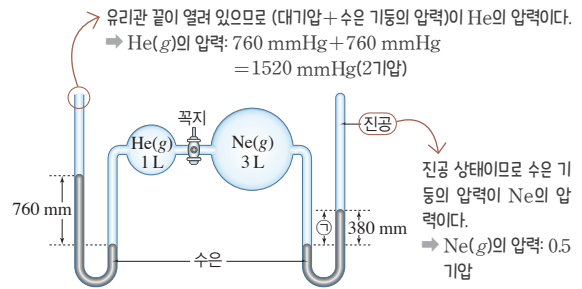
나. 기체가 혼합된 후 전체 부피는 2.5 L인데, 용기의 부피가 1 L이므로 실린더 속 기체의 부피는 1.5 L이다.

다. 꼭지를 열었을 때 He(g)의 부분 압력을 P_{He} 이라 하면 $1.5기압 \times 1 L = P_{He} \times 2.5 L$, $P_{He} = 0.6기압$ 이다.

05 (나)에서 꼭지 a를 열었을 때 He(g)와 Ne(g)의 부분 압력을 각각 P_{He} , P_{Ne} 이라 하면 $4기압 \times 3 L = P_{He} \times 5 L$, $3기압 \times 2 L = P_{Ne} \times 5 L$ 이므로 $P_{He} = \frac{12}{5}$ 기압, $P_{Ne} = \frac{6}{5}$ 기압이다. (다)

에서 꼭지 b를 열었을 때 전체 기체의 부피가 2배로 증가하므로 Ne(g)의 부분 압력은 $\frac{3}{5}$ 기압이다. 따라서 (다) 과정 후 용기 I에서 He(g)의 부분 압력 = 4이다.
 용기 II에서 Ne(g)의 부분 압력 = 4이다.

06 **꼼꼼 문제 분석**



$PV = nRT$ 에서 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이고, 혼합 후 전체 기체의 양(mol)은 혼합 전 각 성분 기체의 양(mol)의 합과 같다. 꼭지를 열기 전 He(g)과 Ne(g)의 압력은 각각 2기압, 0.5기압이고, 꼭지를 연 후의 전체 압력을 P라 하면 $(2기압 \times 1 L) + (0.5기압 \times 3 L) = P \times 4 L$, $P = \frac{7}{8}$ 기압이다. 1기압일 때 ㉠은

760 mm이므로 $\frac{7}{8}$ 기압일 때는 665 mm이다.

07 나. 분자량 = $\frac{질량}{기체의 양(mol)}$ 이다. (가)와 (나)에서 A(g) w_1 g의 양을 n mol이라 하면 (나)에서 B(g) w_2 g의 양은 5n mol이므로 A의 분자량 = $\frac{w_1 g}{n mol}$ 이고, B의 분자량 = $\frac{w_2 g}{5n mol}$ 이다. 따라서 $\frac{A의 분자량}{B의 분자량} = \frac{5w_1}{w_2}$ 이다.

바로알기 가. $PV = nRT$ 에서 부피가 일정할 때 $n \propto \frac{P}{T}$ 이다.

전체 기체의 몰비는 (가) : (나) = $\frac{P}{2T} : \frac{3P}{T} = 1 : 6$ 이다. 기체의 양(mol)은 (나)에서가 (가)에서의 6배이다.

다. (나)에서 A(g)와 B(g)의 양은 각각 n mol, 5n mol이므로 B(g)의 몰분율은 $\frac{5}{6}$ 이다. 따라서 (나)에서 B(g)의 부분 압력은

$$3P기압 \times \frac{5}{6} = \frac{5}{2}P기압이다.$$

08 **모범 답안** 6기압. O_2 의 분자량은 32이므로 $O_2(g)$ 16 g의 양은 0.5 mol이고, N_2 의 분자량은 28이므로 $N_2(g)$ 42 g의 양은 1.5 mol이다. 이때 $N_2(g)$ 의 몰분율 = $\frac{1.5 mol}{0.5 mol + 1.5 mol} = \frac{3}{4}$ 이고, $N_2(g)$ 의 부분 압력 = $8기압 \times \frac{3}{4} = 6기압$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|------|
| $N_2(g)$ 의 부분 압력을 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100% |
| $N_2(g)$ 의 부분 압력만 옳게 구한 경우 | 50% |

09 ④ $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양(mol)을 각각 n , $4n$ 이라 하면 실린더와 용기의 부피는 각각 4 L, 1 L이므로 실린더에 들어 있는 $A(g)$ 의 양(mol)과 용기에 들어 있는 $B(g)$ 의 양(mol)은 각각 $\frac{4}{5}n$ 으로 서로 같다.

바로알기 ① $A(g)$ 의 부분 압력=전체 압력× $A(g)$ 의 몰분율이다. 꼭지를 열고 충분한 시간이 지났을 때의 전체 압력은 1기압이므로 $A(g)$ 의 몰분율= $\frac{A(g)$ 의 부분 압력}{전체 압력}= $\frac{0.2\text{기압}}{1\text{기압}}$ =0.2이다.

② $B(g)$ 의 부분 압력=전체 압력- $A(g)$ 의 부분 압력=0.8기압이고, 몰비는 $A : B = 1 : 4$ 이다. $PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이므로 몰비는 $A : B = 1 : 4 = 1\text{기압} \times 1\text{L} : x\text{기압} \times 1\text{L}$ 이므로 $x=4$ 이다.

③ 꼭지를 연 후 전체 부피를 V 라 하면 $(1\text{기압} \times 1\text{L}) + (4\text{기압} \times 1\text{L}) = 1\text{기압} \times V$, $V=5\text{L}$ 이다. 용기의 부피가 1 L이므로 실린더 속 기체의 부피는 4 L이다.

⑤ 온도를 $2T\text{ K}$ 으로 높여도 전체 압력은 1기압이므로 $B(g)$ 의 부분 압력은 0.8기압으로 일정하다.

10 NO의 분자량은 30이므로 $\text{NO}(g)$ 15 g의 양은 0.5 mol이고, O_2 의 분자량은 32이므로 $\text{O}_2(g)$ 16 g의 양은 0.5 mol이다. 반응 몰비는 $\text{NO} : \text{O}_2 : \text{NO}_2 = 2 : 1 : 2$ 이므로 반응 후 생성된 $\text{NO}_2(g)$ 의 양은 0.5 mol이고, 반응하지 않고 남은 $\text{O}_2(g)$ 의 양은 0.25 mol이다. $PV=nRT$ 에서 기체의 온도와 부피가 일정할 때 $P \propto n$ 이다. (가)에서 전체 기체의 양은 1 mol이고, 전체 압력은 P 기압이다. (나)에서 $\text{O}_2(g)$ 의 양은 0.25 mol이므로 (나)에서 $\text{O}_2(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{1}{4}P$ 기압이다.

11 ㄱ. $PV=nRT$ 에서 기체의 온도와 압력이 일정할 때 $n \propto V$ 이므로 몰비는 $\text{CH}_4 : \text{He} : \text{Ne} = 5 : 3 : 2$ 이다.

ㄴ. 질량=분자량×물질의 양(mol)이다. $\text{Ne}(g)$ 과 $\text{CH}_4(g)$ 의 분자량은 각각 20, 16이고, 몰비는 $\text{Ne} : \text{CH}_4 = 2 : 5$ 이므로 질량비는 $w_1 : w_2 = (20 \times 2) : (16 \times 5) = 1 : 2$ 이다.

ㄷ. (가)에서 $\text{Ne}(g)$ 의 압력을 P 라 하면 (나)에서 부피가 절반으로 줄었으므로 압력은 $2P$ 이고, (나)에서 $\text{CH}_4(g)$ 의 압력도 $2P$ 이다. 피스톤을 모두 제거하면 $\text{CH}_4(g)$ 의 부피는 2배로 증가하므로 $\text{CH}_4(g)$ 의 부분 압력은 P 가 된다. 따라서 (가)에서 $\text{Ne}(g)$ 의 압력인 P 와 같다.

12 학생 A. 고기를 포장할 때 고기의 색을 붉게 유지하기 위해 필요한 O_2 와 미생물의 번식을 억제하기 위해 필요한 CO_2 를 혼합하여 이용한다.

학생 B. 자동차 연료로 이용되는 LPG는 계절에 따른 온도 차와 연소 효율을 위해 C_3H_8 과 C_4H_{10} 을 혼합하여 이용한다.

바로알기 학생 C. 깊은 바닷속에서 일반 공기로 호흡하면 혈액 속의 질소 농도가 높아져 여러 가지 부작용이 생길 수 있다. 따라서 깊은 바닷속을 잠수할 때는 O_2 와 He를 혼합한 기체를 이용하거나, O_2 , He, N_2 를 혼합한 기체를 이용한다.

실력UP문제

32쪽

01 ㄱ, ㄷ

02 ③

01 ㄱ. (가)와 (나)에서 $\text{He}(g)$ 의 양(mol)이 같으므로 $x\text{기압} \times 2V\text{ L} = 1\text{기압} \times V\text{ L}$, $x=0.5$ 이다.

ㄷ. (가)에서 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력은 0.5기압이고, (나)에서 $\text{H}_2(g)$ 의 몰분율이 $\frac{2}{3}$ 이므로 $\text{H}_2(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{2}{3}$ 기압이다. 따라서

$\frac{\text{(가)에서 He}(g)\text{의 부분 압력}}{\text{(나)에서 H}_2(g)\text{의 부분 압력}} = \frac{3}{4}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 양(mol)= $\frac{\text{질량}}{\text{분자량}}$ 이고, H_2 와 He의 분자량이 각각 2와 4이므로 $\text{He}(g)$ $w\text{ g}$ 이 $n\text{ mol}$ 이라 하면 $\text{H}_2(g)$ $w\text{ g}$ 은 $2n\text{ mol}$ 이다. (가)에 $\text{H}_2(g)$ 를 넣어도 부피가 변하지 않으므로 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력은 0.5기압이다. (나)에 $\text{H}_2(g)$ 를 넣으면 전체 압력은 1기압으로 일정하지만, 전체 부피가 $3V\text{ L}$ 로 증가하므로 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{1}{3}$ 기압이 된다. 따라서 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력은 (가)>(나)이다.

02 (나)에서 실린더 속 전체 압력은 1기압이므로 $B(g)$ 의 부분 압력은 0.75기압이다. 같은 부피와 온도에서 기체의 양(mol)은 부분 압력에 비례하므로 몰비는 $A : B = 1 : 3$ 이다. 따라서 두 기체의 분자량(M)비는 다음과 같다.

$$M_A : M_B = \frac{w_1}{1} : \frac{w_2}{3} = 3w_1 : w_2$$

$B(g)$ 의 양(mol)은 변하지 않으므로 (나)의 조건(2 L, $T\text{ K}$)을 (가)의 조건(1 L, $2T\text{ K}$)으로 변환하여 x 를 구한다. 부피가 $\frac{1}{2}$ 로 작아지면 압력은 2배가 되고, 절대 온도가 2배로 커지면 압력 또한 다시 2배가 된다. 따라서 (가)에서 $B(g)$ 의 압력=0.75기압 $\times 4 = 3$ 기압이다. 따라서 $x=3$ 이고, $\frac{B\text{의 분자량}}{A\text{의 분자량}} \times x = \frac{w_2}{3w_1}$

$$\times 3 = \frac{w_2}{w_1}\text{이다.}$$

중단원 핵심정리

33쪽

- 1 커 2 반비례 3 절대 온도 4 비례 5 nRT
 6 분자량 7 합 8 몰분율 9 비례

중단원 마무리 문제

34쪽~37쪽

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

02 ㄱ. (가)는 절대 온도와 부피가 비례하는 것을 나타내므로 샤를 법칙과 관련된 그래프이다.

바로알기 ㄴ. (나)는 보일 법칙과 관련된 그래프이고, ㉠으로 $\frac{1}{V}$ 이 적절하다.

ㄷ. 하늘 위로 올라갈수록 압력이 낮아져 풍선의 부피가 커지는 것은 보일 법칙과 관련된 현상이다.

03 제시된 그래프에서 압력이 P 일 때 일정량의 기체의 부피가 절대 온도에 비례하며, 온도가 T 일 때 기체의 부피는 V 이다. $A(g)$ 의 양(mol)과 온도가 같고, 압력이 $2P$ 로 증가하면 부피는 반비례하여 $\frac{1}{2}$ 로 작아진다. 따라서 압력이 $2P$ 이고, 온도가 T 일 때 부피는 $\frac{1}{2}V$ 이므로 ②번이 적절하다.

04 ㄱ. 온도가 같은 (가)와 (나)를 비교하면 보일 법칙에 의해 1기압 $\times V_1=2$ 기압 $\times V_2$ 이므로 $V_1 : V_2=2 : 1$ 이다.

ㄴ. 압력이 같은 (나)와 (다)를 비교하면 샤를 법칙에 의해 $\frac{V_2}{273\text{K}} = \frac{V_3}{546\text{K}}$ 이므로 $V_2 : V_3=1 : 2$ 이다. $V_3=2V_2$ 이다.

바로알기 ㄷ. $V_1 : V_2 : V_3=2 : 1 : 2$ 이므로 $V_1=V_3 > V_2$ 이다.

05 $PV=nRT$ 에서 $n \propto \frac{PV}{T}$ 이다. (가)~(다)에서 $\frac{PV}{T}$ 는 각각 $\frac{b}{2a}, \frac{b}{a}, \frac{2b}{a}$ 이고, $n_{(가)} : n_{(나)} : n_{(다)}=1 : 2 : 4$ 이므로 $\frac{n_{(가)}+n_{(나)}}{n_{(다)}} = \frac{1+2}{4} = \frac{3}{4}$ 이다.

06 ㄱ. 양(mol) = $\frac{\text{질량}}{\text{분자량}}$ 이다. He과 H_2 의 분자량이 각각 4, 2이므로 몰비는 He : $H_2 = \frac{3w}{4} : \frac{2w}{2} = 3 : 4$ 이다.

ㄴ. $PV=nRT$ 에서 온도와 부피가 일정할 때 $P \propto n$ 이므로 기체의 압력비는 기체의 몰비와 같다. $H_2(g)$ 의 압력을 x 기압이라 하면 He(g)의 압력은 $(x-0.5)$ 기압이므로 $(x-0.5) : x=3 : 4$, $x=2$ 이다.

바로알기 ㄷ. $PV=nRT$ 에서 기체의 부피와 양(mol)이 일정할 때 $P \propto T$ 이다. 따라서 온도를 높이면 기체의 압력이 높아지면서 He(g)과 $H_2(g)$ 의 압력차는 커지므로 수는 기둥의 높이차도 커진다.

07 ㄴ. 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이므로 밀도비는 $A(g) : C(g) = \frac{3w}{3V} : \frac{5w}{V} = 1 : 5$ 이다.

ㄷ. $M = \frac{wRT}{PV}$ 이므로 분자량비는 $B(g) : C(g) = \frac{2w \times R \times 4T}{P \times 2V} : \frac{5w \times R \times 3T}{3P \times V} = 4 : 5$ 이다.

바로알기 ㄱ. $PV=nRT$ 에서 $n \propto \frac{PV}{T}$ 이므로 몰비는 $A(g) : B(g) = \frac{2P \times 3V}{2T} : \frac{P \times 2V}{4T} = 6 : 1$ 이다.

08 ㄴ. 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이고, (나)에서 A(g)와 B(g)의 질량과 밀도가 같으므로 부피도 같다. $PV=nRT$ 에서 $\frac{nT}{P} = \frac{V}{R}$ 이므로 기체의 부피가 같으면 $\frac{nT}{P}$ 도 같다. (나)에서 온도는 ㉠ > ㉡이고, 압력은 ㉡ > ㉠이므로 $\frac{T}{P}$ 는 ㉠ > ㉡이고, 이에 따라 n 은 ㉡ > ㉠이다. $PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이므로 (가)에서 기체의 몰비는 $A(g) : B(g)=1$ 기압 $\times 1\text{L} : 2$ 기압 $\times 2\text{L}=1 : 4$ 이다. 따라서 ㉠과 ㉡은 각각 A(g), B(g)이다.

ㄷ. $PV=nRT$ 에서 기체의 부피가 일정할 때 $T \propto \frac{P}{n}$ 이다. (나)에서 A(g)와 B(g)의 압력은 각각 1기압, 2기압이고, 기체의 몰비는 $A(g) : B(g)=1 : 4$ 이므로 절대 온도비는 $A(g) : B(g) = \frac{1}{1} : \frac{2}{4} = 2 : 1$ 이다. 따라서 절대 온도는 ㉠(A(g))에서가 ㉡(B(g))에서의 2배이다.

바로알기 ㄱ. 분자량 = $\frac{\text{질량}}{\text{기체의 양(mol)}}$ 이고 질량은 같으므로 분자량비는 기체의 양(mol)에 반비례한다. 따라서 분자량비는 $A(g) : B(g)=4 : 1$ 이다.

09 샤를 법칙에 의하면 압력이 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례하므로 기체의 부피와 절대 온도의 비($\frac{V}{T}$)는 항상 일정하다. 따라서 B(g)에서 $\frac{5V L}{(t+273) K} = \frac{7V L}{(2t+273) K}$ 이므로 $t=182^\circ C$ 이고, $0^\circ C$ 에서 부피(x)는 $\frac{x L}{273 K} = \frac{5V L}{455 K}$ 에서 $x=3V$ 이다. $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 $V \propto \frac{n}{P}$ 이다. $0^\circ C$ 에서 A(g)와 B(g)의 부피(L)는 각각 6V, 3V이고, A(g)와 B(g)의 양(mol)을 각각 n_1, n_2 라 하면 $\frac{n_1}{2P} : \frac{n_2}{3P} = 2 : 1$ 이며, $n_1 : n_2 = 4 : 3$ 이다. 따라서 분자량비는 $A : B = \frac{w_1}{4} : \frac{w_2}{3} = 3w_1 : 4w_2$ 이다.

10 **ㄷ.** 실린더 안과 밖의 수면의 높이가 같으므로 실린더 안쪽 기체의 압력은 1기압이다. 따라서 포집된 $O_2(g)$ 의 압력은 1기압-0.04기압=0.96기압이다. $M = \frac{wRT}{PV}$ 에서 $w = \frac{PVM}{RT}$ 이므로 (나)에서 포집된 $O_2(g)$ 의 질량은 다음과 같다.

$$\frac{0.96 \text{ atm} \times 0.25 \text{ L} \times 32 \text{ g/mol}}{0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times (27+273) \text{ K}} = 0.32 \text{ g}$$

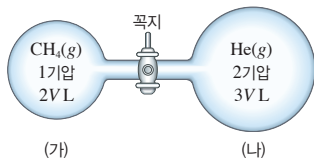
바로알기 **ㄱ.** 눈금실린더 속의 기체에는 $O_2(g)$ 와 물이 증발하여 생성된 $H_2O(g)$ 가 혼합되어 있다.
ㄴ. $O_2(g)$ 의 압력은 0.96기압이다.

11 (나)에서 He(g)의 몰분율 = $\frac{a}{a+2b} = \frac{3}{4}$ 이므로 $a=2b$ 이 (가)에서 He(g)의 몰분율 = $\frac{a}{a+b}$

ㄷ. $PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이고, (가)와 (나)에서 전체 기체의 양(mol)은 각각 3b, 4b이므로 P_1 기압 $\times 2 \text{ L} : P_2$ 기압 $\times 3 \text{ L} = 3 : 4$ 이다. 따라서 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{8}{9}$ 이고, $\frac{P_2}{P_1} \times \frac{b}{a} = \frac{4}{9}$ 이다.

12 **품평 문제 분석**

• $PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이므로 $CH_4(g)$ 과 He(g)의 몰비는 $CH_4(g) : He(g) = 1\text{기압} \times 2V \text{ L} : 2\text{기압} \times 3V \text{ L} = 1 : 3$ 이다.



• 꼭지를 열면 $(1\text{기압} \times 2V \text{ L}) + (2\text{기압} \times 3V \text{ L}) = P \times 5V \text{ L}$, $P = \frac{8}{5}$ 기압이다.

• $CH_4(g)$ 의 몰분율 : $\frac{1}{4} \rightarrow$ 부분 압력 : $\frac{8}{5}$ 기압 $\times \frac{1}{4} = \frac{2}{5}$ 기압

• He(g)의 몰분율 : $\frac{3}{4} \rightarrow$ 부분 압력 : $\frac{8}{5}$ 기압 $\times \frac{3}{4} = \frac{6}{5}$ 기압

ㄱ. 몰비는 $CH_4(g) : He(g) = 1 : 3$ 이므로 $CH_4(g)$ 과 He(g)의 몰분율은 각각 $\frac{1}{4}, \frac{3}{4}$ 이다.

ㄴ. 꼭지를 연 후 혼합 기체의 전체 압력은 $(1\text{기압} \times 2V \text{ L}) + (2\text{기압} \times 3V \text{ L}) = P \times 5V \text{ L}$, $P = \frac{8}{5}$ 기압이다. 따라서 He(g)의 부분 압력은 $\frac{8}{5}$ 기압 $\times \frac{3}{4} = \frac{6}{5}$ 기압이다.

ㄷ. $CH_4(g)$ 과 He(g)의 부분 압력은 각각 $\frac{2}{5}$ 기압, $\frac{6}{5}$ 기압이므로 (가)에 들어 있는 $CH_4(g)$ 과 (나)에 들어 있는 He(g)의 몰비는 $CH_4(g) : He(g) = \frac{2}{5}$ 기압 $\times 2V \text{ L} : \frac{6}{5}$ 기압 $\times 3V \text{ L} = 2 : 9$ 이다. 질량 = 분자량 \times 물질의 양(mol)이고, $CH_4(g)$ 과 He(g)의 분자량은 각각 16, 4이므로 $\frac{\text{(가)에 들어 있는 } CH_4(g)\text{의 질량(g)}}{\text{(나)에 들어 있는 He(g)의 질량(g)}} = \frac{16 \times 2}{4 \times 9} = \frac{8}{9}$ 이다.

13 **ㄷ.** (나)에서 C(g)의 부분 압력이 1기압, 몰분율이 $\frac{1}{2}$ 이므로 전체 압력은 2기압이다. $PV=nRT$ 에서 부피와 기체의 양(mol)이 일정할 때 $P \propto T$ 이므로 $T : aT = 2 : 3$ 이고, $a = \frac{3}{2}$ 이다.

바로알기 **ㄱ, ㄴ.** $PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이므로 용기의 부피(L)를 V라 하면 반응 후 생성된 C(g)의 부분 압력이 1기압이고, 부피(L)가 2V이므로 반응 전과 후 기체의 몰비는 $B(g) : C(g) = 3\text{기압} \times V \text{ L} : 1\text{기압} \times 2V \text{ L} = 3 : 2$ 이다. $2A(g) + B(g) \rightarrow 2C(g)$ 에서 계수비가 $A(g) : B(g) : C(g) = 2 : 1 : 2$ 이므로 (나)에서 A(g) 2 mol이 모두 반응하였음을 알 수 있고, 이에 따라 생성된 C(g)의 양은 2 mol이고, 반응 전 B(g)의 양은 3 mol, 반응 후 남아 있는 B(g)의 양은 2 mol이다. 따라서 (가)에서 A(g)의 압력은 2기압이고, (나)에서 반응 후 C(g)의 몰분율은 $\frac{1}{2}$ 이다.

14 $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이므로 1기압 $\times 1 \text{ L}$ 를 n mol이라 할 때 반응 전 각 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

- A(g) : $x\text{기압} \times 3 \text{ L} = 3x \rightarrow 3xn \text{ mol}$
- B(g) : $0.5x\text{기압} \times 2 \text{ L} = x \rightarrow xn \text{ mol}$
- He(g) : $2\text{기압} \times 3 \text{ L} = 6 \rightarrow 6n \text{ mol}$

$2A(g) + B(g) \rightarrow 2C(g)$ 에서 계수비가 $A(g) : B(g) : C(g) = 2 : 1 : 2$ 이므로 xn 만큼 $B(g)$ 가 모두 반응하려면 $2xn$ 만큼의 $A(g)$ 가 필요하다. 따라서 $B(g)$ 가 모두 소모되는 한계 반응물이고, 반응 후에 남은 $A(g)$ 의 양(mol)은 xn , 생성된 $C(g)$ 의 양(mol)은 $2xn$ 이므로 피스톤 왼쪽 영역의 전체 기체 양(mol)은 $3xn$ 이다. 피스톤이 이동한 후 $He(g)$ 의 전체 부피는 4 L이므로 He 의 압력은 $P_{He} \times 4 \text{ L} = 2 \text{ 기압} \times 3 \text{ L}$, $P_{He} = 1.5 \text{ 기압}$ 이다. 피스톤이 정지해 있으므로 왼쪽 영역의 전체 압력 또한 1.5기압이며, 이때 전체 부피는 6 L이므로 기체의 양(mol)은 $9n$ 이다. 따라서 $3xn = 9n$ 이고, $x = 3$ 이다.

15 $PV = nRT$ 에서 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례하고, 온도(T)와 기체의 양(n)에 비례하므로 기체의 부피를 증가시키기 위해서는 기체의 양(n)을 늘리거나 온도(T)를 높이거나, 압력(P)을 낮추는 방법을 적용하면 된다.

모범 답안 보일 법칙: 풍선을 들고 높은 산에 오른다.
샤를 법칙: 난방 기구로 풍선 주변의 온도를 높인다.
아보가드로 법칙: 풍선에 기체를 더 불어 넣는다.

| 채점 기준 | 배점 |
|----------------------|-------|
| 3가지 사례를 모두 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 2가지 사례만 옳게 서술한 경우 | 75 % |
| 1가지 사례만 옳게 서술한 경우 | 50 % |

16 **모범 답안** (1) 꼭지를 열었을 때 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 부분 압력을 각각 P_A , P_B 라 하면 다음과 같다.

$$2 \text{ 기압} \times 3 \text{ L} = P_A \times 7 \text{ L}, P_A = \frac{6}{7} \text{ 기압}$$

$$0.5 \text{ 기압} \times 4 \text{ L} = P_B \times 7 \text{ L}, P_B = \frac{2}{7} \text{ 기압}$$

따라서 전체 압력 $P = P_A + P_B = \frac{6}{7} \text{ 기압} + \frac{2}{7} \text{ 기압} = \frac{8}{7} \text{ 기압}$ 이다.

다른 풀이 $PV = nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이고, 꼭지를 연 후 혼합 기체의 전체 양(mol)은 꼭지를 열기 전의 각 성분 기체의 양(mol)의 합과 같으므로 $(2 \text{ 기압} \times 3 \text{ L}) + (0.5 \text{ 기압} \times 4 \text{ L}) = P \times 7 \text{ L}$, $P = \frac{8}{7} \text{ 기압}$ 이다.

(2) (1) 과정 후 고정 장치를 제거하고 충분한 시간이 흐르면 전체 기체의 압력은 대기압과 같은 1기압이다.

모범 답안 (2) 고정 장치를 제거하기 전 혼합 기체의 압력과 부피는 각각 $\frac{8}{7}$ 기압, 7 L이고, 고정 장치를 제거하면 전체 압력이 1기압이므로 전체 기체의 부피는 8 L이다. 따라서 실린더에 들어 있는 기체의 부피는 4 L이고, 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부피는 전체 부피와 같으므로 실린더에 들어 있는 $A(g)$ 의 부피도 4 L이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|------|
| (1) 혼합 기체의 전체 압력을 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 50 % |
| 혼합 기체의 전체 압력만 옳게 구한 경우 | 30 % |

| | | |
|-----|---|------|
| (2) | 실린더에 들어 있는 $A(g)$ 의 부피를 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 50 % |
| | 실린더에 들어 있는 $A(g)$ 의 부피만 옳게 구한 경우 | 30 % |

17 피스톤으로 분리된 상태로 초기 조건에서 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 압력은 모두 P 기압이다.

모범 답안 $PV = nRT$ 에서 기체의 압력이 일정할 때 $n \propto \frac{V}{T}$ 이므로 몰비는 $A(g) : B(g) = \frac{V_L}{3T_K} : \frac{4V_L}{2T_K} = 1 : 6$ 이다. 최종 온도가 $2T$ K일 때 $B(g)$ 는 온도 변화 없이 부피가 4V에서 5V로 커지므로 $B(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{4}{5}P$ 기압이다. 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부분 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로 $A(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{4}{5}P \times \frac{1}{6} = \frac{2}{15}P$ 기압이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---------------------------------------|-------|
| $A(g)$ 의 부분 압력을 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| $A(g)$ 의 부분 압력만 옳게 구한 경우 | 50 % |

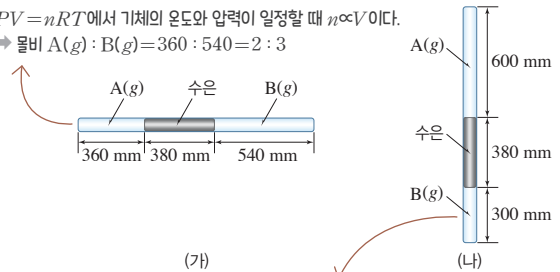
중단원 고난도 문제

38쪽~39쪽

01 ㄱ, ㄴ, ㄷ 02 ① 03 ③ 04 ③ 05 ③
06 ④ 07 ⑤ 08 ②

01 ———— **꼼꼼 문제 분석**

$PV = nRT$ 에서 기체의 온도와 압력이 일정할 때 $n \propto V$ 이다.
→ 몰비 $A(g) : B(g) = 360 : 540 = 2 : 3$



$PV = nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이다.

→ 몰비 $A(g) : B(g) = P \times 600 : (P + 0.5) \times 300 = 2 : 3$, $P = 0.25 \text{ 기압}$

선택지 분석

- ㉠ 기체의 몰비는 $A(g) : B(g) = 2 : 3$ 이다.
- ㉡ (가)에서 $A(g)$ 의 압력은 $\frac{5}{12}$ 기압이다.
- ㉢ (나)에서 기체의 밀도비는 $A(g) : B(g) = 1 : 6$ 이다.

전략적 풀이 ① (가)와 같이 수평으로 놓여 있을 때는 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 압력이 같고, (나)와 같이 수직으로 놓여 있을 때는 아래쪽 $B(g)$ 의 압력은 위쪽 $A(g)$ 의 압력에 수은 기둥의 높이(380 mm)만큼을 더한 것과 같다. 이를 이용하여 기체의 압력과 몰비를 구한다.

ㄱ. $PV=nRT$ 에서 기체의 온도와 압력이 일정할 때 $n \propto V$ 이고, 몰비는 부피비와 같으므로 기체의 몰비는 $A(g) : B(g) = 2 : 3$ 이다.

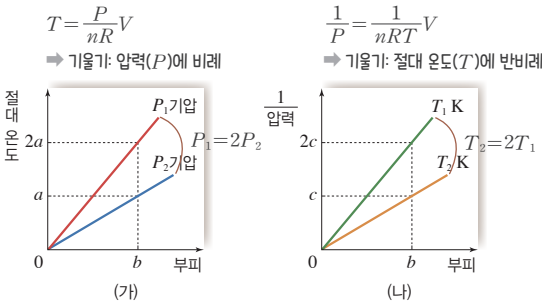
ㄴ. $PV=nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이다. (나)에서 $A(g)$ 의 압력을 P 기압이라 하면 $B(g)$ 의 압력은 $(P+0.5)$ 기압이다. 따라서 두 기체의 몰비는 $A(g) : B(g) = P \times 600 : (P+0.5) \times 300 = 2 : 3$ 이므로 $P = 0.25$ 기압이다. (가)에서 $A(g)$ 의 압력을 $P_{(가)}$ 라 하면 보일 법칙에 따라 $P_{(가)} \times 360 = 0.25 \text{기압} \times 600$ 이고, $P_{(가)} = \frac{5}{12}$ 기압이다.

㉔ 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이고, 질량 = 분자량 \times 기체의 양(mol)이다. $A(g)$ 의 분자량을 M , 양(mol)을 $2n$ 이라 할 때 밀도를 구한다.

ㄷ. $B(g)$ 의 분자량이 $A(g)$ 의 2배이고, 몰비는 $A(g) : B(g) = 2 : 3$ 이므로 (나)에서 밀도비는 $A(g) : B(g) = \frac{M \times 2n}{600} :$

$$\frac{2M \times 3n}{300} = 1 : 6 \text{이다.}$$

02 - 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

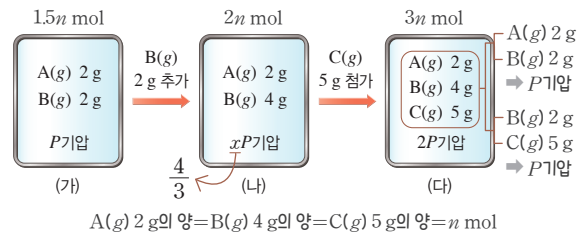
- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ 1 ④ 2 ⑤ 4

전략적 풀이 $PV=nRT$ 를 이용하여 P_1 과 P_2 의 관계, T_1 과 T_2 의 관계를 정리한 뒤, $\frac{PV}{T} = k$ 를 이용하여 $\frac{V_1}{V_2}$ 을 구한다.

$PV=nRT$ 에서 일정량의 기체의 $\frac{PV}{T} = k$ 이다. (가)와 (나)에서 부피(L)가 b 일 때, 절대 온도와 압력은 비례하므로 $P_1 : P_2, 2a : a = 2 : 1$ 이고, $T_1 : T_2 = \frac{1}{2c} : \frac{1}{c} = 1 : 2$ 이다. 따라서

$$P_1 = 2P_2 \text{이고, } T_2 = 2T_1 \text{이므로 } \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{2P_2}{P_2} = \frac{2T_1}{2T_1} = \frac{1}{4} \text{이다.}$$

03 - 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ① $\frac{5}{4}$ ② $\frac{4}{3}$ ③ $\frac{5}{3}$ ④ $\frac{15}{8}$ ⑤ $\frac{10}{3}$

전략적 풀이 ① (가)와 (다)를 비교하여 물질의 양(mol)을 알아낸다.

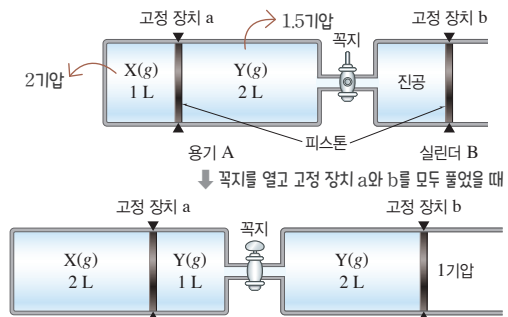
$PV=nRT$ 에서 기체의 부피와 온도가 일정할 때 $n \propto P$ 이다. (가)에서 $A(g)$ 2g과 $B(g)$ 2g의 압력이 P 기압이므로 (다)에서 $A(g)$ 2g과 $B(g)$ 2g의 압력과 $B(g)$ 2g과 $C(g)$ 5g의 압력도 각각 P 기압이다. 동일한 온도와 부피에서 압력이 같으므로 $A(g)$ 2g과 $B(g)$ 2g의 양(mol)과 $B(g)$ 2g과 $C(g)$ 5g의 양(mol)이 같다. 즉, $A(g)$ 2g과 $C(g)$ 5g의 양(mol)이 같다.

② $B(g)$ 의 몰분율을 이용하여 (나)에서의 압력과 분자량비를 구한다.

(다)에서 $A(g)$ 와 $C(g)$ 의 양(mol)이 같고 $B(g)$ 의 몰분율이 $\frac{1}{3}$ 이므로 $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)이 모두 같고, 분자량비는 $A : B : C = 2 : 4 : 5$ 이다. $A(g) \sim C(g)$ 의 양을 각각 n mol이라 하면 (다)에서 전체 기체의 양은 $3n$ mol이고, (나)에 들어 있는 전체 기체의 양은 $2n$ mol이므로 $xP \text{기압} = 2P \text{기압} \times \frac{2n}{3n}$, $x = \frac{4}{3}$ 이다.

따라서 $x \times \frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{4}{3} \times \frac{5}{4} = \frac{5}{3}$ 이다.

04 - 꼼꼼 문제 분석



- 고정 장치 b를 풀었을 때: 실린더 부피는 1 L \Rightarrow Y(g)의 압력은 1기압, 부피는 3 L
- 고정 장치 a까지 풀었을 때: 실린더 부피는 2 L \Rightarrow X(g)의 압력은 1기압, 부피는 2 L

선택지 분석

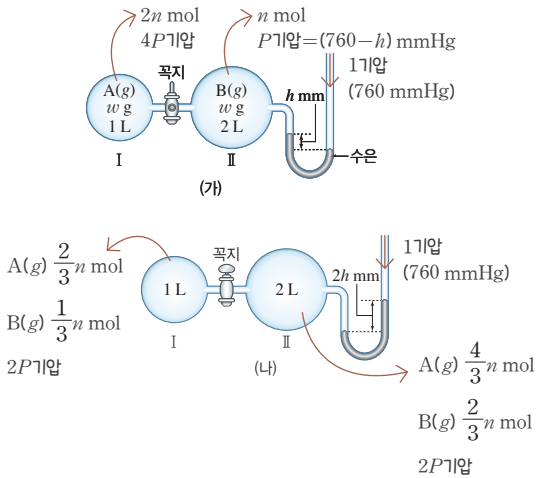
- ㉠ 분자 수비는 $X(g) : Y(g) = 2 : 3$ 이다.
- ㉡ 초기 상태에서 기체의 압력비는 $X(g) : Y(g) = 4 : 3$ 이다.
- ㉢ 꼭지를 열고 고정 장치 a와 b를 모두 풀었을 때 용기 A에 들어 있는 질량비는 $X(g) : Y(g) = 2 : 1$ 이다. 3 : 1

전략적 풀이 꼭지를 열고 고정 장치를 모두 풀었을 때 X와 Y의 부피비가 분자 수비와 같음을 이해하고, 초기 상태에서 각 기체의 압력을 구한다.

㉠, ㉡. 꼭지를 열고 고정 장치를 모두 풀어 충분한 시간이 지난 후 1기압에서 X(g)와 Y(g)의 부피는 각각 2 L, 3 L이므로 분자 수비는 $X(g) : Y(g) = 2 : 3$ 이다. 또한 온도가 일정할 때 기체의 부피와 압력은 반비례하므로 초기 상태에서 X(g)와 Y(g)의 압력은 각각 2기압, 1.5기압이다. 따라서 초기 상태에서 기체의 압력비는 $X(g) : Y(g) = 4 : 3$ 이다.

㉢. X(g)와 Y(g)의 질량이 같고, 전체 분자 수비는 $X(g) : Y(g) = 2 : 3$ 이다. 꼭지를 열고 고정 장치를 모두 풀었을 때 용기 A에 들어 있는 분자 수비는 $X(g) : Y(g) = 2 : 1$ 이므로 질량비는 $X(g) : Y(g) = 1 : \frac{1}{3} = 3 : 1$ 이다.

05 **꼼꼼 문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ (가)에서 기체의 압력비는 $A(g) : B(g) = 4 : 1$ 이다.
- ㉡ (나)에서 용기 I에 들어 있는 A(g)의 부분 압력은 용기 II에 들어 있는 B(g)의 부분 압력과 같다.
- ㉢ $h = 190$ 이다.

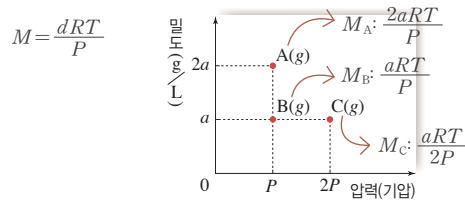
전략적 풀이 ① A(g)와 B(g)의 분자량비로부터 (가)에서 A(g)와 B(g)의 양(mol)과 압력을 각각 구한다.

㉠. 분자량은 B가 A의 2배이므로 B(g) w g의 양을 n mol이라 하면 A(g) w g의 양은 2n mol이다. $PV = nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $P \propto \frac{n}{V}$ 이므로 기체의 압력비는 $A(g) : B(g) = \frac{2n \text{ mol}}{1 \text{ L}} : \frac{n \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 4 : 1$ 이다.

㉡. (나)에서 용기 I과 II의 부피비는 1 : 2이고, 용기 I에 들어 있는 A(g)의 양(mol)과 용기 II에 들어 있는 B(g)의 양(mol)은 각각 $\frac{2}{3}n$ 으로 같다. 따라서 부분 압력은 용기 I에 들어 있는 A(g)가 용기 II에 들어 있는 B(g)의 2배이다.

② (나)에서 부분 압력 법칙을 적용하여 전체 압력을 구하여 h를 구한다.
 ㉢. (가)에서 B(g)의 압력은 $(760 - h)$ mmHg이고, (가)에서 B(g)의 압력을 P기압이라 하면 A(g)의 압력은 4P기압이다. (나)에서 전체 기체의 압력을 P_t 기압이라 하면 $(4P \text{ 기압} \times 1 \text{ L}) + (P \text{ 기압} \times 2 \text{ L}) = P_t \times 3 \text{ L}$ 이므로 $P_t = 2P$ 이다. 따라서 $(760 + 2h)$ mmHg = $2(760 - h)$ mmHg이므로 $h = 190$ 이다.

06 **꼼꼼 문제 분석**



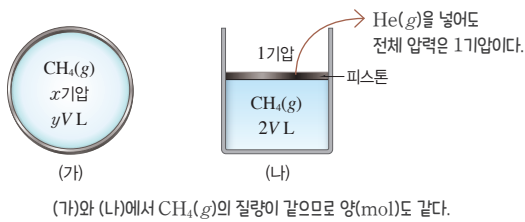
선택지 분석

- ㉠ $\frac{1}{4}$
- ㉡ $\frac{1}{2}$
- ㉢ $\frac{3}{4}$
- ㉣ 1
- ㉤ 2

전략적 풀이 ① $PV = nRT$ 에서 $n = \frac{w}{M}$, $d = \frac{w}{V}$ 를 대입하여 $M = \frac{dRT}{P}$ 를 구하여 A(g)~C(g)의 분자량을 구한다.
 $PV = nRT$ 에서 $M = \frac{dRT}{P}$ 이다. 따라서 기체의 온도가 일정할 때 $M \propto \frac{d}{P}$ 이므로 분자량비는 $A : B : C = \frac{2a}{P} : \frac{a}{P} : \frac{a}{2P} = 4 : 2 : 1$ 이다.

② 밀도값을 이용하여 부피비를 구한다.
 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이고, A(g)와 C(g)는 질량이 같고, 밀도(g/L)가 각각 2a, a이므로 부피비는 $V_A : V_C = \frac{1}{2a} : \frac{1}{a} = 1 : 2$ 이다. 따라서 $\frac{V_C}{V_A} \times \frac{B \text{의 분자량}}{A \text{의 분자량}} = \frac{2}{1} \times \frac{1}{2} = 1$ 이다.

07 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

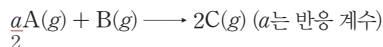
- ① $\frac{1}{3}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ 2 ④ 3 ⑤ $\frac{9}{2}$

전략적 풀이 $\text{CH}_4(g)$ 과 $\text{He}(g)$ 의 분자량을 이용하여 양(mol)을 구한 뒤, 부분 압력을 구해 x 와 y 를 알아낸다.

$\text{CH}_4(g)$ 과 $\text{He}(g)$ 의 분자량이 각각 16, 4이므로 $\text{CH}_4(g)$ $2w$ g의 양(mol)을 n 이라 하면 $\text{He}(g)$ w g의 양(mol)은 $2n$ 이다. (나)에 $\text{He}(g)$ w g을 넣었을 때 전체 압력은 1기압이고, $\text{He}(g)$ 의 몰분율은 $\frac{2}{3}$ 이므로 부분 압력은 1기압 $\times \frac{2}{3} = \frac{2}{3}$ 기압이다. 따라서 $x = \frac{2}{3}$ 이다. (가)와 (나)에서 $\text{CH}_4(g)$ 의 양(mol)은 같으므로 $\frac{2}{3}$ 기압 $\times y$ L = 1기압 $\times 2V$ L, $y = 3$ 이다. 따라서 $\frac{y}{x} = \frac{9}{2}$ 이다.

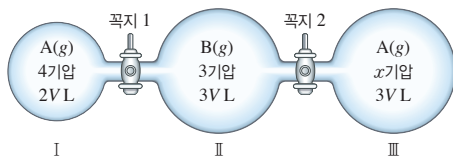
08 — 꼼꼼 문제 분석

[화학 반응식]



[실험 과정 및 결과]

(가) 그림과 같이 꼭지로 분리된 강철 용기 I~Ⅲ에 $A(g)$ 와 $B(g)$ 를 각각 넣었다.



(나) 꼭지 1을 열어 반응을 완결시켰더니 $C(g)$ 의 부분 압력은 1.6기압이었다. — $A(g)$ 가 모두 반응하고 $B(g)$ 가 일부 남았다.

(다) 꼭지 2를 열어 반응을 완결시켰더니 $A(g)$ 의 몰분율은 $\frac{1}{10}$ 이었다. — $B(g)$ 가 모두 반응하고 $A(g)$ 가 일부 남았다.

선택지 분석

- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ $\frac{3}{4}$ ④ 1 ⑤ $\frac{3}{2}$

전략적 풀이 (가)에서 용기 I과 II에 들어 있는 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양(mol)으로 (나)와 (다)의 한계 반응물이 무엇인지 파악하고, 양적 관계를 정리한다.

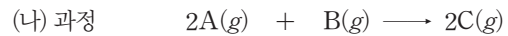
$PV = nRT$ 에서 기체의 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이다. 1기압 $\times V$ L를 n mol이라 할 때 (가) 과정에서 용기 I~Ⅲ에 들어 있는 기체의 양(mol)은 각각 $8n, 9n, 3n$ 이다.

(나) 과정에서 $B(g)$ 의 반응 계수가 1이고, 양(mol)은 $B(g) > A(g)$ 이므로 $A(g)$ $8n$ mol이 모두 반응하고, 생성된

$C(g)$ 의 양은 $\frac{16}{a}n$ mol이다. 이때 $C(g)$ 의 부분 압력이 1.6기압

이므로 $C(g)$ 의 양(mol)은 1.6기압 $\times 5V$ L = $8n$ 이다. 즉, $\frac{16}{a}$

$n = 8n$ 이므로 $a = 2$ 이다. 이때 양적 관계는 다음과 같다.



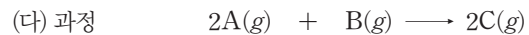
반응 전(mol) 8n 9n 0

반응(mol) -8n -4n +8n

반응 후(mol) 0 5n 8n

(다) 과정에서 반응 후 $A(g)$ 의 몰분율이 $\frac{1}{10}$ 이므로 $B(g)$ $5n$

mol이 모두 반응하였다. 이때 양적 관계는 다음과 같다.



반응 전(mol) 3xn 5n 8n

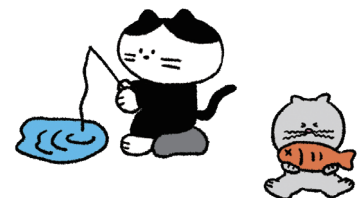
반응(mol) -10n -5n +10n

반응 후(mol) (3x-10)n 0 18n

(다) 과정이 완료되었을 때 최종 $C(g)$ 의 양(mol)은 $18n$ 이고, 반

응 후 $A(g)$ 의 몰분율이 $\frac{1}{10}$ 이므로 $A(g)$ 의 양(mol)은 $2n$ 이다.

따라서 $(3x-10)n = 2n$, $x = 4$ 이다. 즉, $\frac{a}{x} = \frac{1}{2}$ 이다.



2 액체와 고체

01 액체

개념 확인문제

45쪽

- 1 쌍극자·쌍극자 힘 2 높 3 분산력 4 크 5 높
6 수소 결합

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (1) 분산력 (2) ① 쌍극자·쌍극자 힘
② 분산력 (3) 수소 결합 (4) 분산력 3 (1) (나) (2) (가) (3) (다)
4 쌍극자·쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합 5 CH₃OH, 수소 결합

- 1 (1) 분자량이 비슷한 경우 극성 분자가 무극성 분자보다 분자 간 힘이 크다.
(2) 무극성 분자는 분자량이 클수록 분자 내 존재하는 전자 수가 많아져 편극 현상이 더 쉽게 일어나기 때문에 분산력이 크다.
(3) 분자량이 비슷한 경우 수소 결합은 쌍극자·쌍극자 힘보다 매우 크다.

- 2 (1) 14족 원소의 수소 화합물은 모두 무극성 분자로, 분산력만 작용한다. 분자량이 클수록 분산력이 크고 끓는점이 높다.
(2) H₂S는 극성 분자이므로 쌍극자·쌍극자 힘과 분산력이 작용하고, SiH₄는 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다.
(3) H₂O의 끓는점이 다른 16족 원소의 수소 화합물보다 높은 까닭은 H₂O 분자 사이에는 수소 결합이 작용하여 분자 간 힘이 매우 크기 때문이다.
(4) 분산력은 모든 분자 사이에 작용하는 분자 간 힘이다.

- 3 (가)는 쌍극자·쌍극자 힘, (나)는 수소 결합, (다)는 분산력을 나타낸 모형이다.
(1) H₂O이 H₂S보다 분자량이 작지만, H₂O은 분자 사이에 수소 결합을 하므로 분자 사이의 힘이 매우 커서 끓는점이 높다.
(2) PH₃은 극성 분자이므로 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하고, O₂는 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다. 분자량이 비슷한 경우 쌍극자·쌍극자 힘은 분산력보다 강하므로 PH₃의 끓는점이 높다.
(3) Cl₂와 F₂은 모두 무극성 분자이고, Cl₂가 F₂보다 분자량이 커서 분산력이 크므로 끓는점이 높다.

- 4 H₂O은 수소 결합을 하는 극성 분자이므로 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘, 수소 결합이 작용한다.

5 C₂H₆, CH₃OH, H₂S의 분자량은 각각 30, 32, 34로 비슷하다. CH₃OH은 분자 내에 O—H 결합이 있어 분자 사이에 수소 결합이 작용하고, H₂S는 극성 분자이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하며, C₂H₆은 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력만 작용한다. 따라서 분자량이 비슷한 세 물질 중 분자 간 힘이 가장 큰 CH₃OH의 끓는점이 가장 높다.

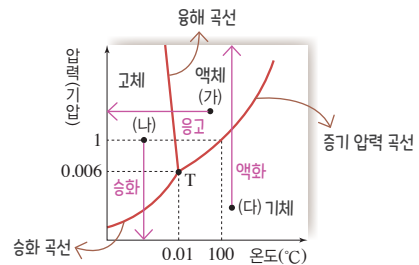
완자샘 비법특강

48쪽

- Q1 (1) 액체 (2) 고체 (3) 액체 (4) 액체
Q2 (1) 응고 (2) 승화(고체 → 기체) (3) 액화

Q1 상평형 그림에서 각 온도와 압력에 해당하는 영역에서 물의 안정한 상태를 찾는다.

Q2 — 꼼꼼 문제 분석



- (1) (가)에서 압력을 일정하게 유지하고 온도를 낮추면 융해 곡선을 지나 고체가 된다.
(2) (나)에서 온도를 일정하게 유지하고 압력을 낮추면 승화 곡선을 지나 기체가 된다.
(3) (다)에서 온도를 일정하게 유지하고 압력을 높이면 증기 압력 곡선을 지나 액체가 된다.

개념 확인문제

49쪽

- 1 증기 압력 2 크 3 높 4 크 5 낮 6 상평형 그림

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ 2 (1) C > B > A
(2) C > B > A 3 (1) ○ (2) × (3) × 4 나, 르

- 1 (1) 동적 평형 상태에서 증발 속도와 응축 속도는 같다.
(2) 온도가 높아질수록 증발하기 쉬우므로 액체의 온도가 높을수록 증기 압력이 크다.
(3) 분자 간 힘이 작은 액체일수록 증발이 잘 일어나므로 같은 온도에서 분자 간 힘이 클수록 증기 압력이 작다.

(4) 일정한 온도에서 같은 종류의 액체는 액체의 양과 관계없이 증기 압력이 같다.

(5) 액체의 증기 압력과 외부 압력이 같을 때의 온도를 끓는점이라 한다. 따라서 외부 압력이 커지면 끓는점도 높아진다.

02 (1) 분자 간 힘이 작은 액체일수록 증발이 잘 일어나므로 같은 온도에서 분자 간 힘이 클수록 증기 압력이 작다. 같은 온도에서 증기 압력은 $A > B > C$ 이므로 분자 간 힘은 $C > B > A$ 이다.
 (2) 기준 끓는점은 증기 압력이 760 mmHg일 때의 온도이므로 $C > B > A$ 이다.

03 (2) 삼중점에서는 고체, 액체, 기체가 평형을 이루며, 고체, 액체, 기체가 모두 존재한다.
 (3) 삼중점의 압력이 1기압보다 높으면 1기압에서 액체 상태로 존재할 수 없으므로 1기압에서 승화성 물질이다.

04 나. 물의 기준 끓는점이 100 °C이므로 1.5기압에서 물의 끓는점은 100 °C보다 높다.

