

기술
PICK

정답과 해설

물질과 에너지

01 기체의 성질

빈출 자료 보기

5쪽

001 (1) ○ (2) ×

002 (1) ○ (2) × (3) ○

001 He(g)의 압력은 1기압+ h mmHg이다.

바로알기 | (2) h 가 클수록 He(g)의 압력은 크다.

002 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에 따라 온도가 같으면 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례한다.

바로알기 | (2) 일정한 온도에서 기체의 밀도비는 분자량과 압력의 곱의 비와 같으므로 (가) : (나) = 1 : 1이다.

난이도별 필수 기출

6쪽~13쪽

003 ⑤	004 해설 참조	005 ④	006 ②	007 ①
008 ②	009 ①	010 ②	011 ③	012 ④
013 ②	014 해설 참조	015 ③	016 ①	017 해설 참조
018 ⑤	019 ②, ③	020 ③	021 ③	022 ③
023 해설 참조	024 ⑤	025 ③	026 ③	
027 해설 참조	028 ③	029 해설 참조	030 ③	
031 ④	032 ①	033 ⑤	034 ⑤	035 ③
			036 ③	

003 **바로알기** | ⑤ 기체 분자가 벽면에 충돌하는 횟수가 줄어들면 일반적으로 벽면에 작용하는 힘이 작아져 압력은 감소한다.

004 마개를 열면 유리관 안의 수은이 조금 내려가지만, 수은이 모두 빠져나올 정도로 내려가지는 않는다. 대기압이 수은면을 누르고 있기 때문에 유리관 속 수은 기둥을 일정 높이까지 지탱한다. 1기압은 76 cm 높이의 수은 기둥이 만드는 압력(76 cmHg)과 같으므로 유리관 속 수은 기둥의 높이는 76 cm가 된다.

모범 답안 유리관 속 수은 기둥의 높이는 76 cm가 된다.

채점 기준	배점
수은 기둥의 높이 변화를 옳게 서술한 경우	100 %

005 ㄴ. (나)에서 B(g) 쪽 수은면이 왼쪽보다 190 mm 낮으므로 기체가 대기압보다 강하게 누르고 있어 $P_B = (760 + 190)$ mmHg = 950 mmHg이다.

ㄷ. $P_B - P_A = (950 - 570)$ mmHg = 380 mmHg이다. 두 기체의 수은 높이 차가 각각 반대 방향으로 190 mm이므로 압력 차는 190 mmHg $\times$ 2 = 380 mmHg이다.

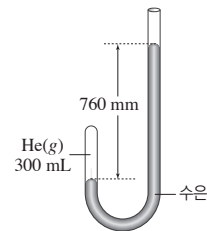
바로알기 | ㄱ. (가)에서 A(g) 쪽 수은면이 높으므로 $P_A = (760 - 190)$ mmHg = 570 mmHg이다. (나)에서 B(g) 쪽 수은면이 낮으므로 $P_B = (760 + 190)$ mmHg = 950 mmHg이다. 따라서 기체의 압력은 $A < B$ 이다.

006 ㄴ. $P_{(가)} = 760$ mmHg, $P_{(나)} = 1140$ mmHg, $P_{(다)} = 2280$ mmHg이므로 (다) > (나) > (가)이다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 X(g)의 압력은 1기압이고, 이때 X(g)의 부피가 24 mL이다. 보일 법칙에 따라 (나)에서 X(g)의 압력은 1.5기압이므로 $a = 24 \times \frac{2}{3} = 16$ 이고, (다)에서 기체의 부피가 8 mL이므로 압력은 3기압이다. 압력이 3기압으로 수은 기둥의 높이 차는 2기압의 압력을 나타내야 하므로 $b = 1520$ 이다. 따라서 $\frac{b}{a} = \frac{1520}{16} = 95$ 이다.

ㄷ. 기체의 질량은 일정하므로 밀도는 부피에 반비례한다. $V_{(가)} = 24$ mL > $V_{(다)} = 8$ mL이므로 밀도는 (다) > (가)이다.

007



• He(g)의 압력은 대기압+760 mmHg=2기압이다.

• 수은을 덜어 내면 기체에 가해지는 압력이 감소하고, 수은 기둥의 높이 차이가 없을 때 1기압이 된다.

• 보일 법칙에 따라 일정한 온도에서 압력과 부피의 곱은 일정하므로 수은 기둥의 높이 차이가 없다면 기체의 압력은 1기압이 되고, 수은을 덜어 냈을 때 He(g)의 부피를 V mL라고 하면 2기압 $\times$ 300 mL = 1기압 $\times$ V mL에서 $V = 600$ 이다.

ㄱ. 오른쪽 수은면이 He(g) 쪽보다 760 mm 높으므로 $P_{He} = (760 + 760)$ mmHg = 1520 mmHg = 2기압이다.

바로알기 | ㄴ. 수은을 덜어 내면 수은 기둥의 높이 차이가 줄어들어 기체 압력이 감소하므로 보일 법칙에 의해 He(g)의 부피는 증가한다.

ㄷ. 높이 차이가 없다면 $P_{He} = 760$ mmHg이고 이때의 부피를 V mL라고 하여 보일 법칙을 적용하면 2기압 $\times$ 300 = 1기압 $\times$ V 에서 $V = 600$ 이고, He(g)의 부피는 600 mL이다.

008 샤를 법칙은 일정한 압력에서 기체의 부피가 절대 온도에 비례하는 법칙이다.

ㄴ. 샤를 법칙에 따라 기체의 부피(V)는 절대 온도(T)에 비례하므로 $\frac{V}{T} = k$ (일정)이다.

바로알기 | ㄱ. $PV = k$ (일정)은 보일 법칙과 관련된 그래프이다.

ㄷ. 보일 법칙에 따르면 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례한다.

009 기체의 온도는 (나)에서가 (가)에서의 2배이고, 기체의 부피는 (가)와 (나)에서 같으므로 $\frac{PV}{T} = k$ (일정)에서 기체의 압력은 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

ㄱ. 기체가 들어 있는 실린더의 피스톤까지의 높이가 h 로 같으므로 (가)와 (나)에서 He(g)의 부피는 같다.

바로알기 | ㄴ. (가)에서 추는 1개, 온도는 T , 실린더의 높이는 h 이고, (나)에서 추는 3개, 온도는 $2T$, 실린더의 높이는 h 인데, 기체의 양(mol)은 같으므로 이상 기체 방정식 $\frac{PV}{T} = nR$ 에서 추 1개의 압력을

x 기압이라고 하면, $\frac{(1+x) \times h}{T} = \frac{(1+3x) \times h}{2T}$ 이므로 $x = 1$ 이다.

ㄷ. (나)에서 추 1개를 제거하면 압력은 1+2=3기압이 되고, 온도는 일정하므로 보일 법칙을 적용하면 $4 \times h = 3 \times h'$ 에서 $h' = \frac{4}{3}h$ 이다.

010 ㄴ. 일정한 압력에서 부피가 절대 온도에 비례하는 샤를 법칙을 나타낸 것으로, 일정한 압력에서 찌그러진 탁구공을 가열하여 온도가 증가할 때 부피가 증가하는 원리를 설명할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 이 그래프는 온도가 일정할 때 압력과 부피가 반비례하는 보일 법칙을 나타낸 것으로, 온도가 변하는 것과는 관계가 없다.

ㄷ. 이 그래프는 $PV=k(\text{일정})$ 에서 $\frac{1}{V} \propto P$ 로 변형한 보일 법칙의 또 다른 표현으로, 온도가 일정한 조건에서만 성립하므로 샤를 법칙과는 관계가 없다.

011 ㄱ. $0^\circ\text{C}(273\text{ K})$ 일 때 기체의 부피(L)는 V_1 , $273^\circ\text{C}(546\text{ K})$ 일 때 기체의 부피(L)는 V_2 이므로 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{546}{273} = 2$ 이다. 따라서 V_2 는 V_1 의 2배이다.

ㄷ. -273°C 는 이론적으로 기체의 부피가 0이 되는 온도로 이때의 온도를 0 K이라고 한다. 따라서 0°C 는 273 K이다.

바로알기 ㄴ. -273°C 는 절대 온도 0 K으로 이론상 부피가 0이 되는 지점이며, 실제로는 그 전에 액체 또는 고체가 되므로 기체 상태로 존재할 수 없다.

012 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이다. He(g)의 질량이 일정하므로 온도가 높아지면 부피가 증가하여 밀도가 감소한다.

ㄴ. 압력은 밀도와 절대 온도의 곱에 비례하므로 압력은 (나)(4T)가 가장 크다.

ㄷ. 평균 분자 운동 속력은 절대 온도가 높을수록 빠르므로 평균 분자 운동 속력은 (라)>(다)이다.

바로알기 ㄱ. 밀도는 부피에 반비례하므로 부피는 (나)<(다)이다.

013 샤를 법칙에 따라 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 이므로 $\frac{V}{-t+273} = \frac{2V}{t+273}$ 이다.

ㄴ. 0°C 일 때 P와 T가 같으므로 기체의 부피는 양(mol)(n)에 비례하는데, 0°C 에서 기체의 부피(L)는 B가 3V, A는 1.5V($-t^\circ\text{C}$ 에서 V, $t^\circ\text{C}$ 에서 2V이므로 중간값)이므로 기체의 양(mol)은 B(g)가 A(g)의 2배이다.

바로알기 ㄱ. A(g)의 온도가 $-t^\circ\text{C}$ 에서 $t^\circ\text{C}$ 로 변할 때 부피(L)가 V에서 2V로 2배가 되었으므로 절대 온도도 2배가 되어야 한다. 따라서 $(273-t) \times 2 = 273+t$ 에서 $t=91$ 이다.

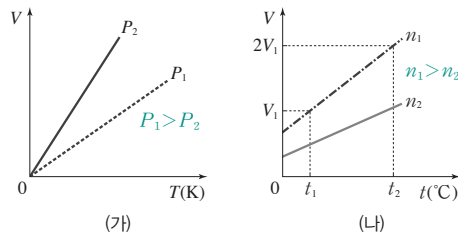
ㄷ. 샤를 법칙에 의해 0°C 에서 $t^\circ\text{C}(91^\circ\text{C})$ 로 될 때 기체의 부피는 0°C 일 때 부피의 $\frac{1}{3}(=\frac{91}{273})$ 만큼 증가하므로, $t^\circ\text{C}$ 일 때 B(g)의 부피(L)는 $3V+3V \times \frac{1}{3}=4V$ 이다.

014 보일 법칙은 일정한 온도에서 기체의 부피가 압력에 반비례하는 것이고, 샤를 법칙은 일정한 압력에서 기체의 부피가 절대 온도에 비례하는 것이다. 따라서 A와 B는 샤를 법칙, A와 C는 보일 법칙으로 부피를 비교할 수 있다.

모범 답안 A와 B는 압력이 2P로 같고 온도는 B가 A의 2배이므로 샤를 법칙에 의해 $V_B=2V_A$ 이다. A와 C는 온도가 T로 같고 압력은 C가 A의 절반이므로 보일 법칙에 의해 $V_C=2V_A$ 이다. 따라서 부피는 $B=C>A$ 이다.

채점 기준	배점
부피를 올바르게 비교하여 서술한 경우	100 %

015



- (가)에서 온도가 같을 때 압력이 클수록 부피가 감소하므로 $P_1 > P_2$ 이다.
- (나)에서 온도가 같을 때 기체의 부피는 n_1 일 때가 n_2 일 때보다 크므로 기체의 양(mol)은 $n_1 > n_2$ 이다.
- (나)에서 샤를 법칙이 성립하므로 $\frac{V_1}{t_1+273} = \frac{2V_1}{t_2+273}$ 이다.

ㄱ. (가)에서 그래프의 기울기는 $\frac{nR}{P}$ 이므로 기울기가 클수록 압력이 작다. 압력이 P_2 일 때 기울기가 압력이 P_1 일 때보다 크므로 $P_1 > P_2$ 이다.

ㄴ. (나)에서 같은 온도(t_1)와 같은 압력에서 기체의 양이 n_1 일 때의 부피가 기체의 양이 n_2 일 때보다 크므로 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에 의해 $n_1 > n_2$ 이다.

바로알기 ㄷ. (나)에서 기체의 양이 n_1 일 때의 부피가 V_1 에서 $2V_1$ 이 되려면 절대 온도가 2배가 되어야 하므로 $t_2+273=2(t_1+273)$ 이 성립하여 $t_2-t_1=t_1+273$ 이다. 이 값이 273이 되려면 $t_1=0$ 이어야 하는데 그래프에서 $t_1 > 0$ 이다. 따라서 $t_2-t_1 > 273$ 이다.

016 A(g)~C(g)의 압력은 각각 1기압(76 cmHg), 2기압(76 cmHg+76 cmHg), 2기압(76 cmHg+76 cmHg)이다.

ㄱ. $P_C=152\text{ cmHg}=2 \times 76\text{ cmHg}=2P_A$ 이므로 C(g)의 압력은 A(g)의 2배이다.

바로알기 ㄴ. $PV=nRT$ 에서 $n_B=\frac{2V}{300R}$, $n_C=\frac{2V}{600R}$ 이므로 $n_B=2n_C$ 로 기체의 양(mol)은 B가 C의 2배이다.

ㄷ. 질량이 같은데 기체의 양(mol)이 B(g)가 C(g)의 2배이므로 분자량은 C가 B의 2배이다.

017 온도가 일정할 때 기체의 부피는 압력에 반비례하고 기체의 질량에 비례하므로 부피(V)는 $\frac{w}{P}$ 에 비례한다. 그래프에서 ㉠과 ㉡은 부피(L)가 $2V_1$ 으로 동일하므로 압력과 질량은 서로 비례 관계에 있다.

모범 답안 (1) 온도가 같고 부피가 같을 때 기체의 질량은 압력에 비례하므로 압력비가 $P_1:3P_1=1:3$ 인 ㉠과 ㉡의 질량비는 1:3이다.

(2) 밀도비는 ㉠:㉡=1:3이다. 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 인데, ㉠과 ㉡은 부피(L)가 $2V_1$ 으로 서로 같으므로 밀도비는 질량비와 같은 1:3이다.

	채점 기준	배점
(1)	질량비를 올바르게 구하고, 까닭을 올바르게 서술한 경우	50 %
	질량비만 올바르게 구한 경우	25 %
(2)	밀도비를 올바르게 구하고, 까닭을 올바르게 서술한 경우	50 %
	밀도비만 올바르게 구한 경우	25 %

018 ㄴ. 질량이 같고 $P_X > P_Y$ 이며, 그래프에서 기울기($\frac{nR}{P}$)는 $X > Y$ 이다. $t^\circ\text{C}$ 에서 $\frac{n_X}{P_X} > \frac{n_Y}{P_Y}$ 이고, $P_X > P_Y$ 이므로 기체의 양(mol)은 $n_X > n_Y$ 이다.

ㄷ. 같은 질량일 때 기체의 양(mol)은 $X > Y$ 이므로 분자량은 $Y > X$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 온도가 같을 때 기체 분자의 평균 운동 에너지는 같다. 따라서 $t^\circ\text{C}$ 에서 기체 분자의 평균 운동 에너지는 X 와 Y 가 같다.

019 기체의 압력이 일정하므로 온도가 같은 (가)와 (나)는 질량비에 의해, 질량이 같은 (나)와 (다)는 절대 온도비에 의해 부피가 결정된다.

① (가)와 (나)는 온도가 같으므로 부피는 질량에 비례한다. 따라서 $x=3$ 이다.

④ 단위 부피당 분자 수는 밀도에 비례하는데 (나)의 밀도가 (다)보다 크므로 단위 부피당 분자 수는 (나)가 (다)보다 크다.

⑤, ⑥ 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에만 비례하므로 (다) > (가) = (나)이다.

바로알기 | ② (나)와 (다)는 질량이 같아 부피가 절대 온도에 비례하므로 $T_1 : T_2 = 2 : 3$ 이다.

③ 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 이고, (가)와 (나)의 단위 부피당 질량이 같으므로 밀도는 (가)와 (나)가 같다.

020 대기압이 일정하므로 두 실린더에서 내부 기체의 압력(P)은 대기압과 같다. 또한 두 기체의 부피(V)와 질량(w)이 각각 같으므로 밀도($=\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$)도 서로 같다.

ㄱ. 기체의 양(mol)(n)은 질량(w)을 분자량(M)으로 나눈 값인데, 질량이 같고 분자량은 B 가 A 의 2배이므로 기체의 양(mol)은 (가)에서 (나)에서의 2배이다.

ㄴ. 두 실린더의 압력(P)과 부피(V)가 같으므로 $PV=nRT$ 에서 nT 의 값은 서로 같아야 하며, 기체의 양(mol)(n)은 (가)가 (나)의 2배이므로 절대 온도(T)는 (나)가 (가)의 2배이다. 따라서 절대 온도에만 비례하는 기체 분자의 평균 운동 에너지는 $B(g)$ 가 $A(g)$ 의 2배이다.

바로알기 | ㄷ. 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 인데 (가)와 (나)의 질량(w)이 같고 부피(V)도 같으므로 실린더에 들어 있는 기체의 밀도는 (가)와 (나)가 같다.

021 분자량은 A_6B_6 가 A_2B_2 의 3배이므로 질량이 같을 때 기체의 양(mol)은 분자량에 반비례하여 기체의 몰비는 (가) : (나) = 1 : 3이다. 또한 두 실린더의 온도가 같으므로 $PV=nRT$ 에서 PV 의 값은 기체의 양(mol)(n)에 비례한다.

ㄱ. 기체의 양(mol)(n)은 질량을 분자량으로 나눈 값인데, 질량이 같고 분자량은 A_6B_6 이 A_2B_2 의 3배이므로 기체의 양(mol)은 (나)에서 (가)에서의 3배이다.

ㄴ. 온도가 같을 때 $PV=nRT$ 에서 PV 는 n 에 비례하므로 (가)와 (나)의 PV 의 비는 1 : 3이며, $P_{(가)} \times V : P_{(나)} \times 1.5V = 1 : 3$ 에서 $P_{(가)} : P_{(나)} = 1 : 2$ 이다. 대기압이 1기압이므로 추가 없는 (가)의 압력은 1기압이고, 추 2개가 있는 (나)의 압력은 2기압이 되어 추 1개에 의한 압력은 0.5기압이다.

바로알기 | ㄷ. (나)에서 추 1개를 제거하면 전체 압력이 2기압에서 1.5기압으로 줄어들어 부피(L)는 2V로 증가한다. 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 인데 질량은 일정하고 부피(L)가 1.5V에서 2V로 $\frac{4}{3}$ 배가 되므로 밀도는 $\frac{3}{4}$ 배가 된다.

022 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에 따라 기체의 양(mol)(n)은

$\frac{PV}{T}$ 에 비례하므로 기체의 몰비는 (가) : (나) : (다) = $\frac{1 \times 4V}{200} : \frac{2 \times 3V}{300} : \frac{3 \times 2V}{400} = 4 : 4 : 3$ 이다. 그리고 기체의 종류가 동일하므로 질량비는 몰비와 같은 (가) : (나) : (다) = 4 : 4 : 3이다.

023 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 기체의 양(mol) $n = \frac{\text{질량}(w)}{\text{분자량}(M)}$ 이므로 기체의 분자량은 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이다. 또한 수상 치환을 통해 모든 기체에는 수증기가 포함되어 있으므로 C_3H_8 의 압력은 $P_1 - P_2$ 이다.

모범 답안 이상 기체 방정식으로부터 기체의 분자량(M)은 $M = \frac{wRT}{PV}$ 로 구할 수 있고, 기체의 압력(P)은 대기압에서 수증기압을 뺀 값이므로 ($P_1 - P_2$) 기압이다. 따라서 실험으로부터 구한 분자량은 $M = \frac{0.09 \times 0.08 \times 300}{0.96 \times 0.05} = 45$ 이다.

채점 기준	배점
분자량과 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
분자량만 옳게 구한 경우	50 %

024 이상 기체 방정식에 따라 기체의 분자량은 $M = \frac{wRT}{PV}$ 로부터 구할 수 있으므로 (가)와 (나)에서 질량(w)을 구하고, (다)에서 부피(V)를 구할 수 있다. 따라서 필요한 자료는 실험실의 온도, 대기압, 기체 상수이다.

ㄱ. 실험실의 온도(T)를 알아야 분자량을 구할 수 있다.

ㄴ. 실험실의 대기압(P)을 알아야 분자량을 구할 수 있다.

ㄷ. 기체 상수(R)를 알아야 $M = \frac{wRT}{PV}$ 로부터 분자량을 구할 수 있다.

025 부피, 온도, 압력이 모두 같으므로 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에 의해 두 기체의 양(mol)은 같다.

ㄱ. 부피, 온도, 압력이 같으면 $PV=nRT$ 에서 n 이 같으므로 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양(mol)은 같다.

ㄴ. 기체의 양(mol)이 같고 $A(g)$ 의 질량이 8.8 g, $B(g)$ 의 질량이 6.4 g이므로 분자량비는 질량비와 같은 $A : B = 8.8 : 6.4 = 11 : 8$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 기체 분자는 온도가 같을 때 평균 운동 에너지가 같다.

026 고정 장치를 풀고 충분한 시간이 지난 상태인 (나)에서는 피스톤이 멈춰 있으므로 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 압력이 서로 같다. 또한 온도가 일정하므로 $PV=nRT$ 에서 기체의 양(mol)(n)은 PV 에 비례하며, (나)에서 두 기체의 부피가 2 L로 같고 압력도 같으므로 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 양(mol)은 서로 같다.

ㄱ. 온도가 일정할 때 $PV=nRT$ 에서 기체의 양(mol)(n)은 PV 에 비례하는데, (나)에서 압력과 부피가 각각 같으므로 두 기체의 양(mol)은 같다.

ㄷ. (가)에서 두 기체의 양(mol)(n)과 온도(T)가 서로 같으므로 $PV=nRT$ 에서 압력(P)은 부피(V)에 반비례한다. 부피비가 $A : B = 1 : 3$ 이므로 압력비는 $A : B = 3 : 1$ 이다.

바로알기 | ㄴ. $B(g)$ 는 기체의 양(mol)과 온도가 일정하므로 보일 법칙($PV=\text{일정}$)이 성립한다. $B(g)$ 의 부피가 (가)에서 3 L, (나)에서 2 L로 $\frac{2}{3}$ 배가 되었으므로 압력은 (나)에서 (가)에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

027 대기압이 일정하므로 실린더 전체의 압력은 대기압과 같은 1기압으로 일정하게 유지된다. 따라서 실린더에 B(g)를 추가하더라도 피스톤이 위로 이동하면서 실린더 내부 전체 압력은 1기압으로 유지되며, 고무풍선 내부에서 A(g)가 받는 외부 압력(B 기체의 압력)도 변하지 않는다. 온도와 압력이 모두 일정하므로 $PV=nRT$ 에서 부피는 양(mol)(n)에만 비례하며, 기체의 양(mol)이 변하지 않은 풍선 속 A(g)의 부피는 일정하고 B(g)의 부피만 증가한다.

모범 답안 실린더 외부의 대기압이 일정하므로 B(g)를 추가해도 실린더 내부 전체 압력은 1기압으로 일정하게 유지된다. 따라서 B(g)의 압력과 풍선이 받는 압력이 모두 일정하므로 기체의 양이 일정한 A(g)의 부피는 변화가 없고 기체의 양(mol)이 증가한 B(g)의 부피만 증가한다.

채점 기준	배점
A의 압력과 부피의 변화를 옳게 서술한 경우	50 %
B의 압력과 부피의 변화를 옳게 서술한 경우	50 %

028 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에서 기체의 양(n)은 $\frac{PV}{T}$ 에 비례한다. 그래프에서 각 기체의 (압력×부피)값과 절대 온도를 대입하면 기체의 양(mol)을 구할 수 있으며, 질량이 같으므로 분자량(M)은 기체의 양(mol)에 반비례한다.

ㄱ. $PV=nRT$ 에서 n 은 $\frac{PV}{T}$ 에 비례한다. A(g)의 양(mol)이 $\frac{b}{2a}$ 라면 B(g)의 양(mol)은 $\frac{b}{a}$ 이므로 기체의 양(mol)은 B(g)가 A(g)의 2배이다.

ㄴ. B(g)의 양(mol)은 $\frac{b}{a}$ 이고 C(g)의 양(mol)은 $\frac{4b}{a}$ 이므로 기체의 몰비는 B : C = 1 : 4이다. 질량이 같을 때 분자량은 기체의 양(mol)에 반비례하므로 분자량비는 B : C = 4 : 1이 되어 $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{1}{4}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 같은 온도와 압력에서 기체의 밀도는 분자량에 비례한다. 분자량비가 B : C = 4 : 1이므로 밀도는 B(g)가 C(g)의 4배이다.

029 실린더 내부의 압력은 대기압(1기압)과 추의 무게에 의한 압력의 합과 같다. 추 1개의 압력이 0.5기압이므로 추 3개가 있는 (가)의 전체 압력은 1기압+1.5기압=2.5기압이고, 추 2개가 있는 (나)의 전체 압력은 1기압+1기압=2기압이다. 온도와 전체 기체의 양(mol)이 일정하므로 보일의 법칙($PV=\text{일정}$)이 성립한다.

모범 답안 (1) 온도가 일정하므로 보일 법칙($PV=\text{일정}$)에 의해 (가)와 (나)의 (압력×부피)값은 같다. (가)의 압력은 2.5기압이고 전체 부피는 $(2+x)$ L이며, (나)의 압력은 2.0기압이고 전체 부피는 $(3+x)$ L이다. 따라서 $2.5 \times (2+x) = 2.0 \times (3+x)$ 에서 $x=2$ 이다.

(2) 온도를 낮추더라도 (나)의 압력은 2.0기압으로 일정하게 유지된다. 기체의 양(mol)과 압력이 일정할 때 전체 부피는 절대 온도에 비례하므로(샤를 법칙), 온도가 T K에서 $\frac{2}{3}T$ K으로 감소하면 전체 부피도 원래 전체 부피인 5 L(실린더 3 L+용기 2 L)의 $\frac{2}{3}$ 배인 $\frac{10}{3}$ L가 되어야 한다. 강철 용기의 부피 2 L는 변하지 않으므로 실린더의 부피는 전체 부피에서 용기 부피를 뺀 $(\frac{10}{3}-2)$ L = $\frac{4}{3}$ L이다.

	채점 기준	배점
(1)	x 를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	40 %
	x 만 옳게 구한 경우	60 %
(2)	실린더의 부피를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	60 %
	실린더의 부피만 옳게 구한 경우	40 %

✓ 개념 보충

보일·샤를 법칙

보일·샤를 법칙은 기체의 부피가 압력에 반비례하고 절대 온도에 비례한다는 법칙이다. 즉, 기체의 양(mol)이 일정할 때 압력이 커지면 부피가 줄어든다. 온도가 높아지면 부피가 커지므로 이를 수식으로 나타내면 $\frac{PV}{T} = k(\text{일정})$ 가 된다. 보일·샤를 법칙은 기체의 압력과 부피의 관계를 다룬 보일 법칙과 온도와 부피의 관계를 다룬 샤를 법칙을 하나로 통합한 법칙이다. 결과적으로 각각의 법칙을 따로 적용할 필요 없이 온도, 압력, 부피가 동시에 변하는 기체의 상태 변화를 한 번에 설명할 수 있다.

030 H_2 의 분자량은 2이고, CH_4 의 분자량은 $12+(1 \times 4)=16$ 이다. $H_2(g)$ 의 질량은 w g이므로 양(mol)은 $\frac{w}{2}$ 이고, $CH_4(g)$ 의 질량은 $2w$ g이므로 양(mol)은 $\frac{2w}{16} = \frac{w}{8}$ 이다. 따라서 두 실린더에 들어 있는 기체의 몰비는 $H_2 : CH_4 = \frac{w}{2} : \frac{w}{8} = 4 : 1$ 이다. 온도가 일정할 때 $PV=nRT$ 에서 PV 값은 n 에 비례하므로 PV 값이 $4a$ 인 A가 $H_2(g)$ 이고, PV 값이 a 인 B와 C가 $CH_4(g)$ 이다.

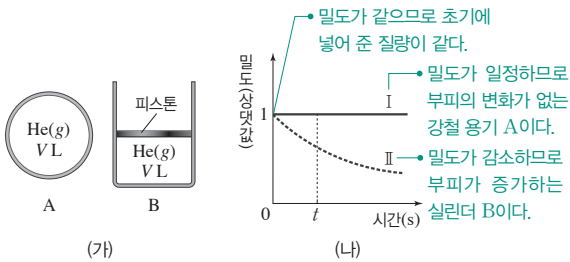
031 주사기에 모은 기체 X의 질량(w)은 실험 전후 가스통의 질량 차와 같으므로 $w=w_1-w_2=50.116 \text{ g}-50.000 \text{ g}=0.116 \text{ g}$ 이다. 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에서 기체의 양 $n=\frac{w}{M}$ 이므로 이를 분자량(M)에 대해 정리하면 $M=\frac{wRT}{PV}$ 가 성립한다. 제시한 자료($w=0.116 \text{ g}$, $R=0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, $T=300 \text{ K}$, $P=1$ 기압, $V=48 \text{ mL}=0.048 \text{ L}$)를 식에 대입하여 기체 X의 분자량을 구하면 $M=\frac{wRT}{PV}=\frac{0.116 \times 0.08 \times 300}{1 \times 0.048}=58$ 이다.

032 대기압이 76 cmHg(1기압)으로 일정할 때, J자관에서 수은 기둥의 높이 차(h)는 대기압과 용기 내부 기체 압력의 차를 의미한다. 용기 I의 $H_2(g)$ 의 압력과 수은 기둥의 높이 차 $2h$ 에 해당하는 압력이 1기압과 같으므로 $P_{H_2}=(76-2h) \text{ cmHg}$ 이다. 반면 용기 II의 수은면은 외부 대기 쪽이 h cm만큼 높으므로 용기 II의 He(g)의 압력은 대기압보다 h cmHg 큰 $(76+h) \text{ cmHg}$ 이다. 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에서 $n=\frac{w}{M}$ 이므로 $P=\frac{wRT}{MV}$ 가 성립한다.

ㄱ. $P_{H_2}=\frac{x}{2} \times \frac{25}{2}$ 이고, $P_{He}=\frac{2.5x}{4} \times \frac{25}{1}$ 이므로 $P_{He}=2.5P_{H_2}$ 이다. $P_{He}-P_{H_2}=3h$ 이므로 $P_{H_2}=2h \text{ cmHg}$ 이고, $76-2h=2h$ 에서 $h=19$ 이다.

바로알기 ㄴ. $h=19$ 이므로 용기 I에서 $P_{H_2}=1-(2 \times \frac{19}{76})=0.5$ 기압이다. 용기 I에서 $P_{H_2}=6.25x$ 에 이를 대입하면 $0.5=6.25x$ 이므로 $x=\frac{0.5}{6.25}=0.08$ 이다.

ㄷ. 기체의 양(mol)(n)은 질량(w)을 분자량(M)으로 나눈 값이다. 용기 I에서 H_2 의 양(mol)은 $\frac{x}{2}$ 이고, 용기 II에서 He의 양(mol)은 $\frac{2.5x}{4}$ 이다. 따라서 두 기체의 몰비는 $\frac{x}{2} : \frac{2.5x}{4} = 2 : 2.5 = 4 : 5$ 이므로 용기에 들어 있는 기체의 몰비는 I : II = 4 : 5이다.



강철 용기 A는 부피(V)가 일정하므로 온도가 높아지더라도 부피와 질량이 변하지 않아 밀도가 일정하게 유지된다. 반면 실린더 B는 피스톤이 자유롭게 이동할 수 있어 외부 대기압과 내부 압력이 항상 같게 유지되는데, $PV=nRT$ 에서 압력(P)이 일정할 때 온도(T)가 증가하면 부피(V)가 증가한다. 따라서 실린더 B는 질량은 일정하지만 부피가 증가하므로 밀도가 점차 감소한다. 이를 통해 (나)에서 밀도가 일정한 I은 강철 용기 A이고, 밀도가 감소하는 II는 실린더 B임을 알 수 있다. ㄱ. (나)에서 시간이 0초일 때(가열하기 전 0°C 일 때), I과 II의 초기 밀도(상댓값)가 1로 서로 같다. (가)에서 강철 용기 A와 실린더 B의 부피가 모두 V 로 같으므로, 초기 밀도가 같고 부피가 같으므로 초기 He(g) 의 질량이 같다.

ㄴ. 가열할 때 강철 용기 A는 부피가 일정하여 밀도가 유지되므로 I에 해당하고, 실린더 B는 $PV=nRT$ 에 의해 압력이 일정할 때 온도가 증가하면서 부피가 증가하여 밀도가 감소하므로 II에 해당한다. 따라서 II는 B이다.

ㄷ. 단위 부피당 기체 분자 수는 $\frac{\text{분자 수}}{\text{부피}}$ 를 의미하므로 기체의 밀도에 비례한다. (나)에서 t 초일 때 기체의 밀도는 I(강철 용기 A)이 II(실린더 B)보다 크다. 따라서 단위 부피당 기체 분자 수는 A에서가 B에서보다 크다.

034 (가)와 (나) 모두 대기압이 1기압으로 일정하므로 내부 압력은 1기압으로 서로 같다. 또한 온도도 25°C 로 일정하므로 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에서 압력(P)과 온도(T)가 일정할 때 기체의 부피(V)는 양(mol)(n)에만 비례한다. 기체의 양(mol)은 질량(w)을 분자량(M)으로 나누어 구한다.

ㄱ. 기체의 양(mol)은 질량을 분자량으로 나눈 값이다. (나)에 들어 있는 Ne의 질량은 20 g이고 분자량은 20이므로 기체의 양(mol)은 $\frac{20}{20}=1$ 이다.

ㄴ. 온도가 일정할 때 $PV=nRT$ 에서 P 가 같으면 기체의 밀도는 분자량(M)에 비례한다. N_2 의 분자량은 28이고, Ne의 분자량은 20이므로 밀도비는 (가) : (나) = $28 : 20 = 7 : 5$ 이다. 따라서 기체의 밀도는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{7}{5}$ 배이다.

ㄷ. (가)에 들어 있는 N_2 의 양(mol)은 $\frac{20}{28}=\frac{5}{7}$ 이고, (나)에 들어 있는 Ne의 양(mol)은 $\frac{20}{20}=1$ 이다. (가)에 N_2 8 g, 즉 $\frac{2}{7}(=\frac{8}{28})$ mol을 추가하면 (가)에서 전체 기체의 양(mol)은 $\frac{5}{7}+\frac{2}{7}=1$ 이 된다. 압력과 온도가 같을 때 부피는 기체의 양(mol)에 비례하는데, (가)에서 전체 기체의 양(mol)이 (나)와 같은 1 mol이 되므로 (가)에서 기체의 부피는 (나)와 같아진다.

035 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에서 기체의 양(mol) $n=\frac{w}{M}$

이므로 기체의 분자량(M)은 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이다. 따라서 실험을 통해 이산화 탄소(CO_2)의 분자량을 구하기 위해서는 주사기 속 CO_2 기체의 질량(w), 실험실의 온도(T), 대기압(P), 기체의 부피(V) 및 기체 상수(R)의 값을 모두 알아야 한다.

ㄱ. (가) 과정에서 기체가 들어 있지 않은 빈 주사기의 질량을 측정하고, (나) 과정에서 소량의 드라이아이스를 넣은 주사기의 질량을 측정한다. 따라서 두 과정에서 측정된 질량의 차((나)의 질량 - (가)의 질량)를 통해 주사기 속 CO_2 의 질량(w)을 구할 수 있다.

ㄴ. $M=\frac{wRT}{PV}$ 에서 분자량(M)을 구하기 위해서는 기체의 절대 온도(T) 값이 반드시 필요하다. 제시된 실험 과정 (가)~(마) 중 온도를 측정하는 단계가 누락되어 있으므로 실험실의 온도를 추가로 측정해야 한다.

바로알기 ㄷ. 수상 치환법을 이용하여 물에서 기체를 모을 때는 주사기나 포집 용기 내부에 수증기가 함께 존재하므로 전체 압력에서 수증기압을 빼 주는 과정이 필요하다. 그러나 이 실험은 드라이아이스를 주사기에 직접 넣고 밀폐하여 기체로 승화시키는 방식이므로 주사기 내부에 수증기가 포함되지 않는다. 따라서 분자량을 구할 때 수증기압을 고려할 필요가 없다.

036 밀도(d)는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}(\frac{w}{V})$ 이므로 이상 기체 방정식($PV=nRT$)

$=\frac{w}{M} \times RT$ 을 밀도에 관한 식으로 변형하면 $d=\frac{PM}{RT}$ 이 성립한다.

즉, 기체의 밀도(d)는 압력(P)에 비례하고 절대 온도(T)에 반비례한다.

(가)에서 (나)가 될 때 온도는 200 K으로 일정하게 유지되었다. 온도가 일정할 때 밀도는 압력에만 비례하므로 $d_{(가)} : d_{(나)} = P_{(가)} : P_{(나)}$ 가 성립하므로 $1 : \frac{3}{2} = 1 : x$ 에서 $x=\frac{3}{2}$ 이다. (가)에서 (다)가 될 때의 압력은 1기압에서 2기압으로 2배가 되었고, 절대 온도는 200 K에서 600 K으로 3배가 되었다. $d=\frac{PM}{RT}$ 에 따라 밀도는 압력에 비례하고 절대

온도에 반비례하므로 (다)의 밀도 y 는 (가)의 밀도에 압력 변화(2배)를 곱하고 온도 변화(3배)로 나누어 구한다. 따라서 $y=\frac{1 \times 2}{3}=\frac{2}{3}$ 이므로 $x \times y=1$ 이다.

02 혼합 기체

빈출 자료 보기

15쪽

037 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

038 (1) × (2) ○ (3) ○

037 (1) 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에 의해 기체의 양(mol)은 PV 값에 비례하므로 기체의 몰비는 $\text{He}(g) : \text{Ne}(g) = 3 \times 2 : 1 \times 3 = 2 : 1$ 이다.

(2) 몰분율은 전체 기체의 양(mol) 중에서 특정 기체가 차지하는 몰비율을 의미한다. 기체의 양(mol)을 $\text{He}(g)$ $2n$, $\text{Ne}(g)$ n 이라고 할 수 있으므로 전체 기체의 양(mol)은 $3n$ 이 된다. 따라서 $\text{He}(g)$ 의 몰분율은 $\frac{2}{3}$ 이다.

(4) 전체 압력은 $\frac{9}{5}$ 기압이고, $\text{Ne}(g)$ 의 몰분율은 $\frac{1}{3}$ 이므로 $\text{Ne}(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{9}{5} \text{ 기압} \times \frac{1}{3} = \frac{3}{5} \text{ 기압}$ 이다.

바로알기 | (3) $(3 \text{ 기압} \times 2 \text{ L}) + (1 \text{ 기압} \times 3 \text{ L}) = \text{전체 압력} \times 5 \text{ L}$ 이므로 전체 압력은 $\frac{9}{5}$ 기압이다.

038 (2) 실린더 속 $X(g)$ 의 부피는 $X(g)$ 가 차지하는 전체 부피이므로 $2V \text{ L}$ 이다.

(3) X 의 분자량은 $M = \frac{wRT}{PV}$ 로부터 구할 수 있다. $X(g)$ 의 질량은 $w \text{ g}$ 이고, 온도는 $T \text{ K}$, 압력은 $(1-a)$ 기압, 부피는 2 L 이므로 기체 상수 R 를 알면 분자량을 구할 수 있다.

바로알기 | (1) 실린더 속에는 $X(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 함께 있으므로 $X(g)$ 의 압력은 $(1-a)$ 기압이다.

난이도별 필수 기출

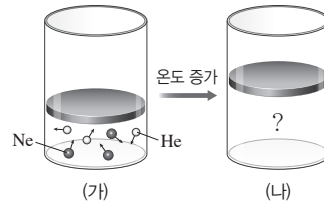
16쪽~23쪽

039 ②	040 ③	041 ②	042 ②	043 ②	044 ④
045 해설 참조	046 해설 참조	047 ④			
048 ②, ⑥	049 ④	050 ②	051 해설 참조		
052 ③	053 ⑤	054 ⑤	055 ⑤	056 해설 참조	
057 해설 참조	058 ②	059 ②	060 ③	061 ②	
062 ①	063 해설 참조	064 ②	065 해설 참조		
066 ③	067 ⑤	068 ②	069 해설 참조	070 ①	
071 ④					

039 ② 부분 압력은 혼합 기체 속 특정 기체가 전체 부피를 차지한다고 가정할 때 나타내는 압력이다. 부분 압력 법칙에 따르면 혼합 기체의 전체 압력은 각 기체의 부분 압력의 합과 같다.

040 ③ 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 온도가 같을 때 기체의 양(mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱에 비례한다. $\text{N}_2(g)$ 의 양(mol)을 $PV=2 \text{ 기압} \times 1 \text{ L}=2n$ 이라고 하면, $\text{Ar}(g)$ 의 양(mol)은 $PV=5 \text{ 기압} \times 2 \text{ L}=10n$ 이다. 따라서 전체 기체의 양(mol)은 $2n+10n=12n$ 이다. 꼭지를 열면 전체 부피는 $1 \text{ L}+2 \text{ L}=3 \text{ L}$ 가 되며, 온도가 일정할 때 전체 기체의 압력은 $P = \frac{\text{각 기체의 } PV \text{의 합}}{\text{전체 부피}} = \frac{12n}{3 \text{ L}} = 4 \text{ 기압}$ 이다.

041



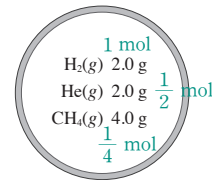
(가)는 실린더 속에 $\text{He}(g)$ 과 $\text{Ne}(g)$ 이 함께 들어 있는 상태이고, (나)는 일정한 압력에서 온도를 높인 상태이다. 피스톤이 자유롭게 움직이는 실린더에서 외부 압력이 일정하면 전체 기체의 압력은 일정하게 유지된다. 온도를 높이면 기체의 부피가 증가하므로 피스톤이 위로 올라간다.

ㄴ. 일정한 압력에서 온도를 높이면 기체의 전체 부피가 증가한다. 따라서 온도를 높이면 혼합 기체 속 $\text{Ne}(g)$ 이 차지하는 부피는 증가한다.

바로알기 | ㄱ. 전체 압력이 일정하고 $\text{He}(g)$ 과 $\text{Ne}(g)$ 의 양(mol)은 변하지 않으므로 $\text{He}(g)$ 의 몰분율도 변하지 않는다. 부분 압력은 전체 압력 $\times$ 몰분율로 구하므로 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력은 변하지 않는다.

ㄷ. 일정한 압력에서 온도를 높였다고 했으므로 전체 기체의 압력은 감소하지 않고 일정하게 유지된다.

042



강철 용기는 부피가 일정하므로 온도가 일정할 때 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례한다. 각 기체의 양(mol)을 구하면 H_2 는 분자량이 2이므로 2.0 g 은 1.0 mol 이고, He 은 원자량이 4이므로 2.0 g 은 0.5 mol 이며, CH_4 는 분자량이 16이므로 4.0 g 은 0.25 mol 이다. 따라서 전체 기체의 양(mol)은 $1.0+0.5+0.25=1.75 \text{ mol}$ 이다.

ㄴ. $\text{H}_2(g)$ 의 양(mol)은 1이고 전체 기체의 양(mol)은 1.75 이므로 $\text{H}_2(g)$ 의 몰분율은 $\frac{1}{1.75} = \frac{4}{7}$ 이다. 전체 압력이 1.4 기압이므로 $\text{H}_2(g)$ 의 부분 압력은 $1.4 \text{ 기압} \times \frac{4}{7} = 0.8 \text{ 기압}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. $\text{He}(g)$ 과 $\text{CH}_4(g)$ 의 몰비는 $0.5 : 0.25 = 2 : 1$ 이다.

ㄷ. $\text{CH}_4(g)$ 4 g 을 추가로 넣으면 CH_4 의 양(mol)은 0.25 만큼 증가하므로 전체 기체의 양(mol)은 1.75 에서 2 가 된다. 온도와 부피가 일정할 때 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로 전체 압력은 $1.4 \times \frac{2}{1.75} = 1.6 \text{ 기압}$ 이 된다.

043 ② (가)에서 $X(g)$ 8개가 1 L 용기에 들어 있을 때 압력이 1 기압이고, (나)에서 $Y(g)$ 4개가 1 L 용기에 들어 있을 때 압력이 x 기압이다. 같은 온도와 같은 부피에서는 압력이 기체의 양(mol)에 비례하므로 압력의 비는 입자 수의 비와 같다. 따라서 $1 : x = 8 : 4 = 2 : 1$ 이므로 $x=0.5$ 이다.

(다)는 $X(g)$ 와 $Y(g)$ 가 2 L 용기에 함께 들어 있는 상태이다. $X(g)$ 는 (가)에서 1 L 일 때 1 기압이었으므로 부피가 2 배가 되면 압력은 $\frac{1}{2}$ 배가 되어 $X(g)$ 의 부분 압력은 0.5 기압이다. 또한 $Y(g)$ 는 (나)에서 1 L 일 때 0.5 기압이었으므로 부피가 2 배가 되면 압력은 $\frac{1}{2}$ 배가 되어 $Y(g)$ 의 부분 압력은 0.25 기압이다. 부분 압력 법칙에 따라 혼합 기체의 전체 압력은 각 기체의 부분 압력의 합과 같으므로 $y=0.75$ 이며, $x+y=1.25$ 이다.

044 ㄴ. (다)에서 기체를 포집할 때 눈금실린더 안과 밖의 수면 높이가 다르면 기체의 압력과 대기압이 다르다. 수면을 일치시키면 포집된 기체의 압력과 대기압이 같으므로 기체의 부피와 압력을 정확하게 측정할 수 있다.

ㄷ. 포집된 기체는 산소와 수증기의 혼합 기체이므로 전체 압력에서 $t^{\circ}\text{C}$ 에서의 수증기압을 빼야 A(g)의 부분 압력을 구할 수 있다. 따라서 A(g)의 압력을 구하기 위해 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 수증기압이 필요하다.

바로알기 ㄱ. 염소산 칼륨(KClO_3)을 가열하면 염화 칼륨(KCl)과 산소(O_2)가 생성된다. 따라서 발생하는 기체 A는 염소(Cl_2)가 아니라 산소(O_2)이다.

045 공기 중에서 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력에 각 기체의 몰분율을 곱하여 구한다. 습한 공기에는 질소, 산소, 아르곤뿐만 아니라 수증기도 포함되어 있어 습한 공기의 전체 압력을 그대로 사용하면 수증기의 부분 압력까지 포함되어 질소, 산소, 아르곤의 부분 압력을 정확히 구할 수 없다. 건조 공기를 기준으로 하면 수증기의 영향을 제외할 수 있으므로 성분 기체의 부분 압력을 더 정확하게 계산할 수 있다.

모범 답안 부분 압력 법칙에 따르면 각 기체의 부분 압력은 전체 압력에 해당 기체의 몰분율을 곱하여 구한다. 혼합 기체에서 각 성분 기체의 양(mol)을 알아야 부분 압력을 계산할 수 있다. 그러나 실제 공기에는 수증기가 포함되어 있어 질소, 산소, 아르곤의 몰비가 건조 공기의 값과 달라진다. 따라서 질소, 산소, 아르곤의 부분 압력을 정확하게 구하기 위해서는 수증기를 제외한 건조 공기의 조성을 이용해야 한다.

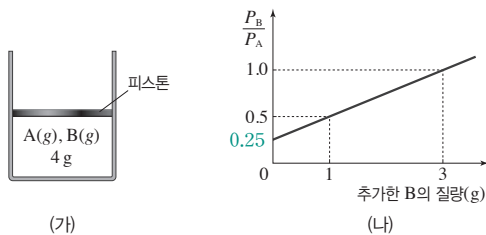
채점 기준	배점
필요한 자료와 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
필요한 자료만 모두 옳게 쓴 경우	50 %

046 꼭지를 열기 전 5 L 용기에 들어 있는 He와 CH_4 의 부분 압력은 각각 1기압, 2기압이다. 꼭지를 열면 기체의 전체 부피는 15 L가 된다. 이때 온도와 기체의 양(mol)은 일정하므로 각 기체에 대해 보일 법칙($P_1V_1=P_2V_2$)을 적용할 수 있다.

모범 답안 꼭지를 열면 전체 기체의 부피는 15 L가 된다. 각 기체의 양(mol)은 일정하므로 부분 압력은 보일 법칙에 따라 계산할 수 있다. He의 부분 압력은 1기압 $\times 5\text{ L} = P_{\text{He}} \times 15\text{ L}$ 이므로 $P_{\text{He}} = \frac{1}{3}$ 기압이다. CH_4 의 부분 압력은 2기압 $\times 5\text{ L} = P_{\text{CH}_4} \times 15\text{ L}$ 이므로 $P_{\text{CH}_4} = \frac{2}{3}$ 기압이다. 전체 압력은 부분 압력의 합과 같으므로 $P_{\text{전체}} = P_{\text{He}} + P_{\text{CH}_4} = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} = 1$ 기압이다.

채점 기준	배점
압력과 몰이 과정을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
압력만 모두 옳게 구한 경우	50 %

047



(나)에서 B 1 g을 추가했을 때 $\frac{P_B}{P_A} = 0.5$ 이고, B 3 g을 추가했을 때 $\frac{P_B}{P_A} = 1.0$ 이다.
 ➔ B 1 g씩을 추가할 때마다 $\frac{P_B}{P_A}$ 는 0.25씩 증가하므로 그래프를 y축까지 연장하면 B를 추가하지 않았을 때 $\frac{P_B}{P_A} = 0.25$ 이다.

ㄴ. 추가한 B의 질량이 1 g일 때 $\frac{P_B}{P_A} = 0.5$ 이고, 3 g일 때 $\frac{P_B}{P_A} = 1.0$ 이다. 두 점을 이용하면 직선의 기울기는 0.25이고, y절편은 0.25이므로 B를 추가하지 않은 (가)에서 $\frac{P_B}{P_A} = 0.25$ 이다.

ㄷ. (가)에서 $\frac{P_B}{P_A} = \frac{n_B}{n_A} = 0.25$ 이다. (가)에서 A, B의 질량은 각각 3 g, 1 g이므로 $\frac{n_B}{n_A} = \frac{\frac{M_B}{3}}{\frac{M_A}{1}} = \frac{M_A}{3M_B}$ 이다. 따라서 $\frac{M_A}{3M_B} = \frac{1}{4}$ 이므로 $4M_A = 3M_B$ 에서 $\frac{M_B}{M_A} = \frac{4}{3}$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)의 혼합 기체 4 g에 B 1 g을 추가하면 $\frac{P_B}{P_A}$ 가 0.25에서 0.5로 증가한다. 즉, B 1 g을 추가했을 때 $\frac{P_B}{P_A}$ 가 0.25만큼 증가하므로 (가)에서 B의 질량은 1 g이고 A의 질량은 3 g이다.

048 꼭지를 열면 전체 기체의 부피는 3 L가 된다. 온도가 일정하므로 각 기체의 양(mol)은 꼭지를 열기 전 PV값에 비례한다.

②, ⑥ H_2 (g)의 양(mol)을 3기압 $\times 1\text{ L} = 3n$ 이라고 하면, N_2 (g)의 양(mol)은 1기압 $\times 2\text{ L} = 2n$ 이므로 H_2 (g)와 N_2 (g)의 몰비는 3 : 2이다. 따라서 N_2 (g)의 몰분율은 $\frac{2}{5}$ 이다.

바로알기 ① H_2 (g)의 부분 압력은 1기압이다.

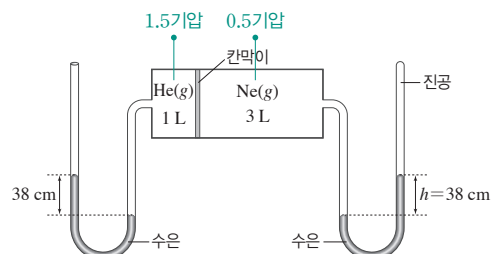
③ H_2 (g)와 N_2 (g)의 몰비가 3 : 2이므로 H_2 (g)의 몰분율은 $\frac{3}{5}$ 이다.

④ 전체 압력은 H_2 (g)의 부분 압력인 1기압과 N_2 (g)의 부분 압력인 $\frac{2}{3}$ 기압의 합이므로 $\frac{5}{3}$ 기압이다.

⑤ H_2 (g)의 부분 압력은 1기압이고, N_2 (g)의 부분 압력은 $\frac{2}{3}$ 기압이므로 H_2 (g)의 부분 압력이 더 크다.

049 ④ (나)에서 A(g)의 몰분율이 0.5이므로 A(g)와 B(g)의 양(mol)이 같다. A, B의 분자량을 각각 M_A , M_B 라고 할 때 A(g)의 질량은 2 g이고, B(g)의 질량은 10 g이므로 $\frac{2}{M_A} = \frac{10}{M_B}$ 에서 $\frac{B\text{의 분자량}}{A\text{의 분자량}} = 5$ 이다.

050



• 칸막이를 제거하기 전 왼쪽에서 대기압이 76 cmHg이고 수은 높이 차이가 38 cm이므로 He(g)의 압력은 $76 + 38 = 114\text{ cmHg}$, 즉 1.5기압이다. Ne(g)의 압력은 수은 높이 차와 같은 38 cmHg, 즉 0.5기압이다.
 • 칸막이를 제거하면 두 기체의 전체 부피는 4 L가 된다. 온도가 일정하므로 각 기체의 부분 압력은 부피 변화에 따라 달라진다. He(g)의 부분 압력은 $1.5\text{ 기압} \times \frac{1\text{ L}}{4\text{ L}} = \frac{3}{8}$ 기압이 되고, Ne(g)의 부분 압력은 $0.5\text{ 기압} \times \frac{3\text{ L}}{4\text{ L}} = \frac{3}{8}$ 기압이 된다. 따라서 전체 압력은 $\frac{3}{8} + \frac{3}{8} = \frac{3}{4}$ 기압이다.

ㄴ. 기체의 몰분율은 해당 기체의 부분 압력을 전체 압력으로 나누어 구할 수 있다. Ne(g)의 부분 압력은 $\frac{3}{8}$ 기압이고 전체 압력은 $\frac{3}{4}$ 기압이므로 Ne(g)의 몰분율은 $\frac{1}{2}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 칸막이를 제거한 후 전체 압력은 $\frac{3}{4}$ 기압이다. 따라서 $h=57$ cm이다.

ㄷ. 칸막이를 제거하면 전체 기체의 부피는 4 L이다. 따라서 칸막이를 제거한 후 He(g)의 부분 압력은 $1.5 \text{ 기압} \times \frac{1 \text{ L}}{4 \text{ L}} = \frac{3}{8}$ 기압이다.

051 (가)는 실린더이므로 대기압이 1기압일 때 내부 기체의 압력도 1기압이다. 반면 (나)는 강철 용기이므로 부피가 일정하여 기체를 추가하면 전체 기체의 압력이 증가한다. (다)에서 넣어 준 기체의 질량이 증가할 때 혼합 기체의 압력이 증가하므로 (다)는 (나)의 강철 용기에 (가)의 Ne(g)을 넣은 경우이다.

모범 답안 (다)에서 기체를 넣어 줄수록 전체 기체의 압력이 증가하므로 (나)의 He(g)에 (가)의 Ne(g)을 넣은 것이다. (가)에서 Ne(g)의 질량은 1 g이고 분자량이 20이므로 양(mol)은 $\frac{1}{20}$ 이다. 이 기체가 1기압을 나타내므로 같은 온도와 같은 부피에서 $\frac{1}{20}$ mol은 1기압에 해당한다. (나)의 He(g)은 1 g이고 분자량이 4이므로 양(mol)은 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 He(g)의 압력은 Ne(g)의 $\frac{1}{20}$ mol이 나타내는 압력의 5배이므로 5기압이다. (나)에 Ne(g) 1 g을 모두 넣으면 Ne(g)의 부분 압력은 1기압이며, 혼합 기체의 전체 압력은 각 기체의 부분 압력의 합이므로 $x=5 \text{ 기압} + 1 \text{ 기압} = 6 \text{ 기압}$ 이다.

채점 기준	배점
부분 압력을 옳게 구하고, 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
부분 압력만 옳게 구한 경우	50 %

052 ㄱ. (가)에서 Ne(g)과 Ar(g)의 양(mol)은 $\frac{PV}{T}$ 에 비례한다.

$$\text{Ne(g)의 양(mol)} \propto \frac{1 \text{ 기압} \times 4 \text{ L}}{300 \text{ K}} = \frac{4}{300}$$

$$\text{Ar(g)의 양(mol)} \propto \frac{2 \text{ 기압} \times 6 \text{ L}}{600 \text{ K}} = \frac{12}{600} = \frac{6}{300}$$

따라서 기체의 몰비는 Ne(g) : Ar(g) = 4 : 6 = 2 : 3이다.

ㄴ. 칸막이를 제거하면 전체 기체의 부피가 10 L가 되고, 온도는 450 K이 된다. (가)에서 전체 기체의 양(mol)은 Ne(g)과 Ar(g)의 양(mol)의 합에 비례한다.

$$\text{전체 기체의 양(mol)} \propto \frac{4}{300} + \frac{12}{600} = \frac{4}{300} + \frac{6}{300} = \frac{10}{300} = \frac{1}{30}$$

$$\text{따라서 (나)에서 } \frac{P \times 10 \text{ L}}{450 \text{ K}} = \frac{1}{30} \text{ 이므로 } P = \frac{450}{30} = 1.5 \text{ 기압이다.}$$

바로알기 ㄷ. (나)에서 Ar(g)의 몰분율은 $\frac{3}{2+3} = \frac{3}{5}$ 이다. 따라서

$$\text{Ar(g)의 부분 압력은 } \frac{3}{5} \times 1.5 \text{ 기압} = 0.9 \text{ 기압이다.}$$

053 온도가 같을 때 기체의 양(mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱에 비례한다. A(g)의 양(mol)을 $PV=2 \text{ 기압} \times 2 \text{ L}=4n$ 이라고 하면, B(g)의 양(mol)은 $1 \text{ 기압} \times 1 \text{ L}=n$ 이다. 따라서 화학 반응 전과 후에 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

	A(g)	+	B(g)	→	C(g)
반응 전(mol)	4n		n		
반응(mol)	-n		-n		+n
반응 후(mol)	3n		0		n

ㄱ. 남은 반응물은 A(g)이다.

ㄴ. 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 4n인데, 압력이 1기압이므로 전체 기체의 부피는 4 L이다. 그런데 (가)의 부피가 2 L이므로 (나)의 부피는 2 L이다.

ㄷ. 반응 후 C(g)의 몰분율은 $\frac{n}{4n} = \frac{1}{4}$ 이다.

