고등 셀파 물질과 에너지

정답과 해설



I 물질의 세 가지 상태

01 기체의 성질

탐구 리포트

| p.011 |

01 32 02 ②

01 $M=\frac{wRT}{PV}$

$=\frac{0.11\text{ g}\times0.082\text{ atm}\cdot\text{L/(mol}\cdot\text{K)}\times295\text{ K}}{1\text{ atm}\times0.082\text{ L}}$

$=32.45\text{ g/mol}\fallingdotseq32\text{ g/mol}$

이므로 실험에서 측정한 값으로부터 이상 기체 방정식을 이용하여 계산한 분자량은 32이다.

02 ㄴ. 기체의 질량이 실제값보다 작게 측정되면 $M=\frac{wRT}{PV}$에서 분자의 값이 작아지므로 계산한 분자량 M_1이 실제 분자량 M_0보다 작아질 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 휴대용 기체 통과 주사기의 연결 부분이 헐거우면 기체가 샐 수 있어 부피가 실제보다 작아지므로 M_1이 M_0보다 커질 수 있다.

ㄷ. 기온이 실제보다 높게 측정되면 M_1이 M_0보다 커진다.

세미나 기출 문제

| p.013 |

Q1 0.33 mol Q2 1 atm Q3 2 atm
Q4 44.8 L Q5 3 L

Q1 $PV=nRT$, $n=\frac{PV}{RT}=\frac{2\times4}{0.082\times300}\fallingdotseq0.32\text{ (mol)}$

Q2 $P=\frac{nRT}{V}$, $P=\frac{1\times0.082\times273}{22.4}\fallingdotseq1\text{ (atm)}$

Q3 부피가 일정하므로 $P\propto T$이다.

$\frac{T_1}{P_1}=\frac{T_2}{P_2}$이고, 초기 압력 $P_1=1$ atm이므로

$P_2=P_1\times\frac{T_2}{T_1}=1\times\frac{600}{300}=2\text{ (atm)}$이다.

Q4 압력이 일정하므로 $V\propto T$이고 $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$이다.

기체의 양은 1 mol이므로 $V_1=22.4$ L이고,

$V_2=22.4\times\frac{546}{273}=22.4\times2=44.8\text{ (L)}$이다.

Q5 $\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$, $\frac{1\times3}{300}=\frac{2\times V_2}{600}$, $V_2=3\text{ (L)}$

내신 기초 문제

| p.014~015 |

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

01 J자 관 왼쪽 수은 면에 작용하는 기체 A의 압력은 오른쪽 수은 면에 작용하는 압력(대기압+19 cm 수은 기둥의 압력)과 같다. 대기압은 1 atm이고, 수은 기둥 19 cm의 압력은 0.25 atm이므로 기체 A의 압력은 1.25 atm이다.

02 ㄱ. 기체의 압력은 기체 분자들이 끊임없이 자유롭게 운동하면서 용기 벽면에 충돌하여 단위 면적에 작용하는 힘이다.

ㄷ. 단위 시간 동안 기체 분자가 용기 벽면에 충돌하는 횟수가 많을수록, 기체 분자가 강하게 충돌할수록 기체의 압력이 크다.

오답 피하기

ㄴ. 기체 분자들이 끊임없이 자유롭게 운동하므로 기체의 압력은 모든 방향으로 나타난다.

03 ㄱ. 온도가 같은 (가)와 (나)를 비교하면 보일 법칙에 의해, $1\text{ atm}\times V_1=2\text{ atm}\times V_2$이므로 $V_1=2V_2$이다.

ㄴ. 압력이 같은 (가)와 (다)를 비교하면 샤를 법칙에 의해 $\frac{V_1}{273\text{ K}}=\frac{V_3}{546\text{ K}}$이므로 $V_3=2V_1$이다. $V_1=2V_2$이므로 부피는 $V_3>V_1>V_2$이다.

오답 피하기

ㄷ. 2 atm, 546 K에서의 부피를 V_4라고 하면, 압력이 2 atm으로 같은 (나)와 비교할 때 샤를 법칙에 의해 $\frac{V_2}{273\text{ K}}=\frac{V_4}{546\text{ K}}$이므로 $V_4=2V_2$이다.

04 온도가 일정할 때 외부 압력을 2배로 하면 기체의 부피는 $\frac{1}{2}$로 줄어든다.

ㄱ. 부피가 $\frac{1}{2}$로 줄어들면 밀도는 2배로 증가한다.

ㄹ. 부피가 줄어들면 단위 부피당 분자 수가 증가하므로 단위 면적 당 충돌 수가 증가하여 압력이 증가한다.

오답 피하기

ㄴ. 기체가 반응하거나 기체를 실린더에 추가하거나 빼내지 않았으므로 용기에 들어 있는 기체의 양(mol)은 일정하다.

ㄷ. 온도가 일정하므로 기체 분자의 평균 운동 속력은 변하지 않는다.

05 ㄱ. A~C에서 기체 X의 질량은 동일하기 때문에 밀도는 부피에 반비례한다. 부피비는 6 : 3 : 4이므로 밀도는 B에서 가장 크다.