ㄹ. (가)는 액체 상태이다. 액체 상태에서 온도를 일정하게 유지하고 압력을 낮추면 증기 압력 곡선을 지나 기체가 된다.

바로알기 ㄱ. 물의 융해 곡선의 기울기는 음의 값이므로 외부 압력이 커지면 어는점은 낮아진다.

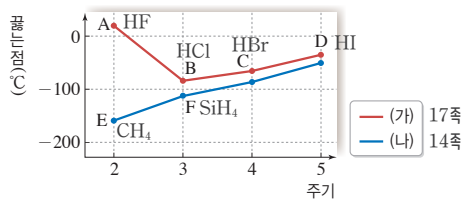
ㄷ. 삼중점보다 낮은 압력에서는 액체 상태로 존재할 수 없으므로 0.004기압에서 얼음의 온도를 높이면 수증기로 승화된다.

대표 자료 분석 1

50쪽

- 1 (가) 17족 원소의 수소 화합물 (나) 14족 원소의 수소 화합물
 2 수소 결합 3 분산력 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

꼼꼼 문제 분석



1 14족 원소의 수소 화합물은 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다. 분자량이 클수록 분산력이 크고 끓는점이 높다. 17족 원소의 수소 화합물에서 2주기 HF는 분자량이 가장 작지만 수소 결합을 하므로 끓는점이 매우 높다. 따라서 (가)는 17족 원소의 수소 화합물이고, (나)는 14족 원소의 수소 화합물이다.

2 (가)에서 A와 B는 각각 HF와 HCl이다. HF가 HCl보다 분자량이 작지만, HF는 분자 사이에 수소 결합을 하므로 분자 사이의 힘이 매우 커서 끓는점이 높다.

3 (나)는 14족 원소의 수소 화합물이다. 14족 원소의 수소 화합물은 무극성 분자로 분산력만 작용한다. 분자량이 클수록 분산력이 크고 끓는점이 높다.

4 (1) 분산력은 무극성 분자뿐 아니라 극성 분자에도 모두 작용하므로 B와 C 분자에는 쌍극자·쌍극자 힘뿐만 아니라 분산력도 작용한다.

(2) 같은 족 원소의 수소 화합물에서 중심 원자의 주기가 높을수록 분자량이 커져 분산력이 커지므로 끓는점이 $D > C > B$ 이다.

(3) 분자량이 클수록 분산력이 크므로 분자량이 큰 F가 E보다 분산력이 크다.

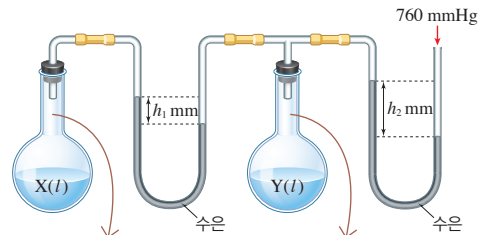
(4) 분자 간 힘이 클수록 끓는점이 높으므로 A~F 중 분자 간 힘이 가장 큰 물질은 A이다.

대표 자료 분석 2

51쪽

- 1 $Y(l) > X(l)$ 2 $Y(l) > X(l)$ 3 $X(l) > Y(l)$ 4 (1) ○
 (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

꼼꼼 문제 분석



X(l)의 증기 압력은 Y(l)보다 h_1 mmHg만큼 작다.
 $\Rightarrow (760 - h_2 - h_1)$ mmHg

Y(l)의 증기 압력은 대기압보다 h_2 mmHg만큼 작다.
 $\Rightarrow (760 - h_2)$ mmHg

1 25 °C에서 Y(l)의 증기 압력은 대기압에서 수은 기둥의 높이 차에 해당하는 압력을 뺀 $(760 - h_2)$ mmHg이고, X(l)의 증기 압력은 Y(l)의 증기 압력에서 h_1 를 뺀 $(760 - h_2 - h_1)$ mmHg이다. 따라서 증기 압력은 Y(l)가 X(l)보다 크다.

- 2 증발 속도는 증기 압력이 큰 Y(l)가 X(l)보다 빠르다.
- 3 같은 온도에서 분자 간 힘이 작은 액체일수록 증발하기 쉬워 증기 압력이 크고, 끓는점이 낮다. 증기 압력은 Y(l)가 X(l)보다 크므로 끓는점은 X(l)가 Y(l)보다 높다.
- 4 (1) 같은 온도에서 Y(l)의 증기 압력이 X(l)보다 크므로 Y(l)가 X(l)보다 증발하기 쉽다. 따라서 분자 간 힘은 증기 압력이 작은 X(l)가 Y(l)보다 크다.
 (2) 동적 평형 상태에서 액체의 증발 속도와 응축 속도는 같으므로 X(l)와 Y(l)에서 모두 $\frac{\text{증발 속도}}{\text{응축 속도}} = 1$ 이다.
 (3) 기준 끓는점에서 증기 압력은 모두 대기압(760 mmHg)과 같다.
 (5) 증기 압력은 액체의 온도와 종류에만 영향을 받으므로 온도가 일정할 때 액체의 양이 변해도 증기 압력은 일정하다.

나신만점문제

52쪽~56쪽

- 01 ① 02 ③ 03 ③ 04 ③ 05 해설 참조
 06 ② 07 ③ 08 ① 09 ① 10 ③ 11 ①
 12 ④ 13 ④ 14 해설 참조 15 ③
 16 A, B 17 ㄱ, ㄷ 18 ② 19 ① 20 ③
 21 ㉠ 용해 ㉡ 액화 22 해설 참조 23 ② 24 ③

- 01 ㄱ. 분자량이 비슷한 경우 분자의 쌍극자 모멘트가 클수록 쌍극자·쌍극자 힘이 크고, 끓는점이 높다. 따라서 쌍극자·쌍극자 힘은 (가)>(나)>(다)이다.
 [바로알기] ㄴ. (가)가 (나)보다 끓는점이 높은 까닭은 쌍극자·쌍극자 힘 때문이다.
 ㄷ. (나)와 (다)의 분자량은 비슷하고 쌍극자 모멘트는 (다)가 (나)보다 작으므로 (다)의 끓는점은 21 °C보다 낮다.
- 02 ㄱ. (가)와 (나)는 모두 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다. 따라서 분자량이 클수록 분산력이 커서 끓는점이 높다.
 ㄴ. (라)는 극성 분자이면서 분자량이 20이므로 HF이다. HF는 H-F 결합이 있으므로 (라)는 수소 결합을 한다.
 [바로알기] ㄷ. 분산력은 모든 분자 사이에 작용하는 힘이므로 분산력이 작용하는 물질은 4가지이다.
- 03 A는 쌍극자·쌍극자 힘이고, B는 분산력이다.
 ㄱ. 분자량이 비슷한 경우 분자 간 힘은 쌍극자·쌍극자 힘이 분산력보다 크다.

- ㄷ. C₂H₆과 C₃H₈은 모두 무극성 분자로, 분자량이 커질수록 분산력(B)이 커져 끓는점이 높아진다.
 [바로알기] ㄴ. CH₄은 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력(B)만 작용한다.

- 04 ㄱ. (가)는 분산력, (나)는 쌍극자·쌍극자 힘, (다)는 수소 결합을 나타낸 것이다.
 ㄷ. 분자량이 비슷한 경우 분자 사이에 작용하는 힘이 가장 큰 것은 수소 결합이다.
 [바로알기] ㄴ. HBr는 극성 분자이므로 분자 사이에 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다.

- 05 [모범 답안] H₂, N₂, O₂, Cl₂는 모두 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력만 작용한다. 분자량이 클수록 분산력이 크고 끓는점이 높다. 따라서 끓는점은 Cl₂>O₂>N₂>H₂이다.

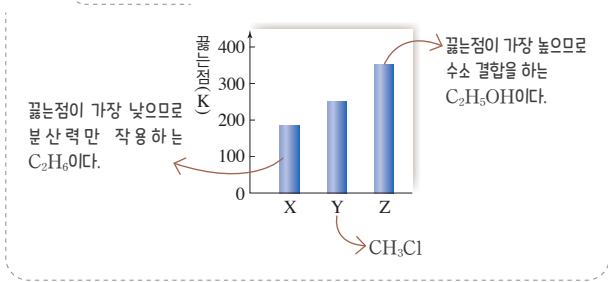
| 채점 기준 | 배점 |
|--|-------|
| 물질의 끓는점을 비교하고, 까닭을 무극성 물질과 분산력을 언급하여 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 물질의 끓는점만 옳게 비교한 경우 | 50 % |

- 06 ㄴ. H₂O의 끓는점이 가장 높으므로 분자 간 힘이 가장 크며, H₂O는 수소 결합을 한다.
 [바로알기] ㄱ. C₂H₆과 C₃H₈은 모두 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력만 작용한다. 분자량이 커질수록 분산력이 커져 끓는점이 높아진다. 따라서 x는 -42보다 작다.
 ㄷ. C₃H₈은 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다.

- 07 ㄱ. (가)와 (나)는 분자량이 같지만 (가)는 분자 내에 O-H 결합이 있어 분자 사이에 수소 결합을 하므로 (가)는 (나)보다 끓는점이 높다.
 ㄴ. 분자량이 클수록 분산력이 크므로 분산력은 (다)가 (나)보다 크다.
 [바로알기] ㄷ. (나)는 극성 분자이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지만, (라)는 무극성 분자이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지 않는다.

- 08 ㄱ. (가)는 분자의 쌍극자 모멘트가 0이므로 무극성 물질이다. 따라서 (가)는 I₂, (나)는 H₂O, (다)는 CH₃CHO이다.
 [바로알기] ㄴ, ㄷ. 분자의 쌍극자 모멘트는 CH₃CHO가 I₂과 H₂O보다 크지만, 끓는점은 I₂과 H₂O이 더 높다. 이는 I₂은 분자량이 매우 커서 분산력이 크기 때문이고, H₂O는 수소 결합을 하기 때문이다. 따라서 조건이 다른 경우 분자의 극성으로만 끓는점의 경향을 설명할 수 없다.

09 **포포 문제 분석**



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

ㄱ. C_2H_6 은 무극성 분자이므로 분자 사이에 쌍극자-쌍극자 힘이 작용하지 않는다.

바로알기 ㄴ. Y는 CH_3Cl 이다.

ㄷ. 분자 간 힘이 작을수록 끓는점이 낮으므로 X~Z 중 분자 간 힘이 가장 작은 물질은 X이다.

10 ㄱ. HA는 HF로 액체 상태에서 분자 사이에 수소 결합을 한다.

ㄷ. HD의 끓는점이 HB보다 높은 까닭은 HD의 분자량이 HB보다 커서 분산력이 크기 때문이다.

바로알기 ㄴ. 분산력은 무극성 분자뿐만 아니라 극성 분자 사이에도 작용한다. 무극성 물질인 C_2 가 극성 물질인 HC보다 끓는점이 높은 까닭은 C_2 의 분자량이 HC보다 크기 때문에 C_2 분자 사이에 작용하는 분산력이 HC 분자 사이에 작용하는 힘보다 크기 때문이다.

11 ㄱ. (가)에서는 증발하는 입자 수가 응축되는 입자 수보다 많으므로 평형에 도달하지 않은 상태로 증발 속도 > 응축 속도이다.

바로알기 ㄴ. (나)에서는 증발하는 입자 수와 응축되는 입자 수가 같으므로 (나)는 동적 평형 상태이다. 동적 평형 상태에서도 증발과 응축이 같은 속도로 끊임없이 일어난다.

ㄷ. 증기 압력은 증발과 응축의 동적 평형 상태에서 증기가 나타내는 압력이므로 $t^\circ C$ 에서 $H_2O(l)$ 의 증기 압력은 (나)에서의 $H_2O(g)$ 가 나타내는 압력이다.

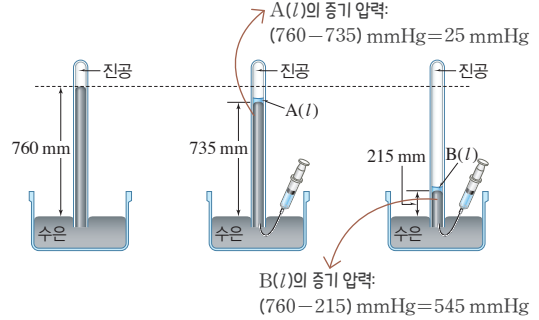
12 ㄱ. 분자 간 힘이 클수록 증발하기 어려우므로 증기 압력은 작다. 일정한 온도에서 증기 압력이 $A(l) > B(l)$ 이므로 분자 간 힘은 $B(l) > A(l)$ 이다.

ㄷ. 기준 끓는점은 외부 압력이 1기압일 때의 끓는점이다. 제시된 자료에서 기준 끓는점은 $B(l) > A(l)$ 이다.

바로알기 ㄴ. 제시된 자료에서 일정한 온도에서 증기 압력은 $A(l) > B(l)$ 이다.

13 **포포 문제 분석**

액체의 증기 압력은 대기압과 수은 기둥의 높이 차에 해당하는 압력이다.



ㄴ. B(l)를 넣은 유리관의 수은 기둥이 A(l)를 넣은 유리관의 수은 기둥보다 더 낮아졌으므로 액체의 증기 압력은 B(l)가 A(l)보다 크다. 따라서 분자 간 힘은 A(l)가 B(l)보다 크다.

ㄷ. 액체의 증기 압력은 온도가 높을수록 증가한다. $25^\circ C$ 에서 B(l)의 증기 압력은 545 mmHg이므로 $50^\circ C$ 에서의 증기 압력은 545 mmHg보다 크다.

바로알기 ㄱ. A(l)의 증기 압력은 25 mmHg이다.

14 A(l)와 B(l)의 증기 압력은 대기압과 수은 기둥의 높이 차에 해당하는 압력이다. 따라서 수은 기둥의 높이가 낮을수록 증기 압력이 크므로 증기 압력은 $B(l) > A(l)$ 이다.

모범 답안 $A(l) > B(l)$, 증기 압력은 B(l)가 A(l)보다 크므로 분자 간 힘은 A(l)가 B(l)보다 크다. 따라서 기준 끓는점은 A(l)가 B(l)보다 높다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|-------|
| A(l)와 B(l)의 기준 끓는점을 비교하고, 그 까닭을 분자 간 힘과 관련 지어 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| A(l)와 B(l)의 기준 끓는점만 옳게 비교한 경우 | 50 % |

15 ㄷ. 증기 압력과 외부 압력이 같을 때의 온도를 끓는점이라 한다. 따라서 외부 압력이 400 mmHg일 때 D(l)의 끓는점은 $100^\circ C$ 이다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. 기준 끓는점은 외부 압력이 1기압(760 mmHg)일 때의 끓는점이다. 분자 간 힘이 큰 액체일수록 증발하기 어려워 증기 압력이 작고, 끓는점이 높다. 따라서 외부 압력이 760 mmHg일 때의 끓는점이 $D(l) > C(l) > B(l) > A(l)$ 이므로 분자 간 힘도 $D(l) > C(l) > B(l) > A(l)$ 이다.

16 기준 끓는점은 증기 압력이 1기압(760 mmHg)일 때의 온도이다. 따라서 1기압, 80 °C일 때 기체인 물질은 기준 끓는점이 80 °C보다 낮은 A와 B이다.

17 ㄱ. 액체의 온도가 높을수록 증기 압력이 커지는데, 제시된 자료에서 수은 기둥의 높이가 같으므로 같은 온도에서 증기 압력은 $Y(l) > X(l)$ 이다. 증기 압력이 작은 액체일수록 분자 간 힘이 크므로 분자 간 힘은 $X(l) > Y(l)$ 이다.

ㄷ. 액체의 온도가 높을수록 증기 압력이 커지므로 $Y(l)$ 의 온도를 높이면 증기 압력이 커져 $X(l)$ 쪽 수은 기둥이 높아진다.

[바로알기] ㄴ. 증기 압력은 액체의 온도와 종류에만 영향 받으므로 온도가 일정할 때 액체의 양이 변해도 증기 압력은 일정하다. 따라서 t_1 °C에서 $X(l)$ 의 양을 늘려도 $Y(l)$ 쪽 수은 기둥의 높이는 변하지 않는다.

18 ㄴ. U자관의 오른쪽 수은 기둥의 높이가 왼쪽 수은 기둥의 높이보다 100 mm 낮다. 이는 $Y(l)$ 의 증기 압력이 $X(l)$ 보다 수은 기둥 100 mm의 압력만큼 더 크다는 것을 의미한다.

[바로알기] ㄱ. 동적 평형 상태에서 액체의 증발 속도와 응축 속도는 같으므로 $X(l)$ 와 $Y(l)$ 에서 모두 $\frac{\text{증발 속도}}{\text{응축 속도}} = 1$ 이다.

ㄷ. 일정한 온도에서 증기 압력이 큰 액체일수록 분자 간 힘이 작고 기준 끓는점이 낮다. 따라서 증기 압력이 $Y(l) > X(l)$ 이므로 기준 끓는점은 $X(l) > Y(l)$ 이다.

19 액체를 가열하면 증기 압력이 점점 커지다가 외부 압력과 같아지면 액체 표면뿐만 아니라 내부에서도 기포가 발생하며 끓기 시작하는 현상을 끓음이라고 하고, 이때의 온도를 끓는점이라고 하며, 외부 압력이 1기압(760 mmHg)일 때의 끓는점을 기준 끓는점이라고 한다.

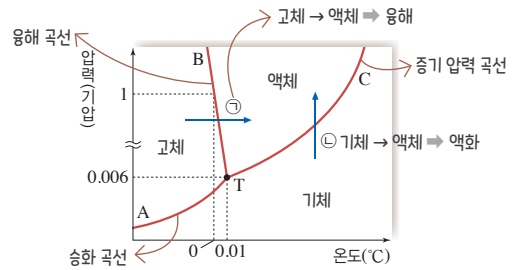
t_1 °C와 t_3 °C일 때 $X(l)$ 의 증기 압력은 각각 1기압과 0.5기압이고, t_2 °C, 0.5기압에서 액체 상태이므로 t_2 °C에서의 증기 압력은 0.5기압보다 작다. 따라서 $t_3 > t_2$ 이고, $X(l)$ 의 증기 압력 곡선으로 가장 적절한 것은 ①번이다.

20 학생 A. 융해 곡선은 고체와 액체가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸 곡선으로, 고체와 액체가 함께 존재한다.

학생 B. 삼중점은 고체, 액체, 기체가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸 점으로 고체, 액체, 기체가 모두 존재한다.

[바로알기] 학생 C. 삼중점보다 낮은 온도에서는 액체 상태로 존재할 수 없으므로 고체를 가열하면 액체를 거치지 않고 기체로 승화된다.

[21~22] — **꼼꼼 문제 분석**



21 ㉠은 고체에서 액체로 상태가 변하는 것으로 융해이고, ㉡은 기체에서 액체로 상태가 변하는 것으로 액화이다.

22 높은 산 위는 대기압이 1기압보다 낮아 물이 100 °C보다 낮은 온도에서 끓는다. 따라서 높은 산에서 밥을 하면 낮은 온도에서 물이 끓어 쌀이 설익는다.

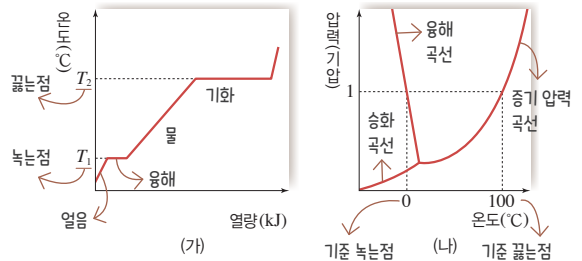
[모범 답안] (1) 증기 압력 곡선, CT

(2) 높은 산은 평지보다 외부 압력이 낮으므로 물의 증기 압력이 외부 압력과 같아지는 온도인 끓는점이 낮아져 쌀이 충분히 익지 못하기 때문이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|------|
| (1) 증기 압력 곡선과 CT를 모두 옳게 쓴 경우 | 50 % |
| (1) 증기 압력 곡선 또는 CT 중 하나만 옳게 쓴 경우 | 30 % |
| (1) 그 외의 경우 | 0 % |
| (2) 현상이 나타나는 까닭을 외부 압력과 끓는점의 관계를 포함하여 옳게 서술한 경우 | 50 % |
| (2) 그 외의 경우 | 0 % |

23 — **꼼꼼 문제 분석**

- 증기 압력 곡선의 기울기가 양의 값이므로 외부 압력이 높아지면 끓는점이 높아진다.
- 융해 곡선의 기울기가 음의 값이므로 외부 압력이 높아지면 녹는점이 낮아진다.
- 외부 압력이 높아지면 녹는점은 낮아지고, 끓는점은 높아지므로 끓는점과 녹는점 차($T_2 - T_1$)는 커진다.



ㄴ. 외부 압력이 높아지면 끓는점은 높아진다. (나)에서 기준 끓는점이 100 °C이므로 (가)에서 2기압일 때 물의 끓는점은 100 °C보다 높다. 따라서 $T_2 > 100$ 이다.

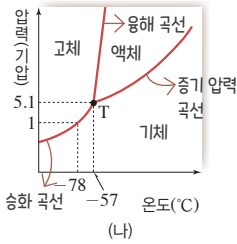
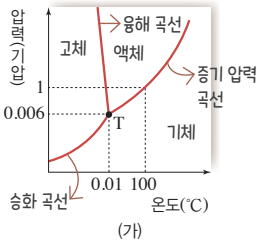
바로알기 ㄱ. 외부 압력이 높아지면 녹는점은 낮아진다. (나)에서 기준 녹는점이 0°C이므로 (가)에서 2기압일 때 녹는점은 0°C보다 낮으므로 $T_1 < 0$ 이다.

ㄷ. 2기압에서 물의 끓는점과 녹는점의 차가 ($T_2 - T_1$)이므로 1.5기압에서의 끓는점과 녹는점의 차는 ($T_2 - T_1$)보다 작다.

24 꼼꼼 문제 분석

• 용해 곡선의 기울기가 음의 값이므로 외부 압력이 높아지면 녹는점이 낮아진다.

• 용해 곡선의 기울기가 양의 값이므로 외부 압력이 높아지면 녹는점이 높아진다.



ㄷ. (가)는 외부 압력이 커질수록 끓는점은 높아지고 녹는점이 낮아지므로 두 온도의 차이는 항상 커진다. (나)는 외부 압력이 커질수록 끓는점과 녹는점이 모두 높아진다. 이때 증기 압력 곡선의 기울기가 용해 곡선의 기울기보다 작으므로 같은 압력 변화에 대해 끓는점이 높아지는 정도가 녹는점이 높아지는 정도보다 크다. 즉, 두 온도의 차이는 커진다.

바로알기 ㄱ. (가)는 용해 곡선의 기울기가 음의 값이므로 일정한 온도에서 고체에 압력을 가하면 액체로 상태가 변한다. 반면 (나)는 용해 곡선의 기울기가 양의 값이므로 고체에 압력을 가해도 액체로 변하지 않는다.

ㄴ. 삼중점의 온도에서 압력이 커지면 가장 안정한 상태는 (가)는 액체, (나)는 고체이다.

실력 UP 문제

57쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ② 04 ⑤

01 ㄱ. H_2O , SiH_4 , H_2S 의 분자량은 각각 18, 32, 34이므로 (가)는 SiH_4 , (나)는 H_2S , (다)는 H_2O 이다.

ㄴ. SiH_4 는 무극성 분자이므로 분산력만 작용하고, H_2S 는 극성 분자이므로 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다. 분자량이 비슷한 경우 쌍극자·쌍극자 힘은 분산력보다 강하므로 H_2S 의 끓는점이 SiH_4 의 끓는점보다 높다.

ㄷ. H_2O 은 다른 물질보다 분자량이 작지만, 분자 사이에 수소 결합을 하므로 분자 사이의 힘이 매우 커서 끓는점이 높다.

02 $Z(C_2H_5OH)$ 는 O-H 결합이 있으므로 수소 결합을 한다. 따라서 (다)는 $Z(C_2H_5OH)$ 이다.

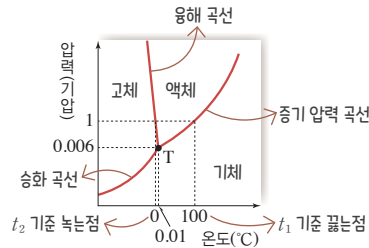
$X(C_3H_8)$ 와 $Y(CH_3CHO)$ 의 분자량은 모두 44로 같지만, C_3H_8 은 무극성 분자이므로 분산력만 작용하고, CH_3CHO 은 극성 분자이므로 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다. 따라서 분자간 힘은 CH_3CHO 가 C_3H_8 보다 크고, 기준 끓는점도 CH_3CHO 가 C_3H_8 보다 크다. 즉, (가)와 (나)는 각각 $Y(CH_3CHO)$ 와 $X(C_3H_8)$ 이다.

03 ㄴ. t_1 °C에서 $X(L)$ 의 증기 압력은 0.25기압(190 mmHg)이고, $Y(L)$ 의 증기 압력은 0.5기압(380 mmHg)이므로 두 액체의 증기 압력 차(h)는 190 mmHg이다.

바로알기 ㄱ. t_1 °C에서 증기 압력은 $Y(L) > X(L)$ 이므로 ㉠은 $Y(L)$, ㉡은 $X(L)$ 이다.

ㄷ. 온도가 높아지면 $Y(L)$ 의 증기 압력이 증가하므로 $Y(L)$ 의 온도를 t_2 °C로 높여 동적 평형에 도달하면 h 는 증가한다.

04 꼼꼼 문제 분석



용해 곡선과 증기 압력 곡선 상에 공통적으로 존재하는 상태는 액체이다. ⇒ ㉠ 액체

| 온도(°C) | 안정한 상태 |
|--------------|------------|
| t_1 기준 끓는점 | 액체 ㉠, ㉡ 기체 |
| t_2 기준 녹는점 | 액체 ㉠, ㉢ 고체 |
| t_3 | ㉢ 고체 |

t_3 °C에서 온도를 유지하고 압력을 낮추면 ㉢에서 ㉡으로 상태 변화가 일어난다. ⇒ ㉢ 고체, ㉡ 기체

ㄱ. t_1 , t_2 는 각각 1기압에서 용해 곡선과 증기 압력 곡선 상의 한 지점으로 기준 끓는점과 기준 녹는점 중 하나이다. 두 곡선에 공통적으로 존재하는 ㉠은 액체이다.

㉡과 ㉢은 각각 고체와 기체 중 하나이다. 고체와 기체 사이의 상태 변화는 승화 곡선을 지나칠 때 일어나므로 t_3 는 기준 녹는점보다 낮고, ㉢은 고체, ㉡은 기체이다.

ㄴ. 물의 기준 끓는점은 t_1 °C이고, 기준 녹는점은 t_2 °C이므로 $t_1 > t_2$ 이다.

ㄷ. 물의 삼중점의 온도는 기준 녹는점(t_2)보다 높으므로 t_3 보다도 높다.

02 / 고체

개념 확인문제

60쪽

1 결정성 2 비결정성 3 이온 4 금속 5 분자 6 공유

1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ 2 (1) 이온 결정 (2) 분자 결정 (3) 금속 결정 (4) 공유 결정 3 (1) 자유 전자 (2) 공유 (3) ① 원자 ② 높 4 (1) (가) 이온 결정 (나) 금속 결정 (2) (나) (3) (나) 5 ① Na ② MgO ③ H₂O ④ C(다이아몬드)

1 (1) 비결정성 고체는 구성 입자의 배열이 불규칙적인 고체로, 녹는점이 일정하지 않다. 반면 결정성 고체는 구성 입자의 배열이 규칙적인 고체로, 녹는점이 일정하다.

(2) 이온 결정은 액체 상태나 수용액 상태에서 전하를 띤 이온이 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 전기 전도성이 있다.

(3) 분자는 원자의 공유 결합으로 이루어지지만, 분자 결정은 분자 간 힘에 의해 결정이 형성된다. 분자 간 힘은 다른 결정을 이루는 화학 결합에 비해 상대적으로 약하므로 녹는점이 낮다. 반면 공유 결정은 원자들이 공유 결합을 하여 그물처럼 연결된 결정이므로 녹는점이 매우 높다.

(4) 공유 결정은 대부분 전기 전도성이 없지만, 흑연은 예외적으로 전기 전도성이 있다. 흑연은 C 원자 1개가 서로 다른 3개의 C 원자와 공유 결합하는데, 이때 결합에 참여하지 않는 전자가 C 원자 사이를 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 예외적으로 고체 상태에서 전기 전도성이 있다.

2 (1) 염화 나트륨(NaCl)은 Na⁺과 Cl⁻이 이온 결합을 하여 규칙적으로 배열된 이온 결정이다.

(2) 드라이아이스(CO₂)는 공유 결합으로 이루어진 CO₂ 분자들이 분자 간 힘에 의해 규칙적으로 배열된 분자 결정이다.

(3) 마그네슘(Mg)은 Mg 원자들이 금속 결합을 하여 규칙적으로 배열된 금속 결정이다.

(4) 석영(SiO₂)은 Si 원자와 O 원자들이 그물처럼 연결된 공유 결정이다.

3 (1) 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 움직이므로 금속 결정은 전기 전도도와 열전도율이 크다.

(2) 분자 결정은 공유 결합으로 이루어진 분자들이 분자 간 힘에 의해 규칙적으로 배열된 결정이다.

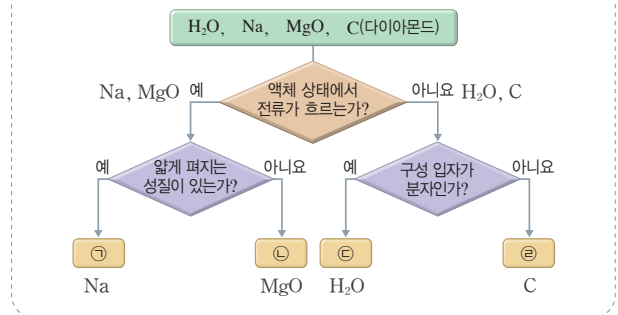
(3) 공유 결정은 원자들이 공유 결합을 하여 그물처럼 연결된 결정으로, 모든 원자가 공유 결합으로 강하게 연결되어 있기 때문에 녹는점이 매우 높다.

4 (1) (가)는 구성 입자가 Na⁺과 Cl⁻이므로 이온 결정이고, (나)는 구성 입자가 Li 금속 원자이므로 금속 결정이다.

(2) 금속 결정은 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 전기 전도성이 있지만, 이온 결정은 고체 상태에서는 전기 전도성이 없다.

(3) 금속 결정은 외부에서 힘을 받아 원자의 위치가 변하더라도 자유 전자가 빠르게 이동하며 금속 결합을 유지하므로 부서지지 않고 모양이 변한다. 반면 이온 결정은 외부에서 힘을 가하면 이온들의 위치가 변하면서 같은 전하를 띤 이온 사이에 반발력이 작용하여 쉽게 부서진다.

05 품평 문제 분석



H₂O은 분자 결정, Na은 금속 결정, MgO은 이온 결정, C(다이아몬드)는 공유 결정이다.

대표 자료 분석 1

61쪽

1 (가) 금속 결정 (나) 분자 결정 (다) 이온 결정 2 (가)는 금속 결정이므로 힘을 가하면 부서지지 않고 모양이 변하지만, (다)는 이온 결정이므로 힘을 가하면 부서진다. 3 (가), (다) 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

1 A는 금속 원소이며, (가)는 금속 원자들이 금속 결합을 하여 규칙적으로 배열되었으므로 금속 결정이다. (나)는 공유 결합으로 이루어진 I₂ 분자들이 분자 간 힘에 의해 규칙적으로 배열된 결정이므로 분자 결정이다. (다)는 A^{m+}과 Cl⁻이 이온 결합을 하여 규칙적으로 배열되었으므로 이온 결정이다.

2 금속 결정은 외부에서 힘을 받아 원자의 위치가 변하더라도 자유 전자가 빠르게 이동하며 금속 결합을 유지하므로 부서지지 않고 모양이 변한다. 반면 이온 결정은 외부에서 힘을 가하면 이온들의 위치가 변하면서 같은 전하를 띤 이온 사이에 반발력이 작용하여 쉽게 부서진다.

3 (가)는 금속 결정이고, (다)는 이온 결정이므로 액체 상태에서 전기 전도성이 있다. 금속 결정은 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 전기 전도성이 있다. 이온 결정은 액체 상태에서는 전하를 띤 이온이 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 전기 전도성이 있다.

4 (1) (가)는 금속 결정이므로 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 열전도율이 크다.
 (2) (나)는 분자 결정이다. 분자는 원자의 공유 결합으로 이루어지지만, 분자 결정은 분자 간 힘에 의해 결정이 형성된다.
 (3) (다)는 이온 결정이므로 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만, 액체 상태나 수용액 상태에서는 전하를 띤 이온이 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 전기 전도성이 있다.
 (4) (다)는 이온 결정이고, 양이온과 음이온이 1 : 1로 결합하고, 음이온 Cl^- 의 전하가 -1 이므로 양이온의 전하는 $+1$ 이고 $m=1$ 이다.
 (5) 분자 결정은 분자 간 힘에 의해 결정이 형성된다. 분자 간 힘은 다른 결합을 이루는 화학 결합에 비해 상대적으로 약하므로 녹는점이 낮다. 따라서 녹는점은 (다) > (나)이다.

나신 만점 문제 62쪽~64쪽

01 ③ **02** ④ **03** ③ **04** ① **05** ⑤
06 (가) ㉠ (나) ㉡ **07** 해설 참조 **08** ④ **09** ③
10 ② **11** ④

01 (가)는 구성 입자의 배열이 불규칙적이므로 비결정성 고체이고, (나)는 구성 입자의 배열이 규칙적이므로 결정성 고체이다.
 ㄱ. 석영과 유리 중 비결정성 고체는 유리이고, 결정성 고체는 석영이다. 따라서 (가)는 유리이다.

ㄴ. 석영과 유리는 모두 산소(O) 원자와 규소(Si) 원자로 이루어진 고체 물질이며, 화학식은 SiO_2 로 같다.

바로알기 ㄷ. 비결정성 고체는 녹는점이 일정하지 않지만, 결정성 고체는 녹는점이 일정하다. 따라서 (가)와 (나)의 녹는점은 같지 않다.

02 학생 A. 금속 결정은 자유 전자가 금속 표면에서 빛을 반사하기 때문에 광택이 있다.

학생 B. 이온 결정은 외부에서 힘을 가하면 이온들의 위치가 변하면서 같은 전하를 띤 이온 사이에 반발력이 작용하여 쉽게 부서진다.

바로알기 학생 C. 분자 결정은 분자 간 힘에 의해 결정이 형성된다. 분자 간 힘은 다른 결합을 이루는 화학 결합에 비해 상대적으로 약하므로 녹는점이 낮다.

03 (가)는 공유 결정, (나)는 금속 결정, (다)는 비결정성 고체, (라)는 분자 결정이다.

ㄱ. 공유 결정은 모든 원자가 공유 결합으로 강하게 연결되어 있기 때문에 녹는점이 매우 높고 단단하다.

ㄴ. 금속 결정은 전기 전도성이 있지만, 분자 결정은 전기 전도성이 없다.

바로알기 ㄷ. 유리와 같은 비결정성 고체는 녹는점이 일정하지 않지만, 결정성 고체는 녹는점이 일정하다. 공유 결정, 금속 결정, 분자 결정은 결정성 고체이므로 녹는점이 일정한 물질은 3가지이다.

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

ㄱ. (가)는 이온 결정이므로 고체 상태에서 전기 전도성이 없지만, 액체나 수용액 상태에서 전기 전도성이 있다.

바로알기 ㄴ. (나)는 금속 결정이다. 금속 결정은 외부에서 힘을 받아 원자의 위치가 변하더라도 자유 전자가 빠르게 이동하며 금속 결합을 유지하므로 부서지지 않고 모양이 변한다.

ㄷ. (다)는 모든 원자가 공유 결합으로 강하게 연결되어 있기 때문에 녹는점이 매우 높다.

05 (가)는 금속 결정, (나)는 이온 결정이다.

ㄱ. 금속 결정은 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있으므로 열전도율이 크다.

ㄴ. 이온 결정은 고체 상태에서는 이온이 자유롭게 이동할 수 없으므로 전기 전도성이 없다.

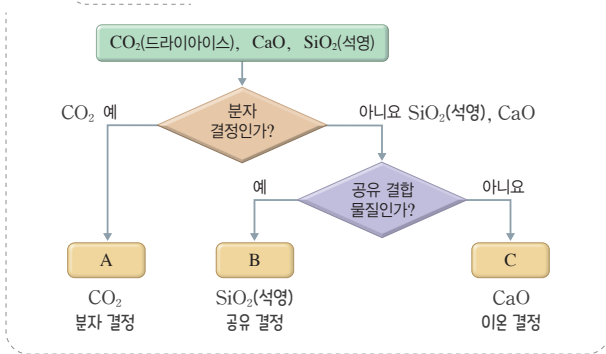
ㄷ. 외부에서 힘을 가하면 금속 결정은 부서지지 않고 모양이 변하고, 이온 결정은 쉽게 부서진다.

06 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣은 각각 금속 양이온, 자유 전자, 양이온, 음이온이다. 액체 상태에서 전류를 흘려 주었을 때 음전하를 띤 입자는 (+)극으로 이동한다. 따라서 (가)에서는 자유 전자인 ㉡이 (+)극으로 이동하고, (나)에서는 음이온인 ㉣이 (+)극으로 이동한다.

07 **모범 답안** (가) 금속 결정 (나) 이온 결정, 금속 결정은 외부에서 힘을 받아 원자의 위치가 변하더라도 자유 전자가 빠르게 이동하며 금속 결합을 유지하므로 부서지지 않고 모양이 변한다. 반면 이온 결정은 외부에서 힘을 가하면 이온들의 위치가 변하면서 같은 전하를 띤 이온 사이에 반발력이 작용하여 쉽게 부서진다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---------------------------------------|-------|
| (가)와 (나)의 결정의 종류를 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| (가)와 (나)의 결정의 종류만 옳게 쓴 경우 | 50 % |

08 품평 문제 분석



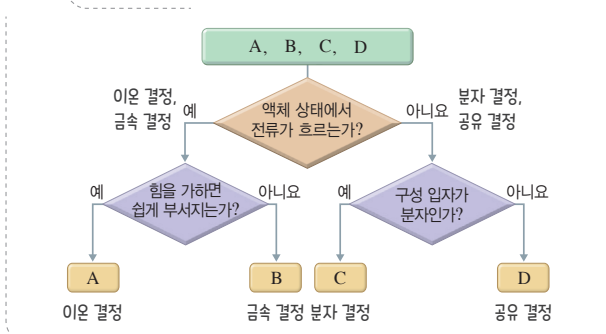
CO₂, SiO₂, CaO 중 분자 결정인 고체는 CO₂이므로 A는 CO₂(드라이아이스)이다. SiO₂과 CaO은 각각 공유 결합 물질, 이온 결합 물질이므로 B는 SiO₂(석영), C는 CaO이다.

ㄱ. A는 CO₂(드라이아이스)이므로 실온에서 승화하는 성질이 있다.

ㄷ. CaO은 Ca²⁺과 O²⁻의 이온 결합으로 형성된 이온 결정이다. 이온 결정은 액체 상태에서는 전하를 띤 이온이 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 전기 전도성이 있다.

바로알기 ㄴ. 공유 결정은 분자 결정보다 녹는점이 높으므로 B는 A보다 녹는점이 높다.

09 품평 문제 분석



ㄱ. A~D의 결정의 종류는 각각 이온 결정, 금속 결정, 분자 결정, 공유 결정이고, NaCl(s)은 이온 결정이므로 A에 해당한다.

ㄴ. 금속 결정은 고체 상태에서 전기 전도성이 있고, 이온 결정은 고체 상태에서 전기 전도성이 없으므로 고체 상태에서의 전기 전도성은 B>A이다.

바로알기 ㄷ. 분자 결정은 녹는점이 낮고, 공유 결정은 녹는점이 매우 높으므로 녹는점은 D>C이다.

10 ㄷ. (다)는 고체 상태와 액체 상태에서 전기 전도성이 모두 없으므로 공유 결정인 다이아몬드(C)이다.

바로알기 ㄱ. 염화 세슘(CsCl)은 Cs⁺과 Cl⁻의 이온 결합으로 형성된 이온 결정이다. 이온 결정은 고체 상태에서는 전기 전도성이 없고, 액체 상태에서는 전하를 띤 이온이 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 전기 전도성이 있다.

ㄴ. (나)는 고체 상태와 액체 상태에서 전기 전도성이 모두 있으므로 금속 결정이다. 구리(Cu)는 금속 양이온과 자유 전자 사이의 정전기적 인력에 의해 형성된 금속 결정이다. 양이온과 음이온 사이의 정전기적 인력으로 이루어진 결정은 이온 결정이다.

11 ㉠은 고체 상태에서는 전기 전도성이 없고, 수용액 상태에서는 전기 전도성이 있으므로 이온 결정이고, ㉡은 고체 상태와 수용액 상태에서 전기 전도성이 모두 없으므로 분자 결정이다. 따라서 ㉠은 염화 나트륨(NaCl)이고, ㉡은 설탕(C₁₂H₂₂O₁₁)이다.

ㄴ. 분자 결정은 분자 간 힘에 의해 형성되는데, 분자 간 힘은 다른 결정을 이루는 화학 결합에 비해 상대적으로 약하므로 녹는점이 낮다. 따라서 분자 결정인 설탕(㉡)이 이온 결정인 염화 나트륨(㉠)보다 녹는점이 낮다.

ㄷ. 알루미늄은 금속 결정이다. 금속 결정은 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 고체 상태에서 전기 전도성이 있다.

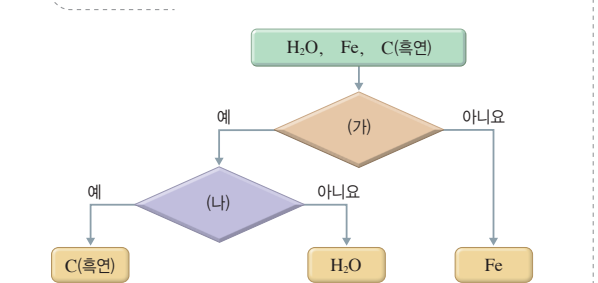
바로알기 ㄱ. 염화 나트륨은 이온 결정이다. 이온 결정은 양이온과 음이온 사이의 정전기적 인력, 즉 이온 결합에 의해 이온들이 규칙적으로 배열된 결정이다. 자유 전자가 존재하는 결정은 금속 결정이다.

실력 UP 문제

64쪽

01 ④ 02 ②

01 품평 문제 분석



| 구분 | 분류 기준 | |
|----|----------------------|-------------------------|
| ㉠ | 가늘게 뿜히는 성질이 있는가? | Fe |
| ㉡ | 공유 결합 물질인가? | C(흑연), H ₂ O |
| ㉢ | 고체 상태에서 전기 전도성이 있는가? | C(흑연), Fe |

C(흑연)은 공유(원자) 결정, H₂O는 분자 결정, Fe은 금속 결정이다.

공유 결합과 분자 결정은 공유 결합 물질이고, 일반적으로 고체 상태에서 전기 전도성이 없지만 흑연은 예외적으로 전기 전도성이 있다. 따라서 (가)와 (나)는 각각 \ominus 과 \oplus 이다.

02 고체 상태에서 전류를 흘려 주었을 때 전기 전도성이 있으므로 (가)는 금속 결정이다.

ㄴ. 전류를 흘려 주기 전에는 무질서하게 이동하던 입자가 전류를 흘려 준 후 (+)극으로 이동하는 것은 이 입자가 (-)전하를 띠고 있음을 의미한다. 금속 결정 내에서 (-)전하를 띠고 자유롭게 이동하는 \ominus 은 자유 전자이다.

바로알기 ㄱ. (가)는 금속 결정이다.

ㄷ. 금속 결정은 외부에서 힘을 받아 원자의 위치가 변하더라도 자유 전자가 빠르게 이동하며 금속 결합을 유지하므로 부서지지 않고 모양이 변한다.

중단원 핵심정리 65쪽

| | | | | | |
|----------|-----------|-------|--------|---------|-------|
| 1 높 | 2 크 | 3 H | 4 높 | 5 동적 평형 | 6 크 |
| 7 클 | 8 작은 | 9 낮 | 10 높 | 11 낮 | 12 높 |
| 13 높 | 14 승화 | 15 규칙 | 16 불규칙 | 17 이온 | 18 공유 |
| 19 금속 결합 | 20 분자 간 힘 | | | | |

중단원 마무리 문제 66쪽~69쪽

| | | | |
|----------|----------------------|------|------|
| 01 ④ | 02 (1) 수소 결합 (2) 분산력 | 03 ④ | 04 ③ |
| 05 ② | 06 ③ | 07 ③ | 08 ② |
| 09 ⑤ | 10 ① | | |
| 11 ⑤ | 12 ③ | 13 ④ | 14 ② |
| 15 해설 참조 | | | |
| 16 해설 참조 | 17 해설 참조 | | |

01 ㄱ. HA는 분자량이 가장 작지만 수소 결합을 하므로 끓는점이 가장 높다.

ㄷ. 17족 원소의 수소 화합물에서 끓는점이 $HD > HC > HB$ 인 까닭은 분자량이 클수록 분산력이 크기 때문이다.

바로알기 ㄴ. HD가 HB보다 끓는점이 높은 까닭은 분산력 때문이다.

02 A는 H_2O , B는 H_2S , C는 H_2Se 이다.

(1) H_2O 의 끓는점이 H_2S 보다 높은 것은 H_2O 은 분자 사이에 수소 결합을 하기 때문이다.

(2) 같은 족 원소의 수소 화합물에서 중심 원자의 주기가 높을수록 분자량이 커져 분산력이 커진다. 따라서 H_2Se 의 끓는점이 H_2S 보다 높은 까닭은 분산력 때문이다.

03 ㄱ. 분산력은 모든 분자 사이에 작용하는 분자 간 힘이므로 CH_3CHO , C_3H_8 , CH_3OH 은 분자 사이에 모두 분산력이 작용한다.

ㄴ. CH_3CHO 와 C_3H_8 의 분자량은 모두 44로 같지만, C_3H_8 은 무극성 분자이므로 분산력만 작용하고, CH_3CHO 는 극성 분자이므로 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다. 분자량이 비슷한 경우 쌍극자·쌍극자 힘 > 분산력이므로 (가)의 끓는점이 (나)보다 높다. 따라서 $x < 21$ 이다.

바로알기 ㄷ. CH_3CHO 와 CH_3OH 은 모두 극성 물질이다. CH_3OH 은 CH_3CHO 보다 분자량이 작지만 끓는점이 높다. 이는 CH_3OH 은 O-H 결합이 있으므로 수소 결합을 하기 때문이다.

04 쌍극자 모멘트가 0인 (나)와 (라)는 각각 F_2 , Cl_2 중 하나이고, 분산력은 $Cl_2 > F_2$ 이므로 기준 끓는점도 $Cl_2 > F_2$ 이다. 따라서 (나)는 Cl_2 , (라)는 F_2 이다.

HF는 H-F 결합이 있으므로 수소 결합을 하며, 기준 끓는점이 높다. 따라서 (가)는 HF, (다)는 HCl이다.

기준 끓는점이 $HF > Cl_2$ 인 주된 요인 \ominus 은 수소 결합이고, $Cl_2 > HCl$ 인 주된 요인 $\omin�$ 은 분산력이며, $HCl > F_2$ 인 주된 요인 $\omin�$ 은 쌍극자·쌍극자 힘이다.

05 ㄴ. 분자 간 힘이 작은 액체일수록 증발이 잘 일어나므로 같은 온도에서 분자 간 힘이 클수록 증기 압력이 작다. 같은 온도에서 증기 압력이 $A > B > C$ 이므로 분자 간 힘은 $C > B > A$ 이다.

바로알기 ㄱ. 기준 끓는점은 증기 압력이 외부 압력 1기압(760 mmHg)과 같을 때의 온도이므로 기준 끓는점이 가장 높은 것은 C이다.

ㄷ. A의 기준 끓는점은 $60^\circ C$ 보다 낮고, B와 C의 기준 끓는점은 $60^\circ C$ 보다 높으므로 1기압, $60^\circ C$ 에서 기체 상태인 것은 A 1가지이다.

06 기준 끓는점은 외부 압력이 1기압(760 mmHg)일 때의 끓는점이다.

ㄱ. 액체의 증기 압력이 클수록 끓는점이 낮다. A(l)의 기준 끓는점이 $21^\circ C$ 이므로 $21^\circ C$ 에서 h_A 는 760 mmHg이며, 가장 크다.

ㄷ. B(l)와 C(l)의 기준 끓는점이 각각 $57^\circ C$ 와 $78^\circ C$ 이다. 기준 끓는점에서 증기 압력이 1기압과 같으므로 h_B 와 h_C 는 같다.

바로알기 ㄴ. 기준 끓는점은 $C(l) > A(l)$ 이므로 증기 압력이 380 mmHg일 때 액체의 온도는 $C(l) > A(l)$ 이다.

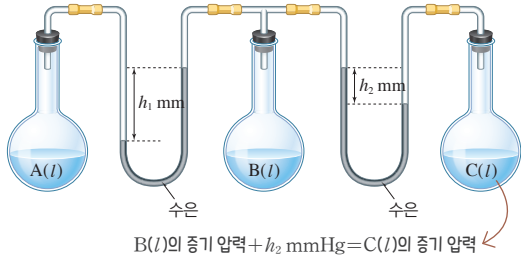
07 ㄱ. 기준 끓는점은 외부 압력이 1기압(760 mmHg)일 때의 끓는점이므로 A(l)의 기준 끓는점은 $34^\circ C$ 이다.

ㄷ. 기준 끓는점이 높을수록 분자 간 힘이 크다. 따라서 분자 간 힘은 $C(l) > B(l) > A(l)$ 이다.

바로알기 나. 분자 간 힘이 작을수록 일정한 온도에서 증기 압력이 크다. 분자 간 힘이 $B(l) > A(l)$ 이므로 25°C 에서 증기 압력은 $A(l) > B(l)$ 이다.

08 **꼼꼼 문제 분석**

$A(l)$ 의 증기 압력 = $B(l)$ 의 증기 압력 + h_1 mmHg



나. $t^\circ\text{C}$ 에서 $A(l)$ 의 증기 압력은 $B(l)$ 보다 h_1 mmHg만큼 크고, $C(l)$ 의 증기 압력은 $B(l)$ 보다 h_2 mmHg만큼 크며, $h_1 > h_2$ 이므로 $A(l)$ 와 $C(l)$ 의 증기 압력(mmHg) 차는 $h_1 - h_2$ 이다.

바로알기 가. 일정한 온도에서 증기 압력이 클수록 기준 끓는점은 낮다. 증기 압력은 $A(l) > B(l)$, $C(l) > B(l)$ 이므로 $A(l) \sim C(l)$ 중 기준 끓는점이 가장 높은 것은 $B(l)$ 이다.

다. $C(l)$ 의 온도를 높이면 $C(l)$ 의 증기 압력이 증가하여 h_2 는 증가하지만, 온도가 일정한 $A(l)$ 와 $B(l)$ 의 증기 압력은 변하지 않으므로 두 액체의 증기 압력(mmHg) 차 h_1 은 변하지 않는다.

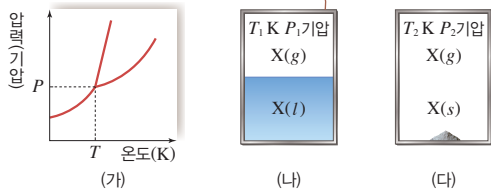
09 가. 삼중점의 압력이 1기압보다 높은 A는 CO_2 이다.

나. A는 용해 곡선의 기울기가 양의 값이므로 외부 압력이 높아지면 녹는점이 높아지고, B는 용해 곡선의 기울기가 음의 값이므로 외부 압력이 높아지면 녹는점이 낮아진다.

다. 증기 압력 곡선은 액체와 기체가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸 곡선으로 ㉠에서 $B(l)$ 와 $B(g)$ 가 평형을 이루고 있다.

10 **꼼꼼 문제 분석**

(나)는 액체와 기체가 평형을 이루는 상태이다.
 → 증기 압력 곡선 상의 온도와 압력
 → T_1 과 P_1 은 삼중점보다 크다.



(다)는 고체와 기체가 평형을 이루는 상태이다.
 → 승화 곡선 상의 온도와 압력
 → T_2 와 P_2 는 삼중점보다 작다.

(나)는 액체와 기체가 평형을 이루고 있으므로 증기 압력 곡선 상의

온도와 압력이고, (다)는 고체와 기체가 평형을 이루고 있으므로 승화 곡선 상의 온도와 압력이다. 따라서 $T_1 > T_2$, $P_1 > P_2$ 이다.