054 온도가 같을 때 기체의 양(mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱에 비례한다. A(g)의 양(mol)을 $PV=2 \text{ 기압} \times V \text{ L}=2Vn$ 이라고 하면, B(g)의 양(mol)은 $PV=P \text{ 기압} \times V \text{ L}=PVn$ 이다. 그리고 반응 후 C(g)의 부분 압력과 부피가 각각 $\frac{4}{5}$ 기압, $2V \text{ L}$ 이므로 C(g)의 양(mol)

은 $\frac{8Vn}{5}$ 이다. 따라서 화학 반응 전과 후에 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

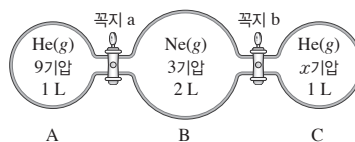
	2A(g)	+	B(g)	→	2C(g)
반응 전(mol)	2Vn		PVn		
반응(mol)	$-\frac{8Vn}{5}$		$-\frac{4Vn}{5}$		$+\frac{8Vn}{5}$
반응 후(mol)	$\frac{2Vn}{5}$		0		$\frac{8Vn}{5}$

ㄴ. B(g)는 반응 후 남지 않으므로 $PVn=\frac{4Vn}{5}$ 에서 $P=\frac{4}{5}$ 이다.

ㄷ. 반응 후 전체 기체의 양(mol)이 $2Vn$ 인데, 전체 기체의 부피가 $2V \text{ L}$ 이므로 전체 기체의 압력은 1기압이다.

바로알기 ㄱ. 반응에서 B(g)는 모두 반응하고 A(g)가 남는다.

055



• (나)에서 꼭지 a를 열면 전체 기체의 부피는 3 L가 된다. 꼭지를 열기 전 He(g)의 압력과 부피는 각각 9기압, 1 L이므로 혼합 후 He(g)의 부분 압력은 $9 \text{ 기압} \times \frac{1}{3} = 3 \text{ 기압}$ 이다.

• 꼭지를 열기 전 Ne(g)의 압력과 부피는 각각 3기압, 2 L이므로 (나)에서 혼합 후 Ne(g)의 부분 압력은 $3 \text{ 기압} \times \frac{2}{3} = 2 \text{ 기압}$ 이다. 따라서 (나) 과정 후 용기 B에서 전체 기체의 압력 P_1 (기압)은 $3+2=5$ 이다.

ㄱ. $P_1 : P_2 = 15 : 16$ 이고 $P_1=5$ 기압이므로 $P_2=\frac{16}{3}$ 기압이다.

ㄴ. (나) 과정 후 용기 B에서 He(g)의 부분 압력은 3기압, Ne(g)의 부분 압력은 2기압이며, 부피는 2 L이다. 그리고 용기 C에서 He(g)의 압력과 부피는 각각 x기압, 1 L이다. (다)에서 꼭지 b를 열기 전과 후에 전체 기체의 양(mol)은 일정하고, 온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱에 비례하므로 $(3 \times 2) + (2 \times 2) + (x \times 1) = \frac{16}{3} \times 3$ 에서 $x=6$ 이다.

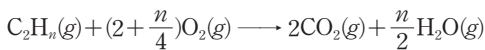
ㄷ. (나) 과정 후 용기 B에서 Ne(g)의 부분 압력은 2기압인데, A와 B에서 Ne(g)의 부분 압력은 같으므로 A에서 Ne(g)의 부분 압력은 2기압이다.

056 A(g)를 수상 치환으로 포집한 것이므로 눈금실린더 안에는 A(g)와 수증기가 함께 들어 있다. 따라서 포집된 전체 기체의 압력은 A(g)의 부분 압력과 수증기압의 합이므로 A(g)의 압력을 구하려면 대기압에서 측정된 온도에서의 물의 수증기압을 빼야 한다.

모범 답안 ㉠은 물의 수증기압이다. 물에서 기체를 포집하면 눈금실린더 안에는 A(g)와 수증기가 함께 존재하므로 A(g)의 압력은 대기압에서 수증기압을 뺀 값과 같다. ㉡와 같이 눈금실린더 안의 수면이 바깥 수면보다 높은 상태에서 부피를 측정하면 실린더 안 기체의 압력은 대기압보다 작는데, 이를 고려하지 않고 대기압에서 수증기압을 빼면 A(g)의 압력은 실제보다 크다. 따라서 이상 기체 방정식으로 계산한 A(g)의 양(mol)은 실제보다 크고, 분자량 = $\frac{\text{질량}}{\text{양(mol)}}$ 이므로 A의 분자량은 실제보다 작다.

채점 기준	배점
㉠을 옳게 쓰고, 분자량 계산에 미치는 영향을 옳게 서술한 경우	100 %
㉡만 옳게 쓴 경우	30 %

057 반응 전 C₂H_n(g)의 부분 압력이 $\frac{1}{5}$ 기압이므로 C₂H_n(g)의 몰분율은 $\frac{1}{5}$ 이다. 따라서 C₂H_n(g)의 양(mol)을 a라고 하면 반응 전 전체 기체의 양(mol)은 5a이고, O₂(g)의 양(mol)은 4a이다. C₂H_n(g)의 완전 연소 반응식은 다음과 같다.



반응 후 CO₂(g)의 양(mol)은 2a이다. 반응 후 CO₂(g)의 부분 압력이 $\frac{4}{9}$ 기압이고 전체 압력은 1기압이므로 CO₂(g)의 몰분율은 $\frac{4}{9}$ 이다. 따라서 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 $2a \div \frac{4}{9} = \frac{9a}{2}$ 이다. 반응 후 CO₂(g), H₂O(g), O₂(g)의 양(mol)이 각각 2a, $\frac{na}{2}$, $4a - (2 + \frac{n}{4})a$ 이므로 전체 기체의 양(mol)은 $2a + \frac{na}{2} + 4a - (2 + \frac{n}{4})a$ 에서 $4a + \frac{na}{4}$ 이다. 따라서 $4a + \frac{na}{4} = \frac{9a}{2}$ 에서 n=2이다.

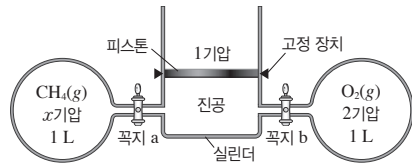
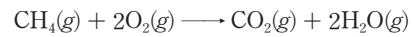
모범 답안 반응 전 C₂H_n(g)의 부분 압력이 $\frac{1}{5}$ 기압이므로 C₂H_n(g)의 몰분율은 $\frac{1}{5}$ 이다. 따라서 C₂H_n(g)의 양(mol)을 a라고 하면 O₂(g)의 양(mol)은 4a이다. 완전 연소 반응의 화학 반응식은 C₂H_n(g) + (2 + $\frac{n}{4}$)O₂(g) → 2CO₂(g) + $\frac{n}{2}$ H₂O(g)이다. 반응 후 CO₂(g)는 2a mol이 생성되고, CO₂(g)의 부분 압력이 $\frac{4}{9}$ 기압이므로 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 $\frac{9a}{2}$ 이다. 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 $4a + \frac{na}{4}$ 이므로 $4a + \frac{na}{4} = \frac{9a}{2}$ 에서 n=2이다. 따라서 생성된 H₂O(g)는 a mol이고, H₂O(g)의 몰분율은 $\frac{2}{9}$ 이므로 H₂O(g)의 부분 압력은 $\frac{2}{9}$ 기압이다.

채점 기준	배점
n과 부분 압력을 모두 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
n과 부분 압력만 모두 옳게 구한 경우	50 %

058 ㉡ 온도가 일정하므로 기체의 양(mol)은 PV에 비례한다. 꼭지를 열기 전 A(g)의 압력을 P라고 하면, 꼭지를 연 후 전체 기체의 압력은 2.4P이다. 꼭지를 열면 전체 기체의 부피는 5 L이므로 꼭지를 연

후 전체 압력은 $\frac{\text{A의 처음 PV} + \text{B의 처음 PV}}{\text{전체 기체의 부피}} = \frac{P \times 3 + P_B \times 2}{5}$ 이다. 따라서 $12P = 3P + 2P_B$ 이고, $P_B = 4.5P$ 이며, 꼭지를 열기 전 B(g)의 압력은 A(g)의 압력의 4.5배이다. A(g)의 양은 P×3에 비례하고, B(g)의 양은 $P_B \times 2 = 4.5P \times 2 = 9P$ 에 비례하므로 A(g)와 B(g)의 몰비는 3P : 9P = 1 : 3이다. A(g)의 질량은 3w g, B(g)의 질량은 7w g이므로 분자량비는 $A : B = \frac{3w}{1} : \frac{7w}{3} = 9 : 7$ 에서 $\frac{\text{B의 분자량}}{\text{A의 분자량}} = \frac{7}{9}$ 이다.

059



• CH₄(g)의 양(mol)을 x기압×1 L=x라고 하면, CH₄(g)이 모두 완전 연소하므로 CH₄(g) x mol이 반응하고, O₂(g)는 2x mol 반응한다. ▶ 반응 후 생성되는 CO₂(g)의 양(mol)은 x, H₂O(g)의 양(mol)은 2x이고, 남은 O₂(g)의 양(mol)은 (2-2x)이며, 전체 기체의 양(mol)은 x+2x+(2-2x)=x+2이다.
• CO₂(g)의 몰분율이 $\frac{1}{4}$ 이므로 $\frac{x}{x+2} = \frac{1}{4}$ 이고, $x = \frac{2}{3}$ 이다.

∴ $x = \frac{2}{3}$ 이므로 생성된 H₂O(g)의 양(mol)은 $2x = \frac{4}{3}$ 이다. 남은 반응물은 O₂(g)이고, 남은 O₂(g)의 양(mol)은 $2 - 2x = 2 - \frac{4}{3} = \frac{2}{3}$ 이다. 따라서 $\frac{\text{H}_2\text{O(g)의 양}}{\text{남은 O}_2(\text{g)의 양}} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{2}{3}} = 2$ 이다.

바로알기 ㄱ. CH₄(g)은 x mol이 반응하고, O₂(g)는 2x mol 반응한다. 따라서 반응 후 생성되는 CO₂(g)의 양(mol)은 x, H₂O(g)의 양(mol)은 2x이고, 남은 O₂(g)의 양(mol)은 (2-2x)이며, 전체 기체의 양(mol)은 x+2x+(2-2x)=x+2이다. CO₂(g)의 몰분율이 $\frac{1}{4}$ 이므로 $\frac{x}{x+2} = \frac{1}{4}$ 이고, $x = \frac{2}{3}$ 이다.

ㄴ. 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 $x+2 = \frac{2}{3} + 2 = \frac{8}{3}$ 이다. 피스톤의 고정 장치를 풀면 전체 압력은 1기압이 된다. 온도는 일정하므로 전체 기체의 부피는 $\frac{8}{3}$ L이고, 강철 용기의 부피 2 L를 빼면 실린더의 부피는 $\frac{2}{3}$ L이다.

060 실린더의 부피는 변함이 없으므로 꼭지를 연 후 전체 기체의 부피는 처음과 같이 3 L이다. 또한 충분한 시간이 지난 후 전체 기체의 압력은 1기압이다. 처음 Y(g)는 실린더에 들어 있으므로 처음 압력은 1기압이다. X(g)의 처음 압력을 P라고 하면, 온도가 일정하므로 기체의 양(mol)은 PV에 비례한다. 따라서 꼭지를 열기 전 X(g)의 양(mol)을 $PV = P \times 2 \text{ L} = 2P$ 라고 하면, Y(g)의 양(mol)은 $PV = 1 \text{ 기압} \times 1 \text{ L} = 1$ 이다. 꼭지를 연 후 전체 압력은 1기압, 전체 부피는 3 L이므로 전체 기체의 양(mol)은 3이다. 따라서 $2P + 1 = 3$ 에서 $P = 1$ 이다. 처음 X(g)의 양(mol)은 $1 \times 2 = 2$, Y(g)의 양(mol)은 $1 \times 1 = 1$ 에 비례하므로 X(g)와 Y(g)의 몰비는 2 : 1이다.

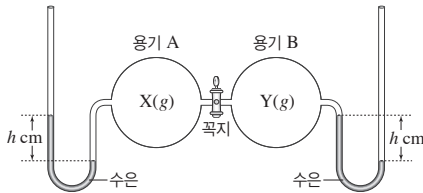
ㄱ. X(g)의 양(mol)은 2, Y(g)의 양(mol)은 1에 비례하므로 기체의

양(mol)은 X(g)가 Y(g)의 2배이다.

ㄴ. X(g)와 Y(g)는 질량이 같다. 질량이 같을 때 분자량은 기체의 양(mol)에 반비례한다. X(g)의 양(mol)이 Y(g)의 2배이므로 X의 분자량은 Y의 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 $\frac{Y \text{의 분자량}}{X \text{의 분자량}} = 2$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 꼭지를 연 후 X(g)의 부피는 3 L이다. 꼭지를 열기 전 X(g)의 부피와 압력은 각각 2 L, 1기압이므로 꼭지를 연 후 X(g)의 부분 압력 P_X 는 1기압 $\times 2 \text{ L} = P_X \times 3 \text{ L}$ 에서 $P_X = \frac{2}{3}$ 기압이다.

061



- 수은 가동의 높이 차이가 h cm일 때 기체의 압력은 대기압과 h cmHg만큼 차이가 난다.
- 압력은 X(g)가 Y(g)의 2배이고, 두 용기의 부피가 같으므로 같은 온도에서 기체의 양(mol)은 압력에 비례한다. 따라서 X(g)의 양(mol)은 Y(g)의 양(mol)의 2배이다.

ㄴ. 두 용기의 부피가 같고 온도가 일정하므로 기체의 양(mol)은 압력에 비례한다. X(g)의 압력이 Y(g)의 2배이므로 X(g)의 양(mol)도 Y(g)의 2배이다.

바로알기 | ㄱ. X(g)의 압력은 $(76+h)$ cmHg이고, Y(g)의 압력은 $(76-h)$ cmHg이며, X(g)의 압력이 Y(g)의 2배이므로 $76+h = 2(76-h)$ 에서 $3h=76$ 이고, $h = \frac{76}{3}$ 이다.

ㄷ. 꼭지를 열면 Y(g)의 부피는 2배가 되므로 Y(g)의 부분 압력은 절반이 된다. 처음 Y(g)의 압력은 $76 - \frac{76}{3} = \frac{152}{3}$ cmHg이므로 꼭지를 연 후 Y(g)의 부분 압력은 $\frac{76}{3}$ cmHg이다.

062 화학 반응식은 다음과 같다.



ㄱ. 온도가 같을 때 기체의 양(mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱에 비례한다. (가)의 A에서 O_2 의 양(mol)을 2기압 $\times 1 \text{ L} = 2n$ 이라고 하면, CH_4 의 양(mol)은 1기압 $\times 4 \text{ L} = 4n$ 이다. O_2 2n mol이 모두 반응할 때 CH_4 n mol이 반응하고, CO_2 n mol과 H_2O 2n mol이 생성된다. 따라서 반응 후 기체의 양(mol)은 CH_4 3n, CO_2 n, H_2O 2n으로 총 6n이다. 전체 압력은 1기압이므로 전체 부피는 6 L이다. 그런데 용기 A의 부피가 1 L이므로 실린더 B의 부피 V_1 는 5 L이다.

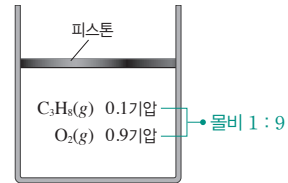
(가)의 C에서 O_2 의 양(mol)은 1.5기압 $\times 2 \text{ L} = 3n$ 이고, CH_4 의 양(mol)은 1기압 $\times 4 \text{ L} = 4n$ 이다. O_2 3n mol이 모두 반응할 때 CH_4 1.5n mol이 반응하고, CO_2 1.5n mol과 H_2O 3n mol이 생성된다. 따라서 반응 후 기체의 양(mol)은 CH_4 2.5, CO_2 1.5n, H_2O 3n이므로 총 7n이다. 전체 압력은 1기압이므로 전체 부피는 7 L이다. 그런데 용기 C의 부피가 2 L이므로 실린더 B의 부피 V_2 는 5 L이다. 따라서 $V_1 + V_2 = 5 + 5 = 10$ 이다.

바로알기 | ㄴ. (나) 과정 후 기체의 양(mol)은 CH_4 3n, CO_2 n, H_2O 2n이다. 전체 기체의 양(mol)은 6n이고, CO_2 의 양(mol)은 n이므로 $\text{CO}_2(g)$ 의 몰분율은 $\frac{1}{6}$ 이다.

ㄷ. (다) 과정 후 $\text{O}_2(g)$ 는 모두 소모되고 $\text{CH}_4(g)$ 이 남는다. 남은 $\text{CH}_4(g)$ 의 양(mol)은 2.5n이고, 전체 기체의 양(mol)은 7n이므로

$\text{CH}_4(g)$ 의 몰분율은 $\frac{2.5n}{7n} = \frac{5}{14}$ 이다. 전체 압력이 1기압이므로 반응물인 $\text{CH}_4(g)$ 의 부분 압력은 $\frac{5}{14}$ 기압이다.

063



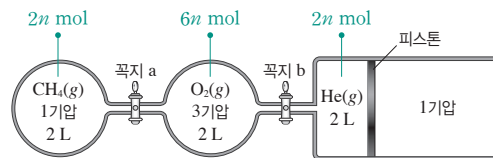
- 같은 온도와 부피에서 기체의 부분 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로 $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 과 $\text{O}_2(g)$ 의 몰비는 0.1 : 0.9 = 1 : 9이다.
- $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ n mol이 완전 연소 할 때 $\text{O}_2(g)$ 5n mol이 필요하므로, $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 이 모두 반응하고 $\text{O}_2(g)$ 가 남는다.
- 반응 후에는 $\text{O}_2(g)$ 가 $9n - 5n = 4n$ mol 남고, $\text{CO}_2(g)$ 는 3n mol, H_2O 는 4n mol 생성된다. 따라서 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 $4n + 3n + 4n = 11n$ 이다.

반응하는 기체의 몰비는 $\text{C}_3\text{H}_8 : \text{O}_2 = 1 : 5$ 이므로 반응 후 $\text{O}_2(g)$ 가 남게 되고, 생성된 $\text{CO}_2(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 몰비를 구하여 전체 압력인 1기압에서 몰분율을 곱해야 부분 압력을 구할 수 있다.

모범 답안 처음 $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 과 $\text{O}_2(g)$ 의 부분 압력비는 1 : 90이므로 기체의 몰비도 1 : 90이다. $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ n mol은 $\text{O}_2(g)$ 5n mol과 반응하므로 $\text{O}_2(g)$ 가 남는다. 반응 후 남은 $\text{O}_2(g)$ 의 양(mol)은 4n, 생성된 $\text{CO}_2(g)$ 의 양(mol)은 3n, 생성된 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 양(mol)은 4n이므로 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 11n이다. 전체 기체의 압력은 1기압이므로 $\text{O}_2(g)$, $\text{CO}_2(g)$, $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 부분 압력은 각각 $\frac{4}{11}$ 기압, $\frac{3}{11}$ 기압, $\frac{4}{11}$ 기압이다.

채점 기준	배점
부분 압력을 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
부분 압력만 옳게 구한 경우	50 %

064



- 반응 전 $\text{CH}_4(g)$ 의 압력과 부피는 각각 1기압, 2 L이므로 CH_4 의 양(mol)을 2n이라고 하면, $\text{O}_2(g)$ 의 압력과 부피는 각각 3기압, 2 L이므로 O_2 의 양(mol)은 6n이다.
- 화학 반응식에서 $\text{CH}_4(g)$ 1 mol은 $\text{O}_2(g)$ 2 mol과 반응하므로 $\text{CH}_4(g)$ 2n mol이 모두 반응할 때 $\text{O}_2(g)$ 4n mol이 반응한다. 따라서 $\text{O}_2(g)$ 2n mol이 남고, $\text{CO}_2(g)$ 2n mol과 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 4n mol이 생성된다.

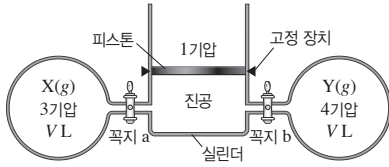
꼭지 b를 열기 전 He의 압력과 부피는 각각 1기압, 2 L이므로 양(mol)은 2n이다. 따라서 꼭지 b를 연 후 기체의 양(mol)은 O_2 2n, CO_2 2n, H_2O 4n, He 2n으로 총 10n이다. 전체 압력은 1기압으로 일정하므로 400 K에서 최종 부피는 처음 실린더 속 He(g)의 부피의 $\frac{10}{2}$ 배가 된다. 따라서 전체 기체의 최종 부피는 10 L이다.

ㄴ. 꼭지 b를 열었을 때 기체의 양(mol)은 O_2 2n, CO_2 2n, H_2O 4n, He 2n으로 총 10n이다. He(g)의 양(mol)은 2n이므로 He(g)의 몰분율은 $\frac{2}{10} = \frac{1}{5}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 꼭지 b를 연 후 전체 기체의 양(mol)은 He(g)의 5배인데, 온도와 압력이 각각 일정하므로 부피도 5배가 된다. 처음 He(g)의 부피가 2 L였으므로 최종 부피는 10 L이다. 그런데 강철 용기의 부피의 합은 4 L이므로 실린더 속 전체 기체의 부피는 6 L이다.

ㄷ. 대기압이 1기압으로 일정하므로 온도를 높여도 전체 압력은 1기압으로 유지된다. 또한 기체의 양(mol)은 변하지 않으므로 $\text{CO}_2(\text{g})$ 의 몰분율은 변하지 않고, 부분 압력도 변하지 않는다.

065



- 온도가 일정하므로 기체의 양(mol)은 PV 에 비례한다. 처음 $X(\text{g})$ 의 양(mol)을 3기압 $\times V \text{ L} = 3V$ 라고 하면, $Y(\text{g})$ 의 양(mol)은 4기압 $\times V \text{ L} = 4V$ 이다.
- 화학 반응식 $X(\text{g}) + Y(\text{g}) \rightarrow Z(\text{g})$ 에서 X와 Y는 1 : 1의 몰비로 반응하므로 $X(\text{g})$ 가 모두 반응하고 $Y(\text{g})$ 는 V 만큼 남으며, $Z(\text{g})$ 는 $3V$ 만큼 생성된다. 따라서 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 $Y(\text{g}) V$ 와 $Z(\text{g}) 3V$ 를 더한 $4V$ 이다.

충분한 시간이 지난 후 전체 압력은 1기압이 된다. 이때 전체 부피는 왼쪽 용기 $V \text{ L}$, 오른쪽 용기 $V \text{ L}$, 실린더 4 L 를 합한 $(2V + 4) \text{ L}$ 이다. 온도가 일정하므로 반응 후 기체의 양과 PV 가 비례하여 $4V = 1 \times (2V + 4)$ 이다. 따라서 $V = 2$ 이다.

모범 답안 처음 $X(\text{g})$ 와 $Y(\text{g})$ 의 양(mol)은 각각 $3V$, $4V$ 에 비례한다. X와 Y는 1 : 1의 몰비로 반응하므로 $X(\text{g})$ 가 한계 반응물이고, 반응 후에는 $Y(\text{g})$ 가 V 만큼 남고 $Z(\text{g})$ 가 $3V$ 만큼 생성된다. 따라서 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 $4V$ 이다. 반응 후 기체는 두 용기와 실린더 전체를 차지하므로 전체 부피(L)는 $V + V + 4 = 2V + 4$ 이다. 전체 압력은 1기압이므로 온도가 일정할 때 $4V = 2V + 4$ 가 되어 $V = 2$ 이다. $Z(\text{g})$ 의 몰분율은 $\frac{3V}{4V} = \frac{3}{4}$ 이고, 전체 압력이 1기압이므로 $Z(\text{g})$ 의 부분 압력은 $\frac{3}{4}$ 기압이다.

채점 기준	배점
부분 압력을 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
부분 압력만 옳게 구한 경우	50 %

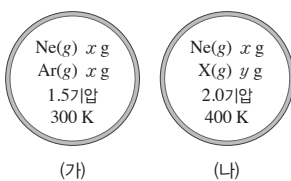
066 $X_A = 0.3$ 일 때, (가)에서 P_A 는 0.6기압이고, (나)에서 P_A 는 0.3기압이다. 따라서 (가)에서 전체 압력($P_{\text{총}}$)은 $0.6 = 0.3 \times P_{\text{총}}$ 에서 $P_{\text{총}} = 2$ 기압이고, (나)에서 전체 압력은 $0.3 = 0.3 \times P_{\text{총}}$ 에서 $P_{\text{총}} = 1$ 기압이다.

ㄱ. (가)에서 전체 압력은 2기압이고, (나)에서 전체 압력은 1기압이므로 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

ㄴ. (가)의 ㉠은 $X_A = 0.3$, $P_A = 0.6$ 기압이다. 이때 (가)의 전체 압력은 2기압이므로 B의 부분 압력은 $P_B = P_{\text{총}} - P_A = (2 - 0.6)$ 기압 = 1.4기압이다.

바로알기 | ㄷ. 두 강철 용기의 부피가 같고, 온도도 일정하므로 전체 기체의 양(mol)은 전체 압력에 비례한다. (가)의 전체 압력은 2기압, (나)의 전체 압력은 1기압이므로 전체 기체의 양(mol)은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

067



- (가)에서 $\text{Ne}(\text{g})$ 의 양(mol)은 $\frac{x}{20}$ 이고, $\text{Ar}(\text{g})$ 의 양(mol)은 $\frac{x}{40}$ 이다. 따라서 (가)의 전체 기체의 양(mol)은 $\frac{x}{20} + \frac{x}{40} = \frac{3x}{40}$ 이다.

- (가)의 부피(L)를 V 라고 하면 이상 기체 방정식에 의해 $1.5V = (\frac{3x}{40})R \times 300$ 이므로 $V = 15Rx$ 이다.

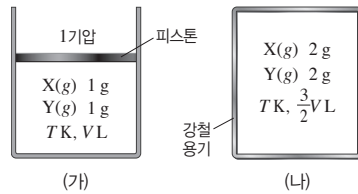
ㄱ. 이상 기체 방정식에서 $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 (가)와 (나)에서 전체 기체

의 양(mol)은 각각 $\frac{1.5 \times V}{R \times 300}$, $\frac{2 \times V}{R \times 400}$ 로 서로 같다.

ㄴ. (가)의 부피(L)를 V 라고 하면 이상 기체 방정식에 의해 $1.5V = (\frac{3x}{40})R \times 300$ 이므로 $V = 15Rx$ 이다. (가)에서 전체 질량은 $\text{Ne}(\text{g}) x \text{ g}$ 과 $\text{Ar}(\text{g}) x \text{ g}$ 을 더한 $2x \text{ g}$ 이다. 따라서 (가)에서 혼합 기체의 밀도(g/L)는 $\frac{2x}{15Rx} = \frac{2}{15R}$ 이다.

ㄷ. (나)에서 전체 기체의 양(mol)은 $\frac{3x}{40}$ 이다. 이 중 $\text{Ne}(\text{g})$ 의 양(mol)은 $\frac{x}{20} = \frac{2x}{40}$ 이므로 $X(\text{g})$ 의 양(mol)은 $\frac{3x}{40} - \frac{2x}{40} = \frac{x}{40}$ 이다. $X(\text{g})$ 의 질량은 $y \text{ g}$ 이므로 분자량은 $\frac{40y}{x}$ 이다.

068



- (가)에서 전체 압력은 1기압이고, $X(\text{g})$ 의 부분 압력은 $Y(\text{g})$ 의 부분 압력의 $\frac{1}{5}$ 배이다.

➔ $X(\text{g})$ 와 $Y(\text{g})$ 의 부분 압력비는 $X(\text{g}) : Y(\text{g}) = 1 : 5$ 이다.

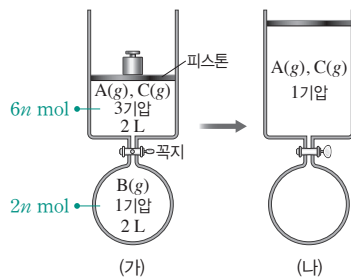
- 같은 온도에서 기체의 부분 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로 (가)에서 기체의 몰비도 $X : Y = 1 : 5$ 이다.

ㄴ. (가)에서 $X(\text{g})$ 와 $Y(\text{g})$ 의 몰비는 1 : 5이다. 여기에 $X(\text{g}) 1 \text{ g}$ 을 더 넣으면 $X(\text{g})$ 의 질량이 2배가 되므로 $X(\text{g})$ 의 양(mol)도 2배가 된다. 따라서 기체의 몰비는 $X(\text{g}) : Y(\text{g}) = 2 : 5$ 가 되므로 $Y(\text{g})$ 의 몰분율은 $\frac{5}{7}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 $X(\text{g})$ 와 $Y(\text{g})$ 의 질량은 각각 1 g 으로 같다. 질량이 같을 때 기체의 양(mol)은 분자량에 반비례한다. $X(\text{g})$ 와 $Y(\text{g})$ 의 몰비가 1 : 5이므로 분자량비는 $X : Y = 5 : 1$ 이다. 따라서 $\frac{Y \text{의 분자량}}{X \text{의 분자량}} = \frac{1}{5}$ 이다.

ㄷ. (나)에서는 $X(\text{g})$ 와 $Y(\text{g})$ 의 질량이 각각 2 g 으로, (가)에 비해 각 기체의 양(mol)이 2배이다. 또한 (나)의 부피는 $\frac{3V}{2} \text{ L}$ 이므로 같은 온도에서 부분 압력은 $2 \times \frac{2}{3} = \frac{4}{3}$ 배가 된다. (가)에서 $X(\text{g})$ 의 부분 압력은 $\frac{1}{6}$ 기압이므로 (나)에서 $X(\text{g})$ 의 부분 압력은 $\frac{1}{6} \times \frac{4}{3} = \frac{2}{9}$ 기압이다.

069



- 온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱에 비례하므로 (가)에서 실린더 속 전체 기체의 양(mol)을 3기압×2 L=6n이라고 하고, 이때 A(g)의 양(mol)을 x라고 하면 C(g)의 양(mol)은 6n-x이다. 강철 용기에 들어 있는 B(g)의 양(mol)은 1기압×2 L=2n이다.
- 화학 반응식은 $2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$ 이므로 B(g) 2n mol이 모두 반응하면 A(g) 4n mol이 반응하고 C(g) 4n mol이 생성된다.
- 반응 후 A(g)의 양(mol)은 $x-4n$, C(g)의 양(mol)은 $(6n-x)+4n=10n-x$ 이다. (나)에서 A(g)의 몰분율이 $\frac{1}{6}$ 이므로 $\frac{(x-4n)}{(x-4n)+(10n-x)} = \frac{1}{6}$ 에서 $x=5n$ 이다.

모범 답안 (가)의 실린더 속 A(g)와 C(g)의 전체 양(mol)은 3기압×2 L=6n이고, 강철 용기 속 B(g)의 양(mol)은 1기압×2 L=2n이다. 반응 후 A(g)가 남아 있으므로 B(g)가 모두 반응한다. B(g) 2n mol이 모두 반응하면 A(g) 4n mol이 반응하고 C(g) 4n mol이 생성된다. 처음 A(g)의 양(mol)을 x라고 하면 반응 후 A(g)의 양(mol)은 $x-4n$ 이고, 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 6n이다. A(g)의 몰분율이 $\frac{1}{6}$ 이므로 $x-4n=n$ 이고, $x=5n$ 이다. 따라서 (가)에서 A(g)의 부분 압력은 $3 \times \frac{5}{6} = 2.5$ 기압이다.

채점 기준	배점
부분 압력을 옳게 구하고, 몰이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
부분 압력만 옳게 구한 경우	50 %

070 ㄱ. 에탄올의 완전 연소 반응식은 다음과 같다.

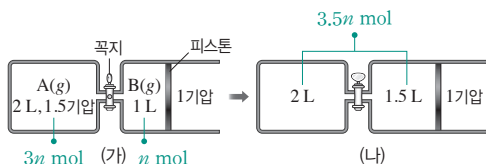
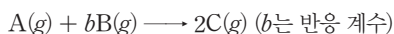


에탄올은 1 mol이므로 완전 연소 하면 $O_2(g)$ 3 mol이 소모되고, $CO_2(g)$ 2 mol과 $H_2O(g)$ 3 mol이 생성된다. 처음 $O_2(g)$ 의 양(mol)을 x라고 하면 반응 후 남은 $O_2(g)$ 의 양(mol)은 $x-3$ 이다. 반응 후 기체의 양(mol)은 CO_2 2, H_2O 3, O_2 ($x-3$)이며, 전체 기체의 양(mol)은 $(x+2)$ 이다. (나)에서 $CO_2(g)$ 의 몰분율이 $\frac{1}{3}$ 이므로 $\frac{2}{x+2} = \frac{1}{3}$ 에서 $x=4$ 이다. 따라서 처음 $O_2(g)$ 의 양(mol)은 4이다.

바로알기 ㄴ. (가)에서 $O_2(g)$ 는 2기압, 400 K에서 4 mol이다. $O_2(g)$ 가 들어 있는 용기의 부피(L)를 V라고 하면 $PV=nRT$ 에서 $2V=4R \times 400$ 이고 $V=800R$ 이다. 두 용기의 부피가 같으므로 꼭지를 연 후 전체 부피(L)는 $1600R$ 이고, (나)에서 전체 기체의 양(mol)은 6이며, 온도는 400 K이므로 $P \times 1600R = 6R \times 400$ 에서 $P = \frac{3}{2}$ 기압이다.

ㄷ. (다)에서는 온도를 600 K으로 높였고, 부피와 기체의 양(mol)은 변하지 않는다. $H_2O(g)$ 의 양(mol)은 3이므로 $H_2O(g)$ 의 부분 압력은 $P_{H_2O} \times 1600R = 3R \times 600$ 에서 $P_{H_2O} = \frac{9}{8}$ 기압이다.

071



- 온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력(P)과 부피(V)의 곱에 비례한다. (가)에서 A(g)의 양(mol)을 1.5기압×2 L=3n이라고 하면, B(g)의 양(mol)은 1기압×1 L=n이다.
- (나)에서 전체 압력은 1기압이고, 전체 부피는 2 L+1.5 L=3.5 L이므로 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 1기압×3.5 L=3.5n이다.
- 처음 전체 기체의 양(mol)은 4n이고, 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 3.5n이다. 즉, 반응하면서 전체 기체의 양(mol)이 0.5n만큼 감소하였다.
- B(g)가 모두 반응한다고 하면, B(g)의 처음 양(mol)이 n이므로 반응한 A의 양(mol)은 $\frac{n}{b}$, 생성된 C(g)의 양(mol)은 $\frac{2n}{b}$ 이다.

• 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 남은 A(g)+생성된 C(g)= $(3n-\frac{n}{b})+\frac{2n}{b}$
= $3n+\frac{n}{b}$ 이다. 이 값이 3.5n이므로 $3n+\frac{n}{b}=3.5n$ 에서 $b=2$ 이다.

ㄴ. $b=2$ 이므로 화학 반응식은 $A(g) + 2B(g) \longrightarrow 2C(g)$ 이다. B n mol이 모두 반응하면 A(g)는 0.5n mol이 반응한다. 처음 A(g)의 양(mol)은 3n이므로 A(g)는 2.5n mol이 남는다.

ㄷ. B(g) n mol이 모두 반응하면 C(g) n mol이 생성된다. 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 3.5n이므로 C(g)의 몰분율은 $\frac{1}{3.5} = \frac{2}{7}$ 이다.

바로알기 ㄱ. B(g)가 모두 반응한다고 하면, B(g)의 처음 양(mol)이 n이므로 반응한 A(g)의 양(mol)은 $\frac{n}{b}$, 생성된 C(g)의 양(mol)은 $\frac{2n}{b}$ 이다. 반응 후 전체 기체의 양(mol)은 남은 A(g)+생성된 C(g)=
 $(3n-\frac{n}{b})+\frac{2n}{b}=3n+\frac{n}{b}$ 이다. 이 값이 3.5n이므로 $3n+\frac{n}{b}=3.5n$ 에서 $b=2$ 이다.

03 액체

빈출 자료 보기

25쪽

072 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×

073 (1) ○ (2) × (3) ○

072 (1) 주기가 증가할수록 끓는점이 높아지는 (나)는 분산력만 작용하는 14족 원소의 수소 화합물이고, (가)는 17족 원소의 수소 화합물이다.

(2) A는 2주기 17족 원소의 수소 화합물로 분자량이 작지만 끓는점이 매우 높으므로 강한 분자 사이의 힘인 수소 결합이 작용하는 분자이다.

바로알기 (3) (가)는 17족 원소의 수소 화합물이고 주기가 증가할수록 17족 원소의 전기 음성도가 감소하여 쌍극자 모멘트가 감소한다. 쌍극자 모멘트만 고려하면 끓는점은 $B > C$ 이어야 하지만 끓는점이 $C > B$ 인 주된 까닭은 분자량이 $C > B$ 이기 때문이다. 따라서 끓는점이 $C > B$ 인 주된 까닭은 분산력 때문이다.

(4) 분산력은 모든 분자에서 작용하므로 A~F 모두 분산력이 작용한다.

073 (1) 분자 간 힘이 클수록 증기 압력이 작으므로 같은 온도일 때 액체 상태의 분자 간 힘은 $B > A$ 이다.

(3) D의 기준 끓는점은 120 °C이므로 1기압, 100 °C에서는 아직 끓는점에 도달하기 전이다. 따라서 D는 액체 상태이다.

바로알기 (2) 액체의 증기 압력은 $B > C$ 이므로 기준 끓는점은 $C > B$ 이다.

074 ③, ⑥	075 ③	076 ④	077 해설 참조
078 ③	079 ③	080 ④	081 ⑤
082 ⑤	083 ⑤	084 ⑤	085 ⑤
086 ③	087 ③	088 해설 참조	
089 ③	090 ⑤	091 ②	092 ⑤
093 ②	094 해설 참조	095 ⑤	096 해설 참조
097 ③	098 ⑤	099 ④	100 해설 참조
101 ⑤	102 ③	103 ④	104 해설 참조
105 해설 참조	106 ①		

074 ③ 수소 결합은 전기 음성도가 매우 큰 F, O, N 원자에 H 원자가 공유 결합한 분자에서 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자의 비공유 전자쌍이 정전기적 인력으로 끌리며 형성되는 힘이다.

⑥ 분자량이 클수록 분산력은 커진다.

바로알기 | ① 분산력은 모든 분자 사이에서 작용한다.

② 쌍극자·쌍극자 힘은 극성 분자 사이에서만 작용하며, 무극성 분자 사이에는 작용하지 않는다.

④ 극성 분자는 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 모두 작용하므로 분자량이 같은 무극성 분자보다 끓는점이 높다.

⑤ HF의 끓는점이 HCl보다 높은 까닭은 분산력이 아니라 HF 분자 사이에 형성되는 강한 수소 결합 때문이다.

075 (가)는 에탄올(C_2H_5OH), (나)는 아세트 알데하이드(CH_3CHO), (다)는 프로페인(C_3H_8)이다. 세 물질의 분자량은 비슷하지만 끓는점은 (가)>(나)>(다)이다. 이는 분자 사이에 작용하는 힘의 종류와 세기가 다르기 때문이다.

ㄱ. (가)는 에탄올로, 분자 내에 $-OH$ (하이드록시기)를 가지고 있다. 산소에 결합한 수소와 다른 분자의 산소 사이에 수소 결합이 형성된다.

ㄴ. (나) 아세트 알데하이드는 극성 분자이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다. 반면 (다) 프로페인은 무극성 분자로 분산력이 작용한다. 쌍극자·쌍극자 힘이 분산력보다 강하므로 끓는점은 (나)가 (다)보다 높다.

바로알기 | ㄴ. 분산력은 모든 분자 사이에 존재하는 분자 간 힘이다. 따라서 (가)~(다) 모두에 분산력이 존재한다.

076 세 물질은 모두 분자 사이에 분산력이 작용한다. H_2O 은 분자 사이에 수소 결합이 작용하고, CCl_4 와 CBr_4 는 무극성 분자로 분산력만 작용한다.

ㄴ. (나) CCl_4 와 (다) CBr_4 는 모두 무극성 분자이다. 무극성 분자에서는 분산력만 작용한다. (다)는 (나)보다 분자량이 크므로 끓는점이 높다.

ㄷ. 수소 결합은 H가 F, O, N과 결합한 분자 사이에 나타난다. (가) H_2O 은 $O-H$ 결합을 가지므로 분자 사이에 수소 결합이 존재한다. 반면 (나) CCl_4 와 (다) CBr_4 에는 H가 없으므로 수소 결합이 존재하지 않는다.

바로알기 | ㄱ. (가) H_2O 에는 수소 결합이 작용하지만, 기준 끓는점은 (다) CBr_4 가 $190^\circ C$ 로 가장 높다. 끓는점이 높을수록 분자 간 힘이 크므로 분자 간 힘이 가장 큰 것은 (다)이다.

077 에테인과 프로페인은 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력이 작용한다. 프로페인은 에테인보다 분자량이 크므로 분산력이 더 커 끓는점이 더 높다. 메탄올은 분자량이 에테인과 비슷하지만, 분자 사이에 수소 결합을 형성하므로 세 물질 중 끓는점이 가장 높다.

모범 답안 끓는점은 메탄올>프로페인>에테인이다. 에테인과 프로페인은 모두 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력만 작용하며, 분자량이 큰 프로페인이 에테인보다 끓는점이 높다. 메탄올은 분자 사이에 수소 결합을 형성하므로 분자량이 비슷한 에테인보다 끓는점이 높고, 세 물질 중 끓는점이 가장 높다.

채점 기준	배점
까닭과 함께 끓는점을 올게 비교한 경우	100 %
끓는점만 올게 비교한 경우	50 %

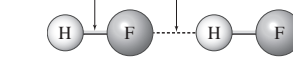
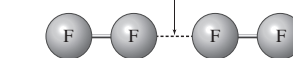
078 HF는 분자 사이에 수소 결합이 존재하여 끓는점이 가장 높고, HCl과 HBr는 쌍극자·쌍극자 힘과 분산력이 작용한다. HBr는 HCl보다 분자량이 커 분산력이 크므로 끓는점이 높다.

ㄱ. HF는 H가 F와 결합한 분자로, 분자 사이에 강한 수소 결합을 형성한다. 따라서 HF의 끓는점이 가장 높은 주요 원인은 수소 결합이다.

ㄷ. HCl은 H와 Cl의 전기 음성도 차이로 인해 극성을 띠는 분자이다. 따라서 HCl 분자 사이에는 쌍극자·쌍극자 힘이 존재한다.

바로알기 | ㄴ. 원자량은 Br이 Cl보다 크므로 분자량은 $HBr > HCl$ 이다.

079

물질	기준 끓는점($^\circ C$)	분자의 결합 모형
HF	20	공유 결합 (가) (나) 수소 결합 
F_2	-188	(다) 분산력 

• HF 분자에는 F와 결합한 H가 존재하므로 수소 결합을 한다. 따라서 (나)는 수소 결합이다.

• F_2 은 같은 원자 사이에 공유 결합을 하는 분자이므로 무극성 분자이다. 따라서 분자 사이에 작용하는 힘 (다)는 분산력이다.

ㄱ. (나)는 HF 분자 사이에 작용하는 힘이다. HF는 H가 F와 결합한 분자이므로 한 HF 분자의 H와 다른 HF 분자의 F 사이에 수소 결합이 형성된다.

ㄷ. (가)는 HF 분자에서 원자 사이의 공유 결합이고, (나)는 HF 분자 사이의 수소 결합이며, (다)는 F_2 분자 사이의 분산력이다. 일반적으로 공유 결합은 분자 간 힘보다 강하고, 기준 끓는점이 $HF > F_2$ 이므로 결합의 세기는 (가)>(나)>(다)이다.

바로알기 | ㄴ. (다)는 F_2 분자 간 힘인데, F_2 은 무극성 분자이므로 (다)는 분산력이다.

080 (가)~(다)는 각각 P, S, Cl의 수소 화합물이다. PH_3 과 H_2S 는 분자량이 비슷하지만 전기 음성도 차가 큰 H_2S 의 끓는점이 더 높으므로 (가)는 H_2S , (나)는 PH_3 이다. HCl은 PH_3 보다 분자량이 크지만 끓는점이 비슷하므로 (다)는 HCl이다.

ㄴ. P, S, Cl의 수소 화합물은 각각 PH_3 , H_2S , HCl이다. 이 중 PH_3 과 H_2S 는 분자량이 비슷하지만 H_2S 의 끓는점이 더 높다. 분자량이 비슷한 두 물질 중 끓는점이 높은 것이 (가)이므로 (가)는 H_2S 이다.

ㄷ. (나)는 PH_3 이다. SiH_4 는 무극성 분자로 분산력이 작용하고, PH_3 보다 분자 간 힘이 약하다. 따라서 SiH_4 의 끓는점은 (나)보다 낮다.

바로알기 | ㄱ. (다)는 HCl이고, (가)는 H_2S 이다. 끓는점이 높을수록 분자 간 힘이 큰데, (가)의 끓는점이 (다)보다 높으므로 분자 간 힘은 (가)>(다)이다.

081 NH_3 , PH_3 , AsH_3 , SbH_3 는 모두 15족 원소의 수소 화합물이다. NH_3 는 분자 사이에 수소 결합을 형성하므로 분자량이 작아도 끓는점이 높다. PH_3 , AsH_3 , SbH_3 는 아래로 갈수록 분자량이 커지고 분산력이 커져 끓는점이 높아진다.

ㄱ. NH_3 는 N-H 결합을 가지고 있으므로 분자 사이에 수소 결합을 한다.

ㄴ. AsH_3 는 PH_3 보다 분자량이 크다. 분자량이 클수록 분산력이 크므로 분산력은 AsH_3 이 PH_3 보다 크다.

ㄷ. 기준 끓는점이 가장 높은 것은 SbH_3 이다. 끓는점이 높을수록 분자 간 힘이 크다.

082 X와 Y는 각각 N과 O 중 하나이다. 분자량은 Y_2H_2 가 X_2H_4 보다 크므로 Y는 O, X는 N이다. 따라서 X_2H_4 는 N_2H_4 이고, YH_2 는 H_2O 이다.

ㄱ. 분자량이 $\text{Y}_2 > \text{X}_2$ 이므로 X는 N, Y는 O이다.

ㄴ. $\text{X}_2\text{H}_4(\text{N}_2\text{H}_4)$ 에는 N-H 결합이 있으므로 액체 상태에서 분자 사이에 수소 결합이 존재한다.

ㄷ. Y_2H_2 는 H_2O_2 이다. 물 분자는 극성 분자이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 존재하고, 수소 결합도 존재한다.

083 CH_4 , SiH_4 은 무극성 분자로 분산력만 작용한다. HCl 은 극성 분자로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하며, HF 는 분자 사이에 수소 결합이 작용한다. 따라서 기준 끓는점은 $\text{CH}_4 < \text{SiH}_4 < \text{HCl} < \text{HF}$ 이다.

ㄱ. 분자량이 클수록 분산력은 커진다. SiH_4 의 분자량은 32이고, CH_4 의 분자량은 16이므로 분산력은 SiH_4 이 CH_4 보다 크며, 끓는점도 SiH_4 가 더 높다.

ㄴ. HCl 과 HF 는 모두 극성 분자이므로 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 존재하고, CH_4 과 SiH_4 는 무극성 분자이므로 쌍극자·쌍극자 힘이 존재하지 않으므로 쌍극자·쌍극자 힘이 존재하는 분자는 HCl , HF 2가지이다.

ㄷ. HF 와 HCl 은 모두 극성 분자이지만 HF 에서는 H와 F가 결합하여 분자 사이에 수소 결합이 형성된다. 반면 HCl 에서는 수소 결합이 형성되지 않으므로 HF 의 기준 끓는점이 HCl 보다 높다.

084 (가)가 '액체 상태에서 분자 사이에 수소 결합이 존재하는가?'라면 '예'로 분류되는 분자는 H_2O 1가지뿐이므로 분류 기준 (가)로 적절하지 않다. 따라서 (가)는 '액체 상태에서 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하는가?'이다. H_2O 과 OF_2 는 모두 극성 분자이므로 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하고, H_2 는 무극성 분자이므로 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지 않는다. 따라서 A는 H_2O , B는 OF_2 , C는 H_2 이다.

ㄱ. (가)에서 '예'로 분류되는 물질은 H_2O 과 OF_2 이고, '아니요'로 분류되는 물질은 H_2 이다. H_2O 과 OF_2 는 모두 극성 분자이고, H_2 는 무극성 분자이므로 (가)는 쌍극자·쌍극자 힘의 존재 여부를 묻는 기준이다.

ㄴ. A는 H_2O 이고 C는 H_2 이다. H_2O 은 분자 사이에 수소 결합이 작용하므로 끓는점이 높다. H_2 는 무극성 분자로 분산력만 작용하므로 끓는점이 낮다. 따라서 기준 끓는점은 A가 C보다 높다.

ㄷ. B는 OF_2 이고 C는 H_2 이다. 분자량이 크면 분산력이 크므로 분산력은 B가 C보다 크다.

085 2주기 14~17족 원소의 수소 화합물 중 수소를 제외한 원소의 수가 1인 수소 화합물은 각각 CH_4 , NH_3 , H_2O , HF 이다. F는 수소 원자 1개와만 결합할 수 있으므로 X, Y는 F일 수 없고, H_2O 에서 O

의 원자 수는 1이므로 m 또는 n 이 1이면 분자에서 수소 원자가 존재하지 않는다. 따라서 X와 Y는 각각 C와 N 중 하나이고, (가)와 (나)는 각각 CH_4 과 NH_3 중 하나이다. $m > n$ 이므로 $m=4$, $n=3$ 이고, (다)와 (라)는 각각 C_2H_6 과 N_2H_4 중 하나이다.

ㄱ. CH_4 은 분산력만 작용하고, NH_3 는 수소 결합이 존재하므로 (가)는 CH_4 , (나)는 NH_3 이다. 따라서 X와 Y는 각각 C, N이므로 원자 번호는 $Y > X$ 이다.

ㄴ. $m=4$, $n=3$ 이므로 $m+n=7$ 이다.

ㄷ. 기준 끓는점은 (다)가 (라)보다 높으므로 수소 결합이 존재하는 N_2H_4 는 (다)이고, C_2H_6 은 (라)이다. 따라서 분자 사이에 수소 결합이 존재하는 분자는 (나)와 (다) 2가지이다.

086 같은 질량의 기체를 1기압에서 냉각하면 액화가 시작되는 온도가 해당 물질의 기준 끓는점이다. 가장 높은 온도에서 액화하는 C는 H_2O 이다. 기체 상태에서 같은 질량일 때 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 분자량이 작은 물질일수록 기울기가 크다.

ㄱ. C는 수소 결합으로 인해 기준 끓는점이 가장 높은 H_2O 이다. 그래프에서 A의 기울기가 B보다 작으므로 A의 양(mol)이 더 적고, 같은 질량에서는 양(mol)이 적을수록 분자량이 크다. 따라서 분자량은 $A > B$ 이므로 A는 F_2 , B는 H_2S 이다.

ㄴ. C는 H_2O 이고 B는 H_2S 이다. H_2O 은 분자 사이에 수소 결합이 작용하지만 H_2S 는 수소 결합이 작용하지 않는다. 따라서 H_2O 의 분자 간 힘이 더 크므로 기준 끓는점이 더 높다.

바로알기 ㄷ. 분산력은 모든 분자 사이에 존재하는 분자 간 힘이다. 따라서 A(F_2), B(H_2S), C(H_2O) 모두 액체 상태에서 분산력이 작용한다. H_2S 에는 쌍극자·쌍극자 힘, H_2O 에는 수소 결합과 함께 분산력이 존재한다.

087 증기 압력이 클수록 액체 분자 간 힘이 약하고 끓는점은 낮다. 같은 온도에서 A의 증기 압력이 B보다 크므로 A는 B보다 분자 간 힘이 약하다. 또한 증기 압력이 외부 압력과 같아지는 온도가 끓는점이다.

ㄱ. 그림에서 20 °C일 때 A의 곡선이 B의 곡선보다 위에 있으므로 20 °C에서 증기 압력은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 끓는점은 액체의 증기 압력이 외부 압력과 같아지는 온도이다. 증기 압력이 600 mmHg가 되는 온도는 B가 A보다 높으므로 대기압이 600 mmHg일 때 끓는점은 B가 A보다 높다.

바로알기 ㄴ. 같은 온도에서 증기 압력이 큰 물질일수록 분자 간 힘이 약하다. 같은 온도에서 A는 B보다 증기 압력이 크므로 분자 간 힘은 A가 B보다 작다.

088 1기압에서 물의 끓는점은 100 °C이다. 그러나 용기 내부의 압력을 낮추면 물의 끓는점도 낮아진다. 따라서 90 °C의 물이 들어 있는 감압 용기에서 내부 압력을 낮추면 물의 끓는점이 90 °C보다 낮아져 물이 끓기 시작한다.

모범 답안 ㉠으로 '90 °C의 물이 끓는다.'가 적절하다. 용기 내부의 압력을 낮추면 물의 끓는점이 낮아지므로 낮아진 압력에서는 90 °C의 물도 끓는점에 도달하여 끓을 수 있다.

채점 기준	배점
변화를 옳게 쓰고, 깨달을 옳게 서술한 경우	100 %
변화만 옳게 쓴 경우	50 %

089 (나)는 에탄올이 증발하여 에탄올의 증기 압력과 수은 기둥의 압력의 합이 대기압과 같다. (다)는 같은 조건에서 다이에틸 에터를 넣었을 때의 결과이며, $h_1 > h_2$ 이므로 증기 압력은 에탄올이 다이에틸 에터보다 작다.

ㄱ. (가)는 유리관 내부가 진공인 상태이고, (다)는 다이에틸 에터가 증발하여 유리관 속에 다이에틸 에터 분자가 존재하므로 유리관 속 기체 분자 수는 (다)가 (가)보다 크다.

ㄴ. 에탄올은 분자 사이에 수소 결합을 형성한다. 반면 다이에틸 에터는 산소 원자가 있지만 O-H 결합이 없어 수소 결합을 형성하지 못한다. 따라서 분자 간 힘은 에탄올이 다이에틸 에터보다 크다.

바로알기 ㄷ. 분자 간 힘이 클수록 끓는점이 높다. 에탄올은 수소 결합으로 인해 다이에틸 에터보다 분자 간 힘이 크므로 기준 끓는점이 더 높다.

090 ㄱ. (가)에서 액체 A 쪽의 수은 기둥이 높으므로 증기 압력은 액체 B가 A보다 크다. 따라서 (나)에서 X는 B이다.

ㄴ. 증기 압력이 클수록 더 낮은 온도에서 끓는다. 같은 온도에서 B는 A보다 증기 압력이 크므로 기준 끓는점은 B가 A보다 낮다. 따라서 기준 끓는점은 A(l)가 B(l)보다 높다.

ㄷ. h 는 A와 B의 증기 압력 차에 의해 생긴다. 온도가 t_1 에서 t_2 로 높아지면 두 물질의 증기 압력 차이가 커지므로 수은 기둥의 높이 차 h 도 증가한다.

091 기준 끓는점은 증기 압력이 760 mmHg가 되는 온도이다. 끓는점이 낮을수록 같은 온도에서 증기 압력이 크고, 분자 간 힘은 작다. 25 °C에서 C의 증기 압력이 B보다 작으므로 C의 기준 끓는점 t 는 B의 끓는점인 78 °C보다 높다.

ㄴ. 기준 끓는점은 B가 A보다 높으므로 분자 간 힘은 $B(l) > A(l)$ 이다. 그림에서 오른쪽 수은 기둥이 더 높으므로 증기 압력은 $B(l) > C(l)$ 이다. 따라서 분자 간 힘은 $C(l) > B(l)$ 이고, C의 기준 끓는점 t 는 78 °C보다 높다.

바로알기 ㄱ. B의 기준 끓는점은 78 °C이므로 34 °C일 때 B(l)의 증기 압력은 760 mmHg보다 작다.

ㄷ. 기준 끓는점은 C가 A보다 높으므로 분자 간 힘은 $C(l) > A(l)$ 이다.

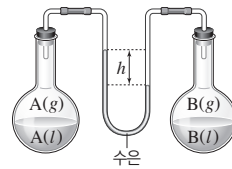
092 증기 압력 곡선에서 같은 증기 압력에 도달하는 온도가 낮을수록 기준 끓는점이 낮고, 분자 간 힘이 작다. N_2 는 무극성 분자로 분산력만 작용하므로 끓는점이 가장 낮다. NH_3 는 수소 결합을 하므로 NO보다 분자량은 작지만 끓는점은 높다.

ㄱ. A는 가장 낮은 온도에서 높은 증기 압력에 도달하므로 끓는점이 가장 낮다. N_2 는 무극성 분자이고 분자량도 작아 분자 간 힘이 가장 약하므로 끓는점이 가장 낮다. 따라서 A는 N_2 이다.

ㄴ. NO는 극성 분자인데, 극성 분자 사이에는 쌍극자-쌍극자 힘이 작용하므로 액체 상태에서 NO 분자 사이에는 쌍극자-쌍극자 힘이 작용한다.

ㄷ. B는 기준 끓는점이 가장 높으므로 NH_3 이다. 그래프에서 기준 끓는점은 $B > NO$ 이므로 NH_3 가 NO보다 높다.

093



증기 압력 $A(l) < B(l)$

온도 (°C)	증기 압력(mmHg)	
	(가) B	(나) A
30	a	
50	$x + h$	a

• (가)의 30 °C에서 증기 압력과 (나)의 50 °C에서의 증기 압력이 a mmHg로 같으므로 같은 온도일 때 증기 압력은 (가) > (나)이다.

• 50 °C에서 증기 압력은 $B(l) > A(l)$ 이므로 (가)가 B이고, (나)가 A이다.

50 °C에서 증기 압력은 $B(l) > A(l)$ 이다. (가)는 30 °C에서 증기 압력이 a mmHg이고, (나)는 50 °C에서 증기 압력이 a mmHg이므로 같은 온도일 때 증기 압력은 (가)가 (나)보다 크다. 따라서 (가)는 B(l)이고, (나)는 A(l)이다.

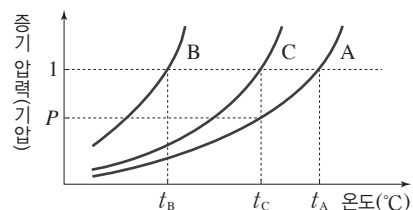
ㄴ. 50 °C에서 증기 압력은 A가 B보다 작다. 같은 온도에서 증기 압력이 작은 물질일수록 분자 간 힘이 크므로 30 °C에서 분자 간 힘은 A(l)가 B(l)보다 크다.

바로알기 ㄱ. (가)는 B(l), (나)는 A(l)이다.

ㄷ. 50 °C에서 A(l)의 증기 압력은 a mmHg이고, 50 °C에서 B(l)의 증기 압력은 A(l)보다 h mmHg만큼 크므로 $x = a + h$ 이다.