오답 피하기

ㄴ. A~C에서 압력이 각각 1, 2, 3이고 압력과 부피의 곱이 1, 1, 2이므로 부피는 각각 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$이다. 따라서 A~C의 부피비는 6 : 3 : 4이다.

ㄷ. 일정량의 기체는 $\frac{PV}{T}$가 일정하다. 따라서 $\frac{1}{T_A}=\frac{1}{T_B}=\frac{2}{T_C}$이므로 $T_A : T_B : T_C=1 : 1 : 2$이다.

06 ㄱ. P는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{1}{2}$배이고 PV가 같으므로 V는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

ㄴ. 일정량의 기체의 $\frac{PV}{T}$는 일정하므로 $\frac{1}{T_{(가)}}=\frac{1}{T_{(나)}}=\frac{2}{T_{(다)}}$이다. 따라서 $T_{(가)} : T_{(나)} : T_{(다)}=1 : 1 : 2$이므로 $T_{(가)}=T_{(나)}<T_{(다)}$이다.

오답 피하기

ㄷ. 기체 입자 수는 동일하고 (가)의 부피가 (나)보다 크기 때문에 밀도는 (가)<(나)이다.

07 ㄱ. 추의 개수가 (나)가 (가)의 2배로 외부 압력이 (나)가 더 크므로 기체의 부피는 (가)>(나)이다.

ㄴ. 추의 개수가 (나)가 (가)보다 많으므로 기체의 압력도 (나)가 (가)보다 크다.

ㄷ. 기체 입자 수는 동일하고 (가)의 부피가 (나)보다 크기 때문에 기체 입자 사이의 평균 거리는 (가)>(나)이다.

08 (가) → (나)는 온도가 일정할 때 기체의 압력이 증가하여 부피가 감소하는 과정이고, (나) → (다)는 압력이 일정할 때 기체의 온도가 높아져 부피가 증가하는 과정이다. 또, (가)에서 기체의 압력은 (대기압+추 1개의 압력)이므로 추 1개의 압력은 0.5 atm이다. 따라서 (나)의 기체의 압력은 2 atm이다.

ㄴ. (가)에서 기체의 압력은 (대기압+추 1개의 압력)이므로 추 1개의 압력은 0.5 atm이다. 따라서 (나)의 기체의 압력(a)은 2(atm)이다. 같은 온도에서 PV는 일정하므로 b는 $\frac{3}{4}$(L)이다. 따라서 (나)에서 기체의 양(mol)을 4배로 하면 부피가 3 L가 된다.

ㄷ. (나)와 (다)는 압력이 같으므로 샤를 법칙을 적용할 수 있다. (나)는 기체의 부피가 $\frac{3}{4}$ L이고 온도가 300 K(=27 ℃)이므로 다음 관계식이 성립한다.

$300\ \text{K} : \frac{3}{4}\ \text{L}=(273+t)\ \text{K} : 1\ \text{L}$

따라서 t는 127 ℃이다.

오답 피하기

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

09 $M=\frac{wRT}{PV}$이므로 측정해야 하는 값은 실험실의 기온과 대기압, 고체를 넣기 전과 후 주사기의 질량, 고체가 승화하기 전과 후 주사기 속 기체의 부피이다.

내신 실전 문제

| p.016~019 |

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

01 실험 결과에서, 수은 기둥이 대기압에 의해 올라간 높이가 유리관의 단면적, 길이와 관계없이 같았다. 따라서 적절한 가설은 '1 atm에 해당하는 수은 기둥의 높이는 유리관의 길이와 단면적에 관계없이 일정하다.'가 적절하다.

02 기체 분자는 모든 방향으로 자유롭게 끊임없이 운동한다. 따라서 기체의 압력은 모든 방향으로 나타난다.

03 ㄱ. 수은을 추가한 후 수은 기둥의 높이 차가 38 cm이므로 (나)의 네온 기체의 압력은 1.5 atm이다.

ㄷ. 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로 (가)=(나)이다.

오답 피하기

ㄴ. 일정한 온도에서 PV는 일정하므로 $1\times 45=1.5\times x$, $x=30$이다.

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

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

오답 피하기

ㄱ. 압력이 같을 때 B에서가 C에서보다 크므로 온도는 $T_1<T_2$이다.

05 (나)는 (가)보다 기체 분자 수가 많고 기체의 온도도 더 높아 기체의 압력이 더 크고, 단위 시간 동안 기체 분자가 벽면에 충돌하는 횟수도 더 많다. 또한, (나)에서 온도를 낮추면 처음보다 분자 운동 속도가 느려지므로 압력이 작아져 h_2의 높이가 낮아진다.

06 ㄱ. 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 온도가 1 ℃ 높아질 때마다 0 ℃일 때 부피의 $\frac{1}{273}$씩 증가하므로 $V_t=V_0+\frac{V_0}{273}t$이다. 따라서 0 ℃일 때의 부피 V_1과 100 ℃일 때의 부피 V_2를 이 식에 대입하면 다음 식이 성립한다.