11 가. 물질은 끓는점보다 낮은 온도에서는 액체로 존재하고, 끓는점보다 높은 온도에서는 기체로 존재한다. 600 mmHg, 80°C 에서 A는 기체이므로 $A(l)$ 의 끓는점은 80°C 보다 낮다.

나, 다. 400 mmHg, 40°C 에서 A와 B는 액체이고, C는 기체이다. 600 mmHg, 80°C 에서 A와 C는 기체이고, B는 액체이다. A~C의 증기 압력 곡선은 교차하지 않으므로 온도와 관계없이 증기 압력은 $C(l) > A(l) > B(l)$ 이다. 분자 간 힘이 클수록 증기 압력이 작으므로 분자 간 힘은 $B(l) > A(l) > C(l)$ 이다.

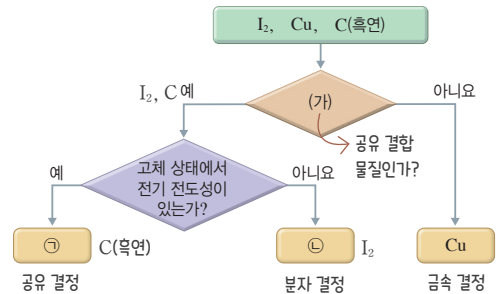
12 (가)는 이온 결정, (나)는 분자 결정, (다)는 금속 결정이다.

가. 이온 결정은 외부에서 힘을 가하면 이온들의 위치가 변하면서 같은 전하를 띤 이온 사이에 반발력이 작용하여 쉽게 부서진다.

다. 이온 결정과 금속 결정은 액체 상태에서 전기 전도성이 있다.

바로알기 나. 이온 결정과 금속 결정은 각각 이온 결합과 금속 결합으로 결정이 형성되고, 분자 결정은 분자 간 힘에 의해 결정이 형성된다. 분자 간 힘은 다른 결정을 이루는 화학 결합에 비해 상대적으로 약하다.

13 **꼼꼼 문제 분석**



가. I_2 와 C(흑연)은 모두 공유 결합 물질이다. 따라서 (가)로 '공유 결합 물질인가?'가 적절하다.

나. C(흑연)은 공유 결정이지만 결합 구조의 특성으로 전기 전도성이 있다. 따라서 ㉠은 C(흑연)이므로 공유 결정이고, ㉡은 I_2 이므로 분자 결정이다.

바로알기 다. 분자 결정은 분자 간 힘에 의해 형성되는데, 분자 간 힘은 다른 결정을 이루는 화학 결합에 비해 상대적으로 약하므로 분자 결정은 녹는점이 낮다. 따라서 ㉢의 녹는점은 Cu보다 낮다.

14 A는 금속 결정, B는 분자 결정, C는 이온 결정, D는 공유 결정이다.

나. 분자 결정과 공유 결정은 공유 결합 물질이다.

바로알기 ㄱ. 금속 결정은 고체와 액체 상태에서 모두 전기 전도성이 있다.

ㄷ. 흑연, 다이아몬드는 공유 결정이므로 D에 해당한다.

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

모범 답안 에테인과 프로페인 무극성 분자이므로 분산력만 작용하고, 메탄올은 분자 내에 O-H 결합이 있어 분자 사이에 수소 결합이 작용한다. 따라서 분자 간 힘이 가장 큰 메탄올의 끓는점이 가장 높다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--|------|
| 3가지 물질에 작용하는 분자 간 힘을 언급하고, 분자 간 힘과 끓는점의 관계를 관련지어 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100% |
| 메탄올의 수소 결합만 언급하여 서술한 경우 | 20% |

16 **모범 답안** 380 mmHg, $t^\circ\text{C}$ 에서 X(l)를 넣고 X(g)의 동적 평형에 도달하였을 때 X(g)가 나타내는 압력 h_1 mmHg가 증기 압력이다. 이때 $(760 - h_1)$ mmHg = h_1 mmHg이므로 $h_1 = 380$ 이다.

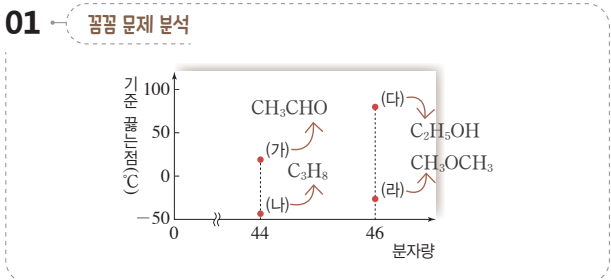
| 채점 기준 | 배점 |
|-----------------------------------|------|
| X(l)의 증기 압력을 구하고 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100% |
| X(l)의 증기 압력만 옳게 구한 경우 | 50% |

17 **모범 답안** 액체 상태 또는 수용액 상태에서 전기 전도성을 확인하여 전류가 흐르는 물질은 이온 결정이고, 전류가 흐르지 않는 물질은 분자 결정이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|------|
| 이온 결정과 분자 결정을 구분하는 방법을 전기 전도성과 관련지어 옳게 서술한 경우 | 100% |
| 그 외의 경우 | 0% |

중단원 고난도 문제 70쪽~71쪽

01 ③ 02 ① 03 ② 04 ② 05 ㄱ, ㄴ
06 ㄱ, ㄴ 07 ⑤ 08 ③



선택지 분석

ㄱ. (가)가 (나)보다 기준 끓는점이 높은 주된 까닭은 쌍극자·쌍극자 힘 때문이다.

ㄴ. (다)가 (라)보다 기준 끓는점이 높은 주된 까닭은 수소 결합 때문이다.

~~ㄷ. 액체 상태에서 수소 결합이 존재하는 물질은 2가지이다. 1가지~~

전략적 풀이 분자량과 기준 끓는점을 이용하여 (가)~(라)를 알아낸다.

CH_3CHO 와 C_3H_8 의 분자량은 44이고, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 와 CH_3OCH_3 의 분자량은 46이다. CH_3CHO 는 극성 분자이므로 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하고, C_3H_8 은 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다. 따라서 (가)는 CH_3CHO 이고, (나)는 C_3H_8 이다. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 는 O-H 결합이 있으므로 수소 결합을 하며, 끓는점이 높다. 따라서 (다)는 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 이고, (라)는 CH_3OCH_3 이다.

ㄱ. CH_3CHO 의 기준 끓는점이 C_3H_8 보다 높은 까닭은 CH_3CHO 는 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하기 때문이다.

ㄴ, ㄷ. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 의 기준 끓는점이 CH_3OCH_3 보다 높은 까닭은 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 은 분자 사이에 수소 결합이 작용하기 때문이며, (가)~(라) 중 수소 결합을 하는 물질은 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 1가지이다.

02 **꼼꼼 문제 분석**

기준 끓는점: $A(l) > B(l)$
 $\Rightarrow t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력: $B(l) > A(l)$

$PV = nRT$ 에서 온도가 일정할 때 $n \propto PV$ 이므로 증기의 몰비는 다음과 같다.
 $A(g) : B(g) = 2P_A : P_B$

선택지 분석

ㄱ. 증기 압력은 $B(l) > A(l)$ 이다.

~~ㄷ. 기체의 양(mol)은 A(g)가 B(g)의 2배이다. 2배보다 작다~~

~~ㄹ. $t^\circ\text{C}$ 에서 A(l)의 양을 2배로 하여 동적 평형에 도달하면 증기 압력은 (가)보다 크다. (가)와 같다~~

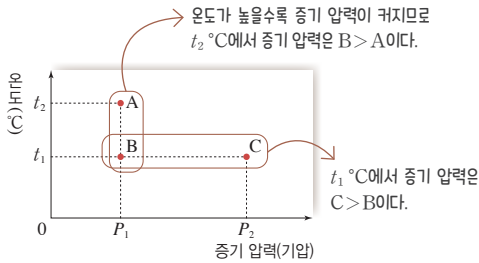
전략적 풀이 ① 증기 압력의 크기를 비교한다.

ㄱ. 분자 간 힘이 클수록 같은 온도에서 증기 압력은 작고 기준 끓는점은 높다. 따라서 기준 끓는점이 $A(l) > B(l)$ 이므로 $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 $B(l) > A(l)$ 이다.

ㄷ. 일정한 온도에서 같은 종류의 액체는 액체의 양과 관계없이 증기 압력은 일정하다.

② 이상 기체 방정식을 이용하여 기체의 양(mol)을 비교한다.
 나. 온도가 같을 때 $n \propto PV$ 이다. 기체의 부피는 A(g)가 B(g)의 2배이지만 증기 압력은 B(g) > A(g)이므로 기체의 양(mol)은 A(g)가 B(g)의 2배보다 작다.

03 — **꼼꼼 문제 분석**



선택지 분석

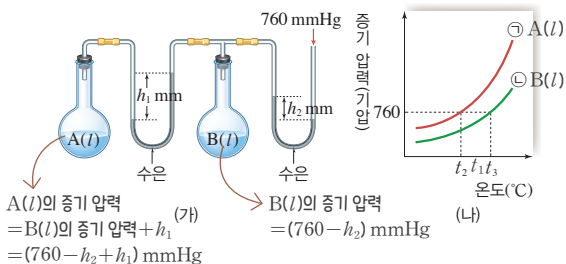
- ㉠ t_2 °C에서 증기 압력은 A(l) > B(l)이다. B(l) > A(l)
- ㉡ 분자 간 힘은 B(l) > C(l)이다.
- ㉢ 외부 압력이 P_1 기압일 때 C(l)의 끓는점은 t_1 °C보다 높다. 낮다

전략적 풀이 가로축과 세로축을 잘 살펴본 뒤, 그래프를 해석하여 온도에 따른 액체의 증기 압력의 관계를 파악한다.

- ㄱ. 액체의 온도가 높을수록 증기 압력이 크다. t_1 °C에서 B의 증기 압력이 P_1 기압이므로 t_2 °C에서 B의 증기 압력은 P_1 기압보다 크다. t_2 °C에서 A의 증기 압력도 P_1 기압이므로 t_2 °C에서 증기 압력은 B(l) > A(l)이다.
- ㄴ. 분자 간 힘이 작은 액체일수록 같은 온도에서 증기 압력이 크다. t_1 °C에서 B와 C의 증기 압력은 각각 P_1 기압, P_2 기압이므로 분자 간 힘은 B(l) > C(l)이다.
- ㄷ. 액체의 증기 압력과 외부 압력이 같을 때의 온도를 끓는점이라 한다. 외부 압력이 P_2 기압일 때 C(l)의 끓는점이 t_1 °C이므로 외부 압력이 P_1 기압일 때 C(l)의 끓는점은 t_1 °C보다 낮다.

04 — **꼼꼼 문제 분석**

t_1 °C에서 증기 압력: A(l) > B(l)
 → 기준 끓는점: B(l) > A(l)



선택지 분석

- | | | | |
|--------|-------------------|--------|-------------------|
| ㉠ A(l) | $t_1 < t_2 < t_3$ | ㉡ A(l) | $t_2 < t_1 < t_3$ |
| ㉢ A(l) | $t_2 < t_3 < t_1$ | ㉣ B(l) | $t_1 < t_2 < t_3$ |
| ㉤ B(l) | $t_2 < t_1 < t_3$ | | |

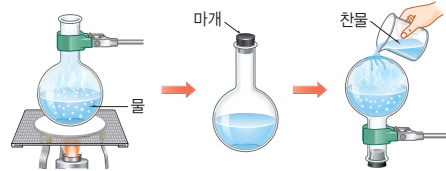
전략적 풀이 수은 기둥의 높이 차를 이용하여 t_1 °C에서 A(l)와 B(l)의 증기 압력을 구한 뒤, $t_1 \sim t_3$ 의 크기 관계를 파악한다.

t_1 °C에서 증기 압력은 A(l) > B(l)이므로 ㉠과 ㉡은 각각 A(l)와 B(l)이다. t_1 °C에서 A(l)와 B(l)의 증기 압력은 각각 $(760 - h_2 + h_1)$ mmHg, $(760 - h_2)$ mmHg이고, $h_1 > h_2$ 이므로 A(l)의 증기 압력은 760 mmHg보다 크고, B(l)의 증기 압력은 760 mmHg보다 작다. 따라서 온도는 $t_2 < t_1 < t_3$ 이다.

05 — **꼼꼼 문제 분석**

[실험 과정 및 결과]

- (가) 둥근바닥 플라스크에 물을 넣고 가열한다.
- (나) 물이 끓으면 가열을 중단하고 플라스크 입구를 마개로 막는다.
- (다) (나)의 플라스크를 거꾸로 세우고 플라스크 표면에 찬물을 부으면 물이 다시 끓는다.



선택지 분석

- ㉠ 플라스크 속 물이 받는 외부 압력은 (가) > (다)이다.
- ㉡ 물의 끓는점은 (가) > (다)이다.
- ㉢ (다)에서 찬물 대신 뜨거운 물을 사용하면 실험 결과가 더 잘 나타난다.

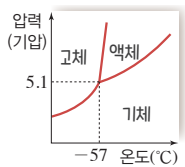
전략적 풀이 ① 실험에서 물에 가해지는 외부 압력이 어떻게 변하는지 알고, 외부 압력과 끓는점의 관계를 파악한다.

- ㄱ. (가) 과정에서 물이 끓는 동안 플라스크 내부 압력은 대기압인 1기압과 같다. (다) 과정에서 찬물을 부으면 플라스크 속 수증기가 응축되면서 내부 압력이 급격히 낮아진다. 따라서 물이 받는 외부 압력은 (가) > (다)이다.
- ㄴ. 외부 압력이 낮을수록 액체의 끓는점은 낮아진다. 물이 받는 외부 압력이 (가) > (다)이므로 물의 끓는점은 (가) > (다)이다. 즉, (다)에서는 100 °C보다 낮은 온도에서도 물이 다시 끓을 수 있다.

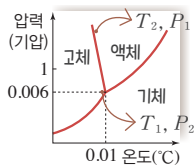
② 찬물을 부었을 때 다시 끓는 까닭을 이해하고, 조건을 달리했을 때의 결과를 예측한다.

ㄷ. (다) 과정에서 찬물을 부으면 플라스크 속의 온도가 낮아져 기체 상태였던 수증기가 물로 응축된다. 이로 인해 플라스크 내부 압력이 줄어들어 물의 끓는점이 낮아지면서 다시 끓는 현상이 나타난다. 만약 찬물 대신 뜨거운 물을 사용한다면 수증기의 응축이 충분히 일어나지 않아 물이 다시 끓기 어렵다.

06 **꼼꼼 문제 분석**



용해 곡선 기울기가 양의 값이므로 이산화 탄소의 상평형 그림이다.



용해 곡선 기울기가 음의 값이므로 물의 상평형 그림이다.

선택지 분석

- ㄱ. X는 H₂O이다.
- ㄴ. P₁은 삼중점보다 압력이 크다.
- ㄷ. 압력 P₁에서 녹는점은 T₁보다 높다. **낮다**

전략적 풀이 ① 상평형 그림과 X에 대한 자료로 X가 무슨 물질인지 파악한다.

ㄱ. 일반적으로 물질은 온도를 높이고 압력을 낮추면 기체가 되지만, X는 온도를 높이고 압력을 낮췄을 때(T₁, P₂) 고체 상태이다. 이는 X의 용해 곡선의 기울기가 음의 값을 의미하며, X는 H₂O이다.

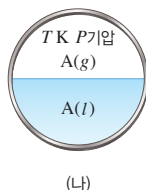
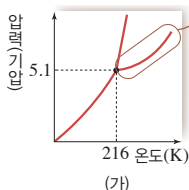
② 상평형 그림에서 P₁과 T₁의 위치를 확인한다.

ㄴ. H₂O이 액체 상태로 존재하려면 압력이 삼중점 압력(0.006 기압)보다 커야 하므로 압력 P₁은 삼중점보다 압력이 크다.

ㄷ. 온도 T₂, 압력 P₁에서 X는 액체이므로 녹는점은 T₂보다 낮다. T₁ > T₂이므로 이때의 녹는점은 T₁보다도 낮다.

07 **꼼꼼 문제 분석**

(나)는 액체와 기체가 평형을 이루고 있으므로 증기 압력 곡선 상의 온도와 압력이고, 삼중점보다 온도와 압력이 높다.



선택지 분석

- ㄱ. T > 216이다.
- ㄴ. P > 5.1이다.
- ㄷ. 외부 압력이 P기압일 때 A(l)의 끓는점은 T K이다.

전략적 풀이 (나)에서 액체와 기체가 상평형을 이루고 있으므로 T K, P기압은 증기 압력 곡선 상의 온도와 압력임을 알아낸다.

ㄱ, ㄴ. (나)는 A(l)와 A(g)가 평형을 이루고 있으므로 (가)에서 증기 압력 곡선 상의 온도와 압력을 의미한다. 따라서 (나)에서의 온도와 압력은 삼중점보다 높으므로 T > 216이고, P > 5.1이다.

ㄷ. T K에서 A(l)의 증기 압력이 P기압이고, 외부 압력과 증기 압력이 같을 때의 온도가 끓는점이므로 외부 압력이 P기압일 때 A(l)의 끓는점은 T K이다.

08 **꼼꼼 문제 분석**

- (가)~(다)는 드라이아이스(CO₂), 염화 나트륨(NaCl), 흑연(C)을 순서 없이 나타낸 것이다.
- 고체 상태에서 전기 전도성은 (가) > (나)이다.
- (다)는 1기압에서 승화성 물질이다.

선택지 분석

- ㄱ. (가)와 (다)는 공유 결합 물질이다.
- ㄴ. (나)는 액체 상태에서 전기 전도성이 있다.
- ㄷ. (다)는 쌍극자·쌍극자 힘에 의해 결정이 형성된다. **분산력**

전략적 풀이 ① 고체의 특징으로부터 (가)~(다)가 무엇인지 파악한다.

ㄱ. 드라이아이스와 염화 나트륨은 각각 분자 결정과 이온 결정으로 고체 상태에서 전기 전도성이 없다. 흑연은 공유 결정이다. 공유 결정은 대부분 전기 전도성이 없지만, 흑연은 구조적 특성으로 인해 고체 상태에서 전기 전도성이 있다. 또한 드라이아이스는 1기압에서 승화성이 있으므로 (가)는 흑연(C), (나)는 염화 나트륨(NaCl), (다)는 드라이아이스(CO₂)이다. 흑연과 드라이아이스는 모두 공유 결합 물질이다.

ㄴ. 염화 나트륨은 액체 상태에서 전기 전도성이 있다.

② 분자 사이에 작용하는 힘을 파악한다.

ㄷ. 분자 결정은 분자 간 힘에 의해 형성되는데, 드라이아이스(CO₂)는 무극성 분자이므로 분산력에 의해 결정이 형성된다.

용액의 성질

1 물의 성질

01 / 물의 성질

개념확인문제

77쪽

- ① 산소(O) ② 수소(H) ③ 수소 ④ 수소 ⑤ 부피
 ⑥ 밀도 ⑦ 비열 ⑧ 표면 장력 ⑨ 수소
- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (1) 결합 B (2) 결합 A (3) 결합 A
 3 ① 수소 결합 ② 밀도 4 ① 내부 ② 표면 ③ 분자 5 (1)
 × (2) ○ (3) × (4) ○

- 1** (1) 물 분자는 O 원자가 부분적인 음전하(δ^-)를 띠고, H 원자가 부분적인 양전하(δ^+)를 띠는 극성 분자이다.
 (2) 물 분자에서 수소 결합은 O 원자와 이웃한 분자의 H 원자 사이에 이루어진다.
 (3) 물 분자 사이의 수소 결합은 물 분자 내 H 원자와 O 원자의 공유 결합보다 약하다.
- 2** (1) 물이 수소와 산소로 분해될 때 공유 결합인 결합 B가 끊어진다.
 (2) 얼음이 물로 용해될 때 수소 결합인 결합 A가 끊어진다.
 (3) 물을 가열하면 가한 열의 일부가 수소 결합을 끊는 데 사용되므로 물의 온도가 쉽게 올라가지 않는다.
- 3** 얼음이 녹아 물이 될 때 수소 결합의 일부가 끊어져 부피가 감소하므로 밀도가 증가한다. 다른 물질과 달리 밀도는 액체 상태인 물이 고체 상태인 얼음보다 크다.
- 4** 표면 장력은 액체가 표면적을 최소화하려는 힘으로, 액체 표면의 분자는 옆과 아래 방향으로만 분자 간 힘이 작용하기 때문에 표면 장력이 나타난다. 물은 수소 결합을 하여 분자 간 힘이 크기 때문에 다른 액체에 비해 표면 장력이 크다.
- 5** (1) 비열이 클수록 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 많은 에너지가 필요하므로 물은 가열할 때 같은 질량의 액체보다 온도가 천천히 높아진다.
 (2) 물은 수소 결합으로 인해 다른 액체에 비해 비열이 크다. 물의 비열이 크기 때문에 더운 여름이나 추운 겨울에 인체의 온도가 일정하게 유지된다.

- (3) 물은 응집력이 크고 유리와의 부착력이 커서 모세관에서 물이 높이 올라가는 모세관 현상이 잘 일어난다.
 (4) 물은 다른 액체에 비해 모세관 현상이 잘 일어나므로 식물의 뿌리에서 흡수된 물이 물관을 따라 잎까지 올라갈 수 있다.

대표자료분석 1

78쪽

- 1 결합 A 2 증가 3 (가) 0°C 얼음 (나) 2°C 물 (다) 4°C 물
 4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) × (7) ○

- 1** 물을 가열하면 분자 사이의 결합인 결합 A가 끊어진다.
- 2** 0°C 물이 0°C 얼음이 될 때 물 분자 사이의 수소 결합에 의해 육각형 구조를 이루어 빈 공간이 생기므로 부피가 증가한다.
- 3** 밀도는 4°C 물 > 2°C 물 > 0°C 얼음이고, 밀도가 클수록 아래쪽에 위치한다.
- 4** (1) 다른 물질과 다른 물의 독특한 성질의 대부분은 물의 수소 결합에 의해 나타난다.
 (2) 0°C 이하의 얼음에서 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해지면서 부피가 증가한다.
 (3) 물의 밀도는 4°C일 때가 가장 크다.
 (4) 0°C~4°C에서는 물의 온도가 높아질수록 분자 운동이 활발해져 물의 부피가 커지는 것보다 물 분자가 이루는 육각형 구조가 깨져 부피가 감소하는 것이 더 크게 작용하여 물의 부피는 감소한다.
 (5) 얼음이 물로 변하면 수소 결합의 일부가 끊어진다.
 (6) 물의 온도가 높아질수록 분자 사이에 작용하는 힘은 작아진다.
 (7) 4°C 이상의 물은 온도가 높아질수록 분자 운동이 활발해지고 분자 사이의 거리가 멀어져 부피가 커진다.

나신만점문제

79쪽~80쪽

- 01 ⑤ 02 ③ 03 ④ 04 ⑤ 05 ③ 06 ④
 07 해설 참조

- 01** ㄱ. 물 분자의 구조는 결합각이 104.5°인 굽은 형이다.
 ㄴ. 전기음성도는 O > H이므로 공유 전자쌍은 O 원자 쪽으로 치우쳐서 O 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띠고, H 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다.

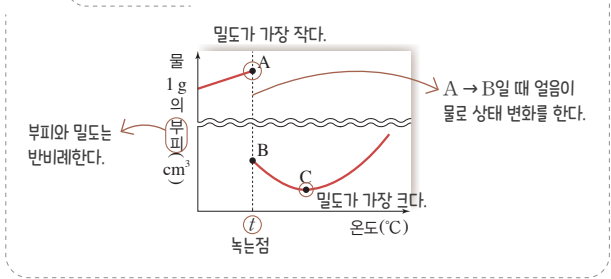
ㄷ. H_2O 에서 O 원자는 2개의 다른 H_2O 의 H 원자와 수소 결합을 할 수 있고, 2개의 H 원자는 다른 H_2O 의 O 원자와 각각 수소 결합을 할 수 있으므로 물 분자 1개는 최대 4개의 다른 물 분자와 수소 결합을 할 수 있다.

02 ㄱ. 결합 a는 수소 결합이고, 결합 b는 공유 결합이다. 결합의 세기는 공유 결합이 수소 결합보다 강하다.

ㄴ. 물이 상태 변화를 할 때 분자 사이에 작용하는 힘이 끊어지므로 수소 결합인 결합 a가 끊어진다.

바로알기 ㄴ. 물의 온도가 높아져도 공유 결합인 결합 b의 길이는 변하지 않는다.

03 **꼼꼼 문제 분석**



ㄴ. 부피와 밀도는 반비례하므로 H_2O 의 밀도는 $C > B > A$ 이다.
 ㄷ. A → B일 때 얼음에서 물로 용해한다. 따라서 $t^\circ C$ 는 녹는점이다.

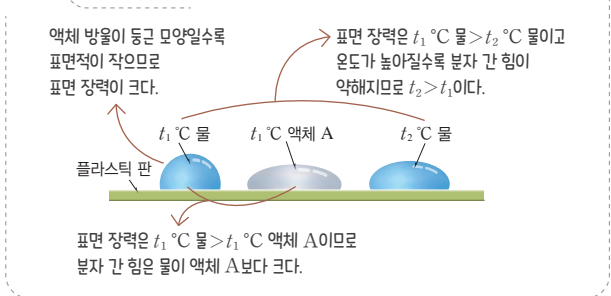
바로알기 ㄱ. A → B일 때 H_2O 분자 사이의 수소 결합이 끊어져 부피가 크게 감소하므로 H_2O 분자 사이의 수소 결합 수는 $A > B$ 이다.

04 ㄱ. (가)는 분자 배열이 일정하므로 고체인 얼음이고, (나)는 분자 배열이 일정하지 않으므로 액체인 물이다.

ㄴ. H_2O 분자 사이에는 수소 결합이 작용하므로 결합 A는 수소 결합이다.

ㄷ. 밀도는 물 > 얼음이므로 $0^\circ C$ 의 (가)와 (나)를 혼합하면 아래쪽에 위치하는 것은 밀도가 큰 (나)이다.

05 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 액체 방울이 둥근 모양일수록 표면적이 작다. 표면 장력은 표면적을 최소화하려는 힘이므로 표면적이 작은 액체일수록 표면 장력이 크다. 따라서 표면 장력은 $t_1^\circ C$ 물 > $t_1^\circ C$ 액체 A이다.

ㄴ. 표면 장력은 $t_1^\circ C$ 물 > $t_2^\circ C$ 물이므로 물 분자 간 힘은 $t_1^\circ C$ 일 때가 $t_2^\circ C$ 일 때보다 크다.

바로알기 ㄷ. 물의 온도가 높을수록 분자 간 힘이 작아지고, 표면 장력이 작아진다. 물 분자 간 힘은 $t_1^\circ C$ 일 때가 $t_2^\circ C$ 일 때보다 크므로 $t_2 > t_1$ 이다.

06 ㄴ. 물에 가는 유리관을 넣으면 물 분자 사이의 응집력과 물과 유리 사이의 부착력에 의해 유리관 내부로 물이 올라가는 모세관 현상이 나타난다. 물 분자 사이의 응집력이 작아지면 모세관 현상이 약하게 나타나 h 는 작아진다.

ㄷ. 굵기가 더 가는 유리관으로 실험하면 유리관 속 물이 더 높이 올라가므로 h 는 커진다.

바로알기 ㄱ. 유리관 속 수면이 U 모양이므로 물 분자 사이의 응집력이 물과 유리 사이의 부착력보다 작다.

07 물은 분자 사이의 수소 결합 때문에 분자 간 힘이 크므로 여러 가지 성질이 나타난다.

모범 답안 밀도는 물이 얼음보다 크다. 비열이 크다. 표면 장력이 크다. 모세관 현상이 크게 나타난다. 등

| 채점 기준 | 배점 |
|-------------------------|-------|
| 물의 성질 2가지를 모두 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 물의 성질 1가지만 옳게 서술한 경우 | 50 % |

실력 UP 문제 80쪽

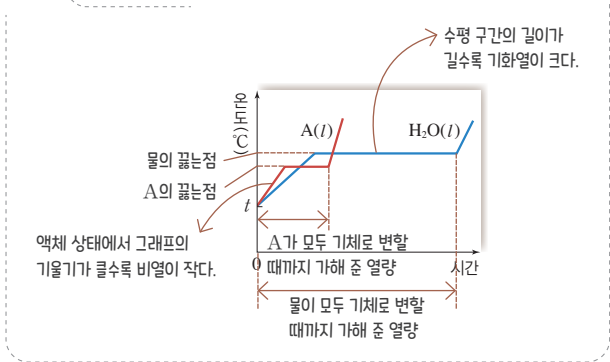
01 ③ **02** ③

01 ㄱ. 결합 ㉠은 수소 결합이다. A → B일 때 얼음이 물로 용해하므로 수소 결합인 결합 ㉠의 일부가 끊어진다.

ㄴ. C → D일 때 물의 온도가 높아지므로 분자 운동이 활발해져 분자 사이의 거리가 멀어진다. 이에 따라 부피가 증가하므로 밀도가 감소한다.

바로알기 ㄷ. B와 D를 혼합한 물의 온도는 B와 D 사이의 온도를 가진다. 온도가 B와 D 사이에 위치한 물은 B와 D보다 밀도가 크므로 B 1 mL와 D 1 mL를 혼합한 물의 부피는 2 mL보다 작다.

02 ← **꼼꼼 문제 분석**



- ① 수평 구간의 온도는 끓는점이므로 끓는점은 $H_2O > A$ 이다.
 - ② 끓는점이 높을수록 액체 분자 간 힘이 크므로 분자 간 힘은 $H_2O(l) > A(l)$ 이다.
 - ④ 가열하기 시작할 때부터 수평 구간이 끝나는 구간까지의 길이는 $t^\circ C$ 액체가 모두 기체로 변할 때까지 가해 준 열량에 비례한다. 따라서 $t^\circ C$ 액체가 모두 기체로 변할 때까지 가해 준 열량은 $H_2O(l) > A(l)$ 이다.
 - ⑤ 수평 구간의 길이는 기화열에 비례한다. 따라서 기화열은 $H_2O(l) > A(l)$ 이다.
- 바로알기** ③ 그래프의 기울기가 클수록 온도를 높이는 데 필요한 에너지가 작으므로 비열이 작다. 액체 상태에서 그래프의 기울기는 $A(l) > H_2O(l)$ 이므로 비열은 $H_2O(l) > A(l)$ 이다.

중단원 핵심정리

81쪽

- 1 극성
- 2 수소 결합
- 3 수소 결합
- 4 부피
- 5 밀도
- 6 크
- 7 표면적
- 8 크
- 9 클
- 10 수소 결합
- 11 높이

중단원 마무리 문제

82쪽~84쪽

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

- 01** ㄱ. 물은 결합각이 104.5° 인 굽은 형 구조이다.
 ㄴ. 결합 (가)는 수소 결합이고, 결합 (나)는 공유 결합이다.
바로알기 ㄷ. 물은 수소 결합을 하므로 분자 간 힘이 크고 끓는점이 높다.

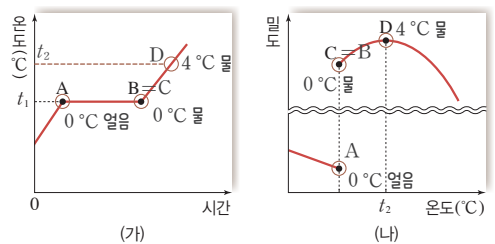
- 02** ㄱ. (가)에서 얼음이 물에 뜨므로 밀도는 물 > 얼음이다.
 ㄴ. (나)에서 고체 파라핀이 액체 파라핀에 가라앉으므로 밀도는 고체 파라핀 > 액체 파라핀이다. 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이므로 밀도와 1g의 부피는 반비례한다. 따라서 1g의 부피는 액체 파라핀 > 고체 파라핀이다.
 ㄷ. 파라핀의 밀도는 고체 > 액체이므로 부피는 액체 > 고체이다. (나)에서 고체 파라핀이 모두 녹아 액체 파라핀이 되면 부피가 증가하므로 수면의 높이 h 는 증가한다.

- 03** ㄴ. $B \rightarrow C$ 때 얼음이 물로 용해한다.
바로알기 ㄱ. 밀도는 $A > B$ 인데, 밀도와 부피는 반비례하므로 부피는 $B > A$ 이다.
 ㄷ. 물의 온도가 높아지면 물 분자 사이의 거리가 멀어지면서 물 분자 사이의 수소 결합이 일부 끊어진다. 따라서 온도가 높아지면 물 분자 사이의 평균 수소 결합 수는 감소하므로 $C > D$ 이다.

- 04** ㄴ. 얼음의 질량이 크면 같은 열량을 흡수하더라도 온도 변화가 작다. 제시된 자료에서 같은 시간 동안 가열했을 때 얼음의 온도 변화는 (가) > (나)이므로 얼음의 질량은 (나) > (가)이다.
바로알기 ㄱ. 물질이 흡수한 열량은 가열 시간에 비례하므로 얼음을 가열하여 $t^\circ C$ 에 도달할 때까지 흡수한 열량은 (나) > (가)이다.
 ㄷ. 녹는점은 물질의 특성이므로 같은 물질의 녹는점은 서로 같다. 따라서 녹는점은 (가)와 (나)가 같다.

05 ← **꼼꼼 문제 분석**

얼음의 가열 곡선과 H_2O 의 온도에 따른 밀도를 비교하면 B는 C와 같다.



- ㄱ. $t_1^\circ C$ 는 녹는점인 $0^\circ C$ 이고 $t_2^\circ C$ 에서 물의 밀도가 가장 크므로 $t_2^\circ C$ 는 $4^\circ C$ 이다. 따라서 $t_2 > t_1$ 이다.
 ㄴ. A는 $0^\circ C$ 얼음이고, B와 C는 $0^\circ C$ 물이다. 밀도는 $C > A$ 이고, 1g의 부피는 밀도에 반비례하므로 $A > C$ 이다.
 ㄷ. 물의 온도가 높을수록 물 분자 사이의 평균 수소 결합 수는 감소하므로 $B > D$ 이다.

- 06** 페트병에 물을 가득 넣고 얼리면 물의 부피가 증가하므로 페트병이 부풀어 오른다. 밀도는 물이 얼음보다 크다.

ㄱ. 빙하가 물에 뜨는 것은 물의 밀도가 얼음의 밀도보다 크기 때문이다.

ㄴ. 겨울철 수도관 속 물이 얼면 부피가 증가하므로 수도관이 터진다.

바로알기 ㄷ. 풀잎에 맺힌 물방울이 동그란 모양을 나타내는 것은 물의 표면 장력이 크기 때문이다.

07 ㄴ. (가)에서 액체 방울이 더 둥근 모양인 물이 A보다 표면 장력이 크다. 따라서 (나)에서 ㉠은 물이고, ㉡은 A이다.

ㄷ. (나)에서 온도가 높아지면 물과 A 모두 표면 장력이 작아진다. 따라서 온도가 높아지면 물과 A는 모두 분자 간 힘이 약해진다.

바로알기 ㄱ. 액체 방울이 둥근 모양일수록 표면적이 작으므로 (가)에서 액체 방울의 표면적은 물이 A보다 작다.

08 ㄱ. 휴지는 물에 뜨므로 휴지 위에 핀을 올려놓으면 핀이 물 위에 쉽게 뜬다.

ㄴ. 물의 표면 장력이 크므로 물보다 밀도가 큰 핀이 물 위에 뜰 수 있다.

ㄷ. 물에 비눗물을 넣으면 물의 표면 장력이 작아지므로 핀이 물 아래로 가라앉는다. 이를 통해 비누는 물에 녹아 물의 표면 장력을 약하게 한다는 것을 알 수 있다.

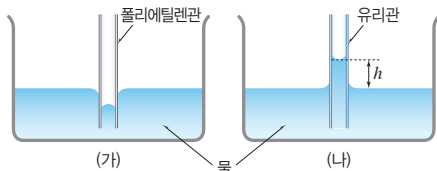
09 ㄱ. 클립을 물에 넣었을 때 물 아래로 가라앉았으므로 밀도는 클립이 물보다 크다.

ㄴ. 물은 표면 장력이 크므로 물이 가득 담긴 컵에 클립을 넣어도 물이 넘치지 않고 물 표면이 볼록해진다.

바로알기 ㄷ. 해안가에서 해풍과 육풍이 부는 것은 물의 비열과 관련된 현상이다.

10 **꼭꼭 문제 분석**

액체 표면이 \cap 모양이면 응집력 > 부착력이고
액체 표면이 U 모양이면 부착력 > 응집력이다.



응집력 > 부착력
→ 물은 폴리에틸렌관에서 수면이 내려가는 모세관 현상이 나타난다.

부착력 > 응집력
→ 물은 유리관에서 수면이 올라가는 모세관 현상이 나타난다.

ㄴ. (가)에서 수면이 \cap 모양이므로 물의 응집력 > 물과 폴리에틸렌 사이의 부착력이고, (나)에서 수면이 U 모양이므로 물의 응집

력 < 물과 유리관 사이의 부착력이다. 따라서 물과 유리관 사이의 부착력이 물과 폴리에틸렌 사이의 부착력보다 크다.

바로알기 ㄱ. 물의 응집력이 물과 폴리에틸렌의 부착력보다 크다.

ㄷ. 온도가 높아질수록 분자 사이에 작용하는 힘이 약해지므로 물의 응집력이 감소한다. 따라서 25 °C보다 높은 온도의 물로 실험하면 (나)에서 h 는 작아진다.

11 밀도는 물이 얼음보다 크고, 부피는 얼음이 물보다 크다. 얼음이 녹아 물이 되면 부피가 감소한다.

모범 답안 얼음이 녹아 물이 되면 부피가 감소하므로 h 는 작아진다.

| 채점 기준 | 배점 |
|----------------------------|-------|
| h 의 변화와 까닭을 모두 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| h 의 변화만 옳게 서술한 경우 | 50 % |

12 비열이 클수록 온도가 천천히 낮아지므로 액체의 냉각 곡선에서 그래프의 기울기(절댓값)가 작다.

모범 답안 액체가 냉각되는 구간의 기울기(절댓값)가 작을수록 비열이 크므로 비열은 액체 A > 액체 B이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|----------------------------|-------|
| 비열을 옳게 비교하고, 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 비열만 옳게 비교한 경우 | 50 % |

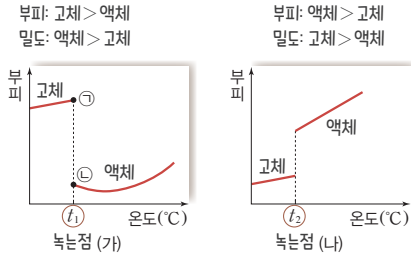
13 비눗물은 물보다 표면 장력이 작다. 비눗물을 떨어뜨린 부분에서는 물 분자 간 힘이 작아지고, 비눗물을 떨어뜨리지 않은 부분에서는 물 분자 간 힘이 상대적으로 커지므로 종이배는 비눗물을 떨어뜨린 반대 방향으로 이동한다.

모범 답안 비눗물이 물 분자 간 힘을 약하게 만들므로 물 분자 간 힘이 상대적으로 큰 방향인 ㉠으로 종이배가 이동한다.

| 채점 기준 | 배점 |
|------------------------------|-------|
| 종이배의 이동 방향과 까닭을 모두 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 종이배의 이동 방향만 옳게 서술한 경우 | 50 % |

01 ③ 02 ④ 03 ④ 04 ⑤

01 — **꼼꼼 문제 분석**



선택지 분석

- ㄱ. (가)에서 t_1 °C일 때와 (나)에서 t_2 °C일 때 물질의 상태 변화가 일어난다.
- ㄴ. (가)에서 ㉠ → ㉡일 때 분자 간 힘이 감소한다.
- ㄷ. t_2 °C 액체 A에 t_2 °C 고체 A를 넣으면 고체 A는 액체 A에 뜨다, 가라앉는다

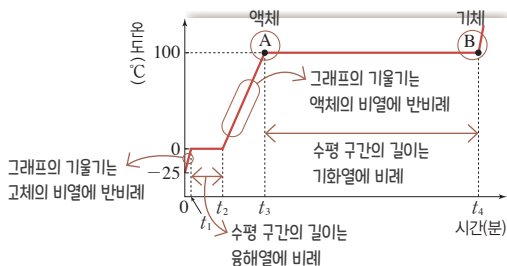
전략적 풀이 ① 물질의 상태를 파악한다.

ㄱ. (가)의 t_1 °C에서 H₂O의 부피가 크게 감소하므로 t_1 °C 이하의 온도에서 얼음으로, t_1 °C 이상의 온도에서 물로 존재한다. (나)의 t_2 °C에서 A의 부피가 크게 증가하므로 A는 t_2 °C 이하의 온도에서 고체로, t_2 °C 이상의 온도에서 액체로 존재한다. t_1 °C와 t_2 °C에서 물질의 상태 변화(용해)가 일어나므로 t_1 °C와 t_2 °C는 각각 H₂O와 A의 녹는점이다.

② 온도 변화에 따른 분자 간 힘과 밀도를 비교한다.

ㄴ. 얼음이 녹아 물이 되면 분자 간 수소 결합 수가 감소하므로 분자 간 힘이 감소한다.
 ㄷ. 부피는 액체 A가 고체 A보다 크고, 밀도와 부피는 반비례하므로 밀도는 고체 A가 액체 A보다 크다. 따라서 t_2 °C 액체 A에 t_2 °C 고체 A를 넣으면 고체 A는 액체 A에 가라앉는다.

02 — **꼼꼼 문제 분석**



선택지 분석

- ㄱ. H₂O 분자 사이의 수소 결합 수는 $A > B$ 이다.
- ㄴ. $\frac{H_2O(l) \text{의 비열}}{H_2O(s) \text{의 비열}} = \frac{4t_1}{t_3 - t_2}$ 이다. $\frac{t_3 - t_2}{4t_1}$
- ㄷ. H₂O의 $\frac{\text{기화열}}{\text{용해열}} = \frac{t_4 - t_3}{t_2 - t_1}$ 이다.

전략적 풀이 ① 물질의 상태에 따른 수소 결합 수를 비교한다.

ㄱ. A는 물이고, B는 수증기이다. 물은 분자 사이에 수소 결합이 일부분 존재하고, 수증기는 분자 사이에 수소 결합이 존재하지 않는다. 따라서 분자 사이의 수소 결합 수는 $A > B$ 이다.

② 가열 곡선에서 물질의 상태에 따른 비열을 비교한다.

ㄴ. 시간 $0 \sim t_1$ 분에서 그래프의 기울기는 H₂O(s)의 비열에 반비례하고, 시간 t_2 분~ t_3 분에서 그래프의 기울기는 H₂O(l)의 비열

에 반비례한다. 따라서 $\frac{H_2O(l) \text{의 비열}}{H_2O(s) \text{의 비열}} = \frac{100}{\frac{t_1 - 0}{25}} = \frac{t_3 - t_2}{4t_1}$ 이다.

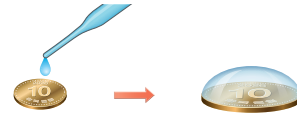
③ 녹는점에서 용해열과 끓는점에서 기화열을 비교한다.

ㄷ. 녹는점에서 수평 구간의 길이는 용해열에 비례하고 끓는점에서 수평 구간의 길이는 기화열에 비례한다. 따라서 H₂O의 $\frac{\text{기화열}}{\text{용해열}} = \frac{t_4 - t_3}{t_2 - t_1}$ 이다.

03 — **꼼꼼 문제 분석**

[실험 과정]

- (가) 동전에 물을 한 방울씩 떨어뜨리면서 동전에 물이 넘칠 때까지 떨어뜨린 액체 방울 수를 구한다.
- (나) 에탄올과 A 수용액을 이용하여 (가)를 반복한다.



[실험 결과]

- 동전에 액체가 넘칠 때까지 떨어뜨린 액체 방울 수

| 액체 | 물 | 에탄올 | A 수용액 |
|---------|----|-----|-------|
| 액체 방울 수 | 42 | 16 | 24 |

표면 장력은 물 > A 수용액 > 에탄올이다.

선택지 분석

- ㄱ. 표면 장력이 큰 액체일수록 액체가 넘칠 때까지 떨어뜨린 액체 방울 수가 크다.
- ㄴ. 분자 간 힘은 에탄올이 물보다 크다. **작다**
- ㄷ. A는 물에 녹아 물의 표면 장력을 감소시킨다.

(3) 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례하지만, 어는점은 몰랄 농도에 비례하지 않는다.

$$\Delta T_f = K_f \times m$$

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

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

(3) 용매 W g에 용질 w g이 녹아 있을 때 분자량(M)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M = \frac{1000 \times w \times K_f}{\Delta T_f \times W} = \frac{1000 \times 9 \times 1.86}{0.93 \times 100} = 180$$

개념 확인문제

94쪽

① 반투막 ② 용매 ③ 삼투압 ④ 몰농도

1 (1) × (2) × (3) ○ 2 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

3 (다) > (가) > (나) 4 0.246 atm 5 (1) □ (2) ⊃ (3) ⊂

1 (1) 설탕물의 농도가 클수록 물과 설탕물에서 반투막을 통과하는 물 분자 수의 차가 커져서 삼투 현상이 잘 일어난다.

(2) 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압은 용액의 몰농도와 절대 온도에 비례한다.

(3) 같은 온도에서 삼투압은 용질의 종류와 관계없이 몰농도에 비례하므로 0.2 M 설탕 수용액은 0.1 M 포도당 수용액보다 삼투압이 크다.

2 (1) 반투막은 입자의 크기에 따라 물질을 선택적으로 통과시키는 얇은 막이다. 물과 같이 크기가 작은 용매 입자는 반투막을 통과하지만, 크기가 큰 용질 입자는 통과하지 못한다.

(2) 설탕물에서는 반투막 주변에 설탕 분자가 있으므로 반투막을 통과하여 물에서 설탕물로 이동하는 물 분자 수가 설탕물에서 물로 이동하는 물 분자 수보다 크다.

(3) 삼투 현상이 일어나면 물이 설탕물 쪽으로 이동하므로 물의 수면은 낮아지고, 설탕물의 수면은 높아진다.

(4) 삼투 현상이 일어나면 물이 설탕물 쪽으로 이동하므로 설탕물의 농도는 감소한다.

3 수면의 높이는 $c > a > b$ 이다. 수면의 높이가 높을수록 삼투압이 큰 용액이고, 삼투압은 몰농도에 비례한다. 따라서 몰농도는 (다) > (가) > (나)이다.

4 몰농도 $C = \frac{20 \text{ g}}{0.1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ mol}}{20000 \text{ g/mol}} = 0.01 \text{ M}$ 이고, $T = (273 + 27)$

$K = 300 \text{ K}$ 이다. 따라서 삼투압은 $\pi = CRT = 0.01 \text{ M} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K} = 0.246 \text{ atm}$ 이다.

5 (1) 소금물에 배추를 절이면 배추 내부에서 수분이 빠져나오므로 배추의 습이 죽는다. 이는 삼투압과 관련된 현상이다.

(2) 찌개는 순수한 물보다 끓는점이 높아져 물보다 높은 온도에서 끓는다. 이는 끓는점 오름과 관련된 현상이다.

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

대표 자료 분석 1

95쪽

1 물 > A > B

2 ㉠ A, ㉡ B

3 $(a+h)$ mmHg

4 $h = \frac{a-b}{2}$

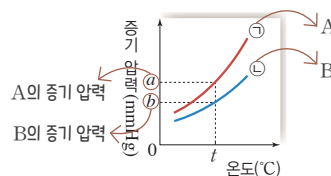
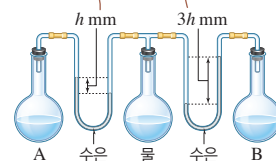
5 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ×

(7) ×

꼼꼼 문제 분석

증기 압력: 물 > A
A의 증기 압력 내림: h mmHg

증기 압력: 물 > B
B의 증기 압력 내림: $3h$ mmHg



1 액체의 증기 압력이 클수록 수은 기둥을 더 많이 밀어낸다. A는 물보다 증기 압력이 h mmHg만큼 작고, B는 물보다 증기 압력이 $3h$ mmHg만큼 작으므로 증기 압력은 물 > A > B이다.

2 $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 A > B이다. 그래프에서 $a > b$ 이므로 ㉠은 A, ㉡은 B이다.

3 $t^\circ\text{C}$ 에서 A의 증기 압력은 a mmHg이고, 물의 증기 압력은 A보다 h mmHg만큼 크다. 따라서 $t^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 $(a+h)$ mmHg이다.

4 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 B의 증기 압력은 b mmHg이고, 물의 증기 압력은 B보다 $3h$ mmHg만큼 크다. 따라서 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 $(b+3h)$ mmHg이다. $a+h=b+3h$ 이므로 $h=\frac{a-b}{2}$ 이다.

5 (1) A는 물보다 증기 압력이 h mmHg만큼 작으므로 증기 압력 내림은 h mmHg이다.

(2) A의 증기 압력 내림은 h mmHg이고, B의 증기 압력 내림은 $3h$ mmHg이므로 증기 압력 내림은 $B>A$ 이다. 설탕물의 농도가 클수록 증기 압력 내림이 크므로 설탕물의 농도는 $B>A$ 이다.

(3) 용액의 증기 압력 내림은 용질의 몰분율에 비례한다. 따라서 $\frac{B\text{에서 설탕의 몰분율}}{A\text{에서 설탕의 몰분율}} = \frac{B\text{의 증기 압력 내림}}{A\text{의 증기 압력 내림}} = \frac{3h}{h} = 3$ 이다.

(4) 용액의 증기 압력은 용매의 몰분율에 비례한다. 따라서 $\frac{B\text{에서 물의 몰분율}}{A\text{에서 물의 몰분율}} = \frac{B\text{의 증기 압력}}{A\text{의 증기 압력}} = \frac{b}{a}$ 이다.

(5), (6) 설탕물의 농도가 클수록 끓는점 오름이 크다. 설탕물의 농도는 $B>A$ 이므로 끓는점 오름은 $B>A$ 이고, 1기압에서 물의 끓는점은 100°C 이므로 끓는점은 B가 A보다 높다.

(7) 설탕물의 농도가 클수록 어는점 내림이 크다. 설탕물의 농도는 $B>A$ 이므로 어는점 내림은 $B>A$ 이고, 1기압에서 물의 어는점은 0°C 이므로 어는점은 A가 B보다 높다.

1 증기 압력이 1기압일 때 A의 온도는 $t_1^{\circ}\text{C}$ 이고, B의 온도는 $t_2^{\circ}\text{C}$ 이므로 1기압에서 끓는점은 A가 $t_1^{\circ}\text{C}$ 이고, B가 $t_2^{\circ}\text{C}$ 이다. 따라서 끓는점은 $B>A$ 이다.

2 ㉠의 끓는점은 $t_3^{\circ}\text{C}$ 이므로 ㉠의 끓는점 오름은 $(t_3-t_1)^{\circ}\text{C}$ 이다. ㉡의 끓는점은 $t_4^{\circ}\text{C}$ 이므로 ㉡의 끓는점 오름은 $(t_4-t_2)^{\circ}\text{C}$ 이다.

3 $t_2>t_1$ 이고, $t_3>t_4$ 이므로 $(t_3-t_1)>(t_4-t_2)$ 이다. 즉, 끓는점 오름은 ㉠>㉡이다. ㉠과 ㉡의 몰랄 농도는 $\frac{0.1\text{ mol}}{0.1\text{ kg}} = 1\text{ m}$ 로 같으므로 끓는점 오름은 각 용매의 몰랄 오름 상수에 비례한다. 따라서 몰랄 오름 상수는 $A>B$ 이다.

4 ㉠의 끓는점 오름은 $(t_3-t_1)^{\circ}\text{C}$ 이고, 몰랄 농도는 1 m 이다. 몰랄 오름 상수는 용액의 농도가 1 m 일 때의 끓는점 오름 값이므로 A의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $(t_3-t_1)^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 이다.

A 100 g에 C 0.2 mol을 녹인 용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.2\text{ mol}}{0.1\text{ kg}} = 2\text{ m}$ 이므로 끓는점 오름(ΔT_b)은 다음과 같다.
 $\Delta T_b = K_b \times m = (t_3-t_1)^{\circ}\text{C}/\text{m} \times 2\text{ m} = (2t_3-2t_1)^{\circ}\text{C}$
 따라서 이 용액의 끓는점은 $t_1 + (2t_3-2t_1) = (2t_3-t_1)^{\circ}\text{C}$ 이다.

5 (1) (가)에서 같은 온도일 때 증기 압력은 $A>B$ 이다.

(2) ㉠과 ㉡의 몰랄 농도는 $\frac{0.1\text{ mol}}{0.1\text{ kg}} = 1\text{ m}$ 이다.

(3) $t_4^{\circ}\text{C}$, 1기압일 때 ㉠은 끓는점에 도달하기 전이므로 증기 압력이 1기압보다 작고, ㉡은 끓는점에 도달한 상태이므로 증기 압력이 1기압이다. 따라서 $t_4^{\circ}\text{C}$, 1기압일 때 증기 압력은 ㉡>㉠이다.