094 기준 끓는점은 액체의 증기 압력이 대기압인 1기압과 같아지는 온도이다. 또한 증기 압력 곡선은 교차하지 않으므로 같은 온도에서는 증기 압력이 큰 물질이 모든 온도에서 증기 압력이 크다. 같은 온도에서 증기 압력이 클수록 분자 간 힘이 약하고, 기준 끓는점은 낮다. t_B °C에서 B의 증기 압력이 C보다 크므로 C의 증기 압력은 1기압에 도달하지 못한 상태이다. 따라서 C가 기준 끓는점에 도달하려면 더 높은 온도가 필요하므로 $t_C > t_B$ 이다. 또한 외부 압력이 P기압일 때 A의 끓는점이 C보다 높고, t_C °C에서 A의 증기 압력이 P기압이므로 A가 t_C °C에서 끓지 않았고, 이는 P가 1보다 작다는 의미이다. 따라서 A의 기준 끓는점이 가장 높고, 그 다음이 C, 가장 낮은 것이 B이며, 분자 간 힘도 $A > C > B$ 이다.

모범 답안



채점 기준	배점
증기 압력 곡선을 조건에 맞게 옳게 그린 경우	100 %

095 ㄱ. (가)에서 H_2O 의 세 가지 상이 평형을 이루고 있으므로 삼중점이다. 따라서 $H_2O(g)$ 의 압력은 P_1 이다.

ㄴ. 대기압인 P_2 , 온도 T_1 에서 H_2O 의 안정한 상은 액체이다.

ㄷ. 대기압인 P_2 , 온도 T_2 에서 H_2O 의 안정한 상은 고체와 액체 2가지이다.

096 상평형 그림에서 삼중점은 고체, 액체, 기체가 모두 평형을 이루는 상태이며, CO_2 의 삼중점은 5.1기압, -56.6 °C이다. 삼중점보다 낮은 압력에서는 액체 상태가 존재할 수 없으므로 고체와 기체만 존재한다. 따라서 1기압에서는 CO_2 가 고체에서 기체로 변하는 승화가 일

어난다. 또한 CO_2 는 삼중점 이상의 압력에서만 액체 상태로 존재할 수 있으며, 압력과 온도에 따라 고체, 액체, 기체 중 안정한 상이 결정된다.

모범 답안 (1) CO_2 의 삼중점의 압력은 5.1기압으로 1기압보다 높다. 따라서 1기압에서는 액체 상태가 존재할 수 없으며, $\text{CO}_2(s)$ 는 가열하면 액체를 거치지 않고 기체로 변하는 승화가 일어난다. 따라서 CO_2 는 1기압에서 승화성 물질이다.

(2) $\text{CO}_2(l)$ 는 삼중점보다 높은 압력에서만 존재할 수 있다. 따라서 압력이 5.1기압 이상이고, 온도가 -56.6°C 보다 높고 끓는점보다 낮을 때 CO_2 가 액체 상태로 존재할 수 있다.

채점 기준	배점
(1) 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
(2) 조건을 옳게 서술한 경우	50 %

097 물의 상평형 그림에서 선 위의 점은 두 상태가 함께 존재하는 평형 상태를 나타낸다. 선으로 구분된 영역 안에서는 1가지 상태가 안정하게 존재한다. 물은 용해 곡선의 기울기가 음(-)이므로 일정한 온도에서 압력을 높이면 고체에서 액체로 변할 수 있다.

ㄱ. 1기압으로 압력이 동일할 때 온도를 높이면 고체 → 액체 → 기체로 상태가 변한다. 따라서 1기압에서 H_2O 는 조건에 따라 3가지 상태로 존재할 수 있다.

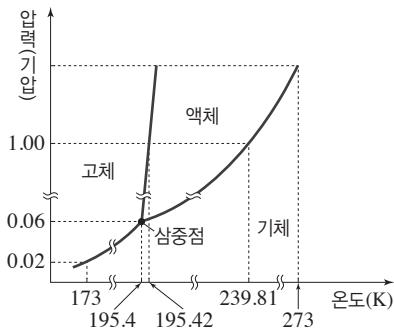
ㄷ. P에서는 고체와 액체 상태가 공존하는데, 고체 상태에서 압력을 높이면 액체 상태가 안정한 상이 되는 곳으로 이동하게 되므로 액체 상태로 변한다.

바로알기 ㄴ. P는 고체와 액체의 경계선 위에 있으므로 고체와 액체가 공존한다. Q와 R은 액체 영역 안에 있으므로 안정한 상은 액체 1가지이다. 따라서 안정한 상의 종류가 2가지인 것은 P 1가지이다.

098

- 삼중점: 0.06기압, 195.4 K
- 1기압에서 끓는점: 239.81 K
- 1기압에서 녹는점: 195.42 K

X의 상평형 그림을 나타내면 다음과 같다.

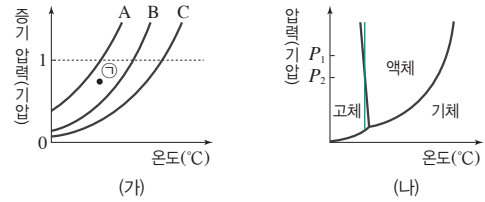


ㄱ. 1기압에서 끓는점이 239.81 K이므로 0.3기압에서는 끓는점이 239.81 K보다 낮다. 273 K은 끓는점보다 높은 온도이므로 X는 기체 상태가 가장 안정하다.

ㄴ. 1기압에서 녹는점이 195.42 K이다. 압력이 0.5기압으로 낮아지면 녹는점은 약간 낮아질 수 있지만, 173 K는 녹는점보다 충분히 낮은 온도이다. 따라서 X는 고체 상태가 가장 안정하다.

ㄷ. 삼중점의 압력은 0.06기압이다. 0.02기압은 삼중점보다 낮은 압력이므로 액체 상태가 존재할 수 없고, 고체와 기체 사이의 승화만 가능하다. 따라서 X는 승화성을 갖는다.

099



- 증기 압력 곡선의 아래쪽은 주어진 압력 조건에서 끓는점보다 온도가 높으므로 기체 상태이고, 위쪽은 주어진 끓는점보다 온도가 낮으므로 액체 상태이다.
- (나)에서 용해 곡선은 음(-)의 기울기를 가지므로 고체 상태에서 온도가 일정할 때 압력을 높이면 액체 상태로 변하게 된다.

ㄴ. (나)에서 용해 곡선의 기울기가 음(-)이므로 압력이 높아지면 녹는점이 낮아진다. 따라서 B의 어는점은 P_2 기압에서 P_1 기압에서보다 높다.

ㄷ. 기준 끓는점은 외부 압력이 1기압일 때의 온도이므로 기준 끓는점에서의 증기 압력은 모두 1기압으로 같다.

바로알기 ㄱ. (가)는 증기 압력 곡선이므로 증기 압력 곡선이 ㉠보다 위에 있으면 안정한 상이 기체이다. 따라서 ㉠의 온도와 압력에서 A의 안정한 상은 기체이다.

100

(1) 동결 건조는 물의 삼중점(0.006기압, 0.0098°C)보다 낮은 압력에서 얼음을 수증기로 승화시키는 것을 이용한 건조 방법이다. 먼저 식품을 얼려 물을 고체(얼음) 상태로 만든다. 이후 압력을 삼중점보다 낮은 압력(0.006기압 미만)으로 낮추면 액체 상태는 존재할 수 없으므로 온도를 조금 높여도 얼음은 녹지 않고 바로 수증기로 승화한다. 이 과정에서 식품 속 수분만 제거되므로 식품의 형태와 영양 성분, 향과 맛이 비교적 잘 보존된다.

(2) 높은 산에서는 대기압이 1기압보다 낮다. 상평형 그림에서 압력이 낮아지면 증기 압력 곡선과 만나는 온도, 즉 끓는점이 낮아진다. 따라서 물은 100°C 보다 낮은 온도에서 끓게 된다.

모범 답안 (1) 식품을 얼린 뒤 압력을 삼중점(0.006기압)보다 낮은 압력으로 낮춘다. 이때 액체 상태는 존재할 수 없으므로 온도를 높이면 얼음은 녹지 않고 바로 수증기로 승화한다. 따라서 식품의 형태를 유지하면서 수분을 제거할 수 있다.

(2) 높은 산에 올라가면 대기압이 낮아져 상평형 그림에서 증기 압력 곡선과 만나는 온도(끓는점)가 낮아진다. 따라서 물이 100°C 보다 낮은 온도에서 끓어 조리 온도가 낮아지므로 밥이 설익는다. 이를 방지하기 위해 압력솥을 사용하거나 냄비 위에 돌을 올려 내부 기체의 압력을 높이면 물의 끓는점이 높아져 더 높은 온도에서 조리할 수 있다.

채점 기준	배점
(1) 그림을 이용하여 원리를 옳게 설명한 경우	40 %
(2) 상평형 그림을 이용하여 이유와 대책을 옳게 설명한 경우	60 %

101

(가)는 X와 Y의 증기 압력 곡선을 나타낸 것이다. 같은 온도에서 증기 압력이 클수록 증기 압력이 1기압이 되는 온도가 낮아지므로 기준 끓는점이 낮아진다. (나)는 같은 압력에서 같은 양의 액체를 가열할 때의 가열 곡선이다. 온도가 일정하게 유지되는 구간은 끓는 동안의 구간이며, 이때의 온도가 그 물질의 끓는점이다. 따라서 평평한 구간의 온도가 낮은 물질일수록 기준 끓는점이 낮고, 증기 압력 곡선에서는 더 왼쪽에 위치한다.

ㄴ. (가)의 t_1 에서는 X와 Y의 증기 압력이 모두 1기압보다 작으므로 t_1 은 두 물질의 기준 끓는점보다 낮은 온도이다. 따라서 (나)에서 t_2 는 ㉠의 끓는점보다 높으므로 $t_1 < t_2$ 이다.

ㄷ. Y는 X보다 기준 끓는점이 높으므로 (나)에서 더 높은 온도(t_3)에서 끓는 물질이 Y이다. 따라서 Y는 ㉠이다.

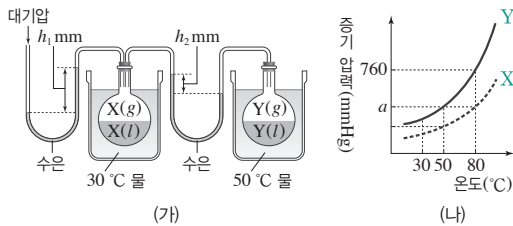
바로알기 | ㄱ. 기준 끓는점은 증기 압력이 1기압이 되는 온도이다. (가)에서 X의 증기 압력 곡선은 Y보다 왼쪽에 있으므로 X는 더 낮은 온도에서 증기 압력이 1기압이 된다. 따라서 기준 끓는점은 X가 Y보다 낮다.

102 ㄱ. $C_2H_5OH(l)$ 은 $30^\circ C$ 에서 증기 압력이 78 mmHg이다. $C_2H_5OH(l)$ 의 증기 압력이 300 mmHg가 되려면 온도를 높여야 하므로 $t_1 > 30$ 이다. 증기 압력이 78 mmHg에 도달했을 때의 온도는 $t_1 > 30$ 이므로 증기 압력이 300 mmHg에 도달했을 때의 온도는 $t_2 > t_1$ 이다.

ㄷ. $t_1^\circ C$ 에서 $C_2H_5OH(l)$ 의 증기 압력은 300 mmHg이다. 같은 온도에서 $CH_3COOH(l)$ 은 $C_2H_5OH(l)$ 보다 증기 압력이 작으므로 $t_1^\circ C$ 에서 $CH_3COOH(l)$ 의 증기 압력은 300 mmHg보다 작다. 또한 $CH_3COOH(l)$ 의 증기 압력이 300 mmHg가 되려면 $t_2^\circ C$ 까지 올라가야 하므로 $t_1^\circ C$ 에서는 액체로 존재한다. 따라서 외부 압력 200 mmHg 일 때 CH_3COOH 은 액체 상태이다.

바로알기 | ㄴ. $t_1^\circ C$ 에서 증기 압력은 $C_2H_5OH(l)$ 이 $CH_3COOH(l)$ 보다 크다. 따라서 분자 간 힘은 $CH_3COOH(l)$ 이 $C_2H_5OH(l)$ 보다 크다.

103



- (가)에서 $30^\circ C$ 의 X(l)의 증기 압력은 $(760 - h_1)$ mmHg이고, $50^\circ C$ 의 Y(l)의 증기 압력은 X(l)보다 h_2 mmHg만큼 크므로 $50^\circ C$ 에서 Y(l)의 증기 압력은 $(760 - h_1 + h_2)$ mmHg이다.
- $50^\circ C$ 에서 Y(l)의 증기 압력이 $30^\circ C$ 에서 X(l)의 증기 압력보다 크므로 같은 온도에서 증기 압력은 $Y(l) > X(l)$ 이다.

ㄴ. $30^\circ C$ 에서 X(l)의 증기 압력은 $760 - h_1$ mmHg이고, $50^\circ C$ 에서 Y(l)의 증기 압력은 X(l)보다 h_2 mmHg만큼 크므로 $50^\circ C$ 에서 Y(l)의 증기 압력 $a = (760 - h_1 + h_2)$ mmHg이다.

ㄷ. 그림에서 증기 압력이 큰 곡선이 Y의 곡선이다. $80^\circ C$ 에서 Y의 증기 압력이 대기압과 같은 760 mmHg이므로 Y의 기준 끓는점은 $80^\circ C$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 같은 온도에서 증기 압력이 클수록 끓는점이 낮다. 따라서 분자 간 힘은 $X(l) > Y(l)$ 이다.

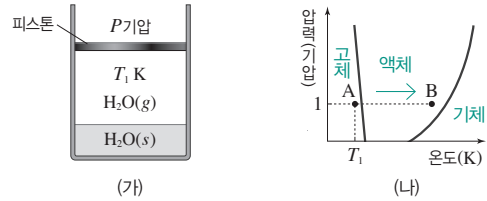
104 삼중점에서 압력을 변화시켰을 때 (가)에 해당하는 물질은 액체 상태가 될 수 있고, (나)에 해당하는 물질은 고체와 기체 상태가 될 수 있다. 따라서 (가)에 해당하는 물질은 B이다.

모범 답안 (1) $t_1^\circ C$, P_2 기압과 $t_2^\circ C$, P_1 기압은 각각 물질 A와 B의 삼중점에서의 온도와 압력이다. 이때 B는 $t_2^\circ C$ 에서 압력을 변화시켰을 때 액체만 안정한 상으로 존재해야 하므로 (가)는 B의 상평형 그림이고, (나)는 A의 상평형 그림이다.

(2) (나)가 A의 상평형 그림이므로 삼중점의 압력인 P_2 는 5.1, t_1 는 -56.6 이다. (가)가 B의 상평형 그림이므로 삼중점의 압력인 P_1 은 0.006, t_2 는 0.0098이다.

	채점 기준	배점
(1)	(가)와 (나)를 모두 옳게 쓰고, 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
	(가)와 (나)만 모두 옳게 쓴 경우	20 %
(2)	t_1, t_2, P_1, P_2 를 모두 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	50 %
	t_1, t_2, P_1, P_2 만 모두 옳게 구한 경우	20 %

105



- (가)에서 고체와 기체 상태가 평형을 이루고 있으므로 승화 곡선에 있는 온도와 압력에 해당한다.
- (나)에서 승화 곡선은 나타나지 않았으므로 P 기압은 1기압보다 작다.
- A에서 B로의 변화가 일어나게 하려면 (가)에서 압력을 높여 $H_2O(s)$ 이 존재한 상태에서 압력을 일정하게 유지하면서 온도를 높이면 된다.

모범 답안 (가)에서는 고체와 기체 상태가 공존하므로 상평형 그림에서 승화 곡선에 해당하는 온도와 압력 조건이다. (나)는 융해 곡선과 증기 압력 곡선만 나타나 있으므로 P 기압은 1기압보다 작다. A에서 B로 변화시키려면 피스톤을 눌러 실린더 내부 압력을 1기압이 되게 한 후 가열한다. 1기압에서 온도를 높이면 고체가 액체로 변하고, B에서 안정한 상은 $H_2O(l)$ 이다.

	채점 기준	배점
P 기압과 1기압의 크기를 옳게 비교하고, 각 과정에서의 안정한 상을 모두 옳게 서술한 경우		100 %
	P 기압과 1기압의 크기만 옳게 비교한 경우	50 %

106

(가)의 평형 상태에서 CO_2 의 안정한 상은 기체와 액체이므로 $t^\circ C$ 는 삼중점의 온도인 $-56.6^\circ C$ 보다 높은 온도이다. (나)에서 꼭지를 열고 온도를 일정하게 하였으므로 압력은 낮아지게 되고 이후 평형 상태에서 CO_2 의 안정한 상의 수가 2이므로 다시 액체와 기체가 상평형을 이룬 것임을 알 수 있다. 따라서 $P_1 = P_2$ 이다.

ㄱ. (가)의 평형 상태에서 CO_2 의 안정한 상이 기체와 액체이므로 증기 압력 곡선 위의 온도와 압력이다. 따라서 $t > -56.6$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 꼭지를 열면 부피가 2배가 되어 압력이 감소한다. 하지만 온도가 $t^\circ C$ 로 일정한 상태에서 (나)의 평형 상태에서 안정한 상이 2가지이므로 감소했던 압력이 $CO_2(l)$ 가 $CO_2(g)$ 로 기화하면서 증가했다는 것을 알 수 있고, 이때의 압력은 다시 P_1 과 같아진다. 따라서 $P_1 = P_2$ 이다.

ㄷ. $P_1 = P_2$ 이므로 (나)의 평형 상태에서 안정한 상은 기체와 액체로 같다.

빈출 자료 보기

35쪽

107 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ×

108 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

107 (1) (다)에서 Cl^- 과 이온 결합한 A는 +1의 전하를 갖는 양이온이므로 금속 원소이다.

(2) (가)는 금속 A로만 이루어진 고체 결정이므로 금속 결정이다.

(4) (다)는 A^+ 과 Cl^- 사이의 이온 결합으로 이루어진 이온 결정이다.

바로알기 | (3) (나)는 I_2 분자 간 힘으로 이루어진 분자 결정이다.

(5) 고체 상태에서 전기 전도성이 있는 것은 (가) 1가지이다. 분자 결정과 이온 결정은 모두 고체 상태에서 전기 전도성이 없다.

108 나트륨은 3주기 1족 금속 원소이고, 염화 나트륨은 Na^+ 과 Cl^- 의 이온 결합으로 이루어진 물질이다.

(1) (가)는 나트륨으로, 금속 양이온인 Na^+ 과 자유 전자 사이의 정전기적 인력으로 결합된 금속 결정이다.

(2) (나)는 염화 나트륨으로, 양이온과 음이온이 결합한 이온 결정이다.

(3) (가)는 자유 전자가 자유롭게 이동할 수 있으므로 전기 전도성이 있다.

(5) (나)는 수용액 상태에서 전하를 띤 이온들이 자유롭게 이동할 수 있으므로 전기 전도성이 있다.

바로알기 | (4) (가)는 금속 양이온과 자유 전자 사이의 결합으로 이루어져 있고, 자유 전자가 자유롭게 이동할 수 있으므로 외부에서 힘을 가하면 부서지지 않고 찌그러진다.

난이도별 필수 기출

36쪽~40쪽

109 ⑤	110 ④, ⑤	111 ③	112 해설 참조
113 ③	114 해설 참조	115 ①	116 ③ 117 ③
118 해설 참조	119 ④	120 ⑤	121 ① 122 ②
123 해설 참조	124 ④, ⑥	125 ⑤	126 ⑤
127 ①	128 해설 참조	129 ②	
130 해설 참조			

109 (가)는 결정성 고체이므로 석영이고, (나)는 비결정성 고체이므로 유리이다. 그림에서 X는 사면체의 중심에 위치하며 수가 더 적은 입자이므로 Si이다. 석영과 유리는 입자의 배열 방식만 다를 뿐 화학식은 SiO_2 로 동일하다.

ㄱ. X는 사면체 구조의 중심에 위치하여 4개의 Y와 결합하고 있으며 Y보다 수가 적으므로 X는 Si이고, Y는 O이다.

ㄴ. (나)는 비결정성 고체이므로 입자 사이의 결합력이 균일하지 않다. 따라서 가열하면 특정 온도에서 한꺼번에 녹지 않고 일정한 온도 범위에 걸쳐 서서히 녹으므로 녹는점이 일정하지 않다.

ㄷ. (가)와 (나)는 입자의 배열 방식에서 차이가 날 뿐 두 물질을 이루

는 성분 원소와 그 개수비는 동일하므로 두 물질의 화학식은 모두 SiO_2 로 같다.

110 결정성 고체는 구성 입자가 규칙적으로 배열되어 있으므로 녹는점이 일정하다.

④ 비결정성 고체는 입자가 불규칙하게 배열되어 있다.

⑤ 결정성 고체는 입자가 규칙적으로 배열되어 있어서, 입자의 배치가 각각 다른 위치에 있다면 자르는 방향에 따라 쪼개지는 면의 모양이 다르게 나타날 수 있다.

바로알기 | ① 비결정성 고체는 입자 배열이 불규칙하다.

② 결정성 고체는 녹는점이 일정하다.

③ 유리, 고무는 비결정성 고체이다.

⑥ 얼음, 금속은 결정성 고체이다.

111 첫 번째 분류 기준인 '양이온이 존재하는가?'에서 '예'로 분류되는 물질은 Na^+ 과 Cl^- 으로 이루어진 이온 결정, 즉 염화 나트륨으로 (가)는 염화 나트륨이다. 드라이아이스는 CO_2 분자들이 분자 간 힘으로 이루어진 분자 결정이므로 구성 입자가 분자에 해당하여 (나)이고, 다이아몬드는 탄소 원자들이 공유 결합으로 이루어진 공유 결정이므로 구성 입자가 분자가 아닌 원자에 해당하여 (다)이다.

ㄱ. (가)는 '양이온이 존재하는가?'라는 질문에 '예'로 분류된 물질이다. 염화 나트륨은 양이온(Na^+)을 포함하는 이온 결정이다.

ㄴ. (나)는 구성 입자가 분자인 드라이아이스이다. 드라이아이스는 CO_2 분자 사이의 분자 간 힘이 비교적 약한 분자 결정이므로 1기압에서 액체 상태를 거치지 않고 고체에서 곧바로 기체로 상태가 변하는 승화 현상이 나타난다.

바로알기 | ㄷ. (다)는 구성 입자가 원자인 다이아몬드이다. 다이아몬드에는 자유롭게 움직이는 전자가 없으므로 고체 상태에서 전기 전도성이 없다.

112 (가) 다이아몬드는 탄소 원자가 인접한 탄소 원자 4개와 공유 결합을 이루어 정사면체 구조로 끝없이 연결된 공유 결정이다. (나) 드라이아이스에서 CO_2 분자는 공유 결합으로 이루어져 있지만, 이 CO_2 분자들이 모여 결정을 이룰 때 분자와 분자 사이에 분산력으로 이루어져 있으므로 분자 결정이다.

모범 답안 공통점은 (가)와 (나) 모두 구성 입자가 규칙적으로 배열된 결정성 고체라는 점이다. 차이점은 (가)는 결정 전체가 하나의 그물처럼 연결된 공유 결정인 반면, (나)는 분자들이 규칙적으로 배열된 분자 결정이다.

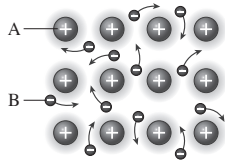
채점 기준	배점
공통점과 차이점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 1가지만 옳게 서술한 경우	50 %

113 염화 나트륨은 Na^+ 과 Cl^- 의 정전기적 인력으로 이루어진 이온 결정이다. 이온 결정은 양이온과 음이온이 교대로 배열되어 결정을 이루는 구조로, 외부에서 힘을 가하면 같은 전하를 띤 이온끼리 가까워지면서 반발력이 작용하여 쉽게 부서지는 특성을 가진다.

ㄱ. 염화 나트륨은 Na^+ 과 Cl^- 이 정전기적 인력으로 결합되어 규칙적으로 배열된 이온 결정이다.

ㄷ. 염화 나트륨 결정을 이루는 Na^+ 과 Cl^- 은 서로 반대 전하를 띠고 있어 정전기적 인력, 즉 이온 결합으로 강하게 끌어당기고 있다.

바로알기 | ㄴ. 이온 결정에 힘을 가하면 이온들의 위치가 변하면서 같은 전하를 띤 이온끼리 반발력이 작용하여 결정이 쉽게 쪼개지거나 부서진다.



- 금속 양이온과 자유 전자 사이의 결합인 금속 결합으로 이루어져 있다.
- A는 금속 양이온, B는 자유 전자이다. ➡ 금속 결정은 금속 양이온들이 규칙적으로 배열되어 있고, 그 사이를 자유 전자가 자유롭게 돌아다니면서 금속 양이온들을 서로 붙잡아 주는 금속 결합으로 이루어진 결정이다.

모범 답안 X는 금속 결정이다. 자유 전자인 B가 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있으므로 X는 전기 전도성이 있다.

채점 기준	배점
결정의 종류를 옳게 쓰고, 전기 전도성이 있다는 것을 옳게 서술한 경우	100 %
결정의 종류만 옳게 쓴 경우	30 %

115 (가)는 금속 양이온이 규칙적으로 배열된 리튬(Li) 금속 결정이다. (나)는 탄소 원자들이 평면 구조를 이루고 있는 구조로 흑연(C)의 결정 구조이다.

ㄱ. (가)는 금속 양이온이 규칙적으로 배열되어 있고, 그 사이를 자유 전자가 이동하며 결합을 이루는 구조이므로 금속 결정이다.

바로알기 ㄴ. (나) 흑연은 탄소 원자의 4개의 원자가 전자 중 3개만 공유 결합에 참여하고, 나머지 전자 1개는 결합에 참여하지 않아 자유롭게 이동할 수 있으므로 고체 상태에서도 전기 전도성이 있다.

ㄷ. (나) 흑연은 탄소 원자가 공유 결합으로 그물처럼 연결된 공유 결정(원자 결정)이다.

116 고체와 액체 상태 모두에서 전기 전도성이 있는 (가)는 자유 전자가 있는 금속 결정 A이고, 액체 상태에서는 전도성이 있지만 고체 상태에서는 전기 전도성이 없는 AB_2 는 고체에서는 이온이 자유롭게 움직이지 못하다가 액체 상태가 되면 이온이 자유롭게 이동하여 전기가 통하는 이온 결정이다. 반면 액체 상태에서 전기 전도성이 없는 (나)는 이온이나 자유 전자가 존재하지 않는 분자 결정인 B_2 이다.

ㄱ. AB_2 는 고체 상태에서는 이온들이 움직일 수 없어 전기 전도성이 없지만, 액체 상태가 되면 이온들이 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 있다.

ㄴ. (가)는 고체와 액체 상태 모두에서 전기 전도성이 있는 금속 결정이다. 금속 결정은 자유 전자가 금속 양이온 사이를 이동하며 결합을 유지하므로 외부에서 힘을 가해 모양이 변형되어도 결합이 끊어지지 않는다. 따라서 금속은 넓게 퍼지는 성질(전성)과 길게 늘어나는 성질(연성)을 가진다.

바로알기 ㄷ. (나)는 B_2 이다.

✓ 개념 보충

결정의 전기 전도성

결정의 전기 전도성은 결정을 이루는 입자의 종류와 자유롭게 움직일 수 있는 전하 운반체의 유무에 따라 달라진다. 금속 결정은 자유 전자가 결정 전체를 자유롭게 이동할 수 있어 고체와 액체 상태 모두에서 전기 전도성이 있다. 이온 결정은 고체 상태에서는 이온이 고정되어 있어 전기 전도성이 없지만, 액체 상태나 수용액 상태가 되면 이온이 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 나타나며, 분자 결정과 대부분의 공유 결정(원자 결정)은 자유롭게 움직이는 전하 운반체가 없어 고체와 액체 상태 모두에서 전기 전도성이 없다. 예외적으로 흑연은 공유 결합에 참여하지 않고 남아 있는 전자가 1개 있으므로 전기 전도성이 있다.

117 A는 힘을 가해도 부서지지 않고 모양만 변하는 구리(Cu)이다. 금속 결정은 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동하고

있어 외부에서 힘을 가해 양이온의 배열이 어긋나도 자유 전자가 결합을 유지시켜 준다. 따라서 금속은 부서지지 않고 넓게 퍼지거나 늘어나는 성질을 가진다. B는 힘을 가하면 부서지는 염화 나트륨(NaCl)이다.

ㄱ. A는 금속 결정인 구리(Cu)이며, 금속 결정은 자유 전자가 자유롭게 이동할 수 있어 고체 상태에서 전기 전도성이 있다.

ㄴ. A(금속 결정)와 B(이온 결정)는 모두 입자가 규칙적으로 배열된 결정성 고체이다. 결정성 고체는 입자 사이의 결합력이 일정하므로 녹는점이 일정하다.

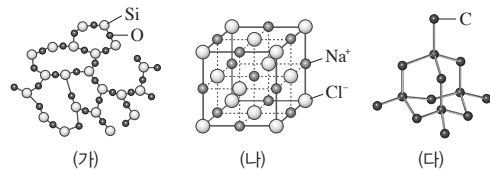
바로알기 ㄷ. B는 이온 결정인 NaCl이며, 이온 결정은 Na^+ 과 Cl^- 이 정전기적 인력으로 결합되어 있어 자유롭게 이동하는 전자가 존재하지 않는다.

118 A는 분자 결정이고, B는 분자 결정은 아니면서 공유 결합 물질이므로 공유 결정이고, C는 분자 결정이 아니고 공유 결합으로 이루어진 물질도 아니므로 이온 결정 또는 금속 결정이다. 이때 A와 C에는 같은 원소가 포함되므로 C는 비금속 원소가 포함된 이온 결정이다.

모범 답안 A의 예는 드라이아이스(CO_2)이다. 드라이아이스는 CO_2 분자들이 약한 분자 간 힘으로 이루어진 분자 결정으로, 자유롭게 움직이는 이온이나 전자가 없어 고체와 액체 상태 모두에서 전기 전도성이 없다. B의 예는 다이아몬드(C)이다. 다이아몬드는 그물처럼 연결된 공유 결정으로, 자유 전자가 존재하지 않아 고체 상태에서 전기 전도성이 없다. C의 예는 산화 칼슘(CaO)이다. 산화 칼슘은 Ca^{2+} 과 O^{2-} 이 정전기적 인력으로 결합된 이온 결정으로, 고체 상태에서는 이온이 이동할 수 없어 전기 전도성이 없지만 액체 상태가 되면 이온이 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 있다. A(CO_2)와 C(CaO)에는 공통적으로 산소(O)라는 원소가 존재한다.

채점 기준	배점
A~C의 예를 모두 옳게 쓰고, 전기 전도성을 옳게 서술한 경우	100 %
A~C만 모두 옳게 쓴 경우	60 %
전기 전도성만 옳게 서술한 경우	30 %

119



• (가)는 비결정성 고체인 유리이고, (나)는 이온 결정인 NaCl, (다)는 공유 결정인 C(다이아몬드)이다.

• (가)는 비결정성 고체이고, (나)와 (다)는 입자 사이의 결합이 일정한 결정성 고체이다.

(가)는 Si와 O로 이루어져 있고, 불규칙하게 결합되어 있으므로 비결정성 고체인 유리이고, (나)는 Na^+ 과 Cl^- 이 정전기적 인력으로 규칙적으로 이루어진 이온 결정이며, (다)는 탄소 원자들이 정사면체 형태로 공유 결합하여 그물처럼 연결된 공유 결정이다.

ㄴ. (나)는 Na^+ 과 Cl^- 이 정전기적 인력으로 결합된 이온 결정인 NaCl이다. 고체 상태에서는 이온들이 고정되어 있어 전기 전도성이 없지만, 물에 녹아 수용액이 되면 이온들이 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 있다.

ㄷ. (가)는 Si와 O 원자 사이의 공유 결합으로, (다)는 탄소 원자 사이의 공유 결합으로 이루어져 있다.

바로알기 ㄱ. (가)는 비결정성 고체인 유리이다.

120 (가)는 한 종류의 입자만 규칙적으로 배열되어 있으므로 Na(s)이다. (나)는 종류가 다른 두 입자가 규칙적으로 배열된 구조이

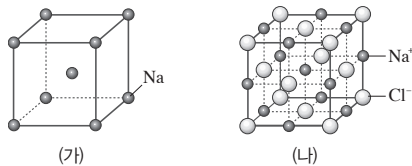
므로 양이온과 음이온이 정전기적 인력으로 결합된 이온 결정인 $KCl(s)$ 이다. (다)는 2개의 원자가 하나의 분자를 형성하고, 이 분자들이 규칙적으로 배열된 구조이므로 분자 결정인 $I_2(s)$ 이다.

ㄱ. (가)는 금속 원소인 Na 로 이루어진 금속 결정이다. 금속 결정은 금속 양이온과 그 사이를 자유롭게 이동하는 자유 전자로 이루어져 있다.

ㄴ. (다)는 원자 2개가 하나의 분자를 형성하고, 이 분자들이 분자 간 힘으로 모여 결정을 이루고 있다.

ㄷ. (가)는 금속 결정으로, 자유 전자가 존재하여 고체 상태에서도 전기 전도성이 크다. 반면 (나)는 이온 결정으로, 고체 상태에서는 이온들이 고정되어 있어 자유롭게 이동하지 못하므로 전기 전도성이 없다.

121



- (가)는 Na^+ 과 자유 전자로 이루어진 금속 결정이고, (나)는 Na^+ 과 Cl^- 이 정전기적 인력으로 결합된 이온 결정이다.
- 두 결정은 결합의 종류는 다르지만, 물과 만났을 때 이온이 존재하는 상태가 되어 전기 전도성을 나타낸다는 공통점을 가진다. (나)는 물에 녹아 Na^+ 과 Cl^- 으로 이온화 되고, (가)는 물과 반응하여 Na^+ 과 OH^- 을 포함하는 수용액을 만들므로 두 경우 모두 물에 넣은 후에는 자유롭게 이동하는 이온이 존재하는 상태가 된다는 것이 공통점이다.

ㄱ. (나) $NaCl$ 은 물에 녹으면 Na^+ 과 Cl^- 으로 이온화되어 수용액에서 전기 전도성이 나타난다. (가) Na 은 물과 반응하여 Na^+ 과 OH^- 이 들어 있는 수용액을 생성하므로 두 물질 모두 물에 넣으면 이온이 자유롭게 이동하는 상태가 되어 전기 전도성이 나타난다.

바로알기 | ㄴ. (나) $NaCl$ 은 이온 사이의 정전기적 인력으로 결합되어 있다. 반면, (가) Na 은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 금속 결합으로 이루어져 있으므로 이온과 이온 사이의 결합이 아니다.

ㄷ. (나) $NaCl$ 은 힘을 가하면 이온의 배열이 변하면서 같은 전하를 띤 이온끼리 반발하여 쪼개지거나 부서진다. 그러나 (가) Na 은 금속 결정으로, 힘을 가해 양이온의 배열이 변해도 자유 전자가 결합을 유지시켜 주어 부서지지 않고 모양만 변형된다.

122 (가)는 CO_2 분자가 규칙적으로 배열되어 있으므로 분자 결정인 $CO_2(s)$ 이다. (나)는 종류가 다른 두 종류의 입자가 규칙적으로 배열된 구조이므로 Na^+ 과 Cl^- 이 정전기적 인력으로 결합된 이온 결정인 $NaCl(s)$ 이다. (다)는 탄소 원자들이 쌓여 있는 구조이므로 흑연이다. ㄴ. (나)는 두 종류의 입자가 규칙적으로 배열되어 있다. 따라서 (나)는 Na^+ 과 Cl^- 이 1 : 1의 개수비로 정전기적 인력에 의해 결합된 이온 결정을 이룬다.

바로알기 | ㄱ. (가)는 분자 상태의 CO_2 로 이루어진 고체이다.

ㄷ. 유리는 비결정성 고체, (다)는 결정성 고체이다.

123 고체 상태에서 전기 전도성이 있는 것은 자유 전자를 가진 금속 결정이다. 녹는점이 대체로 낮은 것은 분자 간 힘이 약해 녹는점이 낮은 분자 결정이다. 액체 상태에서 전기 전도성이 있는 것은 액체 상태에서 이온이 자유롭게 이동할 수 있는 이온 결정이고, 액체 상태에서 전기 전도성이 없는 것은 공유 결정(원자 결정)이다.

모범답안 A는 금속 결정이다. 금속 결정은 금속 양이온 사이를 자유 전자가 자유롭게 이동할 수 있어 고체 상태에서 전기 전도성이 있으므로 A에 해당한다.

B는 분자 결정이다. 분자 결정은 분자와 분자 사이에 비교적 약한 분자 간 힘으로 이루어져 있어 녹는점이 대체로 낮으므로 B에 해당한다.

C는 이온 결정이다. 이온 결정은 고체 상태에서는 이온이 이동할 수 없어 전기 전도성이 없지만, 액체 상태가 되면 이온이 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 있으므로 C에 해당한다.

D는 공유 결정이다. 공유 결정은 녹는점이 매우 높으면서 액체 상태에서 전기 전도성이 없으므로 D에 해당한다.

채점 기준	배점
A~D를 모두 옳게 쓰고, 각 단계의 분류 기준과 관련지어 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
A~D만 모두 옳게 쓴 경우	40 %

124 (가) 다이아몬드는 탄소 원자들이 공유 결합으로 그물처럼 연결된 공유 결정(원자 결정)이고, (나) 금은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 금속 결합으로 이루어진 금속 결정이다. (다) 유리는 비결정성 고체이며, (라) 얼음은 물 분자들이 분자 간 힘으로 규칙적으로 배열된 분자 결정이다.

① 다이아몬드는 공유 결정으로 공유 결합으로 이루어져 있다.

② 금은 금속 양이온이 규칙적으로 배열되어 있고, 그 사이를 자유 전자가 자유롭게 이동하며 결합을 유지하는 금속 결합으로 이루어져 있다.

③ 유리는 입자의 배열이 불규칙한 비결정성 고체이므로 녹는점이 일정하지 않다.

⑤ 공유 결정인 다이아몬드는 원자 사이의 결합이 매우 강하여 금속 결정인 금이나 분자 결정인 얼음, 비결정성 고체인 유리보다 녹는점이 훨씬 높다.

바로알기 | ④ 얼음은 물 분자 사이에 분자 간 힘으로 규칙적으로 배열된 분자 결정이다.

⑥ (가), (나), (라)는 결정성 고체이고 (다)는 비결정성 고체이다.

125 산화 칼슘(CaO)은 Ca^{2+} 과 O^{2-} 이 결합한 이온 결정이고, 얼음은 H_2O 분자 사이의 힘으로 이루어진 분자 결정이며, 유리(SiO_2)는 원자 사이에 공유 결합으로 이루어져 있지만 비결정성 고체이다. 따라서 A는 산화 칼슘, B는 유리이다.

ㄱ. A는 이온 결정인 산화 칼슘(CaO)이므로 입자 사이에 정전기적 인력이 있다.

ㄴ. B는 유리(SiO_2)이므로 Si와 O의 공유 결합으로 이루어져 있다.

ㄷ. 얼음은 분자 결정이고, A(CaO)는 이온 결정이므로 분류 기준 (가)로 ‘분자 결정인가?’는 적절하다.

126 (가)는 I_2 분자가 규칙적으로 배열된 분자 결정으로, 분자와 분자 사이에는 비교적 약한 분자 간 힘만 작용한다. (나)는 금속 양이온이 규칙적으로 배열되고 그 사이를 자유 전자가 이동하는 금속 결정이다. 분자 결정에는 상온에서 고체에서 기체로 상태가 변하는 승화성을 가진 물질이 존재하며, 자유 전자가 없어 전기 전도성이 없다. 금속 결정은 자유 전자에 의해 전기 전도성이 있고 힘을 가해도 부서지지 않고 변형되는 성질이 있다.

ㄱ. (가)는 I_2 분자들이 약한 분자 간 힘으로 이루어진 분자 결정이다. 아이오딘은 분자 간 힘이 비교적 약하여 1기압에서도 고체 상태에서 기체로 상태가 변하는 승화 현상이 나타난다.

ㄴ. (나)는 금속 결정인 칼륨으로, 자유 전자가 자유롭게 이동할 수 있어 고체 상태에서 전기 전도성이 있다. 반면, (가)는 분자 결정으로, 자유롭게 이동하는 전자나 이온이 없어 고체 상태에서 전기 전도성이 없다.

ㄷ, (나)는 금속 결정인 칼륨이다. 금속 결정은 힘을 가해 금속 양이온의 배열이 변형되어도 자유 전자가 결합을 유지시켜 주므로 부서지지 않고 연성과 전성을 가진다.

127 흑연은 탄소 원자들이 서로 전자를 공유하여 결합하는 물질이므로 ①은 공유 결합이다. NaCl(s)은 Na^+ 과 Cl^- 이 정전기적 인력으로 결합된 결정이므로 ④은 이온 결정이다.

ㄱ. 흑연은 공유 결합 물질이므로 ①은 공유 결합이다.

바로알기 ㄴ. ④은 이온 결정이다. $\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 은 물 분자들이 분자 간 힘으로 규칙적으로 배열된 분자 결정이다.

ㄷ. NaCl(s)은 이온 결정으로, 고체 상태에서는 이온들이 이동할 수 없어 전기 전도성이 없다. 반면 C(흑연)은 공유 결정이지만 결합에 참여하지 않은 전자가 층 내에서 자유롭게 이동할 수 있어 고체 상태에서도 전기 전도성이 있다.

128 (가)와 (나)는 공유 결합 물질이므로 (다)는 금속 결합 물질인 Al이다. 흑연은 공유 결정이지만 결합에 참여하지 않은 전자가 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 있고, Al은 자유 전자에 의해 전기 전도성이 있다. 따라서 (나)는 흑연이고, (가)는 전기 전도성이 없는 $\text{CO}_2(\text{s})$ 이다.

모범 답안 (가)는 $\text{CO}_2(\text{s})$ 이다. (가)는 공유 결합 물질로 전기 전도성이 없으며, 분자가 규칙적으로 배열된 분자 결정이다.

(나)는 C(s, 흑연)이다. (나)는 공유 결합 물질로 전기 전도성이 있으며, 탄소 원자들이 층층이 배열된 결정 구조를 이룬다. 흑연은 탄소 원자 사이의 공유 결합으로 이루어져 있지만, 결합에 참여하지 않은 전자 1개가 층 내에서 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 있다.

(다)는 Al(s)이다. (다)는 공유 결합 물질이 아니고, 전기 전도성이 있으며, 한 종류의 입자가 정육면체의 꼭짓점과 면 중심에 규칙적으로 배열된 금속 결정 구조를 이룬다. 금속 결정은 금속 양이온 사이를 자유 전자가 자유롭게 이동하므로 전기 전도성이 있다.

채점 기준	배점
(가)~(다)를 모두 옳게 쓰고, 까닭을 결정 구조 모형을 이용하여 옳게 서술한 경우	100 %
(가)~(다)만 모두 옳게 쓴 경우	40 %

129

A~E는 각각 NaCl, Fe, Si, O_2 , CCl_4 중 하나이다.

물질	녹는점(°C)	끓는점(°C)	전기 전도성	
			고체	액체
O_2 A	-218	-182	없음	없음
CCl_4 B	-23	77	없음	없음
Fe C	1535	2800	있음	있음
NaCl D	800	1413	없음	있음
Si E	1414	2335	없음	없음

- A는 녹는점과 끓는점이 매우 낮고 고체와 액체 상태 모두에서 전기 전도성이 없으므로 분자 결정인 O_2 이다.
- B는 녹는점과 끓는점이 낮고 전기 전도성이 없으므로 CCl_4 로, 이 역시 분자 결정에 해당한다.
- C는 녹는점과 끓는점이 매우 높고 고체와 액체 상태 모두에서 전기 전도성이 있으므로 자유 전자를 가진 금속 결정인 Fe이다.
- D는 녹는점과 끓는점이 비교적 높고 고체에서는 전도성이 없지만 액체 상태에서 전도성이 있으므로 이온 결정인 NaCl이다.
- E는 녹는점과 끓는점이 매우 높지만 고체와 액체 상태 모두에서 전기 전도성이 없으므로 공유 결정(원자 결정)인 Si이다.

① A는 산소(O_2)로 이루어진 분자 결정이며, 산소는 비금속 원소이다. C는 금속 결정인 Fe이고, D는 이온 결정인 NaCl이다. 녹는점과 끓는점이 가장 낮은 A는 O_2 , B는 CCl_4 로 분자 결정이며, 녹는점과 끓는점이 가장 높은 E는 공유 결정이다.

③ C는 철(Fe)로 이루어진 금속 결정이다. 금속 결정은 자유 전자가 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동하며 결합을 유지하므로 힘을 가해도 부서지지 않고 연성과 전성이 있다.

④ D는 염화 나트륨(NaCl)으로, Na^+ 과 Cl^- 이 정전기적 인력으로 결합되어 있다.

⑤ E는 규소(Si)로 이루어진 공유 결정이다.

바로알기 ② B는 CCl_4 로, 분자에서 C와 Cl 원자 사이에는 공유 결합이 존재하지만, CCl_4 분자와 분자 사이는 비교적 약한 분자 간 힘으로 이루어져 있다. 따라서 B는 분자 결정이다.

130 금속 결정인 Cu, 공유 결정(원자 결정)인 C(s, 흑연), 이온 결정인 NaCl을 전기 전도성과 힘을 가했을 때의 변형 특성을 이용하면 분류할 수 있다.

모범 답안 '고체 상태에서 전기 전도성이 있는가?'는 (가)로 적절하다. Cu는 금속 결정으로 자유 전자가 자유롭게 이동하여 전기 전도성이 있고, C(s, 흑연)은 공유 결정이지만 결합에 참여하지 않은 전자가 층 내에서 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 있는 반면, NaCl은 이온 결정으로 고체 상태에서는 이온이 이동할 수 없어 전기 전도성이 없기 때문이다.

'전성과 연성이 있는가?'는 (나)로 적절하다. Cu는 금속 결정으로 힘을 가했을 때 넓게 퍼지거나 뺄히는 성질이 있지만, C(s, 흑연)은 원자들이 공유 결합으로 고정되어 있어 전성과 연성이 나타나지 않기 때문이다.

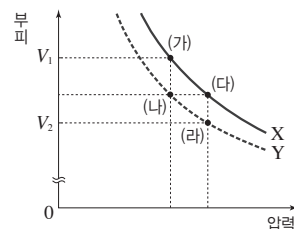
채점 기준	배점
(가)와 (나)의 분류 기준을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(가)와 (나) 중 한 가지 기준만 옳게 서술한 경우	50 %

최고 수준 도전 기출

41쪽~43쪽

131 ③	132 ⑤	133 ②	134 ③	135 ③	136 ②
137 ②	138 ①	139 ③	140 ②	141 ③	142 ⑤

131



구분	밀도(상댓값)
(가)	3
(나)	6
(다)	4
(라)	a 8

- $PM = dRT$ 에서 기체의 종류가 같으면 압력비가 밀도비와 같으므로 X(g)에서 압력비는 (가) : (다) = 3 : 4이다. Y(g)에서도 압력비는 같으므로 3 : 4 = 6 : a이다.
- 온도와 압력이 같으면 분자량은 밀도에 비례한다. 분자량비는 X : Y = 3 : 6이므로 분자량은 Y가 X의 2배이다.

ㄱ. 3 : 4 = 6 : a이므로 a = 8이다.

ㄷ. 압력이 같은 (가)와 (나)에서 온도가 같으므로 밀도비는 분자량비와 같다. 따라서 (가)와 (나)에서 밀도비는 3 : 6이므로 기체의 분자량비는 X : Y = 1 : 2이다.

바로알기 | ㄴ. (나)에서 Y의 부피를 $V_{(Y)}$ 라고 하면, Y의 밀도비는 (나) : (라) = $6 : 8 = 3 : 4$ 이므로 부피비는 $V_{(Y)} : V_2 = 4 : 3$ 이다. $V_1 : V_{(Y)} = 4 : 3$ 이고 $V_{(Y)} : V_2 = 4 : 3$ 이므로 $V_1 : V_2 = 16 : 9$ 이다.

132 이산화 탄소(CO_2)의 분자량을 이상 기체 방정식($PV=nRT$)을 이용하여 구하는 실험이다. 분자량(M)을 구하려면 기체의 압력(P), 부피(V), 절대 온도(T), 기체 상수(R), 기체의 질량(w)이 모두 필요하다. (가)와 (나)의 질량 차를 통해 CO_2 의 질량(w)을 구할 수 있고, (다)에서 측정된 부피가 V 에 해당한다. 그러나 P (압력)과 T (온도)는 실험 과정에서 언급이 없으므로 이를 추가로 측정해야 한다. 드라이아이스가 승화하는 과정은 흡열 반응이므로 (나)에서 주사기 속 온도가 일시적으로 낮아질 수 있다. (다)에서 부피를 측정하기 전에 충분한 시간을 두어 온도가 실험실 온도와 같도록 해야 정확한 T 값을 사용할 수 있다.

ㄱ. 분자량을 구하는 식 $M = \frac{wRT}{PV}$ 에는 압력(P)과 온도(T)가 반드시 필요하다. 그러나 실험 과정에는 질량과 부피를 측정하는 단계만 있고, 압력과 온도를 측정하는 과정이 없으므로 실험실의 온도와 대기압을 추가로 측정해야 한다.

ㄴ. 드라이아이스가 승화할 때 주변으로부터 열을 흡수하므로 주사기 속 온도가 일시적으로 낮아질 수 있다. 부피를 측정하는 (다) 단계에서 온도가 실험실 온도와 같아지도록 충분한 시간을 두어야 정확한 온도를 이용하여 분자량을 계산할 수 있다.

ㄷ. 분자량을 구하는 식 $M = \frac{wRT}{PV}$ 에서 기체 상수 R 은 실험으로 직접 측정할 수 있는 값이 아니라 이미 알려진 상수이다. 따라서 계산을 위해서는 기체 상수값을 조사해야 한다.

133 $PV=nRT$ 에서 $\frac{P}{T} = \frac{nR}{V}$ 이다. $\frac{P}{T}$ 의 비는 $A : B = 1 : 2$ 이고, 기체의 $\frac{n}{V}$ 은 ㉠이 ㉡보다 훨씬 크므로 ㉡과 ㉠은 각각 A와 B이다. (나)에서 $\frac{n}{V}$ 의 비는 $A : B = \frac{n_A}{2} : \frac{n_B}{5} = 1 : 2$ 이다. 따라서 기체의 몰비는 $A : B = 1 : 5$ 이다. A와 B의 질량이 같으므로 기체의 몰비는 분자량비에 반비례한다. 기체의 몰비는 $A : B = 1 : 5$ 이므로 분자량비는 $A : B = 5 : 1$ 이다.

ㄷ. (나)에서 ㉡과 ㉠은 각각 A와 B이고, 기체의 몰비는 $A : B = 1 : 5$ 이므로 분자량비는 $A : B = 5 : 1$ 이다.

바로알기 | ㄱ. $\frac{P}{T} = \frac{nR}{V}$ 이고 $\frac{P}{T}$ 의 비는 $A : B = 1 : 2$ 이며, $\frac{n}{V}$ 은 ㉠ > ㉡이므로 ㉡은 A이다.

ㄴ. (나)에서 $\frac{nR}{V} = \frac{P}{T}$ 이므로 $\frac{n}{V}$ 의 비는 $A : B = \frac{n_A}{2} : \frac{n_B}{5} = 1 : 2$ 이고, 기체의 몰비는 $A : B = 1 : 5$ 이다.

134 주사기에 모은 기체 X의 질량(w)은 실험 전후 가스통의 질량 차와 같으므로 $w = w_1 - w_2 = 50.044 - 50.000 = 0.044$ 이다. 이상 기체 방정식($PV=nRT$)에서 기체의 양 $n = \frac{w}{M}$ 이므로 이를 정리하면 $M = \frac{wRT}{PV}$ 가 성립한다. 제시된 데이터($w = 0.044$ g, $R = 0.08$, $T = 300$ K, $P = 1$ atm, $V = 24$ mL = 0.024 L)를 식에 대입하여 기체 X의 분자량을 구하면 $M = \frac{wRT}{PV}$ 에서 $M = \frac{0.044 \times 0.08 \times 300}{1 \times 0.024} = 44$ 이다. 따라서 X는 C_3H_8 이다.

135 (나)에서 $2T$ K일 때 A(g)의 부분 압력은 $5P$ 이므로 T K일 때 A(g)의 부분 압력은 $\frac{5P}{2}$ 이다. 또한 $3T$ K일 때 B(g)의 부분 압력은 $3P$ 이므로 T K일 때 B(g)의 부분 압력은 P 이다. (가)에서 T K일 때 전체 압력은 $\frac{5P}{2} + P = \frac{7P}{2}$ 이므로 $\frac{7P}{2} = \frac{7}{5}$ 에서 $P = \frac{2}{5}$ 이다. 온도와 부피가 일정할 때 부분 압력비는 기체의 몰비와 같으므로 T K에서 기체의 몰비는 $A : B = \frac{5P}{2} : P = 5 : 2$ 이다. A(g)의 질량은 w g,

B(g)의 질량은 $2w$ g이므로 기체의 몰비는 $A : B = \frac{w}{M_A} : \frac{2w}{M_B} = 5 : 2$ 에서 $M_B = 5M_A$ 이다. 따라서 분자량비는 $A : B = 1 : 5$ 이다.

ㄱ. T K에서 전체 압력은 A(g)와 B(g)의 부분 압력의 합인 $\frac{5P}{2} + P = \frac{7P}{2}$ 이며, 이 값이 $\frac{7}{5}$ 이므로 $\frac{7P}{2} = \frac{7}{5}$ 에서 $P = \frac{2}{5}$ 이다.

ㄷ. 용기에 A(g)는 w g, B(g)는 $2w$ g이 들어 있고 기체의 몰비는 $A : B = 5 : 2$ 이다. 따라서 $M_B = 5M_A$ 이므로 분자량비는 $A : B = 1 : 5$ 이다.

바로알기 | ㄴ. T K에서 기체의 부분 압력비는 $A(g) : B(g) = 2.5P : P = 5 : 2$ 이며, 온도와 부피가 같을 때 부분 압력비는 기체의 몰비와 같으므로 기체의 몰비는 $A(g) : B(g) = 5 : 2$ 이다.

136 강철 용기는 부피와 온도가 일정하므로 각 기체의 부분 압력은 기체의 양(mol)에 비례한다. 따라서 $\frac{P_A}{P_C} = \frac{n_A}{n_C}$ 이다. A(g) 1 mol을 넣고 반응이 진행되어 A(g) x mol이 반응했다고 하면, 남은 A의 양(mol)은 $(1-x)$, 생성된 B와 C의 양(mol)은 각각 x 이다. 따라서 전체 기체의 양(mol)은 $(1-x) + x + x = (1+x)$ 이다. B의 몰분율은 $X_B = \frac{x}{1+x}$ 이므로 이를 x 에 대해 정리하면 $x = \frac{X_B}{1-X_B}$ 이다. 남은 A의 양(mol)은 $(1-x) = \frac{1-2X_B}{1-X_B}$ 이다. $\frac{P_A}{P_C} = \frac{n_A}{n_C} = \frac{1-x}{x}$ 를 X_B 로 나타내면, $\frac{P_A}{P_C} = \frac{1}{X_B} - 2$ 이다. X_B 가 0에 가까울수록 $\frac{P_A}{P_C}$ 는 매우 큰 값을 가지고, X_B 가 커질수록 $\frac{P_A}{P_C}$ 는 급격히 감소하다가 점차 완만하게 줄어드는 형태를 나타낸다.

137 (나)에서 꼭지 1을 열어 반응이 완결되었을 때 A(g)와 C(g)의 몰분율이 같다. 기체의 양(mol)은 P 와 V 의 곱에 비례하므로 I에서 A의 양(mol)을 V 라고 하고, 반응한 A(g)의 양을 n mol이라고 하면 $V - n = 2n$ 이고 $n = \frac{1}{3}V$ 이다. 이때 반응이 완결되므로 B(g)는 모두 반응한 것이고 $b = 3$ 이다.

꼭지 1을 닫았으므로 반응 전 A(g)와 C(g)의 양(mol)은 각각 $\frac{1}{3}V$, $\frac{1}{3}V$ 이고, B(g)의 양(mol)을 P_1V 라고 하면 양적 관계는 다음과 같다.

	A(g)	+	3B(g)	→	2C(g)
반응 전(mol)	$\frac{1}{3}V$		P_1V		$\frac{1}{3}V$
반응(mol)	$-\frac{1}{3}V$		$-V$		$+\frac{2}{3}V$
반응 후(mol)	0		$(P_1-1)V$		V

(다) 과정 후 꼭지 2를 닫았을 때 II에서 B(g)의 부분 압력이 1.5기압이므로 II와 III에서 B(g)의 전체 양(mol)은 $1.5 \times 2V = 3V$ 이다. 따라서 $P_1 - 1 = 3$ 에서 $P_1 = 4$ 이다. (라)에서 Ne(g)의 부피는 $0.4V$ L이므로 III에 들어 있는 기체의 부피는 $1.6V$ L이다. (라) 과정 전 III에는 기체 $2V$ mol이 들어 있었으므로 $2V : P_2V = 1.6 : 0.4 = 4 : 1$ 에서

$$P_2 = \frac{1}{2} \text{이다. 따라서 } \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{1}{2}}{4} = \frac{1}{8} \text{이다.}$$

138

W~Z는 각각 H₂O(분자량 18), CH₃OH(분자량 32), CH₄(분자량 16), SiH₄(분자량 32) 중 하나이다. 분자량이 32로 같은 CH₃OH과 SiH₄이 각각 X, Y 중 하나이고, 분자량이 상대적으로 작은 CH₄(16)과 H₂O(18)이 각각 W, Z 중 하나이다. SiH₄은 무극성 분자로 분산력만 작용하여 끓는점이 낮고, CH₃OH은 수소 결합을 하여 끓는점이 높으므로 X는 SiH₄, Y는 CH₃OH이다. CH₄은 무극성 분자로 분산력만 작용하여 끓는점이 가장 낮고, H₂O는 분자량은 작지만 강한 수소 결합 때문에 끓는점이 가장 높으므로 W는 CH₄, Z는 H₂O이다.

ㄱ. W는 네 물질 중 화학식량이 가장 작고 기준 끓는점도 가장 낮다. CH₄은 분자량이 16으로 가장 작고 무극성 분자로 분자 사이에 비교적 약한 분산력만 작용하여 끓는점이 가장 낮으므로 W는 CH₄이다.

바로알기 ㄴ. Y는 CH₃OH로 분자 사이에 수소 결합이 존재하지만, X는 SiH₄으로 수소 결합이 존재하지 않는다.

ㄷ. Z가 X보다 기준 끓는점이 높은 주요 원인은 수소 결합 때문이다.

139

$t^\circ\text{C}$ 에서 X(l), Y(l)의 증기 압력을 각각 P_X , P_Y 라고 하면, P_X 는 대기압(760 mmHg)보다 h_1 mmHg만큼 작고, P_Y 보다는 h_2 mmHg만큼 작다. 따라서 $h_1 = 760 - P_X$, $h_2 = P_Y - P_X$ 이다. $h_1 = 2h_2$ 이므로 $(760 - P_X) = 2(P_Y - P_X)$ 에서 $760 + P_X = 2P_Y$ 이다. 이를 만족하는 Y(l)는 C(l)이고, X(l)는 A(l)이다.