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

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

오답 피하기

ㄴ. 같은 온도에서 기체의 부피는 압력에 반비례하므로 0.5 atm에서 0 ℃일 때 기체 X의 부피는 $2V_1$이다.

07 ㄱ. 온도가 같은 (가)와 (나)를 비교하면 보일 법칙에 의해, $1\text{ atm}\times V_1=2\text{ atm}\times V_2$이므로 $V_1=2V_2$이다.

오답 피하기

ㄴ. 압력이 2 atm으로 같은 (나)와 (라)를 비교하면 샤를 법칙에 의해, $\frac{V_2}{300}=\frac{V_4}{327}$이므로 $V_4=\frac{327}{300}V_2$이다.

ㄷ. 일정량의 기체에서 $\frac{PV}{T}=k$이므로 (다)와 (라)의 기체 사이에는 다음 식이 성립한다.

$\frac{1\times V_3}{327}=\frac{2\times V_4}{327}$

따라서 $V_3>V_4$이다.

08 ㄴ. (가)~(다)의 기체가 모두 He으로 같으므로 밀도는 단위 부피당 분자 수에 비례한다. 따라서 (가) : (나) : (다) $=\frac{3}{1}:\frac{2}{1}:\frac{2}{2}=6:4:1$이다. 즉 기체의 밀도와 단위 부피당 분자 수는 (가)>(나)>(다)이다.

오답 피하기

ㄱ. $n=\frac{PV}{RT}$이므로 (가)~(다)에서 기체의 양(mol)은 (가) : (나) : (다) $=\frac{3\times 1}{300}:\frac{4\times 1}{600}:\frac{1\times 2}{300}=3:2:2$이다. 따라서 기체의 양(mol)과 질량은 (가)>(나)=(다)이다.

ㄷ. 분자의 평균 운동 에너지는 온도에 의존하므로 (나)>(가)=(다)이다.

09 ㄱ. $M=\frac{wRT}{PV}$이고 (가)의 0 ℃에서 A와 B의 T, P, w가 같으므로 A와 B의 분자량비는 $\frac{1}{2V}:\frac{1}{V}=1:2$이다. 즉, 분자량은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. (가)에서 B는 a g, 273 K, P_1에서의 부피가 V이고, (나)에서 B는 b g, 273 K, P_1에서의 부피가 $2V$이다.

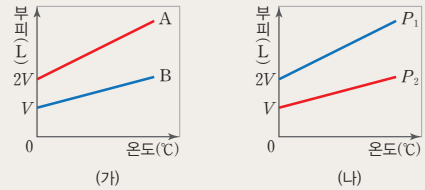
$PV=nRT$에서 T와 P가 일정할 때 V는 n에 비례하므로 B의 양(mol)은 (나)가 (가)의 2배이다. 또한 같은 물질인 경우 질량은 기체의 양(mol)에 비례하므로 $2a=b$이다.

오답 피하기

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

문제 속 **자료**

이상 기체 방정식의 활용



(가)	(나)
• 질량: a g • 압력: P_1 • 부피: 일정한 온도에서 A가 B의 2배이다. ➡ 기체 양(mol): $n_A=2n_B$	• 질량: b g • 부피: 일정한 온도에서 P_1일 때가 P_2일 때의 2배이다. ➡ 압력: $P_1=\frac{1}{2}P_2$

10 $n=\frac{PV}{RT}$, $d=\frac{PM}{RT}$, $w=\frac{MPV}{RT}$를 이용한다.

ㄷ. $w=\frac{MPV}{RT}$이고

$w_A:w_B:w_C=\frac{4\times PV}{RT}:\frac{20\times 4PV}{RT}:\frac{44\times 9PV}{2RT}$

이므로 기체의 질량은 C가 가장 크다.

오답 피하기

ㄱ. $n_A=\frac{PV}{RT}$, $n_B=\frac{4PV}{RT}$이므로 기체의 양은 B가 A의 4배이다.

ㄴ. $d_B=\frac{20\times 2P}{RT}$, $d_C=\frac{44\times 3P}{2RT}$이므로 기체의 밀도는 C가 B보다 크다.

11 ㄷ. 고정 장치를 풀면 대기압이 1 atm이므로 (가)는 부피가 2배로 커진다.

오답 피하기

ㄱ, ㄴ. 부피가 같을 때 기체의 양(n)은 $\frac{P}{T}$에 비례한다. 따라

서 기체 A와 B의 몰비는 4 : 1이고, 두 기체의 질량이 같으므로 분자량비는 1 : 4이다.

12 ㄴ. 기체의 양(mol)이 일정한데 부피만 달라졌으므로 분자 간 평균 거리는 (가)<(나)이다.

ㄷ. 압력이 일정할 때 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다. 또, 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다.

오답 피하기

ㄱ. 기체의 양(mol)이 일정하므로 질량도 일정하다. 기체의 밀도는 (가) : (나) : (다)$=\frac{1}{2}:\frac{1}{4}:1=2:1:4$이다.