(4) $t_3^{\circ}\text{C}$, 1기압일 때 ㉠과 ㉡은 모두 끓는점에 도달한 상태이므로 증기 압력이 1기압으로 같다.

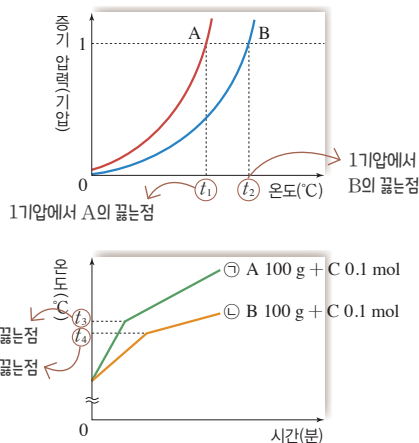
(5) ㉡의 끓는점 오름은 $(t_4-t_2)^{\circ}\text{C}$ 이고, 몰랄 농도는 1 m 이므로 B의 몰랄 오름 상수는 $(t_4-t_2)^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 이다.

대표 자료 분석 2

96쪽

1 $B>A$ 2 ㉠: t_3-t_1 , ㉡: t_4-t_2 3 $A>B$ 4 $(2t_3-t_1)^{\circ}\text{C}$
 5 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

꼼꼼 문제 분석



나신만점문제

97쪽~99쪽

- | | | | | |
|------|------|----------|------|------|
| 01 ① | 02 ⑤ | 03 해설 참조 | 04 ② | 05 ④ |
| 06 ③ | 07 ④ | 08 해설 참조 | 09 ① | 10 ③ |
| 11 ③ | 12 ⑤ | 13 ② | 14 ④ | |

01 가. ㉡ 쪽의 수는 기둥이 높아졌으므로 증기 압력은 ㉠>㉡이다. 같은 온도에서 증기 압력은 물이 용액보다 크므로 ㉠은 물이고, ㉡은 A 수용액이다.

바로알기 나. 물과 A 수용액의 증기 압력 차가 h mmHg이므로 A 수용액의 증기 압력 내림은 h mmHg이다. 물의 증기 압력은 $2h$ mmHg보다 크므로 A 수용액(㉔)의 증기 압력은 h mmHg보다 크다.

다. 물을 추가하면 A 수용액의 농도가 작아지므로 증기 압력이 커진다. 따라서 물과 A 수용액의 증기 압력 차이 h 는 감소한다.

02 가. t_1 °C에서 물과 포도당 수용액의 증기 압력은 각각 760.0 mmHg, 752.4 mmHg이다. 따라서 포도당 수용액의 증기 압력 내림은 7.6 mmHg(=760.0-752.4)이다.

나. 포도당 수용액의 증기 압력이 760 mmHg일 때의 온도가 t_2 °C이므로 1기압에서 포도당 수용액의 끓는점은 t_2 °C이다.

다. $P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}}$ 이므로 물의 몰분율은 $X_{\text{용매}} = \frac{P_{\text{용액}}}{P_{\text{용매}}}$
 $= \frac{752.4}{760} = 0.99$ 이다.

03 물의 양은 $\frac{90 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 5 \text{ mol}$ 이고, 요소의 양은

$$\frac{6 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$$
이다.

모범 답안 물의 양은 5 mol, 요소의 양은 0.1 mol이므로 요소의 몰분율은 $\frac{0.1}{5+0.1} = \frac{1}{51}$ 이다. 따라서 요소 수용액의 증기 압력 내림은 $\Delta P =$

$$P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} = 255 \text{ mmHg} \times \frac{1}{51} = 5 \text{ mmHg}$$
이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---------------------------------|-------|
| 증기 압력 내림을 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 증기 압력 내림만 옳게 구한 경우 | 50 % |

04 A w g의 양(mol)을 n 이라고 하면 (나)의 증기 압력은 $P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}} = P \times \frac{4.9}{4.9+n} = 0.98P$ (기압)이고, $n=0.1$ 이다. A w g의 양이 0.1 mol이므로 A의 분자량은 $10w$ 이다.

(가)의 증기 압력은 $P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}} = P \times \frac{2.4}{2.4+0.1} = 0.96P$ (기압)이다. 따라서 ㉑은 $0.96P$ 이다.

05 나. 용액의 농도가 클수록 증기 압력이 작다. A(aq)의 몰랄 농도가 (나) > (가)이므로 증기 압력은 (가) > (나)이다.

다. 증기 압력은 (가) > (나)이므로 (가)에서 증발하는 물 분자 수가 (나)에서 증발하는 물 분자 수보다 크다. 시간이 흐르면 (가)에 들어 있는 물의 양은 감소하고, (나)에 들어 있는 물의 양은 증가한다. 두 용액의 증기 압력이 같아질 때까지 (가)의 부피는 감소하고, (나)의 부피는 증가하므로 충분한 시간이 흐른 후 수용액의 부피는 (나) > (가)이다.

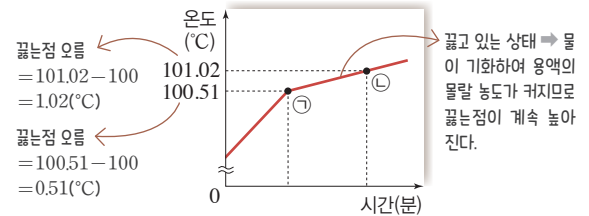
바로알기 가. A(aq)의 몰랄 농도가 (나) > (가)이므로 물의 몰분율은 (가) > (나)이다.

06 가. 1기압에서 물의 끓는점은 100 °C이므로 (가)와 (나)의 끓는점 오름은 각각 0.2 °C, 0.1 °C이다. 따라서 끓는점 오름은 (가)가 (나)의 2배이다.

나. 몰랄 농도 = $\frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$ 이고, 끓는점 오름은 $\Delta T_b = K_b \times m$ 이다. (가)와 (나)에서 물의 질량이 같으므로 끓는점 오름은 A와 B의 양(mol)에 비례한다. A와 B의 분자량을 각각 M_A , M_B 라고 하면 끓는점 오름의 비는 (가) : (나) = $\frac{2w}{M_A} : \frac{3w}{M_B} = 2 : 1$ 이고, $3M_A = M_B$ 이다. 따라서 분자량은 B가 A의 3배이다.

바로알기 다. 끓는점 오름과 어는점 내림은 모두 몰랄 농도에 비례하므로 끓는점 오름과 어는점 내림은 비례한다. 끓는점 오름은 (가)가 (나)의 2배이므로 어는점 내림도 (가)가 (나)의 2배이다. 1기압에서 물의 어는점은 0 °C이므로 어는점은 (가)가 (나)보다 낮다.

07 ◀ **꼼꼼 문제 분석**



나. 물 100 g에 A 6 g을 녹인 수용액의 끓는점은 100.51 °C이므로 끓는점 오름은 0.51 °C이다. A의 분자량을 M 이라고 하면

몰랄 농도는 $\frac{6 \text{ g}}{\frac{M \text{ g/mol}}{0.1 \text{ kg}}} = \frac{60}{M} m$ 이다. 끓는점 오름은 $\Delta T_b = K_b \times m = 0.51 \text{ °C/m} \times \frac{60}{M} m = 0.51 \text{ °C}$ 이므로 $M=60$ 이다.

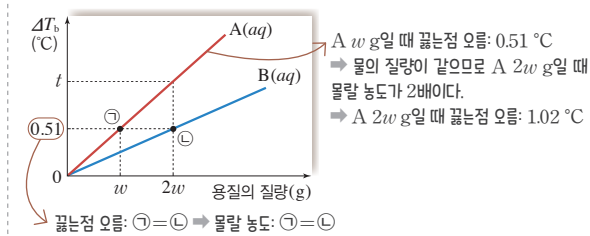
다. A의 양은 $\frac{6 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이고, ㉔에서 물의 질량을 W kg이라고 하면 몰랄 농도는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{W \text{ kg}}$ 이다. ㉔에서 끓는점 오름은 1.02 °C이므로 $\Delta T_b = K_b \times m = 0.51 \text{ °C/m} \times \frac{0.1}{W} m = 1.02 \text{ °C}$ 이고, $W=0.05$ 이다. 따라서 ㉔에서 물의 질량은 50 g이다.

바로알기 가. ㉑에서 끓기 시작하여 이후 계속 끓고 있는 상태이다. 즉, ㉑과 ㉔은 끓는점이므로 증기 압력은 1기압과 같다.

08 **모범 답안** 설탕물의 어는점 내림이 5.58°C 이므로 설탕물의 몰랄 농도(m)를 x 라고 하면 $\Delta T_f = K_f \times m = 1.86^\circ\text{C}/m \times x \times m = 5.58^\circ\text{C}$ 이고, $x=3$ 이다. 따라서 끓는점 오름은 $\Delta T_b = K_b \times m = 0.51^\circ\text{C}/m \times 3 \times m = 1.53^\circ\text{C}$ 이므로 설탕물의 끓는점은 101.53°C 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|-------|
| 설탕물의 몰랄 농도를 구한 후 끓는점을 구하는 과정을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 설탕물의 끓는점만 옳게 쓴 경우 | 50 % |

09 **꼼꼼 문제 분석**



㉠. 몰랄 농도 = $\frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$ 이다. A(aq)에서 용매의 질량이 일정할 때 몰랄 농도는 용질의 질량에 비례하므로 끓는점 오름은 용질의 질량에 비례한다. A(aq)에서 A w g이 녹아 있는 수용액의 끓는점 오름이 0.51°C 이므로 A $2w$ g이 녹아 있는 수용액의 끓는점 오름은 1.02°C 이다. 따라서 $t=1.02$ 이다.

바로알기 ㉡. ㉠과 ㉡의 끓는점 오름이 같으므로 몰랄 농도도 같다.

㉢. ㉠과 ㉡의 몰랄 농도가 같고 물의 질량이 같으므로 A w g과 B $2w$ g의 양(mol)이 같다. 따라서 분자량은 B가 A의 2배이므로 $B > A$ 이다.

10 **꼼꼼 문제 분석**

| 수용액 | 물의 질량(g) | 용질의 질량(g) | | 어는점 내림(°C) |
|-----|----------|-----------|-----------|---------------------------|
| | | A | B | |
| (가) | 100 | w x | w y | $3a$ |
| (나) | 200 | w x | $2w$ $2y$ | $2a$ |
| (다) | 200 | $2w$ $2x$ | w y | $\text{㉠} = \frac{5}{2}a$ |

어는점 내림: (다) > (나) \Rightarrow 끓는점 오름: (다) > (나)

㉠. 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. A w g과 B w g의 양(mol)을 각각 x , y 라고 하면 (가)와 (나)에서 어는점 내림의 비는 다음과 같다.

$$(가) : (나) = \frac{(x+y) \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} : \frac{(x+y) \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}} = 3a : 2a$$

이를 풀면 $x=2y$ 이다. 질량이 같을 때 양(mol)은 A가 B의 2배이므로 분자량은 B가 A의 2배이다.

$$\begin{aligned} \text{㉡. (나)와 (다)에서 어는점 내림의 비는 (나) : (다)} &= \frac{(x+y) \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}} \\ &: \frac{(2x+y) \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}} = 2a : \text{㉢} \text{이다. } x=2y \text{이므로 이를 풀면 } \text{㉢} = \frac{5}{2}a \end{aligned}$$

이다.

바로알기 ㉢. 끓는점 오름과 어는점 내림은 모두 몰랄 농도에 비례하므로 끓는점 오름과 어는점 내림은 비례한다. 어는점 내림이 (다) > (나)이므로 끓는점 오름도 (다) > (나)이다. 따라서 끓는점은 (다)가 (나)보다 높다.

11 ㉠. (다)에서 양쪽 수면의 높이가 같아지도록 A(aq)에 가해진 압력이 삼투압이므로 (가)에서 A(aq)의 삼투압은 P 기압이다. ㉡. (가)에서 (나)로 될 때 물이 A(aq) 쪽으로 이동하므로 A(aq)의 몰농도는 감소한다.

바로알기 ㉢. $\pi = CRT$ 에서 삼투압은 절대 온도에 비례한다. 온도를 높여서 실험하면 삼투압이 커지므로 (나)에서 수면의 높이 차 h 는 증가한다.

12 **꼼꼼 문제 분석**

| 수용액 | 용질 | | 온도(K) | 삼투압 (기압) |
|-----|-----|-------|---------|----------|
| | 종류 | 질량(g) | | |
| (가) | A | 0.09 | 300 | $3a$ |
| (나) | B | 0.18 | 300 | $18a$ |
| (다) | ㉠ A | 0.18 | $300+t$ | $7a$ |

삼투압의 비는 (가) : (나) = 1 : 60이다.
 \Rightarrow 온도가 같으므로 몰농도의 비도 (가) : (나) = 1 : 60이다.

㉠. (가)와 (나)에서 온도는 300 K으로 같으므로 삼투압은 몰농도에 비례한다. A와 B의 분자량을 각각 M_A , M_B 라고 하면 (가)와 (나)의 삼투압의 비는 다음과 같다.

$$(가) : (나) = \frac{0.09}{M_A} \text{ mol} : \frac{0.18}{M_B} \text{ mol} = \frac{0.09}{0.1 \text{ L}} : \frac{0.18}{0.1 \text{ L}} = 3a : 18a$$

이를 풀면 $M_A=3M_B$ 이므로 분자량은 A가 B의 3배이다.

㉡. ㉠이 B인 경우 (다)는 (나)보다 온도가 높으므로 (다)의 삼투압은 $18a$ 기압보다 커야 한다. (다)의 삼투압이 $7a$ 기압이므로 ㉢은 A이다.

㉢. 삼투압은 $\pi = CRT$ 이므로 (가)와 (다)의 삼투압의 비는 다음과 같다.

$$(가) : (다) = \frac{0.09}{M_A} \text{ mol} : \frac{0.18}{M_A} \text{ mol} = \frac{0.09}{0.1 \text{ L}} \times R \times 300 \text{ K} : \frac{0.18}{0.1 \text{ L}} \times R \times$$

$$(300+t) \text{ K} = 3a : 7a$$

이를 풀면 $t=50$ 이다.

13 나. (나)에서 물에 설탕을 녹이면 갈때기관으로 들어가는 물 분자 수가 감소하므로 수면의 높이 h 는 감소한다.

바로알기 ㄱ. (나)에서는 물에서 설탕물로 이동하는 물 분자 수와 설탕물에서 물로 이동하는 물 분자 수가 같기 때문에 수면의 높이가 h 로 일정하다.

ㄷ. 갈때기관에 들어 있는 설탕물의 농도가 커지면 설탕물의 삼투압이 커져 수면의 높이 h 가 증가한다.

14 B. 용액의 끓는점 오름은 몰랄 농도에 비례하므로 용액의 몰랄 농도가 클수록 끓는점이 높다. $\Rightarrow \Delta T_b = K_b \times m$

C. 삼투압은 용액의 몰농도와 절대 온도에 비례한다.

$\Rightarrow \pi = CRT$

바로알기 A. 용액의 증기 압력 내림은 용질의 몰분율에 비례한다. $\Rightarrow \Delta P = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}}$

실력 UP 문제 100쪽
01 ⑤ 02 ③ 03 ③ 04 ⑤

01 ㄱ. 같은 온도에서 용매의 증기 압력은 용액의 증기 압력보다 크므로 ㉠은 물의 증기 압력이고, ㉡은 A(aq)의 증기 압력이다.

나. $t_2^\circ\text{C}$ 에서 물과 A(aq)의 증기 압력은 각각 p 기압, 1기압이다. A(aq)의 증기 압력은 $P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}} = p \text{기압} \times X_{\text{용매}} = 1 \text{기압}$ 이고, $X_{\text{용매}} = \frac{1}{p}$ 이다. 물의 몰분율은 $\frac{1}{p}$ 이다.

ㄷ. 1기압에서 물과 A(aq)의 끓는점은 각각 $t_1^\circ\text{C}$, $t_2^\circ\text{C}$ 이므로 $a \text{ mol}$ A(aq)의 끓는점 오름은 $(t_2 - t_1)^\circ\text{C}$ 이다. 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 $2a \text{ mol}$ A(aq)의 끓는점 오름은 $2(t_2 - t_1)^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 1기압에서 $2a \text{ mol}$ A(aq)의 끓는점은 $t_1^\circ\text{C} + 2(t_2 - t_1)^\circ\text{C} = (2t_2 - t_1)^\circ\text{C}$ 이다.

02 **꼼꼼 문제 분석**

| | | | | |
|-----------------------------------|-----|-------|-------|-------|
| A의 질량(g) | | 0 | w | $2w$ |
| 용매 또는 용액의 끓는점($^\circ\text{C}$) | (가) | t_1 | t_2 | t_3 |
| | (나) | t_4 | t_2 | t_5 |

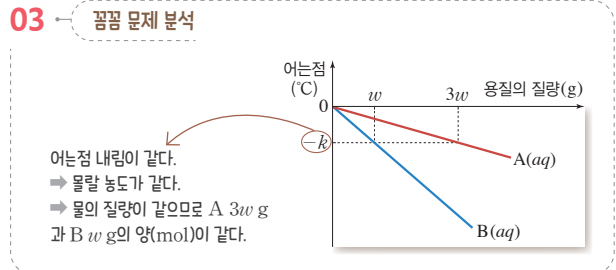
Y의 끓는점 X의 끓는점

용매 100 g + A w g \Rightarrow 몰랄 농도는 같다.
(가)의 끓는점 오름: $(t_2 - t_1)^\circ\text{C}$
(나)의 끓는점 오름: $(t_2 - t_4)^\circ\text{C}$

ㄱ. X의 끓는점은 $t_1^\circ\text{C}$ 이므로 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 X의 증기 압력은 1기압이다. Y의 끓는점은 $t_4^\circ\text{C}$ 로 $t_1^\circ\text{C}$ 보다 높다. $t_1^\circ\text{C}$ 에서 Y는 끓는점에 도달하기 전이므로 Y의 증기 압력은 1기압보다 작다. 따라서 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 $X > Y$ 이다.

나. 용매의 질량이 같으므로 용매에 녹인 A의 질량이 같을 때 (가)와 (나)의 몰랄 농도는 같다. A w g을 녹였을 때 (가)의 끓는점 오름은 $(t_2 - t_1)^\circ\text{C}$ 이고, (나)의 끓는점 오름은 $(t_2 - t_4)^\circ\text{C}$ 이다. $t_4 > t_1$ 이므로 끓는점 오름은 (가) > (나)이다. 용액의 몰랄 농도가 같을 때 끓는점 오름은 몰랄 오름 상수에 비례하므로 몰랄 오름 상수는 $X > Y$ 이다.

바로알기 ㄷ. A $2w$ g을 녹인 수용액은 A w g을 녹인 상태에 A w g을 더 녹인 수용액과 같다. A w g을 녹였을 때 끓는점은 (가)와 (나)가 같으므로 A w g을 더 녹이면 끓는점 오름이 큰 (가)가 (나)보다 끓는점이 높아진다. 따라서 $t_3 > t_5$ 이다.



ㄱ. A $3w$ g이 녹아 있는 A(aq)과 B w g이 녹아 있는 B(aq)의 어느점 내림이 같으므로 몰랄 농도는 같다. A(aq)과 B(aq)에서 물의 질량이 같으므로 A $3w$ g과 B w g의 양(mol)은 같다. 따라서 분자량은 A가 B의 3배이다.

나. A의 분자량이 M 이고, A $3w$ g이 녹아 있는 A(aq)의 어느점 내림이 $k^\circ\text{C}$ 이므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\Delta T_f = K_f \times m = k^\circ\text{C} / m \times \frac{3w \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = k^\circ\text{C}$$

이를 풀면 $w = \frac{M}{30}$ 이다.

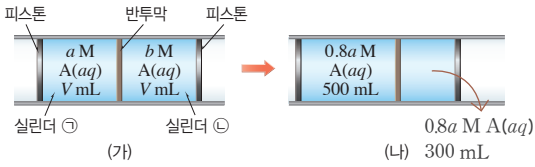
바로알기 ㄷ. A $3w$ g은 $\frac{3w}{M}$ mol이고, A $3w$ g이 녹아 있는 A(aq)의 어느점 내림은 $k^\circ\text{C}$ 이므로 물 100 g에 용질 $\frac{3w}{M}$ mol이 녹아 있는 수용액의 어느점 내림은 $k^\circ\text{C}$ 이다.

B의 분자량이 $\frac{M}{3}$ 이므로 B $3w$ g은 $\frac{9w}{M}$ mol이고, 물 100 g에 A $3w$ g과 B $3w$ g을 모두 녹인 수용액에 들어 있는 용질의 양은 총 $\frac{12w}{M}$ mol이다. 물의 질량이 같으므로 어느점 내림은 용질의 양(mol)에 비례한다. 따라서 이 수용액의 어느점 내림은 $4k^\circ\text{C}$ 이고, 어느점은 $-4k^\circ\text{C}$ 이다.

04 **포괄 문제 분석**

$$\text{몰농도}(M) = \frac{\text{용질의 양}(\text{mol})}{\text{용액의 부피}(L)}$$

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



ㄱ. (나)에서는 반투막을 통과하여 ㉠에서 ㉡으로 이동하는 물 분자 수와 ㉡에서 ㉠으로 이동하는 물 분자 수가 같다. 따라서 ㉠과 ㉡에 들어 있는 A(aq)의 몰농도는 같다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 ㉠에 들어 있는 A의 양(mol)은 같다. 따라서 $a M \times V \text{ mL} = 0.8a M \times 500 \text{ mL}$ 이고, $V = 400$ 이다.

ㄷ. (가)에서 용액의 전체 부피가 800 mL이므로 (나)에서 ㉡에 들어 있는 용액의 부피는 300 mL이다. (나)에서 ㉡에 들어 있는 용액의 몰농도는 0.8a M이고, (가)와 (나)에서 ㉡에 들어 있는 A의 양(mol)은 같다. 따라서 $b M \times 400 \text{ mL} = 0.8a M \times 300 \text{ mL}$ 이고, $b = 0.6a$ 이다.

중단원 핵심 정리

101쪽

- ① 낮은
- ② 크
- ③ 물분율
- ④ 용질
- ⑤ 용매
- ⑥ 몰랄 농도
- ⑦ 몰랄 농도
- ⑧ 작은
- ⑨ 큰
- ⑩ 삼투압
- ⑪ 몰농도

중단원 마무리 문제

102쪽~104쪽

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

01 ㄱ. $t^\circ\text{C}$ 에서 (가)와 (나)의 증기 압력은 각각 $h_1 \text{ mmHg}$, $h_2 \text{ mmHg}$ 이다. 증기 압력은 (가) > (나)이고, 용액의 증기 압력은 용매의 물분율에 비례하므로 물의 물분율은 (가) > (나)이다.

바로알기 ㄴ. 증기 압력은 (가) > (나)이므로 증기 압력 내림은 (나) > (가)이다.

ㄷ. 물의 물분율이 (가) > (나)이므로 A의 물분율은 (나) > (가)이고, 용액의 몰랄 농도는 (나) > (가)이다. 용액의 몰랄 농도가 클수록 끓는점 오름이 커서 끓는점이 높다. 따라서 끓는점은 (나)가 (가)보다 높다.

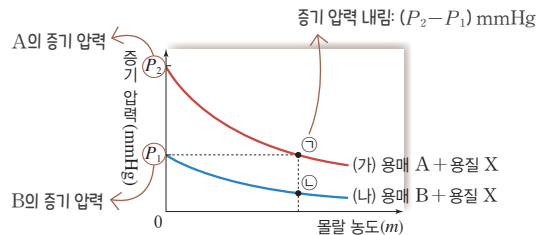
02 ㄴ. 증기 압력은 $B(aq) > A(aq)$ 이고, 용액의 증기 압력은 용매의 물분율에 비례하므로 물의 물분율은 $B(aq) > A(aq)$ 이다.

물의 물분율은 $\frac{\text{물의 양}(\text{mol})}{\text{물의 양}(\text{mol}) + \text{용질의 양}(\text{mol})}$ 이고, A(aq)과 B(aq)에서 물의 양(mol)이 같으므로 용질의 양(mol)은 $A(aq) > B(aq)$ 이다. A(aq)과 B(aq)에 녹인 용질의 질량이 같으므로 분자량은 $B > A$ 이다.

바로알기 ㄱ. 물의 물분율은 $B(aq) > A(aq)$ 이다.

ㄷ. 증기 압력은 $B(aq) > A(aq)$ 이므로 증기 압력 내림은 $A(aq) > B(aq)$ 이다.

03 **포괄 문제 분석**



같은 온도에서 증기 압력이 큰 액체일수록 분자 간 힘이 약해서 끓는 점이 낮다. \Rightarrow 기준 끓는점: $B > A$

ㄴ. $t^\circ\text{C}$ 에서 A의 증기 압력은 $P_2 \text{ mmHg}$ 이고, ㉠의 증기 압력은 $P_1 \text{ mmHg}$ 이므로 ㉠의 증기 압력 내림은 $(P_2 - P_1) \text{ mmHg}$ 이다.

바로알기 ㄱ. $t^\circ\text{C}$ 에서 A의 증기 압력은 $P_2 \text{ mmHg}$ 이고, B의 증기 압력은 $P_1 \text{ mmHg}$ 이다. 증기 압력이 $A > B$ 이므로 분자 간 힘은 $B > A$ 이고, 기준 끓는점은 B가 A보다 높다.

ㄷ. $t^\circ\text{C}$ 에서 ㉠의 증기 압력은 $P_1 \text{ mmHg}$ 이므로 외부 압력이 $P_1 \text{ mmHg}$ 일 때 ㉠의 끓는점은 $t^\circ\text{C}$ 이다. $t^\circ\text{C}$ 에서 ㉡의 증기 압력은 $P_1 \text{ mmHg}$ 보다 작으므로 외부 압력이 $P_1 \text{ mmHg}$ 일 때 ㉡의 끓는점은 $t^\circ\text{C}$ 보다 높다. 따라서 외부 압력이 $P_1 \text{ mmHg}$ 일 때 끓는점은 ㉡이 ㉠보다 높다.

04 ㄱ. ㉡의 증기 압력 내림은 $\Delta P = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} = P_{\text{용매}} \times 0.1 = 38 \text{ mmHg}$ 이고, $P_{\text{용매}} = 380 \text{ mmHg}$ 이다. $t^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 380 mmHg이다.

ㄴ. ㉠의 증기 압력 내림은 $\Delta P = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} = 380 \text{ mmHg} \times X_{\text{용질}} = 20 \text{ mmHg}$ 이고, $X_{\text{용질}} = \frac{1}{19}$ 이다. $X_{\text{용매}} = 1 - X_{\text{용질}} = \frac{18}{19}$ 이므로 물의 물분율은 $\frac{18}{19}$ 이다.

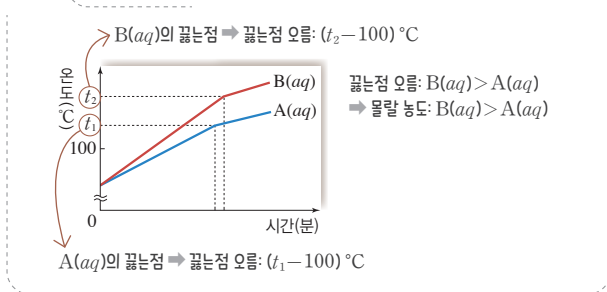
바로알기 ㄷ. 물의 양(mol)을 n 이라 하고, ㉠과 ㉡에서 A의 양(mol)을 각각 a , b 라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\textcircled{㉑} X_{\text{용질}} = \frac{a}{n+a} = \frac{1}{19}, a = \frac{1}{18}n$$

$$\textcircled{㉒} X_{\text{용질}} = \frac{b}{n+b} = \frac{1}{10}, b = \frac{1}{9}n$$

따라서 $\frac{\textcircled{㉒} \text{에서 A의 양(mol)}}{\textcircled{㉑} \text{에서 A의 양(mol)}} = 2$ 이다.

05 - 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. A(aq)의 끓는점은 $t_1^\circ\text{C}$, B(aq)의 끓는점은 $t_2^\circ\text{C}$ 이므로 끓는점 오름은 $B(aq) > A(aq)$ 이다. 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 몰랄 농도는 $B(aq) > A(aq)$ 이다.

ㄴ. 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 어는점 내림은 $B(aq) > A(aq)$ 이다.

ㄷ. A와 B의 분자량을 각각 M_A , M_B 라고 하면 A와 B의 양(mol)은 각각 $\frac{w}{M_A}$, $\frac{w}{M_B}$ 이고, 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$A(aq): \Delta T_b = K_b \times m = K_b \times \frac{w}{0.1 \text{ kg}} = (t_1 - 100)^\circ\text{C},$$

$$M_A = \frac{10wK_b}{t_1 - 100}$$

$$B(aq): \Delta T_b = K_b \times m = K_b \times \frac{w}{0.1 \text{ kg}} = (t_2 - 100)^\circ\text{C},$$

$$M_B = \frac{10wK_b}{t_2 - 100}$$

따라서 $\frac{B \text{의 분자량}}{A \text{의 분자량}} = \frac{t_1 - 100}{t_2 - 100}$ 이다.

06 - 꼼꼼 문제 분석

| 수용액 | 물의 질량(g) | 용질 | | 끓는점 ($^\circ\text{C}$) | 어는점 ($^\circ\text{C}$) |
|-----|----------|----|-------|--------------------------|--------------------------|
| | | 종류 | 질량(g) | | |
| (가) | ㉑ | A | 4 | ㉓ | $-3b$ |
| (나) | 300 | B | 6 | ㉔ | $-b$ |

(가)의 끓는점 오름: $a - 100$

어는점 내림의 비는 (가) : (나) = 3 : 1이다.
 \rightarrow 몰랄 농도의 비도 (가) : (나) = 3 : 1이다.

ㄱ. 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 어는점 내림은 (가)가 (나)의 3배이므로 몰랄 농도는 (가)가 (나)의 3배이다.

ㄴ. A의 양은 $\frac{4 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = \frac{1}{15} \text{ mol}$, B의 양은 $\frac{6 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = \frac{1}{30} \text{ mol}$ 이므로 (가)와 (나)의 몰랄 농도의 비는 다음과 같다.

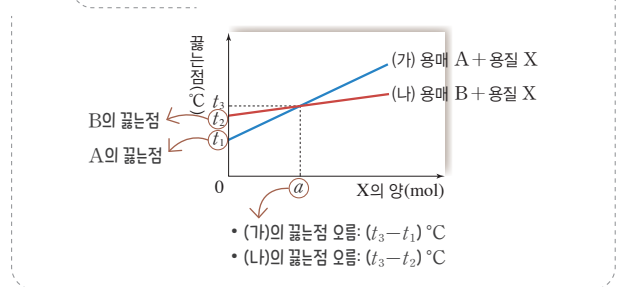
$$(가) : (나) = \frac{\frac{1}{15} \text{ mol}}{\frac{1}{1000} \text{ kg}} : \frac{\frac{1}{30} \text{ mol}}{0.3 \text{ kg}} = 3 : 1$$

이를 풀면 $\textcircled{㉑} = 200$ 이다.

ㄷ. 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. (가)의 끓는점 오름은 $(a - 100)^\circ\text{C}$ 이고, 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 $\frac{1}{3}$ 배이므로

(나)의 끓는점 오름은 $\frac{a - 100}{3}^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 (나)의 끓는점($^\circ\text{C}$)은 $100 + \frac{a - 100}{3} = \frac{a + 200}{3}$ 이다. $\textcircled{㉒} = \frac{a + 200}{3}$ 이다.

07 - 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. X의 양(mol)이 a 일 때 (가)의 끓는점 오름은 $(t_3 - t_1)^\circ\text{C}$ 이고, (나)의 끓는점 오름은 $(t_3 - t_2)^\circ\text{C}$ 이다. 용매의 질량이 같으므로 X의 양(mol)이 같으면 몰랄 농도가 같다. X의 양(mol)이 같을 때 끓는점 오름의 비는 (가) : (나) = $(t_3 - t_1) : (t_3 - t_2)$ 이므로 용액의 몰랄 농도가 1 m 일 때 $\frac{\text{(나)의 끓는점 오름}}{\text{(가)의 끓는점 오름}} = \frac{t_3 - t_2}{t_3 - t_1}$ 이다.

ㄷ. X의 양(mol)이 a 일 때 (나)의 끓는점 오름은 다음과 같다.

$$\Delta T_b = K_b \times m = K_b \times \frac{a \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = (t_3 - t_2)^\circ\text{C}$$

이를 풀면 B의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $\frac{t_3 - t_2}{10a}^\circ\text{C}/m$ 이다.

[바로알기] ㄱ. A의 끓는점은 $t_1^\circ\text{C}$ 이고, B의 끓는점은 $t_2^\circ\text{C}$ 이다. 끓는점이 $B > A$ 이므로 액체 분자 간 힘은 $B > A$ 이다.

08 ㄱ. 몰랄 농도 = $\frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$ 이다. (가)와 (나)에서 용질 X의 양(mol)이 같으므로 몰랄 농도는 용매의 질량에 반비례한다. 용매의 질량은 (나)가 (가)의 $\frac{3}{2}$ 배이므로 몰랄 농도는 (가)가 (나)의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

ㄴ. X w g의 양(mol)을 n 이라고 하면 (가)와 (나)의 끓는점 오름은 다음과 같다.

$$(가) \Delta T_b = K_b \times m = 1.6^\circ\text{C}/m \times \frac{n \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}} = 8n^\circ\text{C}$$

$$(나) \Delta T_b = K_b \times m = 3.3^\circ\text{C}/m \times \frac{n \text{ mol}}{0.3 \text{ kg}} = 11n^\circ\text{C}$$

기준 끓는점은 $B > A$ 이고, 끓는점 오름은 (나) > (가)이므로 1기압에서 끓는점은 (나) > (가)이다.

$$ㄷ. A \ 200 \text{ g은 } \frac{200 \text{ g}}{2M \text{ g/mol}} = \frac{100}{M} \text{ mol, B } 300 \text{ g은}$$

$$\frac{300 \text{ g}}{3M \text{ g/mol}} = \frac{100}{M} \text{ mol이므로 (가)와 (나)에서 용매의 양}$$

(mol)이 같고, 용질 X 의 양(mol)도 같다. 따라서 용질의 몰분율이 같으므로 $\Delta P = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}}$ 에서 증기 압력 내림은 용매의 증기 압력에 비례한다. 50°C 에서 A 와 B 의 증기 압력은 각각 p mmHg, q mmHg이므로 50°C 에서

$$\frac{\text{(나)의 증기 압력 내림}}{\text{(가)의 증기 압력 내림}} = \frac{q}{p} \text{이다.}$$

09 ㄱ. (가) → (나)에서 물의 수면이 낮아지고, 설탕물의 수면이 높아지므로 물이 설탕물 쪽으로 이동한다. 따라서 (가)에서는 물에서 설탕물로 이동하는 물 분자 수가 설탕물에서 물로 이동하는 물 분자 수보다 크다. 즉, $\frac{\text{설탕물에서 물로 이동하는 물 분자 수}}{\text{물에서 설탕물로 이동하는 물 분자 수}} < 1$ 이다.

바로알기 ㄴ. 물에는 설탕이 없으므로 ㉠과 ㉡의 몰농도는 같을 수 없다.

ㄷ. (나)에서 ㉡에 설탕을 추가하면 설탕물의 농도가 커지므로 삼투압이 증가하여 수면의 높이 차 h 가 증가한다.

10 ㄴ. (나)에서 깔때기관 속 수면의 높이는 $A(aq) > B(aq)$ 이므로 (가)에서 삼투압은 $A(aq) > B(aq)$ 이다. 온도가 일정할 때 삼투압은 용액의 몰농도에 비례하므로 몰농도는 $A(aq) > B(aq)$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 삼투압은 $A(aq) > B(aq)$ 이다.

ㄷ. 삼투압은 절대 온도에 비례하므로 온도를 높이면 $A(aq)$ 과 $B(aq)$ 의 삼투압 차가 더 커진다. 따라서 수면의 높이 차 h 는 증가한다.

11 (1) 설탕물 쪽 수는 기동이 높아졌으므로 증기 압력은 물이 a M 설탕물보다 크다.

모범 답안 (1) 물 > a M 설탕물

(2) 설탕물의 농도가 커지면 증기 압력이 작아진다. $2a$ M 설탕물로 실험하면 물과 설탕물의 증기 압력 차이가 더 커지므로 h 는 증가한다.

| 채점 기준 | 배점 |
|------------------------------------|------|
| (1) 물과 a M 설탕물의 증기 압력을 옳게 비교한 경우 | 30 % |
| (2) h 의 변화와 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 70 % |
| h 의 변화만 옳게 쓴 경우 | 30 % |

12 A 의 분자량을 M 이라고 하면 (가)와 (나)에서 A 의 양(mol)은 각각 $\frac{1.2}{M}$, $\frac{①}{M}$ 이다.

모범 답안 (가)에서 어는점 내림은 $\Delta T_f = K_f \times m = 1.86^\circ\text{C}/m \times \frac{1.2}{M} \text{ mol} / 0.1 \text{ kg} = 0.372^\circ\text{C}$ 이므로 $M = 60$ 이다. (나)에서 어는점 내림은

$$\Delta T_f = K_f \times m = 1.86^\circ\text{C}/m \times \frac{①}{60} \text{ mol} / 0.2 \text{ kg} = 0.93^\circ\text{C} \text{이므로 } ① = 60 \text{이다.}$$

| 채점 기준 | 배점 |
|---|-------|
| A 의 분자량과 ①을 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| A 의 분자량과 ① 중 1가지만 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 50 % |

13 포도당 w g을 녹인 수용액 100 mL의 몰농도는

$$\frac{\frac{w \text{ g}}{180 \text{ g/mol}}}{0.1 \text{ L}} = \frac{w}{18} \text{ M이다.}$$

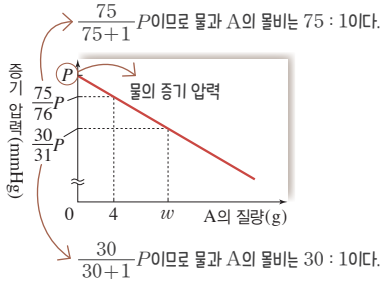
모범 답안 포도당 수용액의 삼투압은 $\pi = CRT = \frac{w}{18} \text{ M} \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K} = \frac{4}{3}w \text{ atm}$ 이므로 P 는 $\frac{4}{3}w$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|-----------------------------|-------|
| P 를 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| P 만 옳게 구한 경우 | 50 % |



01 ④ 02 ② 03 ⑤ 04 ③

01 ← **꼼꼼 문제 분석**



선택지 분석

- A의 분자량은 180이다. 60
- w=10이다.
- t°C에서 물 90 g에 A 4 g을 녹인 수용액의 증기 압력이 x mmHg이면 t°C에서 물의 증기 압력은 $\frac{76}{75}x$ mmHg이다.

전략적 풀이 ① 용액의 증기 압력이 물의 몰분율에 비례하는 것을 이용하여 A의 분자량을 구한다.

ㄱ. A의 질량이 4 g일 때 용액의 증기 압력은 $P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}} = P \text{ mmHg} \times X_{\text{용매}} = \frac{75}{76}P \text{ mmHg}$ 이고, $X_{\text{용매}} = \frac{75}{76}$ 이다.

물 90 g은 $\frac{90 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 5 \text{ mol}$ 이고, A의 분자량을 M이라고

하면 A 4 g은 $\frac{4}{M} \text{ mol}$ 이다. 따라서 $X_{\text{용매}} = \frac{5}{5 + \frac{4}{M}} = \frac{75}{76}$ 이

고, M=60이다.

② 용액의 증기 압력을 이용하여 w를 구한다.

ㄴ. A의 질량이 w g일 때 A의 양은 $\frac{w}{60} \text{ mol}$ 이다. 따라서 용액의 증기 압력은 $P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}} = P \text{ mmHg} \times \frac{5}{5 + \frac{w}{60}}$

$= \frac{30}{31}P \text{ mmHg}$ 이고, w=10이다.

③ 용액의 증기 압력을 이용하여 t°C에서 물의 증기 압력을 구한다.

ㄷ. A의 질량이 4 g일 때 물의 몰분율은 $X_{\text{용매}} = \frac{75}{76}$ 이다. t°C

에서 A의 질량이 4 g일 때 용액의 증기 압력은 $P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용매}}$

$= P_{\text{용매}} \times \frac{75}{76} = x \text{ mmHg}$ 이고, $P_{\text{용매}} = \frac{76}{75}x \text{ mmHg}$ 이다.

02 ← **꼼꼼 문제 분석**

| 수용액 | 물의 질량(g) | 용질의 양(mol) | | 끓는점(°C) |
|-----|----------|-----------------|-----------------|---------|
| | | A | B | |
| (가) | W | $\frac{1}{2}x$ | $\frac{2}{2}y$ | t+k |
| (나) | W | $\frac{2}{2}2x$ | $\frac{1}{2}y$ | t+3k |
| (다) | 2W | $\frac{2}{2}2x$ | $\frac{2}{2}2y$ | t |
| (라) | W | $\frac{1}{2}x$ | $\frac{1}{2}y$ | t |

물 W g에 A x mol과 B y mol이 녹아 있다.

선택지 분석

- 분자량은 A>B이다. B>A
- 물의 기준 끓는점은 (t-4k)°C이다.
- 어는점 내림의 비는 (나) : (다) = 7 : 3이다. 7 : 4

전략적 풀이 ① 물의 질량이 같을 때 끓는점 오름이 용질의 양(mol)에 비례하는 것을 이용하여 A와 B의 분자량 관계를 구한다.

ㄱ. A 1 g과 B 1 g의 양(mol)을 각각 x, y라고 하면 (다)에서 물 2W g에 A 2x mol과 B 2y mol이 녹아 있다. (다)에서 양을 반으로 줄인 수용액을 (라)라고 하면 (라)는 물의 질량이 W g이고, A x mol과 B y mol이 녹아 있다.

(가)와 (라)를 비교하면 (가)는 (라)보다 B y mol이 더 많이 녹아 있고, 끓는점이 k°C만큼 높으므로 물 W g에 B y mol이 녹아 있으면 끓는점 오름은 k°C이다. (나)와 (라)를 비교하면 (나)는 (라)보다 A x mol이 더 많이 녹아 있고, 끓는점이 3k°C만큼 높으므로 물 W g에 A x mol이 녹아 있으면 끓는점 오름은 3k°C이다. 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 물의 질량이 같을 때 용질의 양(mol)에 비례한다. 따라서 x=3y이다. A와 B의 질량이 같을 때 양(mol)은 A가 B의 3배이므로 분자량은 B가 A의 3배이다. 분자량은 B>A이다.

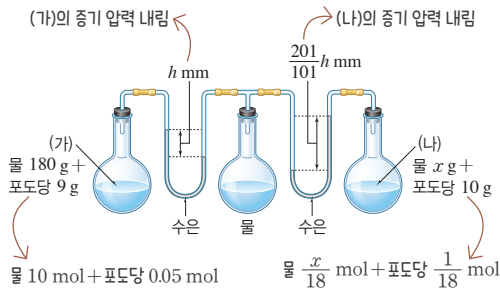
② 물의 질량이 같을 때 용질의 양(mol)에 따른 끓는점 오름을 이용하여 물의 기준 끓는점을 구한다.

ㄴ. A x mol이 물 W g에 녹으면 끓는점 오름은 3k°C이고, B y mol이 물 W g에 녹으면 끓는점 오름은 k°C이다. (가)는 물 W g에 A x mol, B 2y mol이 녹아 있으므로 끓는점 오름은 5k°C이다. 따라서 물의 기준 끓는점은 (t+k)°C - 5k°C = (t-4k)°C이다.

③ 용액의 몰랄 농도를 이용하여 어는점 내림의 비를 구한다.

ㄷ. 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. (나)와 (다)의 어는점 내림의 비는 (나) : (다) = $\frac{(2x+y) \text{ mol}}{W \text{ g}} : \frac{(2x+2y) \text{ mol}}{2W \text{ g}}$ 이다. x=3y이므로 이를 풀면 (나) : (다) = 7 : 4이다.

03 **꼼꼼 문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ $h = \frac{1}{201}P$ 이다.
- ㉡ $x = 100$ 이다.
- ㉢ 1기압에서 (나)의 끓는점 오름은 $\frac{17}{60}^\circ\text{C}$ 이다.

전략적 풀이 ① (가)의 증기 압력 내림을 이용하여 수은 기둥의 높이 차 h 를 구한다.

ㄱ. (가)에서 수은 기둥의 높이 차가 h mm이므로 (가)의 증기 압력 내림은 h mmHg이다. 물 180 g은 $\frac{180 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 10 \text{ mol}$ 이고, 포도당 9 g은 $\frac{9 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.05 \text{ mol}$ 이다. (가)의 증기 압력 내림은 $\Delta P = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} = P \text{ mmHg} \times \frac{0.05}{10+0.05} = \frac{1}{201}P \text{ mmHg}$ 이다. 따라서 $h = \frac{1}{201}P$ 이다.

② (나)의 증기 압력 내림을 이용하여 x 를 구한다.

ㄴ. (나)에서 수은 기둥의 높이 차가 $\frac{201}{101}h$ mm이므로 (나)의 증기 압력 내림은 $\frac{201}{101} \times \frac{1}{201}P \text{ mmHg} = \frac{1}{101}P \text{ mmHg}$ 이다. (나)의 증기 압력 내림은 $\Delta P = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}} = P \text{ mmHg} \times X_{\text{용질}} = \frac{1}{101}P \text{ mmHg}$ 이고, $X_{\text{용질}} = \frac{1}{101}$ 이다.

물 x g은 $\frac{x}{18} \text{ mol}$ 이고, 포도당 10 g은 $\frac{1}{18} \text{ mol}$ 이다. 따라서 $X_{\text{용질}} = \frac{\frac{1}{18}}{\frac{x}{18} + \frac{1}{18}} = \frac{1}{101}$ 이므로 $x = 100$ 이다.

③ (나)의 몰랄 농도를 이용하여 끓는점 오름을 구한다.

ㄷ. (나)는 물 100 g에 포도당 10 g이 녹아 있는 수용액이므로 몰랄 농도는 $\frac{10 \text{ g}}{0.1 \text{ kg}} = \frac{5}{9} m$ 이다. (나)의 끓는점 오름은 $\Delta T_b = K_b \times m = 0.51^\circ\text{C}/m \times \frac{5}{9} m = \frac{17}{60}^\circ\text{C}$ 이다.

04 **꼼꼼 문제 분석**

어는점 내림이 같다. \rightarrow 몰랄 농도가 같다.

| 수용액 | 물의 질량(g) | 용질 | | 어는점 ($^\circ\text{C}$) | 삼투압 (기압) |
|-----|----------|----|------------|--------------------------|----------|
| | | 종류 | 질량(g) | | |
| (가) | 100 | A | w | $-a$ | $3b$ |
| (나) | 200 | B | w | $-a$ | |
| (다) | 200 | C | ㉠ | | $2b$ |

몰농도의 비가 (가) : (다) = 3 : 2이다.

선택지 분석

- ㉠ 분자량은 A가 B의 2배이다.
- ㉡ $\text{㉠} = 2w$ 이다.
- ㉢ $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 (나) > (다)이다. (다) > (나)

전략적 풀이 ① (가)와 (나)의 어는점 내림을 이용하여 A와 B의 분자량 관계를 구한다.

ㄱ. (가)와 (나)의 어는점이 같으므로 어는점 내림은 같다. 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 (가)와 (나)의 몰랄 농도 같다. A와 B의 분자량을 각각 M_A, M_B 라고 하면 (가)와 (나)

의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{w}{M_A} \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = \frac{\frac{w}{M_B} \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}}$ 이고, $M_A = 2M_B$ 이다. 따라서 분자량은 A가 B의 2배이다.

② (가)와 (다)의 삼투압을 이용하여 ㉠을 구한다.

ㄴ. $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = 3$ 이므로 C의 분자량은 $3M_B$ 이다. 모든 용액의 밀도는 1 g/mL이므로 (가)와 (다)의 부피는 각각 $(100+w)$ mL, $(200+\text{㉠})$ mL이다. 온도가 일정할 때 삼투압은 용액의 몰농도에 비례하므로 (가)와 (다)의 삼투압의 비는 (가) : (다) = $\frac{\frac{w}{2M_B} \text{ mol}}{100+w \text{ L}} : \frac{\frac{\text{㉠}}{3M_B} \text{ mol}}{200+\text{㉠} \text{ L}} = 3b : 2b$ 이고, $\text{㉠} = 2w$ 이다.

③ (나)와 (다)에서 용매의 몰분율을 비교하여 증기 압력을 비교한다.

ㄷ. 물 200 g의 양(mol)을 n 이라고 하면 (나)와 (다)에서 물의 몰분율은 다음과 같다.

$$(나) X_{\text{용매}} = \frac{n}{n + \frac{w}{M_B}} \quad (다) X_{\text{용매}} = \frac{n}{n + \frac{2w}{3M_B}}$$

$\frac{w}{M_B} > \frac{2w}{3M_B}$ 이므로 $X_{\text{용매}}$ 는 (다) > (나)이다. 용액의 증기 압력은 용매의 몰분율에 비례하므로 용액의 증기 압력은 (다) > (나)이다.

화학 변화의 자발성

1 화학 반응과 엔탈피

01 / 엔탈피와 열화학 반응식

완자샘 비법 특강

111쪽

Q1 (1) ㄴ (2) ㄱ (3) ㄷ (4) ㄹ Q2 -470 kJ

- Q1** (1) ΔH_1 은 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{CH}_4(g)$ 1 mol 이 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{CH}_4(g)$ 의 생성 엔탈피이다.
 (2) ΔH_2 는 $\text{CH}_4(g)$ 1 mol이 완전 연소를 하여 가장 안정한 생성물이 될 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{CH}_4(g)$ 의 연소 엔탈피이다.
 (3) ΔH_3 은 $\text{NaCl}(s)$ 1 mol이 물에 용해될 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{NaCl}(s)$ 의 용해 엔탈피이다.
 (4) ΔH_4 는 $\text{HCl}(aq)$ 과 $\text{NaOH}(aq)$ 이 중화 반응을 하여 물 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 중화 엔탈피이다.

Q2 $\Delta H = \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합}$
 $= 2 \times (\text{H-H의 결합 에너지}) + (\text{O=O의 결합 에너지})$
 $- 4 \times (\text{H-O의 결합 에너지})$
 $= 2 \times 436 \text{ kJ} + 498 \text{ kJ} - 4 \times 460 \text{ kJ} = -470 \text{ kJ}$

개념 확인문제

112쪽

- 1 엔탈피 2 생성물 3 반응물 4 < 5 > 6 반응 엔탈피
 7 반응물 8 생성물

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × 2 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×
 3 (1) × (2) × (3) ○ 4 $\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{NH}_3(g)$ $\Delta H = -91.8 \text{ kJ}$ 5 (1) × (2) ○ (3) ○

- 1** (1) 발열 반응은 화학 반응이 일어날 때 주위로 열을 방출하는 반응이고, 흡열 반응은 주위로부터 열을 흡수하는 반응이다.
 (2) 물질이 가지고 있는 엔탈피는 직접 측정할 수 없고, 화학 반응에서 반응물과 생성물의 엔탈피 변화를 알 수 있다.

(3) 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값이므로 엔탈피가 증가하는 반응은 반응 엔탈피가 0보다 크다.

(4) 반응 엔탈피(ΔH)가 0보다 작은 반응은 엔탈피가 감소하므로 발열 반응이다.

2 (1) 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 크다.

(2) 이 반응은 엔탈피가 증가하므로 흡열 반응이다.

(3) 엔탈피가 증가하므로 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 크다.

(4) 흡열 반응이므로 반응이 일어나면 주위로부터 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아진다.

3 (1) 물질의 상태에 따라 엔탈피가 달라지므로 열화학 반응식에 물질의 상태를 함께 표시한다.

(2) 반응 엔탈피는 물질의 양에 비례하므로 화학 반응식의 계수가 달라지면 반응 엔탈피의 크기도 달라진다.

4 $\text{N}_2(g)$ 1 mol과 $\text{H}_2(g)$ 3 mol이 반응하여 $\text{NH}_3(g)$ 2 mol이 생성되며, 이때 91.8 kJ의 열을 방출하므로 $\Delta H = -91.8 \text{ kJ}$ 이다.



5 (1) $\text{H}(g)$ 가 $\text{H}_2(g)$ 로 되는 반응은 엔탈피가 감소하므로 발열 반응이다.

(2) 원자 사이의 결합이 끊어질 때는 에너지를 흡수하고, 원자 사이의 결합이 형성될 때는 에너지를 방출한다.

(3) 결합 에너지는 기체 상태의 분자에서 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊는 데 필요한 에너지이므로 H-H의 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.