ㄱ. X, Y는 각각 A, C이므로 증기 압력은 $Y(l) > X(l)$ 이다.

ㄴ. X는 A이다.

바로알기 ㄷ. h_3 은 Y(g)와 진공 사이의 수은 기둥 높이 차이므로 $h_3 = P_Y = 430$ 이다.

140

(가)에서 피스톤은 고정 장치로 고정되어 있으므로 실린더 속 기체의 압력은 대기압과 관계없이 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 X(g)와 X(l)이 상평형을 이루는 압력으로 $t_1^\circ\text{C}$ 에서의 증기 압력이다.

고정 장치를 풀면 실린더 속 기체의 압력은 대기압인 1기압과 같아진다. (나)에서 압력이 1기압일 때 액체와 기체가 평형을 이루는 온도는 $t_2^\circ\text{C}$ 이며, t_1 은 t_2 보다 낮으므로 1기압에서 t_1 에서는 액체가 안정한 상이다. 따라서 고정 장치를 풀고 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 충분한 시간이 흐르면 물질 X의 안정한 상은 액체이다.

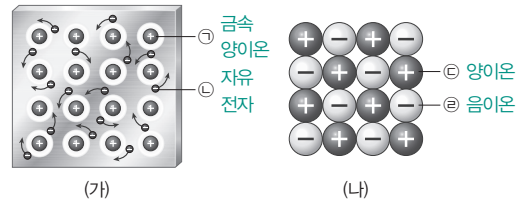
삼중점은 고체, 액체, 기체가 동시에 평형을 이루는 특정한 압력과 온도에서만 나타나는데 삼중점의 압력은 1기압보다 낮으므로 압력이 1기압으로 고정된 상태에서는 온도에 관계없이 삼중점에 도달할 수 없다.

ㄴ. 고정 장치를 풀면 실린더 속 압력은 대기압인 1기압이 된다. (나)에서 $t_1^\circ\text{C}$, 1기압에서는 액체가 안정한 상이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 기체의 압력은 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 X(g)와 X(l)이 평형을 이루는 증기 압력이다. (나)에서 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 기체의 압력은 1기압보다 낮다.

ㄷ. 삼중점에서의 압력은 1기압보다 낮으므로 압력이 1기압으로 고정된 상태에서는 온도를 변화시켜도 삼중점에 도달할 수 없다.

141



• (가) 금속 결정에서 규칙적으로 배열된 ㉠은 금속 양이온이고, ㉡은 그 사이를 자유롭게 이동하는 자유 전자이다.

• (나) 이온 결정에서 ㉢은 양이온, ㉣은 음이온이다.

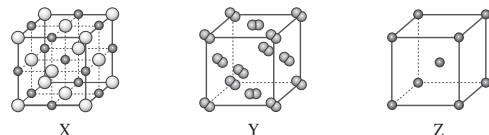
• 금속 결정은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 금속 결합으로, 이온 결정은 양이온과 음이온 사이의 이온 결합으로 이루어져 있는데, 두 결합 모두 정전기적 인력이 작용한다.

ㄱ. ㉡은 자유롭게 이동할 수 있는 자유 전자이다. 이 자유 전자가 전하를 운반하기 때문에 (가) 금속 결정은 고체 상태에서도 전기 전도성이 나타난다. (나) 이온 결정에는 자유 전자가 없어 고체 상태에서 전기 전도성이 없으므로 두 결정의 전기 전도도 차이는 ㉡ 때문이다.

ㄷ. ㉠(금속 양이온)과 ㉡(자유 전자) 사이의 금속 결합, ㉢(양이온)과 ㉣(음이온) 사이의 이온 결합은 모두 정전기적 인력에 의한 결합이다.

바로알기 ㄴ. ㉡은 금속 결정에만 존재하는 자유 전자이다.

142



• X(NaCl)는 Na⁺과 Cl⁻이 정전기적 인력으로 결합한 이온 결정이다.

• Y(I₂)는 I 원자 2개가 공유 결합한 분자가 분자 간 힘으로 이루어진 분자 결정이다.

• Z(Li)는 금속 양이온과 자유 전자로 이루어진 금속 결정이다.

ㄱ. X(NaCl)는 액체 상태가 되면 Na⁺과 Cl⁻이 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 있고, Z(Li)는 금속 결정으로 액체 상태에서도 자유 전자가 이동할 수 있어 전기 전도성이 있다. 반면, Y(I₂)는 분자 결정으로 액체 상태에서 이온이나 자유 전자가 없어 전기 전도성이 없다. 따라서 액체 상태에서 전기 전도성이 있는 것은 X와 Z 2가지이다.

ㄴ. X(NaCl)는 이온 결합으로 이루어져 있고, Z(Li)는 금속 결합으로 이루어져 있어 공유 결합이 없다. Y(I₂)는 I 원자 2개가 전자를 공유하여 결합한 분자이므로 공유 결합이 있다.

ㄷ. Z(Li)는 물과 반응하여 다음과 같이 LiOH과 H₂를 생성한다.



이 과정에서 Li는 산화수가 0에서 +1로 증가하여 산화되고, H는 산화수가 +1에서 0으로 감소하여 환원되므로 이 반응은 산화·환원 반응에 해당한다.

빈출 자료 보기

45쪽

143 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

144 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

143 (2) (나)에서 ㉠ 결합은 물 분자 사이의 힘을 나타내는 수소 결합이고, ㉡ 결합은 물 분자를 구성하는 산소 원자와 수소 원자 사이의 공유 결합이다. 0 °C에서 얼음이 용해될 때 부피가 감소하는 것은 물 분자 사이의 수소 결합, 즉 ㉠ 결합이 일부 끊어지기 때문이다. 따라서 이는 ㉠ 결합과 관련이 있다.

(4) 분자당 수소 결합 수는 0 °C $H_2O(s)$ 에서가 0 °C $H_2O(l)$ 에서보다 크다.

(5) $H_2O(l)$ 의 부피는 0 °C에서가 4 °C에서보다 크므로 분자 사이의 평균 거리는 4 °C에서가 0 °C에서보다 가깝다.

바로알기 | (1) 얼음이 용해될 때 수소 결합의 일부가 끊어지면서 육각형 구조가 허물어지고 빈 공간에 물 분자가 채워지면서 부피가 감소한다.

(3) 물이 기화될 때 물 분자 사이의 결합인 ㉠ 결합이 끊어진다. ㉡ 결합은 물의 전기 분해와 같이 분자를 구성하는 원자의 배열이 달라질 때 끊어진다.

144 표면 장력이 클수록 액체 방울의 모양이 더 둥글다.

(1) 물방울의 모양은 T_1 에서가 T_2 에서보다 더 둥근 것으로 보아 물의 표면 장력은 T_1 에서가 T_2 에서보다 크다.

(4) 같은 온도에서 액체 방울의 모양은 물이 비눗물보다 둥근 것으로 보아 표면 장력은 물이 비눗물보다 크다.

바로알기 | (2), (3) 물의 온도가 높을수록 분자 간 힘이 작아지고 표면 장력이 작아진다. 표면 장력은 T_1 에서가 T_2 에서보다 큰 것으로 보아 물 분자 간 힘은 T_1 에서가 T_2 에서보다 크고, 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

(5) 물에 비누를 녹인 비눗물의 방울 모양이 물보다 넓적한 것으로 보아 비누는 물 분자 간 힘을 약화시켜 표면 장력을 감소시킨다.

난이도별 필수 기출

46쪽~51쪽

145 ①	146 ③	147 ③	148 ①, ③	149 ①
150 ⑤	151 ③	152 해설 참조	153 ④	
154 ①, ③	155 ④	156 해설 참조	157 ②	
158 ①	159 ③	160 해설 참조	161 ③	162 ⑤
163 해설 참조	164 ⑤	165 ⑤	166 ②	167 ④
168 ②	169 ②			

145 ㄱ. H_2O 분자를 구성하는 O 원자는 H 원자보다 전기음성도가 크므로 공유 전자쌍은 O 원자 쪽에 치우친다. 따라서 O 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띤다.

바로알기 | ㄴ. H_2O 분자의 모양은 굽은 형으로 결합의 극성이 상쇄되지 않는 극성 분자이다. 따라서 극성 물질인 물은 무극성 물질인 벤젠과 잘 섞이지 않는다.

ㄷ. 물은 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 비열이 큰데, 물은 분자 사이에 수소 결합을 하여 분자 간 힘이 크기 때문이다.

146 물 분자를 구성하는 H 원자와 O 원자 사이의 결합인 결합 b는 공유 결합이고, 물 분자 사이의 힘을 나타내는 결합 a는 수소 결합이다.

ㄱ. 결합의 세기는 공유 결합이 분자 간 힘인 수소 결합보다 크다.

ㄷ. 물의 비열, 표면 장력이 큰 주된 까닭은 수소 결합인 결합 a 때문이다.

바로알기 | ㄴ. 물이 기화할 때 물 분자 사이에 작용하는 힘인 결합 a가 끊어진다. 결합 b는 물의 전기 분해와 같은 화학 반응이 일어날 때 끊어진다.

147 (가) 물이 얼면 부피가 증가하는 것은 물 분자 사이에 수소 결합을 최대도 하기 위해 물 분자들이 육각형 고리 모양으로 배열하여 빈 공간이 커지기 때문이다.

(다) 물이 모래보다 비열이 큰 것은 물 분자 간 힘이 크기 때문이다.

바로알기 | (나) 소금은 이온 결합 물질로 극성 물질인 물에 잘 녹는다. 이는 물이 극성 분자이기 때문이다.

148 ② 물이 응고할 때 분자당 평균 A의 수는 증가하여 분자 간 힘이 커진다.

④ 물이 응고할 때 수소 결합을 최대도 하기 위해 물 분자들이 육각형 고리 모양으로 배열하여 빈 공간이 커진다. 이로 인해 같은 질량의 물의 부피는 고체가 액체보다 크고 밀도는 액체가 고체보다 크다.

⑤, ⑥ 물은 분자 사이에 수소 결합을 하기 때문에 분자량이 비슷한 다른 물질보다 분자 간 힘이 크다. 이로 인해 물 1g의 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열량, 즉 비열이 크다. 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 끓는점이 높다.

바로알기 | ① A는 물 분자 사이에 작용하는 수소 결합이다.

③ 물 분자의 모양은 굽은 형으로 O 원자와 H 원자 사이의 결합의 극성이 상쇄되지 않는 극성 분자이다. 물은 극성 분자로 극성 물질을 잘 녹이는데, 이는 물 분자 사이의 수소 결합과는 관련이 없다.

149 물줄기에 대전체를 가까이 가져갈 때 물줄기가 대전체 쪽으로 휘어지는 것은 물이 극성 물질이기 때문이다.

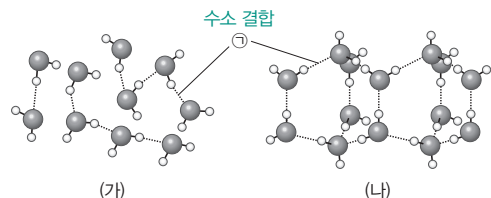
ㄱ. 물은 극성 물질로 이온 결합 물질이나 극성 물질을 잘 녹인다.

바로알기 | ㄴ. 물방울의 모양이 둥근 것은 물의 표면 장력이 크기 때문이다. 이는 물 분자들이 수소 결합을 하여 분자 간의 힘이 크기 때문이다.

ㄷ. 해안 지역의 일교차가 내륙 지역보다 작은 것은 물의 비열이 모래의 비열보다 크기 때문이다. 이는 물 분자 간 힘인 수소 결합 때문에 나타나는 현상이다.

150 ㄱ. ㉠은 물 분자 사이에 작용하는 분자 간 힘인 수소 결합이다. ㄴ. 물 분자들이 육각형 고리 모양으로 배열하고 있는 (나)는 얼음이고, (가)는 물이다.

ㄷ. 액체 상태인 (가)에서 고체 상태인 (나)로 될 때 일정한 질량의 물의 부피는 증가한다.



151 ㄱ. 얼음 1 g을 가열할 때 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 밀도가 크게 증가하는 것으로 보아 얼음이 녹아 물로 용해되면서 부피가 감소한다.

ㄴ. 밀도가 작은 A는 0°C 얼음이고, 밀도가 큰 B는 0°C 물이다. 따라서 평균 수소 결합 수는 A에서 B에서보다 크다.

바로알기 ㄷ. 밀도는 C에서 B에서보다 크므로 물 1 g의 부피는 B에서 C에서보다 크다. 따라서 분자 사이의 평균 거리는 B에서 C에서보다 멀다.

152 (1) (가)에서 고체 벤젠이 액체 벤젠에 가라앉은 것으로 보아 밀도는 고체 벤젠 > 액체 벤젠이다. 따라서 1 g의 부피는 액체 벤젠 > 고체 벤젠이다.

모범 답안 (1) 액체 벤젠 > 고체 벤젠

(2) (나)에서 물이 얼어 얼음이 될 때 수소 결합을 최대로 하기 위해 물 분자들이 육각형 고리 모양으로 배열하면서 빈 공간이 커진다. 즉, 같은 질량의 부피는 얼음이 물보다 커서 밀도는 얼음이 물보다 작기 때문이다.

채점 기준	배점
물이 얼음으로 응고할 때 밀도 변화를 수소 결합과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
물이 얼음으로 응고할 때 수소 결합 수가 커진다고만 서술한 경우	70 %

153 ㄴ. (가)에서 (나)로 될 때 얼음이 물로 용해된다. 이 과정에서 물 분자 사이의 수소 결합의 일부가 끊어지므로 수소 결합인 결합 A의 평균 개수는 감소한다.

ㄷ. 같은 질량의 부피는 (가) > (나)이므로 밀도는 (가) < (나)이다. 따라서 (가)와 (나)를 혼합하면 얼음은 물에 뜬다.

바로알기 ㄱ. (다)에서 결합 B는 물 분자를 구성하는 H 원자와 O 원자 사이의 공유 결합이다. (가)와 (나)에 들어 있는 얼음과 물의 질량이 같으므로 물 분자 수는 같다. 따라서 결합 B의 평균 개수는 (가)와 (나)에서 같다.

154 ①, ③ 물이 얼 때 부피가 증가하므로 추운 겨울날 수도관 물이 얼면 수도관이 터진다. 또한 암석 틈에 스며든 물이 얼면 부피가 증가하여 팽창하므로 암석이 부서지거나 쪼개진다.

바로알기 ② 종이의 한쪽 끝이 물에 적셔지면 다른 쪽 끝도 물에 적셔지는 것은 종이의 작은 틈을 따라 물이 이동하는 모세관 현상 때문이다.

④ 풀잎에 맺힌 물방울의 모양이 둥그란 것은 물의 표면 장력 때문이다.

⑤ 해안 지방이 내륙 지방에 비해 기온의 일교차가 작은 것은 물의 비열이 모래의 비열보다 크기 때문이다.

⑥ 물과 에탄올이 서로 잘 섞이는 것은 물과 에탄올이 모두 극성 물질이기 때문이다.

155 ㄴ. B에서 C로 될 때 밀도가 크게 증가한다. 이는 물 분자 사이의 수소 결합의 일부가 끊어지면서 얼음의 육각형 고리 구조가 허물어지기 때문이다. 즉 B에서 C로 될 때 분자당 평균 수소 결합 수는 감소한다.

ㄷ. 온도가 서로 다르고 질량이 같은 물 C와 D를 혼합하면 온도는 C와 D의 온도의 중간 정도가 되므로 밀도는 C와 D보다 증가한다.

바로알기 ㄱ. A에서 B로 될 때 밀도가 감소하므로 부피는 증가한다. 즉, 분자 간 평균 거리는 증가한다.

156 물의 끓는점은 100°C 이므로 (가)는 액체 상태의 H_2O 이고, (나)는 기체 상태의 H_2O 이다. 물이 액체에서 기체로 기화할 때 분자 간 힘인 수소 결합이 모두 끊어진다.

모범 답안 (가)는 액체 상태의 H_2O 이고, (나)는 기체 상태의 H_2O 이다. 결합 A는 분자 간 힘인 수소 결합이고, 결합 B는 물 분자를 구성하는 H 원자와 O 원자 사이의 공유 결합이다. 물이 기화하더라도 물 분자를 구성하는 공유 결합은 끊어지지 않으므로 (가)에서 (나)로 될 때 결합 A의 개수는 감소하고, 결합 B의 개수는 변하지 않는다. 따라서 $\frac{\text{결합 A의 평균 개수}}{\text{결합 B의 평균 개수}}$ 는 (가) > (나)이다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)에서 $\frac{\text{결합 A의 평균 개수}}{\text{결합 B의 평균 개수}}$ 의 비교와 판단 근거가 모두 옳은 경우	100 %
(가)와 (나)에서 $\frac{\text{결합 A의 평균 개수}}{\text{결합 B의 평균 개수}}$ 의 비교만 옳은 경우	50 %

157 ㄷ. 0°C 얼음의 밀도가 4°C 물의 밀도보다 작으므로 호숫물은 온 표면에서부터 언다.

바로알기 ㄱ. (나)에서 물은 4°C 에서 부피가 가장 작으므로 밀도는 4°C 물이 얼음보다 크다. 따라서 표면이 언 호수에서 밀도가 가장 큰 4°C 물이 바닥에 위치하므로 대류는 거의 일어나지 않는다.

ㄴ. 물의 부피는 4°C 일 때 가장 작으므로 밀도는 4°C 일 때 가장 크다.

✓ 개념 보충

대류

액체나 기체와 같은 유체에서 온도 차이에 따른 밀도 변화에 의해 물질이 직접 이동하여 열을 전달하는 방식이다. 밀도가 큰 물질이 위에 위치하고 밀도가 작은 물질이 아래에 위치할 때 대류가 활발하게 일어난다.

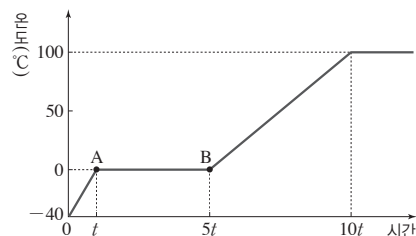
158 물은 비열이 커서 온도가 쉽게 오르거나 내려가지 않는다. 이러한 성질을 이용하여 물은 자동차나 화학 공장에 냉각제로 널리 사용되는데, 물의 비열이 큰 까닭은 물 분자 사이에 수소 결합이 있기 때문이다.

✓ 개념 보충

비열과 냉각제

비열은 물질 1 g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량이다. 물은 분자 사이에 강한 분자 간 힘인 수소 결합을 하고 있어 물에 열을 가하면 분자 운동을 활발하게 하여 온도를 높이는 데 열이 사용되지 않고 분자 사이의 수소 결합을 약화시키는 데 사용된다. 따라서 같은 열을 가해도 다른 물질에 비해 쉽게 온도가 높아지지 않기 때문에 산업 현장이나 기계 장치에서 냉각제로 사용된다.

159



- $0 \sim t$: 가해 준 열을 흡수하여 얼음의 분자 운동이 활발해지면서 얼음의 온도가 높아진다.
- $t \sim 5t$: 가해 준 열은 분자 운동을 활발하게 해서 온도를 높이는 데 쓰이지 않고 분자 간 힘을 끊고 상태 변화 하는 데 사용된다.
- $5t \sim 10t$: 가해 준 열은 일정량의 0°C 물을 100°C 물로 온도를 높이는 데 사용된다.
- 단위 시간당 일정한 열량으로 가열하였으므로 가열 시간은 가해 준 열에너지에 비례한다.
- 일정량의 얼음의 온도를 -40°C 에서 0°C 로 높이는 데 가해 준 열량을 Q 라고 하면 물의 온도를 0°C 에서 100°C 로 높이는 데 가해 준 열량은 $5Q$ 이다. ➔ 온도를 1°C 높이는 데 사용된 열에너지는 물이 얼음보다 크다.

ㄱ. 단위 시간당 일정한 열량을 가열할 때 같은 질량의 물의 온도를 100°C 높이는 데 가열 시간이 $5t$ 이고, 얼음의 온도를 40°C 높이는

데 가열 시간이 t 이다. 따라서 같은 질량의 물과 얼음의 온도를 1°C 높이기 위해 가열한 시간은 물이 얼음보다 길므로 비열은 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 $\text{H}_2\text{O}(s)$ 보다 크다.

다른 풀이 단위 시간당 일정한 열량을 가열할 때 가열 시간은 가해 준 열에너지에 비례한다. 가열 시간에 따른 온도 그래프에서 그래프의 기울기는 가해 준 열량에 대한 온도 변화를 의미한다. 따라서 기울기가 작을수록 일정한 열량을 가할 때 온도 변화가 작은 것이므로 비열이 크다. $\therefore$ 물의 비열은 일정하고, 물의 온도를 100°C 높이는 데 가열 시간이 $5t$ 이므로 가열 시간 t 동안 물의 온도는 20°C 증가한다. 따라서 시간 $6t$ 에서 물의 온도는 20°C 이다.

바로알기 $\therefore$ A는 0°C 얼음이고, B는 0°C 물이다. 따라서 분자당 평균 수소 결합의 수는 A에서 B에서보다 크다.

160 일정량의 고체를 가열하면 고체 상태에서 온도가 올라가다가 용해되는 동안 온도가 일정하게 유지된다. 이후 액체 상태에서 온도가 올라가다가 기화되는 동안 온도가 일정하게 유지된다.

모범 답안 (1) B의 끓는점은 50°C 이고, A의 끓는점은 50°C 보다 높다. 분자 간 힘이 클수록 끓는점이 높으므로 분자 간 힘은 $A > B$ 이다.

(2) A와 B의 가열 곡선에서 첫 번째 수평 구간 이후는 액체 상태이다. 단위 시간당 일정한 열량으로 가열할 때 가열 시간은 가해 준 열에너지에 비례하므로 액체 상태에서 가열 곡선의 기울기가 작을수록 온도를 높이는 데 더 많은 열에너지가 필요하다. 각 액체 물질의 가열 곡선의 기울기는 $A(l)$ 가 $B(l)$ 보다 작으므로 비열은 $A(l) > B(l)$ 이다.

	채점 기준	배점
(1)	분자 간 힘의 크기 비교와 판단 근거가 모두 옳은 경우	50 %
	분자 간 힘의 크기 비교만 옳은 경우	25 %
(2)	비열의 크기 비교와 판단 근거가 모두 옳은 경우	50 %
	비열의 크기 비교만 옳은 경우	25 %

161 $\therefore$ (가)에서 액체 방울의 모양은 물이 에탄올보다 둥근 것으로 보아 표면 장력은 물이 에탄올보다 크다. 따라서 에탄올보다 물에 클립을 띄우기가 쉽다.

$\therefore$ 물방울의 모양이 둥근 것은 물 분자 사이의 힘인 결합 B와 관련이 있다.

바로알기 $\therefore$ 에탄올이 물에 녹으면 물 분자 사이에 수소 결합을 형성하는 것을 방해한다. 따라서 물에 에탄올을 섞으면 결합 B의 평균 개수는 감소하지만, 결합 A는 공유 결합이므로 변하지 않는다.

162 $\therefore$ (가)에서 ㉠ 결합은 물 분자 사이에 작용하는 분자 간 힘인 수소 결합이다. $\text{H}_2\text{O}(s)$ 이 용해될 때 H_2O 의 분자 간 힘인 수소 결합의 일부가 끊어지므로 ㉠ 결합의 평균 개수는 감소한다.

$\therefore$ $\therefore$ 표면 장력이 클수록 물방울의 모양이 둥글다. 표면 장력이 큰 (나)에서가 (다)에서보다 분자 간 힘이 크므로 ㉠ 결합의 평균 개수는 (나)에서가 (다)에서보다 크다.

163 표면 장력이 클수록 액체의 표면적을 늘리는 데 더 많은 힘이 필요하다. 즉, 표면 장력이 클수록 (라)에서 얇은 막이 터지는 추의 최소 질량이 증가한다.

모범 답안 (1) 물의 온도가 낮을수록 분자 간 힘이 크고, 표면 장력 또한 크다. (나)에서 30°C 물 대신 10°C 물을 사용하면 물의 표면 장력이 커지므로 (라)에서 측정되는 추의 최소 질량은 증가한다.

(2) 비누는 물 분자 간의 인력을 감소시키므로 같은 온도의 표면 장력은 물이 비눗물보다 크다. 따라서 30°C 물 대신 30°C 비눗물을 사용하면 (라)에서 측정되는 추의 최소 질량은 감소한다.

	채점 기준	배점
(1)	추의 질량 변화와 그 까닭이 모두 옳은 경우	50 %
	추의 질량 변화만 옳은 경우	25 %
(2)	추의 질량 변화와 그 까닭이 모두 옳은 경우	50 %
	추의 질량 변화만 옳은 경우	25 %

164 $\therefore$ I에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 과 A(l)를 혼합할 때 층을 이루지 않고 잘 섞이는 것으로 보아 A(l)는 극성 물질이다.

$\therefore$ 물은 표면 장력이 커서 물보다 밀도가 큰 클립을 띄울 수 있다. II에서 물에 A(l)를 떨어뜨렸을 때 클립이 바닥에 가라앉은 것으로 보아 A는 물 분자 사이에 수소 결합을 형성하는 것을 방해하여 표면 장력을 약화시키는 것을 알 수 있다.

$\therefore$ III에서 액체 방울의 모양은 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 A(l)보다 둥근 것으로 보아 표면 장력은 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 A(l)보다 크다.

165 $\therefore$ (가)에서 에탄올 수용액에 잠겨 있는 얼음이 모두 녹으면 에탄올 수용액의 부피는 감소한다. 이는 일정 질량의 부피는 얼음이 물보다 크기 때문이다.

$\therefore$ (나)에서 에탄올 수용액의 농도가 작을수록 표면 장력이 커지는 것으로 보아 표면 장력은 물이 에탄올보다 크다.

$\therefore$ (가)에서 얼음이 녹을수록 에탄올 수용액의 농도는 작아지므로 수용액의 표면 장력은 커진다.

166 (가) 폴잎에 맺힌 물방울의 모양이 동그란 것은 물의 표면 장력 때문이다.

(나) 물의 비열은 모래의 비열보다 커서 낮에는 해풍이, 밤에는 육풍이 분다.

(다) 누워서도 만년필로 글씨를 쓸 수 있는 것은 잉크가 모세관 현상에 의해 종이의 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝으로 이동하기 때문이다.

167 $\therefore$ 입자 간 힘은 수은이 물보다 크고, 표면 장력은 수은이 물보다 크므로 액체 방울의 모양은 수은이 물보다 둥글다.

$\therefore$ 모세관 현상은 모세관의 굵기가 가늘수록 커진다. 따라서 유리관의 두께가 가늘수록 h 는 커진다.

바로알기 $\therefore$ 물이 들어 있는 비커에 유리관을 꽂을 때 유리관 속 물의 액면의 모양이 아래로 볼록한 것으로 보아 물과 유리관 사이의 부착력이 물 분자 사이의 응집력보다 크다.

168 커피가 종이컵 안쪽의 가는 접합 부분에서 벽면을 따라 올라가는 것은 모세관 현상에 의한 것이다.

$\therefore$ 식물의 뿌리에서 흡수된 물이 물관을 따라 잎까지 올라가는 것은 모세관 현상이다.

바로알기 $\therefore$ 추운 겨울철에 강물의 표면부터 얼기 시작하는 것은 얼음의 밀도가 물의 밀도보다 작기 때문이다.

$\therefore$ 해안 지방에서 낮에는 해풍이, 밤에는 육풍이 부는 것은 물의 비열이 모래의 비열보다 크기 때문이다.

169 $\therefore$ (나)에서 유리관 속 물의 액면의 모양이 아래로 볼록한 것으로 보아 물의 응집력은 물과 유리관 사이의 부착력보다 작다.

바로알기 $\therefore$ 25°C 에서 표면 장력은 수은이 물보다 크므로 액체 방울의 모양은 수은이 물보다 둥글다.

$\therefore$ 온도가 높을수록 물의 표면 장력이 작아지므로 온도가 높을수록 플라스틱판 위의 물방울의 모양은 넓적해진다.

빈출 자료 보기

53쪽

170 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

171 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

170 (4) (나)에서 ㉠은 A의 증기 압력 곡선이고, (가)의 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 A의 증기 압력은 물의 증기 압력에서 h mmHg를 뺀 값과 같다. 따라서 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 $(a+h)$ mmHg이다.

(5) 증기 압력 내림은 용액 속 용질의 몰분율이 클수록 크다. 증기 압력 내림은 B가 A보다 크므로 설탕의 몰분율은 B가 A보다 크다.

(6) $t^{\circ}\text{C}$ 에서 증기 압력 내림은 B가 A보다 크므로 증기 압력이 1기압에 도달할 때까지 더 높은 온도로 가열해 주어야 한다. 즉, 1기압에서 끓는점은 B가 A보다 높다.

바로알기 | (1) (가)에서 A의 증기 압력은 물의 증기 압력에서 수은 기둥의 높이 차 h 에 의한 압력을 뺀 값과 같고, B의 증기 압력은 물의 증기 압력에서 수은 기둥의 높이 차 $2h$ 에 의한 압력을 뺀 값과 같다. 따라서 증기 압력은 A가 B보다 크다.

(2) 용액의 증기 압력은 A가 B보다 크므로 증기 압력 내림은 B가 A보다 크다. 용액의 증기 압력 내림은 용질의 몰분율이 클수록, 즉 몰랄 농도가 클수록 크다. 따라서 용액의 몰랄 농도는 B가 A보다 크다.

(3) (나)의 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 증기 압력은 ㉠ > ㉡이므로 ㉠은 A이다.

171 (1) (가)의 끓는점 오름은 0.26°C 이고, 물의 몰랄 오름 상수(K_b)가 $0.52^{\circ}\text{C}/m$ 이므로 (가)의 몰랄 농도는 $0.5 m$ 이다.

(2) (가)의 몰랄 농도가 $0.5 m$ 이고, 물의 몰랄 내림 상수(K_f)는 $1.86^{\circ}\text{C}/m$ 이므로 (가)의 어는점 내림은 0.93°C 이다. 따라서 (가)의 어는점은 -0.93°C 이다.

(4) 물 100 g에 A a g을 녹인 용액의 몰랄 농도가 $0.5 m$ 이므로 A의 분자량을 M_A 라고 하면 다음 관계식이 성립한다.

$$\frac{\frac{a}{M_A}}{0.1} = 0.5, M_A = 20a$$

(6) A의 분자량은 $20a$, B의 분자량은 $60a$ 이므로 A a g과 B $3a$ g의 양은 각각 $\frac{1}{20}$ mol이다. 수용액 (가)와 (나)를 혼합하면 물의 질량은

200 g이고, 용질의 양의 합은 $\frac{1}{10}$ mol이므로 혼합 용액의 몰랄 농도는 $0.5 m$ 이다. 따라서 혼합 용액의 끓는점 오름은 0.26°C 이므로 끓는점은 100.26°C 이다.

바로알기 | (3) (나)의 어는점 내림이 0.93°C 이고, 물의 몰랄 내림 상수(K_f)는 $1.86^{\circ}\text{C}/m$ 이므로 (나)의 몰랄 농도는 $0.5 m$ 이다. 따라서 끓는점 오름은 0.26°C 이므로 끓는점은 100.26°C 이다.

(5) 물 100 g에 B $3a$ g을 녹인 용액의 몰랄 농도가 $0.5 m$ 이므로 B의 분자량을 M_B 라고 하면 다음 관계식이 성립한다.

$$\frac{\frac{3a}{M_B}}{0.1} = 0.5, M_B = 60a$$

172 ③	173 ④, ⑥	174 ②	175 ③
176 해설 참조	177 ⑤	178 ②	179 ②
180 해설 참조	181 ③	182 ③	183 ③ 184 ②
185 ⑤	186 ⑤	187 ⑤	188 ① 189 해설 참조
190 ③	191 ②	192 ⑤	193 ① 194 해설 참조
195 ⑤	196 ④	197 ①	198 ③, ④ 199 ①
200 ①	201 ②	202 ④	203 해설 참조 204 ①

172 ㄱ. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 용매인 물의 증기 압력이 P mmHg이고, $A(aq)$ 의 증기 압력이 $0.8P$ mmHg이므로 $A(aq)$ 의 증기 압력 내림(ΔP)은 $0.2P$ mmHg이다.

ㄷ. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 $A(aq)$ 의 증기 압력은 외부 압력인 P mmHg보다 작으므로 $A(aq)$ 의 증기 압력이 P mmHg에 도달하려면 온도는 $t^{\circ}\text{C}$ 보다 높아야 한다. 따라서 $A(aq)$ 의 끓는점은 $t^{\circ}\text{C}$ 보다 높다.

바로알기 | ㄴ. $\Delta P = P_{\text{용매}} \times X_{\text{용질}}$ 에서 $X_{\text{용질}} = \frac{0.2P}{P} = 0.2$ 이다.

173 ④ 용매의 몰분율은 $0.2 m$ 포도당 수용액에서가 $0.1 m$ 포도당 수용액에서보다 작고, 일정한 온도에서 용액의 증기 압력은 용매의 몰분율이 클수록 크다. 따라서 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 $0.2 m$ 포도당 수용액의 증기 압력은 P_2 mmHg보다 낮다.

⑥ $t^{\circ}\text{C}$ $0.1 m$ 포도당 수용액의 증기 압력 내림은 $(P_1 - P_2)$ mmHg이므로 $P_1 - P_2 = P_1 \times X_{\text{용질}}$ 이 성립하여 $X_{\text{용질}} = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$ 이다.

바로알기 | ① 같은 온도에서 증기 압력이 높은 (가)는 용매이고, 증기 압력이 낮은 (나)는 용액이다. 따라서 (가)는 물이다.

② $t^{\circ}\text{C}$ 에서 (나)의 증기 압력 내림(ΔP)은 $(P_1 - P_2)$ mmHg이다.

③ $t^{\circ}\text{C}$ 에서 (나)의 증기 압력은 P_1 mmHg보다 낮다. 따라서 외부 압력이 P_1 mmHg일 때 (나)의 끓는점은 $t^{\circ}\text{C}$ 보다 높다.

⑤ $t^{\circ}\text{C}$ $0.1 m$ 포도당 수용액의 증기 압력은 P_2 mmHg이고, $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 P_1 mmHg이므로 다음 관계식이 성립한다.

$$P_2 = P_1 \times X_{\text{용매}}, X_{\text{용매}} = \frac{P_2}{P_1}$$

174 ㄴ. 온도가 높을수록 용매의 증기 압력이 커지므로 온도를 50°C 로 높이면 두 수용액의 증기 압력 차가 커져 h 가 증가한다.

바로알기 | ㄱ. 수은 기둥은 A 쪽이 B 쪽보다 높은 것으로 보아 수용액의 증기 압력은 B가 A보다 크다. 용액에서 용매의 몰분율이 클수록 용액의 증기 압력이 크므로 수용액의 농도는 A가 B보다 크다.

ㄷ. A에 포도당을 첨가하여 모두 녹이면 A의 농도가 커지므로 h 는 증가한다.

175 대기압이 760 mmHg이므로 $A(aq)$ 의 증기 압력은 380 mmHg이고, $B(aq)$ 의 증기 압력은 570 mmHg이다.

ㄱ. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 $A(aq)$ 의 증기 압력은 380 mmHg이다.

ㄴ. $B(aq)$ 과 $A(aq)$ 의 증기 압력 차는 $(570 - 380)$ mmHg = 190 mmHg이므로 $h = 190$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 용액 속 용매의 몰분율은 증기 압력이 큰 $B(aq)$ 에서가 $A(aq)$ 에서보다 크다. 용질의 몰분율은 $A(aq)$ 에서가 $B(aq)$ 에서보다 크므로 일정량의 용매에 녹아 있는 용질의 양은 A가 B보다 크고, 용질의 질량이 같으므로 분자량은 B가 A보다 크다.

176 (가)에서 수은 기둥에 의한 압력은 대기압과 같으므로 실험 조건에서 대기압은 760 mmHg이다. (나)에서 대기압은 $t^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력과 수은 기둥에 의한 압력(=700 mmHg)의 합과 같다. 따라서 $t^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 60 mmHg이다. (다)에서 포도당 수용액의 증기 압력과 수은 기둥에 의한 압력(=715 mmHg)의 합은 대기압인 760 mmHg이므로 포도당 수용액의 증기 압력은 45 mmHg이다.

모범 답안 $t^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력은 60 mmHg이고, 포도당 수용액의 증기 압력은 45 mmHg이므로 용액의 증기 압력 내림은 15 mmHg이다. 이때 포도당의 몰분율을 $X_{\text{포도당}}$ 이라고 하면 다음 관계식이 성립한다.

$$15 \text{ mmHg} = 60 \text{ mmHg} \times X_{\text{포도당}}, X_{\text{포도당}} = \frac{15}{60} = \frac{1}{4}$$

채점 기준	배점
포도당의 몰분율과 풀이 과정이 모두 옳은 경우	100 %
포도당의 몰분율만 옳게 구한 경우	50 %

177 ㄱ. $t^\circ\text{C}$ 에서 용매인 물의 증기 압력이 P 기압이고 $x \text{ m}$ A(aq)의 증기 압력이 $\frac{20}{21}P$ 기압이므로 증기 압력 내림은 $\frac{1}{21}P$ 이다. 이로 부터 $\frac{1}{21}P = P \times X_{\text{용질}}, X_{\text{용질}} = \frac{1}{21}$ 이다.

ㄴ. $X_{\text{용질}} = \frac{1}{21}$ 이므로 $X_{\text{용매}} = \frac{20}{21}$ 이다. 따라서 $x \text{ m}$ A(aq) 420 g에서 용질의 양을 $n \text{ mol}$ 이라고 하면 물의 양은 $20n \text{ mol}$ 이다. 한편 $x \text{ m}$ A(aq) 420 g에 녹아 있는 A의 질량을 $y \text{ g}$ 이라고 하면 물의 질량은 $(420 - y) \text{ g}$ 이므로 다음 관계식이 성립한다.

$$\frac{y}{60} : \frac{(420 - y)}{18} = 1 : 20, y = 60$$

ㄷ. A(aq) 420 g에 녹아 있는 A의 질량이 60 g이므로 물의 질량은 360 g이다. 따라서 이 용액의 몰랄 농도는 다음과 같다.

$$x(m) = \frac{\frac{60 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}}{\frac{360 \text{ g}}{1000 \text{ g/kg}}} = \frac{25}{9}$$

178 일정한 온도에서 용액의 증기 압력 내림은 용질의 몰분율에 비례하므로 (가)와 (나)에서 A의 몰분율의 비는 (가) : (나) = 2 : 1이다. 이때 물과 A의 분자량은 각각 18, 180이므로 다음 관계식이 성립하여

$$\frac{\frac{2w}{180}}{\frac{100w}{18} + \frac{2w}{180}} : \frac{\frac{x}{180}}{\frac{100w}{18} + \frac{x}{180}} = 2 : 1, x = 10w \text{이다.}$$

179 수증기로 포화된 밀폐 용기에 부피가 같은 포도당 수용액 A~C를 넣고 충분한 시간이 지났을 때 수용액의 부피가 $A > C > B$ 인 것으로 보아 평형에 도달할 때까지 증발한 물의 양은 $B > C > A$ 이다. 따라서 반응 초기 수용액의 농도는 $A > C > B$ 이다.

180 **모범 답안** $t_1^\circ\text{C}$ 에서 A(aq)의 증기 압력 내림(ΔP)은 $2P$ 이므로 A의 몰분율은 $\frac{\Delta P}{P_{\text{용매}}} = \frac{1}{25}$ 이다. 따라서 물의 양을 24 mol이라고 하면 A의 양은 1 mol이고, 물의 질량은 432 g이므로 A(aq)의 몰랄 농도는 $\frac{1}{\frac{432}{1000}} = \frac{125}{54} \text{ m}$ 이다. A(aq)에서 물의 몰분율은 $\frac{24}{25}$ 이고, $t_2^\circ\text{C}$ 에서 A(aq)의 증기 압력이 $36P$ 이므로 $t_2^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력을 P' 라고 하면 $36P = P' \times \frac{24}{25}, P' = \frac{75}{2}P$ 이다. 따라서 $x = \frac{125}{54}$ 이고, $y = \frac{75}{2}$ 이다.

채점 기준	배점
x, y 를 풀이 과정을 포함하여 옳게 구한 경우	100 %
x, y 중 한 가지만 풀이 과정을 포함하여 옳게 구한 경우	50 %
x, y 만 옳게 구한 경우	50 %
x, y 중 한 가지만 옳게 구한 경우	25 %

181 ㄱ. 25°C 에서 물 $x \text{ g}$ 에 A(s) 10w g를 녹인 A(aq)의 증기 압력이 95P이므로 증기 압력 내림은 5P이고 A의 몰분율은 $\frac{1}{20}$ 이다. 이때 물의 양을 $19n \text{ mol}$ 이라고 하면 A의 양은 $n \text{ mol}$ 이다. (가)의 증기 압력 내림은 4P이므로 A의 몰분율은 $\frac{1}{25}$ 이다. 이때 A의 양은 $n \text{ mol}$ 로 일정하므로 추가한 물의 양은 $5n \text{ mol}$ 이다. 물 5n mol의 질량이 15w g이므로 물을 추가하기 전 물 19n mol의 질량은 57w g이다.

ㄴ. 물 57w g의 양이 19n mol일 때 A 10w g의 양은 $n \text{ mol}$ 이므로 A의 분자량을 M_A 라고 하면 $\frac{57w}{18} : \frac{10w}{M_A} = 19 : 1, M_A = 60$ 이다.

바로알기 ㄷ. 물 30w g의 양은 $10n \text{ mol}$ 이므로 (나)에서 물의 양은 29n mol이고 A의 양은 $n \text{ mol}$ 이다. 따라서 (나)에서 물의 몰분율이 $\frac{29n}{29n + n} = \frac{29}{30}$ 이므로 (나)의 증기 압력은 $100P \text{ 기압} \times \frac{29}{30} = \frac{290}{3}P \text{ 기압}$ 이다.

182 ㄱ. 온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 기체의 압력과 부피의 곱에 비례하므로 용기 속 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 몰비는 (가) : (나) : (다) = $x : \frac{25}{12}y : \frac{150}{49}z$ 이다. (가)와 (나)에서 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 몰비가 1 : 2이므로 $x : \frac{25}{12}y = 1 : 2, \frac{y}{x} = \frac{24}{25}$ 이다.

ㄷ. $t^\circ\text{C}$ 에서 물의 증기 압력이 x 기압이고, A(aq)과 B(aq)의 증기 압력은 각각 $\frac{24}{25}x$ 기압, $\frac{49}{50}x$ 기압이다. 그러므로 물의 몰분율은 A(aq)에서 $\frac{24}{25}$ 이고, B(aq)에서 $\frac{49}{50}$ 이다. 따라서 물의 몰분율은 B(aq)이 A(aq)의 $\frac{49}{48}$ 배이다.

바로알기 ㄴ. $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 몰비는 (가) : (다) = $x : \frac{150}{49}z = 1 : 3$ 이므로 $z = \frac{49}{50}x$ 이다. 이때 (나)에서 $y = \frac{24}{25}x$ 이고, 일정한 온도에서 수용액의 증기 압력은 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 용액의 농도는 A(aq)이 B(aq)보다 크다. 따라서 끓는점은 A(aq)이 B(aq)보다 높다.

183 ㄱ. 시간에 따른 온도를 나타낸 그래프에서 기울기가 달라지는 지점에서 용액이 끓기 시작한다. 즉, 수용액 (가)가 처음으로 끓는 끓는점은 100.05°C 이므로 (가)의 끓는점 오름은 0.05°C 이다. 물의 몰랄 오름 상수(K_b)는 0.5°C/m 이므로 $0.05^\circ\text{C} = 0.5^\circ\text{C/m} \times x \text{ m}, x = 0.1$ 이다.

ㄴ. 시간이 지날수록 (가)의 끓는점이 높아지므로 (가)의 몰랄 농도는 커진다.

바로알기 ㄷ. 시간 t 일 때 (가)는 끓고 있으므로 (가)의 증기 압력은 대기압과 같은 1기압이다.

184 ㄷ. 어는점 내림은 (다)가 (가)의 5배이므로 몰랄 농도는 (다)가 (가)의 5배이고, 끓는점 오름 또한 (다)가 (가)의 5배이다. 즉 (다)의 끓는점 오름은 $5b^\circ\text{C}$ 이므로 끓는점은 (다)가 (가)보다 $4b^\circ\text{C}$ 만큼 높다.

바로알기 ㄱ. 수용액 (가)와 (나)의 끓는점 오름이 같으므로 몰랄 농도가 같다. (가)와 (나)에서 용매의 질량이 100 g으로 같으므로 A 3 g의 양(mol)과 B 9 g의 양(mol)이 같다. 따라서 분자량은 B가 A의 3배이다. 어는점 내림은 (다)가 (가)의 5배이므로 물 100 g에 녹아 있는 C 15 g의 양(mol)은 A 3 g의 양(mol)의 5배이다. 따라서 분자량은 A와 C가 같으므로 $\frac{C \text{의 분자량}}{B \text{의 분자량}} = \frac{1}{3}$ 이다.

ㄴ. (가)와 (나)의 몰랄 농도가 같으므로 어는점 내림은 (가)와 (나)가 같다. 따라서 (나)의 어는점 내림은 $a^\circ\text{C}$ 이다.

185 ㄱ. 용액의 끓는점 오름은 몰랄 농도에 비례하고, 나프탈렌이 녹아 있는 벤젠 용액의 몰랄 농도가 0.1 m 증가할 때 끓는점은 0.264°C 증가한다. 용액의 몰랄 농도가 0.1 m일 때 끓는점이 80.364°C 이므로 벤젠의 끓는점은 $(80.364 - 0.264)^\circ\text{C} = 80.1^\circ\text{C}$ 이다.

ㄴ. 용매의 몰랄 오름 상수는 1 m 용액의 끓는점 오름과 같으므로 벤젠의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $2.64^\circ\text{C}/m$ 이다.

ㄷ. 나프탈렌 6.4 g의 양은 $\frac{6.4 \text{ g}}{128 \text{ g/mol}} = 0.05 \text{ mol}$ 이므로 벤젠 100 g에 나프탈렌 6.4 g을 녹인 용액의 몰랄 농도는 0.5 m이다. 벤젠의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $2.64^\circ\text{C}/m$ 이므로 이 용액의 끓는점 오름은 1.32°C 이고, 벤젠의 끓는점이 80.1°C 이므로 용액의 끓는점은 81.42°C 이다.

186 ㄱ. $t^\circ\text{C}$ 에서 A(aq)의 증기 압력이 $\frac{500}{503}P$ 기압이고, 용매인 물의 증기 압력은 P 기압이므로 용매의 물분율은 $\frac{P_{\text{용액}}}{P} = \frac{500}{503}$ 이다. 이때 물의 양을 $500n \text{ mol}$ 이라고 하면 용질의 양은 $3n \text{ mol}$ 이고, 물 1000 g의 양은 $\frac{1000}{18} = \frac{500}{9} \text{ mol}$ 이므로 $\frac{500}{9} : 500n = \frac{20}{a} : 3n$, $a=60$ 이다.

ㄴ. $a=60$ 이므로 A 20 g의 양은 $\frac{1}{3} \text{ mol}$ 이고, A(aq)의 몰랄 농도는 $\frac{1}{3} m$ 이다. 따라서 $4k = K_b \times \frac{1}{3}$ 이고, K_b 는 $12k^\circ\text{C}/m$ 이다.

ㄷ. B(aq)의 끓는점 오름은 A(aq)의 $\frac{3}{4}$ 배이므로 B(aq)의 몰랄 농도 또한 A(aq)의 $\frac{3}{4}$ 배이다. 따라서 B(aq)의 몰랄 농도(m) $x = \frac{1}{3} \times \frac{3}{4} = \frac{1}{4}$ 이다.

187 ㄱ. 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 수용액의 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 3배이다. 따라서 같은 질량의 물에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 B가 A의 3배이다. A와 B의 분자량을 각각 M_A , M_B 라고 하면 $\frac{2w}{M_A} \times 3 = \frac{3w}{M_B}$ 이므로 분자량은 A가 B의 2배이다.

ㄴ. 용액의 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 3배이므로 끓는점 오름 또한 (나)가 (가)의 3배이다. 따라서 $x=6b$ 이다.

ㄷ. 물 100 g에 A $w \text{ g}$ 을 녹인 용액의 끓는점 오름은 $b^\circ\text{C}$ 이고, B $w \text{ g}$ 을 녹인 용액의 끓는점 오름은 $2b^\circ\text{C}$ 이므로 A $w \text{ g}$ 과 B $w \text{ g}$ 을 녹인 수용액의 끓는점 오름은 $3b^\circ\text{C}$ 이다.

188 ㄱ. (가)에서 물 100 g에 용질 X $a \text{ g}$ 을 녹인 용액의 끓는점 오름은 1.04°C 이고, 물의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $0.52^\circ\text{C}/m$ 이므로 물 100 g에 용질 X $a \text{ g}$ 을 녹인 용액의 몰랄 농도를 $x m$ 라고 하면

$1.04^\circ\text{C} = 0.52^\circ\text{C}/m \times x m$, $x=2$ 이다. X의 분자량을 M_X 라고 하면, $\frac{a}{\frac{M_X}{0.1}} = 2$ 이고, $M_X=5a$ 이다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 용매 A 100 g에 용질 X $a \text{ g}$ 을 녹인 용액의 몰랄 농도는 (가)와 같은 2 m이고, 이때 끓는점 오름이 $(t_2 - t_1)^\circ\text{C}$ 이므로 A의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $\frac{(t_2 - t_1)}{2}^\circ\text{C}/m$ 이다.

ㄷ. ㉠과 ㉡의 용액의 몰랄 농도는 같지만 사용한 용매가 다르므로 어는점 내림이 다르다. 따라서 두 용액의 어는점은 다르다.

189 **모범 답안** (1) Y의 어는점은 $t_1^\circ\text{C}$ 이고, $2a m$ 일 때의 어는점이 $t_3^\circ\text{C}$ 이므로 $2a m$ Y 용액의 어는점 내림은 $(t_1 - t_3)^\circ\text{C}$ 이다. 용매의 몰랄 내림 상수는 1 m일 때의 어는점 내림이므로 Y(l)의 몰랄 내림 상수는 $\frac{(t_1 - t_3)}{2a}^\circ\text{C}/m$ 이다.

(2) Y 용액의 몰랄 농도가 $2a m$ 일 때의 어는점 내림이 $(t_1 - t_3)^\circ\text{C}$ 이므로 $a m$ 일 때의 어는점 내림은 $\frac{(t_1 - t_3)}{2}^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 용액의 몰랄 농도가 $a m$ 일 때의 어는점은 $t_1 - \frac{(t_1 - t_3)}{2} = \frac{(t_1 + t_3)}{2}^\circ\text{C}$ 이다. $a m$ Y 용액의 어는점과 $a m$ X 용액의 어는점이 같으므로 $a m$ X 용액의 어는점은 $\frac{(t_1 + t_3)}{2}^\circ\text{C}$ 이다.

채점 기준		배점
(1)	몰랄 내림 상수를 풀이 과정을 포함하여 옳게 구한 경우	50 %
	몰랄 내림 상수만 옳은 경우	25 %
(2)	용액의 어는점을 풀이 과정을 포함하여 옳게 구한 경우	50 %
	어는점만 옳게 구한 경우	25 %

190 ㄱ. 용액의 어는점 내림이 (다)가 (가)의 2배이므로 일정량의 A에 용해된 용질의 양은 (다)가 (가)의 2배이다. X와 Y의 분자량을 각각 x , y 라고 하면 $(\frac{9}{x} + \frac{1}{y}) : (\frac{3}{x} + \frac{7}{y}) = 1 : 2$, $x=3y$ 이다. 따라서 분자량은 X가 Y의 3배이다.

ㄷ. (가)에 녹아 있는 용질의 양을 $(\frac{9}{3y} + \frac{1}{y}) \text{ mol}$ 이라고 하면 (나)에 녹아 있는 용질의 양은 $(\frac{5}{3y} + \frac{5}{y}) \text{ mol}$ 이다. 따라서 용액의 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 $\frac{5}{3}$ 배이므로 어는점 내림은 (나)가 (가)의 $\frac{5}{3}$ 배인 $\frac{5}{3}a^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 $b > \frac{3}{2}a$ 이다.

바로알기 ㄴ. 용액의 어는점 내림은 (다)가 (가)의 2배이므로 용액의 몰랄 농도는 (다)가 (가)의 2배이다. (가)와 (다)에서 용매의 양이 같으므로 용액 속 용질의 양은 (다)가 (가)의 2배이다. 따라서 용매 A의 물분율은 (가)에서가 (다)에서보다 크다.

191 용액에 녹아 있는 용질의 질량이 같으므로 용액의 몰랄 농도는 용매의 질량에 반비례한다. 용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 용매 A의 끓는점을 $T_A^\circ\text{C}$ 라고 하면, $(118.9 - T_A) = 4(118.3 - T_A)$, $T_A=118.1$ 이다. 따라서 용매 A $w \text{ g}$ 에 용질 X를 녹인 용액의 끓는점 오름은 $(118.9 - 118.1)^\circ\text{C} = 0.8^\circ\text{C}$ 이다. 마찬가지로 용매 B의 끓는점을 $T_B^\circ\text{C}$ 라고 하면, $(100.2 - T_B) = 2(100.1 - T_B)$, $T_B=100.0$ 이다. 따라서 용매 B $w \text{ g}$ 에 용질 X를 녹인 용액의 끓는점 오름은 $(100.2 - 100.0)^\circ\text{C} = 0.2^\circ\text{C}$ 이다. 같은 몰랄 농도의 용액에서 끓는점 오름은 용매 A가 용매 B의 4배이므로

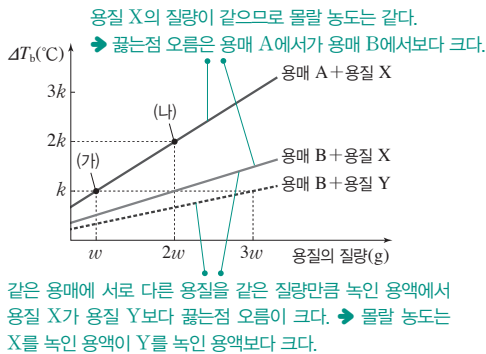
$\frac{A \text{의 몰랄 오름 상수}(K_b)}{B \text{의 몰랄 오름 상수}(K_b)} = 4$ 이다.

192 ㄱ. 물 100 g에 X(s) 3 g을 녹인 수용액이 100.26 °C에서 끓기 시작하므로 이 용액의 끓는점 오름은 0.26 °C이다. 물의 몰랄 오름상수(K_b)는 0.52 °C/m이므로 이 용액의 몰랄 농도는 0.5 m이다. 따라서 X의 화학식량을 x 라고 하면 $\frac{3}{0.1} = 0.5$, $x = 60$ 이다.

ㄴ. A 용액은 끓기 전이므로 용액의 증기 압력은 외부 압력인 1기압보다 작고, 끓고 있는 B 용액의 증기 압력은 외부 압력인 1기압과 같다. 따라서 용액의 증기 압력은 B가 A보다 크다.

ㄷ. 용액의 끓는점은 C가 B보다 높으므로 용액의 몰랄 농도는 C가 B보다 크다.

193



ㄱ. 용질 X의 질량에 따른 끓는점 오름은 용매 A에서가 용매 B에서보다 크다. 즉, 용액의 몰랄 농도가 같을 때 끓는점 오름은 용매 A에서가 용매 B에서보다 크므로 몰랄 오름상수(K_b)는 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄴ. 끓는점 오름은 (나)가 (가)의 2배이므로 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 2배이다. 즉, 같은 질량의 용매에 녹아 있는 용질의 양은 (나)가 (가)의 2배이다. 한편 용액의 증기 압력은 용매의 몰분율에 비례하는데, (가)와 (나)에서 용매의 양은 같고, 용질의 양은 (나)가 (가)의 2배이므로 용매의 몰분율은 (가)가 (나)의 2배가 되지 않는다. 따라서 용액의 증기 압력은 (가)가 (나)의 2배가 되지 않는다.

ㄷ. 용매 B 100 g에 X(s) 2w g을 녹인 용액의 끓는점 오름과 Y(s) 3w g을 녹인 용액의 끓는점 오름이 같으므로 X 2w g의 양(mol)과 Y 3w g의 양(mol)이 같다. 따라서 화학식량은 Y가 X의 $\frac{3}{2}$ 배이다. X(s) w g의 양을 n mol이라고 하면 X(s) 3w g의 양은 $3n$ mol이고, Y(s) 2w g의 양은 $\frac{4}{3}n$ mol이므로 A(l) 200 g에 X(s) 3w g과 Y(s) 2w g을 녹인 용액의 몰랄 농도는 A(l) 100 g에 X(s) w g이 녹아 있는 용액의 몰랄 농도의 $\frac{13}{6}$ 배이다. 따라서 끓는점 오름 또한 $\frac{13}{6}$ 배이므로 ΔT_b 은 $\frac{13}{6} k$ °C이다.

194 **모범 답안** 용액의 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 삼투압은 용액의 총괄성을 나타낸다. 즉, 용액 속에 들어 있는 용질의 양(mol)에 의해서만 그 성질이 결정되고 용질의 종류와는 관계가 없다. 따라서 요소 0.1 mol 대신 같은 양의 포도당을 사용하더라도 용액의 증기 압력, 끓는점 오름, 삼투압은 변하지 않는다. 따라서 x, y, z 는 모두 값이 변하지 않는다.

채점 기준	배점
x, y, z 를 모두 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
x, y, z 만 모두 고른 경우	50 %
x, y, z 중 2가지만 고른 경우	20 %

195 X(s) x g의 양을 m mol, Y(s) y g의 양을 n mol이라고 하

면 (가)와 (다)의 어는점 내림이 같으므로 물 100 g에 녹아 있는 용질의 전체 양(mol)은 같다. 따라서 $m + 9n = 9m + n$ 에서 $m = n$ 이다. (나)와 (라)에 녹아 있는 용질의 전체 양은 각각 $6m$ mol, $12m$ mol이므로 어는점 내림은 (라)가 (나)의 2배이다. 따라서 $\frac{b}{a} = 2$ 이다.

196 ㄴ. 같은 질량의 몰비가 A : B = 3 : 2이므로 화학식량의 비는 A : B = 2 : 3이다. 따라서 $\frac{A \text{의 화학식량}}{B \text{의 화학식량}} = \frac{2}{3}$ 이다.

ㄷ. $\frac{A \text{의 화학식량}}{B \text{의 화학식량}} = \frac{2}{3}$ 이므로 A a g의 양을 $3n$ mol이라고 하면 B a g의 양은 $2n$ mol이다. 이때 용매 ($w - a$) g의 양을 m mol이라고 하면 A(aq)에서 용매의 몰분율은 $\frac{m}{3n+m}$ 이고, B(aq)에서 용매의 몰분율은 $\frac{m}{2n+m}$ 이다. 일정한 온도에서 용액의 증기 압력은 용매의 몰분율에 비례하므로 $\frac{m}{3n+m} : \frac{m}{2n+m} = 62 : 63$, $m = 60n$ 이다.