13 (가)의 압력이 1.5 atm이므로 피스톤 위에 추를 1개 올리면 압력이 0.5 atm 높아지는 것을 알 수 있다.

⑤ (다)에 추를 1개 더 올리면 기체의 압력이 2.5 atm이 되므로, 보일 법칙에 의해 기체의 부피는 2.4 L가 된다.

오답 피하기

① 피스톤 위에 추를 1개 올리면 압력이 0.5 atm 높아진다. 따라서 (나)의 a는 2이다.

② 온도가 같을 때 압력과 부피의 곱은 일정하므로 b는 1.5이다.

③ 27 ℃, 1 atm에서 기체의 부피는 3 L이다.

④ (다)의 부피는 (나)의 2배이므로 (다)의 절대 온도가 (나)의 2배, 즉 600 K(=327 ℃)이다.

14 일정량의 기체에서 $\frac{PV}{T}=k$이므로 $\frac{2PV}{T_A}=\frac{4PV}{T_B}=\frac{2PV}{T_C}$이고, $T_A : T_B : T_C=1 : 2 : 1$이다.

15 **모범 답안** (1) 0.2 mol

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

해설 (1) $PV=nRT$에서 T와 P가 일정할 때 V는 n에 비례한다. (가)와 (나)에서 온도와 압력이 같고 부피는 (나)가 (가)의 2배이므로 질소의 양(mol)도 (나)가 (가)의 2배이다.

(2) $PV=nRT$에서 $\frac{PV}{T}$는 n에 비례하므로 (가)와 (다)에서 온도가 2배일 때 일정량의 기체의 부피가 같으면 압력도 2배이다. 따라서 (대기압$+3\times P_{추}$)$=2\times$(대기압$+P_{추}$), $P_{추}=1$(atm)이다.

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

16 **모범 답안** (1) 0.12 g

(2) 기체 X의 압력은 1.0 atm, 부피는 0.092 L, 온도는 298 K, 질량은 $w_1-w_2=0.12$ g이므로

$M=\frac{wRT}{PV}=\frac{0.12\text{ g}\times 0.082\text{ atm}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})\times 298\text{ K}}{1\text{ atm}\times 0.092\text{ L}}$

$\fallingdotseq 32$ g/mol이다.

해설 이상 기체 방정식을 이용하여 기체의 분자량을 구하려면 기체의 압력, 부피, 온도, 질량을 측정해야 한다.

(1) 주사기 속에 들어 있는 기체의 질량은 기체 통의 처음 질량에서 나중 질량을 뺀 값과 같으므로 $w_1-w_2=0.12$ g이다.

(2) $M=\frac{wRT}{PV}$ 식에 측정값을 대입하여 분자량을 구한다.

채점 기준		배점(%)
(1)	기체의 질량을 옳게 구한 경우	30
(2)	이상 기체 방정식을 이용하여 분자량에 관한 식을 유도하고, 이 식에 측정값을 대입하여 분자량을 옳게 구한 경우	70
	계산 과정이 대체로 옳지만 기체의 압력, 부피, 온도, 질량 중 1~2가지의 값이 옳지 않은 경우	30

02 혼합 기체의 부분 압력과 몰분율

내신 기초 문제 | p.023 |

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ① 05 ③

01 ㄱ. 혼합 기체에서 용기 속에 들어 있는 기체의 부피는 용기의 부피와 같으므로 각 성분 기체의 부피는 같다.

ㄴ. 혼합 기체에서 각 성분 기체의 온도는 같다.

ㄹ. 부분 압력의 합은 전체 기체의 압력과 같다.

오답 피하기

ㄷ. 각 성분 기체의 부피와 온도가 같으므로 성분 기체의 부분 압력은 각 기체의 양(mol)에 비례한다. 두 기체가 서로 다른 양(mol)이므로 부분 압력은 다르다.

02 기체를 혼합했을 때 혼합 기체의 전체 압력을 P라고 하면 보일 법칙에 의해 다음 관계식이 성립한다. 4 atm$\times$2 L$+$2 atm$\times$4 L$=P\times$4 L이다. 따라서 P는 4 atm이다.

03 ㄱ. 온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례하므로, 헬륨과 질소의 몰비는 1 : 4이다. 따라서 꼭지를 연 후 몰분율은 헬륨과 질소가 각각 0.2, 0.8이다.

ㄴ. 꼭지를 열면 전체 기체의 부피 및 헬륨과 질소 각각의 부피는 모두 3 L가 된다.

오답 피하기

ㄷ. 꼭지를 연 후 전체 기체의 압력을 P라고 하면,

$(1\ \text{atm}\times 1\ \text{L})+(2\ \text{atm}\times 2\ \text{L})=P\times 3\ \text{L}$이므로 $P=\frac{5}{3}\ \text{atm}$이다. 헬륨과 질소의 몰분율이 각각 0.2, 0.8이므로 헬륨과 질소의 부분 압력은 헬륨이 $\frac{1}{3}\ \text{atm}$, 질소가 $\frac{4}{3}\ \text{atm}$이 된다.