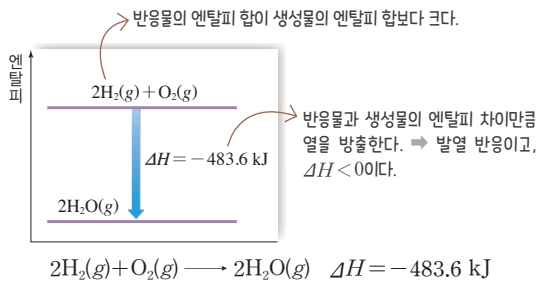


대표 자료 분석 1

113쪽

- 1 온도가 높아진다. 2 $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g)$ $\Delta H = -483.6 \text{ kJ}$ 3 483.6 kJ 4 241.8 kJ 5 (1) ○
 (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

꼼꼼 문제 분석



- 1 반응이 일어나면 열을 방출하므로 주위의 온도가 높아진다.
- 2 열화학 반응식은 화학 반응식과 반응 엔탈피를 함께 나타내며, 물질의 상태를 표시한다.
- 3 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 2 mol이 생성될 때 방출하는 열에너지는 483.6 kJ이다.
- 4 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 분해 반응의 열화학 반응식은 $2\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow 2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g)$ $\Delta H = 483.6 \text{ kJ}$ 이므로 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 1 mol이 분해될 때의 반응 엔탈피(ΔH)는 $\frac{1}{2} \times 483.6 \text{ kJ} = 241.8 \text{ kJ}$ 이다.

- 5 (1) 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크다.
 (2) $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 엔탈피는 알 수 없고, 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)가 -483.6 kJ 이다.
 (3) 이 반응은 엔탈피가 감소하므로 발열 반응이다.
 (4) 생성 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 -241.8 kJ/mol 이다.



- (5) 같은 종류의 물질이라도 엔탈피는 고체 < 액체 < 기체 순으로 증가하므로 엔탈피는 $\text{H}_2\text{O}(l) < \text{H}_2\text{O}(g)$ 이다. $\text{H}_2(g)$ 2 mol과 $\text{O}_2(g)$ 1 mol이 반응하여 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 2 mol이 생성되는 반응의 반응 엔탈피(ΔH)가 -483.6 kJ 이므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2 mol이 생성되는 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 -483.6 kJ 보다 작다.

내신 만점 문제

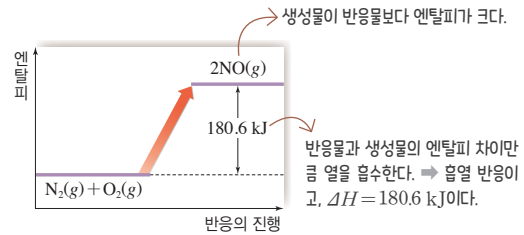
114쪽~116쪽

- | | | | | |
|------|----------|-------------|------|------|
| 01 ③ | 02 ① | 03 (가), (나) | 04 ② | 05 ⑤ |
| 06 ④ | 07 해설 참조 | 08 해설 참조 | 09 ⑤ | |
| 10 ④ | 11 ③ | 12 ⑤ | 13 ③ | 14 ④ |

- 01 가. (가)는 생성물이 반응물보다 엔탈피가 크고, (나)는 반응물이 생성물보다 엔탈피가 크다.
 나. (나)는 엔탈피가 감소하므로 발열 반응이다.

[바로알기] 다. (가)는 흡열 반응이므로 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아지고, (나)는 발열 반응이므로 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.

02 꼼꼼 문제 분석



- 가. 생성물이 반응물보다 엔탈피가 크므로 반응이 일어날 때 그 차이만큼 열을 흡수한다.
[바로알기] 나. $\text{NO}(g)$ 의 엔탈피는 알 수 없고, 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)가 180.6 kJ이다.
 다. 엔탈피가 증가하므로 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 크다.

- 03 (가), (나) 산화 칼슘과 물의 반응, 철 가루와 산소의 반응은 열을 방출하므로 발열 반응이다.

[바로알기] (다) 질산 암모늄과 물의 반응은 열을 흡수하므로 흡열 반응이다.

- 04 나. 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아지는 반응은 발열 반응이다. 발열 반응은 $\Delta H < 0$ 이므로 (가)와 (나) 2가지이다.

[바로알기] 가. 엔탈피가 증가하는 반응은 $\Delta H > 0$ 이므로 (다) 1가지이다.

- 다. 반응이 일어날 때 열을 흡수하는 반응은 흡열 반응이다. 흡열 반응은 $\Delta H > 0$ 이므로 (다) 1가지이다.

- 05 가. $\text{CH}_4(g)$ 의 연소 반응은 $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이다.
 나. $\Delta H = (\text{생성물의 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 엔탈피 합})$ 이므로 생성물인 $\text{CO}_2(g)$ 1 mol과 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2 mol의 엔탈피 합은 반응물인 $\text{CH}_4(g)$ 1 mol과 $\text{O}_2(g)$ 2 mol의 엔탈피 합보다 890.8 kJ만큼 작다.

다. $\text{CH}_4(g)$ 1 mol이 연소하면 890.8 kJ의 열을 방출하므로 $\text{CH}_4(g)$ 2 mol이 연소하면 $2 \times 890.8 \text{ kJ} = 1781.6 \text{ kJ}$ 의 열을 방출한다.

06 나. 반응 엔탈피는 화학 반응식의 계수에 비례하므로

$$\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NH}_3(\text{g}) \text{에서 } \Delta H = \frac{1}{2} \times (-92 \text{ kJ}) = -46 \text{ kJ이다.}$$

다. 역반응의 반응 엔탈피는 정반응의 반응 엔탈피와 절댓값은 같고 부호는 반대이므로 $2\text{NH}_3(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$ 에서 $\Delta H = 92 \text{ kJ}$ 이다.

바로알기 기. 물질의 상태에 따라 엔탈피가 달라지므로 $\text{NH}_3(\text{l})$ 의 엔탈피는 $\text{NH}_3(\text{g})$ 와 다르다. 따라서 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{l})$ 에서 ΔH 는 -92 kJ 이 아니다.

07 N_2 의 분자량은 28이므로 $\text{N}_2(\text{g})$ 5.6 g은 $\frac{5.6 \text{ g}}{28 \text{ g/mol}} = 0.2 \text{ mol}$ 이다.

화학 반응식에서 계수비는 $\text{N}_2 : \text{H}_2 : \text{NH}_3 = 1 : 3 : 2$ 이므로 $\text{N}_2(\text{g})$ 0.2 mol과 $\text{H}_2(\text{g})$ 0.6 mol이 반응하여 $\text{NH}_3(\text{g})$ 0.4 mol이 생성되고, $\Delta H = 0.2 \times (-92 \text{ kJ}) = -18.4 \text{ kJ}$ 이다.

모범 답안 $\text{N}_2(\text{g})$ 5.6 g은 0.2 mol이므로 $\text{N}_2(\text{g})$ 5.6 g이 반응하면 $\text{NH}_3(\text{g})$ 0.4 mol이 생성된다. $\text{N}_2(\text{g})$ 1 mol이 반응할 때 $\Delta H = -92 \text{ kJ}$ 이므로 $\text{N}_2(\text{g})$ 0.2 mol이 반응할 때 $\Delta H = -18.4 \text{ kJ}$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|-------|
| 생성된 $\text{NH}_3(\text{g})$ 의 양(mol)과 ΔH 를 구하고, 풀이 과정을 옮겨 서술한 경우 | 100 % |
| 생성된 $\text{NH}_3(\text{g})$ 의 양(mol)과 ΔH 중 1가지만 구하고, 풀이 과정을 옮겨 서술한 경우 | 50 % |

08 열량계와 외부 사이의 열 출입이 없으므로 A(s)가 용해될 때 방출한 열을 용액이 모두 흡수하여 온도가 높아졌다. 용액의 질량은 $(100+5) \text{ g}$ 이고, 온도 변화는 $(33-25)^\circ\text{C}$ 이다.

모범 답안 A(s)가 용해될 때 방출한 열량은 열량계 속 용액이 얻은 열량과 같으므로 $Q = cm\Delta t = 4.2 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)} \times (100+5) \text{ g} \times (33-25)^\circ\text{C} = 3528 \text{ J}$ 이다.

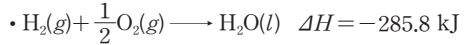
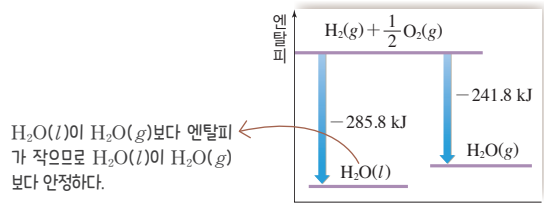
| 채점 기준 | 배점 |
|---------------------------|-------|
| 열량을 구하고, 풀이 과정을 옮겨 서술한 경우 | 100 % |
| 열량만 옮겨 구한 경우 | 50 % |

09 기. 연소 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 완전 연소를 하여 가장 안정한 생성물이 될 때의 반응 엔탈피이므로 C(s, 흑연)의 연소 엔탈피는 ΔH_1 이다.

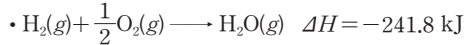
다. 분해 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 가장 안정한 성분 원소로 분해될 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 분해 엔탈피는 $\frac{1}{2}\Delta H_3$ 이다.

바로알기 나. 생성 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{HCl}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\Delta H_2$ 이다.

10 **꼼꼼 문제 분석**



→ $\text{H}_2(\text{g})$ 의 연소 엔탈피, $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 생성 엔탈피



→ $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피

나. $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 1 mol이 생성되는 반응은 $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이므로 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 생성 엔탈피는 -285.8 kJ/mol 이다.

다. $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 1 mol이 분해되는 반응은 $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$ 이므로 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 의 분해 엔탈피는 241.8 kJ/mol 이다.

바로알기 기. 연소 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 완전 연소를 하여 가장 안정한 생성물이 될 때의 반응 엔탈피이다. 따라서 $\text{H}_2(\text{g})$ 의 연소 엔탈피는 $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 반응 엔탈피이므로 -285.8 kJ/mol 이다.

11 기. 결합 에너지가 클수록 결합의 세기가 강하다. 결합 에너지는 $\text{H}-\text{H} > \text{I}-\text{I}$ 이므로 결합의 세기는 $\text{H}-\text{H}$ 이 $\text{I}-\text{I}$ 보다 강하다.

다. $\Delta H = (\text{H}-\text{H의 결합 에너지}) + (\text{I}-\text{I의 결합 에너지}) - 2 \times (\text{H}-\text{I의 결합 에너지}) = 436 + 152 - 2 \times (\text{H}-\text{I의 결합 에너지}) = -8(\text{kJ})$ 이다. 따라서 $\text{H}-\text{I}$ 의 결합 에너지는 298 kJ/mol 이다.

바로알기 나. $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합})$ 이다. $\Delta H < 0$ 이므로 (생성물의 결합 에너지 합) > (반응물의 결합 에너지 합)이다.

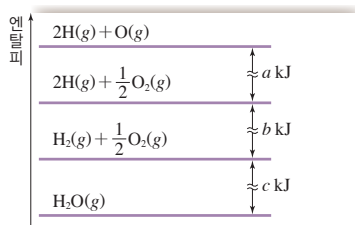
12 (가)~(다)에서 A-A, B-B, A-B의 결합 에너지(kJ/mol)는 각각 a, b, c이고, $a > c > b$ 이다.

기. 결합 에너지는 $\text{A}-\text{A} > \text{B}-\text{B}$ 이므로 결합의 세기는 A-A이 B-B보다 강하다. 따라서 $\text{A}_2(\text{g})$ 는 $\text{B}_2(\text{g})$ 보다 결합을 끊기 어렵다.

나. $\text{AB}(\text{g}) \longrightarrow \text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g})$ 의 반응 엔탈피는 A-B의 결합 에너지이므로 c kJ이다. $\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \longrightarrow \text{AB}(\text{g})$ 은 역반응이므로 반응 엔탈피는 $-c \text{ kJ}$ 이다.

$AB(g) \longrightarrow A(g)+B(g) \quad \Delta H=c \text{ kJ}$
 $A(g)+B(g) \longrightarrow AB(g) \quad \Delta H=-c \text{ kJ}$
 ㄷ. $2AB(g) \longrightarrow A_2(g)+B_2(g) \quad \Delta H=x \text{ kJ}$
 $\Delta H=2 \times (A-B \text{의 결합 에너지}) - [(A-A \text{의 결합 에너지}) + (B-B \text{의 결합 에너지})] = 2c - (a+b) = x \text{ (kJ)}$ 이므로 $x=2c-a-b$ 이다.

13 꼼꼼 문제 분석



- $\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow O(g) \quad \Delta H=a \text{ kJ}$
 $O=O$ 결합 $\frac{1}{2} \text{ mol}$ 을 끊는 데 필요한 에너지= $a \text{ kJ}$
 $\Rightarrow O=O$ 의 결합 에너지= $2a \text{ kJ/mol}$
- $H_2(g) \longrightarrow 2H(g) \quad \Delta H=b \text{ kJ}$
 $H-H$ 결합 1 mol 을 끊는 데 필요한 에너지= $b \text{ kJ}$
 $\Rightarrow H-H$ 의 결합 에너지= $b \text{ kJ/mol}$

ㄱ. $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow 2H(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$ 은 $H_2(g) \longrightarrow 2H(g)$ 과 같고, 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 $H-H$ 의 결합 에너지이므로 $H-H$ 의 결합 에너지는 $b \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄴ. $2H(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow 2H(g) + O(g)$ 은 $\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow O(g)$ 과 같고, 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 $\frac{1}{2} \times (O=O \text{의 결합 에너지})$ 이므로 $O=O$ 의 결합 에너지는 $2a \text{ kJ/mol}$ 이다.

바로알기 ㄷ. $H_2O(g) \longrightarrow 2H(g)+O(g)$ 에서 $\Delta H=(a+b+c) \text{ kJ}$ 이다. $\Delta H=2 \times (H-O \text{의 결합 에너지})=(a+b+c) \text{ kJ}$ 이므로 $H-O$ 의 결합 에너지는 $\frac{(a+b+c)}{2} \text{ kJ/mol}$ 이다.

14 ㄴ. $NH_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g) \longrightarrow NH_3(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)이다.

$$\Delta H = \frac{1}{2} \times (N \equiv N \text{의 결합 에너지}) + \frac{3}{2} \times (H-H \text{의 결합 에너지}) - 3 \times (N-H \text{의 결합 에너지}) = \frac{1}{2}d + \frac{3}{2}a - 3b = \left(\frac{3}{2}a - 3b + \frac{1}{2}d \right) \text{ (kJ)}$$

ㄷ. $N_2(g) + H_2(g) \longrightarrow N_2H_2(g) \quad \Delta H=?$
 N_2H_2 의 구조식은 $H-N=N-H$ 이다. 따라서 ΔH 는 다음과 같다.

$$\Delta H = [(N \equiv N \text{의 결합 에너지}) + (H-H \text{의 결합 에너지})] - [(N=N \text{의 결합 에너지}) + 2 \times (N-H \text{의 결합 에너지})] = (d+a) - (c+2b) = (a-2b-c+d) \text{ (kJ)}$$

바로알기 ㄱ. 두 원자 사이의 공유 결합 수가 증가할수록 결합 에너지가 커지므로 결합 에너지는 $N \equiv N > N=N$ 이다. 따라서 $d > c$ 이다.

실력 UP 문제

117쪽

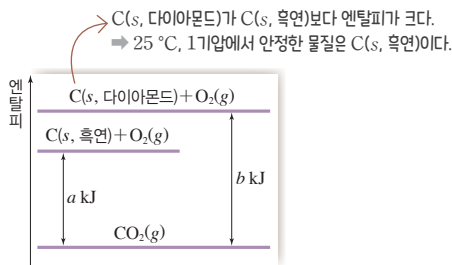
- 01 ③ 02 ① 03 ② 04 ⑤

01 ㄱ. 얼음이 열을 흡수하여 물로 변하므로 얼음이 녹아 물이 될 때 엔탈피가 증가한다.

ㄴ. 얼음이 녹아 물이 되는 반응은 흡열 반응이므로 (가)에서 (나)로 될 때 컵 속 물의 온도는 낮아진다.

바로알기 ㄷ. 물이 수증기가 될 때는 열을 흡수하고, 수증기가 물이 될 때는 열을 방출한다. 따라서 컵 주변의 수증기가 물방울이 되는 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 작다.

02 꼼꼼 문제 분석



- $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -a \text{ kJ}$
- $C(s, \text{다이아몬드}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -b \text{ kJ}$

ㄱ. $C(s, \text{다이아몬드})$ 가 $C(s, \text{흑연})$ 보다 엔탈피가 크며, 그 차이는 $(b-a) \text{ kJ}$ 이다.

바로알기 ㄴ. $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 작으므로 $-a \text{ kJ}$ 이다.

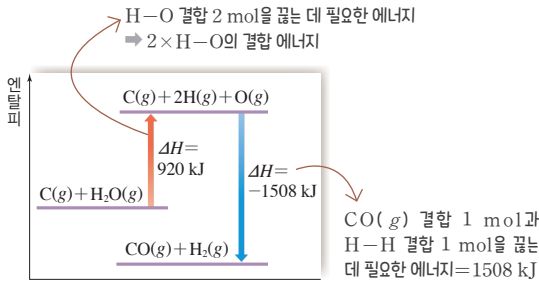
ㄷ. 생성 엔탈피는 어떤 물질 1 mol 이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. 따라서 $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)이므로 $-a \text{ kJ/mol}$ 이다.

03 ㄴ. (가)에서 물 1 mol이 생성될 때 $\Delta H = -55.8$ kJ이므로 $\text{H}^+(aq) + \text{OH}^-(aq) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ $\Delta H = -55.8$ kJ이다. (나)에서 생성되는 물의 양은 2 mol이므로 $\Delta H = 2 \times (-55.8 \text{ kJ}) = -111.6$ kJ, $x = -111.6$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 $\Delta H < 0$ 이므로 (가)는 발열 반응이다.

ㄷ. 중화 엔탈피는 산과 염기가 중화 반응을 하여 물 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피이며, 강산과 강염기의 중화 반응에서 반응물의 종류와 관계없이 중화 엔탈피는 -55.8 kJ/mol로 같다. (가)와 (나)에서 중화 엔탈피는 같다.

04 - 꼼꼼 문제 분석



| | | |
|----------------|-----|-----------|
| 결합 | H-H | H-O |
| 결합 에너지(kJ/mol) | 436 | $x = 460$ |

ㄱ. $\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow 2\text{H}(g) + \text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 H-O 결합 2 mol을 끊는 데 필요한 에너지이다. 따라서 $\Delta H = 2 \times (\text{H-O의 결합 에너지}) = 920$ kJ이므로 H-O의 결합 에너지(x)는 460 kJ/mol이다.

ㄴ. $\text{CO}(g) + \text{H}_2(g) \rightarrow \text{C}(g) + 2\text{H}(g) + \text{O}(g)$ $\Delta H = 1508$ kJ $\Delta H = (\text{CO}(g)의 결합 에너지) + (\text{H-H의 결합 에너지}) = 1508$ kJ이므로 CO(g)의 결합 에너지는 $1508 - 436 = 1072$ (kJ/mol)이다.

ㄷ. $\text{C}(g) + \text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{CO}(g) + \text{H}_2(g)$ $\Delta H = ?$
 $\Delta H = 2 \times (\text{H-O의 결합 에너지}) - [(\text{CO}(g)의 결합 에너지) + (\text{H-H의 결합 에너지})] = 2 \times 460 - (1072 + 436) = -588$ (kJ)

02 / 헤스 법칙

완자샘 비법 특강

122쪽~123쪽

Q1 $2\Delta H_1 + \Delta H_2$

Q2 -197 kJ

Q3 -297 kJ

Q4 44 kJ

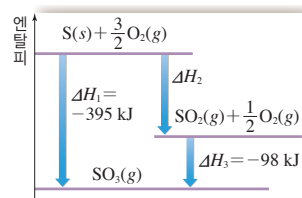
Q1 $2\text{A}(g) + \text{B}(g) \rightarrow 3\text{E}(g)$ 은 $2 \times (\text{가}) + (\text{나})$ 이다.

$$\begin{array}{r} 2 \times (\text{가}) \quad 2\text{A}(g) + 2\text{B}(g) \rightarrow 2\text{C}(g) + 2\text{D}(g) \quad 2\Delta H_1 \\ +) \quad (\text{나}) \quad 2\text{C}(g) + 2\text{D}(g) \rightarrow \text{B}(g) + 3\text{E}(g) \quad \Delta H_2 \\ \hline 2\text{A}(g) + \text{B}(g) \rightarrow 3\text{E}(g) \quad \Delta H = 2\Delta H_1 + \Delta H_2 \end{array}$$

Q2 $2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{SO}_3(g)$ 은 $(\text{나}) - 2 \times (\text{가})$ 이다.

$$\begin{array}{r} (\text{나}) \quad 2\text{S}(s) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{SO}_3(g) \quad \Delta H_2 \\ -) \quad 2 \times (\text{가}) \quad 2\text{S}(s) + 2\text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{SO}_2(g) \quad 2\Delta H_1 \\ \hline 2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{SO}_3(g) \quad \Delta H = \Delta H_2 - 2\Delta H_1 \\ \Delta H = \Delta H_2 - 2\Delta H_1 = -791 \text{ kJ} - 2 \times (-297 \text{ kJ}) = -197 \text{ kJ} \end{array}$$

Q3 - 꼼꼼 문제 분석



화살표의 방향이 모두 같으므로 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.
 $\Rightarrow \Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3$

- ① $\text{S}(s) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{SO}_3(g)$ $\Delta H_1 = -395$ kJ
- ② $\text{S}(s) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{SO}_2(g)$ ΔH_2
- ③ $\text{SO}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{SO}_3(g)$ $\Delta H_3 = -98$ kJ

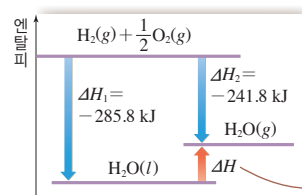
② = ① - ③이다.

$$\text{① } \text{S}(s) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{SO}_3(g) \quad \Delta H_1 = -395 \text{ kJ}$$

$$- \text{③ } \text{SO}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{SO}_3(g) \quad \Delta H_3 = -98 \text{ kJ}$$

$$\text{② } \text{S}(s) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{SO}_2(g) \quad \Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 \\ \Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 = -395 \text{ kJ} - (-98 \text{ kJ}) = -297 \text{ kJ}$$

Q4 - 꼼꼼 문제 분석



화살표의 방향이 모두 같아지려면 ΔH 의 화살표의 방향이 반대가 되어야 하므로 ΔH 에 (-) 부호를 붙인다.
 $\Rightarrow \Delta H_1 = \Delta H_2 - \Delta H$
 $\Rightarrow \Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1$

$$\text{① } \text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_1 = -285.8 \text{ kJ}$$

$$\text{② } \text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H_2 = -241.8 \text{ kJ}$$

$\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ 은 ②-①이다.

$$\begin{aligned} & \textcircled{2} \text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H_2 = -241.8 \text{ kJ} \\ - & \textcircled{1} \text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_1 = -285.8 \text{ kJ} \\ \hline & \text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1 \\ & \Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1 = -241.8 \text{ kJ} - (-285.8 \text{ kJ}) = 44 \text{ kJ} \end{aligned}$$

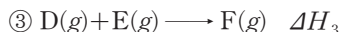
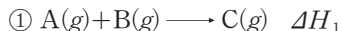
개념 확인 문제

124쪽

1 헤스 법칙 2 표준 생성 엔탈피 3 생성물 4 반응물

1 (1) $-\Delta H_1$ (2) $\Delta H_1 + \Delta H_2$ (3) $-\Delta H_2 - \Delta H_3$ (4) $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ 2 -98 kJ 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × 4 44 kJ

1 화학 반응식을 더하거나 빼서 구하고자 하는 반응의 화학 반응식을 만든 후 반응 엔탈피를 구한다. 역반응의 반응 엔탈피는 정반응의 반응 엔탈피와 절댓값은 같고, 부호는 반대이다.



(1) $\text{C}(g) \longrightarrow \text{A}(g) + \text{B}(g)$ 은 ①의 역반응이므로 $\Delta H = -\Delta H_1$ 이다.

(2) $\text{A}(g) + \text{B}(g) \longrightarrow \text{D}(g) + \text{E}(g)$ 은 ①+②이므로 $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$ 이다.

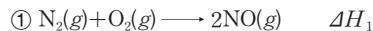
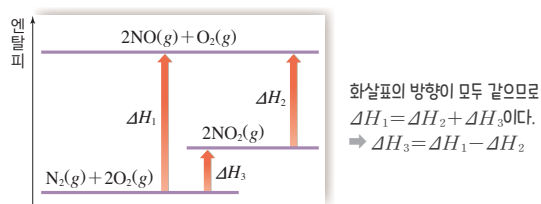
(3) $\text{F}(g) \longrightarrow \text{C}(g)$ 은 ②+③의 역반응이므로 $\Delta H = -\Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.

(4) $\text{A}(g) + \text{B}(g) \longrightarrow \text{F}(g)$ 은 ①+②+③이므로 $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.

2 $\text{H}_2\text{O}_2(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g)$ 은 $\frac{1}{2} \times (\text{가}) - (\text{나})$ 이다.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \times (\text{가}) \text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) \quad \frac{1}{2}\Delta H_1 \\ - & (\text{나}) \text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2(l) \quad \Delta H_2 \\ \hline & \text{H}_2\text{O}_2(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \quad \Delta H = \frac{1}{2}\Delta H_1 - \Delta H_2 \\ & \Delta H = \frac{1}{2}\Delta H_1 - \Delta H_2 \\ & = \frac{1}{2} \times (-571.6 \text{ kJ}) - (-187.8 \text{ kJ}) = -98 \text{ kJ} \end{aligned}$$

3 곱셈 문제 분석



(2) $\text{NO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 은 $\frac{1}{2} \times$ ②의 역반응이므로 반응 엔탈피는 $-\frac{1}{2}\Delta H_2$ 이다.

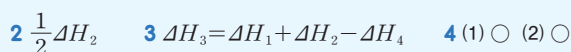
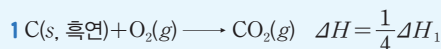
(3) $2\text{NO}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2(g) + 2\text{O}_2(g)$ 은 엔탈피가 감소하므로 발열 반응이다.

(4) $\text{N}_2(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g)$ 은 ①-②이므로 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$ 이다.

4 표준 생성 엔탈피를 이용하여 다음과 같이 ΔH 를 구한다.
 $\Delta H = (\text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합}) = (\text{H}_2\text{O}(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}) - (\text{H}_2\text{O}(l) \text{의 표준 생성 엔탈피}) = -241.8 \text{ kJ} - (-285.8 \text{ kJ}) = 44 \text{ kJ}$

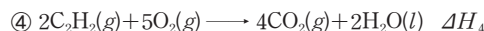
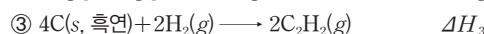
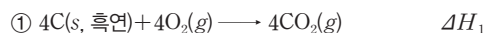
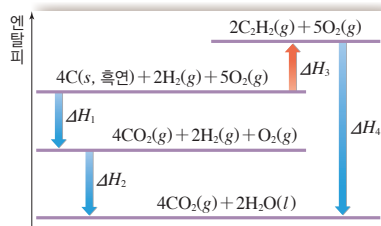
대표 자료 분석 1

125쪽

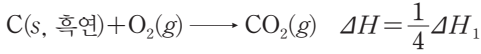


(3) × (4) × (5) ○

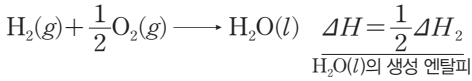
곱셈 문제 분석



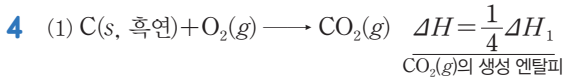
1 C(s, 흑연) 1 mol이 연소하는 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



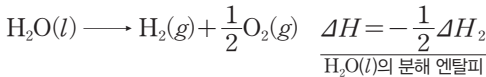
2 생성 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다.



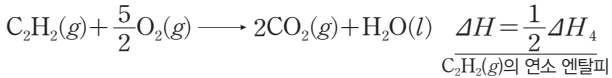
3 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로와 관계 없이 반응 엔탈피의 총합이 일정하다. 화살표의 방향이 모두 같아지려면 ΔH_3 의 화살표의 방향이 반대가 되어야 하므로 ΔH_3 에 (-) 부호를 붙이면 $\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다. 따라서 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_4$ 이다.



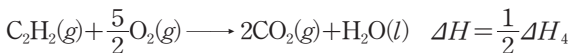
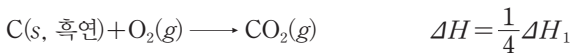
(2) 분해 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 가장 안정한 성분 원소로 분해될 때의 반응 엔탈피이다.



(3) 연소 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 완전 연소를 하여 가장 안정한 생성물이 될 때의 반응 엔탈피이다.



(4) C(s, 흑연)의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{4} \Delta H_1$ 이고, $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{2} \Delta H_4$ 이다.



제시된 자료에서 $|\Delta H_4| > |\Delta H_1|$ 이므로 1 mol이 연소할 때 방출하는 에너지는 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 이 C(s, 흑연)보다 크다.

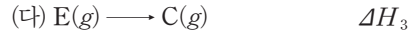
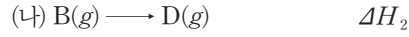
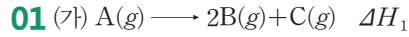
(5) $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 분자량은 26이므로 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 2 mol은 52 g이다. $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 2 mol이 연소할 때 방출하는 에너지는 $|\Delta H_4|$ 이므로

$\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 1 g이 연소할 때 방출하는 에너지는 $\frac{1}{52} \times |\Delta H_4|$ 이다.

나신만점문제

126쪽-128쪽

- 01 ⑤ 02 ② 03 ④ 04 ⑤ 05 ③ 06 ⑤
 07 해설 참조 08 ③ 09 해설 참조 10 ④
 11 ④

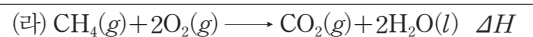
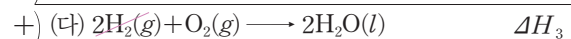
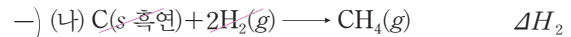


ㄱ. $\text{A}(g) \longrightarrow \text{C}(g) + 2\text{D}(g)$ 은 (가) + 2 × (나)이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H_1 + 2\Delta H_2$ 이다.

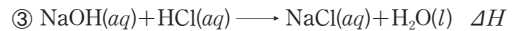
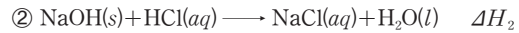
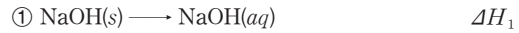
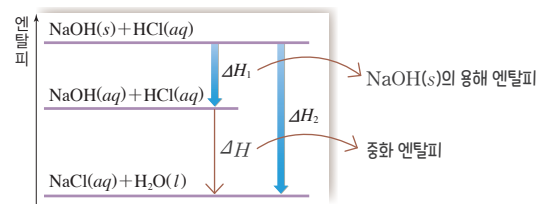
ㄴ. $\text{C}(g) \longrightarrow \text{E}(g)$ 은 (다)의 역반응이므로 반응 엔탈피는 $-\Delta H_3$ 이다.

ㄷ. $\text{A}(g) \longrightarrow 2\text{D}(g) + \text{E}(g)$ 은 (가) + 2 × (나) - (다)이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.

02 (라) = (가) - (나) + (다)이므로 $\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.



03 품고 문제 분석

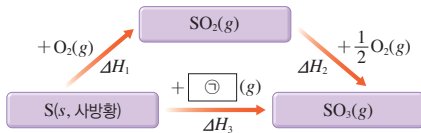


ㄴ. ①은 $\text{NaOH}(s)$ 이 물에 용해되는 반응이고, $\Delta H_1 < 0$ 이므로 발열 반응이다.

ㄷ. $\text{H}^+(aq) + \text{OH}^-(aq) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 의 반응 엔탈피는 중화 엔탈피이다. ③은 중화 반응이므로 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 중화 엔탈피와 같다. ③ = ② - ①이므로 $\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1$ 이다.

바로알기 ㄱ. ΔH_1 은 $\text{NaOH}(s)$ 의 용해 엔탈피이다.

04 ◀ 품고 문제 분석



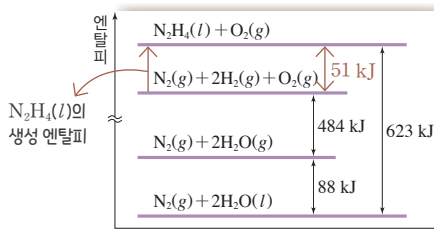
- ① $S(s, \text{사방형}) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g) \quad \Delta H_1$
- ② $SO_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow SO_3(g) \quad \Delta H_2$
- ③ $S(s, \text{사방형}) + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow SO_3(g) \quad \Delta H_3$

ㄱ. S(s, 사방형)과 \ominus 이 반응하여 $SO_3(g)$ 이 생성되므로 \ominus 은 $\frac{3}{2}O_2$ 이다.

ㄴ. ①은 $SO_2(g)$ 1 mol이 안정한 원소로부터 생성되는 반응의 열화학 반응식이므로 ΔH_1 은 $SO_2(g)$ 의 생성 엔탈피이다.

ㄷ. ③=①+②이므로 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$ 이다.

05 ◀ 품고 문제 분석



- ① $2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2O(g) \quad \Delta H = 88 \text{ kJ}$
- ② $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g) \quad \Delta H = -484 \text{ kJ}$
- ③ $N_2(g) + 2H_2(g) \longrightarrow N_2H_4(l) \quad \Delta H = 51 \text{ kJ}$

ㄷ. $N_2H_4(l)$ 의 생성 엔탈피는 ③의 반응 엔탈피(ΔH)이다. $\Delta H = 623 \text{ kJ} - 484 \text{ kJ} - 88 \text{ kJ} = 51 \text{ kJ}$ 이므로 $N_2H_4(l)$ 의 생성 엔탈피는 51 kJ/mol이다.

바로알기 ㄱ. $H_2O(l)$ 1 mol이 $H_2O(g)$ 로 되는 반응은 $\frac{1}{2} \times$ ①이므로 $\Delta H = 44 \text{ kJ}$ 이다. 즉, 44 kJ의 에너지를 흡수한다.

ㄴ. 제시된 자료에서 $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $-484 \text{ kJ} - 88 \text{ kJ} = -572 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $H_2(g)$ 1 mol이 연소하여 $H_2O(l)$ 이 될 때 286 kJ의 에너지를 방출한다.

다른 풀이 $H_2(g)$ 1 mol이 연소하여 $H_2O(l)$ 이 되는 반응은 $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ 이다. 이 반응은 $\frac{1}{2} \times$ ② - $\frac{1}{2} \times$ ①이므로 반응 엔탈피(ΔH)는 $\frac{1}{2}(-484 \text{ kJ} - 88 \text{ kJ}) = -286 \text{ kJ}$ 이다.

- 06 (가) $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H_1$
 (나) $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l) \quad \Delta H_2$

- (다) $C(s, \text{흑연}) + 2H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CH_3OH(l) \quad \Delta H_3$

- (라) $2C(s, \text{흑연}) + 3H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow C_2H_5OH(l) \quad \Delta H_4$

ㄱ. (가)는 $CO_2(g)$ 1 mol이 안정한 성분 원소로부터 생성되는 반응의 열화학 반응식이므로 ΔH_1 은 $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피이다.

ㄴ. $CH_3OH(l) + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$ 은 (가)+(나)-(다)이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.

ㄷ. $2CH_3OH(l) \longrightarrow C_2H_5OH(l) + H_2O(l)$ 은 $\frac{1}{2} \times$ (나) - $2 \times$ (다) + (라)이므로 반응 엔탈피는 $\frac{1}{2}\Delta H_2 - 2\Delta H_3 + \Delta H_4$ 이다.

07 생성 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다.

모범 답안 1.9 kJ/mol, C(s, 다이아몬드)의 생성 엔탈피는 $C(s, \text{흑연}) \longrightarrow C(s, \text{다이아몬드})$ 의 반응 엔탈피이다. 이 반응은 (가)-(나)이므로 반응 엔탈피는 $-393.5 \text{ kJ} - (-395.4 \text{ kJ}) = 1.9 \text{ kJ}$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--|-------|
| C(s, 다이아몬드)의 생성 엔탈피를 구하고, 풀이 과정을 옮겨 서술한 경우 | 100 % |
| C(s, 다이아몬드)의 생성 엔탈피만 옮겨 구한 경우 | 50 % |

- 08 $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g) \quad \Delta H = ?$

A. $\Delta H = (\text{생성물의 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 엔탈피 합})$ 이므로 반응이 일어날 때 출입하는 에너지로부터 ΔH 를 구할 수 있다.

B. 25 °C, 1기압에서 $\frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}Cl_2(g) \longrightarrow HCl(g)$ 의 반응 엔탈피는 HCl(g)의 표준 생성 엔탈피이다. 따라서 $\Delta H = 2 \times (\text{HCl}(g)\text{의 표준 생성 엔탈피})$ 이다.

바로알기 C. $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합}) = (\text{H-H의 결합 에너지}) + (\text{Cl-Cl의 결합 에너지}) - 2 \times (\text{H-Cl의 결합 에너지})$ 이다. 따라서 H-H의 결합 에너지, Cl-Cl의 결합 에너지, H-Cl의 결합 에너지를 이용해야 ΔH 를 구할 수 있다.

- 09 $C_2H_6(g) + \frac{7}{2}O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l) \quad \Delta H = ?$

$\Delta H = (\text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합})$ 이고, $O_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이다. 따라서 $\Delta H = 2 \times (-394 \text{ kJ}) + 3 \times (-286 \text{ kJ}) - (-85 \text{ kJ}) = -1561 \text{ kJ}$ 이다.

모범 답안 -1561 kJ/mol , $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 연소 엔탈피는 $\text{C}_2\text{H}_6(g) + \frac{7}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}_2(g) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)이다. $\Delta H = 2 \times (\text{CO}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $+ 3 \times (\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 표준 생성 엔탈피) $- (\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $= -1561 \text{ kJ}$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--|-------|
| $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 연소 엔탈피와 풀이 과정을 모두 옳게 쓴 경우 | 100 % |
| $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 연소 엔탈피와 풀이 과정 중 1가지만 옳게 쓴 경우 | 50 % |

10 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 분해 엔탈피는 $\text{N}_2\text{O}_4(g) \longrightarrow \text{N}_2(g) + 2\text{O}_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)이다. $\text{N}_2(g)$ 와 $\text{O}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이므로 ΔH 는 다음과 같다.

$\Delta H = (\text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합}) = -(\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $= -9 \text{ kJ}$

따라서 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 분해 엔탈피는 -9 kJ/mol 이다.

ㄷ. $2\text{NO}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 다음과 같다.

$\Delta H = (\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $- 2 \times (\text{NO}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $= 9 \text{ kJ} - 2 \times 33 \text{ kJ} = -57 \text{ kJ}$

바로알기 ㄱ. $\text{N}_2(g)$ 와 $\text{O}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이므로 $\text{N}_2(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 다음과 같다.

$\Delta H = 2 \times (\text{NO}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $= 2 \times 33 \text{ kJ} = 66 \text{ kJ}$

11 (가) $\text{C}_2\text{H}_2(g) + \text{H}_2(g) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4(g)$ $\Delta H = a \text{ kJ}$

(나) $\text{C}_2\text{H}_4(g) + \text{H}_2(g) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6(g)$ $\Delta H = b \text{ kJ}$

(다) $\text{C}_2\text{H}_4(g) + 3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ $\Delta H = c \text{ kJ}$

$\text{O}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이고, $\Delta H = (\text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합})$ 이다.

ㄴ. $\text{C}_2\text{H}_2(g) + 2\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6(g)$ 은 (가) + (나)이므로 $\Delta H = (a + b) \text{ kJ}$ 이다.

ㄷ. (다)에서 $\Delta H = 2 \times (\text{CO}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $+ 2 \times (\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 표준 생성 엔탈피) $- (\text{C}_2\text{H}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $= 2x + 2y - (\text{C}_2\text{H}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $= c \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 $(2x + 2y - c) \text{ kJ/mol}$ 이다.

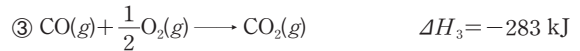
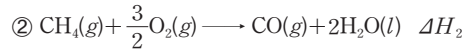
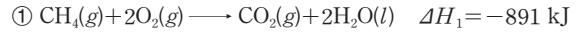
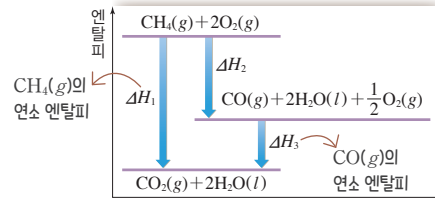
바로알기 ㄱ. (나)에서 $\Delta H = (\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $- (\text{C}_2\text{H}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $= b \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 $(b \text{ kJ/mol} + \text{C}_2\text{H}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피)이다.

실력 UP 문제

128쪽

01 ③ 02 ⑤

01 - 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 연소 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 완전 연소를 하여 가장 안정한 생성물이 될 때의 반응 엔탈피이다. $\text{CH}_4(g)$ 1 mol이 연소할 때 방출하는 에너지는 891 kJ이고, $\text{CO}(g)$ 1 mol이 연소할 때 방출하는 에너지는 283 kJ이다.

ㄷ. ① = ② + ③이므로 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다. $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 = -891 \text{ kJ} - (-283 \text{ kJ}) = -608 \text{ kJ}$ 이다.

바로알기 ㄴ. $\text{CO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g)$ $\Delta H_3 = -283 \text{ kJ}$

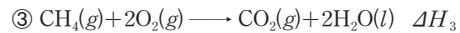
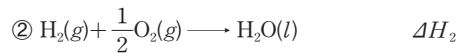
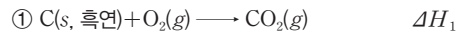
$\text{O}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이므로 $\Delta H_3 = (\text{CO}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $- (\text{CO}(g)$ 의 표준 생성 엔탈피)이다. $\Delta H_3 < 0$ 이므로 표준 생성 엔탈피는 $\text{CO}(g)$ 가 $\text{CO}_2(g)$ 보다 크다.

02 - 꼼꼼 문제 분석

$\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피와 같다.

| 물질 | C(s, 흑연) | $\text{H}_2\text{O}(l)$ | $\text{CH}_4(g)$ |
|----------------|--------------|-------------------------|------------------|
| 연소 엔탈피(kJ/mol) | ΔH_1 | | ΔH_3 |
| 생성 엔탈피(kJ/mol) | | ΔH_2 | ΔH_4 |

제시된 자료에서 열화학 반응식을 완성하면 다음과 같다.



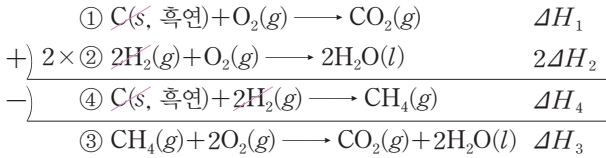
ㄱ. ①은 $\text{CO}_2(g)$ 1 mol이 생성되는 반응이므로 $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 ΔH_1 이다.

ㄴ. ②는 $\text{H}_2(g)$ 1 mol이 연소하는 반응이므로 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 ΔH_2 이다.

ㄷ. $\text{O}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이므로 ΔH_3 은 다음과 같다. $\Delta H_3 = (\text{CO}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) $+ 2 \times (\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 표준 생성 엔탈피) $- (\text{CH}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피)

$= \Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_4$

다른 풀이 ③ = ① + 2 × ② - ④ 이므로 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_4$ 이다.



중단원 핵심 정리

129쪽

- ① 생성물 ② 반응물 ③ 계수 ④ 반대 ⑤ 반응물
 ⑥ 생성물 ⑦ 반응 엔탈피 ⑧ 0 ⑨ 생성물 ⑩ 반응물

중단원 마무리 문제

130쪽~133쪽

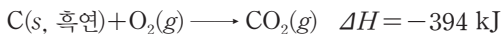
- 01 ③ 02 ① 03 ⑤ 04 ④ 05 ⑤ 06 ⑤
 07 ④ 08 ③ 09 ③ 10 ⑤ 11 ② 12 ③
 13 ⑤ 14 해설 참조 15 해설 참조 16 해설 참조

01 ㄱ. A(g)와 B(g)의 엔탈피 합보다 C(g)의 엔탈피가 크므로 A(g)~C(g) 중 엔탈피는 C(g)가 가장 크다.

ㄴ. 이 반응에서 엔탈피가 증가하므로 $\Delta H > 0$ 이다.

바로알기 ㄷ. 이 반응은 흡열 반응이므로 반응이 일어나면 주위로부터 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아진다.

02 ㄱ. C(s, 흑연)의 연소 반응에서 엔탈피가 감소하므로 $\Delta H < 0$ 이고, 열화학 반응식은 다음과 같다.



바로알기 ㄴ. C(s, 흑연) + O₂(g) → CO₂(g)은 CO₂(g) 1 mol이 생성되는 반응이므로 CO₂(g)의 생성 엔탈피는 -394 kJ/mol이다.

ㄷ. C(s, 흑연) 1 mol이 연소할 때 방출하는 에너지는 394 kJ이므로 C(s, 흑연) 2 mol이 연소할 때 방출하는 에너지는 788 kJ이다.

03 ㄱ. C₃H₈(g)의 연소 반응에서 $\Delta H < 0$ 이므로 엔탈피의 합은 반응물이 생성물보다 크다.

ㄴ. C₃H₈(g) 1 mol이 연소할 때 방출하는 에너지는 2220 kJ이다. C₃H₈의 분자량은 44이므로 C₃H₈(g) 1 g의 양은 $\frac{1}{44}$ mol이다. 따라서 C₃H₈(g) 1 g이 연소할 때 방출하는 에너지는 $2220 \text{ kJ} \times \frac{1}{44} = \frac{555}{11} \text{ kJ}$ 이다.

ㄷ. 엔탈피는 H₂O(g) > H₂O(l)이므로 C₃H₈(g) + 5O₂(g) → 3CO₂(g) + 4H₂O(g)에서 방출하는 에너지의 크기는 2220 kJ보다 작고, 반응 엔탈피의 부호는 (-)이다. 따라서 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 -2220 kJ보다 크다.

04 SO₂(g)의 생성 엔탈피는 S(s, 사방황) + O₂(g) → SO₂(g)의 반응 엔탈피이다. 제시된 자료에서 2S(s, 사방황) + 2O₂(g) → 2SO₂(g)의 반응 엔탈피는 (b - a) kJ이므로 SO₂(g)의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}(b - a)$ kJ/mol이다.

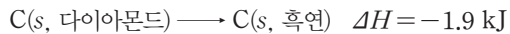
SO₃(g)의 분해 엔탈피는 SO₃(g) → S(s, 사방황) + $\frac{3}{2}$ O₂(g)의 반응 엔탈피이다. 제시된 자료에서 2S(s, 사방황) + 3O₂(g) → 2SO₃(g)의 반응 엔탈피는 b kJ이므로 SO₃(g)의 분해 엔탈피는 $-\frac{1}{2}b$ kJ/mol이다.

05 ㄱ. NH₄NO₃(s)이 물에 용해되면 용액의 온도가 낮아지므로 NH₄NO₃(s)의 용해 반응은 흡열 반응이다.

ㄴ. NH₄NO₃(s) 8 g이 물에 용해될 때 출입한 에너지는 $Q = cm\Delta t = 4.2 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) \times 100 \text{ g} \times 3^\circ\text{C} = 1260 \text{ J}$ 이다.

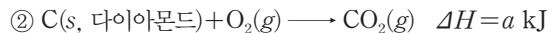
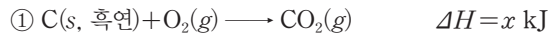
ㄷ. NH₄NO₃의 화학식량은 80이므로 NH₄NO₃(s) 8 g의 양은 0.1 mol이다. NH₄NO₃(s) 0.1 mol이 용해될 때 1260 J의 에너지를 흡수하므로 1 mol이 용해될 때 흡수하는 에너지는 12600 J이고, NH₄NO₃(s)의 용해 엔탈피는 12.6 kJ/mol이다.

06 ㉠ → ㉡에서 $\Delta H < 0$ 이므로 엔탈피는 ㉠ > ㉡이다. 25°C, 1기압에서 C(s, 흑연)은 C(s, 다이아몬드)보다 안정하므로 ㉠은 C(s, 다이아몬드)이고, ㉡은 C(s, 흑연)이다.



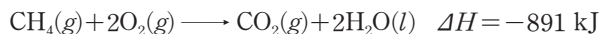
ㄴ. C(s, 흑연) → C(s, 다이아몬드)은 C(s, 다이아몬드) 1 mol이 생성되는 반응이므로 C(s, 다이아몬드)의 생성 엔탈피는 1.9 kJ/mol이다.

ㄷ. C(s, 흑연)과 C(s, 다이아몬드)의 연소 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



C(s, 다이아몬드) → C(s, 흑연)은 ② - ①이므로 이 반응에서 $\Delta H = a \text{ kJ} - x \text{ kJ} = -1.9 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = (a + 1.9)$ 이다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 C(s, 다이아몬드)이다.



$$\Delta H = -1367 \text{ kJ}$$

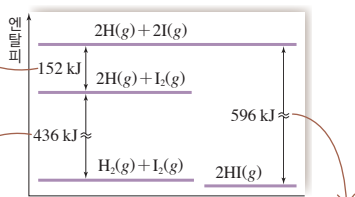
ㄴ. 1 mol이 연소할 때 방출하는 에너지는 $\text{CH}_4(g)$ 은 891 kJ, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 은 1367 kJ이다.

ㄷ. H_2 , CH_4 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 의 분자량은 각각 2, 16, 46이므로 1 g의 양(mol)은 각각 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{46}$ 이다. 따라서 1 g이 연소할 때 방출하는 에너지는 $\text{H}_2(g)$ 는 $\frac{1}{2} \times 286 \text{ kJ} = 143 \text{ kJ}$, $\text{CH}_4(g)$ 은 $\frac{1}{16} \times 891 \text{ kJ} \approx 55.7 \text{ kJ}$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 은 $\frac{1}{46} \times 1367 \text{ kJ} \approx 29.7 \text{ kJ}$ 이므로 ㉠은 $\text{H}_2(g)$ 이다.

바로알기 ㄱ. $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H = -286 \text{ kJ}$
 이므로 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 -286 kJ/mol 이다.

08 **꼼꼼 문제 분석**

$\text{I}_2(g)$ 1 mol의 결합이 끊어진다.
 $\Rightarrow \text{I}-\text{I}$ 의 결합 에너지
 $= 152 \text{ kJ/mol}$



$\text{H}_2(g)$ 1 mol의 결합이 끊어진
 다. $\Rightarrow \text{H}-\text{H}$ 의 결합 에너지
 $= 436 \text{ kJ/mol}$

$\text{HI}(g)$ 2 mol의 결합이 끊어
 진다. $\Rightarrow \text{H}-\text{I}$ 의 결합 에너지
 $= 298 \left(= \frac{596}{2} \right) \text{ kJ/mol}$

ㄱ. $\text{I}_2(g)$ 1 mol의 결합이 끊어질 때 152 kJ의 에너지를 흡수하므로 $\text{I}-\text{I}$ 의 결합 에너지는 152 kJ/mol이다.

ㄷ. $\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \longrightarrow 2\text{HI}(g) \quad \Delta H = ?$
 $\Delta H = (\text{H}-\text{H}$ 의 결합 에너지) + ($\text{I}-\text{I}$ 의 결합 에너지) $- 2 \times$
 ($\text{H}-\text{I}$ 의 결합 에너지) $= 436 \text{ kJ} + 152 \text{ kJ} - 596 \text{ kJ} = -8 \text{ kJ}$

바로알기 ㄴ. 결합 에너지는 $\text{H}-\text{H}$ 이 $\text{H}-\text{I}$ 보다 크므로 결합의 세기는 $\text{H}-\text{H}$ 이 $\text{H}-\text{I}$ 보다 강하다.

09 ㄱ. 결합 에너지는 $\text{O}=\text{O}$ 이 $\text{O}-\text{O}$ 보다 크므로 결합을 끊는 데 필요한 에너지는 $\text{O}=\text{O}$ 이 $\text{O}-\text{O}$ 보다 크다.

ㄷ. $\text{HF}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{F}_2(g) \longrightarrow \text{HF}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)이다.

$$\Delta H = \frac{1}{2} \times (\text{H}-\text{H}$$
의 결합 에너지) + $\frac{1}{2} \times (\text{F}-\text{F}$ 의 결합 에너지) $- (\text{H}-\text{F}$ 의 결합 에너지)
$$= \frac{1}{2} \times 436 \text{ kJ} + \frac{1}{2} \times 159 \text{ kJ} - 570 \text{ kJ} = -272.5 \text{ kJ}$$

바로알기 ㄴ. $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 다음과 같다.

$$\Delta H = 2 \times (\text{H}-\text{H}$$
의 결합 에너지) + ($\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지) $- 4 \times$
 ($\text{H}-\text{O}$ 의 결합 에너지)
$$= 2 \times 436 \text{ kJ} + 498 \text{ kJ} - 4 \times 460 \text{ kJ} = -470 \text{ kJ}$$

10 ① $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_1 = -891 \text{ kJ}$

② $2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H_2 = 88 \text{ kJ}$
 ㄱ. ①은 $\text{CH}_4(g)$ 1 mol의 연소 반응의 열화학 반응식이므로 $\text{CH}_4(g)$ 의 연소 엔탈피는 -891 kJ/mol 이다.