따라서 B(aq)에서 용매의 몰분율은 $\frac{m}{2n+m} = \frac{60n}{62n} = \frac{30}{31}$ 이다.

바로알기 ㄱ. A(aq)과 B(aq)의 용액의 질량과 용질의 질량이 같으므로 용매의 질량도 같다. 용액의 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례하므로 같은 질량의 용매에 녹아 있는 용질의 몰비는 A(aq) : B(aq) = 3 : 2이다. 따라서 용질의 양(mol)은 A(aq)에서가 B(aq)에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

197 ㄱ. 반투막 튜브 안쪽에 있는 수용액 쪽으로 물이 더 많이 이동하므로 농도는 수용액 A가 수용액 B보다 크다.

바로알기 ㄴ. 1기압에서 끓는점은 농도가 큰 수용액 A가 수용액 B보다 높다.

ㄷ. 수용액 A보다 농도가 큰 수용액을 사용하면 두 수용액의 농도 차가 커져서 삼투 현상이 더 활발하게 일어나므로 h 는 커진다.

198 ①, ② b M 설탕물 쪽 액면이 높아진 것으로 보아 a M 설탕 물에서 b M 설탕물로 물이 더 많이 이동했다. 따라서 $a < b$ 이다.

⑤ b M 설탕물 대신 $2b$ M 설탕물을 사용하면 고농도 용액의 농도가 더 커지므로 h 는 커진다.

⑥ 온도가 높을수록 용액의 삼투압은 커지므로 온도를 25 °C에서 50 °C로 높이면 h 는 커진다.

바로알기 ③ 평형 상태인 (나)에서는 반투막을 경계로 양쪽 방향으로 이동하는 물 분자 수가 같다.

④ 반투막을 경계로 저농도 용액에서 고농도 용액으로 물이 더 많이 이동하는데, a M 설탕물 대신 $\frac{1}{2}a$ M 설탕물을 사용하면 저농도 용액의 농도가 더 작아지게 되어 h 는 커진다.

199 ㄱ. (나)에서 A에는 물을, B에는 수용액을 넣었으므로 용매에서 수용액 쪽으로 물이 더 많이 이동하므로 평형 상태에서 수면의 높이는 B에서가 A에서보다 높다.

바로알기 ㄴ. 수용액의 밀도가 같으므로 수면의 높이 차는 삼투압에 비례한다. X w g을 녹인 수용액 I과 Y 2w g을 녹인 수용액 II에서 수면의 높이 차이가 a 로 같은 것으로 보아 두 수용액의 삼투압은 같다. 따라서 두 수용액의 몰농도가 같으므로 같은 부피에 들어 있는 용질의 양(mol)이 같다. X w g의 양(mol)과 Y 2w g의 양(mol)이 같으므로 화학식량은 Y가 X의 2배이다.

ㄷ. X 2w g을 녹인 수용액 III의 농도는 수용액 I의 2배이므로 삼투압은 III이 I보다 크다. 따라서 $h > a$ 이다.

200 $\pi = CRT$ 이므로 일정 온도에서 용액의 삼투압은 용액의 몰농도에 비례한다. 같은 부피의 수용액에 같은 질량의 용질이 녹아 있는 $A(aq)$, $B(aq)$, $C(aq)$ 에서 삼투압비가 $A(aq) : B(aq) : C(aq) = 2 : 1 : 3$ 이므로 몰농도비 또한 $2 : 1 : 3$ 이다. 따라서 $\frac{3}{a} : \frac{3}{b} : \frac{3}{c} = 2 : 1 : 3$ 이므로 $a : b : c = 3 : 6 : 2$ 이고, $\frac{c}{a+b} = \frac{2}{3+6} = \frac{2}{9}$ 이다.

201 액체 기둥의 높이 차가 클수록 삼투압이 크다.
 나. 온도가 같을 때 용액의 삼투압은 용액의 몰농도에 비례한다. t_2 °C에서 삼투압은 a M 설탕물이 b M 설탕물보다 크므로 농도는 a M 설탕물이 b M 설탕물보다 크다. 따라서 끓는점은 a M 설탕물이 b M 설탕물보다 높다.
바로알기 | 가. $\pi = CRT$ 이므로 수용액의 농도가 같을 때, 용액의 삼투압은 절대 온도에 비례한다. $t_2 > t_1$ 이므로 a M 설탕물의 삼투압은 t_2 °C에서가 t_1 °C에서보다 크다. 따라서 $t_1 < t_2$ 이다.
 다. t_1 °C에서 물 대신 a M 설탕물이 b M 설탕물과 반투막으로 분리되어 평형 상태에 있을 때, 반투막으로 이동하는 물 분자 수는 b M 설탕물이 물보다 작다. 따라서 액면의 높이 차는 h_1 보다 작다.

202 나. 포도당 수용액 대신 물을 사용하여 실험하면 세포막을 통해 물이 무 쪽으로 더 많이 이동하므로 (나)에서 측정된 무 조각의 질량은 10 g보다 크다.
 다. 이 실험은 삼투 현상과 관련된 실험이다. 김치를 담글 때 배추를 소금물에 절이면 배추의 세포액 속 물이 세포막을 통해 고농도의 소금물 쪽으로 이동하는 삼투 현상이 일어나 배추의 숨이 죽는다.
바로알기 | 가. 0.1 M 포도당 수용액 100 mL에 10 g의 무 조각을 넣고 일정 시간이 지날 때 무 조각의 질량이 감소한 것으로 보아 무 속의 물 분자가 무의 세포막을 통해 0.1 M 포도당 수용액 쪽으로 더 많이 이동하였다. 이로부터 무의 세포액의 농도는 0.1 M보다 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 0.1 M 포도당 수용액 대신 0.2 M 포도당 수용액으로 실험하면 무의 세포액의 물이 더 많이 이동하므로 $x > y$ 이다.

203 **모범 답안** 삼투압은 삼투 현상을 막기 위해 용액 쪽에 가해 주어야 하는 최소한의 압력이다. 대기압이 P_0 인데, $X=a$ 일 때 포도당 수용액에 가한 압력과 대기압의 합(P_0)이 $1.04P_0$ 이므로 포도당 수용액에 가한 압력, 즉 포도당 수용액의 삼투압은 $1.04P_0 - P_0 = 0.04P_0$ 이다.

204 (가)와 (나)의 온도가 같으므로 삼투압은 용액의 몰농도에 비례한다. 이때 (가)와 (나)의 삼투압이 같으므로 두 수용액의 몰농도가 같다. 두 수용액의 부피가 같으므로 수용액에 녹아 있는 용질의 양(mol)의 합은 같다. A와 B의 분자량을 각각 a , b 라고 하면 다음 관계식이 성립한다.

$$\frac{3w}{a} + \frac{w}{b} = \frac{w}{a} + \frac{\frac{5w}{3}}{b}, a=3b \text{이고, } \frac{B \text{의 분자량}}{A \text{의 분자량}} = \frac{b}{3b} = \frac{1}{3} \text{이다.}$$

따라서 (가)에 들어 있는 용질의 전체 양은 $\frac{3w}{3b} + \frac{w}{b} = \frac{2w}{b}$ mol이고, (다)에 들어 있는 용질의 전체 양은 $\frac{6w}{3b} + \frac{2w}{b} = \frac{4w}{b}$ mol이다. 이때 용액의 부피가 (다)가 (가)의 2배이므로 용액의 몰농도는 (가)와 (다)가 같다. 그리고 두 수용액의 삼투압은 절대 온도에 비례하므로 $T_2 = \frac{5}{4}T_1$ 이다. 따라서 $\frac{B \text{의 분자량}}{A \text{의 분자량}} \times \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{3} \times \frac{5}{4} = \frac{5}{12}$ 이다.

최고 수준 도전 기출

62쪽~63쪽

205 ①	206 ⑤	207 ①	208 ②	209 ④	210 ①
211 ④	212 ③				

205 가. 결합 b는 물 분자 사이에 작용하는 분자 간 힘을 나타내므로 수소 결합이다.

바로알기 | 나. (나)에서 얼음이 물에 뜨는 것으로 보아 H_2O 의 밀도는 액체가 고체보다 크다. 즉, 0 °C, 1기압에서 1 mL의 질량은 액체가 고체보다 크다. 따라서 1 mL에 들어 있는 H_2O 분자 수는 액체에서가 고체에서보다 크다.

다. 물이 끓어 수증기가 될 때 분자 간 힘인 결합 b가 끊어지고 물 분자를 형성하는 공유 결합인 결합 a는 끊어지지 않는다.

206 가. 0 °C에서 $H_2O(l)$ 이 응고될 때 물 분자 간 힘인 수소 결합 수는 증가하고, 물 분자를 형성하는 공유 결합 수는 일정하므로 분자당 결합 A의 평균 개수는 감소한다. 분자당 결합 B의 평균 개수는 감소한다.

나. 0 °C에서 H_2O 1 g의 부피(V)는 $H_2O(s)$ 이 $H_2O(l)$ 보다 크므로 0 °C에서 밀도는 $H_2O(l)$ 이 $H_2O(s)$ 보다 크다.

다. $H_2O(l)$ 1 g의 부피(V)는 0 °C에서가 4 °C에서보다 크므로 분자 사이의 평균 거리는 0 °C에서가 4 °C에서보다 멀다.

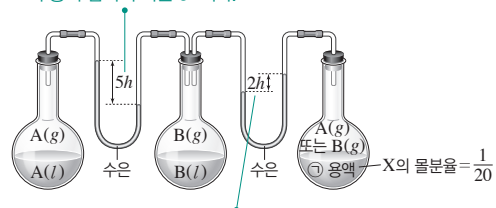
207 가. (가)에서 20 °C일 때 표면 장력은 물이 에탄올보다 크므로 (나)에서 액체 방울의 모양이 더 둥근 B가 물이다.

바로알기 | 나. 표면 장력이 클수록 같은 부피의 액체 방울의 표면적이 작다. (가)에서 온도가 낮을수록 물의 표면 장력이 크므로 1 mL의 B의 표면적은 20 °C에서가 40 °C에서보다 작다.

다. 물에 에탄올을 첨가하면 에탄올은 물 분자 사이에 수소 결합이 형성되는 것을 방해한다. 따라서 물에 에탄올을 첨가한 용액 1 mL의 액체 방울의 모양은 B보다 넓적하다.

208

증기 압력은 B가 A보다 크고, B의 증기 압력과 A의 증기 압력의 차는 $5h$ 이다.



증기 압력은 B가 ① 용액보다 크고, B의 증기 압력과 ① 용액의 증기 압력 차는 $2h$ 이다.

① 용액은 순수한 용매인 A의 증기 압력 또는 B의 증기 압력보다 작다. ① 용액의 증기 압력을 P_X 라고 하면 $P_B = P_A + 5h$, $P_B = P_X + 2h$ 이다.

나. ① 용액의 용매는 B(l)이므로 t °C, 1기압에서 ① 용액의 증기 압력은 B(l)의 증기 압력보다 작다. 따라서 기준 끓는점은 ① 용액이 B(l)보다 높다.

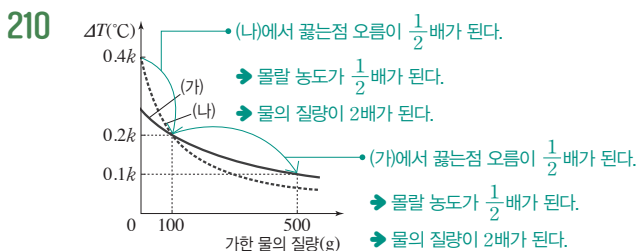
바로알기 | 가. $P_B = P_A + 5h$, $P_B = P_X + 2h$ 이므로 $P_A + 5h = P_X + 2h$ 이다. ① 용액의 용매를 A(l)라고 하면 $P_X = P_A + 3h$ 이고, 용액의 증기 압력이 용매의 증기 압력보다 크므로 타당하지 않다. 따라서 ① 용액의 용매는 B(l)이다.

ㄷ. ㉠ 용액에서 X의 몰분율이 $\frac{1}{20}$ 이므로 용매의 몰분율은 $\frac{19}{20}$ 이고,
 $P_X = \frac{19}{20} P_B$ 이다. 이때 $P_B = P_X + 2h = \frac{19}{20} P_B + 2h$, $P_B = 40h$ 이다.
 한편 $P_A = P_B - 5h = 40h - 5h = 35h$ 이므로 $\frac{P_A}{P_B} = \frac{35}{40} = \frac{7}{8}$ 이다.

209 ㄴ. 삼투압은 삼투 현상을 방지하기 위해 용액 쪽에 가해 주는 압력과 같다. 30 °C에서 a M A(aq)에 가해 준 압력이 P_2 기압일 때 삼투 현상이 일어나지 않으므로 30 °C에서 a M A(aq)의 삼투압은 P_2 기압이다.

ㄷ. 일정 농도의 용액의 삼투압은 절대 온도에 비례하므로 수용액의 삼투압은 $P_1 < P_2$ 이다.

바로알기 ㄱ. (나)에서 물에서 A(aq) 쪽으로 이동하는 물 분자의 양과 A(aq)에서 물 쪽으로 이동하는 물 분자의 양은 같다.



용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하고, 일정량의 용질이 녹아 있는 용액의 몰랄 농도는 물의 질량에 반비례한다. 물 w_1 g에 A(s) 8w g을 녹인 수용액 (가)에 물 100 g을 가한 용액의 끓는점 오름은 물 500 g을 가한 용액의 끓는점 오름의 2배이므로 다음 관계식이 성립한다.

$$\frac{1}{w_1 + 100} : \frac{1}{w_1 + 500} = 2 : 1, w_1 = 300$$

마찬가지로 물 w_2 g에 A(s) x g과 B(s) x g을 모두 녹인 수용액 (나)에서 물을 추가하지 않은 용액의 끓는점 오름은 물 100 g을 추가한 용액의 끓는점 오름의 2배이므로 $\frac{1}{w_2} : \frac{1}{w_2 + 100} = 2 : 1, w_2 = 100$ 이다.

ㄷ. B(s) x g의 양을 n mol이라고 하면 분자량은 B가 A의 3배이므로 A(s) x g의 양은 $3n$ mol이다. A(s) 8w g의 양을 y mol이라고 하면, (가)와 (나)에 각각 물 100 g을 추가한 용액의 끓는점 오름이 같으므로 다음 관계식이 성립한다.

$$\frac{y}{300 + 100} = \frac{4n}{100 + 100}, y = 8n$$

따라서 A(s) 8w g의 양이 8n mol이므로 3n mol의 질량 x g은 3w g이다. 따라서 $x = 3w$ 이고, $\frac{w_2}{w_1} \times x = \frac{100}{300} \times 3w = w$ 이다.

211 용액에 녹인 A(s)와 B(s)의 질량의 합이 10 g이고, $\frac{B(s)의 질량(g)}{A(s)의 질량(g)}$ 은 (가)에서 1.5, (나)에서 9이므로 (가)와 (나)에 녹아 있는 A와 B의 질량은 다음과 같다.

용액	(가)	(나)
A(s)의 질량(g)	4	1
B(s)의 질량(g)	6	9

용액의 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례하고, (가)와 (나)에서 용매의 질량이 같으므로 용액 속 전체 용질의 몰비는 (가) : (나) = 4 : 5이다. 따라서 A와 B의 분자량을 각각 a, b 라고 하면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\left(\frac{4}{a} + \frac{6}{b}\right) : \left(\frac{1}{a} + \frac{9}{b}\right) = 4 : 5, \frac{b}{a} = \frac{3}{8}$$

212 ㄱ. (가)에서 용매의 양은 $\frac{100}{18}$ mol이고, 용질 A의 분자량을 a 라고 하면 A의 양은 $\frac{3}{a}$ mol이다. t °C에서 물의 증기 압력은 P 기압

이고, (가)의 증기 압력이 $\frac{1000}{1009} P$ 기압이므로 (가)에서 용매의 몰분율

$$\text{은 } \frac{1000}{1009} \text{이다. 따라서 } \frac{\frac{100}{18}}{\frac{100}{18} + \frac{3}{a}} = \frac{1000}{1009}, a = 60 \text{이다.}$$

$$\text{ㄷ. (나)에서 용매의 몰분율은 } \frac{\frac{200}{18}}{\frac{200}{18} + \frac{10}{60}} = \frac{200}{201} \text{이다. 따라서 (나)}$$

의 증기 압력은 $\frac{200}{201} P$ 기압이므로 $y = \frac{200}{201}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로

A(aq)의 몰랄 농도비는 (가) : (나) = 9 : 5이다. 따라서 $\frac{\frac{3}{0.1}}{\frac{60}{0.2}} : 9 =$

$$\frac{x}{0.2} : 5, x = \frac{10}{3} \text{이다.}$$

07 엔탈피와 열화학 반응식

빈출 자료 보기

65쪽

213 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

214 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

213 (1) 엔탈피는 반응물이 생성물보다 크므로 반응이 일어날 때 엔탈피 차만큼 주위로 열을 방출한다. 따라서 주위의 온도는 높아진다.

(4) $\text{NH}_4\text{NO}_3(s) \longrightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(l)$ 반응은 열을 흡수하는 흡열 반응이므로 1 mol의 엔탈피는 $\text{NH}_4\text{NO}_3(l)$ 가 $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 보다 크다. 따라서 $\text{NH}_4\text{NO}_3(l)$ 1 mol이 분해되어 $\text{N}_2\text{O}(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 를 생성할 때 출입하는 열에너지는 36.4 kJ보다 크다.

(5) $\text{N}_2\text{O}(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 로부터 $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 1 mol이 생성되는 반응은 $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 이 $\text{N}_2\text{O}(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 를 생성하는 반응의 역반응이므로 반응 엔탈피는(ΔH)는 36.4 kJ이다.

바로알기 | (2) 열을 주위로 방출하는 발열 반응이므로 반응 엔탈피의 부호는 (-)이다.

(3) 반응 엔탈피는 반응하는 물질의 양(mol)에 비례하므로 $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 2 mol이 반응할 때 출입하는 에너지는 $36.4 \times 2 = 72.8$ kJ이다.

214 (1) $\text{Br}_2(g) \longrightarrow 2\text{Br}(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 $\text{Br}_2(g)$ 의 결합 에너지와 같으므로 Br-Br 결합 1 mol을 끊을 때 194 kJ의 에너지를 흡수한다.

(2), (3) H-H 결합 에너지는 $\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}(g)$ 의 반응 엔탈피인 436 kJ/mol이고, Br-Br 결합 에너지는 194 kJ/mol이다. 따라서 결합 에너지는 H-H가 Br-Br보다 크다.

바로알기 | (4) $2\text{HBr}(g) \longrightarrow 2\text{H}(g) + 2\text{Br}(g)$ 의 반응 엔탈피는 H-Br 결합 에너지의 2배이므로 H-Br의 결합 에너지(kJ/mol)는 $\frac{732}{2} = 366$ 이다.

(5) $\text{H}_2(g) + \text{Br}_2(g) \longrightarrow 2\text{HBr}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 ($\text{H}_2(g)$ 의 결합 에너지 + $\text{Br}_2(g)$ 의 결합 에너지) - ($2 \times \text{HBr}(g)$ 의 결합 에너지)이므로 $\Delta H = (436 + 194) - (2 \times \frac{732}{2}) = -102$ kJ이다.

난이도별 필수 기출

66쪽~73쪽

215 ③, ⑥	216 ⑤	217 ④	218 ②	219 ③	220 ⑤
221 해설 참조	222 ④	223 ②	224 ③, ⑤		
225 해설 참조	226 ②	227 -400 kJ/mol			
228 ㄱ, ㄴ, ㄷ	229 ⑤	230 해설 참조	231 ③		
232 ④	233 ③	234 ⑤	235 ②	236 ⑤	
237 해설 참조	238 ③	239 ②	240 ③	241 ③	
242 ①	243 ③	244 ①	245 ⑤	246 ③	247 ①
248 ⑤	249 ②				

215 ①, ② (가)는 생성물이 반응물보다 엔탈피가 큰 흡열 반응이므로 반응이 일어날 때 생성물과 반응물의 엔탈피 차만큼 주위로부터 열을 흡수한다. 따라서 반응이 일어날 때 주위의 온도는 낮아진다.

④ (나)는 반응이 일어날 때 열을 주위로 방출하는 발열 반응이다.

⑤ 메테인(CH_4)의 연소 반응은 열을 방출하는 발열 반응이므로 (나)와 열 출입 방향이 같다.

바로알기 | ③ ΔH 는 생성물의 엔탈피와 반응물의 엔탈피 차이이고, (나)에서 엔탈피는 반응물이 생성물보다 크므로 ΔH 의 부호는 (-)이다.

⑥ (나)가 일어날 때 주위의 온도가 높아지므로 냉각 팩에 이용할 수 없다.

216 ㄱ. 주어진 반응은 반응물이 생성물보다 엔탈피가 크다. 따라서 반응이 일어날 때 반응물과 생성물의 엔탈피 차만큼 주위로 열을 방출하므로 주위의 온도가 높아진다.

ㄴ, ㄷ. 반응이 일어날 때 열을 방출하는 발열 반응이므로 ΔH 의 부호는 (-)이다.

217 ㄴ. 반응 엔탈피의 부호가 (-)이므로 반응물의 엔탈피 합은 생성물의 엔탈피 합보다 크다.

ㄷ. $\text{NO}_2(g)$ 2 mol이 분해될 때 66 kJ의 열을 방출하므로 $\text{NO}_2(g)$ 1 mol이 분해될 때는 33 kJ의 열을 방출한다.

바로알기 | ㄱ. $\text{NO}_2(g)$ 분해 반응의 반응 엔탈피의 부호가 (-)이므로 $\text{NO}_2(g)$ 분해 반응은 발열 반응이다.

✓ 개념 보충

크기 성질과 세기 성질

반응 엔탈피와 같이 물질의 양(질량이나 양(mol))에 비례하여 그 값이 변하는 성질을 크기 성질이라고 한다. 엔탈피는 물질이 가지고 있는 에너지의 총합량이므로 물질의 양이 클수록 그 값이 커지는 크기 성질이다. 반면, 물질의 양에 관계없이 그 값이 일정한 성질을 세기 성질이라고 하는데, 온도, 밀도 등이 이에 해당한다. 반응 엔탈피는 크기 성질이고, 생성 엔탈피는 1 mol당 엔탈피를 의미하는 세기 성질이다.

218 학생 C. 에탄올의 기화는 흡열 반응이므로 엔탈피는 생성물이 반응물보다 크다. 즉, 에탄올 1 mol의 엔탈피는 기체 상태가 액체 상태보다 크다.

바로알기 | 학생 A. 에탄올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)이 기화되는 반응의 반응 엔탈피 부호가 (+)이므로 반응이 일어날 때 주위로부터 열을 흡수한다.

학생 B. 에탄올의 기화는 주위로부터 열을 흡수하는 흡열 반응이다.

219 ㄱ. 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크므로 반응 엔탈피의 부호는 (-)이다.

ㄴ. $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위로 열을 방출하고, 주위의 온도가 높아진다.

바로알기 | ㄷ. 생성물의 엔탈피 합이 반응물의 엔탈피 합보다 작다.

220 ㄱ, ㄴ. $\text{NaOH}(s)$ 을 물에 녹였을 때 용액의 온도가 높아진 것으로 보아 $\text{NaOH}(s)$ 의 용해 반응은 주위로 열을 방출하는 발열 반응이다. 즉, 반응 엔탈피의 부호는 (-)이므로 $\Delta H < 0$ 이다.

ㄷ. 발열 반응이므로 주위의 온도가 높아진다.

221 **모범 답안** 연소 엔탈피(kJ/g)는 C_3H_8 이 $-\frac{2220}{44}$ 이고, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 이 $-\frac{1367}{46}$ 이다. 따라서 1 g이 연소할 때 방출하는 열은 C_3H_8 이 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 보다 크므로 단위 질량당 연소 엔탈피(kJ/g)를 근거로 판단하면 연료의 효율성은 C_3H_8 이 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 보다 크다.

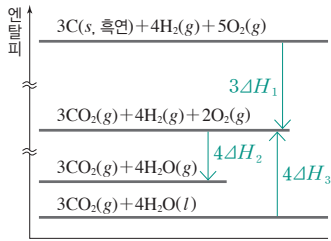
채점 기준	배점
프로페인과 에탄올의 연료 효율성을 옮겨 비교하고 서술한 경우	100 %
프로페인과 에탄올의 연료 효율성의 비교만 옳은 경우	50 %

222 ㄴ. 흡열 반응이므로 엔탈피의 총합은 생성물이 반응물보다 크다.

ㄷ. $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 8 g 대신 $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 4 g을 녹이면 주위로부터 흡수하는 열에너지가 8 g일 때보다 작아지므로 수용액의 온도는 17.3°C 보다 높다.

바로알기 ㄱ. $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 이 물에 용해될 때 온도가 낮아지므로 $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 이 물에 용해되는 반응은 주위로부터 열을 흡수하는 흡열 반응이다.

223 주어진 반응의 엔탈피 관계에 주어진 반응의 반응 엔탈피를 나타내면 다음과 같다.



따라서 ΔH_1 의 부호는 (-), ΔH_2 의 부호는 (-), ΔH_3 의 부호는 (+)이다.

224 ① 화살표 왼쪽에 표기한 반응물의 상태는 모두 'g'로 표시되어 있으므로 기체 상태이다.

② 화살표 오른쪽에 표기한 생성물 중 H_2O 의 상태는 'l'이므로 액체 상태이다.

④ 반응 엔탈피는 생성물의 엔탈피 합과 반응물의 엔탈피 합의 차이이다. 반응물의 엔탈피 합과 생성물의 엔탈피 합의 차는 890.5 kJ 이다.

⑥ 정반응은 반응 엔탈피의 부호가 (-)인 발열 반응이므로 역반응은 반응 엔탈피의 부호가 (+)인 흡열 반응이다.

바로알기 ③ 반응 엔탈피는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값이다. 주어진 반응의 반응 엔탈피가 -890.5 kJ 이므로 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 890.5 kJ 만큼 크다.

⑤ 반응 엔탈피는 물질의 양에 비례하므로 $\text{CH}_4(\text{g})$ 2 mol이 충분한 양의 산소와 반응할 때 방출하는 열은 890.5 kJ 의 2배가 된다.

225 **모범 답안** $\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \cdots \text{①}$

반응 ①에서 엔탈피 합은 반응물이 생성물보다 크므로 반응 엔탈피는 -98 kJ 이다.

$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) \cdots \text{②}$

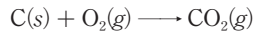
반응 ②는 반응 ①의 역반응에 2를 곱해서 얻을 수 있으므로 반응 ②의 반응 엔탈피는 $98 \times 2 = 196 \text{ kJ}$ 이다.

채점 기준	배점
반응 엔탈피와 풀이 과정을 모두 옳게 구한 경우	100 %
반응 엔탈피만 옳게 구한 경우	50 %

226 ㄴ, ㄷ. $\text{CaCl}_2(\text{s})$ 이 물에 용해될 때 출입하는 열은 모두 물이 흡수했다고 가정한다. 따라서 이 실험으로 CaCl_2 1 mol이 물에 용해될 때 출입하는 열량을 구하기 위해서는 수용액의 비열, 수용액의 질량, 용해 전후 수용액의 온도 변화가 필요하다. 또한 $\text{CaCl}_2(\text{s})$ 1 g을 물에 녹였으므로 CaCl_2 의 양(mol)을 구하기 위해 CaCl_2 의 화학식량이 필요하다. 실험에서 용해 전후 수용액의 온도를 측정하였고, 수용액의 질량은 100 g이므로 수용액의 비열과 CaCl_2 의 화학식량에 대한 자료가 추가로 필요하다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. 물의 분자량과 수용액의 밀도는 CaCl_2 1 mol이 물에 용해될 때 출입하는 열량을 구하는 과정에서 사용되는 자료가 아니다.

227 $\text{C}(\text{s})$ 의 연소 반응식은 다음과 같다.



$\text{C}(\text{s})$ 0.6 g의 양은 $\frac{0.6}{12} = 0.05 \text{ mol}$ 이므로 0.1 mol의 $\text{O}_2(\text{g})$ 는 $\text{C}(\text{s})$

0.6 g을 완전 연소시키기에 충분하다. 한편, 연소 전후 온도의 차이가 0.5°C 이고, 열량계의 열용량이 $40 \text{ kJ}/^\circ\text{C}$ 이므로 $\text{C}(\text{s})$ 0.6 g이 완전 연소할 때 방출한 열량은 $Q = 40 \text{ kJ}/^\circ\text{C} \times 0.5^\circ\text{C} = 20 \text{ kJ}$ 이다.

$\text{C}(\text{s})$ 0.05 mol이 완전 연소할 때 방출한 열이 20 kJ이므로 1 mol이 연소할 때 방출한 열은 400 kJ 이다. 따라서 이 실험으로 구한 $\text{C}(\text{s})$ 의 연소 엔탈피는 -400 kJ/mol 이다.

228 ㄱ. 반응 (가)의 반응 엔탈피의 부호가 (-)이므로 발열 반응이고, 반응이 진행될 때 열을 주위로 방출하므로 주위의 온도는 높아진다.

ㄴ. 반응 (나)의 반응 엔탈피의 부호가 (+)이므로 생성물의 엔탈피 합이 반응물의 엔탈피 합보다 크다. 따라서 1 mol의 엔탈피는 생성물인 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 이 반응물인 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$ 보다 크다.

ㄷ. $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 2 mol이 완전 연소할 때 반응 엔탈피는 -1528 kJ 이므로 1 mol이 완전 연소할 때 반응 엔탈피는 $-\frac{1528}{2} \text{ kJ} = -764 \text{ kJ}$ 이다. $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$ 1 mol의 엔탈피는 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 1 mol의 엔탈피보다 37 kJ이 작으므로 $x = -764 + 37 = -727 \text{ kJ}$ 이다.

다른 풀이 반응 (다)는 $\frac{1}{2} \times \text{반응 (가)} + \text{반응 (나)}$ 로 구할 수 있다. 따라서 반응 (다)의 반응 엔탈피는 $\frac{1}{2} \times (-1528) + 37 = -727 \text{ kJ}$ 이다.

229 ㄱ. 주어진 반응의 반응 엔탈피의 부호가 (-)이므로 이 반응은 발열 반응이다. 따라서 엔탈피 합은 반응물이 생성물보다 크다.

ㄴ. 발열 반응으로 반응이 일어날 때 열을 주위로 방출하므로 주위의 온도가 높아진다.

ㄷ. $\text{CO}(\text{g})$ 56 g의 양은 $\frac{56}{28} = 2 \text{ mol}$ 이고, 1 mol의 $\text{CO}(\text{g})$ 가 반응할 때 283 kJ의 열을 방출하므로 $\text{CO}(\text{g})$ 56 g이 완전 연소할 때 566 kJ의 열을 방출한다.

230 **모범 답안** 물 96 g에 $\text{NaOH}(\text{s})$ 4 g을 모두 녹인 용액의 질량은 100 g이고, $\text{NaOH}(\text{s})$ 4 g이 모두 용해되었을 때 용액의 온도가 5°C 높아졌으므로 수용액이 흡수한 열량은 $Q = 4.2 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) \times 100 \text{ g} \times 5^\circ\text{C} = 2100 \text{ J}$ 이다. NaOH 4 g의 양은 0.1 mol이므로 NaOH 1 mol이 모두 용해될 때 방출한 열량은 21000 J이다. 따라서 NaOH 의 용해 엔탈피는 -21 kJ/mol 이다.

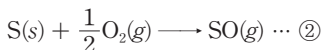
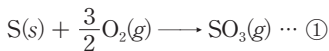
채점 기준	배점
용해 엔탈피와 풀이 과정이 모두 옳은 경우	100 %
용해 엔탈피만 옳은 경우	50 %

231 ㄱ. $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 1 mol이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피가 연소 엔탈피이므로 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 의 연소 엔탈피는 -2219.2 kJ/mol 이다.

ㄴ. 발열 반응이므로 반응물의 엔탈피 합은 생성물의 엔탈피 합보다 크다.

바로알기 ㄷ. $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 22 g은 0.5 mol이므로 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 22 g이 충분한 양의 산소와 반응할 때 2219.2 kJ 의 $\frac{1}{2}$ 에 해당하는 열이 방출된다.

232 ㄴ. $\text{SO}_3(\text{g})$ 의 생성 엔탈피와 $\text{SO}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 각각 다음 반응의 반응 엔탈피이다.

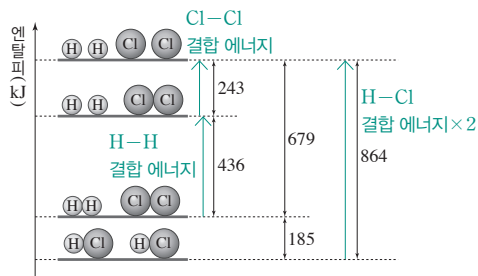


이로부터 ($\text{SO}_3(\text{g})$ 의 생성 엔탈피 - $\text{SO}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피)는 ①식 - ②식이고, ①식 - ②식으로부터 구한 화학 반응식은 $\text{SO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{SO}_3(\text{g})$ 이다. 따라서 $\text{SO}_3(\text{g})$ 의 생성 엔탈피 - $\text{SO}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피 = c kJ이다.

ㄷ. $\text{O}_2(\text{g})$ 의 결합 에너지는 $\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{O}(\text{g})$ 반응의 반응 엔탈피와 같다. 이 화학 반응식은 제시된 열화학 반응식을 각각 (가), (나), (다)라고 할 때 (다) - {(가) + (나)}로 구할 수 있다. 따라서 이 자료로부터 구한 $\text{O}_2(\text{g})$ 의 결합 에너지는 $(-a-b+c)$ kJ/mol이다.

바로알기 ㄱ. $\text{SO}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 SO_2 을 구성하는 가장 안정한 원소 물질인 $\text{S}(\text{s})$ 과 $\text{O}_2(\text{g})$ 로부터 $\text{SO}_2(\text{g})$ 1 mol이 생성될 때의 엔탈피이다. 따라서 $\text{SO}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 a kJ/mol이 아니다.

233



ㄱ. H-H 결합의 결합 에너지는 436 kJ/mol이고, Cl-Cl 결합의 결합 에너지는 243 kJ/mol이다.

ㄴ. H-Cl 결합의 결합 에너지는 $\frac{864}{2}$ kJ/mol이다.

바로알기 ㄷ. $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$ 반응의 반응 엔탈피는 반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합이므로 $\Delta H = (436 + 243) - 2 \times 432 = -185$ kJ이다.

234 ㄱ. 결합 에너지가 클수록 결합을 끊는 데 더 많은 에너지가 필요하므로 결합의 세기가 강하다. 결합 에너지는 $\text{X}_2(\text{g})$ 가 $\text{XY}(\text{g})$ 보다 크므로 결합의 세기는 $\text{X}_2(\text{g})$ 가 $\text{XY}(\text{g})$ 보다 강하다.

ㄴ. 주어진 화학 반응의 반응 엔탈피의 부호가 (-)이고 반응물과 생성물이 모두 기체 상태이므로 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합)과 같다. 따라서 생성물의 결합 에너지 합은 반응물의 결합 에너지 합보다 크다.

ㄷ. 이 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합} = (436 + x) - 2 \times 298 = -8$ 이므로 $x = 152$ 이다.

235 ㄷ. $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 기화 엔탈피(ΔH)는 $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 반응의 반응 엔탈피이므로 $\frac{571.6 - 483.6}{2}$ kJ/mol = 44 kJ/mol이다.

바로알기 ㄱ. 25 °C, 1기압에서 $\text{H}_2(\text{g})$ 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 엔탈피와 같으므로 $-\frac{571.6}{2}$ kJ/mol이다.

ㄴ. 생성 엔탈피는 그 물질을 구성하는 가장 안정한 원소 물질로부터 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피이다. 엔탈피는 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 보다 작으므로 생성 엔탈피의 절댓값은 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 보다 크다.

236 ㄱ. 제시된 그림의 ΔH_1 은 $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) + \text{O}(\text{g})$ 의 반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식을 정리하면 $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g})$ 이다. 따라서 $\Delta H_1 = c$ kJ이다.

ㄴ. 제시된 그림의 ΔH_2 는 $\text{NO}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + \text{O}(\text{g})$ 의 반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식을 정리하면 $\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{O}(\text{g})$ 이다. 따라서 $\Delta H_2 = \frac{1}{2}a$ kJ이다.

ㄷ. 제시된 그림의 ΔH_3 는 $\text{NO}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g})$ 의 반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식을 정리하면 $\frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{O}_3(\text{g})$ 이다. 따라서 $\Delta H_3 = -\frac{1}{2}b$ kJ이다.

237 **모범 답안** 제시된 반응의 반응물과 생성물은 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합)이다. 즉 $\Delta H = (x + 3b) - 6c = a$ 이므로 $x = a - 3b + 6c$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정을 포함하여 x 를 옳게 나타낸 경우	100 %
x 만 옳게 나타낸 경우	80 %

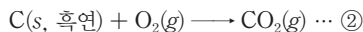
238 제시된 반응의 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합)이다.

N_2H_4 의 구조식은 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \\ \text{H}-\text{N}-\text{N}-\text{H} \end{array}$ 이므로 $\Delta H = \{2(\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + (\text{N}=\text{N} \text{ 결합 에너지})\} - \{4(\text{H}-\text{N} \text{ 결합 에너지}) + (\text{N}-\text{N} \text{ 결합 에너지})\} = (2 \times 436 + 946) - (4 \times 390 + 240) = 18$ kJ이다. 따라서 $x = 18$ 이다.

239 주어진 2가지 화학 반응식을 각각 ①, ②라고 하면 ① + 6 × ②는 $2\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 4\text{NH}_3(\text{g})$ $\Delta H = (1530 + 6x)$ kJ이다. 이 화학 반응식에서 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 이 반응의 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합)과 같으므로 다음 관계식이 성립한다.
 $2 \times 945 + 6 \times 435 - 12 \times 390 = 1530 + 6x$ 이므로 $x = -285$ 이다.

240 ㄱ. 같은 물질의 엔탈피는 기체가 고체보다 크므로 고체가 기체로 되는 승화 반응은 흡열 반응이다. 따라서 $a > 0$ 이다.

ㄴ. $\text{CO}_2(\text{s})$ 의 생성 엔탈피는 CO_2 를 구성하는 C와 O의 가장 안정한 원소 물질인 C(s, 흑연)과 $\text{O}_2(\text{g})$ 로부터 $\text{CO}_2(\text{s})$ 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피이다. 즉, $\text{C}(\text{s, 흑연}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{s})$ 반응의 반응 엔탈피가 $\text{CO}_2(\text{s})$ 의 생성 엔탈피이고, 이 반응은 $\text{CO}_2(\text{s}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) \cdots \textcircled{1}$



에서 ② - ①과 같다. 따라서 $\text{CO}_2(\text{s})$ 의 생성 엔탈피는 $(b - a)$ kJ/mol이다.

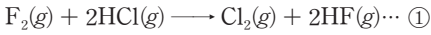
바로알기 ㄷ. $\text{CO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{C}(\text{g}) + 2\text{O}(\text{g})$ 반응이 일어날 때 CO_2 에 존재하는 C=O 결합 2 mol이 끊어지므로 이 자료로부터 구한 C=O의 결합 에너지는 $\frac{c}{2}$ kJ/mol이다.

241 ㄱ. $\text{HCOOCH}_3(\text{g}) \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$ 반응이 발열 반응이므로 1 mol의 엔탈피는 반응물인 $\text{HCOOCH}_3(\text{g})$ 이 생성물인 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$ 보다 크다.

ㄷ. $\text{HCOOCH}_3(g)$ 과 $\text{CH}_3\text{COOH}(g)$ 은 분자식이 같으므로 연소 생성물의 종류와 양이 같다. 이때 엔탈피는 $\text{HCOOCH}_3(g)$ 이 $\text{CH}_3\text{COOH}(g)$ 보다 크므로 연소 엔탈피의 절댓값은 $\text{HCOOCH}_3(g)$ 이 $\text{CH}_3\text{COOH}(g)$ 보다 크다.

바로알기 ㄴ. 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합)이다. 이때 $\Delta H < 0$ 이므로 결합 에너지 합은 생성물인 $\text{CH}_3\text{COOH}(g)$ 이 반응물인 $\text{HCOOCH}_3(g)$ 보다 크다.

242 주어진 화학 반응식을 각각 ①, ②라고 하면



②-①은 $\text{H}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow 2\text{HCl}(g)$ 이고, 이 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = a - (-362) = (a + 362) \text{ kJ}$ 이다. 한편, 이 반응의 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합)과 같으므로 다음 관계식이 성립한다.

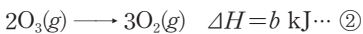
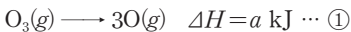
$$\Delta H = (436 + 243) - (2 \times 432) = -185 \text{에서 } a + 362 = -185 \text{이므로 } a = -547 \text{이다.}$$

243 ㄱ. $\text{H}_2(g)$ 와 $\text{Cl}_2(g)$ 가 반응하여 $\text{HCl}(g)$ 를 생성하는 반응의 화학 반응식은 $\text{H}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow 2\text{HCl}(g)$ 이다. 이 반응의 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합) = $436 + 243 - 2 \times 432 = -185 \text{ kJ}$ 인데, 반응 엔탈피 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 반응이 진행될 때 열을 주위로 방출한다.

ㄷ. 발열 반응이므로 엔탈피 합은 반응물이 생성물보다 크다. 따라서 반응이 진행될 때 물질의 엔탈피 합은 감소한다.

바로알기 ㄴ. $\text{HCl}(g)$ 가 가장 안정한 원소 물질인 $\text{H}_2(g)$ 와 $\text{Cl}_2(g)$ 로부터 2 mol 생성될 때의 반응 엔탈피가 -185 kJ 이므로 $\text{HCl}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $-\frac{185}{2} \text{ kJ/mol}$ 이다.

244 $\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 반응의 반응 엔탈피이다. 주어진 화학 반응식을 각각 ①, ②라고 하면



$$\frac{2}{3} \times \text{①} - \frac{1}{3} \times \text{②} \text{로부터 구한 화학 반응식이 } \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g) \text{이므로}$$

$$\text{O}_2(g) \text{의 결합 에너지는 } \frac{2a-b}{3} \text{ kJ/mol이다.}$$

245 ㄱ. $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 엔탈피(ΔH)는 $\text{C}(s, \text{흑연}) \longrightarrow \text{C}(g)$ 의 반응 엔탈피와 같고, 이 반응의 반응 엔탈피는 (생성물의 생성 엔탈피) - (반응물의 생성 엔탈피)이고, $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 생성 엔탈피가 0이므로 $\text{C}(g)$ 의 생성 엔탈피와 같다. 따라서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 엔탈피(ΔH)는 $x \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄴ. $\text{H}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}(g)$ 의 반응 엔탈피와 같고, 이 반응의 반응 엔탈피는 $\text{H}(g)$ 의 생성 엔탈피의 2배에 해당한다. 따라서 $\text{H}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $2 \times 218 = 436 \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄷ. $\text{C}_2\text{H}_2(g) \longrightarrow 2\text{C}(g) + 2\text{H}(g)$ 의 반응 엔탈피는 (생성물의 생성 엔탈피 합 - 반응물의 생성 엔탈피 합)이다. 따라서 $a = (2x + 2 \times 218) - 226 = 2x + 210$ 이며, x 는 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 엔탈피로 양(+)의 값이므로 $a > 210$ 이다.

246 ㄱ. $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 연소 엔탈피(ΔH)는 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 이 완전 연소하는 반응의 반응 엔탈피이므로 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g)$ 반

응의 반응 엔탈피이다. 따라서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 연소 엔탈피는 $a \text{ kJ/mol}$ 이다.

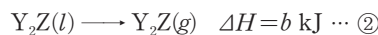
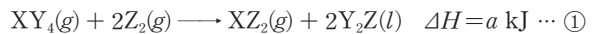
ㄷ. $\text{CH}_4(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 다음 반응의 반응 엔탈피이다.



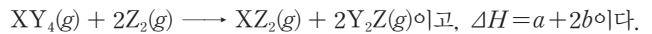
제시된 반응을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면 이 반응은 ①+②-③으로 구할 수 있다. 따라서 $\text{CH}_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\Delta H = (a + b - c) \text{ kJ/mol}$ 이다.

바로알기 ㄴ. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 분해 엔탈피(ΔH)는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1 mol이 가장 안정한 원소 물질로 분해되는 반응의 반응 엔탈피이다. 따라서 $\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g)$ 의 반응 엔탈피와 같으므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 분해 엔탈피(ΔH)는 $-\frac{b}{2} \text{ kJ/mol}$ 이다.

247 주어진 화학 반응식을 각각 ①, ②라고 하면



①+2×②로부터 구한 화학 반응식은



한편, 이 반응의 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합}) = \{4(\text{X}-\text{Y} \text{ 결합 에너지}) + 2(\text{Z}=\text{Z} \text{ 결합 에너지})\} - \{2(\text{X}=\text{Z} \text{ 결합 에너지}) + 4(\text{Z}-\text{Y} \text{ 결합 에너지})\} = (4c + 2d) - (2c + 4x) = a + 2b$ 에서 $x = -\frac{a+2b-2c-2d}{4}$ 이다.

248 ㄱ. $\text{B}(g) \longrightarrow \text{A}(g)$ 의 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합)과 같고, $\Delta H > 0$ 이므로 결합 에너지 합은 $\text{B}(g)$ 가 $\text{A}(g)$ 보다 크다.

ㄴ. $\text{B}(g) \longrightarrow \text{A}(g)$ 반응으로부터 A와 B는 분자식이 같다는 것을 알 수 있다. A, B는 모두 C, H로 구성된 화합물이므로 $\text{B}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $a\text{C}(s, \text{흑연}) + b\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{B}(g)$ 의 반응 엔탈피와 같다. 제시된 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면 이 화학 반응식은 ①-③으로 구할 수 있다. 따라서 $\text{B}(g)$ 의 생성 엔탈피(kJ/mol)는 $-126 - 8 = -134$ 이다.

ㄷ. 엔탈피는 $\text{A}(g)$ 가 $\text{B}(g)$ 보다 8 kJ만큼 크고, $\text{B}(g)$ 의 연소 엔탈피는 -2880 kJ/mol 이므로 $\text{A}(g)$ 의 연소 엔탈피는 -2888 kJ/mol 이다.

249 주어진 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②라고 하면



①의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합}) = \{2(\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + (\text{N} \equiv \text{N} \text{ 결합 에너지})\} - \{(\text{N}-\text{N} \text{ 결합 에너지}) + 4(\text{N}-\text{H} \text{ 결합 에너지})\} = (2 \times 436 + y) - (x + 4 \times 390) = 97$ 에서 $y - x = 785$ 이다.



②의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합}) = \{4(\text{N}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + (\text{N}-\text{N} \text{ 결합 에너지}) + (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지})\} - \{6(\text{N}-\text{H} \text{ 결합 에너지})\} = \{(\text{N}-\text{N} \text{ 결합 에너지}) + (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지})\} - 2(\text{N}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) = x + 436 - 2 \times 390 = -184$ 에서 $x = 160$ 이다. $y - x = 785$ 에서 $x = 160$ 이므로 $y = 945$ 이고, $x + y = 1105$ 이다.

빈출 자료 보기

75쪽

250 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

251 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

250 (1) 연소 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 연소할 때의 반응 엔탈피이므로 C(s, 흑연)의 연소 엔탈피는 ΔH_1 이다.

(2) CO(g)의 연소 엔탈피는 $\text{CO(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{CO}_2\text{(g)}$ 의 반응 엔탈피이므로 ΔH_3 이다.

(3) 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합이 같으므로 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다. 따라서 $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3$ 이다.

바로알기 | (4) CO(g)의 표준 생성 엔탈피는 $\text{C(s, 흑연)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{CO(g)}$ 의 반응 엔탈피이다. 따라서 CO(g)의 표준 생성 엔탈피는 ΔH_2 이고, $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 = -393.5 - (-283.0) = -110.5 \text{ kJ}$ 이므로 CO(g)의 표준 생성 엔탈피는 -110.5 kJ/mol 이다.

(5) $\text{CO}_2\text{(s)}$ 의 표준 생성 엔탈피는 $\text{C(s, 흑연)} + \text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{CO}_2\text{(s)}$ 의 반응 엔탈피이다. 엔탈피는 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 가 $\text{CO}_2\text{(s)}$ 보다 크고, $\text{CO}_2\text{(g)}$ 의 표준 생성 엔탈피는 ΔH_1 이므로 $\text{CO}_2\text{(s)}$ 의 표준 생성 엔탈피는 ΔH_1 보다 작다.

251 (1) 생성 엔탈피는 C(s, 흑연)이 0이고, C(s, 다이아몬드)가 0보다 크므로 C(s, 흑연)은 C(s, 다이아몬드)보다 안정하다.

(2) $\text{N}_2\text{(g)}$ 와 $\text{O}_2\text{(g)}$ 로부터 $\text{NO}_2\text{(g)}$ 가 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\text{N}_2\text{(g)} + 2\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\text{NO}_2\text{(g)}$ 이고, 이 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 생성 엔탈피 합})$ 으로 구할 수 있다. 즉 $\Delta H = 2 \times 33.2$ 이고, $\Delta H > 0$ 이므로 이 반응은 흡열 반응이다.

(3) CO(g)의 연소 엔탈피는 $\text{CO(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{CO}_2\text{(g)}$ 의 반응 엔탈피이고, 이 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 생성 엔탈피 합})$ 이다. 따라서 $\Delta H = -393.5 - (-110.5) = -283 \text{ kJ}$ 이므로 CO(g)의 연소 엔탈피는 -283 kJ/mol 이다.

바로알기 | (4) $\text{C(s, 다이아몬드)} + \text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{CO}_2\text{(g)}$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 생성 엔탈피 합})$ 이므로 $-393.5 - 1.9 = -395.4 \text{ kJ}$ 이다.

난이도별 필수 기출

76쪽~83쪽

252 ③, ⑥	253 ⑤	254 해설 참조	255 ②
256 ②	257 ②	258 ⑤	259 ③
262 해설 참조	263 ③	264 ④	265 ①
266 해설 참조	267 ③	268 ③	269 ③
271 ③	272 ⑤	273 ⑤	274 ⑤
277 ③	278 ②	279 해설 참조	280 ⑤
282 ⑤	283 ②	284 ②	281 ①

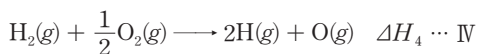
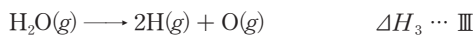
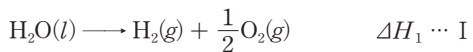
252 ① $\text{H}_2\text{O(l)}$ 의 생성 엔탈피는 $\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O(l)}$

의 반응 엔탈피이고, 주어진 그림에서 $\text{H}_2\text{O(l)} \longrightarrow \text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)}$ 의 반응 엔탈피가 ΔH_1 이므로 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 의 생성 엔탈피는 $-\Delta H_1$ 이다.

② $\text{H}_2\text{O(g)} \longrightarrow 2\text{H(g)} + \text{O(g)}$ 반응이 일어날 때 2 mol의 H-O 결합이 끊어지므로 $\Delta H_3 = 2 \times (\text{H-O 결합 에너지})$ 이다. 따라서 $\Delta H_3 = 2 \times 460 = 920 \text{ kJ}$ 이다.

④ 헤스 법칙에 의하면 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합이 같으므로 $\Delta H_1 + \Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.

⑤ 주어진 자료를 이용하면 다음과 같은 4가지 열화학 반응식을 만들 수 있다.



한편, $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 생성 엔탈피는 $\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$ 의 반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식은 II - I로 구할 수 있으므로 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 생성 엔탈피는 $\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1$ 이다.

바로알기 | ③ $\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\text{H(g)} + \text{O(g)}$ 반응이 일어날 때 H-H 결합 1 mol과 O=O 결합 $\frac{1}{2}$ mol이 끊어지므로 $\Delta H_4 =$

$(\text{H-H 결합 에너지}) + \frac{1}{2}(\text{O=O 결합 에너지}) = 436 + \frac{1}{2} \times 498 = 685 \text{ kJ}$ 이다.

⑥ $\text{H}_2\text{O(l)} \longrightarrow 2\text{H(g)} + \text{O(g)}$ 반응은 II + III으로 구할 수 있으므로 이 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다. 이때 ΔH_3 는 $2 \times (\text{H-O 결합 에너지}) = 920 \text{ kJ}$ 이다. ΔH_2 는 $\text{H}_2\text{O(l)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$ 의 반응 엔탈피로 물의 기화는 열을 흡수하는 흡열 반응이므로 $\Delta H_2 > 0$ 이다. 따라서 $\Delta H > 920$ 이다.

253 ㄱ. $\text{CO}_2\text{(g)}$ 의 생성 엔탈피는 반응 (가)의 반응 엔탈피와 같으므로 -393.5 kJ/mol 이다.

ㄴ. $\text{H}_2\text{O(l)}$ 의 분해 엔탈피는 반응 (나)의 역반응의 반응 엔탈피와 같으므로 285.8 kJ/mol 이다.

ㄷ. $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응 엔탈피이다.

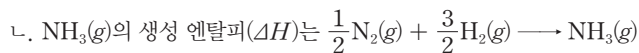
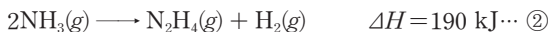
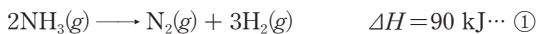


이 화학 반응식은 $3 \times (\text{가}) + 4 \times (\text{나}) - (\text{다})$ 로 구할 수 있으므로 $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$ 의 생성 엔탈피는 $3 \times (-393.5) + 4 \times (-285.8) - (-2219.2) = -104.5 \text{ kJ/mol}$ 이다.

254 **모범 답안** 제시된 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면 $3\text{A(g)} \longrightarrow 2\text{D(g)}$ 반응은 $3 \times \text{①} - 2 \times \text{③}$ 으로 구할 수 있다. 따라서 이 반응의 반응 엔탈피는 $3a - b + 2c$ 이다.

채점 기준	배점
반응 엔탈피를 a, b, c로 옳게 나타내고, 풀이 과정이 모두 옳은 경우	100 %
반응 엔탈피를 a, b, c로 옳게 나타낸 경우	50 %

255 제시된 2가지 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②라고 하면 다음과 같다.



의 반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식은 $-\frac{1}{2} \times \text{①}$ 과 같으므로 $\text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 -45 kJ/mol 이다.

바로알기 | ㄱ. 제시된 2가지 반응의 반응 엔탈피가 모두 0보다 크므로 반응이 일어날 때 주위로부터 열을 흡수하는 흡열 반응이다.

ㄴ. $\text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\text{N}_2(g) + 2\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식은 $\text{②} - \text{①}$ 과 같으므로 $\text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 $(190 - 90) \text{ kJ/mol} = 100 \text{ kJ/mol}$ 이다.

256 ㄴ. $2\text{NO}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 헤스 법칙에 의해 $\Delta H_2 = \Delta H_4 + (-\Delta H)$ 이므로 $\Delta H = \Delta H_4 - \Delta H_2$ 이다.

바로알기 | ㄱ. $\text{NO}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}(g)$ 의 반응 엔탈피이므로 $\frac{1}{2}\Delta H_2$ 이다.

ㄴ. $\text{N}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $\text{N}_2(g) \longrightarrow 2\text{N}(g)$ 의 반응 엔탈피이고, $\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 제시된 반응의 엔탈피 관계로부터 $\Delta H_3 + \Delta H_4$ 는 $(\text{N}_2(g)$ 의 결합 에너지 $+ 2 \times \text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지)이므로 $\text{N}_2(g)$ 의 결합 에너지와 $\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지 합은 $(\Delta H_3 + \Delta H_4)$ 보다 작다.

257 ㄴ. $\text{O}_3(g)$ 1 mol에 있는 모든 결합을 끊는 데 필요한 에너지는 $\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피와 같다. 이 식은 $\frac{1}{2} \times \text{①} + \frac{3}{2} \times \text{②}$ 로 구할 수 있으므로 $\text{O}_3(g)$ 1 mol에 있는 모든 결합을 끊는 데 필요한 에너지는 $\frac{\Delta H_1 + 3\Delta H_2}{2}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. $\text{O}_3(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\frac{3}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{O}_3(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 제시된 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면 이 화학 반응식은 $-\frac{1}{2} \times \text{①}$ 과 같으므로 $\text{O}_3(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 $-\frac{1}{2}\Delta H_1$ 이다.

ㄴ. $2\text{NO}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g)$ 은 $2 \times \text{③} - \text{①}$ 로 구할 수 있으므로 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 $2\Delta H_3 - \Delta H_1$ 이다.

258 ㄱ. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 기화 엔탈피가 44 kJ/mol 이므로 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 액화 엔탈피는 -44 kJ/mol 이다. H_2O 의 분자량이 18이고, H_2O 9 g은 0.5 mol 이므로 0.5 mol 의 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 액화할 때 22 kJ 의 열이 방출된다.

ㄴ. $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 이 화학 반응식은 $(\frac{1}{2} \times \text{두 번째 화학 반응식})$ 의 역반응이므로 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 -242 kJ/mol 이다.

ㄴ. 1 mol의 엔탈피는 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 보다 44 kJ 만큼 크므로 $2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow 2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g)$ 의 반응 엔탈피는 $2\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow 2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g)$ 의 반응 엔탈피보다 88 kJ 만큼 크다. 따라서 $x > 484$ 이다.

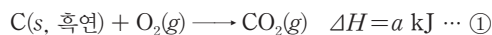
259 ㄱ. 주어진 자료에서 $6\text{C}(s, \text{흑연}) + 6\text{H}_2(g) + 9\text{O}_2(g) \longrightarrow 6\text{H}_2\text{O}(l) + 6\text{C}(s, \text{흑연}) + 6\text{O}_2(g)$ 의 반응 엔탈피는 $-(\Delta H_3 + \Delta H_4)$ 이다. 이 열화학 반응식을 정리하면 $6\text{H}_2(g) + 3\text{O}_2(g) \longrightarrow 6\text{H}_2\text{O}(l)$ 이다. 이 반응의 반응 엔탈피는 수소와 산소의 가장 안정한 원소 물질로부터 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 6 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1 mol이 생성될 때의 엔탈피, 즉 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 $-\frac{(\Delta H_3 + \Delta H_4)}{6}$ 이다.

ㄴ. 헤스 법칙에 의해 $-(\Delta H_1 + \Delta H_2) = \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$ 이다. 따라서 $\Delta H_3 = -(\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_4 + \Delta H_5)$ 이다.