따라서 전체 압력은 $\frac{5}{3}\ \text{atm}$이다.

04 $PV=nRT$에서 T, V가 일정할 때 n은 P에 비례한다. (가)에서 He은 1 mol, 0.2 atm이고 (나)에서 혼합 기체가 0.5 atm이므로 Ne을 추가하여 증가한 압력이 0.3 atm이다. 따라서 추가된 Ne의 양은 1.5 mol이다.

ㄱ. (가)에서 He은 1 mol이다.

오답 피하기

ㄴ. He은 1 mol, Ne의 양은 1.5 mol이므로 헬륨의 몰분율은 $\frac{1.0\ \text{mol}}{2.5\ \text{mol}}=0.4$이다.

ㄷ. Ne의 원자량이 20이므로 Ne 1.5 mol의 질량은 $20\ \text{g/mol}\times 1.5\ \text{mol}=30\ \text{g}$이다.

05 ㄱ. 이상 기체 방정식에 의하면 $PV=nRT$이다. 일정한 온도에서 $n\propto PV$이고 산소와 질소의 몰비는 $1\ \text{atm}\times 1\ \text{L}:1\ \text{atm}\times 1\ \text{L}=1:1$이다. 따라서 산소 기체의 몰분율은 0.5이다.

ㄴ. 혼합 전 산소의 압력과 부피를 곱한 값은 혼합 후 산소의 압력과 부피를 곱한 값과 같다. 즉 $1\ \text{atm}\times 1\ \text{L}=P_{\text{산소}}\times 2\ \text{L}$이다. 따라서 $P_{\text{산소}}$는 0.5 atm이다.

오답 피하기

ㄷ. 혼합 전 질소의 압력과 부피를 곱한 값은 혼합 후 질소의 압력과 부피를 곱한 값과 같다. 즉, $1\ \text{atm}\times 1\ \text{L}=P_{\text{질소}}\times 2\ \text{L}$이다. $P_{\text{질소}}$는 0.5 atm이다. 따라서 혼합 기체의 전체 압력은 $P_{\text{산소}}+P_{\text{질소}}=0.5\ \text{atm}+0.5\ \text{atm}=1\ \text{atm}$이다.

내신 실전 문제

| p.024~025 |

01 ⑤ **02** ④ **03** ① **04** ④

05 ㉠ $\frac{3}{4}$, ㉡ $\frac{1}{3}$, ㉢ $\frac{4}{3}$ **06** ② **07** ~ **09** 해설 참조

01 온도가 일정하므로 꼭지를 열기 전과 후에 각 기체의 압력과 부피의 곱은 같다.

ㄱ. 꼭지를 연 후 N_2의 부분 압력을 P_{N_2}라고 하면 $6\ \text{atm}\times 1\ \text{L}=P_{N_2}\times 3\ \text{L}$, $P_{N_2}=2\ \text{atm}$이다.

ㄴ. 꼭지를 연 후 O_2의 부분 압력을 P_{O_2}라고 하면 $6\ \text{atm}\times 1\ \text{L}=P_{O_2}\times 3\ \text{L}$, $P_{O_2}=2\ \text{atm}$이다.

ㄷ. 혼합 기체의 전체 압력은 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같으므로 전체 압력은 $2\ \text{atm}+2\ \text{atm}=4\ \text{atm}$이다.

02 꼭지를 열어 두 기체가 혼합되어도 기체의 양은 같고 혼합 기체의 압력은 대기압인 1 atm과 같다. 따라서 혼합 기체의 부피를 V라고 하면 다음 식이 성립한다.

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

따라서 전체 기체가 차지하는 부피(V)는 3 L이다. 이때 용기의 부피가 1 L이므로 실린더의 부피는 2 L이다.

03 ㄱ. 이상 기체 방정식에 의하면 $PV=nRT$이다. 일정한 온도에서 $n\propto PV$이고 몰비는 $\text{A}:\text{B}=2\times 2:1\times 3=4:3$이다.

오답 피하기

ㄴ. 온도가 일정하므로 평균 운동 속력은 일정하다.

ㄷ. $2\ \text{atm}\times 2\ \text{L}=P_{\text{A}}\times 5\ \text{L}$이고, $1\ \text{atm}\times 3\ \text{L}=P_{\text{B}}\times 5\ \text{L}$이다. 따라서 P_{A}, P_{B}는 각각 $\frac{4}{5}\ \text{atm}$, $\frac{3}{5}\ \text{atm}$이다. 따라서 꼭지를 열고 충분한 시간이 지난 후 산소와 질소의 부분 압력은 다르다.

04 ㄴ. 기체가 차지하는 부피는 기체의 양(mol)에 비례한다. 실린더 전체의 부피가 8 L이므로 A가 차지하는 부피(V_{A})는 $8\ \text{L}\times\frac{1}{6}=\frac{4}{3}\ \text{L}$이고 B의 부피($V_{\text{B}}$)는 $8\ \text{L}\times\frac{4}{6}=\frac{16}{3}\ \text{L}$이다. 따라서 B의 부피는 A의 4배이다.