ㄴ. $\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H = 44 \text{ kJ}$ 이므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1 mol이 기화하는 데 필요한 에너지는 44 kJ이다.

ㄷ. $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$ 은 ①+②이므로 반응 엔탈피(ΔH)는 $\Delta H_1 + \Delta H_2 = -891 \text{ kJ} + 88 \text{ kJ} = -803 \text{ kJ}$ 이다.

11 (가) $2\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}_2(g) \quad \Delta H_1$

(나) $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g) \quad \Delta H_2$

(다) $\text{NO}(g) + \text{O}_3(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g) \quad \Delta H_3$

ㄴ. $\text{O}_3(g)$ 1 mol의 결합을 모두 끊는 데 필요한 에너지는 다음 반응의 반응 엔탈피(ΔH)이다.

$\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}(g) \quad \Delta H = ?$

이 반응은 $\frac{1}{2} \times$ (가) + $\frac{3}{2} \times$ (나)로 구할 수 있다.

$$\frac{1}{2} \times$$
(가) $\text{O}_3(g) \longrightarrow \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \quad \frac{1}{2}\Delta H_1$

$$+ \left) \frac{3}{2} \times$$
(나) $\frac{3}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow 3\text{O}(g) \quad \frac{3}{2}\Delta H_2$

$$\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}(g) \quad \Delta H = \frac{1}{2}(\Delta H_1 + 3\Delta H_2)$$

바로알기 ㄱ. 결합 에너지는 기체 상태의 분자에서 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊는 데 필요한 에너지이므로, $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지는 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 즉, ΔH_2 이다.

ㄷ. $\text{NO}(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_3(g)$ 은 (다)-(가)로 구할 수 있다.

$$(\text{다}) \text{NO}(g) + \text{O}_3(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g) \quad \Delta H_3$$

$$- \left) (\text{가}) 2\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}_2(g) \quad \Delta H_1$$

$$\text{NO}(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_3(g) \quad \Delta H = \Delta H_3 - \Delta H_1$$

12 (가) $\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}(g) \quad \Delta H = 180 \text{ kJ}$

(나) $2\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{N}_2\text{O}(g) \quad \Delta H = 2 \times 82 \text{ kJ} = 164 \text{ kJ}$

ㄱ. (가)와 (나)에서 $\Delta H > 0$ 이므로 (가)와 (나)는 모두 흡열 반응이다.

ㄴ. (가)에서 NO(g) 1 mol이 생성될 때 출입하는 에너지는 90 kJ이고, (나)에서 N₂O(g) 1 mol이 생성될 때 출입하는 에너지는 82 kJ이므로 (가)에서가 (나)에서보다 8 kJ만큼 크다.

ㄷ. 4NO(g) → 2N₂O(g) + O₂(g)은 (나) - 2 × (가)이므로 반응 엔탈피(ΔH)는 164 kJ - 2 × 180 kJ = -196 kJ이다.

13 ㄴ. O₂(g)의 표준 생성 엔탈피는 0이므로 2CO(g) + O₂(g) → 2CO₂(g)의 반응 엔탈피(ΔH)는 다음과 같다.

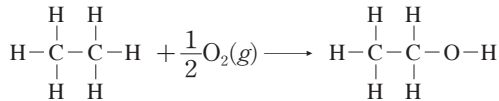
$$\Delta H = 2 \times (\text{CO}_2(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}) - 2 \times (\text{CO}(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}) = 2 \times (-394 \text{ kJ}) - 2 \times (-111 \text{ kJ}) = -566 \text{ kJ}$$

ㄷ. C₂H₄(g)의 연소 엔탈피는 C₂H₄(g) + 3O₂(g) → 2CO₂(g) + 2H₂O(l)의 반응 엔탈피(ΔH)이다.

$$\Delta H = 2 \times (\text{CO}_2(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}) + 2 \times (\text{H}_2\text{O}(l) \text{의 표준 생성 엔탈피}) - (\text{C}_2\text{H}_4(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}) = 2 \times (-394 \text{ kJ}) + 2 \times (-286 \text{ kJ}) - 52 \text{ kJ} = -1412 \text{ kJ}$$

바로알기 ㄱ. 같은 원소로부터 생성되는 물질은 생성 엔탈피가 작을수록 상대적으로 안정하다. 표준 생성 엔탈피는 CO₂(g)가 CO(g)보다 작으므로 CO₂(g)가 CO(g)보다 안정하다.

14 (가)와 O₂(g)가 반응하여 (나)가 생성되는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



ΔH = (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)이다.

모범 답안 (가)와 O₂(g)가 반응하여 (나)가 생성되는 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 [6 × (H-C의 결합 에너지) + (C-C의 결합 에너지) + $\frac{1}{2}$ × (O=O의 결합 에너지)] - [5 × (H-C의 결합 에너지) + (C-C의 결합 에너지) + (C-O의 결합 에너지) + (H-O의 결합 에너지)] = (H-C의 결합 에너지) + $\frac{1}{2}$ × (O=O의 결합 에너지) - (C-O의 결합 에너지) - (H-O의 결합 에너지)이다. 따라서 H-C, H-O, C-O, O=O의 결합 에너지가 필요하다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---------------------------------------|-------|
| 결합 에너지가 필요한 결합을 고르고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 결합 에너지가 필요한 결합만 옳게 고른 경우 | 50 % |

15 **모범 답안** ① N₂(g) + O₂(g) → 2NO(g) ΔH₁

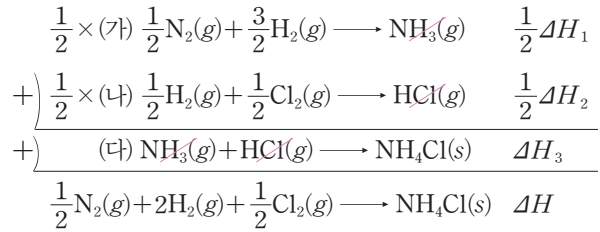
② 2NO(g) + O₂(g) → 2NO₂(g) ΔH₂

③ N₂(g) + 2O₂(g) → 2NO₂(g) ΔH₃

N₂(g) + O₂(g) → 2NO(g)은 ① 또는 ③ - ②이므로 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 ΔH₁ 또는 ΔH₃ - ΔH₂이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---------------------------|-------|
| 반응 엔탈피와 풀이 과정을 모두 옳게 쓴 경우 | 100 % |
| 반응 엔탈피만 옳게 쓴 경우 | 50 % |

16



모범 답안 $(\frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y + z)$ kJ/mol, NH₄Cl(s) 1 mol이 안정한 원소로

부터 생성되는 반응은 $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + 2\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(s)$ 이

다. 이 반응은 $\frac{1}{2} \times (\text{가}) + \frac{1}{2} \times (\text{나}) + (\text{다})$ 이므로 반응 엔탈피(ΔH)는

$$\frac{1}{2}\Delta H_1 + \frac{1}{2}\Delta H_2 + \Delta H_3 = \left(\frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y + z\right) \text{ kJ이다.}$$

| 채점 기준 | 배점 |
|---------------------------|-------|
| 생성 엔탈피와 풀이 과정을 모두 옳게 쓴 경우 | 100 % |
| 생성 엔탈피만 옳게 쓴 경우 | 50 % |

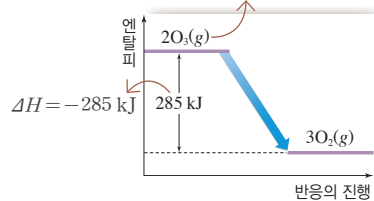
중단원 고난도 문제

134쪽~135쪽

- 01 ② 02 ⑤ 03 ⑤ 04 ③ 05 ③ 06 ⑤
07 ④

01 품평 문제 분석

반응물의 엔탈피 합 > 생성물의 엔탈피 합 ⇒ ΔH < 0



선택지 분석

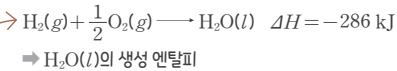
- 엔탈피는 O₂(g)가 O₃(g)보다 크다. **작다**
- O₃(g)의 분해 엔탈피는 -142.5 kJ/mol이다.
- O₃(g) 2 mol의 결합 에너지 합은 O₂(g) 3 mol의 결합 에너지 합보다 **크다**. **작다**

전략적 풀이 ① 반응물의 엔탈피 합과 생성물의 엔탈피 합을 비교한다.
 ㄱ. $2 \times (\text{O}_3(g) \text{의 엔탈피}) > 3 \times (\text{O}_2(g) \text{의 엔탈피})$ 이므로 엔탈피는 $\text{O}_3(g)$ 이 $\text{O}_2(g)$ 보다 크다.

② $\text{O}_3(g)$ 의 분해 반응의 열화학 반응식을 쓰고, 분해 엔탈피를 구한다.
 ㄴ. 제시된 자료에서 $2\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}_2(g) \quad \Delta H = -285 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $\text{O}_3(g) \longrightarrow \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \quad \Delta H = -142.5 \text{ kJ}$ 이므로 $\text{O}_3(g)$ 의 분해 엔탈피는 -142.5 kJ/mol 이다.

③ 결합 에너지를 이용하여 반응 엔탈피를 구한다.
 ㄷ. $2\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}_2(g) \quad \Delta H = -285 \text{ kJ}$
 $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합}) < 0$ 이므로 $\text{O}_2(g)$ 3 mol의 결합 에너지 합이 $\text{O}_3(g)$ 2 mol의 결합 에너지 합보다 크다.

02 — 꼼꼼 문제 분석



- $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 -286 kJ/mol 이다.
- 결합 에너지

| 결합 | H-H | H-O | O=O |
|----------------|-----|-----|-----|
| 결합 에너지(kJ/mol) | 436 | 460 | 498 |

선택지 분석

- ㄱ. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 -286 kJ/mol 이다.
- ㄴ. $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 -235 kJ 이다.
- ㄷ. 1 mol의 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 로 될 때 방출하는 에너지는 51 kJ 이다.

전략적 풀이 ① $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피와 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피의 관계를 파악한다.

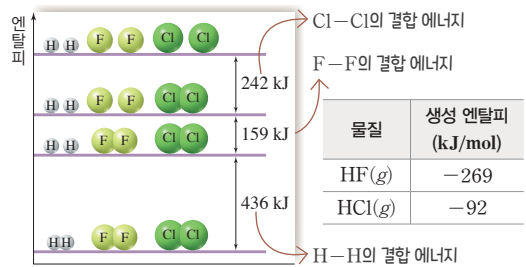
ㄱ. $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ (①)의 반응 엔탈피는 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피 또는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피이다. 따라서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 -286 kJ/mol 이다.

② 결합 에너지를 이용하여 반응 엔탈피를 구한다.
 ㄴ. $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ (②) $\Delta H = ?$
 $\Delta H = (\text{H-H의 결합 에너지}) + \frac{1}{2} \times (\text{O=O의 결합 에너지}) - 2 \times (\text{H-O의 결합 에너지})$
 $= 436 \text{ kJ} + \frac{1}{2} \times 498 \text{ kJ} - 2 \times 460 \text{ kJ} = -235 \text{ kJ}$

③ 헤스 법칙을 이용하여 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 로 될 때 방출하는 에너지를 구한다.

ㄷ. $\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 은 ①-②이므로 반응 엔탈피는 $-286 \text{ kJ} - (-235 \text{ kJ}) = -51 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 1 mol의 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 로 될 때 방출하는 에너지는 51 kJ 이다.

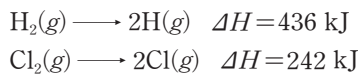
03 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ✗ 생성 엔탈피는 $\text{Cl}(g)$ 가 $\text{H}(g)$ 보다 크다. 작다
- ㄴ. 결합 에너지는 H-F 이 H-Cl 보다 크다.
- ㄷ. $2\text{HF}(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow 2\text{HCl}(g) + \text{F}_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 크다.

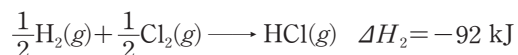
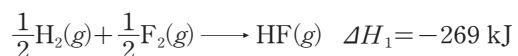
전략적 풀이 ① 원자의 생성 엔탈피와 결합 에너지의 관계를 파악한다.
 ㄱ. 제시된 자료에서 열화학 반응식은 다음과 같다.



$\text{H}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{H}(g)$ 의 반응 엔탈피이므로 $\text{H}(g)$ 의 생성 엔탈피는 218 kJ/mol 이다. $\text{Cl}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{Cl}(g)$ 의 반응 엔탈피이므로 $\text{Cl}(g)$ 의 생성 엔탈피는 121 kJ/mol 이다. 따라서 생성 엔탈피는 $\text{H}(g)$ 가 $\text{Cl}(g)$ 보다 크다.

② $\text{HF}(g)$ 와 $\text{HCl}(g)$ 의 생성 엔탈피로부터 열화학 반응식을 완성하고, H-F 과 H-Cl 의 결합 에너지를 비교한다.

ㄴ. $\text{HF}(g)$ 와 $\text{HCl}(g)$ 의 생성 엔탈피로부터 열화학 반응식은 다음과 같다.



결합 에너지를 이용하여 반응 엔탈피를 구하면 다음과 같다.

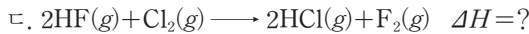
$$\Delta H_1 = \frac{1}{2} \times (\text{H-H의 결합 에너지}) + \frac{1}{2} \times (\text{F-F의 결합 에너지}) - (\text{H-F의 결합 에너지}) = \frac{1}{2} \times 436 \text{ kJ} + \frac{1}{2} \times 159 \text{ kJ} - (\text{H-F의 결합 에너지}) = -269 \text{ kJ}$$

∴ H-F의 결합 에너지 = 566.5 kJ/mol

$$\Delta H_2 = \frac{1}{2} \times (\text{H-H의 결합 에너지}) + \frac{1}{2} \times (\text{Cl-Cl의 결합 에너지}) - (\text{H-Cl의 결합 에너지}) = \frac{1}{2} \times 436 \text{ kJ} + \frac{1}{2} \times 242 \text{ kJ} - (\text{H-Cl의 결합 에너지}) = -92 \text{ kJ}$$

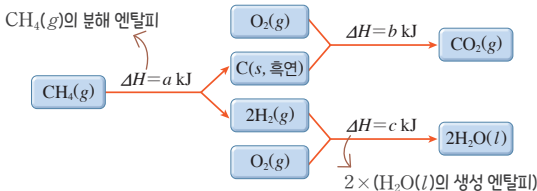
∴ H-Cl의 결합 에너지 = 431 kJ/mol

③ 결합 에너지를 이용하여 반응 엔탈피를 구한다.



$\Delta H = [2 \times (\text{H-F의 결합 에너지}) + (\text{Cl-Cl의 결합 에너지})] - [2 \times (\text{H-Cl의 결합 에너지}) + (\text{F-F의 결합 에너지})]$ 이다.
(H-F의 결합 에너지) > (H-Cl의 결합 에너지)이고, (Cl-Cl의 결합 에너지) > (F-F의 결합 에너지)이므로 $\Delta H > 0$ 이다.

04 — 품평 문제 분석



선택지 분석

- CH₄(g)의 분해 엔탈피는 $a \text{ kJ/mol}$ 이다.
- H₂O(l)의 생성 엔탈피는 $c \text{ kJ/mol}$ 이다. $\frac{1}{2}c$
- CH₄(g)의 연소 엔탈피는 $(a + b + c) \text{ kJ/mol}$ 이다.

전략적 풀이 ① 열화학 반응식으로부터 분해 엔탈피와 생성 엔탈피를 파악한다.

제시된 자료에서 열화학 반응식은 다음과 같다.

- ① $\text{CH}_4(g) \longrightarrow \text{C}(s, \text{흑연}) + 2\text{H}_2(g) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$
- ② $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) \quad \Delta H = b \text{ kJ}$
- ③ $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H = c \text{ kJ}$

ㄱ. ①은 CH₄(g) 1 mol이 안정한 성분 원소로 분해되는 반응이므로 CH₄(g)의 분해 엔탈피는 $a \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄴ. ③은 H₂O(l) 2 mol이 안정한 성분 원소로부터 생성되는 반응이므로 H₂O(l)의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}c \text{ kJ/mol}$ 이다.

② 헤스 법칙을 이용하여 CH₄(g)의 연소 엔탈피를 구한다.

ㄷ. CH₄(g)의 연소 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



이 반응은 ①+②+③이므로 $\Delta H = (a + b + c) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 CH₄(g)의 연소 엔탈피는 $(a + b + c) \text{ kJ/mol}$ 이다.

05 — 품평 문제 분석

[자료]

• NaOH의 화학식량은 40이다.

$$\text{NaOH의 양} = \frac{4 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$$

[실험 과정]

(가) 열량계 I에 물 100 mL를 넣고 NaOH(s) 4 g을 용해시킨 후 반응 엔탈피(ΔH_1)를 측정한다.

(나) 1 M HCl(aq) 100 mL와 1 M NaOH(aq) 100 mL를 열량계 II에 넣어 혼합한 후 반응 엔탈피(ΔH_2)를 측정한다.

(다) 열량계 III에 0.5 M HCl(aq) 200 mL를 넣고 NaOH(s) 4 g을 용해시킨 후 반응 엔탈피(ΔH_3)를 측정한다.

[실험 결과]

| ΔH_1 | ΔH_2 | ΔH_3 |
|----------------|----------------|----------------|
| $x \text{ kJ}$ | $y \text{ kJ}$ | $z \text{ kJ}$ |

선택지 분석

- NaOH(s)의 용해 엔탈피는 $10x \text{ kJ/mol}$ 이다.
- 중화 엔탈피는 $y \text{ kJ/mol}$ 이다. $10y$
- $x + y = z$ 이다.

전략적 풀이 ① 실험에서 반응한 물질의 양과 반응 엔탈피의 종류를 확인하고, 용해 엔탈피와 중화 엔탈피를 구한다.

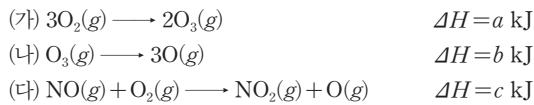
ㄱ. NaOH의 화학식량은 40이므로 NaOH(s) 4 g의 양은 0.1 mol이다. (가)에서 NaOH(s) 0.1 mol이 물에 용해될 때의 반응 엔탈피가 $\Delta H_1 = x \text{ kJ}$ 이므로 NaOH(s)의 용해 엔탈피는 $10x \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 HCl 0.1 mol과 NaOH 0.1 mol이 반응한다. 즉, H⁺(aq) 0.1 mol과 OH⁻(aq) 0.1 mol이 반응할 때의 반응 엔탈피가 $\Delta H_2 = y \text{ kJ}$ 이므로 중화 엔탈피는 $10y \text{ kJ/mol}$ 이다.

② 헤스 법칙을 이용하여 $x \sim z$ 의 관계식을 구한다.

ㄷ. (다)에서 NaOH(s) 4 g이 용해된 후 HCl 0.1 mol과 NaOH 0.1 mol이 반응하므로 (다)의 반응 엔탈피는 (가)와 (나)의 반응 엔탈피의 합과 같다. 따라서 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$ 이므로 $x + y = z$ 이다.

06 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{a+2b}{6} \text{ kJ/mol}$ 이다.
- ㉡ $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지는 $\frac{a+2b}{3} \text{ kJ/mol}$ 이다.
- ㉢ $\text{NO}(g) + \text{O}_3(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g)$ 의 반응 엔탈피 (ΔH)는 $(-\frac{2}{3}a - \frac{1}{3}b + c) \text{ kJ}$ 이다.

전략적 풀이 ① 열화학 반응식으로부터 $\text{O}(g)$ 의 생성 반응과 생성 엔탈피를 파악한다.

㉠. $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피이다.

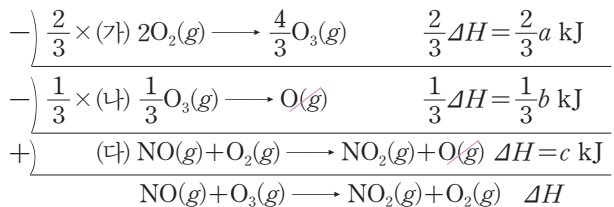
이 반응은 $\frac{1}{6} \times (\text{가}) + \frac{1}{3} \times (\text{나})$ 이므로 반응 엔탈피는 $(\frac{1}{6}a + \frac{1}{3}b) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{a+2b}{6} \text{ kJ/mol}$ 이다.

② $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피로부터 $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지를 구한다.

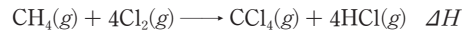
㉡. $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지는 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 이 반응의 반응 엔탈피는 $2 \times \frac{a+2b}{6} \text{ kJ}$ 이므로 $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지는 $\frac{a+2b}{3} \text{ kJ/mol}$ 이다.

③ 헤스 법칙을 이용하여 반응 엔탈피를 구한다.

㉢. $\text{NO}(g) + \text{O}_3(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g)$ 은 $-\frac{2}{3} \times (\text{가}) - \frac{1}{3} \times (\text{나}) + (\text{다})$ 이므로 반응 엔탈피(ΔH)는 $(-\frac{2}{3}a - \frac{1}{3}b + c) \text{ kJ}$ 이다.



07 — 꼼꼼 문제 분석



• 표준 생성 엔탈피

| 물질 | $\text{CH}_4(g)$ | $\text{Cl}_2(g)$ | $\text{CCl}_4(g)$ | $\text{HCl}(g)$ |
|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 표준 생성 엔탈피 (kJ/mol) | -75 | ㉠ | -100 | -92 |

• 결합 에너지

가장 안정한 원소의 표준 생성 엔탈피는 0이다.

| 결합 | C-H | C-Cl | H-Cl | Cl-Cl |
|-----------------|-----|------|------|-------|
| 결합 에너지 (kJ/mol) | x | y | 431 | 242 |

선택지 분석

- ㉠ $\Delta H < 0$ 이다. ㉡=0
- ㉢ $\Delta H = -393 \text{ kJ}$ 이다.
- ㉣ $x - y = \frac{363}{4}$ 이다.

전략적 풀이 ① 표준 생성 엔탈피의 개념을 이해한다.

㉠. 표준 생성 엔탈피는 25°C , 1기압에서 물질 1 mol이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. 가장 안정한 원소의 표준 생성 엔탈피는 0이므로 $\text{Cl}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이다.

② 표준 생성 엔탈피와 결합 에너지를 이용하여 제시된 반응의 반응 엔탈피(ΔH)를 구한다.

㉡. $\Delta H = (\text{CCl}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) + $4 \times (\text{HCl}(g)$ 의 표준 생성 엔탈피) - ($\text{CH}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피)

$$= -100 \text{ kJ} + 4 \times (-92 \text{ kJ}) - (-75 \text{ kJ}) = -393 \text{ kJ}$$

㉢. $\Delta H = [4 \times (\text{C-H의 결합 에너지}) + 4 \times (\text{Cl-Cl의 결합 에너지})] - [4 \times (\text{C-Cl의 결합 에너지}) + 4 \times (\text{H-Cl의 결합 에너지})]$

$$= (4x + 4 \times 242) - (4y + 4 \times 431)$$

$$= 4(x - y) - 756 = -393 \text{ (kJ)}$$

$\therefore x - y = \frac{363}{4}$

2 화학 변화의 자발성

01 / 화학 변화의 자발성

개념 확인 문제

142쪽

1 엔트로피 2 증가 3 증가 4 > 5 <

1 ㄱ, ㄴ 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × 3 ㄴ, ㄷ
4 (가) 고립계 (나) 열린계 (다) 닫힌계 5 (1) × (2) ○ (3) ○
(4) ○ (5) × (6) ×

1 ㄷ. 방 한쪽에 음식을 두면 음식 냄새가 방 전체에 퍼지는 것은 자발적이지만, 반대로 음식 냄새가 한곳으로 모이는 것은 비자발적이다.

2 (3) 물질의 상태가 고체 → 액체 → 기체로 갈수록 입자들의 배열이 불규칙적이고 분자 운동이 활발하므로 물질의 상태에 따른 엔트로피는 고체 < 액체 < 기체이다.

(4) 화학 반응에서 기체 분자 수가 감소하면 엔트로피가 감소한다.

3 ㄱ. 엔트로피는 액체 < 기체이므로 수증기가 물이 되면 엔트로피가 감소한다.

ㄴ, ㄷ. 드라이아이스가 이산화 탄소 기체로 승화하거나 물이 분해되어 수소 기체와 산소 기체가 되면 기체 분자 수가 증가하므로 엔트로피가 증가한다.

4 (가)는 계와 주위 사이에 물질과 에너지가 교환되지 않으므로 고립계이다. (나)는 물질과 에너지가 모두 교환되므로 열린계이고, (다)는 에너지만 교환되므로 닫힌계이다.

5 (1) 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아져 분자 운동이 활발해지므로 주위의 엔트로피가 증가한다.

(2) $\Delta H_{계} > 0$ 이면 흡열 반응이다. 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아져 분자 운동이 둔해지므로 주위의 엔트로피가 감소한다. 즉, $\Delta S_{주위} < 0$ 이다.

(3), (4) $\Delta S_{전체} > 0$ 이면 자발적이고, $\Delta S_{전체} < 0$ 이면 비자발적이다.

(5) $\Delta H_{계} < 0$ 이면 $\Delta S_{주위} > 0$ 이다. 따라서 $\Delta H_{계} < 0$ 이고, $\Delta S_{계} > 0$ 인 반응은 $\Delta S_{전체} = \Delta S_{계} + \Delta S_{주위} > 0$ 이므로 항상 자발적이다.

(6) $\Delta H_{계} > 0$ 이면 $\Delta S_{주위} < 0$ 이다. 따라서 $\Delta H_{계} > 0$ 이고, $\Delta S_{계} < 0$ 인 반응은 $\Delta S_{전체} = \Delta S_{계} + \Delta S_{주위} < 0$ 이므로 항상 비자발적이다.

대표 자료 분석 1

143쪽

1 + 2 - 3 + 4 - 5 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

1 (가)는 자발적이므로 전체 엔트로피는 증가한다. $\Delta S_{전체} > 0$ 이다.

2 화학 반응식은 $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$ 이다. 반응이 일어나면 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S_{계} < 0$ 이다.

3 (가)는 자발적이므로 $\Delta S_{전체} = \Delta S_{계} + \Delta S_{주위} > 0$ 이다. (가)에서 $\Delta S_{계} < 0$ 이므로 $\Delta S_{전체} > 0$ 이기 위해서는 $\Delta S_{주위} > 0$ 이다.

4 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아져 분자 운동이 활발해지므로 주위의 엔트로피가 증가한다. (가)에서 $\Delta S_{주위} > 0$ 이므로 이 반응은 발열 반응이고, $\Delta H_{계} < 0$ 이다.

5 (1) (가)에서 $\Delta S_{계} < 0$ 이지만 $\Delta S_{전체} > 0$ 이어야 하므로 $\Delta S_{주위} > 0$ 이고, $|\Delta S_{주위}| > |\Delta S_{계}|$ 이다.

(2) (가)는 발열 반응이므로 열을 방출하여 주위의 온도가 높아진다.

(3) $2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$ 이 일어나면 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S_{계} > 0$ 이다.

(4) 두 반응 모두 발열 반응이므로 $\Delta S_{주위} > 0$ 이다.

내신 만점 문제

144쪽~146쪽

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

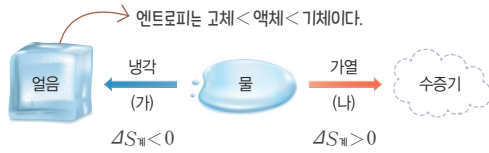
01 **바로알기** ㄷ. 물이 수소 기체와 산소 기체로 분해되기 위해서는 전기 에너지를 가해야 하므로 자발적 변화가 아니다.

02 **바로알기** ③ 온도가 높아져 분자 운동이 활발해지면 엔트로피가 증가한다.

03 **모범 답안** (가)에서 잉크가 물 전체에 퍼져 물과 혼합되므로 계의 엔트로피가 증가한다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--------------------------|------|
| 엔트로피 변화와 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100% |
| 엔트로피 변화만 옳게 쓴 경우 | 50% |

04 **꼼꼼 문제 분석**



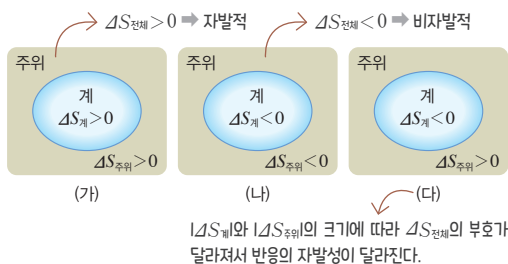
나. 엔트로피는 액체 < 기체이므로 수증기가 물보다 크다.
바로알기 ㄱ. 분자 운동은 고체 < 액체 < 기체 순으로 활발하므로 분자 운동은 물이 얼음보다 활발하다.
 ㄷ. (가)에서는 엔트로피가 감소하므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, (나)에서는 엔트로피가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. 따라서 계의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{계}}$)는 (나)가 (가)보다 크다.

05 ㄱ. 꼭지를 열면 외부의 영향 없이 기체가 용기 전체에 골고루 퍼지므로 (가) → (나)는 자발적 변화이다.
 나. 기체가 용기 전체에 골고루 퍼져 있을수록 무질서도가 크므로 무질서도는 (나) > (가)이다.
 ㄷ. 꼭지로 분리된 용기에 들어 있는 두 종류의 기체가 혼합되면 엔트로피가 증가하므로 (가) → (나)에서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다.

06 (가) 엔트로피는 액체 < 기체이므로 기체 → 액체일 때 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다.
 (나) 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다.
 (다) 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다.

07 (가)는 고립계, (나)는 열린계, (다)는 닫힌계이다.
 나. (나)는 계와 주위 사이에 물질과 에너지를 모두 교환할 수 있으므로 (나)는 주위로 수증기가 이동할 수 있다.
바로알기 ㄱ. (가)는 고립계이다.
 ㄷ. (가)는 계와 주위 사이에 물질과 에너지를 모두 교환할 수 없다. (다)는 계와 주위 사이에 물질은 교환할 수 없지만, 에너지를 교환할 수 있다.

08 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이면 계의 엔트로피가 증가하고, $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이면 계의 엔트로피가 감소한다. 따라서 계의 엔트로피가 증가하는 반응은 (가) 1가지이다.

나. (나)는 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이고, 비자발적이다.

바로알기 ㄷ. $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이면 자발적이다. (다)는 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이면 $\Delta S_{\text{전체}} < 0$ 이 되어 비자발적이다.

09 **모범 답안** $\Delta S_{\text{계}}$: +, $\Delta S_{\text{주위}}$: +, 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. $\Delta H < 0$ 이므로 이 반응은 발열 반응이고, 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아지므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|-------|
| $\Delta S_{\text{계}}$ 와 $\Delta S_{\text{주위}}$ 의 부호와 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| $\Delta S_{\text{계}}$ 와 $\Delta S_{\text{주위}}$ 중 1가지만 부호와 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 50 % |

10 ㄱ. 반응이 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다.
바로알기 나. 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다.
 ㄷ. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이기 위해서는 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 이 반응은 발열 반응이고, $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다.

11 나. 화학 반응식은 $2\text{O}_3(\text{g}) \rightarrow 3\text{O}_2(\text{g})$ 이다. 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피는 증가한다.
 ㄷ. 발열 반응이므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, 계의 엔트로피가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. 따라서 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이므로 이 반응은 자발적이다.

바로알기 ㄱ. 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아지므로 이 반응은 발열 반응이고, $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다.

12

| 구분 | $\Delta H_{\text{계}}$ | $\Delta S_{\text{계}}$ | $\Delta S_{\text{주위}}$ | 반응의 자발성 |
|-----|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------|
| (가) | ㉠ - | - | + | 자발적 |
| (나) | - | + | + | ㉡ 자발적 |
| (다) | + | - | - | ㉢ 비자발적 |

ㄱ. 반응이 일어나면 (가)와 (다)는 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, (나)는 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다.

나. (가)는 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이기 위해서는 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 (가)는 발열 반응이고, $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다.

바로알기 ㄷ. (나)는 $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, (나)는 자발적이다. (다)는 $\Delta H_{\text{계}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이고, (다)는 비자발적이다. 따라서 ㉡과 ㉢은 서로 다르다.

실력 UP 문제

146쪽

01 ③ 02 ④

01 가. (가)는 액체, (나)는 고체, (다)는 기체 상태이다. 물질의 상태에 따른 엔트로피는 고체 < 액체 < 기체이므로 엔트로피는 (나) < (가) < (다)이다.

다. (나) → (가)(고체 → 액체)일 때와 (가) → (다)(액체 → 기체)일 때 모두 계의 엔트로피가 증가한다. 이때 ΔS_계는 고체가 액체로 될 때보다 액체가 기체로 될 때가 더 크다.

바로알기 나. (가) → (다)(액체 → 기체)일 때 계의 엔트로피가 증가하므로 ΔS_계 > 0이다.

02 암모니아가 생성되는 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



나. ΔH_계 < 0이므로 이 반응은 발열 반응이다. 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아지므로 ΔS_{주위} > 0이다.

다. 이 반응은 자발적이므로 ΔS_{전체} = ΔS_계 + ΔS_{주위} > 0이다. ΔS_계 < 0이고, ΔS_{주위} > 0이므로 ΔS_{전체} > 0이기 위해서는 |ΔS_{주위}| > |ΔS_계|이다.

바로알기 가. 반응이 일어나면 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다.

중단원 핵심 정리

147쪽

- ① 크다 ② 증가 ③ 증가 ④ 증가 ⑤ 열린계 ⑥ ○
 ⑦ 증가 ⑧ 감소 ⑨ 증가 ⑩ 자발적 ⑪ 비자발적

중단원 마무리 문제

148쪽~150쪽

- 01 ① 02 ② 03 ③ 04 ② 05 ⑤ 06 ③
 07 ③ 08 ④ 09 ⑤ 10 ③ 11 해설 참조
 12 해설 참조 13 해설 참조

01 **바로알기** 나. 엔트로피는 고체 < 액체 < 기체이므로 물질의 상태가 변하면 엔트로피도 변한다.

다. 기체의 온도가 낮을수록 분자 운동이 둔해지므로 엔트로피가 감소한다.

02 (가)~(다)는 모두 외부의 영향 없이 자발적으로 일어나는 변화이다.

(가) 철과 산소가 결합하면 산소 기체의 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다.

(나) 물에 잉크를 떨어뜨리면 잉크가 물 전체로 퍼져 물과 혼합되므로 계의 엔트로피가 증가한다.

(다) 드라이아이스가 승화하면 이산화 탄소 기체의 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가한다.

03 가. 얼음이 물로 변하는 과정은 흡열 반응이므로 ΔH_계 > 0이다.

나. 엔트로피는 고체 < 액체이므로 얼음이 물로 변할 때 계의 엔트로피는 증가한다. ΔS_계 > 0이다.

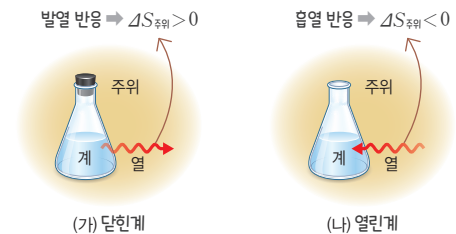
바로알기 다. 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아지므로 ΔS_{주위} < 0이다.

04 다. 설탕이 물에 자발적으로 용해되므로 ΔS_{전체} > 0이고, 전체 엔트로피는 증가한다.

바로알기 가. 설탕의 용해 반응은 흡열 반응이므로 ΔH_계 > 0이고, 계의 엔탈피는 증가한다.

나. 설탕이 물에 용해되면 설탕 분자가 물 전체에 퍼져 물과 혼합되므로 계의 엔트로피는 증가한다.

05 품평 문제 분석



가. (가)는 용기의 입구가 마개로 닫혀 있어 계와 주위 사이에 물질은 교환할 수 없고 에너지를 교환할 수 있으므로 닫힌계이다.

나. (나)는 계와 주위 사이에 물질과 에너지를 모두 교환할 수 있으므로 열린계이다.

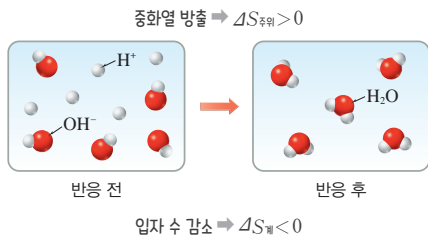
ㄷ. (나)에서 반응이 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. (나)에서 반응이 일어나면 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아지므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 따라서 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이기 위해서는 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 계의 엔트로피는 증가한다.

06 ㄱ. 드라이아이스가 승화할 때는 주위에서 열을 흡수하므로 주위의 온도가 낮아진다.

ㄴ. 드라이아이스가 승화하면 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다.

바로알기 ㄷ. 드라이아이스가 승화하는 반응이 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다.

07 **품평 문제 분석**



ㄱ. 반응 후 용액 속의 전체 입자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다.

ㄴ. 중화 반응이 일어나면 중화열을 방출하여 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피는 증가한다.

바로알기 ㄷ. 반응이 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이기 위해서는 $|\Delta S_{\text{주위}}| > |\Delta S_{\text{계}}|$ 이다.

08 ㄱ. 엔트로피는 액체 < 기체이므로 수증기가 물로 액화하면 계의 엔트로피가 감소한다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다.

ㄷ. (가)는 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다. (나)는 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이고, 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다. 따라서 $\frac{\Delta S_{\text{계}}}{\Delta S_{\text{전체}}}$ 는 (가)는 0보다 작고, (나)는 0보다 크므로 (나) > (가)이다.

바로알기 ㄴ. (나)는 발열 반응이므로 주위의 온도가 높아져 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

09 ㄱ. (가)와 (나)는 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 계의 엔트로피가 증가한다.

ㄴ. 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아지므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. (가)는 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 발열 반응이고, $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다.

ㄷ. (가)와 (나)는 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 자발적이다.

10 ㄱ. 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해져 엔트로피가 증가한다. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 온도는 ㉠ > ㉡이므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 엔트로피는 ㉠ > ㉡이다.

ㄷ. ㉢의 온도는 H_2O 의 끓는점보다 높으므로 ㉢의 온도에서 $\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ 은 자발적이고, $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다.

바로알기 ㄴ. ㉠ \rightarrow ㉢에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 로 기화하므로 계의 엔트로피는 증가한다.

11 (가) 엔트로피는 액체 < 기체이므로 차가운 컵 표면에서 수증기가 응결되어 물방울이 맺히는 변화는 계의 엔트로피가 감소한다.

모범 답안 (나)와 (다), 설탕이 물에 용해되면 설탕 분자가 물 전체에 퍼져 물과 혼합되므로 계의 엔트로피가 증가한다. 에탄올을 연소시키면 기체인 이산화 탄소와 수증기가 생성되어 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가한다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--|-------|
| 계의 엔트로피가 증가하는 변화 2가지를 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 계의 엔트로피가 증가하는 변화 1가지를 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 50 % |
| 계의 엔트로피가 증가하는 변화만 옳게 고른 경우 | 30 % |

12 **모범 답안** (1) (가) -, (나) +, (가)는 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. (나)는 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다.

(2) (가) 비자발적, (나) 자발적, (가)는 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, 흡열 반응이므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 따라서 $\Delta S_{\text{전체}} < 0$ 이므로 (가)는 비자발적이다. (나)는 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이고, 발열 반응이므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이므로 (나)는 자발적이다.

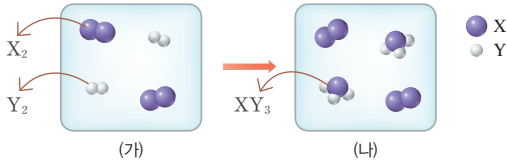
| 채점 기준 | 배점 |
|---|------|
| (1) (가)와 (나)에서 $\Delta S_{\text{계}}$ 의 부호와 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 50 % |
| (가)와 (나) 중 1가지만 $\Delta S_{\text{계}}$ 의 부호와 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 25 % |
| (2) (가)와 (나)의 자발성과 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 50 % |
| (가)와 (나) 중 1가지만 자발성과 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 25 % |

13 **모범 답안** 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이고, 흡열 반응이므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이면 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이므로 자발적이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--|-------|
| 반응이 자발적일 때의 조건을 $\Delta S_{\text{계}}$ 와 $\Delta S_{\text{주위}}$ 를 이용하여 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 반응이 자발적일 때의 조건을 $\Delta S_{\text{계}}$ 와 $\Delta S_{\text{주위}}$ 를 이용하여 서술했지만 미흡한 경우 | 50 % |

01 ② 02 ① 03 ③ 04 ⑤

01 — **꼼꼼 문제 분석**

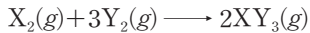


반응이 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

선택지 분석

- 계의 엔트로피는 일정하다. 감소한다
- $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다.
- $\frac{|\Delta S_{\text{계}}|}{|\Delta S_{\text{주위}}|} > 1$ 이다. < 1

전략적 풀이 ① 화학 반응식을 구하여 계의 엔트로피 변화를 파악한다.
 가. 반응물은 $X_2(g)$ 와 $Y_2(g)$ 이고, 생성물은 $XY_3(g)$ 이므로 화학 반응식은 다음과 같다.



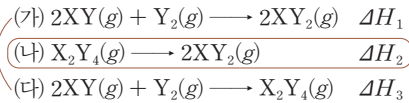
반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다.

② $\Delta S_{\text{전체}}$ 와 $\Delta S_{\text{주위}}$ 를 파악한다.

나. 반응이 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이기 위해서는 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 이 반응은 발열 반응이고, $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다.

다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이기 위해서는 $|\Delta S_{\text{주위}}| > |\Delta S_{\text{계}}|$ 이다. 따라서 $\frac{|\Delta S_{\text{계}}|}{|\Delta S_{\text{주위}}|} < 1$ 이다.

02 — **꼼꼼 문제 분석**



- 자발적 $\Rightarrow \Delta S_{\text{전체}} > 0$
- 비자발적 $\Rightarrow \Delta S_{\text{전체}} < 0$
- 기체 분자 수 감소 $\Rightarrow \Delta S_{\text{계}} < 0$
- 기체 분자 수 증가 $\Rightarrow \Delta S_{\text{계}} > 0$

선택지 분석

- 계의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{계}}$)는 (나) > (가)이다.
- (다)에서 $\Delta H_3 > 0$ 이다. < 0
- $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 > 0$ 이다. < 0

전략적 풀이 ① 화학 반응식에서 기체 분자 수 변화로부터 $\Delta S_{\text{계}}$ 를 파악한다.

가. (가)는 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소하고, (나)는 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가한다. 따라서 (가)는 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, (나)는 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{계}}$ 는 (나) > (가)이다.

② $\Delta S_{\text{전체}}$ 와 $\Delta S_{\text{계}}$ 로부터 $\Delta S_{\text{주위}}$ 를 파악한 후 ΔH 를 판단한다.

| 구분 | $\Delta H_{\text{계}}$ | $\Delta S_{\text{계}}$ | $\Delta S_{\text{주위}}$ | $\Delta S_{\text{전체}}$ |
|-----|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| (가) | - | - | + | + |
| (나) | + | + | - | - |
| (다) | - | - | + | + |

나. (다)는 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. (다)는 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이기 위해서는 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 (다)는 발열 반응이고, $\Delta H_3 < 0$ 이다.

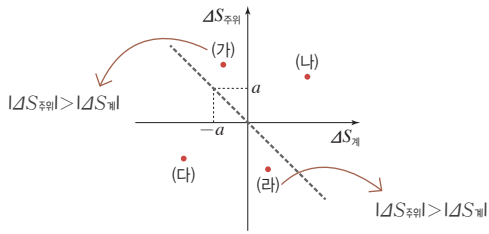
③ 헤스 법칙을 이용하여 $\Delta H_1 \sim \Delta H_3$ 의 관계를 파악한다.

다. (가)는 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이기 위해서는 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 (가)는 발열 반응이고, $\Delta H_1 < 0$ 이다.

(나)는 비자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} < 0$ 이기 위해서는 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 따라서 (나)는 흡열 반응이고, $\Delta H_2 > 0$ 이다.

(다)는 (가) - (나)이므로 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$ 이다. 따라서 $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = 2\Delta H_1 < 0$ 이다.

03 — 꼼꼼 문제 분석



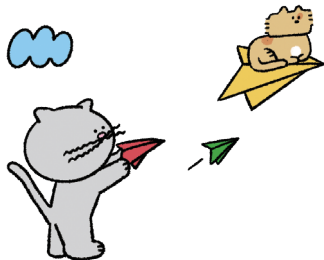
선택지 분석

- ㉠ (가)와 (다)에서 계의 엔트로피는 감소한다.
- ㉡ (다)와 (라)에서 계의 엔탈피 변화(ΔH계)는 0보다 크다.
- ㉢ (가)~(라) 중 자발적인 반응은 (나)와 (라)이다. (가)와 (나)

전략적 풀이 ① 그래프에서 ΔS계와 ΔS주위를 파악한다.

| 구분 | (가) | (나) | (다) | (라) |
|------|-----|-----|-----|-----|
| ΔS계 | - | + | - | + |
| ΔS주위 | + | + | - | - |

- ㉠. (가)와 (다)는 ΔS계 < 0이므로 계의 엔트로피는 감소한다.
- ㉡. (다)와 (라)는 ΔS주위 < 0이므로 흡열 반응이다. 흡열 반응은 ΔH계 > 0이다.
- ② ΔS전체를 파악하여 반응의 자발성을 판단한다.
- ㉢. (가)는 ΔS계 < 0, ΔS주위 > 0이고, |ΔS주위| > |ΔS계|이다. 따라서 ΔS전체 = ΔS계 + ΔS주위 > 0이므로 자발적이다.
- (나)는 ΔS전체 = ΔS계 + ΔS주위 > 0이므로 자발적이다.
- (다)는 ΔS전체 = ΔS계 + ΔS주위 < 0이므로 비자발적이다.
- (라)는 ΔS계 > 0, ΔS주위 < 0이고, |ΔS주위| > |ΔS계|이다. 따라서 ΔS전체 = ΔS계 + ΔS주위 < 0이므로 비자발적이다. 따라서 자발적인 반응은 (가)와 (나)이다.



04 — 꼼꼼 문제 분석

- ΔH계의 부호는 (가)와 (나)가 서로 다르고, (다)와 (라)가 서로 다르다.
- (가)와 (나)는 $\frac{\Delta S_{\text{계}}}{\Delta H_{\text{계}}} < 0$ 이다. ΔS계와 ΔH계의 부호가 반대이다.
- (다)와 (라)는 $\frac{\Delta S_{\text{계}}}{\Delta H_{\text{계}}} > 0$ 이다. ΔS계와 ΔH계의 부호가 같다.
- ΔS주위의 부호는 (나)와 (다)가 같다. ΔH계의 부호가 같다.
- (가)~(라) 중 자발적인 반응은 (가)와 (다)이다. ΔS전체 > 0

선택지 분석

- ㉠ (가)에서 ΔH계 < 0이다.
- ㉡ (나)와 (라)에서 ΔS계 < 0이다.
- ㉢ (다)와 (라)에서 |ΔS계| > |ΔS주위|이다.

전략적 풀이 ① (가)~(라)에서 ΔH계, ΔS계, ΔS주위의 부호를 파악한다.

| 구분 | (가) | (나) | (다) | (라) |
|------|-----|-----|-----|-----|
| ΔH계 | - | + | + | - |
| ΔS계 | + | - | + | - |
| ΔS주위 | + | - | - | + |

- ㉠. (가)와 (나)는 $\frac{\Delta S_{\text{계}}}{\Delta H_{\text{계}}} < 0$ 이므로 ΔS계 > 0, ΔH계 < 0이거나 ΔS계 < 0, ΔH계 > 0이다. (가)에서 ΔS계 < 0, ΔH계 > 0이면 (가)는 흡열 반응이므로 ΔS주위 < 0이 되어 ΔS전체 = ΔS계 + ΔS주위 < 0이고, (가)는 비자발적이다. 제시된 자료에 모순이므로 (가)에서 ΔS계 > 0, ΔH계 < 0이다. ΔH계의 부호는 (가)와 (나)가 서로 다르므로 (나)에서 ΔS계 < 0, ΔH계 > 0이다.
- ㉡. ΔS주위의 부호는 (나)와 (다)가 같으므로 (나)와 (다)는 ΔH계의 부호가 같다. 따라서 (다)에서 ΔH계 > 0이고, ΔH계의 부호는 (다)와 (라)가 서로 다르므로 (라)에서 ΔH계 < 0이다.
- (다)와 (라)는 $\frac{\Delta S_{\text{계}}}{\Delta H_{\text{계}}} > 0$ 이므로 (다)는 ΔS계 > 0, ΔH계 > 0이고, (라)는 ΔS계 < 0, ΔH계 < 0이다. 따라서 (나)와 (라)에서 ΔS계 < 0이다.
- ② ΔS전체를 이용하여 ΔS계와 ΔS주위의 크기를 비교한다.
- ㉢. (다)는 ΔH계 > 0이므로 ΔS주위 < 0이고, (라)는 ΔH계 < 0이므로 ΔS주위 > 0이다. (다)와 (라)는 ΔS계와 ΔS주위의 부호가 반대이므로 |ΔS계|와 |ΔS주위|의 크기에 따라 ΔS전체 = ΔS계 + ΔS주위의 부호가 달라져서 반응의 자발성이 달라진다. (다)는 자발적이므로 ΔS전체 > 0이기 위해서는 |ΔS계| > |ΔS주위|이다. (라)는 비자발적이므로 ΔS전체 < 0이기 위해서는 |ΔS계| > |ΔS주위|이다. 따라서 (다)와 (라)에서 모두 |ΔS계| > |ΔS주위|이다.

반응 속도

1 화학 반응 속도

01 / 화학 반응 속도

개념확인문제

156쪽

- ① 반응 속도 ② 평균 반응 속도 ③ 순간 반응 속도 ④ 초기 반응 속도 ⑤ b ⑥ c

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 (1) 0.8 mL/s (2) 0~10초
 3 ㉠ 감소 ㉡ 질량 4 (1) $\frac{2}{15}$ M/s (2) 5 M 5 ㉠ -3
 ㉡ 2 ㉢ $\frac{1}{30}$

- 1 (3) 순간 반응 속도는 시간-농도 그래프에서 특정 시간에서의 접선의 기울기로 표현된다.
- 2 (1) 10초~30초 동안 발생한 B(g)의 부피는 16 mL이므로
 반응 속도 = $\frac{16 \text{ mL}}{20 \text{ s}} = 0.8 \text{ mL/s}$ 이다.
 (2) 0~10초 동안 발생한 B(g)의 부피가 30 mL로 가장 크다.
- 3 묽은 염산이 탄산 칼슘과 반응하면 이산화 탄소 기체가 발생하여 숨을 빠져나가므로 전체 질량이 감소한다. 일정 시간 동안 감소한 전체 질량을 측정하여 반응 속도를 나타낼 수 있다.
- 4 (1) 0~30초 동안 증가한 B(g)의 몰농도는 4 M이므로 반응 속도 = $\frac{4 \text{ M}}{30 \text{ s}} = \frac{2}{15} \text{ M/s}$ 이다.
 (2) A와 B의 반응 계수는 같고, 반응이 완결된 후 B(g)의 농도는 5 M이다.
- 5 0~30분 동안 N₂는 3 M에서 2 M로 1 M 감소하고, H₂는 7 M에서 4 M로 3 M 감소하며, NH₃는 0 M에서 2 M로 2 M 증가한다. 0~30분 동안의 평균 반응 속도는 30분 동안의 농도 변화량을 반응 계수로 나누어 구하므로 다음과 같다.

$$v = -\frac{\Delta[\text{N}_2]}{\Delta t} = -\frac{(-1 \text{ M})}{30 \text{ min}} = \frac{1}{30} \text{ M/min}$$

$$v = -\frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{H}_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3} \times \frac{(-3 \text{ M})}{30 \text{ min}} = \frac{1}{30} \text{ M/min}$$

$$v = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \times \frac{2 \text{ M}}{30 \text{ min}} = \frac{1}{30} \text{ M/min}$$

개념확인문제

159쪽

- ① 반응 차수 ② 반응 속도 상수 ③ 온도 ④ $v=k[A]$
 ⑤ 반감기 ⑥ 일정

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (1) $v=k[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$ (2) 3
 3 (1) $v=k[A]$ (2) s⁻¹ 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×
 5 (1) $v=k[A]$ (2) 2초 (3) 0.2 M

- 1 (1) 반응 속도식은 반응물의 농도로 나타낸다. $v=k[A]^m[B]^n$
 (3) 반응 속도 상수는 온도에 의해서만 달라진다.
- 2 (1) 실험 I과 II에서 [NO]는 일정하고 [O₂]는 실험 II가 I의 2배일 때 초기 반응 속도는 실험 II가 I의 2배이므로 반응 속도는 [O₂]에 비례함을 알 수 있다. 실험 II와 III에서 [O₂]는 일정하고 [NO]는 실험 III이 II의 2배일 때 초기 반응 속도는 실험 III이 II의 4배이므로 반응 속도는 [NO]의 제곱에 비례함을 알 수 있다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$ 이다.
 (2) NO에 대한 2차, O₂에 대한 1차 반응이므로 전체 반응 차수는 3이다.
- 3 (1) A의 농도가 증가할 때 반응 속도가 이에 비례하여 증가하므로 1차 반응이다.
 (2) $v=k[A]$ 이므로 k의 단위는 s⁻¹이다.
- 4 (2) 시간에 따라 반응물의 농도는 감소한다. 반응 속도 상수는 반응물의 농도에 따른 반응 속도 그래프에서 기울기에 해당한다.
 (4) 온도가 높아지면 반응 속도 상수가 증가하므로 반감기가 짧아진다.
- 5 (1) 반감기가 2초로 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다.
 (2) 농도가 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간은 2초로 일정하다.
 (3) 온도가 같으므로 반감기는 2초로 일정하다. 따라서 4초에서 A의 농도는 $0.8 \text{ M} \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0.2 \text{ M}$ 이다.