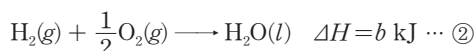
바로알기 | ㄴ. 자료에서 ΔH_3 는 $6\text{H}_2\text{O}(g) + 6\text{C}(s, \text{흑연}) + 6\text{O}_2(g) \longrightarrow 6\text{C}(s, \text{흑연}) + 6\text{H}_2(g) + 9\text{O}_2(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 이 화학 반응식을 정리하면 $6\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow 6\text{H}_2(g) + 3\text{O}_2(g)$ 이다. 이 반응의 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H_3 = 12 \times (\text{O-H 결합 에너지}) - \{6 \times (\text{H-H 결합 에너지}) + 3 \times (\text{O=O 결합 에너지})\}$ 이다. 따라서 $(\text{O-H 결합 에너지}) = \frac{1}{12} \{ \Delta H_3 + 6 \times (\text{H-H 결합 에너지}) + 3 \times (\text{O=O 결합 에너지}) \}$ 이다.

260 주어진 자료로부터 열화학 반응식을 완성하면 다음과 같다.

[C(s, 흑연)의 연소 엔탈피]



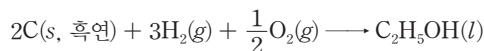
[H₂(g)의 연소 엔탈피]



[C₂H₅OH(l)의 연소 엔탈피]



[C₂H₅OH(l)의 생성 엔탈피]



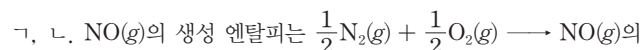
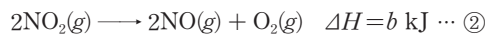
$$\Delta H = x \text{ kJ} \cdots \text{④}$$

ㄱ. ①은 $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피와 같으므로 $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $a \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄴ. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 의 생성 엔탈피는 ④의 반응 엔탈피이고, ④는 $2 \times \text{①} + 3 \times \text{②} - \text{③}$ 으로 구할 수 있으므로 $x = 2a + 3b - c$ 이다.

바로알기 | ㄴ. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 기화 엔탈피는 $\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피이고, ①~④식에는 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 를 포함한 식이 없으므로 주어진 자료만으로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 기화 엔탈피를 구할 수 없다.

261 제시된 자료의 반응 엔탈피에 해당하는 열화학 반응식은 각각 다음과 같다.



반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식은 $\frac{1}{2}(\text{①} + \text{②})$ 로 구할 수 있으므로

$\text{NO}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}(a + b) \text{ kJ/mol}$ 이다. 한편, $\text{NO}_2(g)$ 의 생

성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피이고, 이

화학 반응식은 $\frac{1}{2} \times \text{①}$ 이므로 $\text{NO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}a \text{ kJ/mol}$

이다. 주어진 자료에서 a, b 는 흡열 반응의 반응 엔탈피이므로 모두 0보다 크다. 따라서 생성 엔탈피는 $\text{NO}(g)$ 가 $\text{NO}_2(g)$ 보다 크다는 것을

알 수 있다. 같은 원소로부터 생성되는 화합물의 생성 엔탈피가 작을수록 열역학적으로 안정하므로 $\text{NO}_2(g)$ 가 $\text{NO}(g)$ 보다 안정하다.

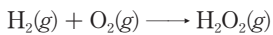
ㄷ. $\text{NO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 은 $-\frac{1}{2} \times ②$ 이므로 이 반응의 반응 엔탈피는 $-\frac{b}{2} \text{ kJ}$ 이다.

262 **모범 답안** 제시된 화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③, ④라고 하면, ③은 $\frac{1}{2} \times (② - ①) + ④$ 로 구할 수 있다. 따라서 $x = \frac{1}{2} \{-2220 - (-2044)\} + 572 = 484$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정을 포함하여 x 를 옳게 구한 경우	100 %
x 만 옳게 구한 경우	50 %

263 제시된 자료의 열화학 반응식을 완성하면 다음과 같다.
 $2\text{H}_2(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{H}(g) + 4\text{O}(g) \quad \Delta H = a \text{ kJ} \cdots ①$
 $2\text{H}_2\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{H}(g) + 4\text{O}(g) \quad \Delta H = b \text{ kJ} \cdots ②$
 $2\text{H}_2\text{O}(g) + 2\text{O}(g) \longrightarrow 4\text{H}(g) + 4\text{O}(g) \quad \Delta H = c \text{ kJ} \cdots ③$
 ㄱ. ①의 반응 엔탈피는 $2 \times (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (\text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지})$ 와 같으므로 $a = 2 \times 436 + 2 \times 498 = 1868$ 이다.
 ㄷ. $\text{H}_2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g) + \text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피를 ΔH 라고 하고, 주어진 자료에서 헤스 법칙을 적용하면 $2\Delta H + c = b$ 이므로 $\Delta H = \frac{1}{2}(b - c)$ 이다. 한편, ③의 반응 엔탈피는 $4 \times (\text{O}-\text{H} \text{ 결합 에너지})$ 와 같으므로 $c = 4 \times 460 = 1840$ 이다. 따라서 $\text{H}_2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g) + \text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = \frac{1}{2}(2200 - 1840) = 180 \text{ kJ}$ 이다.

바로알기 ㄴ. $\text{H}_2\text{O}_2(g)$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 다음 화학 반응식의 반응 엔탈피이다.



이 화학 반응식은 $\frac{1}{2} (① - ②)$ 로 구할 수 있으므로 반응 엔탈피는 $\frac{1}{2}(a - b)$ 이다. 반응 ②의 반응 엔탈피는 $4 \times (\text{O}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (\text{O}-\text{O} \text{ 결합 에너지})$ 와 같으므로 $b = 4 \times 460 + 2 \times 180 = 2200$ 이다. 따라서 $\text{H}_2\text{O}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\Delta H = \frac{1}{2}(1868 - 2200) = -166 \text{ kJ/mol}$ 이다.

264 제시된 2가지 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②라고 하면 ① + $2 \times ②$ 로부터 얻은 화학 반응식은
 $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H = (2x - 890) \text{ kJ}$ 이다. 한편, 이 화학 반응식의 반응물과 생성물이 모두 기체이므로
 $\Delta H = \{4 \times (\text{C}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (\text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지})\} - \{2 \times (\text{C}=\text{O} \text{ 결합 에너지}) + 4 \times (\text{O}-\text{H} \text{ 결합 에너지})\} = (4a + 2b) - (2c + 4d)$ 이다. 따라서 $2x - 890 = 4a + 2b - 2c - 4d$ 이므로 $x = 2a + b - c - 2d + 445$ 이다.

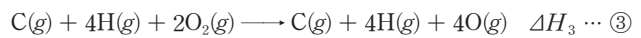
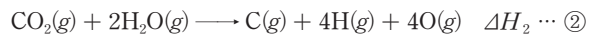
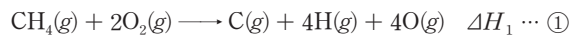
265 주어진 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②라고 하면 $2 \times ① - ②$ 로부터 얻은 화학 반응식은
 $2\text{C}_2\text{H}_4(g) \longrightarrow \text{C}_4\text{H}_8(g) \quad \Delta H = (2a - b) \text{ kJ}$ 이다.
 이 반응의 반응 엔탈피는
 $\Delta H = 2\{(\text{C}=\text{C} \text{ 결합 에너지}) + 4 \times (\text{C}-\text{H} \text{ 결합 에너지})\} - \{(\text{C}=\text{C} \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (\text{C}-\text{C} \text{ 결합 에너지}) + 8 \times (\text{C}-\text{H} \text{ 결합 에너지})\} = (\text{C}=\text{C} \text{ 결합 에너지}) - 2 \times (\text{C}-\text{C} \text{ 결합 에너지}) = y - 2x = 2a - b$ 이다. 따라서

$$2x - y = -2a + b \text{이다.}$$

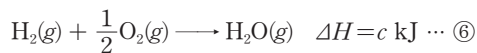
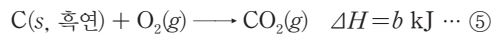
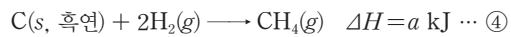
266 **모범 답안** 주어진 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면, $\text{NO}(g) + \text{O}(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 반응은 $\frac{1}{2} \times ③ - (\frac{1}{6} \times ① + \frac{1}{3} \times ②)$ 로 구할 수 있으므로 이 반응의 반응 엔탈피는 $\frac{c}{2} - (\frac{a}{6} + \frac{b}{3}) = \frac{1}{6}(-a - 2b + 3c)$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정을 포함하여 반응 엔탈피를 옳게 구한 경우	100 %
반응 엔탈피만 옳게 구한 경우	50 %

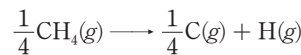
267 제시된 자료의 ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 의 엔탈피에 해당하는 반응의 열화학 반응식을 완성하면 다음과 같다.



한편, 표에서 제시된 생성 엔탈피를 갖는 열화학 반응식은 다음과 같다.



ㄱ. C-H의 결합 에너지를 구하는 열화학 반응식은 다음과 같다.

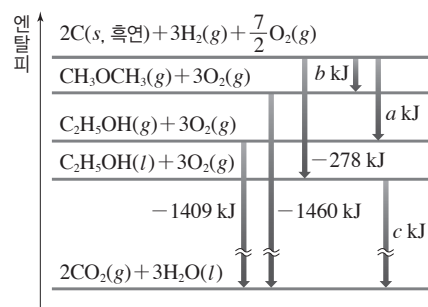


이 화학 반응식은 $\frac{1}{4}(① - ③)$ 으로 구할 수 있으므로 C-H의 결합 에너지는 $\frac{\Delta H_1 - \Delta H_3}{4}$ 이다.

ㄷ. $\Delta H_1 - \Delta H_2$ 는 ① - ②로 구한 화학 반응식의 반응 엔탈피이고, $-a + b + 2c$ 는 $-④ + ⑤ + 2 \times ⑥$ 으로 구한 열화학 반응식의 반응 엔탈피이다. ① - ②로 구한 화학 반응식은 $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$ 이고, $-④ + ⑤ + 2 \times ⑥$ 으로 구한 화학 반응식 또한 $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$ 이다. 따라서 $\Delta H_1 - \Delta H_2 = -a + b + 2c$ 이다.

바로알기 ㄴ. $-(b + 2c)$ 는 $-(⑤ + 2 \times ⑥)$ 으로 구한 화학 반응식의 반응 엔탈피이다. $-(⑤ + 2 \times ⑥)$ 으로 구한 화학 반응식은 $\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \text{C}(s, \text{흑연}) + 2\text{H}_2(g) + 2\text{O}_2(g)$ 이다. ΔH_2 는 ②의 반응 엔탈피이므로 ΔH_2 는 $-(b + 2c)$ 보다 (C(s, 흑연)의 승화 엔탈피 + $2 \times (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (\text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지})$)만큼 크다.

268 자료에 해당하는 열화학 반응식으로부터 엔탈피 관계를 나타내면 다음과 같다.



ㄱ. 절댓값은 a 가 b 보다 크고 a 와 b 는 음수이므로 $a < b$ 이다.

ㄷ. $\text{CH}_3\text{OCH}_3(g)$ 와 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 의 분자식이 같고, 1 mol의 엔탈피는 $\text{CH}_3\text{OCH}_3(g)$ 가 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 보다 크므로 분해 엔탈피는 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 이 $\text{CH}_3\text{OCH}_3(g)$ 보다 크다.

바로알기 | ㄴ. $c > -1409$ 이다.

269 ㄱ. 제시된 자료에서 ΔH_1 의 반응 엔탈피를 갖는 반응의 열화학 반응식은 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{C}(g) + 2\text{O}(g)$ 이므로 ΔH_1 은 $\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지와 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 엔탈피 합과 같다. ($\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지 + $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 엔탈피)는 $a \text{ kJ}$ 이고, $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 승화 엔탈피는 양의 값을 가지므로 $\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $a \text{ kJ}$ 보다 작다.

ㄴ. 제시된 자료에서 ΔH_2 의 반응 엔탈피를 갖는 반응의 열화학 반응식은 $\text{C}(s, \text{흑연}) \longrightarrow \text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 이다. 25°C , 1기압에서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 생성 엔탈피는 0이므로 C 의 원소 물질 중 가장 안정한 원소 물질은 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 이다. 따라서 $\text{C}(s, \text{흑연}) \longrightarrow \text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 의 반응 엔탈피는 흡열 과정이므로 $b > 0$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 헤스 법칙에 따라 $a + c = b + d$ 이므로 $a = b - c + d$ 이다.

270 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 생성 엔탈피 합에서 반응물의 생성 엔탈피 합을 뺀 값과 같으므로 $\Delta H = \{2 \times (-393.5) + 2 \times (-285.8)\} - x = -1411$ 에서 $x = 52.4$ 이다.

271 ㄱ. 25°C , 1기압에서 $\text{O}_2(g)$ 의 생성 엔탈피가 0이므로 산소로만 이루어진 물질 중 가장 안정하다. 따라서 $\text{O}_2(g)$ 로부터 $\text{O}(g)$ 가 생성되는 반응의 반응 엔탈피 a 는 0보다 크다.

다른 풀이 | $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{O}(g)$ 이다. 이 과정에서 O_2 의 결합이 끊어지므로 이 반응의 반응 엔탈피는 $\frac{1}{2}(\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지)이고, 결합 에너지는 항상 양(+)의 값을 가지므로 이 반응의 반응 엔탈피는 0보다 크다.

ㄴ. $\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 의 반응 엔탈피이다. 이 반응의 반응 엔탈피는 $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피의 2배이므로 이 자료로부터 구한 $\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $2a \text{ kJ/mol}$ 이다.

바로알기 | ㄷ. $\text{O}_3(g)$ 의 생성 엔탈피를 구하는 반응의 열화학 반응식은 $\frac{3}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{O}_3(g) \quad \Delta H = b \text{ kJ}$ 이다.
 $3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}_3(g)$ 은 위 화학 반응식에 2를 곱해서 구할 수 있으므로 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 $2b \text{ kJ}$ 이다.

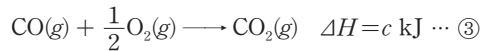
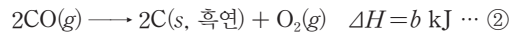
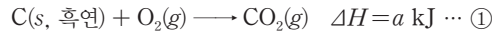
272 ㄱ. $\text{C}(s, \text{흑연}) \longrightarrow \text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 반응의 반응 엔탈피가 0보다 큰 것으로 보아 생성물인 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 의 엔탈피는 반응물인 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 엔탈피보다 크다.

ㄴ. 첫 번째 열화학 반응식은 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 의 생성 엔탈피를 나타내는 화학 반응식이다. 따라서 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 의 생성 엔탈피는 0보다 크다.

ㄷ. $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 의 연소 엔탈피는 $\text{C}(s, \text{다이아몬드}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g)$ 반응의 반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식은 두 번째 화학 반응식에서 첫 번째 화학 반응식을 빼서 구할 수 있다. 따라서 $\text{C}(s, \text{다이아몬드})$ 의 연소 엔탈피는 $(b - a) \text{ kJ/mol}$ 이다.

273 주어진 반응의 반응 엔탈피는 생성물의 생성 엔탈피 합에서 반응물의 생성 엔탈피 합을 뺀 값과 같으므로 반응 엔탈피는 $\Delta H = x - y = 106$ 이다. 따라서 이 자료로부터 구한 $x - y = 106$ 이다.

274 주어진 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면 다음과 같다.

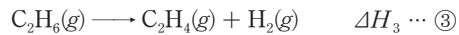
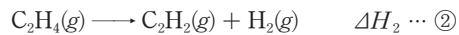
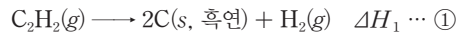


ㄱ. ①에서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 1 mol이 반응할 때 반응 엔탈피가 $a \text{ kJ}$ 이므로 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 6 g, 즉 0.5 mol이 충분한 양의 $\text{O}_2(g)$ 와 반응할 때 반응 엔탈피(ΔH)는 $\frac{a}{2} \text{ kJ}$ 이다.

ㄴ. $2a + b$ 를 반응 엔탈피로 갖는 화학 반응식은 $2 \times \text{①} + \text{②}$ 로 구할 수 있으므로 $2\text{CO}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}_2(g)$ 이다. 이 반응의 반응 엔탈피는 $2 \times (\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피) - $2 \times (\text{CO}(g)$ 의 생성 엔탈피) = $2a + b$ 이다. 이때 생성 엔탈피는 $\text{CO}_2(g) < \text{CO}(g) < 0$ 이므로 $2a + b < 0$ 이다.

ㄷ. ③은 $\text{①} + \frac{1}{2} \times \text{②}$ 로 구할 수 있으므로 $c = a + \frac{b}{2}$ 이다.

275 제시된 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면 다음과 같다.



ㄱ. $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $2\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{H}_2(g) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_2(g)$ 이고, 이 반응은 ①의 역반응이므로 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $-\Delta H_1$ 이다.

바로알기 | ㄴ. ②의 반응 엔탈피는 생성물의 생성 엔탈피 합에서 반응물의 생성 엔탈피를 뺀 값이다. 따라서 $\Delta H_2 = \text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 생성 엔탈피 - $\text{C}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피이고, 생성 엔탈피는 $\text{C}_2\text{H}_2(g) > \text{C}_2\text{H}_4(g) > 0$ 이므로 $\Delta H_2 > 0$ 이다.

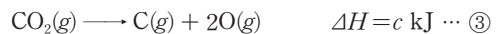
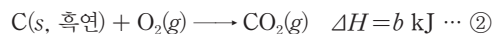
ㄷ. $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 생성 엔탈피는 $2\text{C}(s, \text{흑연}) + 3\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6(g)$ 반응의 반응 엔탈피이며, 이 화학 반응식은 $-(\text{①} + \text{②} + \text{③})$ 으로 구할 수 있다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 생성 엔탈피는 $-(\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3)$ 이다.

276 $\text{CH}_4(g) + 2\text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{CCl}_4(l) + 2\text{H}_2(g) \cdots \text{①}$ 의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{CCl}_4(l)$ 의 생성 엔탈피) - ($\text{CH}_4(g)$ 의 생성 엔탈피) = -60 kJ 이므로 $\text{CH}_4(g)$ 의 생성 엔탈피 $x = -130 + 60 = -70$ 이다.

한편, $\text{CCl}_4(l) \longrightarrow \text{CCl}_4(g) \quad \Delta H = 30 \text{ kJ} \cdots \text{②}$ 이다.

① + ②는 $\text{CH}_4(g) + 2\text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{CCl}_4(g) + 2\text{H}_2(g) \quad \Delta H = -30 \text{ kJ}$ 이고, 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값과 같으므로 반응 엔탈피 $\Delta H = \{4 \times (\text{C-H 결합 에너지}) + 2 \times (\text{Cl-Cl 결합 에너지})\} - \{4 \times (\text{C-Cl 결합 에너지}) + 2 \times (\text{H-H 결합 에너지})\} = (4 \times 413 + 2z) - (4 \times 339 + 2y) = 2z - 2y + 296 = -30$ 이고, $y - z = 163$ 이다. 따라서 $\frac{y-z}{x} = -\frac{163}{70}$ 이다.

277 주어진 열화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면 다음과 같다.



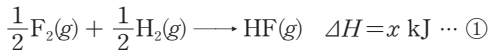
ㄱ. ①은 기체가 고체로 되는 승화 반응이고, 같은 물질 1 mol의 엔탈피는 기체가 고체보다 크므로 ①은 발열 반응이다. 따라서 $a < 0$ 이다.

ㄷ. C=O의 결합 에너지는 $\frac{1}{2}\text{CO}_2(g) \longrightarrow \frac{1}{2}\text{C}(g) + \text{O}(g)$ 반응의

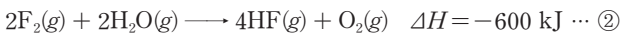
반응 엔탈피와 같으므로 C=O의 결합 에너지는 $\frac{c}{2}$ kJ/mol이다.

바로알기 | ㄴ. $\text{CO}_2(s)$ 의 생성 엔탈피는 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(s)$ 의 반응 엔탈피이고, 이 화학 반응식은 ①+②로 구할 수 있다. 따라서 $\text{CO}_2(s)$ 의 생성 엔탈피는 $(a+b)$ kJ/mol이다.

278 HF(g)의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응 엔탈피이고, 이 반응의 반응 엔탈피를 x kJ이라고 하면 다음과 같다.

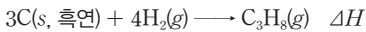


주어진 열화학 반응식을 ②라고 하면 다음과 같다.



주어진 반응과 결합 에너지만으로 x 를 구하기 위해 $4 \times \text{①} - \text{②}$ 를 하면 $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H = (4x + 600) \text{ kJ}$ 이다. 한편, 이 반응의 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값과 같으므로 $(2 \times (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + (\text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지})) - 4 \times (\text{O}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) = (2 \times 436 + 495) - (4 \times 463) = -485 = (4x + 600)$ 에서 $x = -271.25$ 이다.

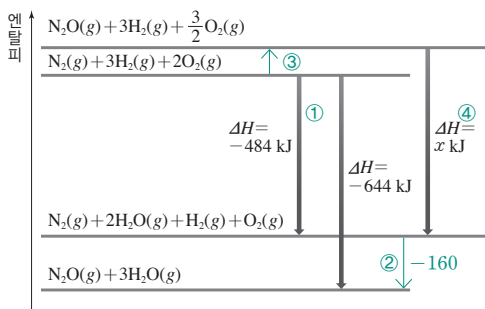
279 **모범 답안** $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 의 생성 엔탈피(kJ/mol)는 다음 반응의 반응 엔탈피이다.



제시된 화학 반응식을 차례대로 ①, ②, ③이라고 하면, 위 화학 반응식은 $3 \times \text{②} + 2 \times \text{③} - \text{①}$ 로 구할 수 있다. 따라서 $\Delta H = 3b + 2c - a$ 이므로 $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 의 생성 엔탈피(kJ/mol)는 $3b + 2c - a$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정을 포함하여 $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 의 생성 엔탈피를 올바르게 구한 경우	100 %
$\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 의 생성 엔탈피만 올바르게 구한 경우	50 %

280 주어진 자료를 정리하면 다음과 같다.

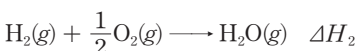
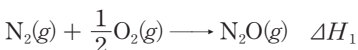


ㄱ. 화학 반응식 ①을 정리하면 다음과 같다.



이 반응은 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 2 mol이 가장 안정한 원소 물질로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 -242 kJ/mol 이다.

ㄴ. 화학 반응식 ②는 다음 2가지 열화학 반응식의 합과 같다.

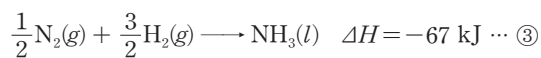
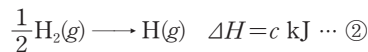
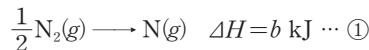


헤스 법칙에 따라 ②의 반응 엔탈피는 -160 kJ 이므로 $\Delta H_1 + \Delta H_2 = -160 \text{ kJ}$ 인데, ΔH_2 는 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피에 해당하므로 ΔH_1

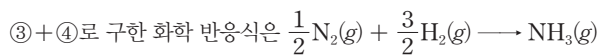
$= -160 - (-242) = 82 \text{ kJ}$ 이다. ΔH_1 은 $\text{N}_2\text{O}(g)$ 1 mol이 N_2O 를 구성하는 가장 안정한 원소 물질로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{N}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피에 해당한다. 따라서 $\text{N}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 82 kJ/mol 이다.

ㄷ. 화학 반응식 ③은 $\text{N}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{N}_2\text{O}(g)$ 에 해당하므로 반응 엔탈피는 $\text{N}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피인 82 kJ 이고, 헤스 법칙에 따라 ①과 ③의 반응 엔탈피 합은 x 와 같다. 따라서 $|x| = 82 + 484 = 566$ 이고, 반응 ④는 발열 반응이므로 $x = -566$ 이다.

281 각 물질의 생성 엔탈피를 구하는 열화학 반응식은 각각 다음과 같다.



$\text{NH}_3(l) \longrightarrow \text{NH}_3(g) \quad \Delta H = x \text{ kJ} \quad \text{④}$ 라고 하면,



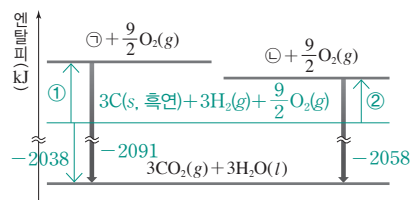
$\Delta H = (x - 67) \text{ kJ}$ 이고, 이 반응의 반응 엔탈피는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값과 같다. 이때 ①의 반응 엔탈피는 $\text{N}_2(g)$ $\frac{1}{2}$ mol이 결합이 끊어질 때의 반응 엔탈피이므로 $\text{N}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $2b \text{ kJ/mol}$ 이고, $\text{H}_2(g)$ 의 결합 에너지는 $2c \text{ kJ/mol}$ 이다. 따라서 $(\frac{1}{2} \times 2b + \frac{3}{2} \times 2c) - 3a = x - 67$ 이므로 $x = -3a + b + 3c + 67$ 이다.

282 ㄱ. $\text{NO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 생성 엔탈피 합에서 반응물의 생성 엔탈피 합을 뺀 값과 같다. 따라서 $33 - 91 = -58$ 이므로 $\Delta H = -58 \text{ kJ}$ 이다.

ㄴ. $\text{O}_2(g)$ 의 결합 에너지가 498 kJ/mol 이므로 $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g) \quad \Delta H = 498 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 249 kJ/mol 이다.

ㄷ. $\text{NO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값과 같다. 따라서 $(x + \frac{1}{2} \times 498) - y = -58$ 이므로 $x - y = -307$ 이다.

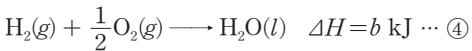
283 A(g)와 B(g)는 모두 분자식이 C_3H_6 이고, 생성 엔탈피가 0보다 크므로 생성 엔탈피를 주어진 자료에 나타내면 다음과 같다.



ㄴ. 1 mol의 엔탈피는 B(g)가 A(g)보다 33 kJ 만큼 크고, 각 물질의 연소 생성물의 종류와 양이 같으므로 연소 엔탈피의 절댓값은 B(g)가 A(g)보다 33 kJ 만큼 크다. 따라서 A(g)의 연소 엔탈피의 절댓값은 $|2091 - 33| = 2058$ 이고, A(g)와 B(g)의 연소 반응이 발열 반응이므로 $x = -2058$ 이다.

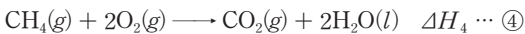
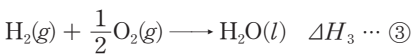
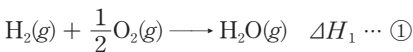
바로알기 | ㄱ. ①은 ㉠의 생성 엔탈피이고, ②는 ㉡의 생성 엔탈피인

데, 생성 엔탈피는 B(g)가 A(g)보다 크므로 ㉠은 B(g)이다.
 ㉡. CO₂(g)의 생성 엔탈피와 H₂O(l)의 생성 엔탈피에 해당하는 열화학 반응식은 각각 다음과 같다.



위 자료에서 $3\text{C(s, 흑연)} + 3\text{H}_2(\text{g}) + \frac{9}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 3\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -2038 \text{ kJ}$ 이고, 이 화학 반응식은 $3 \times \textcircled{3} + 3 \times \textcircled{4}$ 이므로 CO₂(g)
 의 생성 엔탈피와 H₂O(l)의 생성 엔탈피 합은 $-\frac{2038}{3} \text{ kJ/mol}$ 이다.

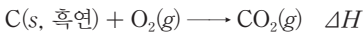
284 $\Delta H_1 \sim \Delta H_4$ 를 반응 엔탈피로 갖는 열화학 반응식은 각각 다음과 같다.



㉢. H₂O(l) $\longrightarrow$ H₂O(g)은 ㉠-㉢으로 구할 수 있으므로 이 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H_1 - \Delta H_3$ 이다.

바로알기 ㉣. ㉠과 ㉢의 반응물의 종류와 상태는 같지만 생성물의 상태가 다르다. 같은 물질 1 mol의 엔탈피는 기체가 액체보다 크므로 $\Delta H_1 > \Delta H_3$ 이다.

㉡. C(s, 흑연)의 연소 엔탈피(kJ/mol)는 다음 화학 반응식의 반응 엔탈피이다.



이 화학 반응식은 ㉡+㉣-2×㉢으로 구할 수 있다. 따라서 C(s, 흑연)의 연소 엔탈피(kJ/mol)는 $\Delta H_2 - 2\Delta H_3 + \Delta H_4$ 이다.

09 화학 변화의 자발성

빈출 자료 보기

85쪽

285 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

286 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ×

285 (1) (가)는 유리병의 마개가 열려 있어 계와 주위 사이에 물질과 에너지가 교환되므로 열린계이다.

(4) 계와 주위 사이에 에너지 교환이 가능한 계는 열린계와 닫힌계인 (가)와 (나)이다.

(5) 닫힌계와 고립계인 (나)와 (다)에서 계와 주위 사이에 물질 교환이 가능하지 않다.

바로알기 ㉡ (나)는 유리병의 마개가 닫혀 있으므로 계와 주위 사이에 물질은 교환되지 않고 에너지만 교환되므로 닫힌계이다.

(3) (다)는 계 주변을 단열재로 감싸고 있으므로 계와 주위 사이에 물질과 에너지 교환이 일어나지 않는 고립계이다.

286 (1) (가), (나)는 자발적 반응이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다.

(2) (다), (라)는 비자발적 반응이므로 $\Delta S_{\text{전체}} < 0$ 이다.

(5) 반응 (다)는 액체가 반응하여 기체를 생성하는 반응으로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. 그런데 (다)는 비자발적 반응이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이고, $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

바로알기 ㉢ (3) 반응 (가)는 기체 분자 수가 감소하는 반응으로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. 그런데 (가)는 자발적 반응이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

(4) (나)는 고체가 액체로 되는 반응으로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. 이 반응이 일어날 때 주위로부터 열을 흡수하므로 주위의 온도는 낮아지고, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 그런데 (나)는 자발적 반응이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

(6) 반응 (라)는 고체 반응물이 분해되어 기체 생성물을 생성하므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. 그런데 (라)는 비자발적 반응이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이고, $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

난이도별 필수 기출

86쪽~93쪽

287 ㉢	288 ㉣, ㉥	289 ㉤	290 ㉣
291 해설 참조	292 ㉣	293 ㉡	294 ㉠
295 해설 참조	296 ㉤, ㉥	297 ㉡	298 ㉠
299 ㉤	300 해설 참조	301 ㉤	302 ㉢
304 해설 참조	305 ㉡	306 ㉡	307 ㉢
309 ㉤	310 ㉣	311 ㉤	312 ㉢
314 ㉢	315 ㉡	316 ㉡	317 ㉣
320 ㉡	321 ㉤	322 ㉡	318 ㉣
			319 ㉤

287 무질서도가 증가하는 변화는 자발적 변화이다.

㉣. 향수병에 들어 있는 향수가 공기 중으로 퍼져 나가면 분자의 무질서도가 증가하므로 자발적 변화이다.

㉡. 잉크가 물속으로 퍼져 나가는 현상은 무질서도가 증가하는 자발적 변화이다.

바로알기 ㉡. 탄산 칼슘이 산화 칼슘과 이산화 탄소를 분해될 때 생성물 중 기체가 포함되므로 계의 엔트로피는 증가한다. 그런데 이 반응은 열을 흡수하는 흡열 반응으로 반응이 일어날 때 주위의 온도가 낮아지므로 주위의 엔트로피가 감소한다. 따라서 계의 엔트로피 변화와 주위의 엔트로피 변화의 크기에 따라 자발적일 수도 비자발적일 수도 있다.

288 ㉠ 엔트로피는 무질서도를 나타내는 척도이다.

㉡ 무질서도가 클수록 엔트로피가 크다.

㉢ 일반적으로 액체는 고체보다 분자 운동이 활발하므로 무질서도가 크다. 따라서 얼음이 융해할 때 엔트로피가 증가한다.

㉤ 기체 분자 수가 증가하면 분자들의 무질서도가 증가한다. 따라서 기체 분자 수가 증가하는 반응이 일어나면 엔트로피가 증가한다.

바로알기 ㉣ ㉣ 기체는 액체보다 분자 운동이 활발하므로 무질서도가 크다. 따라서 기체가 액화할 때 엔트로피가 감소한다.

㉥ 설탕이 물에 용해되면 규칙적으로 배열되어 있던 고체 상태의 용질이 용액 속으로 퍼져 나가므로 무질서도가 증가한다. 따라서 설탕이 물에 용해되면 엔트로피가 증가한다.

289 ㄱ. (가)는 고체가 액체로 되는 변화이고, (나)는 액체가 기체로 되는 변화이다. 분자 운동은 고체 < 액체 < 기체 순으로 활발하므로 (가), (나)에서 엔트로피가 증가한다.

ㄴ. (다)는 기체가 액체로 되는 변화이고, (라)는 액체가 고체로 되는 변화이다. 이 과정에서 분자 운동이 둔해지므로 엔트로피가 감소한다.

ㄷ. 분자 운동의 활발한 정도는 고체 < 액체 < 기체이므로 엔트로피 변화는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

290 ㄴ. 물에 떨어뜨린 잉크가 물속에서 퍼져 나갈 때 무질서도가 증가하므로 엔트로피가 증가한다.

ㄷ. 질산 암모늄이 용해되면 용질이 수용액에 고르게 분포하게 되므로 엔트로피가 증가한다.

바로알기 ㄱ. 공기 중의 수증기가 서리가 되는 변화는 분자 운동이 활발한 기체가 분자 운동이 둔한 고체로 되는 과정이므로 엔트로피가 감소한다.

291 **모범 답안** (가)는 기체 반응물이 반응하여 액체 생성물을 생성하므로 계의 엔트로피가 감소한다.

(나)는 기체 분자 1개가 반응할 때 기체 분자 4개가 생성되는 반응으로, 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가한다.

(다)에서 반응이 진행될 때 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다.

(라)에서 반응이 진행될 때 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다.

따라서 계의 엔트로피가 증가하는 반응은 (나) 1가지이다.

채점 기준	배점
판단 근거를 포함하여 계의 엔트로피가 증가하는 반응을 옳게 고른 경우	100 %
(나) 반응만 옳게 고른 경우	40 %

292 ㉠ 드라이아이스의 크기가 줄어드는 것은 $\text{CO}_2(\text{s}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ 반응이 일어나기 때문이다. 즉, 고체가 분자 운동이 활발한 기체로 변화한 경우이므로 계의 엔트로피가 증가한다.

㉡ 컵 속의 물의 양이 줄어드는 것은 물이 증발하기 때문이다. 즉, 액체가 기체로 변화한 경우이므로 계의 엔트로피가 증가한다.

바로알기 ㉠ 차가운 아이스크림 통 표면에 성애가 생기는 것은 공기 중의 수증기가 얼음으로 승화하기 때문이다. 즉, 기체가 고체로 변화한 경우이므로 계의 엔트로피가 감소한다.

293 ㄷ. 분자 운동의 활발한 정도는 고체 < 액체 < 기체이므로 계의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{계}}$)는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. (가)는 고체가 액체로 되는 변화로 분자 운동이 활발해지므로 계의 엔트로피가 증가한다. 따라서 계의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{계}}$)는 0보다 크다.

ㄴ. (나)는 액체가 기체로 되는 반응이므로 이 반응이 일어날 때 주위로부터 열을 흡수하며, 주위의 온도는 낮아지게 되므로 주위의 엔트로피는 감소한다. 따라서 주위의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{주위}}$)는 0보다 작다.

294 같은 수의 분자들이 차지하는 공간의 크기가 클수록 분자들이 배치할 수 있는 경우의 수가 증가하여 무질서도가 증가한다.

ㄱ. 같은 수의 분자들이 차지하는 공간의 크기는 (가) > (나)이므로 무질서도는 (가)가 (나)보다 크다.

바로알기 ㄴ. 분자들이 차지하는 공간의 크기는 (다) > (나)로 무질서도는 (다)가 (나)보다 크므로 용기 내 전체 기체의 엔트로피는 (다) > (나)이다.

ㄷ. (가)에서 (나)로 되는 과정은 무질서도가 감소하는 방향이므로 비자발적이다.

✓ 개념 보충

엔트로피의 통계학적 관점

무질서도가 증가한다는 것은 계가 가질 수 있는 미시적 상태의 수가 증가한다는 것을 의미한다. 부피가 일정하더라도 기체 분자 수가 증가하면 분자들이 공간에 위치할 수 있는 조합의 수가 증가한다. 따라서 기체 분자 수가 증가하는 반응에서는 분자들이 공간을 차지하고 운동할 수 있는 경우의 수가 많아지기 때문에 계의 엔트로피가 증가한다.

295 **모범 답안** (가)는 계와 주위 사이에 물질과 에너지 교환이 일어나지 않으므로 고립계이다.

(나)는 계와 주위 사이에 물질과 에너지 교환이 일어나므로 열린계이다.

(다)는 계와 주위 사이에 물질 교환은 일어나지 않고 에너지 교환이 일어나므로 닫힌계이다.

채점 기준	배점
(가)~(다)를 옳게 쓰고, 판단 근거를 옳게 서술한 경우	100 %
(가)~(다)만 모두 옳게 쓴 경우	40 %

296 ① 자연계에서 자발적으로 일어나는 변화는 전체 엔트로피가 증가한다.

② 발열 반응이 일어나면 계에서 주위로 열을 방출하므로 주위의 온도는 높아진다. 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해져 주위의 엔트로피가 증가한다.

③ 계의 엔탈피가 증가하는 반응은 주위로부터 열을 흡수하는 흡열 반응으로 주위의 온도가 낮아지므로 주위의 엔트로피가 감소한다.

④ 전체 엔트로피 변화가 $\Delta S_{\text{전체}} < 0$ 인 반응은 비자발적이다.

바로알기 ⑤ $\Delta H_{\text{계}} > 0$ 인 반응은 열을 주위로부터 흡수하는 반응으로 주위의 엔트로피가 감소하므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 이때 계의 엔트로피도 감소하게 되면 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이 되어 항상 비자발적이다.

⑥ $\Delta H_{\text{계}} > 0$ 인 반응은 열을 주위로부터 흡수하는 반응으로 주위의 엔트로피가 감소하므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 이때 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 인 경우 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이 되는 조건인 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우는 자발적이지만 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우는 비자발적이다.

297 ㄷ. 드라이아이스는 25 °C에서 자발적으로 승화하므로 전체 엔트로피가 증가한다. 즉, 전체 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{전체}}$)는 양(+)의 값이다.

바로알기 ㄱ. 분자 운동은 기체가 고체보다 크므로 고체가 기체로 승화되는 과정에서 계의 엔트로피는 증가한다. 따라서 계의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{계}}$)는 양(+)의 값이다.

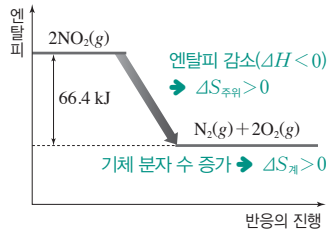
ㄴ. 고체가 기체로 상태 변화할 때 고체 상태의 분자 사이에 작용하는 분자 간 힘을 끊어야 하므로 열을 흡수하는 흡열 반응이 일어난다. 즉, 주위로부터 열을 흡수하므로 주위의 온도는 낮아지고 주위의 엔트로피는 감소한다. 따라서 주위의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{주위}}$)는 음(-)의 값이다.

298 ㄱ. 고립계에서는 계와 주위 사이에 열교환이 일어나지 않으므로 계의 엔트로피가 증가하는 반응은 항상 자발적이다.

바로알기 ㄴ. 닫힌계에서는 계와 주위 사이에 열교환이 일어나는데 발열 반응이 자발적으로 일어날 때 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피는 증가한다. 이때 계의 엔트로피가 증가하는 경우는 항상 자발적이지만, 계의 엔트로피가 감소하더라도 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우는 자발적이다. 따라서 닫힌계에서 발열 반응이 자발적으로 일어날 때 계의 엔트로피가 감소하는 경우도 있다.

ㄷ. 열린계에서는 계와 주위 사이에 열교환이 일어나는데 엔탈피가 증가하는 반응, 즉 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아지고 주위의 엔트로피는 감소한다. 그런데 계의 엔트로피가 증가하고 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우는 자발적이다.

299



$\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

→ 항상 자발적 반응이다.

ㄱ. $\text{NO}_2(\text{g})$ 분해 반응이 일어날 때 전체 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피는 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다.

ㄴ. 이 반응은 반응물의 엔탈피가 생성물의 엔탈피 합보다 큰 발열 반응이므로 $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다.

ㄷ. 이 반응은 발열 반응이고, 반응이 일어날 때 계에서 주위로 열이 방출되어 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피가 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

300 **모범 답안** (1) (가)는 고체가 액체로 용해되는 과정이고, (나)는 액체가 기체로 기화되는 과정이다. 분자 운동의 활발한 정도는 고체 < 액체 < 기체이므로 (가)와 (나)에서는 모두 엔트로피가 증가하는데, 증가하는 정도는 (나)에서 (가)에서보다 크다. 즉 $\Delta S_{\text{계}}$ 의 크기는 (나) > (가)이다.

(2) (가) 과정에서는 입자 사이의 인력을 일부만 끊지만, (나) 과정에서는 모든 입자 사이의 인력을 끊어야 하므로 흡수하는 에너지 크기는 (나)에서 (가)에서보다 크다. 따라서 $\Delta H_{\text{계}}$ 의 크기는 (나) > (가)이다.

	채점 기준	배점
(1)	판단 근거와 $\Delta S_{\text{계}}$ 의 크기를 옮겨 비교한 경우	50 %
	$\Delta S_{\text{계}}$ 의 크기만 옮겨 비교한 경우	25 %
(2)	판단 근거와 $\Delta H_{\text{계}}$ 의 크기를 옮겨 비교한 경우	50 %
	$\Delta H_{\text{계}}$ 의 크기만 옮겨 비교한 경우	25 %

301 ㄱ. 1기압에서 A의 어는점은 41°C 이므로 어는점보다 낮은 온도인 36°C 에서 A의 안정한 상은 고체이다. 따라서 A(s) 는 자발적으로 용해되지 않으므로 $\text{A(s)} \rightarrow \text{A(l)}$ 반응은 비자발적이다.

ㄴ. 1기압에서 A의 어는점은 41°C 이므로 41°C 에서 A(s) 와 A(l) 는 상평형을 이룬다. 따라서 A(s) 와 A(l) 는 동적 평형 상태에 도달하였다.

ㄷ. 46°C 는 A의 어는점보다 높은 온도이므로 A의 안정한 상은 액체이다. 따라서 (다)에서 $\text{A(l)} \rightarrow \text{A(s)}$ 반응은 비자발적이므로 전체 엔트로피는 감소한다.

302 ㄱ. NaCl(s) 이 물에 용해되는 반응은 자발적으로 진행되므로 전체 엔트로피는 증가한다.

ㄴ. NaCl(s) 이 물에 용해되는 반응은 열을 주위로부터 흡수하는 흡열 반응이므로 주위의 온도는 낮아지고, 주위의 엔트로피는 감소한다.

바로알기 ㄷ. 정반응이 자발적으로 일어나므로 역반응은 비자발적이다.

303 ㄱ. 반응 (가)가 진행될 때 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피는 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 $x > 0$ 이다.

ㄴ. 반응 (나)가 진행될 때 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피는 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. 그리고 반응 (나)는 (가) + (다)로 구할 수 있으므로 (나)의 반응 엔탈피 $\Delta H = 92 + (-187) = -95 \text{ kJ}$ 이다.

즉, 반응 (나)는 열을 주위로 방출하는 발열 반응이므로 주위의 온도는 높아지고 엔트로피가 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $y > 0$ 이다.

ㄷ. 반응 (다)는 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 반응이 진행될 때 열을 주위로 방출한다. 따라서 주위의 온도가 높아지면서 주위의 엔트로피가 증가하므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

304 **모범 답안** $2\text{X(g)} \rightarrow a\text{Y(g)} + b\text{Z(g)}$ 반응이 자발적으로 진행되므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다. 이 반응은 $\Delta H > 0$ 인 흡열 반응이므로 반응이 진행될 때 주위의 온도가 낮아져 주위의 엔트로피는 감소한다. 즉, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이고, $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이어야 한다. 따라서 기체 분자 수가 증가하는 반응이어야 하므로 $a + b > 2$ 이다.

채점 기준	배점
판단 근거를 포함하여 a+b와 2의 크기를 옮겨 비교한 경우	100 %
a+b와 2의 크기 비교만 옮은 경우	40 %

305 반응 (가)는 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다. 그리고 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위로 열을 방출하고 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피는 증가한다.

반응 (나)는 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다. 그리고 $\Delta H > 0$ 인 흡열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위로부터 열을 흡수하고 주위의 온도가 낮아지므로 주위의 엔트로피는 감소한다.

반응 (다)는 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다. 그리고 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위로 열을 방출하고 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피는 증가한다.

ㄴ. 반응 (가)~(다)는 모두 기체 분자 수가 감소하는 반응으로 계의 엔트로피가 감소한다.

바로알기 ㄱ. 주위의 엔트로피가 증가하는 반응은 발열 반응인 (가)와 (다)이다.

ㄷ. (가)와 (다)는 계의 엔트로피는 감소하고, 주위의 엔트로피는 증가하므로 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우에만 자발적이고 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우에는 비자발적이다.

(나)는 계와 주위의 엔트로피가 모두 감소하므로 항상 비자발적이다.

306 모형에서 $\text{A}_2(\text{g})$ 와 $\text{B}_2(\text{g})$ 가 반응하여 $\text{AB}_3(\text{g})$ 를 생성할 때 반응 계수비는 $\text{A}_2 : \text{B}_2 : \text{AB}_3 = 1 : 3 : 2$ 이므로 화학 반응식은 $\text{A}_2(\text{g}) + 3\text{B}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{AB}_3(\text{g})$ 이다.

ㄷ. 반응이 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고 $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

바로알기 ㄱ. 주어진 반응은 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 계의 엔트로피는 감소한다.

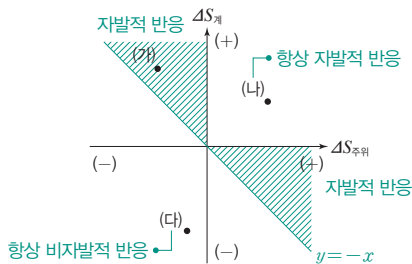
ㄴ. 계의 엔트로피가 감소하므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 인데, 이 반응이 자발적으로 진행되므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, 주위의 엔트로피가 증가하는 것으로 보아 반응이 진행될 때 계에서 주위로 열을 방출하므로 주위의 온도가 높아진다. 그러므로 이 반응은 발열 반응이다.

307 ㄱ. 물이 증발하여 수증기로 될 때 물 분자 사이에 작용하는 분자 간 힘을 끊어야 하므로 증발열을 흡수해야 한다. 열린계는 계와 주위 사이에 에너지를 교환할 수 있으므로 물이 증발할 때 주위로부터 열을 흡수하여 주위의 온도는 낮아지고 주위의 엔트로피는 감소한다.

ㄴ. 고압계에서 $\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$ 반응이 일어나고, 액체가 반응하여 액체보다 분자 운동이 활발한 기체를 생성하므로 계의 엔트로피는 증가한다.

바로알기 | ㄷ. 고립계에서는 계와 주위 사이에 물질과 에너지를 모두 교환할 수 없다.

308



(가)~(다)에서 $\Delta S_{\text{계}}$ 와 $\Delta S_{\text{주위}}$ 의 부호는 다음과 같다.

구분	$\Delta S_{\text{계}}$	$\Delta S_{\text{주위}}$
(가)	+	-
(나)	+	+
(다)	-	-

ㄴ. 반응 (나)가 진행될 때 $\Delta S_{\text{계}} > 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 (나)는 항상 자발적이다.

ㄷ. 반응 (다)가 진행될 때 $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 따라서 (다)는 항상 비자발적이다.

바로알기 | ㄱ. 반응 (가)가 진행될 때 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이므로 주위의 엔트로피는 감소한다. 즉 반응 (가)가 진행될 때 주위의 온도가 낮아지므로 (가)는 흡열 반응이다.

309 ㄱ. 반응 I에서 $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

반응 II에서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이고, $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

반응 III에서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 반응 I~III은 모두 자발적이다.

ㄴ. $\text{H}_2\text{O}(s) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 은 고체가 액체로 되는 반응이므로 반응이 진행될 때 열을 흡수하는 흡열 반응이고, 주위의 엔트로피는 감소한다. 그리고 분자 운동은 액체가 고체보다 활발하므로 계의 엔트로피는 증가한다. 따라서 이 반응에서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이므로 반응 II에 해당한다.

ㄷ. $\text{C}_3\text{H}_8(g) + 5\text{O}_2(g) \rightarrow 3\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(g)$ 은 $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 의 연소 반응으로 반응이 진행될 때 열을 방출하므로 주위의 엔트로피는 증가한다. 그리고 반응이 진행될 때 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피는 증가한다. 따라서 이 반응에서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 반응 III에 해당한다.

310 ㄴ. CH_3COONa 수용액 속 용질이 석출될 때 열을 방출하므로 이 반응은 발열 반응이다.



$\text{CH}_3\text{COONa}(s)$ 의 용해 엔탈피는 이 반응의 역반응의 반응 엔탈피이므로 $\Delta H > 0$ 이다.

ㄷ. $\text{CH}_3\text{COONa}(aq) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(s)$ 반응이 일어날 때 열을 방출하므로 주위의 엔트로피는 증가한다.

바로알기 | ㄱ. 손난로는 닫힌계이므로 계와 주위 사이에 물질의 이동은 없지만 에너지는 이동한다.

311 반응 (가)에서는 기체 입자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. 반응 (가)는 산소 원자가 산소 분자를 형성하는 반응으로 이 과정에서 새로운 결합이 형성되므로 $\text{O}_2(g)$ 의 결

합 에너지만큼의 열을 방출한다. 따라서 $\Delta H < 0$ 이므로 (가)는 C에 해당한다.

반응 (나)는 고체가 기체로 되는 반응이므로 계의 엔트로피는 증가한다. 이 과정에서 분자 간 힘을 모두 끊어야 하므로 열을 흡수한다. 따라서 반응 (나)의 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이고, $\Delta H > 0$ 이므로 (나)는 A에 해당한다.

반응 (다)는 반응이 진행될 때 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다. 이 반응은 $\text{CH}_4(g)$ 의 연소 반응이므로 반응이 진행될 때 열을 방출하는 발열 반응이다. 따라서 (다)의 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, $\Delta H < 0$ 이므로 C에 해당한다.

312 ㄱ. 0°C , 1기압에서 $\text{H}_2\text{O}(s)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 함께 존재하는 것으로 보아 $\text{H}_2\text{O}(s)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 은 동적 평형을 이룬다.

ㄴ. (가)는 얼음이 자발적으로 용해되는 과정이다. 얼음이 물로 용해될 때 분자 간 힘을 일부 끊어야 하므로 열을 흡수하며, 이때 주위의 온도가 낮아지므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 한편, 분자 운동은 액체가 고체보다 활발하므로 (가)에서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. 10°C 에서 얼음의 용해가 자발적으로 진행되므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

바로알기 | ㄷ. (나)는 10°C 에서 물이 자발적으로 응고되는 과정이다. 물이 응고될 때 분자 운동이 둔해지므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, 열을 주위로 방출하므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 이때 반응이 자발적으로 진행되므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다.

313 **모범 답안** 반응 (다)는 (가) - 2 × (나)로 구할 수 있으므로 (다)의 반응 엔탈피는 $\Delta H = -484 - 2 \times (-136) = -212 \text{ kJ}$ 이다. 그리고 기체 분자 수가 증가하는 반응이므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이고, $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 반응이 진행될 때 주위의 온도가 높아져 주위의 엔트로피가 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 이 반응은 항상 자발적이다.

채점 기준	배점
반응이 자발적임을 옳게 서술하여 판단한 경우	100 %
반응이 자발적이라고만 서술한 경우	40 %

314 ㄱ. C의 동소체 중 가장 안정한 물질은 C(s, 흑연)이므로 1 mol의 엔탈피는 C(s, 다이아몬드)가 C(s, 흑연)보다 크다. 따라서 반응 (가)는 반응물의 엔탈피가 생성물의 엔탈피보다 크므로 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이고, 반응이 진행될 때 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피가 증가한다. 그리고 (가)에서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 (가)의 반응이 진행될 때 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 (가)는 항상 자발적이다.

ㄷ. 1 mol의 엔탈피는 S(s, 단사황)이 S(s, 사방황)보다 크다. S의 연소 반응은 발열 반응이므로 각 물질 1 mol이 연소할 때 방출하는 열은 엔탈피가 큰 S(s, 단사황)이 S(s, 사방황)보다 크다. 따라서 연소 엔탈피의 절댓값은 단사황이 사방황보다 크다.

바로알기 | ㄴ. S의 동소체 중 가장 안정한 물질은 S(s, 사방황)이므로 1 mol의 엔탈피는 S(s, 단사황)이 S(s, 사방황)보다 크다. 따라서 반응 (나)는 $\Delta H > 0$ 인 흡열 반응이고, 반응이 진행될 때 주위의 온도가 낮아지므로 주위의 엔트로피가 감소한다. (나)의 반응이 진행될 때 계의 엔트로피가 증가하므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이 되려면 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이어야 한다. 따라서 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 조건에서 반응 (나)는 자발적이다.

315 ㄴ. $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 의 연소 반응에서 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가하고, 열을 주위로 방출하여 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피도 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 의 연소 반응은 자발적으로 일어난다.

바로알기 ㄱ. $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 의 연소 반응에서 기체 분자 수가 증가하므로 생성된 기체가 모두 용기 내에 존재할 때 반응이 진행됨에 따라 기체의 압력은 증가한다. 그러나 (가)는 열린계이므로 계와 주위 사이에 물질과 에너지가 교환되므로 반응이 진행될 때 생성된 기체가 공기 중으로 빠져나가고 주위로 에너지가 이동하므로 기체의 압력은 일정하게 유지된다.

ㄷ. (다)는 고립계이므로 계와 주위 사이에 물질과 에너지가 교환되지 않는다. 따라서 반응이 진행될 때 계의 온도는 높아지지만, 주위의 온도 변화는 없으므로 주위의 엔트로피는 증가하지 않는다.

316 ㄴ. 반응 (나)는 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위로 열을 방출하고 주위의 온도는 높아지므로 주위의 엔트로피는 증가한다.

바로알기 ㄱ. 반응 (가)는 $\Delta H > 0$ 인 흡열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위로부터 열을 흡수하고 주위의 온도가 낮아지므로 주위의 엔트로피는 감소한다. 즉, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 한편, 반응 (가)가 일어날 때 액체로부터 기체가 생성되므로 계의 엔트로피는 증가한다. 즉 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다. 따라서 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이 되는 조건인 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우에는 자발적이고 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우에만 비자발적이다.

ㄷ. 반응 (다)는 $3 \times (\text{가}) + (\text{나})$ 로 구할 수 있으므로 (다)의 반응 엔탈피는 $\Delta H = 3 \times 286 + (-824) = 34 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 반응 (다)는 흡열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위의 온도가 낮아지고 주위의 엔트로피는 감소한다. 반응 (다)는 기체 분자 수가 증가하는 반응으로 계의 엔트로피가 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이 되는 조건인 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우에만 자발적이다.

317 ○을 A, ●을 B라고 하면 반응물은 A_2 와 A_2B 이고 생성물은 A_3B 이므로 주어진 반응의 화학 반응식은 $\text{A}_2(g) + 2\text{A}_2\text{B}(g) \longrightarrow 2\text{A}_3\text{B}(g)$ 이다.

ㄴ. 반응이 진행될 때 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. 이때 반응이 자발적으로 진행되므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이어야 하므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 반응이 일어날 때 열이 주위로 방출하는 발열 반응이어야 한다.

ㄷ. $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이므로 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

바로알기 ㄱ. 반응이 일어날 때 기체 분자 수가 감소하므로 전체 기체의 부피는 반응 전이 반응 후보다 크다.

318 ㄴ. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, 반응이 자발적으로 진행되므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 주위의 엔트로피가 증가하므로 반응이 진행될 때 열이 계에서 주위로 방출된다. 따라서 반응 엔탈피 $\Delta H < 0$ 이므로 계의 엔탈피는 감소한다.

ㄷ. $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이므로 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

바로알기 ㄱ. 실린더 속 기체의 온도와 압력이 일정하므로 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례한다. 반응 후가 반응 전보다 부피가 작은 것으로 보아 반응이 진행될 때 기체 분자 수가 감소한다. 따라서 계의 엔트로피는 감소한다.

319 ㄱ. 반응 (가)가 진행될 때 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다. 그러므로 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 인데, $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 에서 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이어야 한다. 따라서 반응이 일어날 때 주위의 온도가 높아지므로 열을 주위로 방출하는 발열 반응이고, $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다.

ㄴ. 반응 (나)의 $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이므로 반응이 진행될 때 계에서 주위로 열이 방출되어 주위의 엔트로피가 증가한다. 그리고 반응이 진행될 때 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다.

ㄷ. 반응 (다)는 $\frac{1}{2} \times (\text{가}) + \frac{1}{2} \times (\text{나})$ 로 구할 수 있다. 이때 (가)와 (나)의 $\Delta H_{\text{계}}$ 가 모두 0보다 작으므로 (다)의 $\Delta H_{\text{계}} < 0$ 이다. 반응이 진행될 때 열이 계에서 주위로 이동하여 주위의 엔트로피가 증가하고, $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 (다)는 자발적이다.

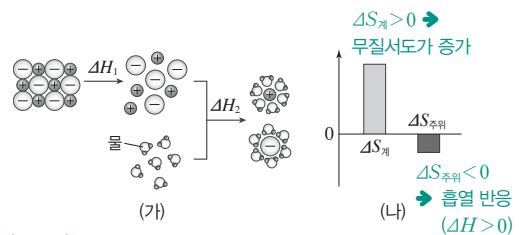
320 반응 (가)와 (나)의 $\Delta S_{\text{계}}$ 와 $\Delta S_{\text{주위}}$ 의 부호는 모두 (+)이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 그리고 반응 (다)의 $\Delta S_{\text{계}}$ 의 부호는 (-)이고, $\Delta S_{\text{주위}}$ 의 부호는 (+)이다.

ㄴ. (가)~(다)에서 모두 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 반응이 진행될 때 주위의 온도가 높아져 엔트로피가 증가한다. 따라서 (가)~(다)는 모두 열을 방출하는 발열 반응이므로 반응이 일어날 때 엔탈피가 감소한다.

바로알기 ㄱ. 반응 (가)와 (나)는 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이므로 자발적이다. 반응 (다)에서 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우에만 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이 되어 자발적이다.

ㄷ. 반응 (가)와 (나)는 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이 되어 전체 엔트로피가 증가하지만, (다)는 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 인 경우에만 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이 전체 엔트로피가 증가한다.

321



$|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다.

➔ 이 반응은 자발적 반응이다.

ㄱ. $\text{NaCl}(s) \longrightarrow \text{NaCl}(aq)$ 의 반응 엔탈피 ΔH 는 헤스 법칙에 따라 $\Delta H_1 + \Delta H_2$ 이다. 이 반응이 진행될 때 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이므로 주위의 엔트로피가 감소한다. 따라서 이 반응이 일어날 때 주위로부터 열을 흡수하므로 $\Delta H_1 + \Delta H_2 > 0$ 이다.