ㄷ. 꼭지를 열고 충분한 시간이 지났을 때 모든 기체의 압력은 같다. 꼭지를 열고 충분한 시간이 지났을 때 A의 부피는 $\frac{4}{3}\ \text{L}$가 된다. 꼭지를 열기 전후 PV값은 일정하므로 $2\times 1=P_{\text{A}}\times\frac{4}{3}$이다. 따라서 모든 기체의 부분 압력은 1.5 atm이다.

오답 피하기

ㄱ. 이상 기체 방정식에 의하면 $PV=nRT$이다. 일정한 온도에서 $n\propto PV$이고 몰비는 $\text{A}:\text{B}:\text{C}=2\times 1:(2\times 3+1\times 2):1\times 2=2:8:2=1:4:1$이다.

05 ㉠. 몰분율은 혼합물에서 특정 성분이 차지하는 몰비이고 기체의 양(mol)은 온도가 일정할 때 압력과 부피에 비례한다($n\propto PV$). 따라서

$\text{He의 몰분율}=\frac{2\ \text{atm}\times 3\ \text{L}}{2\ \text{atm}\times 3\ \text{L}+1\ \text{atm}\times 2\ \text{L}}=\frac{3}{4}$이다.

㉡, ㉢. 꼭지를 모두 열면 기체의 전체 부피는 6 L이고, 온도가 일정하므로 꼭지를 열기 전후 기체의 압력과 부피의 곱은 같다. 꼭지를 연 후 헬륨의 부분 압력 P_{He}, 네온의 부분 압력을 P_{Ne}라고 하면,

$2\ atm \times 3\ L = P_{He} \times 6\ L$, $P_{He} = 1\ atm$이고,

$1\ atm \times 2\ L = P_{Ne} \times 6\ L$, $P_{Ne} = \frac{1}{3}\ atm$이다.

따라서 전체 압력은 $\frac{4}{3}\ atm$이다.

06 $He(g)$의 압력은 0.5 atm이고, $Ne(g)$의 압력은 수은 기둥의 높이가 38 cm이므로 0.5 atm이다. 꼭지를 둘 다 열고 충분한 시간이 지났을 때의 압력을 P atm이라고 하면, $(0.5 \times 2) + (0.5 \times 1) = P \times 3$이므로 P는 0.5이다. 수은 기둥에 연결된 꼭지를 열면 오른쪽의 수은 액면에는 대기압인 1 atm이 작용하므로 수은 기둥은 왼쪽이 오른쪽보다 높다.

ㄷ. 전체 기체의 압력이 0.5 atm, 수은 기둥 오른쪽은 1 atm이므로 수은 기둥은 왼쪽이 오른쪽보다 높고 높이 차는 38 cm이다.

오답 피하기

ㄱ. 모든 꼭지를 열고 충분한 시간이 지난 후, He의 몰분율이 $\frac{2}{3}$이므로 He의 부분 압력은 $0.5\ atm \times \frac{2}{3} = \frac{1}{3}\ atm$이다.

ㄴ. $Ne(g)$의 부피는 혼합 전 1 L에서 혼합 후 3 L가 되므로 혼합 전의 압력이 혼합 후의 3배이다.

07 **모범 답안** (1) $1\ atm \times 2\ L = P_{He} \times 3\ L$로부터 $P_{He} = \frac{2}{3}\ atm$이다.

(2) $2\ atm \times 1\ L = P_{O_2} \times 3\ L$로부터 $P_{O_2} = \frac{2}{3}\ atm$이다. 따라서, 혼합 기체 전체의 압력은 $\frac{4}{3}\ atm$이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	$He(g)$의 부분 압력을 구하는 과정과 답을 모두 옳게 제시한 경우	40
	$He(g)$의 부분 압력만 옳게 제시한 경우	20
(2)	$O_2(g)$의 부분 압력을 구하는 과정과 답을 옳게 제시하고, 각 성분 기체로부터 전체 기체의 압력을 구하는 과정과 답을 옳게 제시한 경우	60
	$O_2(g)$의 부분 압력과 전체 기체의 압력만 옳게 제시한 경우	20

08 **모범 답안** (1) $A_2 : B_2 = 3 : 10$, $PV = nRT$에서 온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례하므로 꼭지를 열기 전 몰비는

$A_2 : B_2 = 1\ atm \times 3\ L : 5\ atm \times 2\ L = 3 : 10$이다.

(2) P_{B_2}: 0.68 atm, P_{AB_2}: 1.2 atm

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

- A_2: $1\ atm \times 3\ L = P_{A_2} \times 5\ L$, $P_{A_2} = 0.6\ atm$
- B_2: $5\ atm \times 2\ L = P_{B_2} \times 5\ L$, $P_{B_2} = 2\ atm$

$PV = nRT$에서 T가 일정할 때 n은 PV에 비례한다. 꼭지를 열면 A_2와 B_2의 부피는 같고 n은 각 기체의 부분 압력에 비례하므로 반응 후 부분 압력의 변화는 다음과 같다.