대표 자료 분석 1

160쪽

- 1 $1.28 \times 10^{-4} \text{ M/s}$ 2 0.0160 M 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×

- 1 평균 반응 속도는 $\frac{0.0128 \text{ M}}{100 \text{ s}} = 1.28 \times 10^{-4} \text{ M/s}$ 이다.

2 화학 반응식에서 NO와 NO₂의 계수가 같으므로 주어진 시간 동안 같은 양(mol)만큼 반응한다. 0~50초 동안 NO의 농도가 0.0160 M만큼 증가하므로 NO₂의 농도는 0.0160 M만큼 감소한다.

3 (3) 반응이 진행될수록 접선의 기울기가 감소하므로 반응 속도는 점점 감소한다.

(4) 50초일 때의 순간 반응 속도는 50초에서 접선의 기울기에 해당하므로 0~50초 동안의 평균 반응 속도인 $\frac{0.0160}{50}$ M/s보다 작다.

대표 자료 분석 2

161쪽

1 1분 2 $n=2a$ 3 $x=n$ 4 (1) 1분 (2) 12a (3) 4배
5 (1) ○ (2) × (3) ×

1 A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하며, 시간에 따라 B의 농도 증가량도 일정한 비율로 감소한다. I에서 1분일 때 $[B]=8a$ M이므로 이후 반감기가 1번 지날 때마다 B의 농도 증가량은 $4a$ M, $2a$ M...가 된다. 3분일 때 $[B]=14a$ M $= 8a$ M $+ 4a$ M $+ 2a$ M이고, 3번의 반감기가 지난 시점이므로 반감기는 1분이다.

I에서 시간에 따른 A와 B의 농도를 정리하면 다음과 같다.

| 반응 시간 | | $t=0$ | $t=1$ min | $t=2$ min | $t=3$ min |
|-------|---|-------|-----------|-----------|-----------|
| 농도(M) | A | $8a$ | $4a$ | $2a$ | a |
| | B | 0 | $8a$ | $12a$ | $14a$ |

2 I에서 1분일 때 $[B]=8a$ M이고, 반응 계수는 A : B = 1 : 2이므로 반응한 A의 농도는 $4a$ M이고, 이는 초기 농도의 절반임을 알 수 있다. 따라서 A의 초기 농도는 $8a$ M이므로 $8a=4n$ 에서 $n=2a$ 이다.

3 반감기가 1분이고, II에서 2분일 때 $[B]=3a$ M ($= 2a$ M $+ a$ M)이므로 1분일 때 $[B]=2a$ M임을 알 수 있다. 따라서 1분일 때 반응한 A의 농도는 a M이고, A의 초기 농도는 $2a$ M이므로 $x=2a$ M이다. $n=2a$ 에서 $x=n$ 이다.

II에서 시간에 따른 A와 B의 농도를 정리하면 다음과 같다.

| 반응 시간 | | $t=0$ | $t=1$ min | $t=2$ min | $t=3$ min |
|-------|---|-------|-----------|-----------|-----------|
| 농도(M) | A | $2a$ | a | $0.5a$ | $0.25a$ |
| | B | 0 | $2a$ | $3a$ | $3.5a$ |

4 (1) A에 대한 1차 반응이므로 반감기는 일정하다. B의 농도 증가량으로부터 반감기는 1분임을 알 수 있다.

(2) I에서 1분일 때 $[B]=8a$ M이고, 반감기는 1분이므로 2분일 때 $[B]=8a$ M $+ 4a$ M $= 12a$ M이다.

(3) A에 대한 1차 반응이고, 반응물의 초기 농도는 I에서가 II에서의 4배이므로 초기 반응 속도도 I에서가 II에서의 4배이다.

5 (1) 온도가 같으므로 I과 II에서 반감기는 같다.

(2) 1차 반응이고 반응물의 농도비가 I : II = 4 : 1이므로 반응 속도비도 I : II = 4 : 1이다.

(3) I에서 0~2분 동안 반응한 $[A]=6a$ M이므로 반응 속도는 $\frac{6a \text{ M}}{2 \text{ min}} = 3a \text{ M/min}$ 이다.

내신 만점문제

162쪽~164쪽

01 ② 02 ③ 03 ㄱ 04 ⑤ 05 ⑤
06 0.070 07 ② 08 ㄱ, ㄴ 09 1 : 2 : 1 10 ⑤
11 $2A(g) \rightarrow B(g), v=k[A]$ 12 ③ 13 해설 참조
14 ① 15 ③

01 ② 평균 반응 속도는 일정한 시간 동안의 반응물 또는 생성물의 농도 변화량을 나타낸 값이다.

(바로알기) ① 반응이 시작되는 지점에서의 순간 반응 속도는 초기 반응 속도이다.

③ 시간-농도 그래프에서 접선의 기울기는 순간 반응 속도를 나타낸다.

④ 평균 반응 속도는 초기 반응 속도보다 작다.

⑤ 반응물의 농도가 증가하면 일반적으로 평균 반응 속도는 증가한다.

02 ㄱ. Mg와 HCl(aq)이 반응하면 수소 기체(H₂)가 발생한다. ㄴ. 평균 반응 속도는 20초 동안 발생한 기체의 부피가 가장 큰 0~20초 동안이 가장 빠르다.

(바로알기) ㄷ. 반응이 진행될수록 20초 동안 발생한 기체의 부피는 감소하므로 반응 속도는 느려진다.

03 ㄱ. 반응 계수는 $a=3, b=2$ 이므로 $a+b=5$ 이다.

(바로알기) ㄴ. 같은 시간 동안 감소한 농도비는 반응 계수비와 같으므로 N₂(g) : H₂(g) = 1 : 3이다.

ㄷ. 반응 속도는 같은 시간 동안 반응물 또는 생성물의 농도 변화량을 반응 계수로 나누어 나타낸다. 따라서 반응 속도는 다음과 같다.

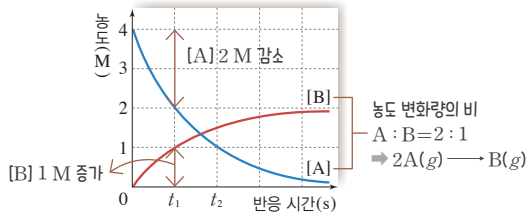
$$v = -\frac{1}{3} \frac{[H_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{[NH_3]}{\Delta t}$$

04 ㄱ. 처음에는 존재하지 않다가 시간이 갈수록 농도가 증가하므로 그림은 생성물인 C(g)의 농도를 나타낸 것이다.

ㄴ. t_1 초일 때 C(g)의 농도는 m_1 M이므로 $0 \sim t_1$ 초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{m_1 - 0}{t_1 - 0} = \frac{m_1}{t_1}$ M/s이다.

ㄷ. 시간이 지날수록 순간 반응 속도인 접선의 기울기가 감소하므로 반응 속도가 감소함을 알 수 있다.

05 ← 꼼꼼 문제 분석



- 농도 변화량의 비는 A : B = 2 : 1이다. \Rightarrow 화학 반응식은 $2A(g) \rightarrow B(g)$ 이다.
- 초기 반응 속도가 가장 빠르고 시간이 지날수록 반응 속도가 감소한다.

ㄴ. $0 \sim t_1$ 초 동안 감소한 A의 농도는 2 M이고, 증가한 B의 농도는 1 M이므로 $0 \sim t_1$ 초 동안의 평균 반응 속도는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 반응 전 A의 양을 $4n$ mol이라고 하면 t_1 초일 때 A와 B의 양(mol)은 각각 $2n$, n 이고, t_2 초일 때 A와 B의 양(mol)은 각각 n , $1.5n$ 이다. 따라서 용기 속 전체 기체의 양(mol)은 t_1 일 때 ($3n$)가 t_2 일 때 $(\frac{5}{2}n)$ 의 $\frac{6}{5}$ 배이다.

바로알기 ㄱ. 농도 변화량의 비가 A : B = 2 : 1이므로 화학 반응식의 계수비는 A : B = 2 : 1이다.

06 실험 II와 III에서 B의 농도가 같을 때 A의 농도가 3배가 되면 초기 반응 속도가 3배가 되므로 A에 대한 1차 반응이다. 실험 I과 II에서 A의 농도가 같을 때 B의 농도가 달라도 초기 반응 속도가 달라지지 않으므로 B에 대한 0차 반응이다. 따라서 A에 대한 1차 반응이므로 $v = k[A]$ 이다. 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.

07 ← 꼼꼼 문제 분석

| 시간(min) | 농도(M) | |
|---------|-------|------|
| | A(g) | B(g) |
| 0 | 0.8 | 0 |
| 2 | 0.4 | 0.2 |
| 4 | 0.2 | 0.3 |
| 6 | 0.1 | 0.35 |

Annotations: From 0 to 2 min, A decreases by 0.4, B increases by 0.2. From 2 to 4 min, A decreases by 0.2, B increases by 0.1. From 4 to 6 min, A decreases by 0.1, B increases by 0.05.

- A의 농도 감소량이 B의 농도 증가량의 2배이다. \Rightarrow 반응 몰비는 A : B = 2 : 1이다. \Rightarrow 반응 계수비 $a : b = 2 : 1$ 이다.
- 2분 간격으로 A의 농도 감소량이 절반으로 줄어든다.

ㄴ. 4분~6분에서 A의 농도는 0.1 M 감소하고, B의 농도는 0.05 M 증가하므로 6분일 때 $[A]=0.1$ M, $[B]=0.35$ M이다. 따라서 전체 기체의 농도는 0.45 M이다.

바로알기 ㄱ. 감소하는 A의 농도 : 증가하는 B의 농도 = 2 : 1이므로 $a : b = 2 : 1$ 이다.

ㄷ. 온도가 일정하므로 반응 속도 상수는 일정하다.

08 ㄱ. 반응 속도식으로부터 O_3 에 대한 1차, NO에 대한 1차 반응이므로 전체 반응 차수는 2이다.

ㄴ. O_3 과 NO_2 의 반응 계수가 같으므로 같은 시간 동안 O_3 과 NO_2 의 농도 변화량은 같다.

바로알기 ㄷ. $k = \frac{v}{[O_3][NO]}$ 이므로 k 의 단위는 $M^{-1} \cdot s^{-1}$ 이다.

09 A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. 초기 반응 속도의 비는 I : II : III = $\frac{0.1}{V_1} : \frac{0.2}{V_2} : \frac{0.2}{V_3} = 1 : 1 : 2$ 이므로 $V_1 : V_2 : V_3 = 1 : 2 : 1$ 이다.

10 ㄱ. A의 농도는 1분 동안 0.25 M씩 감소하므로 A의 농도와 관계없이 반응 속도가 일정하다. 따라서 0차 반응이다.

ㄴ. 1분 동안 A의 농도는 0.25 M씩 감소한다. 따라서 $x = 1.5 - 0.25 = 1.25$ 이다.

ㄷ. 0차 반응이므로 반응 속도는 A의 농도와 관계없이 일정하다. 따라서 $v = k$ 이다.

11 1분이 될 때까지 A는 8개에서 4개로 감소하고, B는 2개 생성되므로 반응 몰비, 즉 반응 계수비는 A : B = 2 : 1이다. 따라서 화학 반응식은 $2A(g) \rightarrow B(g)$ 이다. 1분~2분 동안 A는 4개에서 2개로 감소하므로 반감기가 1분으로 일정한 반응임을 알 수 있다. 따라서 A에 대한 1차 반응이고, 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다.

12 ㄱ. 농도가 절반으로 감소하는 반감기는 1분으로 일정하다. ㄴ. 반감기가 1분으로 일정한 반응이므로 A에 대한 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다.

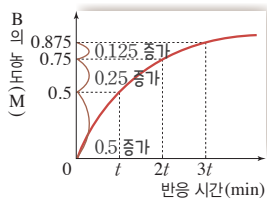
바로알기 ㄷ. 2분일 때 반응한 A의 농도는 0.9 M이므로 생성된 B는 1.8 M이다. 따라서 전체 기체의 농도는 0.3 M + 1.8 M = 2.1 M이다.

13 B의 농도는 0~t분 동안 2 M 증가하고, t분~2t분 동안 1 M 증가하므로 2t분~3t분 동안 0.5 M 증가하여 $x=3.5$ 이다. t분이 지날 때마다 B의 농도 증가량이 절반으로 감소하므로 반감기가 t분으로 일정하다.

모범 답안 t분이 지날 때마다 B의 농도 증가량이 절반으로 감소하므로 반감기가 t분으로 일정하고, A에 대한 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이고, 2t분~3t분 동안 [B]는 0.5 M 증가하므로 $x=3.5$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|----------------------------|-------|
| 반응 속도식과 x를 모두 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 반응 속도식과 x 중 1가지만 옳게 서술한 경우 | 50 % |

14 **꼼꼼 문제 분석**



- 0~t분 동안 B의 농도는 0.5 M 증가하고, t분~2t분 동안 B의 농도는 0.25 M 증가한다. t분이 지날 때마다 B의 농도 증가량이 절반으로 감소하므로 이 반응은 반감기가 t분으로 일정하다. → A에 대한 1차 반응이다.
- A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도는 A의 농도에 비례한다.

ㄱ. t분이 지날 때마다 B의 농도 증가량이 절반으로 감소하므로 반감기는 t분이다.

바로알기 ㄴ. A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다.

ㄷ. $v=k[A]$ 이므로 A 4 M를 넣어 반응시키면 초기 농도가 2배가 되어 반응 속도는 2배가 된다.

15 ㄱ. 온도가 일정할 때 기체의 압력은 양(mol)에 비례한다. t초가 지날 때마다 전체 기체의 압력 증가량이 절반으로 감소하므로 반감기는 t초로 일정하며, A에 대한 1차 반응이다.

ㄴ. 반감기가 t초이므로 t초일 때 A의 부분 압력은 1.6기압이다. 반응 계수비는 A : B : C = 4 : b : 1이므로 t초일 때 B의 부분 압력은 0.4b기압, C의 부분 압력은 0.4기압이다. 전체 기체의 압력이 4.4기압이므로 $1.6 + 0.4b + 0.4 = 4.4$ 에서 $b=6$ 이다.

바로알기 ㄷ. 2t초일 때는 반감기가 2번 지난 시점이므로 A의 부분 압력은 0.8기압, C의 부분 압력은 0.6기압이다. 따라서

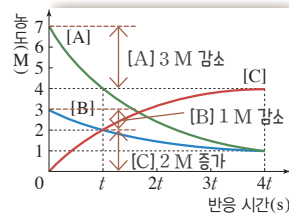
$$\frac{\text{C의 부분 압력}}{\text{A의 부분 압력}} = \frac{3}{4}$$

실력 UP 문제

165쪽

- 01 ① 02 ③ 03 ⑤ 04 ③

01 **꼼꼼 문제 분석**



반응 계수비는 A : B : C = 3 : 1 : 2
 $\Rightarrow 3A(g) + B(g) \rightarrow 2C(g)$

- 0~t초 동안 A의 평균 반응 속도는 $\frac{3}{t-0}$ M/s이고, t초~4t초 동안 A의 평균 반응 속도는 $\frac{3}{4t-t} = \frac{1}{t}$ M/s이다.

ㄱ. 반응 몰비는 A : C = 3 : 2이므로 $a : c = 3 : 2$ 이다.

바로알기 ㄴ. 0~t초 동안과 t초~4t초 동안 감소한 [A]는 3 M로 같다. 따라서 평균 반응 속도는 0~t초 동안이 t초~4t초 동안의 3배이다.

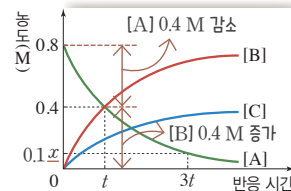
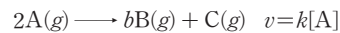
ㄷ. 반응물 A의 농도가 감소하므로 시간이 지날수록 C의 생성 속도는 감소한다.

02 t=0일 때 A의 농도비는 I : II = 1 : 2이고 초기 반응 속도의 비도 이와 같으므로 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. 따라서 A에 대한 1차 반응이고, 반감기는 일정하다. II에서 3분일 때는 $[A] = 64 \text{ M} \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 8 \text{ M}$ 이므로 반감기가 3번 지난 시점이다.

따라서 I에서 $x \text{ M} = 32 \text{ M} \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 4 \text{ M}$ 이고, 감소한 [A] = 28 M이므로 반응 몰비는 A : B : C = 28 : 42 : 7 = 4 : 6 : 1이다. 따라서 $a=4$, $b=6$ 이다. II에서 3분일 때 감소한 [A] = 56 M이

므로 $y=84$ 이다. 따라서 $\frac{a \times y}{b \times x} = \frac{4 \times 84}{6 \times 4} = 14$ 이다.

03 **꼼꼼 문제 분석**



- 0~t초 동안 A는 0.4 M 감소하고, B는 0.4 M 증가한다. 따라서 반응 몰비, 즉 반응 계수비는 A : B = 1 : 1이다. → $b=2$ 이다.
- A에 대한 1차 반응이므로 반감기는 t로 일정하다.

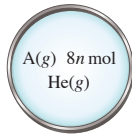
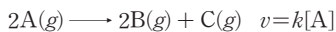
ㄱ. 0~t에서 감소한 A의 농도와 증가한 B의 농도가 0.4 M로 같으므로 $b=2$ 이다. A에 대한 1차 반응이고, 반감기는 t이므로 3t일 때는 3번의 반감기가 지난 시점이다. 따라서 A의 농도는 $0.8 \text{ M} \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 0.1 \text{ M}$ 이고, $x=0.1$ 이다.

ㄴ. A에 대한 1차 반응이고, 반감기는 t이므로 A의 농도는 t일 때가 2t일 때의 2배이다.

ㄷ. 2t~3t 동안 반응 몰비는 A : B : C = 2 : 2 : 1이다. A의 농도는 0.1 M 감소하므로 B의 농도는 0.1 M 증가하고, 0~3t 동안 A의 농도는 0.7 M 감소하므로 C의 농도는 0.35 M 증가

한다. 따라서 $\frac{2t \sim 3t \text{ 동안 } B(g) \text{의 평균 반응 속도}}{0 \sim 3t \text{ 동안 } C(g) \text{의 평균 반응 속도}} = \frac{0.1}{\frac{0.35}{3t-0}} = \frac{6}{7}$ 이다.

04 - 곱셈 문제 분석



- A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다.
- 반감기에 따른 A~C의 양(mol)은 다음과 같다.

| 반감기 | 물질의 양(mol) | | | |
|--------|------------|------|-------|-------|
| | A(g) | B(g) | C(g) | He(g) |
| 1회 | 4n | 4n | 2n | xn |
| 2회(t) | 2n | 6n | 3n | xn |
| 3회 | n | 7n | 3.5n | xn |
| 4회(2t) | 0.5n | 7.5n | 3.75n | xn |

- 반응 시간이 t일 때, He(g)의 양(mol)은 A의 양(mol)과 같고 전체 기체의 양(mol)의 $\frac{2}{13}$ 배이다. \Rightarrow t를 반감기가 2번 지난 시점이라고 하면 $x=2$ 이고, 제시된 자료에 맞는다.

반응 시간이 t일 때 He(g)의 양이 전체 기체의 양(mol)의 $\frac{2}{13}$ 배이므로 A(g)~C(g)의 양(mol)은 각각 2n, 6n, 3n이고, He(g)의 양(mol)은 2n이다. 따라서 t는 반감기가 2번 지난 시점 이므로 2t는 반감기가 4번 지난 시점이다. 따라서 2t일 때 B의 양 (mol)은 $4n+2n+n+0.5n=7.5n$ 이고, He(g)의 양(mol)은 2n 이다. 반응 시간이 2t일 때 $\frac{\text{He(g)의 양(mol)}}{\text{B(g)의 양(mol)}} = \frac{2n}{7.5n} = \frac{4}{15}$ 이다.

02 / 유효 충돌과 활성화 에너지

개념 확인문제

168쪽

- ① 유효 충돌 ② 활성화 에너지 ③ 활성화 ④ 활성화물
⑤ 반응 엔탈피 ⑥ 발열 ⑦ 흡열

- 1 (가) 느리게 충돌하기 때문 (나) 충돌 방향이 적합하지 않기 때문
2 (1) ○ (2) × (3) × 3 160 kJ 4 (1) × (2) ○ (3) ×

1 (다)에서 반응이 일어났으므로 유효 충돌이 일어났다. 반응이 일어나기에 충분한 에너지를 가진 반응물 입자들이 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충돌해야 한다.

2 (1) 정반응의 활성화 에너지는 반응물이 생성물이 되기 위해 필요한 에너지이므로 183 kJ이다.

(2) 역반응의 활성화 에너지는 $183 \text{ kJ} - 9.7 \text{ kJ} = 173.3 \text{ kJ}$ 이다.

(3) 반응 엔탈피가 0보다 크므로 정반응은 흡열 반응이고, 역반응의 활성화 에너지가 정반응의 활성화 에너지보다 작다.

3 정반응의 활성화 에너지 - 역반응의 활성화 에너지 = 반응 엔탈피(ΔH)이므로 역반응의 활성화 에너지는 $250 \text{ kJ} - 90 \text{ kJ} = 160 \text{ kJ}$ 이다.

4 (1) 반응이 일어나기 위해서는 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가져야 한다.

(2) 활성화 에너지가 E_a 일 때 E_a 이상의 운동 에너지를 갖는 분자가 반응할 수 있다.

(3) 활성화 에너지가 클수록 반응 속도가 느리므로 활성화 에너지가 E_a 일 때 반응 속도가 가장 느리다.

대표 자료 분석 1

169쪽

- 1 x kJ, y kJ 2 $\Delta H = (x - y) \text{ kJ}$

3 (1) 크 (2) 활성화물 (3) q

4 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 증가하고, 반응 속도가 빨라진다.

5 (1) × (2) × (3) ○

1 정반응의 활성화 에너지는 반응물과 활성화물의 엔탈피 차와 같고, 역반응의 활성화 에너지는 생성물과 활성화물의 엔탈피 차와 같다. 따라서 정반응의 활성화 에너지는 x kJ이고, 역반응의 활성화 에너지는 y kJ이다.

2 반응 엔탈피(ΔH)=정반응의 활성화 에너지-역반응의 활성화 에너지이다. 따라서 $\Delta H=(x-y)$ kJ이다.

- 3 (1) $\Delta H=(x-y)$ kJ이고 $x>y$ 이므로 $\Delta H>0$ 이다.
 (2) M(g)은 반응물이 생성물로 변하는 과정에서 에너지가 가장 높은 상태에 있으므로 활성화물이다.
 (3) (가)의 x kJ은 정반응의 활성화 에너지이므로, x kJ 이상의 에너지를 가진 분자가 반응할 수 있다. 따라서 (가)에서 x 는 (나)에서 q 와 같다.

4 (가)에서 x 값이 감소하면 (나)에서 q 값이 작아지는 것이므로 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

- 5 (1) 반응 엔탈피는 반응물과 생성물의 엔탈피 차이이며, 활성화 에너지의 크기와 관계없다. 온도가 일정하므로 반응 엔탈피는 변하지 않는다.
 (2) M(g)은 에너지가 가장 높은 불안정한 상태이다.
 (3) $\Delta H>0$ 이므로 정반응은 흡열 반응이다.

나신만점문제

170쪽-171쪽

- 01 ⑤ 02 해설 참조 03 ② 04 360 kJ 05 ③
 06 (나)>(가) 07 ①

01 ㄱ. (가)에서 반응이 일어났으므로 생성물은 NO(g)와 CO₂(g)이다.

ㄴ. (나)에서 N와 C가 충돌하는 방향이 적합하지 않았기 때문에 반응이 일어나지 않았다.

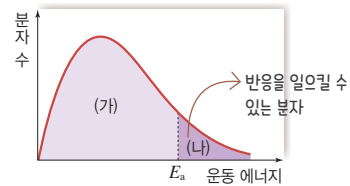
ㄷ. (가)에서 반응이 일어났으므로 반응이 일어나기에 충분한 에너지를 갖고, 적합한 방향으로 충돌이 일어나 활성화물이 형성된다.

02 유효 충돌이 일어나기 위해서는 충분한 에너지와 적합한 충돌 방향을 모두 만족해야 한다.

모범 답안 유효 충돌이 일어나기 위해서는 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지면서 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충돌해야 한다. 따라서 유효 충돌을 하는 분자는 (가)이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--------------------------------------|-------|
| (가)를 쓰고, 유효 충돌의 2가지 조건을 모두 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| (가)만 쓴 경우 | 50 % |

03 **꼼꼼 문제 분석**



- (가) 영역의 분자는 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지인 활성화 에너지보다 운동 에너지가 작으므로 반응이 일어날 수 없다.
- (나) 영역의 분자는 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지므로 적합한 방향으로 충돌이 일어나면 반응이 일어난다.

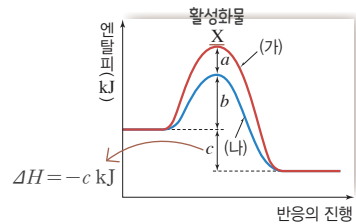
ㄴ. (나) 영역의 분자는 운동 에너지가 활성화 에너지보다 크므로 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충돌이 일어나면 유효 충돌이 되므로 반응이 일어난다.

바로알기 ㄱ. (가) 영역의 분자는 운동 에너지가 활성화 에너지보다 작으므로 충돌 방향이 적합해도 반응이 일어나지 않는다.

ㄷ. 활성화 에너지가 작아지면 반응이 일어날 수 있는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 증가한다.

04 반응 엔탈피(ΔH)는 정반응의 활성화 에너지(E_a)에서 역반응의 활성화 에너지(E_a')를 빼서 구할 수 있다. 따라서 $134 \text{ kJ} - E_a' = -226 \text{ kJ}$ 이므로 $E_a' = 360 \text{ kJ}$ 이다.

05 **꼼꼼 문제 분석**



- (가)와 (나)에 관계없이 반응 엔탈피(ΔH)는 $-c$ kJ로 일정하다.
- (가)에서 정반응의 활성화 에너지는 $(a+b)$ kJ이고, 역반응의 활성화 에너지는 $(a+b+c)$ kJ이다.
- (나)에서 정반응의 활성화 에너지는 b kJ이고, 역반응의 활성화 에너지는 $(b+c)$ kJ이다.

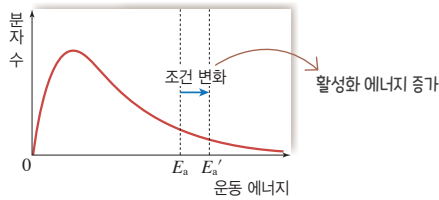
ㄱ. X는 (가)에서 에너지가 가장 높은 활성화 상태에 있는 불안정한 활성화물이다.

ㄷ. (나)에서 정반응의 활성화 에너지는 b kJ이고, 역반응의 활성화 에너지는 $(b+c)$ kJ이다.

바로알기 ㄴ. 반응 엔탈피는 활성화 에너지의 크기와 관계없다. 온도가 일정하므로 반응 경로와 관계없이 반응 엔탈피(ΔH)는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

06 활성화 에너지가 작을수록 반응이 일어나기 위해 필요한 에너지가 작으므로 반응 속도가 빠르다.

07 **꼼꼼 문제 분석**



조건 변화로 활성화 에너지가 E_a 에서 E_a' 으로 증가하였다. → 활성화 에너지(E_a') 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수가 감소하였다. → 반응 속도가 느려진다.

ㄱ. 활성화 에너지가 증가하면 반응을 일으킬 수 있는 운동 에너지를 가진 분자 수가 감소하므로 반응 속도가 감소한다.

바로알기 ㄴ. 활성화 에너지가 커지므로 반응이 일어나기에 충분한 에너지를 갖는 분자 수가 감소하여 유효 충돌하는 분자 수가 감소한다.

ㄷ. 반응 엔탈피는 활성화 에너지의 크기와 관계없다. 온도가 일정하므로 반응 엔탈피는 변하지 않는다.

실력 UP 문제

171쪽

01 ① **02** ③

01 ㄱ. $\Delta H = a \text{ kJ} > 0$ 이므로 정반응은 흡열 반응이다.

바로알기 ㄴ. 정반응은 흡열 반응이므로 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 크다. 따라서 (가)는 역반응이다.

ㄷ. 반응 엔탈피는 정반응의 활성화 에너지에서 역반응의 활성화 에너지를 빼서 구할 수 있다. (나)는 정반응이므로 $3b - b = a$ 이다. 따라서 $a = 2b$ 이다.

02 ㄱ. $\Delta H < 0$ 이므로 정반응이 발열 반응이다. 따라서 역반응의 활성화 에너지가 정반응의 활성화 에너지보다 크다.

ㄷ. 초기 반응 속도가 $v_2 > v_3$ 이므로 반응 속도 상수는 II에서가 III에서보다 크다.

바로알기 ㄴ. I과 II는 온도가 같은데, 초기 반응 속도가 $v_1 > v_2$ 이므로 정반응의 활성화 에너지는 I에서가 II에서보다 작다.

중단원 핵심정리

172쪽

- ① 평균 반응 속도
- ② 순간 반응 속도
- ③ 초기 반응 속도
- ④ 온도
- ⑤ 반감기
- ⑥ 일정
- ⑦ 유효 충돌
- ⑧ 비유효 충돌
- ⑨ 활성화 에너지

중단원 마무리 문제

173쪽~176쪽

- 01 빠른 반응: (다), (라), 느린 반응: (가), (나)
 - 02 ③
 - 03 0~20초, 1.25 mL/s
 - 04 ④
 - 05 ⑤
 - 06 ③
 - 07 ③
 - 08 ③
 - 09 ②
 - 10 ②
 - 11 ⑤
 - 12 ④
 - 13 ②
 - 14 ③
 - 15 ③
 - 16 ①
 - 17 (1) 1.2 M
- (2) 해설 참조 **18** 해설 참조 **19** 해설 참조

01 철의 부식과 석회 동굴의 생성은 반응 속도가 느린 반응이고, 메테인의 연소와 중화 반응은 반응 속도가 빠른 반응이다.

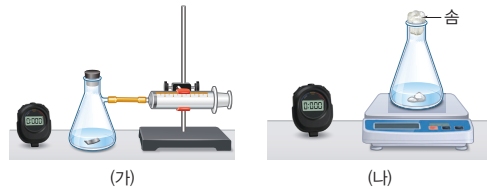
02 ㄱ. 마그네슘 조각과 묽은 염산이 반응하면 수소(H_2) 기체가 발생한다.

ㄴ. 반응 속도는 일정 시간 동안 발생한 기체의 부피를 측정하여 구할 수 있다.

바로알기 ㄷ. 반응이 진행될수록 반응물의 농도는 감소하므로 반응 속도는 점점 느려진다.

03 20초 동안 발생한 기체의 부피는 시간이 지날수록 감소한다. 따라서 평균 반응 속도는 0~20초 동안이 가장 빠르고, 이 구간에서의 반응 속도 $v = \frac{25 \text{ mL}}{20 \text{ s}} = 1.25 \text{ mL/s}$ 이다.

04 **꼼꼼 문제 분석**



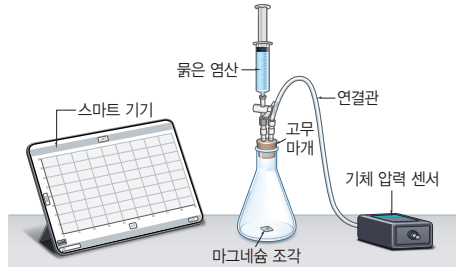
- (가)에서는 가지 달린 삼각 플라스크에 주사기를 연결하여 주사기에 기체가 모이면서 증가하는 부피를 시간에 따라 측정한다.
- (나)에서는 삼각 플라스크의 입구를 솜으로 느슨하게 막아 기체가 빠져나가게 하여 감소하는 질량을 시간에 따라 측정한다.

ㄴ. (가)에서는 일정한 시간 간격으로 기체의 부피 변화를 측정해야 하고, (나)에서는 일정한 시간 간격으로 감소한 전체 질량으로부터 기체의 양 변화를 측정해야 한다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 시간이 지남에 따라 반응물의 농도가 감소하므로 반응 속도가 감소한다.

바로알기 ㄱ. (가)에서는 발생한 기체가 삼각 플라스크에서 주사기로 이동하게 하여 부피를 측정해야 하고, (나)에서는 발생한 기체가 삼각 플라스크에서 빠져나가 전체 질량이 감소함을 이용하여 기체의 양 변화를 알 수 있다.

05 **꼼꼼 문제 분석**



- 마그네슘이 들어 있는 삼각 플라스크에 묽은 염산을 넣으면 발생하는 기체의 압력이 기체 압력 센서에 의해 시간에 따라 측정되어 스마트 기기에 나타나게 된다.
- 이 과정에서 반응물을 새로 넣기 위해 고무마개를 열면 외부 기체가 출입하게 되어 플라스크 속 기체의 압력을 측정할 수 없으므로 이에 유의한다.
- 센서의 측정 가능한 최대 압력값을 토대로 발생하는 기체의 양을 추론하고, 이를 바탕으로 마그네슘의 양을 결정해야 한다.

- ① 마그네슘과 염산이 반응하는 실험이므로 발생하는 기체는 수소(H_2)이다.
- ② 삼각 플라스크에서 염산이 마그네슘과 반응하면 수소 기체가 발생하고, 이때 플라스크에 연결된 압력 센서를 통해 시간에 따라 증가한 압력을 구해 반응 속도를 측정한다.
- ③ 고무마개로 삼각 플라스크의 입구를 막고 기체가 출입하지 않게 해야 발생한 기체의 압력을 압력 센서를 통해 정확히 측정할 수 있다.
- ④ 압력 센서의 측정 가능한 최대 압력을 미리 확인하여 반응시킬 마그네슘의 양을 결정해야 한다.

바로알기 ⑤ 반응이 진행된 후 마그네슘 조각을 더 넣어 주면 밀폐된 상태가 해제되므로 발생한 기체가 빠져나가게 된다. 따라서 이 반응은 처음에 넣어 준 마그네슘 조각이 모두 반응할 때까지 반응이 진행되게 해야 한다.

06 ㄱ. 실험 I과 II를 비교하면 B에 대한 1차 반응임을 알 수 있고, II와 III을 비교하면 A에 대한 2차 반응임을 알 수 있다. 따라서 반응 속도식은 $v = k[A]^2[B]$ 이다.

ㄴ. 반응 속도 상수 $k = \frac{v}{[A]^2[B]}$ 이므로 k 의 단위는 $\frac{M/s}{M^2 \cdot M} = M^{-2} \cdot s^{-1}$ 이다.

바로알기 ㄷ. A와 B의 초기 농도가 각각 1.0 M이면 실험 I에

서의 농도의 10배이므로 초기 반응 속도는 1000배가 된다. 따라서 초기 반응 속도는 25 M/s이다.

07 **꼼꼼 문제 분석**

| 시간(s) | [A](M) | [B](M) |
|-------|--------|--------|
| 0 | 0.8 | 0 |
| 2초 걸림 | 0.4 | 0.2 |
| 4 | 0.2 | 0.3 |
| 2초 걸림 | 0.1 | 0.1 |

- 0~2초 동안 A는 0.4 M 감소하고, B는 0.2 M 증가한다. → 반응 몰비는 A : B = 2 : 1이므로 화학 반응식은 $2A(g) \rightarrow B(g)$ 이다.
- A의 농도는 2초가 지날 때마다 절반으로 감소한다. → 반감기가 2초로 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다.

ㄱ. 0~2초일 때 감소한 A의 농도는 0.4 M이고, 증가한 B의 농도는 0.2 M이므로 반응 몰비는 A : B = 2 : 1이다. 따라서 반응 계수비는 $a : b = 2 : 1$ 이다.

ㄷ. A의 농도가 절반으로 감소하는 데 걸리는 시간이 2초이다. 따라서 반감기가 일정하므로 A에 대한 1차 반응이고, 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다.

바로알기 ㄴ. 온도가 일정하므로 반응 속도 상수는 일정하다.

08 ㄱ. (가)와 (나)는 반응 차수가 1이므로 반감기가 일정하다. 20초일 때 (가)와 (나)에서 반응물의 농도는 각각 $\frac{1}{2}$ 배, $\frac{1}{4}$ 배로 감소한다. 따라서 (가)는 반감기가 20초이고, (나)는 반감기가 10초임을 알 수 있으므로 반감기는 (가)가 (나)의 2배이다.

ㄷ. 40초일 때는 (가)에서 반감기가 2번 지난 시점이므로 반응물의 농도는 0.2 M이고, (나)에서 반감기가 4번 지난 시점이므로 반응물의 농도는 $2.0 M \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{8} M$ 이다. 따라서 반응물의 농도는 (가) > (나)이다.

바로알기 ㄴ. 0~20초 동안 평균 반응 속도는 (가)와 (나)에서 각각 $\frac{0.4 M}{20 s}$, $\frac{1.5 M}{20 s}$ 이므로 (나)가 (가)의 $\frac{15}{4}$ 배이다.

09 ① (가)~(다)에서 모두 X의 농도가 절반으로 감소하는 데 걸리는 시간이 3초로 같으므로 모두 X에 대한 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v = k[X]$ 이다.

③ 반감기는 반응물의 농도가 절반으로 감소하는 데 걸리는 시간으로, (가)~(다)에서 모두 반감기는 3초로 같다.

④ (나)에서 초기 농도는 8 M이고, 12초일 때는 반감기가 4번 지난 시점이므로 X의 농도는 $8 M \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 0.5 M$ 이다.

⑤ X에 대한 1차 반응이므로 3초일 때 순간 반응 속도는 X의 농

도에 비례한다. 3초일 때 X의 농도는 (나)와 (다)에서 각각 4 M, 2 M이므로 순간 반응 속도는 (나)에서가 (다)에서의 2배이다.

바로알기 ② 0~3초 동안 평균 반응 속도는 (가)에서가 $\frac{6\text{ M}}{3\text{ s}} = 2\text{ M/s}$ 이고, (나)에서가 $\frac{4\text{ M}}{3\text{ s}} = \frac{4}{3}\text{ M/s}$ 이므로 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

10 **꼼꼼 문제 분석**



| | | | | |
|---------------------|----|--|-----|------|
| 반응 시간 | 0 | $\frac{1}{4}$ 배 | t | $2t$ |
| A(g)의 순간 반응 속도(상댓값) | 16 | $\frac{4}{16} \rightarrow \textcircled{1} 4$ | | 1 |

- A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다.
- A에 대한 1차 반응이므로 A의 순간 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. \rightarrow 반응 시간이 0일 때와 $2t$ 일 때 A의 농도비는 각각 16 : 1 이므로 $2t$ 일 때는 4번의 반감기가 지난 시점임을 알 수 있다. \rightarrow 반감기는 $0.5t$ 이다.

ㄴ. t 일 때는 반감기가 2번 지난 시점이므로 A의 농도는 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배이다. A의 순간 반응 속도는 A의 농도에 비례하므로 $\textcircled{1}$ 은 4이다.

바로알기 ㄱ. A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. $2t$ 일 때 A의 농도는 초기 농도의 $\frac{1}{16}$ 배이므로 반감기가 4번 지난 시점이다. 따라서 반감기는 $0.5t$ 이다.

ㄷ. A에 대한 1차 반응이므로 순간 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. 따라서 0~ t 동안 감소한 A의 농도를 $12n\text{ M}$ 라고 하면, 생성된 B의 농도는 $24n\text{ M}$ 이고 $t \sim 2t$ 동안 감소한 A의 농도는 $3n\text{ M}$ 이므로 생성된 B의 농도는 $6n\text{ M}$ 이다.

| | | | | | | |
|--------|---|--------|-------|--------|-------|-------|
| 반응 시간 | 0 | $0.5t$ | t | $1.5t$ | $2t$ | |
| 농도 (M) | A | $16n$ | $8n$ | $4n$ | $2n$ | n |
| | B | 0 | $16n$ | $24n$ | $28n$ | $30n$ |

따라서 t 일 때 $[B] = 24n\text{ M}$ 이고, $2t$ 일 때 $[B] = 30n\text{ M}$ 이므로 $\frac{2t\text{일 때 } [B]}{t\text{일 때 } [B]} = \frac{30n\text{ M}}{24n\text{ M}} = \frac{5}{4}$ 이다.

11 ㄱ. A의 반감기가 2분으로 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다.

ㄴ. (가)는 농도가 감소하므로 A(g)이고, (나)의 농도 증가량이 (가)의 농도 감소량의 절반이므로 (나)는 C(g)이다.

ㄷ. 4분이 될 때까지 감소한 A의 농도는 0.30 M 이므로 증가한 B의 농도는 0.30 M , C의 농도는 0.15 M 이다. 용기에 들어 있는 A의 농도는 0.10 M 이므로 전체 기체의 농도는 0.55 M 이다.

12 **꼼꼼 문제 분석**



| | | | | |
|-------------------|---------------|---------------|------|----|
| 반응 시간(min) | 0 | 1 | 2 | 3 |
| $\frac{[B]}{[A]}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{5}{2}$ | $x7$ | 16 |

- A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다.
- 반응 시간이 0일 때 $[A] = 4n\text{ M}$, $[B] = n\text{ M}$ 라고 하면, 반감기가 1번 지난 시점의 $[A] = 2n\text{ M}$, $[B] = 5n\text{ M}$ 이다. 반감기가 1번씩 지날 때마다 [A]와 [B]는 다음과 같다.

| | | | |
|--------|--------|--------|-------------------|
| 반감기(회) | [A](M) | [B](M) | $\frac{[B]}{[A]}$ |
| 0 | $4n$ | n | $\frac{1}{4}$ |
| 1 | $2n$ | $5n$ | $\frac{5}{2}$ |
| 2 | n | $7n$ | 7 |
| 3 | $0.5n$ | $8n$ | 16 |

- 따라서 3분일 때는 반감기가 3회 지난 시점이므로 2분일 때는 반감기가 2회 지난 시점이다.

A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. A와 B의 초기 농도를 각각 $4n\text{ M}$, $n\text{ M}$ 라고 하면, 반감기가 3번 지난 시점에서 A와 B의 농도는 각각 $0.5n\text{ M}$, $8n\text{ M}$ 이고, $\frac{[B]}{[A]} = 16$ 이다. 따라서 2분일 때 $[A] = n\text{ M}$, $[B] = 7n\text{ M}$ 이므로 $x = 7$ 이다.

13 ㄴ. 유효 충돌이 일어나려면 반응이 일어나기에 적합한 방향과 활성화 에너지 이상의 에너지를 가져야 하므로 활성화 에너지보다 작은 에너지를 가진 입자인 경우 방향이 맞아도 유효 충돌이 일어나지 않는다.

바로알기 ㄱ. 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.

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 농도에 영향을 받지 않는다.

15 ㄱ. (가)는 H-I 결합 일부가 끊어지고 새로운 결합 일부가 형성된 매우 불안정한 활성화 상태의 분자이다.

ㄷ. 반응이 일어나기 위해서는 반응을 일으킬 수 있는 충분한 운동 에너지를 가진 입자가 적합한 방향으로 충돌해야 한다. 활성화 에너지($a\text{ kJ}$)가 작아지면 반응이 일어날 수 있는 운동 에너지를 가진 입자 수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

바로알기 ㄴ. 반응 엔탈피(ΔH)는 정반응의 활성화 에너지-역반응의 활성화 에너지이므로 $(a-b)$ kJ이다.

16 ㄱ. 반응을 일으킬 수 있는 분자는 E_a 이상의 에너지를 갖는 분자이다. E_a 이상의 에너지를 갖는 분자 수는 (나) > (가)이다.

바로알기 ㄴ. E_a 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 많을수록 반응 속도가 빠르므로 반응 속도는 (나) > (가)이다.

ㄷ. 반응 속도 상수는 온도에 따라 변하므로 (가)와 (나)에서 반응 속도 상수는 다르다.

17 (1) 반감기가 10초로 일정하므로 $A(g)$ 에 대한 1차 반응이다. 반응 몰비는 $A : B = 1 : 2$ 이고 10초일 때 $B(g)$ 1.2 M가 생성되었으므로 $A(g)$ 의 초기 농도는 10초일 때 $B(g)$ 의 농도와 같다. 반감기는 10초이므로 반응한 $A(g)$ 의 농도는 0.6 M이고, 이 농도의 2배가 $A(g)$ 의 초기 농도이다. 따라서 $A(g)$ 의 초기 농도는 1.2 M이다.

모범 답안 (1) 1.2 M

(2) 30초일 때는 반감기가 3번 지난 시점이므로 $A(g)$ 의 농도는 $1.2 \text{ M} \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 0.15 \text{ M}$ 이고, 반응한 $A(g)$ 의 농도는 1.05 M이다. 생성된 $B(g)$ 의 농도는 반응한 $A(g)$ 의 농도의 2배이므로 $1.05 \text{ M} \times 2 = 2.1 \text{ M}$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|---|-----|
| (1) A의 초기 농도를 옳게 구한 경우 | 50% |
| (2) 반감기의 횟수를 통해 x 를 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 50% |
| 반감기의 횟수만 옳게 구한 경우 | 25% |

18 반응 몰비는 $A : B : C = 4 : b : 1$ 이다. A의 초기 양은 3.2 mol이고, 전체 기체의 양은 t 초일 때와 $2t$ 초일 때 각각 1.2 mol, 0.6 mol 증가한다.

모범 답안 t 초가 지날 때마다 전체 기체의 양(mol)의 증가량이 절반으로 감소하므로 반감기는 t 초이다. t 초일 때 A의 양은 1.6 mol이고, 생성된 C의 양은 0.4 mol이므로 생성된 B의 양은 2.4 mol이다. 따라서 $b=6$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--------------------------------|------|
| b 를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100% |
| b 만 옳게 구한 경우 | 50% |

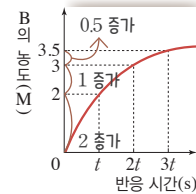
19 반응 엔탈피는 정반응의 활성화 에너지에서 역반응의 활성화 에너지를 빼서 구할 수 있다.

모범 답안 반응 엔탈피(ΔH) = $E_a - E_a'$ 이다. 따라서 $-200 \text{ kJ} = E_a - 211 \text{ kJ}$ 에서 $E_a = 11 \text{ kJ}$ 이다.

| 채점 기준 | 배점 |
|--|------|
| 정반응의 활성화 에너지를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우 | 100% |
| 정반응의 활성화 에너지만 옳게 구한 경우 | 60% |

01 ③ 02 ③ 03 ① 04 ③

01 **품평 문제 분석**



t 초가 지날 때마다 B의 농도 증가량은 각각 2 M, 1 M, 0.5 M이므로 농도 증가량이 절반으로 감소한다. \rightarrow 이 반응은 반감기가 t 초로 일정하며, A에 대한 1차 반응이다.

선택지 분석

ㄱ. $A(g)$ 의 초기 농도는 4 M이다.

ㄴ. 반응 속도 상수의 단위는 s^{-1} 이다.

✕ $\frac{t\text{초} \sim 3t\text{초 동안 } A(g)\text{의 평균 반응 속도}}{0 \sim t\text{초 동안 } A(g)\text{의 평균 반응 속도}} = \frac{3}{4}$ 이다. $\frac{3}{8}$

전략적 풀이 ① t 초 동안 B의 농도 증가량을 통해 반응 차수를 구한다.

ㄱ. A에 대한 1차 반응이고, 반응 몰비는 $A : B = 1 : 1$ 이므로 t 초일 때 B의 농도가 2 M이면 반응한 A의 농도도 2 M이다. t 초일 때는 반감기가 1번 지난 시점이므로 A의 초기 농도는 4 M이다.

ㄴ. A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다. 따라서 반응 속도 상수 $k = \frac{v}{[A]}$ 이므로 단위는 $\frac{\text{M/s}}{\text{M}} = \text{s}^{-1}$ 이다.

② 반응 몰비와 주어진 시간 동안 B의 농도 변화로부터 평균 반응 속도의 비를 구한다.

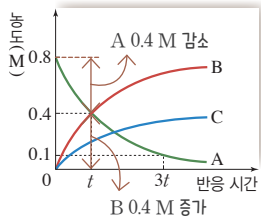
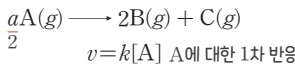
ㄷ. 반응 몰비가 $A : B = 1 : 1$ 이므로 B의 농도 증가량은 A의 농도 감소량과 같다. $0 \sim t$ 초 동안 A의 농도는 2 M 감소하고, $t \sim 3t$ 초 동안 A의 농도는 1.5 M 감소한다.

| 반응 시간(s) | 0 | t | $2t$ | $3t$ |
|----------|---|-----|------|------|
| A의 농도(M) | 4 | 2 | 1 | 0.5 |

$$\text{따라서 } \frac{t\text{초} \sim 3t\text{초 동안 } A(g)\text{의 평균 반응 속도}}{0 \sim t\text{초 동안 } A(g)\text{의 평균 반응 속도}} = \frac{1.5}{\frac{3t-t}{2}} = \frac{3}{8}$$

이다.

02 — 품평 문제 분석



반응물인 A의 농도는 t 가 지날 때마다 절반으로 감소하므로 반감기는 t 이다.

$0 \sim t$ 일 때 A는 0.4 M 감소하고, B는 0.4 M 증가하므로 반응 몰비는 $A : B = 1 : 1$ 이다.

선택지 분석

a=2이다.

$\frac{2t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}}{t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}} = \frac{1}{4}$ 이다. $\frac{1}{2}$

$\frac{t \sim 2t \text{ 동안 } C(g) \text{의 평균 반응 속도}}{0 \sim 3t \text{ 동안 } C(g) \text{의 평균 반응 속도}} = \frac{6}{7}$ 이다.

전략적 풀이 ① A~C의 농도 변화로부터 반응 계수를 구한다.

ㄱ. t 가 될 때까지 감소한 A의 농도와 증가한 B의 농도가 같으므로 A와 B의 반응 계수는 같다. 따라서 $a=2$ 이다.

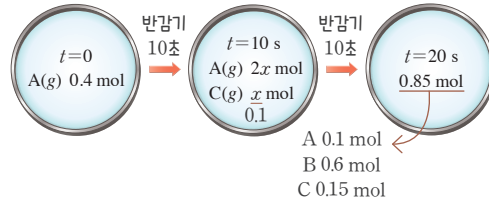
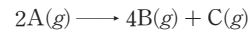
② 농도 변화를 이용하여 순간 반응 속도와 평균 반응 속도를 구한다.

ㄴ. A에 대한 1차 반응이므로 순간 반응 속도는 A의 농도에 비례한다. 반감기는 t 로 일정하므로 A의 농도는 t 일 때가 $2t$ 일 때의 2배이고, 순간 반응 속도도 t 일 때가 $2t$ 일 때의 2배이다. 따라서 $\frac{2t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}}{t \text{일 때 } A(g) \text{의 순간 반응 속도}} = \frac{1}{2}$ 이다.

ㄷ. 반응 몰비는 $A : C = 2 : 1$ 이다. $t \sim 2t$ 동안 증가한 C의 농도는 0.1 M이고, $0 \sim 3t$ 동안 감소한 A의 농도는 0.7 M이므로 증가한 C의 농도는 0.35 M이다.

따라서 $\frac{t \sim 2t \text{일 때 } C(g) \text{의 평균 반응 속도}}{0 \sim 3t \text{일 때 } C(g) \text{의 평균 반응 속도}} = \frac{0.1}{0.35} = \frac{2t-t}{3t-0} = \frac{6}{7}$ 이다.