ㄴ. 반응이 진행될 때 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이므로 계의 엔트로피가 증가한다. 따라서 $\text{NaCl}(s)$ 이 용해될 때 계의 무질서도가 증가한다.

ㄷ. $\Delta S_{\text{계}} > 0$, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이고 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다. 따라서 25 °C에서 $\text{NaCl}(s)$ 은 물에 자발적으로 용해된다.

✓ 개념 보충

용질의 용해 과정과 엔트로피 변화

이온 결합 물질이나 극성 물질이 물에 용해되는 과정에서 계의 전체 엔트로피는 증가하지만, 용해 과정에서는 엔트로피가 증가하는 요인과 감소하는 요인이 모두 존재한다. 예를 들면, 염화 나트륨이 용해되는 과정에서 고체 상태의 이온 결정이 물에 녹으면 규칙적으로 배열되어 있던 이온들이 수용액 전체로 퍼져나가 자유롭게 이동할 수 있게 되므로 엔트로피가 증가한다. 반면, 용질이 용해되어 수화되는 과정에서 자유롭게 운동하던 물 분자들은 양이온 주변에 물 분자의 음전하를 띤 산소 원자가 일정한 방향으로 배열하고, 음이온 주변에 물 분자의 양전하를 띤 수소 원자가 일정한 방향으로 배열하게 된다. 따라서 용해 관점에서는 엔트로피가 감소한다. 용해 과정에서의 엔트로피는 용질의 무질서도 증가 요인과 용매의 무질서도 감소 요인의 합으로 결정되는데, 용질의 무질서도 증가 요인이 용매의 무질서도의 감소 요인보다 훨씬 크기 때문에 용해 과정에서 계의 엔트로피가 증가한다.

322 ㄷ. 같은 물질의 엔트로피는 기체가 액체보다 크므로 (나)에서 엔트로피는 증발한 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 용기에 남아 있는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 보다 크다.

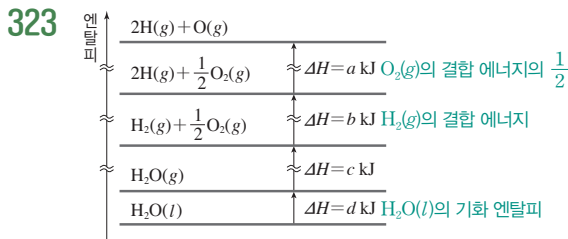
바로알기 | ㄱ. (가)는 밀폐 용기에 들어 있던 물의 온도가 낮아진 것으로 보아 닫힌계에서 열을 주위로 방출한 것이다. 따라서 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피가 증가한다.

ㄴ. (나)에서 물의 질량이 감소한 것으로 보아 계에서 주위로 물질이 이동한 것이다. 따라서 (나)에서 $H_2O(l)$ 의 증발은 열린계에서 일어났다.

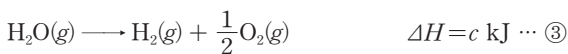
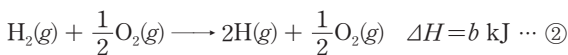
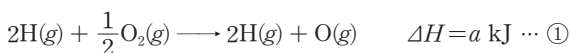
최고 수준 도전 기출

94쪽~95쪽

323 ④ 324 ② 325 ④ 326 ③ 327 ④ 328 ③
329 ⑤ 330 ④



주어진 자료에서 반응 엔탈피 $a \sim d$ 에 해당하는 열화학 반응식은 다음과 같다.

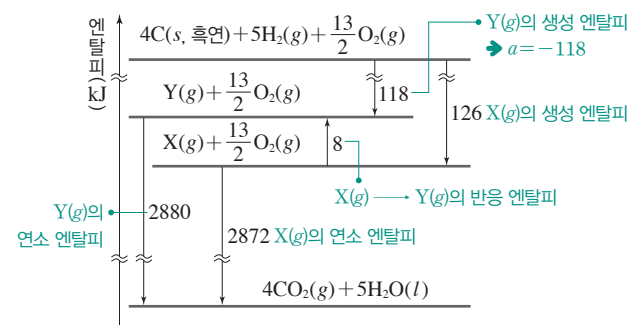


ㄴ. $H_2O(l)$ 의 생성 엔탈피는 $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ 반응의 반응 엔탈피이다. 이 화학 반응식은 $-③ - ④$ 로 구할 수 있으므로 반응 엔탈피는 $-(c+d)$ kJ이다. 따라서 $H_2O(l)$ 의 생성 엔탈피는 $-(c+d)$ kJ/mol이다.

ㄷ. O-H의 결합 에너지는 $H_2O(g) \longrightarrow 2H(g) + O(g)$ 반응의 반응 엔탈피의 $\frac{1}{2}$ 과 같다. 이 화학 반응식은 $① + ② + ③$ 으로 구할 수 있으므로 반응 엔탈피는 $(a+b+c)$ kJ이다. 따라서 O-H의 결합 에너지는 $\frac{(a+b+c)}{2}$ kJ/mol이다.

바로알기 | ㄱ. $H_2O(g) \longrightarrow H_2O(l)$ 반응은 ④의 역반응이므로 반응 엔탈피는 $-d$ kJ이다.

324 X와 Y는 분자식이 C_4H_{10} 로 같으므로 각 물질의 생성 엔탈피와 연소 엔탈피를 나타내면 그림과 같다.

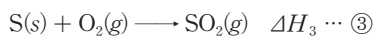
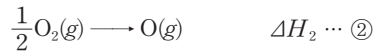


ㄴ. X와 Y의 분자식이 같고 생성 엔탈피는 $Y(g)$ 가 $X(g)$ 보다 8 kJ만큼 크므로 $X(g) \longrightarrow Y(g)$ 의 반응 엔탈피는 8 kJ이다.

바로알기 | ㄱ. a 는 $4C(s, \text{흑연}) + 5H_2(g) \longrightarrow Y(g)$ 의 반응 엔탈피이므로 -118 kJ이다.

ㄷ. $X(g) \longrightarrow Y(g) \quad \Delta H = 8 \text{ kJ}$ 이고, 이 반응의 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)이다. 이 반응의 $\Delta H > 0$ 이므로 결합 에너지 합은 반응물인 $X(g)$ 가 생성물인 $Y(g)$ 보다 크다.

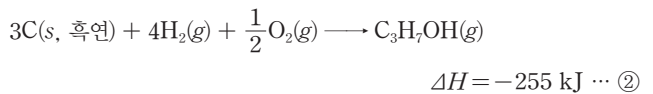
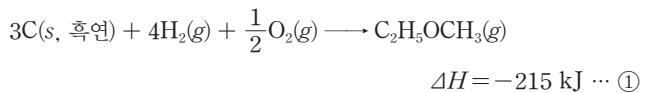
325 제시된 자료의 반응 엔탈피는 각각 다음 반응의 반응 엔탈피이다.



$SO_2(g)$ 1 mol의 결합을 모두 끊기 위해 필요한 에너지는 $SO_2(g) \longrightarrow S(g) + 2O(g)$ 반응의 반응 엔탈피와 같다.

이 화학 반응식은 $① + 2 \times ② - ③$ 으로 구할 수 있으므로 $SO_2(g)$ 1 mol의 결합을 모두 끊기 위해 필요한 에너지는 $\Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_3$ 이다.

326 $C_2H_5OCH_3(g)$ 와 $C_3H_7OH(g)$ 의 생성 엔탈피는 각각 다음 반응의 반응 엔탈피와 같다.



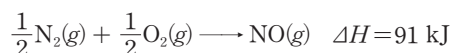
①-②로부터 구한 화학 반응식과 반응 엔탈피는 다음과 같다.



이 반응의 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)과 같으므로 다음 관계식이 성립한다.

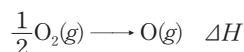
$$\{7 \times (C-H \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (C-C \text{ 결합 에너지}) + (C-O \text{ 결합 에너지}) + (O-H \text{ 결합 에너지})\} - \{8 \times (C-H \text{ 결합 에너지}) + (C-C \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (C-O \text{ 결합 에너지})\} = (C-C \text{ 결합 에너지}) + (O-H \text{ 결합 에너지}) - (C-H \text{ 결합 에너지}) - (C-O \text{ 결합 에너지}) = 348 + y - x - 358 = 40 \text{이다. 따라서 } -(x-y) = 50 \text{이므로 } |x-y| = 50 \text{이다.}$$

327 ㄴ. $NO(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응 엔탈피와 같다.



이 반응은 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)과 같으므로 $\frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y - 630.5 = 91$, $\frac{1}{2}(x+y) = 721.5$ 에서 $x+y = 1443$ 이다.

ㄷ. $O(g)$ 의 생성 엔탈피는 다음 반응의 반응 엔탈피이다.



이 반응은 $\frac{1}{2}$ mol의 $O_2(g)$ 의 결합이 끊어지는 반응의 반응 엔탈피이므로 $\Delta H = \frac{y}{2}$ 이다.

$\text{NO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피는 (생성물의 생성 엔탈피 합) - (반응물의 생성 엔탈피 합)과 같으므로 $33 - 91 = -58$ 이다. 이 반응의 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)과 같으므로 $(630.5 + \frac{y}{2}) - 937.5 = -58$ 에서 $\frac{y}{2} = 249$ 이다. 따라서 $\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피는 249 kJ/mol 이다.

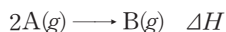
바로알기 | ㄱ. $2\text{NO}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 (생성물의 생성 엔탈피 합) - (반응물의 생성 엔탈피 합)이므로 $\Delta H = (2 \times 33 - 2 \times 91) \text{ kJ} = -116 \text{ kJ}$ 이다.

328 ㄱ. 주어진 반응은 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 반응이 진행될 때 계의 엔트로피가 감소한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. 그런데 이 반응은 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이어야 한다. 따라서 이 반응은 열을 주위로 방출하는 발열 반응이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H < 0$ 이다. 이 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 2x < 0$ 이므로 $x < 0$ 이다.

ㄷ. $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 주어진 반응의 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)과 같고, $\Delta H < 0$ 이므로 결합 에너지 합은 생성물이 반응물보다 크다.

329 ㄱ. 반응 전 반응물의 분자 수가 6이고, 반응 후 생성물의 분자 수가 3이므로 제시된 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



이 반응에서 반응이 진행될 때 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. 이 반응은 자발적으로 일어나고 있는데, 이 반응이 고립계에서 진행된다면 계와 주위 사이에 에너지 교환이 일어나지 않고, 전체 엔트로피는 계의 엔트로피에 의해서만 결정되므로 계의 엔트로피가 감소하는 이 반응은 비자발적이다. 따라서 이 계는 닫힌계이다.

ㄴ, ㄷ. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 인 반응이 자발적인 경우는 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다. 따라서 주위의 엔트로피는 증가한다.

330 ㄴ. (가)에서 $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, 반응이 자발적으로 일어나므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

ㄷ. 반응 (나)의 반응 엔탈피의 부호가 (+)이므로 반응이 일어날 때 주위의 온도는 낮아지고 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 그리고 이 반응은 자발적으로 일어나므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이며 $|\Delta S_{\text{계}}| > |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다. 따라서 (나)에서 계의 엔트로피는 증가한다.

바로알기 | ㄱ. 반응 (가)는 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 반응이 진행될 때 계의 엔트로피가 감소한다. 따라서 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. 반응 (가)의 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이고, 반응이 자발적이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 반응 (가)가 일어날 때 주위의 엔트로피가 증가하는 것으로 보아 주위의 온도가 높아지므로 반응 (가)는 열을 방출하는 발열 반응이고, $\Delta H_1 < 0$ 이다.

10 화학 반응 속도

빈출 자료 보기

97쪽

331 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ×

332 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

331 2초~4초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{0.2 \text{ M} - 0.1 \text{ M}}{2 \text{ s}} = 0.05 \text{ M/s}$

이다. 순간 반응 속도는 특정 시간에서의 접선의 기울기이다.

바로알기 | (3), (4) 시간이 지날수록 반응물의 농도 감소량이 작아지므로 반응 속도가 느려진다.

(5) 반응 속도가 점점 느려지므로 초기 반응 속도가 가장 빠르다. 0~6초 동안의 평균 반응 속도는 점점 느려지는 반응 속도값의 평균이므로 초기 반응 속도보다 느리다.

332 반응 시간이 2분일 때 $\text{A}(g)$ 의 몰농도는 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배이므로 반감기는 1분이고, 반응 시간이 1분일 때 $\text{A}(g)$ 의 몰농도인 ①은 1 M이다. 증가한 $\text{B}(g)$ 의 몰농도는 감소한 $\text{A}(g)$ 의 몰농도의 2배이므로 0~1분 동안이 2 M이고, 1분~2분 동안이 1 M이다.

바로알기 | (2) 이 반응의 반감기는 1분이므로 처음 농도의 $\frac{1}{16}$ 배가 될 때는 반감기가 4번 지나야 한다. 따라서 ①은 4이다.

(5) 2분일 때 감소한 $\text{A}(g)$ 의 몰농도는 $\frac{3}{2} \text{ M}$ 이고, 화학 반응식에서 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 계수비는 1 : 2이므로 2분일 때 $\text{B}(g)$ 의 농도는 $\frac{3}{2} \text{ M} \times 2 = 3 \text{ M}$ 이다.

난이도별 필수 기출

98쪽~105쪽

333 ②	334 ②	335 ④	336 ⑤	337 ⑤	338 ⑤
339 ③	340 ③	341 해설 참조		342 ④	
343 ②, ⑤		344 ②	345 ⑤	346 ④	
347 해설 참조		348 ②, ④		349 ④	350 ⑤
351 해설 참조		352 ④	353 해설 참조		354 ③
355 ⑤	356 ③	357 ①	358 ③	359 ②	360 ⑤
361 ④	362 ④	363 해설 참조		364 ①	365 ⑤
366 ④	367 ⑤	368 ②	369 ③		

333 ② 메테인이 연소하는 반응, 터널 공사장에서 폭약이 터지는 반응, 염산과 수산화 나트륨이 중화하는 반응은 즉시 일어나고, 깎아 놓은 사과가 갈색으로 변하는 반응은 몇 분 동안 일어난다. 그러나 석회 동굴이 생성되는 반응이 일어나는 시간은 수만 년이다. 따라서 가장 느린 반응은 석회 동굴이 생성되는 반응이다.

334 ② 폭죽이 폭발하는 반응과 은백색의 나트륨이 산소와 반응하는 산화 반응은 반응 시간이 짧아서 빠른 반응에 해당한다. 그러나 낙엽의 색이 변하는 반응과 기차길의 철로에 녹이 스는 반응은 반응 시간이 상대적으로 길어서 느린 반응에 해당한다.

335 ①, ②, ③ 반응 속도는 화학 반응이 빠르게 또는 느리게 일어나는 정도로 단위 시간당 반응물의 농도 감소량인 M/s 또는 mol/(L·s)로 나타낼 수 있다.

⑤ 초기 반응 속도는 반응 시간이 0일 때 순간 반응 속도에 해당한다.

바로알기 ④ 일정한 시간 동안의 생성물의 농도 변화량을 평균 반응 속도라고 한다.

336 ㄴ. (나)에서 기체가 발생하는 반응에서 일정한 시간 간격으로 주사기에 모인 기체의 부피를 측정하여 반응 속도를 측정한다.

ㄷ. (다)에서 일정량의 양금이 생성되는 데 걸린 시간이 짧을수록 반응 속도가 빠르다.

바로알기 ㄱ. (가)는 기체가 발생하는 반응에서 일정한 시간 간격으로 감소한 질량을 측정한다.

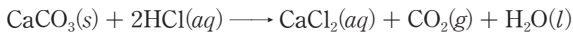
337 Mg(s)과 HCl(aq) 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



ㄱ. Mg(s)과 HCl(aq) 반응에서 발생하는 기체는 수소 기체(H₂(g))이므로 A는 H₂이다.

ㄴ, ㄷ. 0~10분 동안 시간이 지날수록 1분 간격으로 생성되는 A(g)의 부피가 감소하므로 반응하는 Mg의 질량이 감소하고, 반응 속도가 느려진다.

338 ⑤ CaCO₃(s)과 HCl(aq) 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



이 반응에서 생성된 CO₂(g)가 공기 중으로 날아가므로 반응 속도가 빠를수록 일정한 시간 동안 감소한 질량이 커진다. 따라서 반응 속도를 측정하기 위해서는 일정한 시간 동안 삼각 플라스크 속 전체 물질의 감소하는 질량을 측정해야 한다.

339 ㄱ. H₂O₂의 분해 반응에서 O₂(g)가 생성되므로 생성되는 O₂(g)의 부피를 측정하여 반응 속도를 측정할 수 있다. 따라서 O₂(g)는 ㉠으로 적절하다.

ㄴ. 0~10초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{20 \text{ mL} - 0}{10 \text{ s}} = 2 \text{ mL/s}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 일정 시간 동안 생성되는 O₂(g)의 부피가 클수록 반응 속도가 빠르다.

340 ㄱ. ㉠은 반응 시간이 0일 때의 접선이므로 ㉠의 기울기는 초기 반응 속도이다.

ㄷ. 반응 시간에 따른 B의 몰농도에서 접선의 기울기는 순간 반응 속도에 해당한다. 접선의 기울기는 ㉠이 ㉡보다 크므로 반응 속도는 t₁일 때가 t₂일 때보다 크다.

바로알기 ㄴ. ㉡의 기울기는 t₂일 때의 순간 반응 속도이다.

341 평균 반응 속도는 일정한 시간 동안의 반응물 또는 생성물의 농도 변화량이다.

모범 답안 t₁초~t₂초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{b \text{ M} - a \text{ M}}{t_2 \text{ s} - t_1 \text{ s}} = \frac{b - a}{t_2 - t_1} \text{ M/s}$ 이다.

채점 기준	배점
평균 반응 속도와 단위를 모두 옳게 쓴 경우	100 %
평균 반응 속도는 옳게 썼지만, 단위를 옳게 쓰지 않은 경우	60 %

342 10초 간격으로 감소한 A(g)의 몰농도를 정리하면 다음과 같다.

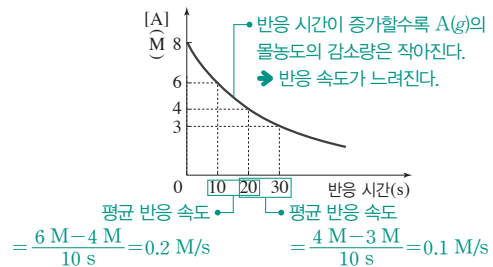
반응 시간(s)	0	10	20	30	40	50
[A](M)	3	2.2	1.6	1.2	1	0.9
감소한 [A](M)		0.8	0.6	0.4	0.2	0.1

ㄱ. 시간이 지날수록 일정 시간 동안 감소한 A(g)의 몰농도가 작아지므로 반응 속도가 느려진다.

ㄷ. 10초~30초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{2.2 \text{ M} - 1.2 \text{ M}}{30 \text{ s} - 10 \text{ s}} = 0.05 \text{ M/s}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 시간이 지날수록 반응 속도는 느려지므로 순간 반응 속도는 10초일 때가 20초일 때보다 빠르다.

343



①, ④ 반응 시간이 증가할수록 감소하는 A(g)의 몰농도가 작아지므로 시간이 지날수록 반응 속도가 느려진다. 따라서 초기 반응 속도는 10초일 때의 반응 속도보다 빠르다.

③ 10초~20초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{6 \text{ M} - 4 \text{ M}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}} = 0.2 \text{ M/s}$

이고, 20초~30초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{4 \text{ M} - 3 \text{ M}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}} = 0.1 \text{ M/s}$ 이다.

⑥ 반응이 일어나면 감소하는 A(g)의 양(mol)보다 생성되는 B(g)의 양(mol)이 많으므로 시간이 지날수록 전체 기체의 양(mol)은 증가한다.

바로알기 ② 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수비는 1 : 2이므로 단위 시간당 A(g)의 농도 감소량은 단위 시간당 B(g)의 농도 증가량의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

⑤ 시간이 지날수록 반응 속도가 느려지므로 생성된 B(g)의 증가량은 감소한다.

344 기체의 부피가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력에 비례한다.

ㄴ. 40초 이후에 CO₂(g)의 압력이 일정하므로 반응이 완결되어 반응 속도는 0이다.

바로알기 ㄱ. 10초~20초 동안 증가한 CO₂(g)의 압력은 0.8기압이고, 20초~30초 동안 증가한 CO₂(g)의 압력은 0.6기압이므로 반응한 CaCO₃의 질량은 10초~20초 동안이 20초~30초 동안보다 크다.

ㄷ. 시간이 지날수록 증가하는 CO₂(g)의 압력이 작아지므로 반응 속도는 느려진다. 초기 반응 속도가 가장 빠르므로 초기 반응 속도와 0~40초 동안의 평균 반응 속도는 다르다.

345 ㄱ. 시간이 지날수록 증가하는 NO₂(g)의 몰농도가 작아지므로 N₂O₄(g)가 분해되는 속도는 느려진다.

ㄴ. 4분일 때까지 생성된 NO₂(g)의 몰농도는 0.4 M이고, 화학 반응식에서 N₂O₄(g)와 NO₂(g)의 반응 계수비가 1 : 2이므로 반응한 N₂O₄(g)의 몰농도는 0.2 M이다. 따라서 4분일 때 N₂O₄(g)의 몰농도는 1 M - 0.2 M = 0.8 M이다.

ㄷ. 시간이 지날수록 반응 속도는 느려지므로 0~4분 동안의 평균 반응 속도는 4분일 때의 순간 반응 속도보다 빠르다.

346 ㄴ. 10초일 때까지 반응한 A(g)의 양을 $2x$ mol이라고 하면 전체 기체의 양은 $2-2x+x=1.6$, $x=0.4$ 이므로 10초일 때 B(g)의 양은 0.4 mol이다. 30초일 때까지 반응한 A(g)의 양을 $2y$ mol이라고 하면 전체 기체의 양은 $2-2y+y=1.3$, $y=0.7$ 이므로 30초일 때 B(g)의 양은 0.7 mol이다. 따라서 B(g)의 양(mol)은 30초일 때가 10초일 때의 $\frac{7}{4}$ 배이다.

ㄷ. 0~10초 동안 B(g)의 양은 0에서 0.4 mol로 증가하고, 10초~30초 동안 B(g)의 양은 0.4 mol에서 0.7 mol로 증가한다. 0~10초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{0.4 \text{ M}-0}{10 \text{ s}}=0.04 \text{ M/s}$ 이고, 10초~30초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{0.7 \text{ M}-0.4 \text{ M}}{20 \text{ s}}=0.015 \text{ M/s}$ 이다. 따라서 평균 반응 속도는 0~10초 동안이 10초~30초 동안의 $\frac{8}{3}$ 배이다.

바로알기 ㄱ. 시간이 지날수록 감소하는 전체 기체의 양(mol)이 작아지므로 반응 속도는 느려진다. 따라서 20초일 때 전체 기체의 양은 1.6 mol과 1.3 mol의 평균인 1.45 mol보다 작은 값을 가진다.

347 A(g)의 몰농도가 1 M만큼 감소할 때, B(g)의 몰농도는 2 M만큼 감소하고, C(g)의 몰농도는 1 M만큼 증가하므로 화학 반응식에서 B(g)의 계수는 A(g)의 2배이고, C(g)의 계수는 A(g)와 같다. 0~ t 초 동안 B(g)의 몰농도 변화량은 $(4-x) \text{ M}$ 이고, C(g)의 몰농도 변화량은 $y \text{ M}$ 이며, B(g)와 C(g)의 반응 계수는 각각 2, 1이므로 평균 반응 속도는 $\frac{1}{2} \times \frac{4-x}{t} \text{ M/s} = \frac{4-x}{2t} \text{ M/s}$ 로 나타내거나 $\frac{y}{t} \text{ M/s}$ 로 나타낼 수 있다.

모범 답안 (1) $b=2$, $c=1$

(2) 평균 반응 속도는 $\frac{4-x}{2t} \text{ M/s}$ 와 $\frac{y}{t} \text{ M/s}$ 로 나타낸다.

	채점 기준	배점
(1)	b 와 c 를 모두 옳게 쓴 경우	40 %
	b 와 c 중 1가지만 옳게 쓴 경우	20 %
(2)	평균 반응 속도를 2가지 모두 옳게 쓴 경우	60 %
	평균 반응 속도를 1가지만 옳게 쓴 경우	30 %

348 ①, ③ 반응 속도식으로 반응 속도와 반응물의 농도의 관계를 알 수 있지만, 화학 반응식의 반응 계수와 반응 차수는 관계가 없다.

⑤, ⑥ 반응 속도 상수는 반응물의 몰농도에 영향을 받지 않고, 일정한 온도에서 일정한 값을 가진다.

⑦ 화학 반응식에서 반응 계수는 B가 A의 2배이므로 감소하는 물질의 양(mol)도 B가 A의 2배이다.

바로알기 ② 이 반응은 A에 대한 2차 반응이고, B에 대한 1차 반응이다.

④ 이 반응의 전체 반응 차수는 3이다.

349 ④ 초기 반응 속도는 B의 몰농도의 제곱에 비례하고, A의 몰농도에 비례하므로 반응 속도식은 $v=k[A][B]^2$ 이다.

350 I과 II에서 B(g)의 몰농도가 2배로 증가하면 초기 반응 속도는 2배로 증가하므로 반응 속도는 B(g)의 몰농도에 비례한다. I과 III에서 A(g)의 몰농도가 2배로 증가하면 초기 반응 속도는 2배로 증가하므로 반응 속도는 A(g)의 몰농도에 비례한다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[A][B]$ (k 는 반응 속도 상수)이다.

ㄱ. 이 반응은 A에 대한 1차 반응, B에 대한 1차 반응이다.

ㄴ. 이 반응은 전체 반응 차수가 2이다.

ㄷ. 반응 속도식에 I의 결과를 대입하면 $0.16 \text{ M/s}=k \times 0.1 \text{ M} \times 0.1 \text{ M}$, $k=16 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

351 A(g) 0.2 M와 B(g) 0.3 M를 넣고 반응시키면 I보다 A(g)의 몰농도는 2배, B(g)의 몰농도는 3배가 되었으므로 반응 속도는 I의 6배이다.

모범 답안 이 반응은 A에 대한 1차 반응, B에 대한 1차 반응이므로 초기 반응 속도는 I에서의 6배이다. 따라서 초기 반응 속도는 0.96 M/s이다.

채점 기준	배점
초기 반응 속도를 옳게 구하고, 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
초기 반응 속도만 옳게 구한 경우	50 %

다른 풀이 반응 속도식은 $v=k[A][B]$ 이고, $k=16 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이므로 A(g) 0.2 M와 B(g) 0.3 M를 넣고 반응시켰을 때, 초기 반응 속도는 $v=16 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \times 0.2 \text{ M} \times 0.3 \text{ M}=0.96 \text{ M/s}$ 이다.

352 ㄴ. I과 II에서 A(g)의 몰농도는 각각 2 M, 1 M이고, 초기 반응 속도는 A(g)의 몰농도에 비례하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다. 따라서 $n=1$ 이다.

ㄷ. III에서 A(g)의 몰농도는 1.5 M이므로 ①은 $\frac{3}{2}v$ 이다.

바로알기 ㄱ. 반응이 완결된 후 A(g)는 모두 B(g)가 되므로 용기 속 B(g)의 양(mol)은 I에서가 0.4 mol이고, III에서가 0.6 mol이다.

353 A(g)의 몰농도가 일정할 때 B(g)의 몰농도가 커지더라도 초기 반응 속도는 변하지 않으므로 이 반응은 B에 대한 0차 반응이다. B(g)의 몰농도가 일정할 때 A(g)의 몰농도가 3배가 되면 초기 반응 속도도 3배가 되므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다.

모범 답안 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고, B에 대한 0차 반응이므로 전체 반응 차수는 1이고, 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다.

채점 기준	배점
전체 반응 차수와 반응 속도식을 모두 옳게 쓴 경우	100 %
전체 반응 차수와 반응 속도식 중 1가지만 옳게 쓴 경우	50 %

354 ㄱ, ㄴ. 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이므로 반응 속도는 A(g)의 몰농도에 비례한다. 시간이 지날수록 A(g)의 몰농도가 감소하므로 반응 속도는 느려진다.

바로알기 ㄷ. 1차 반응은 반감기가 일정하므로 반응물의 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간이 일정하다.

355 ㄱ. 이 반응은 A(g)의 초기 농도와 초기 반응 속도가 비례하므로 A에 대한 1차 반응이다.

ㄴ. 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이므로 A(g)의 초기 농도가 0.1 M일 때 반응 속도는 $a \text{ M/s}=k \times 0.1 \text{ M}$, $k=10a \text{ s}^{-1}$ 이다.

ㄷ. 1차 반응은 A(g)의 초기 농도와 관계없이 반감기가 일정하다.

356 ③ 이 반응은 반감기가 t 초로 일정한 반응이므로 A에 대한 1차 반응이다. 강철 용기에 A(g) 1 M를 넣고 반응시키면 반감기가 2번 지날 때 A(g)의 몰농도는 0.25 M이다. 따라서 A(g)의 몰농도가 0.25 M일 때 반응 시간은 $2t$ 초이다.

357 ㄱ. 이 반응은 t 초 지날 때마다 반응물의 농도가 $\frac{1}{4}$ 배로 감소하므로 반감기가 $\frac{1}{2}t$ 초로 일정한 반응이다. 반감기가 일정하므로 1차 반응이다.

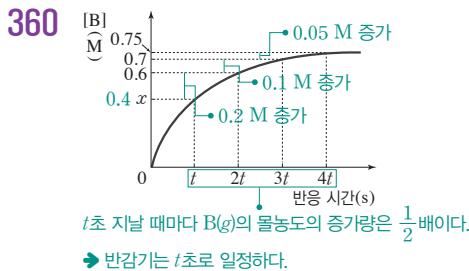
바로알기 | ㄴ. 반감기는 $\frac{1}{2}t$ 초이다.

ㄷ. 이 반응은 1차 반응이므로 반응 속도와 A(g)의 몰농도는 비례한다. A(g)의 몰농도는 $2t$ 초일 때가 $3t$ 초일 때의 4배이므로 순간 반응 속도는 $2t$ 초일 때가 $3t$ 초일 때의 4배이다.

358 ③ 이 반응은 반감기가 t 초로 일정한 반응이므로 초기 반응 속도는 A(g)의 초기 농도에 비례한다. I에서 A(g)의 초기 농도가 0.1 M 일 때 초기 반응 속도는 $5v$ M/s이므로 II에서 초기 반응 속도가 $8v$ M/s가 되기 위해서는 A(g)의 초기 농도는 0.16 M이어야 한다. 따라서 ㉠은 0.16이다.

359 ㄴ. 반응 시간이 1분일 때 반응한 A(g)의 몰농도는 0.4 M이고, 생성된 B(g)의 몰농도는 0.2 M이므로 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수비는 2 : 1이다. 따라서 $\frac{b}{a} = \frac{1}{2}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 반응 시간이 2분일 때 반응한 A(g)의 몰농도는 0.6 M이므로 생성된 B(g)의 몰농도는 0.3 M이다. 따라서 ㉠은 0.3이다.
ㄷ. 온도가 일정할 때 반응 속도 상수는 일정하므로 반응 속도 상수는 1분일 때와 2분일 때가 같다.



ㄱ. $2t$ 초~ $3t$ 초 동안 증가한 B의 몰농도는 0.1 M이고, $3t$ 초~ $4t$ 초 동안 증가한 B의 몰농도는 0.05 M이므로 이 반응은 반감기가 t 초로 일정한 반응이다. 반감기가 일정하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고, $n=1$ 이다.

ㄴ. t 초~ $2t$ 초 동안 증가한 B의 몰농도는 0.2 M이므로 $x=0.4$ 이다.
ㄷ. $0 \sim t$ 초 동안 증가한 B의 몰농도는 0.4 M이고, 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수비는 1 : 2이므로 $0 \sim t$ 초 동안 감소한 A(g)의 몰농도는 0.2 M이다. 이 반응은 반감기가 t 초이므로 반응 전 용기에 넣은 A(g)의 몰농도는 0.4 M이다.

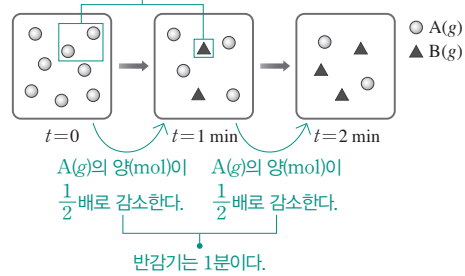
361 이 반응은 A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. $0 \sim t$ 초 동안 생성된 B(g)의 몰농도는 $12n$ M이고, t 초~ $2t$ 초 동안 생성된 B(g)의 몰농도(M)는 $3n(=15n-12n)$ 이므로 t 초 지날 때마다 생성되는 B(g)의 몰농도는 $\frac{1}{4}$ 배씩 감소한다. 따라서 반감기는 $\frac{1}{2}t$ 초이다.

ㄴ. t 초일 때 생성된 B(g)의 몰농도는 $12n$ M이고, 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수비가 1 : 2이므로 반응한 A(g)의 몰농도는 $6n$ M이다. t 초일 때 반감기가 2번 지났으므로 $0 \sim \frac{1}{2}t$ 초 동안 반응한 A(g)의 몰농도는 $4n$ M이고, $\frac{1}{2}t$ 초~ t 초 동안 반응한 A(g)의 몰농도는 $2n$ M이다. 따라서 A(g)의 초기 농도는 $\frac{1}{2}t$ 초일 때의 몰농도의 2배이므로 ㉠은 $8n$ 이다.

ㄷ. $2t$ 초일 때 반감기가 4번 지났으므로 A(g)의 몰농도는 $\frac{1}{2}n$ M이다. 따라서 ㉡은 $\frac{1}{2}n$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 이 반응의 반감기는 $\frac{1}{2}t$ 초이다.

362 A(g) 2개가 반응하면 B(g) 1개가 생성되므로 화학 반응식은 $2A(g) \rightarrow B(g)$ 이다.



ㄴ, ㄷ. 1분 지날 때마다 A(g)의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소하므로 반감기가 1분으로 일정하다. 따라서 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고, $n=1$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 반응 시간이 1분일 때 A(g) 4개가 반응하고 B(g) 2개가 생성되므로 화학 반응식에서 반응 계수비 $a : b = 2 : 1$ 이다. 따라서 $a > b$ 이다.

363 (가)와 (나)에서 반응은 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. (가)에서 a 분~ $2a$ 분 동안 A(g)의 몰농도는 $\frac{1}{2}$ 배로 감소하므로 반감기는 a 분이다. (나)에서 a 분~ $2a$ 분 동안 X(g)의 몰농도는 $\frac{1}{4}$ 배로 감소하므로 반감기는 $\frac{1}{2}a$ 분이다. 모형 1개의 몰농도를 n M라고 하면 (가)에서 반감기가 a 분이므로 ㉠에서 A(g)의 몰농도는 $8n$ M이다. (나)에서 반감기가 $\frac{1}{2}a$ 분이므로 ㉡에서 X(g)의 몰농도는 $16n$ M이다.

모범 답안 (가)에서 반감기는 a 분이고, (나)에서 반감기는 $\frac{1}{2}a$ 분이다. ㉠과 ㉡에서 반응물의 몰농도는 각각 $8n$ M, $16n$ M이므로 반응물의 몰농도는 ㉡이 ㉠보다 크다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)에서의 반감기를 옳게 구하고, ㉠과 ㉡에서 반응물의 몰농도를 옳게 비교한 경우	100 %
(가)와 (나)에서의 반감기를 옳게 구했지만, ㉠과 ㉡에서 반응물의 몰농도를 옳게 비교하지 못한 경우	50 %
(가)와 (나) 중 1가지의 반감기만 옳게 구한 경우	20 %

364 반응 시간에 따른 A(g)의 몰농도를 정리하면 다음과 같다.

반응 시간(s)	t	$2t$	$3t$
[A](M)	4	2	1

ㄴ. 이 반응의 반감기는 t 초로 일정하므로 A의 몰농도와 반응 속도는 비례한다. A(g)의 몰농도는 t 초일 때가 $2t$ 초일 때의 2배이므로 순간 반응 속도는 ㉠이 ㉡의 2배이다.

바로알기 | ㄱ. 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다.

ㄷ. $2t$ 초일 때 B(g)의 몰농도는 4 M + 2 M = 6 M이고, $3t$ 초일 때 B(g)의 몰농도는 4 M + 2 M + 1 M = 7 M이다. 따라서 B(g)의 몰농도는 ㉡이 ㉠의 $\frac{7}{6}$ 배이다.

365 (가)에서 1분, 2분, 3분일 때 증가하는 B(g)의 몰농도는 각각 a M, $\frac{1}{2}a$ M, $\frac{1}{4}a$ M이므로 반응한 A(g)의 몰농도는 1분 지날 때

다 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소한다. (나)에서 1분, 2분, 3분일 때 증가하는 B(g)의 몰농도는 각각 $\frac{1}{2}a$ M, $\frac{1}{4}a$ M, $\frac{1}{8}a$ M이므로 반응한 A(g)의 몰농도는 1분 지날 때마다 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소한다. 따라서 (가)와 (나)에서 반감기는 1분으로 일정하다.

ㄱ. (가)에서 반응의 반감기는 1분이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 모두 반감기가 1분이므로 A(g)의 초기 농도는 (가)에서 $2a$ M이고, (나)에서 a M이다. (가)와 (나)에 넣은 A(g)의 양은 n mol로 같으므로 용기의 부피는 (나)가 (가)의 2배이다.

ㄷ. 3분일 때 A(g)의 몰농도는 (가)에서가 (나)에서의 2배이고, 용기의 부피는 (나)가 (가)의 2배이므로 A(g)의 양(mol)은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

366 ㄴ. (나)에서 0~2분 동안 A의 몰농도는 $\frac{1}{2}$ 배로 감소하고, 2분~6분 동안 A의 몰농도는 $\frac{1}{4}$ 배로 감소하므로 이 반응의 반감기는 2분이다. 온도가 일정하면 반응의 반감기가 일정하므로 (가)에서 반응의 반감기는 2분이다.

ㄷ. 이 반응은 반감기가 일정하므로 A에 대한 1차 반응이고, 반응 속도는 A의 몰농도에 비례한다. A(g)의 초기 농도는 (가)에서가 (나)에서 $\frac{3}{2}$ 배이므로 초기 반응 속도는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

바로알기 ㄱ. 온도가 일정하면 반응 속도 상수가 일정하다. 따라서 반응 속도 상수는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

367 기체의 압력과 기체의 양(mol)은 비례한다. 반응 전 A(g)의 양을 $2n$ mol이라고 하고, 0~ t 초 동안 반응한 A(g)의 양을 x mol이라고 하면 t 초일 때 전체 기체의 양(mol)은 $2n-x+2x=3n$, $x=n$ 이다. t 초~ $2t$ 초 동안 반응한 A(g)의 양을 y mol이라고 하면 $2t$ 초일 때 전체 기체의 양(mol)은 $3n-y+2y=\frac{7}{2}n$, $y=\frac{1}{2}n$ 이다.

ㄱ. t 초 지날 때마다 A(g)의 양(mol)은 $\frac{1}{2}$ 배로 감소하므로 반감기는 t 초이다.

ㄴ. $2t$ 초일 때 A(g)의 양은 $\frac{1}{2}n$ mol이므로 B(g)의 양(mol)은 $2 \times (2n - \frac{1}{2}n) = 3n$ 이다. 따라서 $\frac{B(g)의 양(mol)}{A(g)의 양(mol)} = \frac{3n}{\frac{1}{2}n} = 6$ 이다.

ㄷ. $3t$ 초일 때 A(g)의 양은 $\frac{1}{4}n$ mol이고, B(g)의 양(mol)은 $2 \times (2n - \frac{1}{4}n) = \frac{7}{2}n$ 이다. 따라서 ㉠은 $\frac{1}{4} + \frac{7}{2} = \frac{15}{4}$ 이다.

368 A(g)의 몰농도는 $2t$ 초일 때가 $4t$ 초일 때의 4배이므로 반감기는 t 초이다. 화학 반응식에서 A(g), B(g), C(g)의 반응 계수비는 1:2:1이므로 반응 시간에 따른 A(g)~C(g)의 몰농도를 나타내면 다음과 같다.

반응 시간(s)	0	t	$2t$	$3t$	$4t$
[A](M)	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025
[B](M)	0	0.4(㉠)	0.6	0.7	0.75
[C](M)	0	0.2	0.3	0.35(㉡)	0.375

$$\therefore \frac{0 \sim 3t \text{ 초 동안 평균 반응 속도}}{0 \sim 2t \text{ 초 동안 평균 반응 속도}} = \frac{\frac{0.4-0.05}{3t}}{\frac{0.4-0.1}{2t}} = \frac{7}{9} \text{ 이다.}$$

바로알기 ㄱ. A(g)의 초기 농도는 0.4 M이다.

ㄴ. ㉠은 0.4이고, ㉡은 0.35이므로 ㉠ > ㉡이다.

369 ㄱ. $2t$ 분 지날 때마다 증가하는 B(g)의 몰농도는 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소하므로 (가)에서 반감기는 $2t$ 분이다. $3t$ 분 지날 때마다 증가하는 Y(g)의 몰농도는 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소하므로 (나)에서 반감기는 $3t$ 분이다. (가)와 (나)는 반감기가 각각 $2t$ 분, $3t$ 분으로 일정하므로 1차 반응이고, $m=n=1$ 이다.

ㄴ. 반감기는 (나)가 (가)의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

바로알기 ㄷ. (가)와 (나)에서 반감기가 한 번 지났을 때 증가하는 B(g)의 몰농도와 Y(g)의 몰농도가 같으므로 A(g)의 초기 몰농도와 X(g)의 초기 몰농도는 같다. 같은 몰농도로 반응물을 넣었을 때 초기 반응 속도는 (가) > (나)이므로 반응 속도 상수는 $k_1 > k_2$ 이다.

11 유효 충돌과 활성화 에너지

빈출 자료 보기

107쪽

370 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × (7) ○

370 정반응의 활성화 에너지는 x kJ이고, 역반응의 활성화 에너지는 y kJ이므로 반응 엔탈피는 $(x-y)$ kJ이다.

바로알기 (1) 정반응의 활성화 에너지는 x kJ이다.

(4) (가)는 활성화물이므로 A(g), B(g), (가) 중 에너지는 (가)가 가장 크다.

(6) $\Delta H = (x-y)$ kJ > 0이므로 정반응은 흡열 반응이다.

난이도별 필수 기출

108쪽~111쪽

371 ③	372 ③	373 ②	374 ④	375 해설 참조
376 ⑤	377 ③, ⑦		378 ⑤	379 ③
381 해설 참조		382 ①	383 ⑤	384 ③
386 ①	387 ⑤	388 ④		385 ②

371 학생 A, B. 유효 충돌은 반응이 일어나기 적합한 충돌이고, 비유효 충돌은 반응이 일어나지 않는 충돌이다. 유효 충돌수가 증가하면 반응이 일어나는 빈도 수가 증가하므로 반응이 잘 일어난다.

바로알기 | 학생 C. 입자들이 느린 속도로 충돌하면 에너지가 부족해 반응이 잘 일어나지 않는다. 이 경우 유효 충돌이 잘 일어나지 않는다.

372 ㄱ, ㄴ. 유효 충돌이 일어나기 위해서는 적합한 방향으로 충돌해야 하고, 반응물 입자 사이의 결합을 끊을 수 있을 정도로 충분히 빠른 속도로 충돌해야 한다.

바로알기 | ㄷ. 에너지가 낮으면 반응이 잘 일어나지 않으므로 유효 충돌이 잘 일어나지 않는다.

373 ② 유효 충돌이 일어나기 위해서는 적합한 방향으로 충돌하고, 반응물이 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지고 있어야 한다. 이에 해당하는 충돌은 (나) 1가지이다.

374 ㄱ. (나)에서 A_2 와 B_2 가 충돌하여 AB가 생성되므로 화학 반응식은 $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$ 이다.

ㄷ. (나)에서 충돌이 일어나면서 새로운 물질인 AB가 생성되므로 반응이 일어난다.

바로알기 | ㄴ. (가)는 반응이 일어나지 않으므로 비유효 충돌이고, (나)는 반응이 일어나므로 유효 충돌이다.

375 NO_2 와 CO의 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



(가)~(다) 중 반응이 일어나는 충돌은 (가)이므로 (가)는 유효 충돌이고, (나)와 (다)는 비유효 충돌이다. (나)는 (가)에 비해 충돌 속도가 느리고, (다)는 (가)와 충돌 방향이 다르다.

모범 답안 유효 충돌은 (가)이다. (나)는 충돌 속도가 느리기 때문에 반응이 일어나지 않고, (다)는 충돌 방향이 적합하지 않아 반응이 일어나지 않는다.

채점 기준	배점
유효 충돌을 옳게 찾고, 유효 충돌이 되지 못하는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
유효 충돌을 옳게 찾았지만, 유효 충돌이 되지 못하는 까닭을 1가지만 옳게 서술한 경우	60 %
유효 충돌을 옳게 찾았지만, 유효 충돌이 되지 못하는 까닭을 모두 옳게 서술하지 못한 경우	30 %

376 ㄱ, ㄴ. NO와 O_3 이 반응이 일어나기에 충분한 에너지를 가지고 적합한 방향으로 충돌했으므로 반응이 일어난다. 따라서 이 충돌은 유효 충돌이다.

ㄷ. 충돌이 일어나면 O_3 에서 O 원자 사이의 결합이 끊어지고, N 원자와 O 원자 사이에 결합이 생성된다.

377 ①, ② 활성화 에너지는 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지이므로 정반응의 활성화 에너지는 a kJ이고, 역반응의 활성화 에너지는 (a-b) kJ이다.

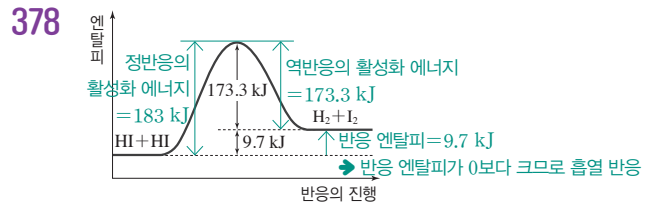
④ 정반응의 활성화 에너지는 a kJ이므로 반응이 일어나기 위해서는 a kJ 이상의 에너지가 필요하다.

⑤ 반응물과 생성물의 엔탈피 차는 b kJ이므로 반응 엔탈피는 b kJ이다.

⑥ 반응 엔탈피는 0보다 크므로 이 반응은 열을 흡수하는 흡열 반응이다.

바로알기 | ③ 정반응의 활성화 에너지는 역반응의 활성화 에너지보다 b kJ만큼 크다.

⑦ 정반응의 활성화 에너지가 감소하면 역반응의 활성화 에너지도 함께 감소한다.



ㄱ. 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 9.7 kJ만큼 크므로 반응 엔탈피는 9.7 kJ이다.

ㄴ. 역반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지는 173.3 kJ이므로 역반응의 활성화 에너지는 173.3 kJ이다.

ㄷ. 정반응의 활성화 에너지는 173.3 kJ + 9.7 kJ = 183 kJ이므로 정반응이 일어나기 위해서는 183 kJ 이상의 에너지가 필요하다.

379 ㄱ, ㄴ. 정반응과 역반응이 일어나기 위해 필요한 에너지는 (가)가 (나)보다 크므로 정반응의 활성화 에너지와 역반응의 활성화 에너지는 모두 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

바로알기 | ㄷ. 반응 경로가 달라지더라도 반응물과 생성물의 엔탈피는 일정하므로 반응 엔탈피는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

380 ㄴ. (나)에 해당하는 분자가 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지므로 적합한 방향으로 충돌하면 반응이 일어난다.

ㄷ. (나)에 해당하는 분자 수가 많아질수록 반응이 잘 일어나므로 반응 속도가 빨라진다.

바로알기 | ㄱ. (가)에 해당하는 분자가 충돌하더라도 활성화 에너지보다 에너지가 작으므로 반응이 일어나지 않는다.

381 활성화 에너지가 E_a 에서 E_a' 로 감소하면 반응을 할 수 있는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

모범 답안 유효 충돌수가 증가하고 반응 속도가 빨라진다.

채점 기준	배점
유효 충돌수와 반응 속도의 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
유효 충돌수와 반응 속도의 변화 중 1가지만 옳게 서술한 경우	50 %

382 ㄱ. 활성화물은 반응이 일어날 때 에너지가 가장 높은 상태의 불안정한 물질이다.

바로알기 | ㄴ. 활성화물은 에너지가 높으므로 반응물과 생성물보다 불안정하다.

ㄷ. 활성화물은 반응물을 구성하는 입자 사이의 결합이 약하지만 모두 끊어진 상태는 아니다.

383 ㄱ. (나)는 반응물이 생성물로 변하는 과정의 중간 상태의 물질이므로 활성화물이다.

ㄴ. (나)는 에너지가 가장 높으므로 반응의 활성화 에너지는 [(나)의 에너지 - (가)의 에너지]이다.

ㄷ. (나) → (다) 과정에서 H-H와 I-I의 결합이 형성되고, H-I의 결합은 끊어진다.

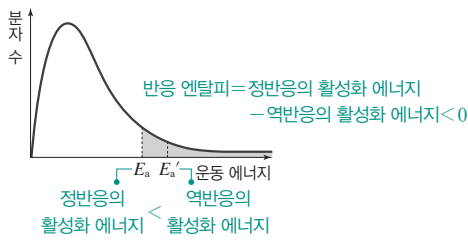
384 ③ 반응 엔탈피는 0보다 작으므로 반응물의 엔탈피는 생성물의 엔탈피보다 크다. 활성화물은 반응이 일어날 때 에너지가 가장 높으므로 ㉠은 활성화물, ㉡은 반응물, ㉢은 생성물이다.

385 ㄴ. 반응 엔탈피는 (a-b) kJ이므로 A(g) 1 mol이 모두 반응하여 B(g) 1 mol이 생성되면 출입하는 에너지는 (a-b) kJ이다.

바로알기 | ㄱ. 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 크므로 이 반응은 흡열 반응이다.

ㄷ. 반응의 활성화 에너지가 감소하더라도 반응 엔탈피는 변하지 않는다.

386



ㄱ. 반응이 일어나는 데 필요한 에너지가 활성화 에너지이다. 역반응의 활성화 에너지가 정반응의 활성화 에너지보다 크므로 반응이 일어나는 데 필요한 에너지는 역반응이 정반응보다 크다.

바로알기 ㄴ. 반응 엔탈피는 (정반응의 활성화 에너지) - (역반응의 활성화 에너지)이므로 0보다 작다. 따라서 정반응은 발열 반응이다.

ㄷ. 반응 엔탈피 = (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합) < 0이므로 생성물의 결합 에너지 합은 반응물의 결합 에너지 합보다 크다.

387 ㄱ. (가)에서 반응 엔탈피 $\Delta H = B(g)$ 의 엔탈피 - $A(g)$ 의 엔탈피 = $-a$ kJ이다.

ㄴ. 역반응의 활성화 에너지는 b kJ이므로 $\Delta H = (\text{정반응의 활성화 에너지}) - (\text{역반응의 활성화 에너지}) = (\text{정반응의 활성화 에너지}) - b$ kJ = $-a$ kJ이다. 따라서 정반응의 활성화 에너지는 $(b-a)$ kJ이다.

ㄷ. 역반응의 활성화 에너지인 E_a' 가 감소하면 정반응의 활성화 에너지도 감소한다. 따라서 정반응 속도는 빨라진다.

388 $\Delta H = (\text{정반응의 활성화 에너지}) - (\text{역반응의 활성화 에너지})$ 이다. 역반응의 활성화 에너지는 (가)에서 $(40+a)$ kJ이고, (나)에서 $(50+a)$ kJ이며, (다)에서 $(50-a)$ kJ이다.

ㄴ. 역반응의 활성화 에너지가 정반응의 활성화 에너지보다 큰 반응은 (가)와 (나)이다.

ㄷ. 역반응의 활성화 에너지는 (나)가 (다)보다 크다.

바로알기 ㄱ. (가)와 (나)의 $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이고, (다)의 $\Delta H > 0$ 이므로 흡열 반응이다.

12 농도, 온도와 반응 속도

빈출 자료 보기

113쪽

389 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) × (6) ○

389 (가)에서 반응이 일어나면 A 1개가 반응하고, B 2개가 생성되므로 화학 반응식은 $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ 이다. $A(g)$ 의 초기 농도는 (나)가 (가)의 $\frac{3}{2}$ 배이고, 초기 반응 속도는 (나)가 (가)의 $\frac{3}{2}$ 배이므로 반응 속도는 $A(g)$ 의 초기 농도에 비례한다. 따라서 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다.

바로알기 ㄷ. 반응물의 농도는 (가) < (나)이므로 반응 초기에 단위 시간당 반응물의 충돌수는 (나) > (가)이다.

(4) 온도가 일정하면 반감기는 일정하므로 (가)와 (나)의 반감기는 같다.

(5) 반응의 활성화 에너지는 반응물의 농도에 따라 변하지 않으므로 (가)와 (나)가 같다.

난이도별 필수 기출

114쪽~121쪽

390 ①	391 해설 참조	392 ③	393 ⑤	394 ④
395 ④	396 ③	397 ③	398 ②, ⑤	399 ①
400 ⑤	401 해설 참조	402 ③	403 해설 참조	
404 ②	405 ①	406 ③	407 ③	408 ①
410 ⑤	411 ③	412 ②	413 해설 참조	414 ①
415 ④	416 ②	417 ②	418 ④	419 ④
421 ⑤	422 ③	423 ②	424 ①	

390 ②, ③ 반응물의 농도가 증가하면 입자의 충돌수가 증가하고, 유효 충돌수도 증가한다.

④, ⑤ 유효 충돌수가 증가하면 반응할 수 있는 입자 수가 많아져서 반응 속도가 증가한다.

바로알기 ① 반응물의 농도가 증가하면 단위 부피당 입자 수가 증가한다.

391 0~1분 동안 감소한 $A(g)$ 의 몰농도는 0.2 M이고, 1분~2분 동안 감소한 $A(g)$ 의 몰농도는 0.1 M이므로 시간이 지날수록 1분 동안 감소하는 $A(g)$ 의 몰농도는 작아지므로 반응 속도는 느려진다. $A(g)$ 의 몰농도가 작아져도 반감기는 1분으로 일정하다.

모범 답안 반응물의 농도가 클수록 반응 속도는 빨라진다. 반응물의 농도에 따라 반감기는 변하지 않는다.

채점 기준	배점
반응물의 농도와 반응 속도의 관계, 반응물의 농도와 반감기의 관계를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
반응물의 농도와 반응 속도의 관계, 반응물의 농도와 반감기의 관계 중 1가지만 옳게 서술한 경우	50 %

392 ㄱ. 반응물의 초기 농도는 (다) > (나) > (가)이다.

ㄴ. 반응물의 농도가 클수록 단위 시간당 반응물의 충돌수가 크다. 따라서 단위 시간당 반응물의 충돌수는 (다) > (나) > (가)이다.

바로알기 ㄷ. 단위 시간당 반응물의 충돌수가 클수록 초기 반응 속도가 빨라지므로 초기 반응 속도는 (다) > (나) > (가)이다.

393 ㄱ. (나)는 (가)보다 입자의 크기가 작으므로 고체 전체의 표면적이 크다.

ㄴ. 고체의 표면적이 클수록 표면에 충돌하는 입자 수가 증가한다. 따라서 입자 사이의 충돌수는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. 입자 사이의 충돌수가 클수록 반응 속도가 빨라진다. 따라서 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.

394 가루약의 표면적이 알약보다 크기 때문에 용해 및 흡수 속도가 빠르다. 이 사례는 표면적이 커지면 반응 속도가 빨라지는 것과 관련이 있다.

ㄴ. 음식 재료를 잘게 썰면 익는 속도가 빨라지는 사례는 표면적이 커지면 반응 속도가 빨라지는 것과 관련이 있다.

ㄷ. 밀가루 공장에서 폭발 사고가 일어날 수 있는 사례는 표면적이 커지면 반응 속도가 빨라지는 것과 관련이 있다.

바로알기 | ㄱ. 고압 산소실에서 저산소증을 치료하는 사례는 농도가 커지면 반응 속도가 빨라지는 것과 관련이 있다.

395 (가)는 표면적이고, (나)는 농도이다.

ㄴ. (가)의 ㉠에서 고체의 표면적이 커지므로 반응물의 충돌수가 증가하고, (나)의 ㉡에서 반응물의 농도가 커지므로 반응물의 충돌수가 증가한다.

ㄷ. 음식을 밀폐 용기에 보관하면 산소의 농도가 작아지므로 음식물이 산화되거나 부패되는 속도가 느려져 음식을 오래 보관할 수 있다. 이것은 (나)로 설명할 수 있다.

바로알기 | ㄱ. (가)는 표면적이다.

396 ㄱ. ㄴ. 불이 붙은 장작에 바람을 불어 넣으면 공기 속 산소가 빠르게 공급되므로 산소의 농도가 커지고, 연소 반응 속도가 빨라진다.

바로알기 | ㄷ. 이 자료로부터 반응물의 농도가 커지면 반응 속도가 빨라지는 것을 알 수 있으므로 농도와 반응 속도 관계를 설명할 수 있다.

397 ㄱ. 기체의 부피는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 A(g)의 몰농도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄴ. A(g)의 몰농도는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.

바로알기 | ㄷ. 반응물의 농도가 변하더라도 반응의 활성화와 에너지는 일정하다.

398 ① Mg(s)과 HCl(aq) 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



반응이 일어나면 H₂(g)가 생성된다.

③ II는 I보다 HCl(aq)의 몰농도가 크므로 I과 II를 비교하면 농도와 반응 속도의 관계를 알 수 있다.

④ III은 II보다 Mg(s)의 표면적이 크므로 II와 III을 비교하면 표면적과 반응 속도의 관계를 알 수 있다.

⑥ Mg(s)의 질량은 I~III에서 모두 같으므로 반응 완결 후 생성된 H₂(g)의 양(mol)은 I~III에서 모두 같다.

바로알기 | ② 반응이 일어나면 생성된 H₂(g)가 공기 중으로 날아가므로 질량이 감소한다. 따라서 시간에 따라 감소한 질량을 이용하여 반응 속도를 측정한다.

⑤ 초기 반응 속도는 HCl(aq)의 농도가 크고, Mg(s)의 표면적이 큰 III에서가 가장 빠르다.

399 Zn(s)과 HCl(aq) 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



ㄱ. HCl(aq)의 몰농도를 증가시켜서 실험하면 반응 속도가 빨라진다.

바로알기 | ㄴ. 반응 속도가 빨라지면 반응이 완결되는 시간이 t초보다 빨라진다.

ㄷ. 일정량의 Zn(s)을 반응시켰으므로 반응 완결 후 생성된 기체의 양(mol)이 일정하다. 따라서 생성된 기체의 부피는 V mL로 일정하다.

400 CaCO₃(s)과 HCl(aq) 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



ㄱ. CaCO₃(s)의 표면적은 II에서가 I에서보다 크므로 반응물의 충돌수는 II에서가 I에서보다 크다.