	$A_2(g)$	+ $2B_2(g)$	⟶ $2AB_2(g)$
처음	0.6	2	0
반응	−0.6	−1.2	+1.2
나중	0	0.8	1.2

A_2가 모두 반응하면 B_2가 남고, 남은 B_2의 부분 압력은 0.8 atm이다. 이때 생성된 기체 AB_2의 부분 압력은 1.2 atm이다.

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

09 **모범 답안** 마취와 동시에 산소 공급을 위해 사용한다.

채점 기준	배점(%)
마취용 가스로 아산화 질소와 산소 등의 혼합 기체를 사용하는 까닭을 예시 답안과 통하는 내용으로 서술한 경우	100
마취용 가스로 혼합 기체를 사용하는 까닭을 서술했지만, 내용이 미흡한 경우	50

03 분자 간 상호 작용과 액체의 성질

내신 기초 문제 | p.030 |

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ⑤ 05 ①

01 ㄱ. 분자 사이의 힘이 클수록 액체에서 기체로 상태 변화하기 위해 많은 에너지가 필요하므로 끓는점이 높다.

ㄷ. 수소 결합을 하는 물질은 분자량이 비슷한 다른 물질보다 끓는점이 높다.

오답 피하기

ㄴ. 분자량이 클수록 분자 내 전자가 많아 전자구름의 편극 현상이 크게 일어나므로 분산력이 크다.

02 17족 원소의 수소 화합물은 극성 분자이므로 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다. 주기가 커질수록 분자의 극성

은 작아지지만 동시에 분산력이 커지므로 끓는점이 높아진다.(HI > HBr > HCl) 하지만 주기가 가장 작은 HF는 수소 결합을 하기 때문에 분자량이 작아도 끓는점이 가장 높다.

03 ㄷ. 분자 사이의 인력이 클수록 액체에서 기체로 상태 변화하기 위해 많은 에너지가 필요하므로 끓는점이 높다. 끓는점이 A < B < C이므로 분자 사이의 인력은 A < B < C이다.

오답 피하기

ㄱ. C_3H_8은 무극성 분자이므로 분산력만 작용한다.

ㄴ. CH_3NH_2은 극성 분자이므로 쌍극자·쌍극자 힘과 분산력이 작용한다.

04 쌍극자를 갖는 극성 분자 사이에서 부분적인 양전하(δ^+)와 부분적인 음전하(δ^-)가 서로 끌어당기는 힘을 쌍극자·쌍극자 힘이라고 한다. CH_4은 무극성 분자이기 때문에 분산력만 작용한다. CH_3Cl과 CH_3CN은 둘 다 극성 분자이기 때문에 분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다.

05 ㄱ. 일정한 온도에서 증기 압력은 A가 가장 크다.

오답 피하기

ㄴ. 같은 온도에서 C의 증기 압력이 가장 작으므로 C의 분자 간 인력이 가장 크다.

ㄷ. 외부 압력과 증기 압력이 같아질 때 끓게 되므로 A~C가 끓고 있을 때의 증기 압력은 모두 같다.

내신 실전 문제

| p.031~033 |

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

01 ㄴ. 분산력은 분자로 구성된 모든 물질에서 나타나는 힘이다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 쌍극자가 존재하지 않으므로 무극성 분자이고, (나)는 쌍극자가 존재하는 극성 분자이다. (가) 분자 간에 작용하는 분자 간 힘은 분산력뿐이고, (나) 분자 간에 작용하는 분자 간 힘은 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이다. 이때 (가)와 (나)의 분자량이 비슷하여 분산력의 크기가 비슷하므로 분자 간 힘은 (나)가 (가)보다 크다.

ㄷ. (나)에는 쌍극자가 존재하므로 (나)는 극성 분자이다. 따라서 (나)의 분자 간에는 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다.

02 ㄷ. I_2의 끓는점이 CH_3Cl보다 높은 까닭은 I_2의 분자량이 매우 커서 분산력이 크기 때문이다.

오답 피하기

ㄱ. 분자의 쌍극자 모멘트는 CH_3Cl이 H_2O이나 I_2보다 크지만 끓는점은 H_2O과 CH_3Cl이 더 높다. 이것은 H_2O의 경우 수소 결합을 하며, I_2의 경우 분자량이 크기 때문이다. 따라서 조건이 다른 경우, 분자의 극성으로만 끓는점의 경향을 설명할 수 없다.

ㄴ. 분자 사이에 작용하는 힘이 가장 큰 것은 끓는점이 가장 높은 I_2이다. 수소 결합을 하는 H_2O은 비슷한 분자량의 다른 분자에 비해 끓는점이 높지만, 제시된 3가지 분자 중에서 가장 높지는 않다.

03 ㄱ. 분자량이 작은 HA가 HB보다 끓는점이 높은 까닭은 HA가 수소 결합을 하기 때문이다.

ㄴ. B_2는 무극성 물질이고 HB는 극성 물질이다. B_2의 끓는점이 HB보다 높은 까닭은 B_2의 분자량이 HB보다 커서 분산력이 크기 때문이다.