03 — 품평 문제 분석



A에 대한 1차 반응이고 반감기를 10초라고 하면, 20초일 때는 반감기가 2번 지난 시점이므로 A의 양은 $0.4 \text{ mol} \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0.1 \text{ mol}$ 이고, 감소한 A의 양이 0.3 mol이므로 반응 계수비에 따라 B의 양은 0.6 mol, C의 양은 0.15 mol이다. 이때 전체 기체의 양은 0.85 mol이 되어 자료에 맞는다.

선택지 분석

이 반응은 A(g)에 대한 1차 반응이다.

$x=0.2$ 이다. 0.1

$\frac{10 \text{초일 때 } [B]}{20 \text{초일 때 } [C]} = 4$ 이다. $\frac{8}{3}$

전략적 풀이 ① A에 대한 1차 반응으로 가정하고 $t=10$ s일 때와 $t=20$ s일 때 용기 속 기체의 양(mol) 변화를 적용한다.

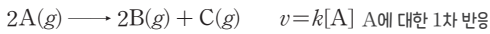
ㄱ. A에 대한 1차 반응이라고 가정하면 반감기가 1번 지났을 때 각 기체의 양은 A 0.2 mol, B 0.4 mol, C 0.1 mol이다. 반감기를 10초라고 하면 20초일 때는 반감기가 2번 지난 시점이므로 A~C의 양은 각각 0.1 mol, 0.6 mol, 0.15 mol이고 전체 기체의 양은 0.85 mol이다. 따라서 자료에 맞으므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고, 반감기는 10초이다.

② 파악한 반감기 횟수를 바탕으로 각 용기에서 A~C의 양(mol)을 구한다.

ㄴ. 10초일 때는 반감기가 1번 지난 시점이므로 A와 C의 양은 각각 0.2 mol, 0.1 mol이다. 따라서 $x=0.1$ 이다.

ㄷ. 10초일 때 B의 양은 0.4 mol, 20초일 때 C의 양은 0.15 mol이므로 $\frac{10 \text{초일 때 } [B]}{20 \text{초일 때 } [C]} = \frac{0.4}{0.15} = \frac{8}{3}$ 이다.

04 **꼼꼼 문제 분석**



| 반응 시간(s) | t | $2t$ |
|----------------|-----|-----------|
| A의 농도(상댓값) | 2 | 0.5 |
| He의 농도(상댓값) | 2 | 2 |
| 전체 기체의 농도(상댓값) | 13 | x 13.75 |

- 반응 초기 A와 He을 넣었고, 시간이 지나면 B와 C가 생성되지만 He은 반응하지 않으므로 He의 농도는 일정하다.
- 반응 몰비는 A : B : C = 2 : 2 : 1이다.

전략적 풀이 ① 반감기가 일정한 1차 반응임을 이용하여 반감기를 구한다.

A의 초기 농도를 $8n$ M라고 하면, 반감기가 1번 지난 시점에서 A~C의 농도는 각각 $4n$ M, $4n$ M, $2n$ M이다. 이때 He의 농도를 A와 같은 $4n$ M라고 하면 전체 기체의 농도는 $14n$ M가 되어 자료에 맞지 않는다.

반감기가 2번 지난 시점에서 A의 농도는 $2n$ M가 되고, B와 C의 농도는 각각 $6n$ M, $3n$ M가 된다. 이때 He의 농도를 $2n$ M라고 하면 전체 기체의 농도는 $13n$ M가 되어 자료에 맞는다. 따라서 t 초일 때는 반감기가 2번 지난 시점이다.

② 반감기를 토대로 $2t$ 초일 때 각 물질의 농도를 구하여 전체 기체의 농도(상댓값)를 구한다.

$2t$ 초일 때는 반감기가 4번 지난 시점이므로 A의 농도는 $8n$ M $\times (\frac{1}{2})^4 = 0.5n$ M이고, 반응한 A의 농도는 $7.5n$ M이므로 B와 C의 농도는 각각 $7.5n$ M, $3.75n$ M이다. He의 농도는 $2n$ M로 일정하므로 전체 기체의 농도는 $13.75n$ M이다. 따라서 $x = 13.75$ 이다.

| 반응 시간(s) | 0 | $0.5t$ | t | $1.5t$ | $2t$ | |
|----------|-------|--------|------|--------|--------|----------|
| 농도 (M) | A | $8n$ | $4n$ | $2n$ | n | $0.5n$ |
| | B | 0 | $4n$ | $6n$ | $7n$ | $7.5n$ |
| | C | 0 | $2n$ | $3n$ | $3.5n$ | $3.75n$ |
| | He | $2n$ | $2n$ | $2n$ | $2n$ | $2n$ |
| | 전체 기체 | | | $13n$ | | $13.75n$ |

2 **반응 속도에 영향을 주는 요인**

01 **반응 속도에 영향을 주는 요인**

개념 확인 문제

183쪽

- ① 충돌수 ② 충돌수 ③ 표면적 ④ 활성화 에너지

- 1 (1) \times (2) \circ (3) \times (4) \circ 2 (1) (다) > (나) > (가)
 (2) (다) > (나) > (가) 3 (다) > (나) > (가) 4 (1) \times (2) \circ
 (3) \circ 5 (1) 표면적 (2) 농도 (3) 온도

1 (1) 반응물의 농도가 증가하면 단위 부피당 입자 수가 증가하므로 입자의 충돌수가 늘어나 반응 속도는 빨라진다.

(2) 일정한 온도에서 기체에 압력을 가하면 부피가 감소하여 단위 부피당 입자 수가 많아지므로 단위 시간당 충돌수가 많아진다. 따라서 반응을 일으킬 수 있는 입자 수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

(3) 고체 물질을 잘게 쪼개면 전체 표면적이 커져 반응물 사이의 접촉 면적이 증가하므로 입자의 충돌수가 많아진다. 따라서 반응 속도가 빨라진다.

(4) 온도가 높아지면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가하여 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 분자 수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

2 (1) 단위 부피당 입자 수가 많을수록 충돌수가 증가하므로 입자의 충돌수는 (다) > (나) > (가)이다.

(2) 입자의 충돌수가 많을수록 반응 속도가 빨라지고, C의 초기 생성량은 반응 속도가 빠를수록 많아진다. 따라서 입자의 충돌수가 (다) > (나) > (가)이므로 C의 초기 생성량도 (다) > (나) > (가)이다.

3 입자를 쪼갤 때마다 입자 1개의 표면적이 증가한다. 입자의 표면적이 증가할수록 입자의 충돌수가 많아지므로 초기 반응 속도가 빠르다.

4 (1) 활성화 에너지(E_a)는 T_1 에서와 T_2 에서가 같다.

(2) 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수는 T_2 에서가 T_1 에서보다 많으므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다. 따라서 온도가 높은 T_2 에서가 T_1 에서보다 분자의 평균 운동 에너지가 크다.

(3) 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 많은 T_2 에서가 T_1 에서보다 충돌수가 많으므로 반응 속도는 T_2 에서가 T_1 에서보다 크다.

- 5 (1) 알약을 가루로 만들면 입자 크기가 작아져 표면적이 커지므로 용해 및 흡수 속도가 빨라진다.
 (2) 고압 산소 치료기는 산소의 농도를 높여 혈액 내 산소 전달 반응 속도를 빠르게 한다.
 (3) 낮은 온도에서는 생선의 산화 및 부패 반응 속도가 느려져 신선도를 오래 유지할 수 있다.

개념확인문제

186쪽

- ① 촉매 ② 정촉매 ③ 작아져 ④ 부촉매 ⑤ 커져 ⑥ 활성화 에너지
 ⑦ 활성화 에너지

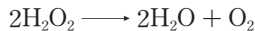
- 1 A: 부촉매, B: 정촉매 2 (1) × (2) ○ 3 A > B
 4 (1) × (2) ○ (3) ×

1 A를 사용하면 활성화 에너지가 증가하므로 A는 부촉매이고, B를 사용하면 활성화 에너지가 감소하므로 B는 정촉매이다.

2 (1) 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 증가한다. 활성화 에너지가 E_a 일 때는 촉매를 사용하지 않았을 때보다 활성화 에너지가 크므로 부촉매를 사용했을 때이고, 이때 반응 속도는 느려진다.

(2) 정촉매는 활성화 에너지를 낮추어 동일한 조건에서 활성화 에너지 이상을 가지는 분자 수를 증가시키므로 반응 속도를 빠르게 한다. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 E_a' 로 작아지므로 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수가 늘어나 반응을 일으킬 수 있는 입자 수는 A+B+C 영역이 된다.

3 과산화 수소수가 분해되면 물과 산소 기체가 생성된다.



KI은 반응 속도를 빠르게 하므로 정촉매이다.

거품이 많이 발생한 B에서가 A에서보다 반응 속도가 빠르므로 활성화 에너지는 A > B이다.

4 (1) 정촉매를 사용하면 반응 엔탈피(b)는 변하지 않고, 활성화 에너지가 감소하므로 정반응의 활성화 에너지(a)와 역반응의 활성화 에너지(c)가 모두 감소한다.

(2) 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 증가하므로 a와 c가 모두 증가한다.

(3) 촉매를 사용해도 반응 엔탈피인 b는 변하지 않고 a와 c가 달라져 반응 속도가 달라진다.

대표자료분석 1

187쪽

- 1 (가) : (나) : (다) = 1 : 2 : 4 2 $k_1 : k_2 = 1 : 2$ 3 $T_2 > T_1$
 4 (1) ○ (2) × (3) ○

1 초기 농도가 같을 때 (가)~(다)의 초기 반응 속도(M/s)는 각각 $v, 2v, 4v$ 이다.

2 (가)와 (나)에서 반응 속도식은 각각 $v = k_1[A], v = k_2[A]$ 이고, 반응 속도의 비는 (가) : (나) = 1 : 2이므로 $k_1 : k_2 = 1 : 2$ 이다.

3 초기 농도가 같을 때 (가)와 (나)의 반응 속도 상수의 비가 1 : 2이므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

4 (1) 온도가 같고, 초기 반응 농도가 같을 때 반응 속도는 (다) > (가)이므로 활성화 에너지는 (가) > (다)이다.

(2) X(s)를 넣은 (다)에서 초기 반응 속도가 가장 빠르므로 X(s)는 정촉매이다.

(3) A의 초기 농도가 같을 때 반응 속도비는 (가) : (나) : (다) = 1 : 2 : 4이다. 따라서 반응 속도 상수비는 $k_1 : k_2 : k_3 = 1 : 2 : 4$ 이다.

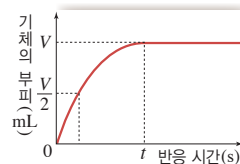
내신만점문제

188쪽~191쪽

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

01 ㄱ, ㄴ, ㄷ. 기체가 들어 있는 실린더에 압력을 가하면 부피가 감소하여 농도가 증가하므로 단위 시간당 입자의 충돌수가 증가한다. 따라서 반응 속도가 빨라진다.

02 품평 문제 분석



- 1 M 염산에 일정량의 마그네슘 조각을 넣고 반응시키면 반응 시간이 t 초일 때 수소 기체 V mL가 발생한다.
- 충분한 양의 염산을 사용하였으므로 일정량의 마그네슘이 모두 반응하면 반응은 완결되고, 발생한 수소 기체의 부피는 V mL로 일정하다.

ㄴ. 1 M보다 농도가 큰 2 M 염산을 사용하면 반응 속도가 빨라지므로 반응이 완결될 때까지의 시간은 t 초보다 짧아진다.

바로알기 ㄱ. 1 M보다 농도가 작은 0.1 M 염산을 사용하면 반응 속도가 느려질 뿐 일정량의 마그네슘이 모두 반응하므로 발생한 기체의 부피는 V mL로 일정하다.

ㄷ. 마그네슘 가루를 사용하면 표면적이 증가하여 반응 속도가 빨라지므로 반응이 완결될 때까지의 시간은 t 초보다 짧아진다.

03 품고 문제 분석

| 실험 | 0.2 M $KIO_3(aq)$ 의 부피(mL) | 증류수의 부피(mL) | $NaHSO_3(aq)$ 의 농도(M) | 반응 시간 (s) |
|-----|----------------------------|-------------|-----------------------|-----------|
| I | 10.0 | 0 | 0.1 | 6.0 |
| II | 7.5 | 2.5 | 0.1 | 8.0 |
| III | x 5.0 | 10.0 - x | 0.1 | 12.0 |

증류수로 묽히지 않은 I에서 KIO_3 의 농도가 0.2 M이므로, II에서의 KIO_3 의 농도는 $0.2 M \times \frac{7.5}{10.0} = 0.15 M$ 이다.

KIO₃에 대한 1차 반응

ㄱ. 반응 속도는 III에서 I에서의 0.5배이므로 $KIO_3(aq)$ 의 농도는 III에서 I에서의 0.5배이다. 따라서 x 는 5.0이다.

ㄴ, ㄷ. 이 반응은 반응 속도가 $[KIO_3]$ 에 비례하므로 KIO_3 에 대한 1차 반응이다. 또 이 실험의 결과로부터 반응물의 농도가 반응 속도에 미치는 영향을 알 수 있다.

바로알기 ㄷ. 반응 속도가 빠를수록 용액의 색이 청람색으로 변하는 데 걸린 시간이 짧다. 즉, 반응 속도는 반응 시간의 역수에 비례한다.

04 ㄱ. 가루약은 알약보다 표면적이 크므로 흡수 속도가 빠르다.

ㄴ. 잔가지는 장작보다 표면적이 크므로 장작보다 먼저 탄다.

바로알기 ㄷ. 커피를 뜨거운 물에 넣어 잘 녹게 하는 것은 온도와 반응 속도 관계를 이용한 사례이다.

05 ㄱ. 부피가 일정한 강철 용기에서 분자 수가 증가하므로 'A(g)의 농도 증가'는 I로 적절하다.

ㄴ. 반응물의 농도가 증가하므로 초기 반응 속도가 증가한다.

바로알기 ㄷ. 온도가 일정하므로 반응 속도 상수는 변화가 없다.

06 온도가 높을수록 분자의 평균 운동 에너지가 커지므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

ㄱ. 온도가 높아지면 반응 속도 상수(k)가 증가하므로 반응 속도 상수는 T_2 에서 T_1 에서보다 크다.

바로알기 ㄴ. 활성화 에너지는 온도와 관계없이 일정하다.

ㄷ. 반응 엔탈피는 온도와 관계없이 일정하다.

07 ㄱ. 온도가 높아질수록 \times 표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간이 짧아지므로 반응 속도가 빨라짐을 알 수 있다. 따라서 '초기 농도가 같을 때 온도를 높이면 반응 속도가 빨라진다.'는 ㉠으로 적절하다.

바로알기 ㄴ. 반응 속도는 \times 표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간에 반비례한다.

ㄷ. 온도가 달라져도 활성화 에너지는 변하지 않으므로 25 °C에서와 75 °C에서의 활성화 에너지는 같다.

08 **모범 답안** 반응 속도가 가장 빠른 실험은 (라), 가장 느린 실험은 (가)이다. 염산의 농도가 클수록, 탄산 칼슘의 표면적이 클수록, 온도가 높을수록 반응 속도가 빠르기 때문이다.

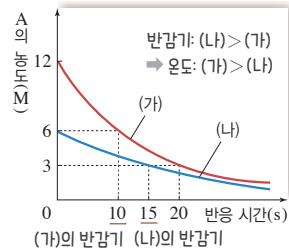
| 채점 기준 | 배점 |
|--|-------|
| 반응 속도가 가장 빠른 실험과 가장 느린 실험을 모두 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 반응 속도가 가장 빠른 실험과 가장 느린 실험만 옳게 쓴 경우 | 50 % |

09 ㄱ. 온도가 높아지면 반응 속도 상수(k)가 커진다. 온도가 (나) > (가)이므로 반응 속도 상수도 (나) > (가)이다.

ㄴ. 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라지므로 반감기가 짧아진다. 따라서 반감기는 (가) > (나)이다.

바로알기 ㄷ. 온도는 활성화 에너지를 변화시키지 않으므로 활성화 에너지는 (가) = (나)이다.

10 품고 문제 분석

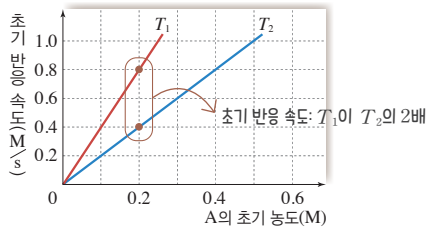


ㄱ. (가)와 (나)에서 모두 농도가 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간(반감기)이 일정하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다.

ㄴ. (가)에서 A의 초기 농도가 12 M에서 6 M로 감소하는 데 걸리는 시간은 10초이고, (나)에서 A의 초기 농도가 6 M에서 3 M로 감소하는 데 걸리는 시간은 15초이다.

바로알기 ㄷ. 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라지고, 반감기가 짧아진다. 따라서 반감기가 짧은 (가)에서 (나)에서보다 온도가 높다.

11 **꼼꼼 문제 분석**



- 반응 속도는 A의 초기 농도에 비례하므로 A에 대한 1차 반응이다.
 $\Rightarrow v = k[A]$
- T_1 과 T_2 에서 반응 속도 상수를 각각 k_1, k_2 라고 하면 A의 초기 농도가 0.2 M일 때 T_1 과 T_2 일 때의 반응 속도는 각각 0.8 M/s = $k_1 \times 0.2$, 0.4 M/s = $k_2 \times 0.2$ 이다. 따라서 $k_1 : k_2 = 2 : 1$ 이다.

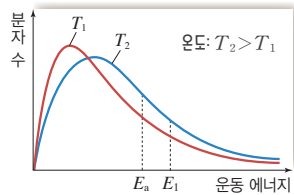
- ㄱ. A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다.
- ㄴ. A의 초기 농도가 같을 때 반응 속도는 T_1 에서가 T_2 에서의 2배이므로 반응 속도 상수는 T_1 에서가 T_2 에서의 2배이다.
- ㄷ. 초기 농도가 같을 때 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 크므로 반응 속도가 크다. 따라서 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

12 ㄱ. 반응 경로가 (가)에서 (나)로 변할 때 활성화 에너지가 감소하므로 반응 속도가 빨라진다.

바로알기 ㄴ. 반응 경로가 달라져 활성화 에너지가 감소하므로 정촉매를 넣은 것이다.

ㄷ. 반응 경로가 변해도 반응 엔탈피(ΔH)는 변하지 않는다.

13 **꼼꼼 문제 분석**



- 온도가 높을수록 분자의 평균 운동 에너지가 커지므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.
- 촉매 X를 가했을 때 활성화 에너지가 E_a 에서 E_1 로 증가하였으므로 첨가한 촉매 X는 부촉매이다. \Rightarrow 반응 속도가 느려진다.

- ㄴ. X를 첨가했을 때 활성화 에너지가 커지므로 X는 부촉매이다.
- ㄷ. 온도가 높아지면 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 증가하므로 반응 속도 상수가 커진다.

바로알기 ㄱ. T_1 에서보다 T_2 에서가 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 많으므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

14 ㄱ. X(s)를 넣은 II에서 초기 반응 속도가 가장 작으므로 X(s)는 부촉매이다.

ㄴ. 반응 속도는 I > III이므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

바로알기 ㄷ. 활성화 에너지가 작을수록 반응 속도는 빠르므로 활성화 에너지는 II에서가 가장 크다.

15 **모범 답안** 촉매는 자동차 배기가스의 유해한 물질이 CO_2, H_2O, N_2 등으로 변하는 반응의 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 빠르게 한다.

| 채점 기준 | 배점 |
|------------------------------------|-------|
| 활성화 에너지와 관련지어 촉매의 역할을 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 활성화 에너지와 관련짓지 않고 촉매의 역할만 옳게 서술한 경우 | 50 % |

16 ㄱ. 효소는 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 빠르게 하는 생체촉매이다.

ㄴ. 효소는 반응 경로를 다르게 할 뿐 반응에 직접 참여하지 않으므로 반응 전과 후 질량이 변하지 않는다.

바로알기 ㄷ. 기질 A는 효소 (가)의 활성 자리와 결합하여 반응하지만, 기질 B는 결합하지 않는다.

실력 UP 문제

192쪽

- 01 ① 02 ② 03 ①

01 **꼼꼼 문제 분석**

| 용기 | 온도 | 반응 시간(s) | | |
|-----|---------------|----------|---|---|
| | | 0 | A의 농도가 t | 2t |
| (가) | T_1 | | $\xrightarrow{\frac{1}{4}\text{배}}$ A의 농도가 | |
| (나) | T_2 | | $\xrightarrow{\frac{1}{2}\text{배}}$ A의 농도가 | |
| (다) | $\ominus T_2$ | | $\xrightarrow{\frac{1}{2}\text{배}}$ | $\xrightarrow{\frac{1}{2}\text{배}}$ |

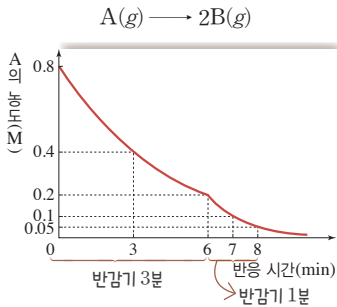
- A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다.
- (가)에서 t초일 때는 반응물의 농도가 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배로 되었으므로 반감기가 2번 지난 시점이다. \Rightarrow 반감기 $\frac{t}{2}$ 초이다.
- (나)에서 반감기는 t초이다.
- (다)에서 반감기는 t초이므로 온도는 (나)와 (다)가 같다.

ㄱ. A에 대한 1차 반응이고 (가)에서 반응 시간이 t초일 때 A(g)의 농도는 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 t초일 때는 반감기가 2번 지난 시점이다. 따라서 반감기는 $\frac{t}{2}$ 초이다. (나)에서 반감기는 t초이므로 온도는 반감기가 짧은 (가)가 (나)보다 높으므로 $T_1 > T_2$ 이다.

바로알기 ㄴ. (나)와 (다)는 반감기가 t초로 같으므로 (나)와 (다)의 온도는 같다.

다. (다)에서 반감기는 t 초이므로 $3t$ 초일 때 분자 수비는 A : B = 1 : 7이다. 따라서 $\frac{[B]}{[A]} = 7$ 이다.

02 품평 문제 분석



- A의 농도가 절반으로 감소하는데 걸리는 시간이 일정하므로 반감기가 일정하다. 반감기는 0~6분에서 3분이고, 6분 이후에 1분으로 짧아진다.
- 6분일 때 온도를 변화시켰고, 반감기가 짧아졌으므로 온도를 높인 것임을 알 수 있다.

나. 0~6분에서 반감기는 3분이고, 6분 이후 반감기는 1분이므로 6분일 때 온도를 높인 것이다.

바로알기 ㄱ. 반감기가 일정한 반응이므로 A에 대한 1차 반응이고, 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다. 따라서 $k = \frac{v}{[A]}$ 이고, 반응 속도 상수의 단위는 min^{-1} 이다.

다. 반응 몰비는 A : B = 1 : 2이다. 반응한 [A]는 6분일 때와 8분일 때 각각 0.6 M, 0.75 M이므로 생성된 [B]는 6분일 때와 8분일 때 각각 1.2 M, 1.5 M이다. 따라서 [B]는 8분일 때가 6분일 때의 $\frac{5}{4}$ 배이다.

03 품평 문제 분석

| 실험 | A(g)의 초기 농도(M) | 온도 | 첨가한 촉매 | 초기 반응 속도(M/s) |
|-----|---------------------|-------|----------------|----------------------|
| I | a | T_1 | 없음 | v |
| II | 2배 $\rightarrow 2a$ | T_1 | $T_2 > T_1$ 없음 | 2배 $\rightarrow 2v$ |
| III | a 일정 | T_2 | 없음 | $2v$ \leftarrow 2배 |
| IV | 2배 $\rightarrow 2a$ | T_2 | X(s) | 4배 $\rightarrow 8v$ |

- I과 II를 비교하면 A의 초기 농도가 2배가 되었을 때, 초기 반응 속도가 2배이다. \Rightarrow A에 대한 1차 반응이다.
- I과 III을 비교하면 A의 초기 농도가 같을 때, 초기 반응 속도는 III에서 I에서의 2배이다. \Rightarrow 온도는 III에서 I에서보다 높다.
- III과 IV를 비교하면 같은 온도에서 A의 초기 농도가 2배가 되면 초기 반응 속도가 2배가 되어야 하지만 4배가 된다. \Rightarrow X(s)는 반응 속도를 빠르게 하는 정촉매이다.

ㄱ. I과 III을 비교하면 A(g)의 초기 농도가 같을 때 초기 반응 속도는 III에서 I에서의 2배이므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

바로알기 ㄴ. 활성화 에너지는 온도와 관계없으므로 II에서와 III에서가 같다.

다. I과 II를 비교하면 A의 초기 농도가 2배가 되었을 때, 초기 반응 속도가 2배가 되었으므로 A에 대한 1차 반응이다. 따라서 I과 IV에서의 반응 속도 상수를 각각 k_I , k_{IV} 라고 하면 $v = k_I \times a$, $8v = k_{IV} \times 2a$ 이므로 반응 속도 상수는 IV에서 I에서의 4배이다.

중단원 핵심정리

193쪽

- ① 농도 ② 압력 ③ 표면적 ④ 활성화 에너지 ⑤ 촉매
⑥ 정촉매 ⑦ 증가 ⑧ 촉매 변환기 ⑨ 활성화 에너지

중단원 마무리 문제

194쪽~197쪽

- 01 ② 02 ④ 03 ① 04 ③ 05 ③ 06 ②
07 ⑤ 08 ② 09 (1) T_1 : 2분, T_2 : 4분 (2) $T_1 > T_2$
10 ⑤ 11 ③ 12 ③ 13 ⑤ 14 ④ 15 해설
참조 16 해설 참조

01 **바로알기** ㄴ. 온도가 일정할 때 기체의 반응에서 압력을 높이면 입자의 충돌수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

ㄷ. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아지므로 반응 속도가 빨라진다.

02 (가) 비닐하우스에서 작물을 재배하면 내부 온도가 높아져 작물이 빠르게 자란다.

(나) 압력솥으로 밥을 하면 물의 끓는점이 높아져 쌀이 익는 속도가 빨라진다.

(다) 효소는 반응 속도를 빠르게 하는 생체촉매이다.

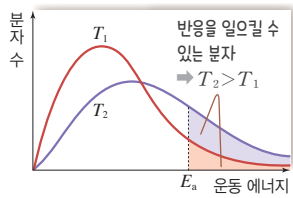
(라) 음식물을 밀폐 용기에 보관하면 산소를 차단하여 오래 보관할 수 있다.

03 ㄱ. T_1 에서 T_2 에서보다 반응 속도가 빠르므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

바로알기 ㄴ. 온도가 높아지면 반응 속도 상수가 커져 반응 속도가 증가한다.

다. 염산의 농도가 작아지면 반응물 입자의 충돌수가 감소하여 반응 속도가 느려지므로 반응이 완결될 때까지의 시간이 길어진다.

04 — **꼼꼼 문제 분석**



- 온도는 $T_2 > T_1$ 이며, 온도가 높아지면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가하여 활성화 에너지(E_a) 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 많아진다.
- 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 많아지면 유효 충돌수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

ㄱ. E_a 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수는 T_2 에서가 T_1 에서보다 많으므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

ㄴ. 반응 속도는 T_1 에서가 T_2 에서보다 느리므로 반감기는 T_1 에서가 T_2 에서보다 길다.

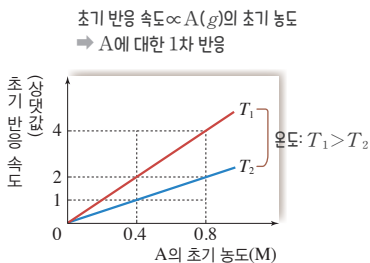
바로알기 ㄷ. E_a 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 많을수록 유효 충돌수가 많으므로 T_1 에서가 T_2 에서보다 유효 충돌수가 적다.

05 ㄱ. 화학 반응식에서 반응 전과 후 원자의 종류와 수는 변하지 않으므로 \ominus 은 CO_2 이다.

ㄴ. 발포정이 완전히 사라질 때까지 걸린 시간이 짧을수록 반응 속도가 빠르다. 따라서 온도가 가장 높은 80°C 물에서 반응 속도가 가장 빠른 것으로부터 온도에 따른 반응 속도의 차이를 확인할 수 있다.

바로알기 ㄷ. 온도가 높아지면 활성화 에너지 이상의 분자 운동 에너지를 가지는 분자 수가 증가하므로 반응 속도 상수가 증가한다. 따라서 반응 속도 상수는 온도가 높을수록 크다.

06 — **꼼꼼 문제 분석**



- 초기 반응 속도는 A의 초기 농도에 비례하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다.
- T_1 에서가 T_2 에서보다 초기 반응 속도가 빠르므로 반응 속도 상수가 크다. \Rightarrow 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

ㄴ. A의 초기 농도가 같을 때 T_1 에서가 T_2 에서보다 초기 반응 속도가 빠르므로 반응 속도 상수는 $T_1 > T_2$ 이다. 따라서 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

바로알기 ㄱ. 반응 속도가 A의 농도에 비례하므로 A에 대한 1차 반응이다.

ㄷ. 1차 반응이므로 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다. A의 초기 농도가 같을 때 초기 반응 속도는 T_1 에서가 T_2 에서의 2배이므로 반응 속도 상수는 T_1 에서가 T_2 에서의 2배이다.

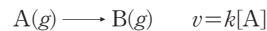
07 ㄱ. 1차 반응에서 온도가 높을수록 반응 속도가 빨라지므로 반감기가 짧다. 따라서 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

ㄴ. (가)에서는 반감기가 2분이므로 2분일 때 A의 농도는 0.05 M이다. (나)에서는 반감기가 1분이므로 2분일 때는 반감기가 2번 지난 시점이고, A의 농도는 0.05 M이다.

ㄷ. (가)에서 4분일 때는 반감기가 2번 지난 시점이므로 A의 농도는 0.025 M이고, 0~4분 동안 평균 반응 속도는 $\frac{0.075 \text{ M}}{4 \text{ min}}$ 이다.

ㄹ. (나)에서 2분일 때 A의 농도는 0.05 M이므로 평균 반응 속도는 $\frac{0.15 \text{ M}}{2 \text{ min}}$ 이다. 따라서 $\frac{\text{(가)에서 } 0\sim 4\text{분 동안 평균 반응 속도}}{\text{(나)에서 } 0\sim 2\text{분 동안 평균 반응 속도}} = \frac{1}{4}$ 이다.

08 — **꼼꼼 문제 분석**



| 실험 | A(g)의 초기 농도(M) | 온도(K) | 정반응의 활성화 에너지(kJ) | 초기 반응 속도(M/s) |
|-----|----------------|-------|------------------|---------------|
| I | a | T | E_a | v_1 |
| II | a | 2T | E_a | v_2 |
| III | 2a | 2T | $\ominus E_a$ | v_3 |

• I과 II를 비교하면 A의 초기 농도는 같고, 온도가 $\text{II} > \text{I}$ 이므로 반응 속도는 $v_2 > v_1$ 이다.

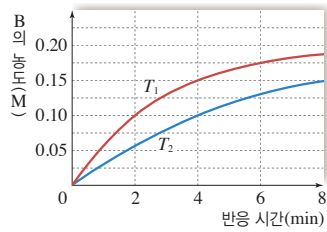
• A에 대한 1차 반응이므로 초기 농도가 클수록 초기 반응 속도가 빠르다.

ㄴ. I~III에서 촉매를 사용하지 않았으므로 정반응의 활성화 에너지는 E_a kJ로 같다.

바로알기 ㄱ. I과 II에서 A(g)의 초기 농도가 같고, 온도는 II에서가 I에서보다 높으므로 초기 반응 속도는 $v_2 > v_1$ 이다.

ㄷ. II와 III에서 반응 속도 상수를 각각 k_2 , k_3 이라고 하면 반응 속도식은 각각 $v_2 = k_2 \times a$, $v_3 = k_3 \times 2a$ 이다. 따라서 반응 속도 상수(k)의 비는 $\text{II} : \text{III} = 2v_2 : v_3$ 이다.

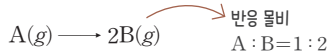
09 **꼼꼼 문제 분석**



- A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 1분 지날 때마다 B의 농도는 이전 농도의 0.5배씩 증가한다. → T_1 에서 반감기는 2분이고, T_2 에서 반감기는 4분이다.
- 온도가 높을수록 반응 속도가 빨라지므로 반감기가 짧아진다. → 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

- (1) B(g)의 농도가 0.10 M에서 0.15 M가 되는 데 걸린 시간은 T_1, T_2 일 때 각각 2분, 4분이므로 반감기는 각각 2분, 4분이다.
 (2) 온도가 높을수록 반감기가 짧으므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

10 **꼼꼼 문제 분석**



| 실험 | 온도 (K) | A(M) | | | | |
|-----|--------|------|----------|----------|----------|----------|
| | | t=0 | t=10 min | t=20 min | t=30 min | t=40 min |
| (가) | T_1 | 0.8 | | 0.4 | | x 0.2 |
| (나) | T_2 | 1.6 | y 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 |

- 1차 반응이므로 반감기가 일정하며, (가)에서 반감기는 20분이다.
- (나)에서 30분일 때 초기 농도의 $\frac{1}{8}$ 배이므로 30분일 때는 반감기가 3번 지난 시점이다. 따라서 (나)에서 반감기는 10분이다.

- ㄱ. A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. (가)와 (나)에서 반감기는 각각 20분, 10분이다. 따라서 $x=0.2, y=0.8$ 이다.
 ㄴ. 온도가 높을수록 반감기가 짧으므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.
 ㄷ. 40분일 때 (가)에서 반응한 [A]는 0.6 M이므로 [B]는 1.2 M이고, (나)에서 반응한 [A]는 1.5 M이므로 [B]는 3.0 M이다. 따라서 40분일 때 (가)에서 [A]=0.2 M, [B]=1.2 M이고, (나)에서 [A]=0.1 M, [B]=3.0 M이다. $\frac{[B]}{[A]}$ 는 (가)와 (나)에서 각각 6, 30이므로 (나)에서가 (가)에서의 5배이다.

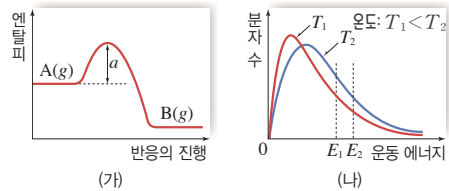
11 (가)는 분자 수가 증가한 것이고, (나)는 활성화 에너지가 증가한 것이며, (다)는 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 분자 수가 증가한 것이다. 따라서 I은 농도 증가, II는 부촉매 사용, III은 온도 증가이다.

12 ㄱ. X(s)를 사용하면 반응 속도가 빨라지므로 X(s)는 정촉매이다.

ㄷ. X(s)는 정촉매이므로 정반응과 역반응의 활성화 에너지를 모두 감소시킨다.

바로알기 ㄴ. X(s)는 촉매이므로 반응 전과 후 질량이 변하지 않는다.

13 **꼼꼼 문제 분석**

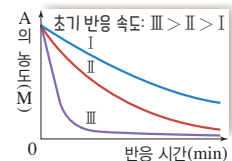


- (가)에서 a 는 정반응의 활성화 에너지이다.
- (나)에서 온도는 $T_1 < T_2$ 이고, 활성화 에너지는 $E_1 < E_2$ 이므로 E_1 일 때가 E_2 일 때보다 반응 속도가 빠르다.

- ㄱ. a 는 촉매를 첨가하지 않았을 때 정반응의 활성화 에너지이므로 (나)에서 촉매를 첨가하지 않았을 때의 활성화 에너지인 E_2 이다.
 ㄴ. 온도가 높을수록 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.
 ㄷ. X(s)는 활성화 에너지를 낮추는 정촉매이므로 반응 속도를 빠르게 한다.

14 **꼼꼼 문제 분석**

| 실험 | 온도 | 첨가한 촉매 |
|-----|-------|--------|
| I | T_1 | 없음 |
| II | T_2 | 없음 |
| III | T_2 | 있음 정촉매 |



- I보다 II에서 A의 농도가 감소하는 속도가 빠르므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.
- II에서보다 III에서 초기 반응 속도가 빠르므로 첨가한 촉매는 반응 속도를 빠르게 하는 정촉매이다.

ㄴ. III에서 초기 반응 속도가 가장 빠르므로 첨가한 촉매는 정촉매이다.

ㄷ. 정촉매를 넣은 III에서가 II에서보다 활성화 에너지가 작으므로 반응 속도가 빠르다.

바로알기 ㄱ. 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라지므로 반응물의 농도가 빠르게 감소한다. 따라서 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

15 (나)에서 $KIO_3(aq)$ 의 부피를 달리하여 넣고 증류수를 가해 전체 부피를 같게 하는 과정이 포함되어 있으므로 $KIO_3(aq)$ 의 농도를 달리하여 반응 속도에 미치는 영향을 알아보는 실험이다.

모범 답안 반응물의 농도가 진할수록 반응 속도가 빨라진다.

| 채점 기준 | 배점 |
|-----------------------------------|------|
| 농도와 반응 속도 관계를 이용하여 적절한 가설을 서술한 경우 | 100% |
| 그 외의 경우 | 0% |

16 온도가 높을수록 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다. 활성화 에너지가 작을수록 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

모범 답안 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수가 많을수록 반응 속도가 빠르다. 온도는 $T_2 > T_1$ 이고, 활성화 에너지는 $E_a' > E_a$ 이므로 반응 속도는 (다) > (가) > (나)이다.

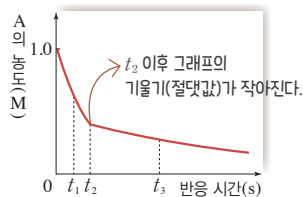
| 채점 기준 | 배점 |
|-------------------------------|------|
| 반응 속도를 옳게 비교하고, 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100% |
| 반응 속도만 옳게 비교한 경우 | 50% |

중단원 고난도 문제

198쪽~199쪽

01 ② 02 ⑤ 03 ① 04 ⑤ 05 ② 06 ②
07 ①

01 — 품평 문제 분석



t_2 이후 A(g)의 농도가 감소하는 기울기(절댓값)가 작아진다. → 반응 속도가 느려진다. → 첨가한 촉매 X는 반응 속도를 느리게 하므로 활성화 에너지를 증가시키는 부촉매이다.

선택지 분석

- X(s)는 정촉매이다. **부촉매**
- 전체 기체의 압력은 t_3 일 때가 t_2 일 때보다 크다.
- 활성화 에너지는 t_1 일 때가 t_3 일 때보다 **크다**. **작다**

전략적 풀이 ① 기울기 변화를 통해 반응 속도가 달라짐을 파악한다.

ㄱ. t_2 이후 기울기(절댓값)가 감소하므로 반응 속도가 느려진 것이다. 따라서 X는 부촉매이다.

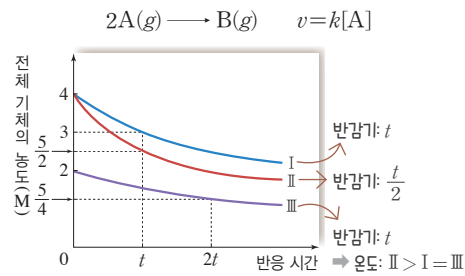
② 화학 반응식으로부터 반응 전과 후 물질의 양 변화를 파악한다.

ㄴ. t_3 일 때는 t_2 일 때보다 반응이 더 진행된 것이므로 B가 더 많이 생성되어 전체 기체의 압력이 커진다.

③ 부촉매를 사용하였을 때 활성화 에너지 변화를 파악한다.

ㄷ. X는 부촉매이므로 t_1 일 때가 t_3 일 때보다 활성화 에너지가 작다.

02 — 품평 문제 분석



• A에 대한 1차 반응이므로 I에서 반감기가 1번 지난 시점에서 A와 B의 농도는 각각 2 M, 1 M이고 전체 기체의 농도는 3 M가 되어 반감기가 t 임을 알 수 있다.

• II에서 t 일 때 전체 기체의 농도는 $\frac{5}{2}$ M이므로 A와 B의 농도는 각각 1 M, 1.5 M이다. 즉, t 일 때는 반감기가 2번 지난 시점이고 II에서 반감기는 $\frac{t}{2}$ 이다.

• III에서 $2t$ 일 때는 전체 기체의 농도가 $\frac{5}{4}$ M이므로 반감기가 2번 지난 시점이다.

→ I과 III에서의 온도가 II에서보다 낮다.

선택지 분석

- III에서 반감기는 $2t$ 이다. **t**
- II에서의 온도는 T_2 이다.
- t 일 때 [B]는 II에서가 III에서의 3배이다.

전략적 풀이 ① III에서 초기 농도로부터 반감기의 횟수에 따른 전체 기체의 농도 변화를 구한다.

ㄱ. III에서 A의 초기 농도는 2 M이고, 반감기가 1번 지난 때 A와 B의 농도는 각각 1 M, 0.5 M이고, 반감기가 2번 지난 때 A와 B의 농도는 각각 0.5 M, 0.75 M이다. 반응 시간이 $2t$ 일 때 전체 기체의 농도는 1.25 M이므로 $2t$ 일 때는 반감기가 2번 지난 시점이고, 반감기는 t 이다.

② I과 II에서 반감기를 구하여 온도를 비교한다.

ㄴ. I에서 반감기가 1번 지난 시점에서 A와 B의 농도는 각각 2 M, 1 M이고 전체 기체의 농도는 3 M이므로 반감기는 t 이다.

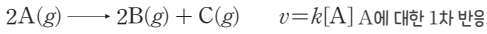
II에서 t 일 때는 전체 기체의 농도는 $\frac{5}{2}$ M이므로 반감기가 2번 지난 시점이고 II에서 반감기는 $\frac{t}{2}$ 이다. 따라서 온도는 II에서가 I에서보다 높고, $T_2 > T_1$ 이므로 II에서의 온도는 T_2 이다.

③ t 일 때 II와 III에서 [B]를 각각 구한다.

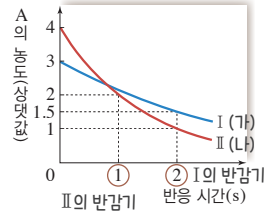
ㄷ. II에서 반감기는 $\frac{t}{2}$ 이므로 t 일 때 B의 농도는 1.5 M이고,

III에서 반감기는 t 이므로 t 일 때 B의 농도는 0.5 M이다. 따라서 t 일 때 [B]는 II에서가 III에서의 3배이다.

03 — **꼼꼼 문제 분석**



| 실험 | 온도 | 반응 속도 상수 |
|-----|-------|----------|
| (가) | T_1 | k_1 |
| (나) | T_2 | $2k_1$ |



반응 속도 상수: (나) > (가)
 ⇒ 온도: $T_2 > T_1$

- 반응 속도 상수는 (나) > (가)이므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.
- 온도가 높을수록 1차 반응에서 반감기가 짧아진다. ⇒ I에서 반감기는 2초이고, II에서 반감기는 1초이므로 I은 (가), II는 (나)이다.

선택지 분석

- ㉠ $T_2 > T_1$ 이다.
- ㉡ 반감기는 II에서가 I에서보다 **길다**. **짧다**
- ㉢ 2초일 때 (나)에서 전체 기체의 양(mol) = $\frac{15}{22}$ 이다. $\frac{22}{15}$

전략적 풀이 ① 반응 속도 상수로부터 온도를 비교한다.

ㄱ. 온도가 높아지면 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 반응 속도 상수가 커진다. 따라서 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

② 온도와 반감기의 관계를 적용한다.

ㄴ. 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고, 반감기가 일정하다. I에서 2초일 때 초기 농도의 절반이고, II에서 1초일 때 초기 농도의 절반이다. 따라서 반감기는 II에서가 I에서보다 짧다.

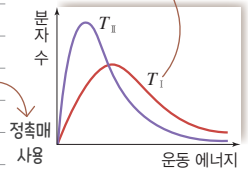
③ 2초일 때 각 전체 기체의 양(mol)을 화학 반응식으로부터 구한다.

ㄷ. I은 (가)이고, II는 (나)이다. 반응 몰비는 $A : B : C = 2 : 2 : 1$ 이다. (가)에서 A(g)의 초기 양(mol)을 $3n$ 이라고 하면, 2초일 때 감소한 A의 양(mol)이 $1.5n$ 이므로 2초일 때 A~C의 양(mol)은 각각 $1.5n$, $1.5n$, $0.75n$ 이고, 전체 기체의 양(mol)은 $3.75n$ 이다. (나)에서 A(g)의 초기 양(mol)을 $4n$ 이라고 하면, 2초일 때는 반감기가 2번 지난 시점이고 감소한 A의 양(mol)이 $3n$ 이므로 2초일 때 A~C의 양(mol)은 각각 n , $3n$, $1.5n$ 이고, 전체 기체의 양(mol)은 $5.5n$ 이다. 따라서 (나)에서 전체 기체의 양(mol) = $\frac{5.5n}{3.75n} = \frac{22}{15}$ 이다.

04 — **꼼꼼 문제 분석**

| 반응 조건 | I | II |
|----------|-------|-------|
| 반응 온도 | T_1 | T_1 |
| 활성화 에너지 | E_1 | E_1 |
| 초기 반응 속도 | v | $2v$ |
| 첨가한 촉매 | 없음 | X |

온도가 높아지면 운동 에너지가 큰 분자 수 증가 ⇒ 온도: $T_1 > T_1$



선택지 분석

- ㉠ $E_1 > E_1$ 이다.
- ㉡ X는 정촉매이다.
- ㉢ I과 II에서의 반응 경로는 서로 다르다.

전략적 풀이 ① 온도와 초기 반응 속도로부터 활성화 에너지의 크기를 비교한다.

ㄱ. 온도가 $T_1 > T_1$ 인데 초기 반응 속도는 II에서가 I에서보다 크므로 활성화 에너지는 I에서가 II에서보다 크다.

② 촉매의 사용에 따른 활성화 에너지 변화를 파악한다.

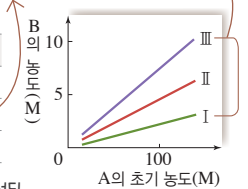
ㄴ. II에서의 활성화 에너지가 I에서의 활성화 에너지보다 작으므로 II에서 첨가한 X는 활성화 에너지를 감소시키는 정촉매이다.

ㄷ. 정촉매인 X에 의해 반응 경로가 달라지므로 I과 II에서의 반응 경로는 서로 다르다.

05 — **꼼꼼 문제 분석**

I과 III 비교: 촉매가 있을 때 생성된 B의 농도가 더 크다. ⇒ III에서 정촉매를 넣었다.

| 실험 | 온도 | 첨가한 촉매 |
|-----|-------|--------|
| I | T_1 | 없음 |
| II | T_2 | 없음 |
| III | T_1 | 있음 |



I과 II 비교: T_1 보다 T_2 일 때 생성된 B의 농도가 더 크다. ⇒ 온도: $T_2 > T_1$

선택지 분석

- ㉠ $T_1 \geq T_2$ 이다. <
- ㉡ 반응 속도 상수는 I에서가 II에서보다 **크다**. **작다**
- ㉢ III에서 촉매는 활성화 에너지를 감소시킨다.

전략적 풀이 ① A의 농도가 일정할 때 반응 속도를 판단하여 온도와 반응 속도 상수를 비교한다.

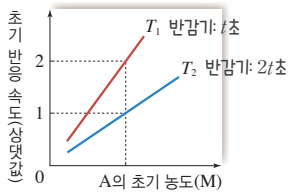
ㄱ. A의 초기 농도가 일정할 때 B의 농도는 II에서가 I에서보다 크므로 반응 속도는 II에서가 I에서보다 크다. 따라서 온도는 T_2 가 T_1 보다 높다.

ㄴ. 온도는 T_2 가 T_1 보다 높으므로 반응 속도 상수는 II에서가 I에서보다 크다.

② 촉매의 사용에 따른 반응 속도 변화를 파악한다.

ㄷ. A의 초기 농도와 온도가 일정할 때 생성물인 B의 농도는 III에서가 I에서보다 크므로 반응 속도는 III에서가 I에서보다 크다. 따라서 III에서 첨가한 촉매는 활성화 에너지를 감소시키는 정촉매이다.

06 - 꼼꼼 문제 분석



| 반응 시간(s) | 0 | t | $2t$ | $3t$ |
|----------|---|-----|------|---------------|
| [B](M) | 0 | 2 | x | $\frac{7}{2}$ |

반감기
1.5 증가

- 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고, 반감기가 일정하다.
- T_1 에서 0~ t 초 동안 [B]가 2 M 증가하고, t 초~ $3t$ 초 동안 [B]가 1.5 M 증가하므로 반감기는 t 초이다. 따라서 0~ t 초 동안 [B] 2 M, t 초~ $2t$ 초 동안 [B] 1 M, $2t$ 초~ $3t$ 초 동안 [B] 0.5 M가 증가하므로 $x=30$ 이다.

선택지 분석

- ① 3 ② 4.5 ③ 5.25 ④ 6 ⑤ 7.5

전략적 풀이 ① 1차 반응임을 파악한 후 반감기를 구한다.

초기 농도가 같을 때 초기 반응 속도는 T_1 에서가 T_2 에서의 2배이므로 반감기는 T_1 에서가 T_2 에서의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

T_1 에서 0~ t 초 동안 [B]가 2 M 증가하고, t 초~ $3t$ 초 동안 [B]가 1.5 M 증가하므로 반감기는 t 초이고, $x=3$ 이다.

② T_2 에서 A의 초기 농도를 이용하여 $2t$ 일 때의 전체 기체의 농도를 구한다.

T_2 에서 1 L 강철 용기에 A 3 mol을 넣으면 [A]는 3 M이다. 반감기는 T_2 에서가 T_1 에서의 2배이므로 T_2 에서 반감기는 $2t$ 초이다. 반응 몰비는 A : B = 1 : 2이므로 $2t$ 초일 때 [A]는 1.5 M, [B]는 3 M가 된다. 따라서 전체 기체의 농도는 4.5 M이다.

07 - 꼼꼼 문제 분석



| 반감기 실험 | 온도 | A(g)의 초기 농도(M) | t s일 때 $\frac{[B]}{[A]}$ | $2t$ s일 때 $\frac{[B]}{[A]}$ |
|--------------------|-------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| $\frac{t}{2}$ 초(가) | T_1 | 0.8 | $\frac{3}{2} \frac{0.3}{0.2}$ | $\frac{15}{2} \frac{0.375}{0.05}$ |
| t 초(나) | T_2 | 0.6 | $\frac{1}{2} \frac{0.15}{0.3}$ | $\frac{3}{2} \frac{0.225}{0.15}$ |

A에 대한 1차 반응이므로 A의 초기 농도가 0.8 M, 0.6 M일 때 반감기의 횟수에 따른 A와 B의 농도, $\frac{[B]}{[A]}$ 는 다음과 같다.

[실험 (가)]

| 반감기 횟수 | 1 | $2(t$ s) | 3 | $4(2t$ s) |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| A의 농도(M) | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |
| B의 농도(M) | 0.2 | 0.3 | 0.35 | 0.375 |
| $\frac{[B]}{[A]}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{2}$ | $\frac{7}{2}$ | $\frac{15}{2}$ |

[실험 (나)]

| 반감기 횟수 | $1(t$ s) | $2(2t$ s) |
|-------------------|---------------|---------------|
| A의 농도(M) | 0.3 | 0.15 |
| B의 농도(M) | 0.15 | 0.225 |
| $\frac{[B]}{[A]}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{2}$ |

→ 초기 농도와 관계없이 반감기의 횟수에 따른 $\frac{[B]}{[A]}$ 는 같다.

선택지 분석

㉠ (나)에서 반감기는 t 초이다.

㉡ $T_2 > T_1$ 이다. <

㉢ (가)에서 t 초일 때 $\frac{[B]}{[A]} = 2$ 이다. $\frac{4}{3}$

전략적 풀이 ① 반감기의 횟수에 따른 물질의 농도를 구하여 반감기를 파악하고, 반감기로부터 온도를 비교한다.

ㄱ. (나)에서 t 초일 때는 $\frac{[B]}{[A]} = \frac{1}{2}$ 이므로 반감기가 1회가 지난 시점이다. 따라서 (나)에서 반감기는 t 초이다.

ㄴ. (가)에서 t 초일 때는 $\frac{[B]}{[A]} = \frac{3}{2}$ 이므로 반감기가 2회 지난 시점이다. 따라서 반감기는 $\frac{t}{2}$ 초이고, (나)에서 반감기는 t 초이므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

② (가)와 (나)에서 B의 농도를 비교한다.

ㄷ. (가)에서 t 초일 때 [B]=0.3 M이고, (나)에서 $2t$ 초일 때 [B]=0.225 M이다. 따라서 $\frac{(가)에서 t초일 때 [B]}{(나)에서 2t초일 때 [B]} = \frac{0.3}{0.225} = \frac{4}{3}$ 이다.