ㄴ. HCl(aq)의 농도는 III에서가 I에서보다 크므로 초기 반응 속도는 III에서가 I에서보다 빠르다.

ㄷ. 반응하는 CaCO₃(s)의 질량은 IV에서 가장 크므로 반응 완결 후 생성되는 CO₂(g)의 질량은 IV에서 가장 크다.

401 반응물의 농도가 클수록 반응 속도가 빠르고, 고체의 표면적이 클수록 반응 속도가 빠르다.

모범 답안 HCl(aq)의 농도는 III, IV에서가 I, II에서보다 크고, CaCO₃(s)의 표면적은 II, IV에서가 I, III에서보다 크므로 반응 속도는 IV에서 가장 빠르다.

채점 기준	배점
반응 속도가 가장 빠른 실험을 옳게 쓰고, 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
반응 속도가 가장 빠른 실험을 옳게 쓰고, 그 까닭 중 1가지만 옳게 서술한 경우	60 %
반응 속도가 가장 빠른 실험을 옳게 썼지만, 그 까닭을 옳게 서술하지 못한 경우	30 %

402 I에서 KIO₃ 혼합 용액의 몰농도는 $0.2 \text{ M} \times \frac{7.5}{7.5+2.5} = 0.15 \text{ M}$ 이고, II에서 KIO₃ 혼합 용액의 몰농도는 $0.2 \text{ M} \times \frac{5}{5+5} = 0.1 \text{ M}$ 이며, III에서 KIO₃ 혼합 용액의 몰농도는 $0.2 \text{ M} \times \frac{2.5}{2.5+7.5} = 0.05 \text{ M}$ 이다.

ㄱ. KIO₃ 혼합 용액의 몰농도는 I에서가 II에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

ㄷ. I~III에서 반응 속도는 수용액의 색이 변하는 시간에 반비례하므로 반응 속도비는 I : II : III = $\frac{1}{8} : \frac{1}{12} : \frac{1}{24} = 3 : 2 : 1$ 이다. 반응 속도는 KIO₃ 혼합 용액의 몰농도에 비례하므로 이 반응은 KIO₃에 대한 1차 반응이다.

바로알기 | ㄴ. 초기 반응 속도는 II가 III보다 빠르다.

403 Mg(s)과 HCl(aq) 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



I~III에서 HCl의 양은 각각 0.1 mol, 0.2 mol, 0.4 mol이고, Mg 1 g의 양은 약 0.04 mol이고, Mg 2 g의 양은 약 0.08 mol이므로 이 반응에서 HCl의 양이 과량이고, 생성된 H₂(g)의 양(mol)은 Mg(s)의 질량에 영향을 받는다. HCl(aq)의 몰농도는 III > I = II이고, Mg(s)의 표면적은 가루가 조각보다 크므로 반응 속도는 III > II > I이다. 생성된 H₂(g)의 양(mol)이 가장 큰 실험은 반응물의 양(mol)이 가장 큰 III이다.

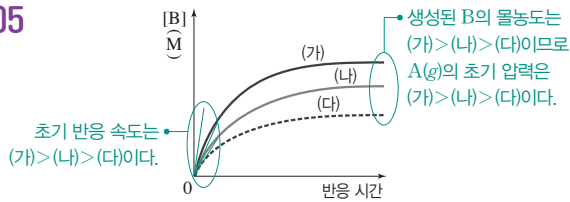
모범 답안 I에 해당하는 실험은 (다)이고, II에 해당하는 실험은 (나)이며, III에 해당하는 실험은 (가)이다.

채점 기준	배점
3가지 실험을 모두 옳게 구한 경우	100 %
3가지 실험 중 1가지만 옳게 구한 경우	40 %

404 ㄴ. 양금이 생성되는 양(mol)이 많아지면 ×표가 보이지 않는다. ×표가 보이지 않을 때까지 걸리는 시간이 짧을수록 반응 속도가 빠르므로 반응 속도는 II > III > I이다.

바로알기 | ㄱ. ×표가 보이지 않을 때까지 걸리는 시간이 길수록 반응 속도가 느리다.

ㄷ. HCl(aq)의 농도가 클수록 반응 속도가 빠르므로 $b > c > a$ 이다.



ㄱ. 부피가 같은 강철 용기에서 기체의 압력이 클수록 농도가 크다. 초기 반응 속도는 (가) > (나) > (다)이므로 A(g)의 초기 압력은 (가) > (나) > (다)이다.

바로알기 | ㄴ. 초기 반응 속도는 (나) > (다)이다.

ㄷ. 반응물의 농도가 변하더라도 반응의 활성화 에너지는 일정하다.

406 ㄱ. 반감기는 (가)와 (나)가 모두 10초로 같다.

ㄴ. 0~20초 동안 평균 반응 속도는 (가)가 $\frac{0.8\text{ M} - 0.2\text{ M}}{20\text{ s}} = 0.03\text{ M/s}$

이고, (나)가 $\frac{0.4\text{ M} - 0.1\text{ M}}{20\text{ s}} = 0.015\text{ M/s}$ 이다. 따라서 평균 반응 속도는 (가)가 (나)의 2배이다.

바로알기 | ㄷ. 온도가 일정하면 반감기와 반응 속도 상수가 일정하다. 따라서 반응 속도 상수는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

407 ㄱ. B(g)의 양(mol)은 변하지 않으므로 B(g)는 반응에 참여하지 않는다. A(g)가 반응하여 몰농도가 a M만큼 감소하면, C(g)가 생성되어 몰농도는 2a M만큼 증가한다. 따라서 화학 반응식은 $A(g) \rightarrow 2C(g)$ 이다.

ㄴ. 이 반응은 반감기가 1분으로 일정하므로 A에 대한 1차 반응이고, 반응 속도와 A(g)의 몰농도는 비례한다.

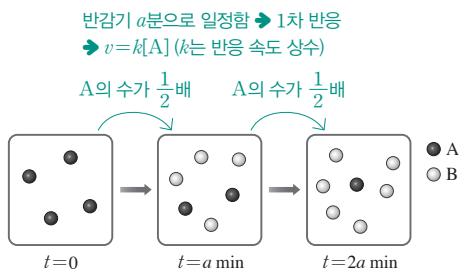
바로알기 | ㄷ. 강철 용기의 부피가 2배가 되면 A(g)의 초기 농도는 a M이다. 반감기는 1분이므로 반응 시간이 1분일 때 A(g)의 몰농도는 0.5a M이다.

408 ㄱ. 반응 초기에 A(g)의 전체 분자 수는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 A(g)의 초기 농도는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

바로알기 | ㄴ. 반응은 1차 반응이므로 A(g)의 초기 농도와 반응 속도는 비례한다. 따라서 초기 반응 속도는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 온도가 일정하면 반응 속도 상수가 일정하므로 반응 속도 상수는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

409



ㄱ. 이 반응은 반감기가 a분으로 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다. 1차 반응이므로 반응 속도는 A(g)의 몰농도에 비례한다.

바로알기 | ㄴ. 온도가 일정하면 반감기와 반응 속도 상수가 일정하다. 따라서 A(g)의 초기 농도를 2배로 하여 용기에 넣고 반응시켜도 반감기는 a분으로 같다.

ㄷ. 용기에서 입자 1개의 몰농도를 n M라고 하면 0~a분 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{4n\text{ M} - 2n\text{ M}}{a\text{ min}} = \frac{2n}{a}\text{ M/min}$ 이고, a분~2a분 동안의

평균 반응 속도는 $\frac{2n\text{ M} - n\text{ M}}{a\text{ min}} = \frac{n}{a}\text{ M/min}$ 이므로 평균 반응 속도

는 같지 않다.

다른 풀이 | ㄷ. 시간이 지날수록 A(g)의 몰농도가 감소하므로 반응 속도는 느려진다. 반응 속도가 느려지므로 a분 간격으로 구한 평균 반응 속도는 점점 느려진다. 따라서 0~a분 동안의 평균 반응 속도는 a분~2a분 동안의 평균 반응 속도보다 빠르다.

410 강철 용기에서 기체의 압력과 기체의 양(mol)이 비례하므로 기체의 압력과 기체의 몰농도는 비례한다. (가)와 (나)에서 반감기가 1분으로 일정하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다.

ㄱ. (가)에서 1분일 때 A(g)의 몰농도를 1.2n M라고 하면 A(g)의 초기 농도는 2.4n M이고, (나)에서 A(g)의 초기 농도는 1.6n M이다. 초기 반응 속도는 A(g)의 초기 농도에 비례하므로 초기 반응 속도비는 (가) : (나) = 2.4n M : 1.6n M = 3 : 2이다. 따라서 초기 반응 속도는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

ㄴ. 반감기가 1분이므로 ㉠은 0.3이고 ㉡은 0.4이다. 따라서 $\frac{㉡}{㉠} = \frac{4}{3}$ 이다.

ㄷ. (가)에서 반응 시간이 2분일 때 반응한 A(g)의 몰농도는 2.4n M - 0.6n M = 1.8n M이고, 화학 반응식에서 A(g)와 C(g)의 반응 계수비는 2 : 1이므로 C(g)의 몰농도는 0.9n M이다. (나)에서 반응 시간이 2분일 때 반응한 A(g)의 몰농도는 1.6n M - 0.4n M = 1.2n M이고, 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수비는 1 : 1이므로 B(g)의 몰농도는 1.2n M이다. 따라서 $\frac{(나)에서 [B]}{(가)에서 [C]} = \frac{1.2n\text{ M}}{0.9n\text{ M}} = \frac{4}{3}$ 이다.

411 ㄱ. 이 반응은 A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. I에서 A(g)의 초기 농도는 0.4 M이므로 A(g)의 몰농도가 0.1 M가 되려면 반감기가 2번 지나야 한다. A(g)의 몰농도가 0.1 M가 될 때까지 걸린 시간이 40초이므로 반감기는 20초이다.

ㄴ. II에서 반감기가 1번 지났을 때 A(g)의 몰농도가 0.1 M이므로 A(g)의 초기 농도는 0.2 M이고, 강철 용기의 부피 V_I는 2 L이다. III에서 반감기가 3번 지났을 때 A(g)의 몰농도가 0.1 M이므로 A(g)의 초기 농도는 0.8 M이고, 강철 용기의 부피 V_{II}는 1 L이다. 따라서 V_I + V_{II} = 2 + 1 = 3이다.

바로알기 | ㄷ. II에서 반응 시간이 40초일 때 반감기가 2번 지나므로 A(g)의 양은 0.1 mol이다. 이때 반응한 A(g)의 양은 0.4 mol - 0.1 mol = 0.3 mol이고 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수비가 2 : 1이므로 B(g)의 양은 0.15 mol이다.

412 ㄴ. 운동 에너지가 큰 분자 수는 T₂에서가 T₁에서보다 많으므로 분자의 평균 운동 에너지는 T₂일 때가 T₁일 때보다 크다.

바로알기 | ㄱ. 온도가 높을수록 분자의 평균 운동 에너지가 크므로 온도는 T₂ > T₁이다.

ㄷ. 온도가 높아져도 활성화 에너지는 변하지 않는다. 따라서 T₂에서 반응의 활성화 에너지는 E_a이다.

413 활성화 에너지는 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지이다. 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 분자 수는 T₂에서가 T₁에서보다 크므로 T₂에서가 T₁에서보다 반응 속도가 빠르다.

모범 답안 | 온도가 높을수록 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다. 따라서 반응 속도는 T₂에서가 T₁에서보다 빠르다.

채점 기준	배점
T_1 에서와 T_2 에서의 반응 속도를 옮겨 비교하고, 그 까닭을 활성화 에너지에 이용하여 옮겨 서술한 경우	100 %
T_1 에서와 T_2 에서의 반응 속도를 옮겨 비교하였지만, 그 까닭을 활성화 에너지에 이용하여 옮겨 서술하지 못한 경우	40 %

414 ㄱ. 기온은 여름이 겨울보다 높으므로 김치가 시어지는 속도는 여름이 겨울보다 빠르다.

바로알기 ㄴ. 통나무를 쪼개면 표면적이 커지므로 연소 반응 속도가 빨라진다.

ㄷ. 음식을 진공 포장하면 산소의 농도가 작아지므로 음식의 부패 속도가 느려진다.

415 ④ 생선을 얼음과 함께 보관하면 온도가 낮아지므로 생선이 상하는 속도가 느려진다. 이는 온도가 낮을수록 반응 속도가 느려지는 원리를 이용한 사례이다.

416 ② 온도가 높을수록 반응 속도가 빨라지므로 T_2 에서 T_1 에서보다 B(g)의 몰농도가 빠르게 증가한다. 같은 몰농도의 A(g)가 반응하므로 반응이 완결되었을 때 생성된 B(g)의 몰농도는 같다.

417 ㄴ. 반응 속도는 (가)에서 (나)에서보다 빠르므로 온도는 (가)에서 (나)에서보다 높다. 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 크므로 반응 속도 상수는 (가) > (나)이다.

바로알기 ㄱ. 생성된 기체의 부피는 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 넣어 준 Mg(s)의 질량은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

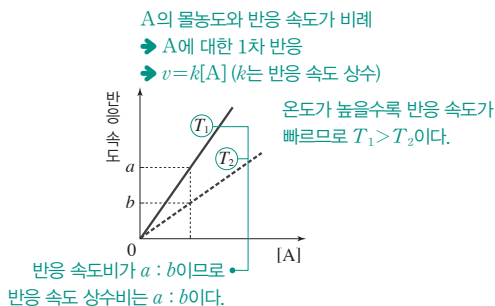
ㄷ. 온도가 변하더라도 반응의 활성화 에너지가 변하지 않는다. 따라서 반응의 활성화 에너지는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

418 ㄱ. ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간이 짧을수록 양금이 빠르게 생성되므로 반응 속도가 빠르다. 따라서 반응 속도는 50 °C일 때가 25 °C일 때보다 빠르다.

ㄷ. 온도가 높을수록 양금이 생성되는 속도가 빠르므로 반응 속도가 빨라지는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄴ. 반응물인 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$ 과 $\text{HCl}(\text{aq})$ 의 부피가 일정하므로 반응 완결 후 생성된 양금의 질량은 모두 같다.

419



A의 몰농도가 같을 때 반응 속도는 T_1 에서 T_2 에서보다 빠르므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다. A의 몰농도와 반응 속도가 비례하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다. k 는 반응 속도 상수이다.

ㄴ. 온도가 높을수록 반응 속도가 빠르므로 반감기가 짧아진다. 따라서 반감기는 T_2 에서 T_1 에서보다 길다.

ㄷ. T_1 과 T_2 에서 반응 속도 상수를 각각 k_1 , k_2 라고 하면 T_1 에서 반응 속도는 $a = k_1[A]$ 이고, T_2 에서 반응 속도는 $b = k_2[A]$ 이다. A(g)의 몰

농도가 같을 때, T_2 에서 반응 속도 상수 $= \frac{b}{\frac{[A]}{a}} = \frac{b}{a}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 온도는 $T_1 > T_2$ 이므로 반응 초기 A(g)의 평균 운동 에너지는 T_2 에서 T_1 에서보다 작다.

420 ㄱ. 반응 완결 후 생성된 B(g)의 양(mol)은 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 반응 전 A(g)의 양(mol)은 (가)에서와 (나)에서가 같다. (가)와 (나)의 부피가 같으므로 A(g)의 초기 농도는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

바로알기 ㄴ. E_a 이상의 에너지를 가지는 A(g)의 분자 수는 (나)에서 (가)에서보다 많으므로 온도는 (나)에서 (가)에서보다 높다.

ㄷ. 온도는 (나)에서 (가)에서보다 높으므로 반응 속도 상수는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

421 ㄱ, ㄴ. (가)에서 반감기는 $2t$ 초로 일정하고, (나)에서 반감기는 t 초로 일정하다. 반감기가 일정하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고, 반감기는 (가)에서 (나)에서의 2배이다.

ㄷ. (나)에서 $4t$ 초일 때 A(g)의 몰농도는 0.025 M이다. 0~ $4t$ 초 동안의 평균 반응 속도는 (가)에서 $\frac{0.4 \text{ M} - 0.1 \text{ M}}{4t \text{ s}} = \frac{3}{40t} \text{ M/s}$ 이고, (나)에서 $\frac{0.4 \text{ M} - 0.025 \text{ M}}{4t \text{ s}} = \frac{3}{32t} \text{ M/s}$ 이다. 따라서 평균 반응 속도는 (가)에서 (나)에서의 $\frac{4}{5}$ 배이다.

422 ㄱ. T_1 에서 2분~3분 동안 증가한 B(g)의 몰농도는 0.2 M이고, 3분~4분 동안 증가한 B(g)의 몰농도는 0.1 M이므로 T_1 에서 반감기는 1분으로 일정하고, 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다. 1분~2분 동안 증가한 B(g)의 몰농도는 0.4 M이므로 ㉠은 0.8이다.

ㄴ. T_2 에서 증가한 B(g)의 몰농도가 $\frac{1}{2}$ 배인 시간은 2분이므로 반감기가 2분이다. 반감기가 1번 지났을 때 증가한 B(g)의 몰농도는 0.6 M이고, 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수비가 1 : 2이므로 반응한 A(g)의 몰농도는 0.3 M이다. 따라서 A(g)의 초기 농도는 0.6 M이다.

바로알기 ㄷ. 반감기는 T_1 에서 T_2 에서보다 짧고 반감기는 A(g)와 관계없이 일정하므로 A(g)의 초기 농도가 같을 때 반응 속도는 T_1 에서 T_2 에서보다 빠르다. 따라서 반응 속도 상수는 T_1 에서 T_2 에서보다 크다.

423 T_1 에서 a 분 지날 때마다 A(g)의 양(mol)이 $\frac{1}{4}$ 배로 감소하므로 반감기는 $\frac{1}{2}a$ 분이다. T_2 에서 a 분 지날 때마다 증가하는 B(g)의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배로 감소하므로 반감기는 a 분이다.

ㄴ. 온도가 높을수록 반응 속도가 빨라져 반감기가 짧아진다. 반감기는 $T_2 > T_1$ 이므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

바로알기 ㄱ. T_1 에서 반감기는 $\frac{1}{2}a$ 분이다.

ㄷ. 모형 1개를 n M라고 하면 T_1 에서 $t=0$ 일 때 A(g)의 몰농도는 $16n$ M이다. T_2 에서 반감기가 a 분이므로 0~ a 분 동안 증가한 B(g)의 몰농도는 $4n$ M이고, 반응한 A(g)의 몰농도는 $4n$ M이다. 따라서 $t=0$ 일 때 A(g)의 몰농도는 $8n$ M이다. 따라서 $t=0$ 일 때 A(g)의 몰농도는 T_1 에서 T_2 에서보다 크다.

424 ㄱ. $A(g)$ 의 초기 농도는 $III > I = II$ 이고 온도는 $III = II > I$ 이므로 초기 반응 속도는 $III > II > I$ 이다.

바로알기 ㄴ. 온도가 같을 때 반응 속도 상수는 같으므로 반응 속도 상수는 II 에서와 III 에서가 같다.

ㄷ. 반응의 활성화 에너지는 온도, $A(g)$ 의 몰농도와 관계없이 일정하므로 $I \sim III$ 에서 모두 같다.

13 촉매와 반응 속도

빈출 자료 보기

123쪽

425 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

426 (1) × (2) ○ (3) ○

425 A를 사용하면 활성화 에너지가 증가하여 반응 속도가 느려지므로 A는 부촉매이고, B를 사용하면 활성화 에너지가 감소하여 반응 속도가 빨라지므로 B는 정촉매이다.

바로알기 (4) 촉매를 사용해도 반응 엔탈피는 변하지 않는다.

(5) 촉매는 자신은 변하지 않으면서 반응 속도를 변화시키므로 반응 전후 질량이 일정하다.

426 정촉매를 사용하면 반응을 일으킬 수 있는 분자 수는 증가하고, 부촉매를 사용하면 반응을 일으킬 수 있는 분자 수는 감소한다.

바로알기 (1) 정촉매를 사용했을 때의 활성화 에너지는 E_a' 이다.

난이도별 필수 기출

124쪽~131쪽

427 ②	428 ④	429 해설 참조	430 ④	431 ③
432 ③	433 ②	434 ②	435 ⑤	436 ②
438 해설 참조	439 ①	440 ③	441 ①	442 ⑤
443 ②, ③	444 ④	445 ⑤	446 ⑤	
447 해설 참조	448 ③	449 ⑤	450 ①	451 ③
452 ③	453 ①	454 ④	455 해설 참조	456 ②
457 ⑤	458 ④	459 ④	460 ④	461 ③
			462 ⑤	

427 ①, ③ 촉매는 화학 반응의 경로를 변화시키고, 활성화 에너지를 변화시켜 반응 속도를 변화시킨다.

④ 촉매는 반응이 일어나도 질량이 변하지 않고 일정하다.

⑤ 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 빠르게 하는 촉매를 정촉매라고 하고, 활성화 에너지를 증가시켜 반응 속도를 느리게 하는 촉매를 부촉매라고 한다.

바로알기 ② 촉매는 반응물과 생성물의 엔탈피를 변화시키지 않으므로 반응 엔탈피를 변화시키지 않는다.

428 ㄱ. 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지인 활성화 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. (나)에서 활성화 에너지를 감소시키므로 (나)에서 사용한 촉매는 정촉매이다.

바로알기 ㄴ. 정반응의 활성화 에너지가 작을수록 반응 속도가 빠르므로 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.

429 정반응의 활성화 에너지가 작아지면 역반응의 활성화 에너지도 작아진다. 역반응의 활성화 에너지가 작아지면 역반응이 일어나는데 필요한 에너지가 작아지고, 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 물질이 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

모범 답안 역반응의 활성화 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 역반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.

채점 기준	배점
역반응 속도를 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 설명한 경우	100 %
역반응 속도를 옳게 비교하였지만, 그 까닭을 옳게 설명하지 못한 경우	50 %

430 ㄱ. 정촉매를 사용하면 정반응과 역반응의 활성화 에너지가 모두 감소하므로 정반응의 활성화 에너지는 E_1 보다 작아진다.

ㄴ. 부촉매를 사용하면 정반응과 역반응의 활성화 에너지가 모두 증가하므로 역반응의 활성화 에너지는 E_2 보다 커진다.

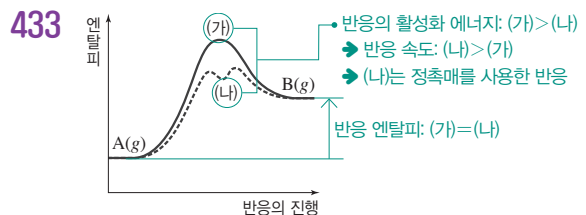
바로알기 ㄷ. 반응 엔탈피는 $(E_1 - E_2)$ 이다. 촉매를 사용해도 반응 엔탈피가 변하지 않으므로 부촉매를 사용해도 반응 엔탈피는 $(E_1 - E_2)$ 로 일정하다.

431 ㄱ. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 감소하는데, (가)는 활성화 에너지가 E_a 보다 작으므로 정촉매를 사용한 반응 경로이다.

ㄴ. 활성화 에너지가 커질수록 반응 속도가 느려진다. (나)보다 초기 반응 속도가 느린 반응 경로는 (다)와 (라) 2가지이다.

바로알기 ㄷ. 촉매를 사용하여 반응 경로가 달라져도 반응 엔탈피는 일정하므로 (가)~(라)에서 반응 엔탈피는 모두 같다.

432 ③ 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 감소하고 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 증가한다. 활성화 에너지는 $E_a'' > E_a' > E_a$ 이므로 (가)의 활성화 에너지는 E_a' 이고, (나)의 활성화 에너지는 E_a 이며, (다)의 활성화 에너지는 E_a'' 이다.



ㄴ. X는 (가)의 활성화 에너지를 감소시키므로 정촉매이다. 촉매는 반응 전후 질량이 같다.

바로알기 ㄱ. X는 정촉매이다.

ㄷ. 촉매를 사용해도 반응 엔탈피가 변하지 않으므로 반응 엔탈피는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

434 ㄴ. 초기 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르므로 X(s)는 반응의 활성화 에너지를 감소시키는 정촉매이다. 정촉매를 사용하면 정반응과 역반응의 활성화 에너지가 모두 감소하므로 역반응의 활성화 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자는 반응에 참여할 수 있는 분자이다. 반응의 활성화 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다

다 작으므로 반응 초기에 반응에 참여할 수 있는 분자 수는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. 촉매를 사용해도 반응 엔탈피가 변하지 않으므로 $\Delta H_1 = \Delta H_2$ 이다.

435 ㄱ. 초기 반응 속도가 빠를수록 반응 초기에 생성된 $O_2(g)$ 의 양(mol)이 많다. 따라서 반응 초기에 생성된 $O_2(g)$ 의 양(mol)은 $II > I > III$ 이다.

ㄴ. II에서 X를 첨가하였더니 초기 반응 속도가 빨라지므로 X는 정촉매이다.

ㄷ. III에서 Y를 첨가하였더니 초기 반응 속도가 느려지므로 Y는 부촉매이다. 부촉매는 활성화 에너지를 증가시킨다.

436 ② H_2O_2 가 분해되면 $O_2(g)$ 가 생성된다. 일정 시간 동안 생성된 $O_2(g)$ 가 많을수록 세제 속으로 $O_2(g)$ 가 들어가서 거품이 많이 발생한다. 거품의 양이 많을수록 반응 속도가 빠르므로 반응 속도는 ㉠ > ㉡ > ㉢이다.

437 ㄱ. H_2O_2 가 많이 분해될수록 $O_2(g)$ 가 많이 생성되어 거품의 양이 많아진다. H_2O_2 가 분해되면 $H_2O(l)$ 이 생성되므로 발생한 거품의 양이 많을수록 생성되는 $H_2O(l)$ 의 양(mol)이 많아진다.

ㄴ. KI를 사용하면 거품의 양이 많아지므로 KI은 H_2O_2 가 분해되는 반응의 속도를 빠르게 한다.

ㄷ. H_3PO_4 를 사용하면 거품이 양이 적어지므로 H_3PO_4 은 H_2O_2 가 분해되는 반응의 속도를 느리게 한다. 따라서 H_3PO_4 은 부촉매이다.

438 KI은 반응 속도를 빠르게 하므로 정촉매이고, H_3PO_4 은 반응 속도를 느리게 하므로 부촉매이다. 정촉매는 활성화 에너지를 감소시키고, 부촉매는 활성화 에너지를 증가시킨다.

모범 답안 KI을 사용하면 활성화 에너지는 감소하고, H_3PO_4 을 사용하면 활성화 에너지는 증가한다.

채점 기준	배점
KI을 사용할 경우와 H_3PO_4 을 사용할 경우 모두 활성화 에너지 변화를 옳게 서술한 경우	100 %
KI을 사용할 경우와 H_3PO_4 을 사용할 경우 중 1가지만 활성화 에너지 변화를 옳게 서술한 경우	50 %

439 ㄱ. ㉠은 촉매를 사용하지 않았을 때의 반응 경로 ㉠보다 활성화 에너지가 크므로 ㉠에서 사용한 촉매는 부촉매이다.

바로알기 ㄴ. $E_a' > E_a$ 이므로 ㉠의 활성화 에너지는 E_a' 이고, ㉡의 활성화 에너지는 E_a 이다.

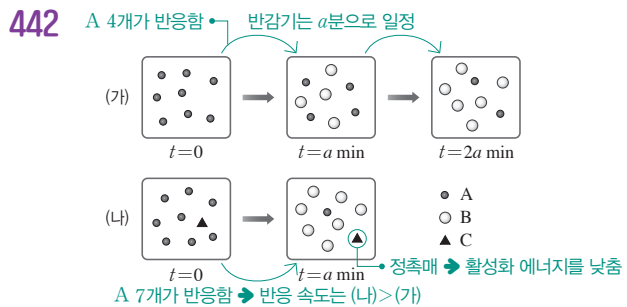
ㄷ. 촉매는 반응 속도를 변화시키지만 생성되는 B(g)의 양(mol)을 변화시키지 않는다. 따라서 같은 양의 A(g)를 넣고 반응이 완결되었을 때 생성되는 B(g)의 양(mol)은 ㉠에서와 ㉡에서가 같다.

440 ③ 정촉매를 넣어 반응시키면 반응 속도가 빨라지므로 반응이 완결되는 시간은 t초보다 빨라진다. 정촉매는 반응 경로를 변화시키지만 반응이 완결되었을 때 생성되는 $H_2(g)$ 의 양(mol)을 변화시키지 않으므로 $H_2(g)$ 의 부피는 V mL이다.

441 ㄱ. 반응 초기에 시간에 따라 A(g)의 몰농도가 감소하는 정도는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 초기 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.

바로알기 ㄴ. X는 반응 속도를 빠르게 하므로 정촉매이고, 활성화 에너지를 감소시킨다. 활성화 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 촉매를 사용해도 반응 엔탈피가 변하지 않으므로 반응에서 출입하는 열에너지는 (가)에서와 (나)에서가 같다.



ㄱ. (가)에서 a분이 지날 때마다 A의 양(mol)이 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소하므로 이 반응은 반감기가 일정하며, 반감기가 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다.

ㄴ, ㄷ. (나)에서 A와 C를 넣고 반응시켰더니 a분일 때 감소한 A의 양(mol)이 (가)에서보다 크므로 (나)는 (가)보다 반응 속도가 빠르다. 따라서 C는 반응 속도를 빠르게 하므로 정촉매이고, 반응의 활성화 에너지를 감소시키므로 반응의 활성화 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

443 ② t초일 때 (나)의 반응 속도가 빨라지므로 (나)에서 t초일 때 정촉매를 첨가시켰다.

③ t초일 때 C(g)의 압력 증가는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 순간 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

바로알기 ① 0~t초 동안 증가한 C(g)의 압력은 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 평균 반응 속도는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

④ 2t초일 때 C(g)의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 큰데, 이 반응은 반응물의 계수의 합이 생성물의 계수보다 크므로 반응이 많이 일어날수록 전체 기체의 압력이 작아진다. 따라서 2t초일 때 용기 속 전체 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

⑤ 일정량의 A(g)와 B(g)를 반응시켰으므로 반응 완결 후 생성된 C(g)의 압력은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

⑥ 촉매를 사용해도 반응 엔탈피는 변하지 않으므로 반응 엔탈피는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

444 ㄴ. 반감기는 (가)에서 1분이고, (나)에서 2분이므로 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

ㄷ. (가)에서 반응 시간이 2분일 때 A(g)의 부분 압력은 a기압이다. 강철 용기에서 기체의 압력과 기체의 양(mol)은 비례한다. (가)에서 반응 시간이 2분일 때 반응한 A(g)에 해당하는 압력은 3a기압이므로 생성된 B(g)와 C(g)에 해당하는 압력은 각각 3a기압, 1.5a기압이다. 따라서 (가)에서 반응 시간이 2분일 때 용기 속 전체 압력은 a기압 + 3a기압 + 1.5a기압 = 5.5a기압이다.

바로알기 ㄱ. 반응 속도는 (가)에서가 (나)에서보다 빠르므로 X는 부촉매이다.

445 ㄱ. 반응 시간이 t분일 때 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르므로 (나)에서 A와 함께 넣은 C는 정촉매이다. 정촉매는 활성화 에너지를 감소시키므로 C는 활성화 에너지를 감소시킨다.

ㄴ. (가)에서 0~t분 동안 A 2n mol이 반응하면 B n mol이 생성되므로 화학 반응식은 $2A \rightarrow B$ 이다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 반응시킨 A(g)의 양은 8n mol로 같으므로 반응 완결 후 생성된 B의 양은 (가)와 (나)에서 같다.

446 촉매에 의해 정반응의 활성화 에너지가 x kJ만큼 증가하면 역반응의 활성화 에너지도 x kJ만큼 증가한다. (나)에서 $\ominus = b + x$ 이고, (다)에서 $\ominus = a + y$ 이다.

ㄱ. 정반응의 활성화 에너지는 (다) > (나) > (가)이므로 정반응 속도는 활성화 에너지가 가장 작은 (가)가 가장 빠르다.

ㄴ. 활성화 에너지는 부촉매를 사용했을 때가 가장 크고, 촉매를 사용하지 않았을 때가 두 번째로 크며, 정촉매를 사용했을 때가 가장 작다. 따라서 (가)는 정촉매를 사용했을 때의 반응 경로이고, (나)는 촉매를 사용하지 않았을 때의 반응 경로이며, (다)는 부촉매를 사용했을 때의 반응 경로이다.

ㄷ. $\ominus = b + x$ 이고, $\ominus$ 은 $a + y$ 이므로 $\ominus - \ominus = a - b - x + y$ 이다.

447 촉매 변환기에서 촉매 X를 사용하면 자동차 배기 가스에 포함된 대기 오염 물질을 분해하는 반응 속도가 빨라지므로 X는 정촉매의 역할을 한다.

모범 답안 촉매 X를 사용하면 활성화 에너지가 감소하여 반응 속도가 빨라진다.

채점 기준	배점
촉매 X를 사용했을 때 활성화 에너지와 반응 속도의 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
촉매 X를 사용했을 때 활성화 에너지와 반응 속도의 변화 중 1가지만 옳게 서술한 경우	50 %

448 ㄱ. 반응 전과 후 원자의 종류와 수가 같아야 하므로 $\ominus$ 은 CO_2 이다.

ㄴ. 촉매 변환기를 사용하면 분해 반응 속도가 빨라지므로 촉매 X는 정촉매이다.

바로알기 ㄷ. 촉매 변환기에서 반응 속도가 빨라지므로 촉매 변환기에서 일어나는 반응 (가)와 (나)는 공기 중에서보다 반응이 더 빠르게 일어난다.

449 ㄱ. 수크레이스는 효소이고, 설탕은 기질이다.

ㄴ. 수크레이스는 특정 기질하고만 결합하는 성질이 있으므로 설탕과 반응하지만 엿당과 반응하지 않는다.

ㄷ. 효소는 기질과 결합하여 반응을 빠르게 하므로 효소는 설탕의 분해 반응을 빠르게 한다.

450 ㄱ. 효소는 기질과의 반응에서 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 빠르게 한다. 따라서 A는 (가)가 생성물로 변하는 반응의 활성화 에너지를 감소시킨다.

바로알기 ㄴ. 효소에는 특정 기질과 결합하는 활성 자리가 있다. A는 (가)와 결합하는 활성 자리가 있다.

ㄷ. 효소는 생체 촉매이므로 반응 전후 A의 질량은 변하지 않는다.

451 ㄱ. 촉매 변환기에서 C_xH_y , CO , NO_x 는 각각 산소와 결합하거나 산소와 분리되어 CO_2 , H_2O , N_2 가 되므로 산화·환원 반응이 일어난다.

ㄴ. 촉매 변환기에서 Pt과 Rh는 반응 속도를 빠르게 하므로 정촉매이고, 활성화 에너지를 작게 한다.

바로알기 ㄷ. 촉매는 반응 전과 후 질량이 변하지 않으므로 촉매 변환기를 사용해도 Pt과 Rh의 양은 감소하지 않는다.

452 ㄱ. 활성화 에너지가 작아지면 반응 속도가 빨라지므로 반응 속도는 (나)에서가 (가)에서보다 빠르다.

ㄴ. 금속 X는 반응 속도를 빠르게 하는 촉매이므로 암모니아가 잘 생성되도록 도움을 준다.

바로알기 ㄷ. 촉매를 사용해도 반응 엔탈피가 변하지 않으므로 반응 엔탈피는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

✓ 개념 보충

표면 촉매

표면 촉매는 금속이나 금속 산화물과 같은 고체 상태의 촉매이다. 촉매의 표면에 반응물이 흡착되면 반응물을 이루는 원자 사이의 화학 결합이 약해져 활성화 에너지가 작아지므로 반응 속도가 빨라진다.

453 ㄱ. X는 반응을 빠르게 하므로 정촉매이다.

바로알기 ㄴ. X는 정촉매이므로 반응 전후 질량이 변하지 않고 일정하다.

ㄷ. X는 촉매이므로 반응이 완결된 후 생성된 AB의 양(mol)에 영향을 주지 않는다. 따라서 X를 사용하지 않고 반응시키더라도 반응이 완결된 후 AB의 양(mol)은 변하지 않는다.

454 ④ (가)에서 먹다 남은 밥에는 침이 묻어 있으므로 밥이 상하는 속도가 빨라진다. (나)에서 밀가루는 표면적이 크므로 반응 속도가 빨라져 폭발 사고가 일어날 수 있다. (다)에서 냉장고는 온도를 낮추므로 음식물이 상하는 속도를 느리게 한다.

455 온도를 높이면 평균 운동 에너지가 증가하고, 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 증가한다. 평균 운동 에너지는 (나)가 (가)보다 크고, 활성화 에너지는 (나)가 (가)보다 크므로 (가)에서 온도를 높이고, 부촉매를 사용하면 (나)가 된다.

모범 답안 온도를 높인다. 부촉매를 사용한다.

채점 기준	배점
온도를 높이는 조건과 부촉매를 사용하는 조건을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
온도를 높이는 조건과 부촉매를 사용하는 조건 중 1가지만 옳게 서술한 경우	50 %

456 ㄴ. E_1 은 활성화 에너지이다. 활성화 에너지를 감소시키기 위해서는 정촉매를 사용해야 한다.

바로알기 ㄱ. 온도를 높이면 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 입자 수가 증가하지만 활성화 에너지를 감소시키지 않는다.

ㄷ. 반응물의 농도를 크게 하면 입자 사이의 충돌수가 증가하지만 활성화 에너지를 감소시키지 않는다.

457 ㄱ. II에서 X(s)를 첨가하였더니 초기 반응 속도가 증가하므로 X(s)는 반응 속도를 빠르게 하는 정촉매이다.

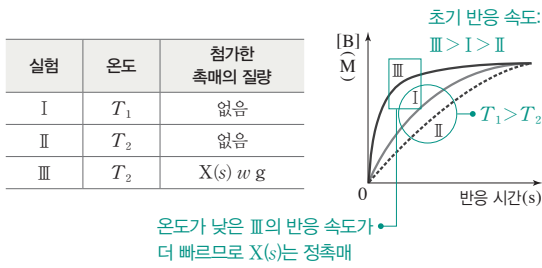
ㄴ. III은 I보다 온도가 높으므로 반응 속도가 I보다 빨라야 하지만, 그렇지 않으므로 넣어 준 Y(s)는 반응 속도를 느리게 하는 부촉매이다.

ㄷ. 정촉매는 활성화 에너지를 작게 하고 부촉매는 활성화 에너지를 크게 한다. 따라서 반응의 활성화 에너지는 III > I > II이다.

458 ㄱ. II는 I보다 A(g)의 초기 농도가 크지만 I과 같이 첨가한 촉매가 없으므로 반응 속도 상수는 I과 같다. 따라서 $\ominus$ 은 k 이다.

ㄷ. III은 I보다 반응 속도 상수가 크므로 반응 속도가 빠르다. 따라서 X(s)는 정촉매로 활성화 에너지를 작게 한다.

바로알기 ㄴ. I과 II에서 온도가 같고, 이 반응은 1차 반응이므로 반감기는 같다.



ㄴ. 초기 반응 속도는 $III > II$ 이므로 X(s)는 반응 속도를 빠르게 하는 정촉매이다.

ㄷ. 초기 반응 속도는 $I > II$ 이므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다. 따라서 I에서 정촉매인 X(s)를 첨가하여 반응시키면 초기 반응 속도는 III보다 빠르다.

바로알기 ㄱ. 온도가 높을수록 반응 속도가 빠르므로 초기 반응 속도가 큰 I이 II보다 온도가 높고, $T_1 > T_2$ 이다.

460 ④ 평균 운동 에너지는 T_2 에서 T_1 에서보다 크므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다. 부촉매는 활성화 에너지를 증가시키고, $E_a' > E_a$ 이므로 X는 부촉매이다. 온도가 높을수록 반응 속도가 빨라지고, 부촉매를 사용하면 반응 속도가 느려지므로 초기 반응 속도는 $III > I > II$ 이다.

461 ㄱ. I~III에서 A(g)의 초기 농도와 초기 반응 속도는 비례하므로 I~III은 모두 A에 대한 1차 반응이고 반응 속도식은 $v = k[A]$ (k 는 반응 속도 상수)로 나타낼 수 있다. 초기 반응 속도는 $I > II$ 이므로 $T_1 > T_2$ 이다. A(g)의 초기 반응 속도가 클수록 반감기가 작아지므로 반감기는 II에서 I에서보다 길다.

ㄴ. 초기 반응 속도는 $III > I$ 이므로 X(s)는 반응 속도를 빠르게 하는 정촉매이다. 정촉매를 사용하면 반응 속도 상수가 커지므로 반응 속도 상수는 III에서 I에서보다 크다.

바로알기 ㄷ. 온도가 높아져도 활성화 에너지는 변하지 않고, 정촉매를 사용하면 활성화 에너지는 감소한다. 따라서 활성화 에너지는 II에서 I에서보다 크다.

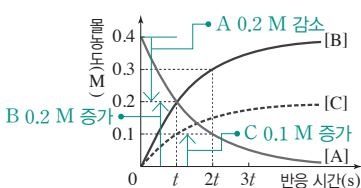
462 ㄱ. A에 대한 1차 반응이므로 A(g)의 초기 농도가 클수록 초기 반응 속도가 빨라진다. A(g)의 초기 농도는 $III > II$ 이므로 초기 반응 속도는 $III > II$ 이어야 하지만, 그렇지 않으므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.
 ㄴ. A(g)의 초기 농도는 $III > I$ 이므로 초기 반응 속도는 $III > I$ 이어야 하지만, 그렇지 않으므로 I에 첨가한 촉매 X(s)는 정촉매이다.
 ㄷ. IV는 I보다 A(g)의 초기 농도가 크고, 온도가 높으므로 초기 반응 속도가 I보다 빨라야 한다. 따라서 ㉠은 $6v$ 보다 크다.

최고 수준 도전 기출

132쪽~134쪽

- 463 ⑤ 464 ⑤ 465 ④ 466 ② 467 ① 468 ④
 469 ③ 470 ⑤ 471 ④ 472 ③ 473 ⑤ 474 ②

463



- t초 동안 A는 0.2 M 감소, B는 0.2 M 증가, C는 0.1 M 증가한다.
- ➔ 반응 계수비는 A : B : C = 2 : 2 : 1
- A의 반감기가 t초로 일정하다. ➔ A에 대한 1차 반응

ㄱ. 반응 시간이 t초일 때, 감소한 A(g)의 몰농도는 0.2 M이고, 생성된 B(g)의 몰농도는 0.2 M이며, 생성된 C(g)의 몰농도는 0.1 M이므로 화학 반응식에서 반응 계수비는 A(g) : B(g) : C(g) = 2 : 2 : 1이다. 따라서 $b=2$, $c=1$ 이고, $b+c=3$ 이다.

ㄴ. t초가 지날 때마다 A(g)의 몰농도가 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소하므로 반감기는 t초로 일정하다. 반감기가 일정한 반응은 1차 반응이므로 $n=1$ 이다.

ㄷ. 3t초일 때 A(g)의 몰농도는 0.05 M이고 반응한 A(g)의 몰농도는 0.35 M이다. 화학 반응식에서 A(g), B(g), C(g)의 반응 계수비가 2 : 2 : 1이므로 3t초일 때 B(g)의 몰농도는 0.35 M이고, C(g)의 몰농도는 0.175 M이다. 따라서 용기 속 모든 기체의 몰농도 합은 0.575 M이다.

464 온도가 높을수록 반응 속도가 빨라지고, 반응 속도가 빨라지면 반감기가 짧아진다.

ㄱ. 반감기는 $I > II$ 이므로 반응 속도는 $II > I$ 이고, 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

ㄴ. 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 커지므로 반응 속도 상수는 T_2 에서 T_1 에서보다 크다.

ㄷ. I에서 20초일 때 반감기가 1번 지나므로 A(g)의 몰농도는 $\frac{1}{2}a$ M이

다. 따라서 I에서 0~20초 동안 평균 반응 속도는 $\frac{a \text{ M} - \frac{1}{2}a \text{ M}}{20 \text{ s}}$

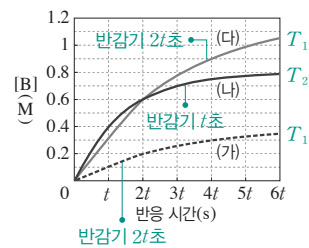
$= \frac{1}{40}a \text{ M/s}$ 이다. II에서 20초일 때 반감기가 2번 지나므로 A(g)의

몰농도는 $\frac{1}{2}a$ M이다. 따라서 II에서 0~20초 동안 평균 반응 속도는

$\frac{2a \text{ M} - \frac{1}{2}a \text{ M}}{20 \text{ s}} = \frac{3}{40}a \text{ M/s}$ 이다. 그러므로 0~20초 동안 평균 반응

속도는 II에서 I에서의 3배이다.

465



- (가)와 (다)는 반감기가 2t초로 같다.
- ➔ (가)와 (다)의 온도는 같다. ➔ (다)의 온도는 T_1 이다.
- 온도가 높을수록 반감기가 짧다.
- ➔ 반감기는 (가)가 2t초, (나)가 t초이다. ➔ 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

1차 반응은 반감기가 지날 때마다 증가하는 B(g)의 몰농도는 $\frac{1}{2}$ 배씩

감소한다. (가)에서 B(g)의 몰농도는 2t초일 때 0.2 M, 4t초일 때 0.3 M이므로 반감기는 2t초이다. (나)에서 B(g)의 몰농도는 t초일 때 0.4 M, 2t초일 때 0.6 M, 3t초일 때 0.7 M이므로 반감기는 t초이다.

ㄴ. (다)에서 B(g)의 몰농도는 2t초일 때 0.6 M, 4t초일 때 0.9 M이므로 반감기는 2t초이다. (가)와 (다)의 반감기가 같으므로 (다)의 온도는 T_1 이다.

ㄷ. (가)에서 반감기가 1번 지날 때 B(g)의 몰농도는 0.2 M이므로 0~2t초 동안 반응한 A(g)의 몰농도는 0.2 M이고, A(g)의 초기 농도는 0.4 M이다. (나)에서 반감기가 1번 지날 때 B(g)의 몰농도는 0.4 M이므로 0~t초 동안 반응한 A(g)의 몰농도는 0.4 M이고, A(g)의 초기 농도는 0.8 M이다. (다)에서 반감기가 1번 지날 때 B(g)의 몰농도는

0.6 M이므로 0~2t초 동안 반응한 A(g)의 몰농도는 0.6 M이고, A(g)의 초기 농도는 1.2 M이다. 따라서 (가)와 (나)에서 A(g)의 초기 농도의 합은 0.4 M + 0.8 M = 1.2 M이고, 이 값은 (다)에서 A(g)의 초기 농도와 같다.

바로알기 | ㄱ. 온도가 높을수록 반감기가 짧으므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

466 A(g)의 초기 농도가 각각 0.8 M와 1.2 M일 때, 반감기의 횟수에 따른 A(g)와 B(g)의 몰농도는 다음과 같다.

반감기 횟수	0	1	2
[A](M)	0.8	0.4	0.2
[B](M)	0	0.2	0.3

반감기 횟수	0	1	2
[A](M)	1.2	0.6	0.3
[B](M)	0	0.3	0.45

I에서 [B] = 0.3 M가 될 때까지 반감기는 2번 지나고, II에서 [B] = 0.3 M가 될 때까지 반감기는 1번 지난다. 따라서 I에서 반감기는 2t초이고, II에서 반감기는 3t초이다.

ㄴ. II에서 X(s)를 첨가하였더니 반감기가 I보다 증가하므로 반응 속도가 느려진다. 따라서 X(s)는 부촉매이다.

바로알기 | ㄱ. I에서 반감기는 2t초이다.

ㄷ. 반감기가 길수록 반응 속도가 느려지고, 반응 속도 상수가 작아진다. 따라서 반응 속도 상수는 $k_1 > k_2$ 이다.

467 반응물의 농도가 빠르게 감소할수록 반응 속도가 빠르고, 생성물의 농도가 빠르게 증가할수록 반응 속도가 빠르다.

ㄱ. 반응 시간에 따른 A(g)의 몰농도에서 초기 반응 속도는 T_1 에서 T_2 에서보다 크고, 반응 시간에 따른 B(g)의 몰농도에서 초기 반응 속도는 T_2 에서 T_3 에서보다 크므로 초기 반응 속도는 $T_1 > T_2 > T_3$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 온도가 높을수록 반응 속도는 빠르므로 온도는 $T_1 > T_2 > T_3$ 이다.

ㄷ. 활성화 에너지는 온도가 변하더라도 일정하다. 온도가 높아지면 A(g)의 평균 운동 에너지가 증가하므로 반응에 참여할 수 있는 A(g)의 분자 수가 증가한다. 따라서 반응 초기에 반응에 참여할 수 있는 A(g)의 분자 수는 $T_1 > T_2 > T_3$ 이다.

468 반응 엔탈피(ΔH) = 정반응의 활성화 에너지 - 역반응의 활성화 에너지이다. (가)에서 $b > x$ 이므로 $\Delta H = x - b < 0$ 이고, 정반응은 발열 반응이다.

ㄴ. (나)는 (가)보다 정반응과 역반응의 활성화 에너지가 모두 작으므로 정촉매를 사용한 반응 경로이다.

ㄷ. 촉매를 사용하여 정반응의 활성화 에너지가 증가한 만큼 역반응의 활성화 에너지가 증가한다. (다)의 정반응의 활성화 에너지는 (가)에 비해 $(b - x)$ kJ만큼 증가하므로 역반응의 활성화 에너지는 (가)에 비해 $(b - x)$ kJ만큼 증가한다. (가)와 (다)의 역반응의 활성화 에너지 차는 $(c - b)$ kJ이므로 $b - x = c - b$, $x = 2b - c$ 이다.

바로알기 | ㄱ. (가)의 정반응은 발열 반응이다.

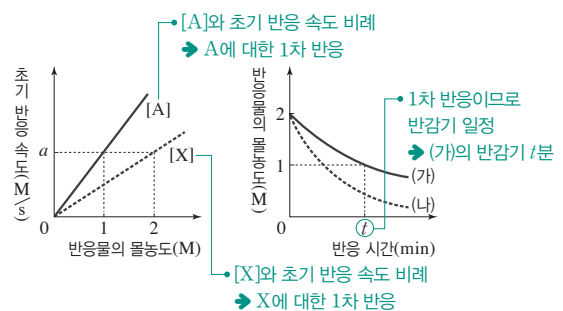
469 화학 반응식에서 A(g)와 B(g)의 반응 계수가 같으므로 반응 완결 후 B(g)의 양(mol)은 반응 초기 A(g)의 양(mol)과 같다. 강철 용기의 부피가 같으므로 I~III에서 A(g)의 초기 농도비는 I : II : III = $n : 2n : n = 1 : 2 : 1$ 이다.

ㄱ. A(g)의 초기 농도는 II에서가 I에서의 2배이고, A의 몰농도와 반응 속도가 비례하므로 초기 반응 속도는 II에서가 I에서의 2배이어야 한다. 그러나 초기 반응 속도는 II에서가 I에서의 2배보다 작으므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다. 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 크므로 반응 속도 상수는 T_1 에서 T_2 에서보다 크다.

ㄷ. III은 II보다 A(g)의 초기 농도가 작지만 초기 반응 속도가 빠르므로 X(s)는 정촉매이다. 정촉매는 활성화 에너지를 감소시킨다. 온도가 달라지더라도 활성화 에너지는 변하지 않으므로 I과 II에서 활성화 에너지는 같다. 따라서 활성화 에너지는 I에서가 III에서보다 크다.

바로알기 | ㄴ. 반응 엔탈피는 온도 변화, 촉매의 사용과 상관없이 일정하다. 따라서 반응 엔탈피는 I~III에서 모두 같다.

470



[A]와 [X]가 같을 때 반응 속도는 A → B 반응이 X → Y 반응보다 빠르다.

→ 반응 속도 상수는 $k_1 > k_2$ 이다.

→ 반감기는 A → B 반응이 X → Y 반응보다 짧다.

두 반응은 반응물의 몰농도와 초기 반응 속도가 비례하므로 각각 A에 대한 1차 반응, X에 대한 1차 반응이다.

ㄱ. 두 반응은 모두 1차 반응이므로 $m = n = 1$ 이다.

ㄴ. 첫 번째 그래프에서 $a = k_1[A] = k_1$, $a = k_2[X] = 2k_2$ 이다. 이 식을 풀면 $k_1 = 2k_2$ 이므로 $\frac{k_2}{k_1} = \frac{1}{2}$ 이다.

ㄷ. 두 번째 그래프에서 반감기는 (가) > (나)이므로 반응 속도는 (나) > (가)이고 반응 속도 상수는 (나) > (가)이다. 따라서 (나)는 [A]이고, (가)는 [X]이다. (가)는 반감기가 t분이므로 강철 용기에 4 M의 X(g)를 넣고 반응 시간이 3t분일 때 반감기가 3번 지난다. 이때 X(g)의 몰농도는 $\frac{1}{2}$ M이고, 반응 속도(M/min)는 $v = k_2[X] = \frac{1}{2}a \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}a$ 이다.

471 이 반응은 A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. I에서 반감기는 a분이므로 ㉠ = w이다. III에서 반감기는 $\frac{1}{2}a$ 분이므로 ㉡ = $\frac{1}{2}w$ 이다.

ㄴ. 반감기는 I > III이므로 반응 속도 상수는 I < III이다. 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 커지므로 온도는 $T_2 > T_1$ 이다.

ㄷ. II에서 반감기는 $\frac{1}{3}a$ 분이므로 초기 반응 속도는 II > I이고, X(s)는 정촉매이다. 정촉매는 활성화 에너지를 감소시키므로 활성화 에너지는 I > II이다. 활성화 에너지는 온도가 변하더라도 일정하므로 I과 III에서 활성화 에너지는 같다. 따라서 활성화 에너지는 III에서가 II에서보다 크다.

바로알기 | ㄱ. $\frac{㉡}{㉠} = \frac{\frac{1}{2}w}{w} = \frac{1}{2}$ 이다.

472 A(g)의 초기 농도는 0.4 M이다. 반응 시간에 따라 증가하는 [A]+[B]는 다음과 같다.

반응 시간(s)	0	t	$2t$	$3t$
증가하는 [A]+[B](M)	0	0.2	0.1	0.05

t 초 지날 때마다 증가하는 [A]+[B]의 값이 $\frac{1}{2}$ 배씩 감소하므로 이 반응은 반감기가 t 초인 1차 반응이다.

ㄱ. 이 반응은 A에 대한 1차 반응이므로 $n=1$ 이다.

ㄴ. 이 반응은 반감기가 t 초이므로 t 초일 때 A(g)의 몰농도는 0.2 M이다. t 초일 때 [A]+[B]=0.6 M이므로 B(g)의 몰농도는 0.4 M이다. 반응한 A(g)의 몰농도는 0.2 M이고, 생성된 B(g)의 몰농도는 0.4 M이므로 화학 반응식에서 반응 계수비 $a : b = 1 : 2$ 이다. 0.6 M의 A(g)를 넣고 반응시키면 $3t$ 초일 때 반감기가 3번 지나므로 A(g)의 몰농도는 0.075 M이다. 이 때 반응한 A(g)의 몰농도는 0.525 M이므로 생성된 B(g)의 몰농도는 1.05 M이다. 따라서 0.6 M의 A(g)를 넣고 반응시키면 $3t$ 초일 때 [A]+[B]=0.075 M+1.05 M=1.125 M이다.

바로알기 | ㄴ. $b > a$ 이다.

473 A(g)의 초기 농도를 a M라고 하면 반감기 횟수에 따른 [A], [B], $\frac{[B]}{[A]}$ 는 다음과 같다.

반감기 횟수	0	1	2	3	4
[A](M)	a	$\frac{1}{2}a$	$\frac{1}{4}a$	$\frac{1}{8}a$	$\frac{1}{16}a$
[B](M)	0	$\frac{1}{4}a$	$\frac{3}{8}a$	$\frac{7}{16}a$	$\frac{15}{32}a$
$\frac{[B]}{[A]}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{15}{2}$

ㄱ. 반응 시간이 t 초일 때 $\frac{[B]}{[A]} = \frac{1}{2}$ 이고, $2t$ 초일 때 $\frac{[B]}{[A]} = \frac{3}{2}$ 이며,

$3t$ 초일 때 $\frac{[B]}{[A]} = \frac{7}{2}$ 이므로 이 반응의 반감기는 t 초이다.

ㄴ. A(g)의 초기 농도를 a M라고 하면 0~ $3t$ 초 동안 평균 반응 속도는 $\frac{a \text{ M} - \frac{1}{8}a \text{ M}}{3t \text{ s}} = \frac{7a}{24t} \text{ M/s} = \frac{7}{6t} \text{ M/s}$, $a=4$ 이다. 따라서 A(g)의 초기 농도는 4 M이다.

ㄴ. $4t$ 초일 때는 반감기가 4번 지났을 때이므로 $\frac{[B]}{[A]} = \frac{\frac{15}{32}a}{\frac{1}{16}a} = \frac{15}{2}$

이다.

474 I에서 A(g)의 초기 농도를 a M라고 하면 반감기 횟수에 따른 [A], [B], [C], $\frac{[B]+[C]}{[A]}$ 는 다음과 같다.

반감기 횟수	0	1	2	3
[A](M)	a	$\frac{1}{2}a$	$\frac{1}{4}a$	$\frac{1}{8}a$
[B](M)	0	$\frac{1}{4}ab$	$\frac{3}{8}ab$	$\frac{7}{16}ab$
[C](M)	0	$\frac{1}{4}a$	$\frac{3}{8}a$	$\frac{7}{16}a$
$\frac{[B]+[C]}{[A]}$	0	$\frac{b+1}{2}$	$\frac{3(b+1)}{2}$	$\frac{7(b+1)}{2}$

반감기가 1번 지날 때마다 $\frac{[B]+[C]}{[A]}$ 는 3배, $\frac{7}{3}$ 배 증가한다. 제시된 자료를 적용하면 I에서 반감기는 1분이고, $b=2$ 이다.

ㄴ. II에서 반응 시간이 4분일 때 $\frac{[B]+[C]}{[A]} = \frac{9}{2}$ 이므로 반감기가 2번 지난 것을 알 수 있다. 따라서 II에서 반감기는 2분이고, 반감기는 II > I이므로 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

바로알기 | ㄱ. $b=2$ 이고, ㉠은 반감기가 1번 지났을 때의 $\frac{[B]+[C]}{[A]}$

이므로 $\frac{3}{2}$ 이다. 따라서 $\frac{b}{\text{㉠}} = \frac{2}{3} = \frac{4}{3}$ 이다.

ㄴ. A(g)의 초기 농도를 a M라고 하면 4분일 때 I에서 반감기가 4번 지났으므로 A(g)의 몰농도는 $\frac{1}{16}a$ M이고, 6분일 때 II에서 반감기가 3번 지났으므로 A(g)의 몰농도는 $\frac{1}{8}a$ M이다.

따라서 $\frac{\text{II에서 6분일 때 } [A]}{\text{I에서 4분일 때 } [A]} = \frac{\frac{1}{8}a}{\frac{1}{16}a} = 2$ 이다.