ㄷ. HC와 HD는 모두 극성 물질인데, HD가 HC보다 끓는점이 높은 까닭은 HD가 HC보다 분자량이 커서 분산력이 크기 때문이다.

04 A와 B는 극성 분자이다. 전기음성도 차이는 A가 B보다 크고 분자량은 B가 A보다 크므로 A는 HCl, B는 HBr이다. C와 D는 무극성 분자이다. 전기음성도 차이는 D의 분자량이 C보다 크므로 C는 F_2, D는 Cl_2이다.

ㄱ. 쌍극자·쌍극자 힘이 나타나는 분자는 극성 분자인 A와 B이다.

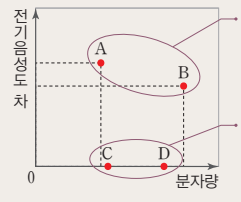
ㄷ. D의 분자량이 C보다 크므로 D가 분산력이 더 크게 작용하여 D의 끓는점이 C보다 높다.

오답 피하기

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

문제 속 자료

극성 분자와 무극성 분자의 분자 간 힘 비교



분자를 구성하는 두 원자의 전기음성도 차가 0보다 크므로 극성 분자이다.

분자를 구성하는 두 원자의 전기음성도 차가 0이므로 무극성 분자이다.

05 ㄱ. 액체의 온도가 높을수록 증기 압력이 크다. 액체의 온도가 높아지면 액체 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 분자 간 힘을 극복하고 증발하기 쉬워지기 때문이다.

ㄴ. 증기 압력은 일정한 온도에서 밀폐된 용기에 들어 있는

액체의 표면에서 증발하는 분자 수와 응축하는 분자 수가 같아졌을 때 증기가 나타내는 압력이다.

오답 피하기

ㄷ. 일정한 온도에서 액체의 증기 압력은 양(mol)에 관계없이 일정하다.

06 ㄱ. 외부 압력이 1 atm(760 mmHg)일 때의 물의 끓는점은 100 ℃이다.

ㄴ. 온도가 높아질수록 증발하기 쉬워 증기 압력이 커진다.

ㄷ. 외부 압력이 커질수록 액체는 더 큰 증기 압력을 가져야 끓게 되므로 끓는점이 높아진다.

07 ㄷ. 분자 간 인력이 작은 액체일수록 같은 온도에서 대체로 증기 압력이 크다. 따라서 분자 간 힘은 A > B이다.

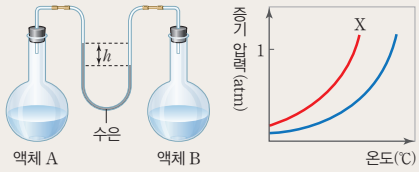
오답 피하기

ㄱ. (나)에서 온도가 일정할 때 증기 압력이 큰 X는 액체 B이다.

ㄴ. (가)에서 액체 A의 증기 압력이 액체 B보다 작다.

문제 속 자료

분자 간 인력이 액체의 증기 압력에 미치는 영향



- (가)에서 수은 기둥이 액체 A 쪽으로 밀려 올라갔으므로 액체의 증기 압력은 B > A이다. ➡ 증기 압력이 클수록 분자 간 인력이 작으므로 분자 간 인력은 A > B이다.
- (나)에서 온도가 같을 때 증기 압력은 X가 더 크다. 따라서 X는 B이다.

08 기준 끓는점은 외부 압력이 1 atm일 때의 끓는점이다. 기준 끓는점의 크기는 물 > B > A이다. 동일한 온도에서 증기 압력은 물 < B < A이다.

09 ㄱ. 물은 같은 온도에서 증기 압력은 가장 작고 분자 간 힘은 가장 크다.

ㄷ. 외부 압력에 따라 액체의 끓는점은 변하지만 끓는점 순서는 변하지 않는다.

오답 피하기

ㄴ. 끓고 있을 때의 증기 압력은 모두 외부 압력과 같다.

10 ㄴ. B는 무극성 분자이므로 같은 종류의 원자로 이루어져 분자를 이루는 두 원자의 전기음성도 차가 0이다. C는 극성 분자이므로 분자를 이루는 두 원자의 전기음성도가 다르다. 따라서 분자를 이루는 원자 간의 전기음성도 차는 B < C이다.

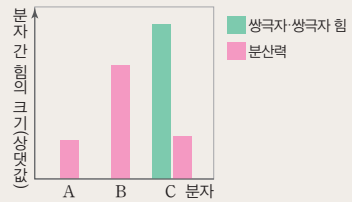
ㄷ. C의 분자 간 힘의 크기가 가장 크므로 끓는점은 C가 가장 높다.

오답 피하기

ㄱ. A와 B는 분산력만 작용하는 것으로 보아 무극성 분자이며, 분자 간 힘의 크기가 큰 B의 분자량이 A보다 크다.

문제 속 자료

분자의 극성·무극성과 분자 간 힘의 종류



- 분산력은 무극성 분자에서 순간적으로 발생하는 순간 쌍극자로 인해 나타나는 분자 간 힘이다.
- ➡ 그래프에서 A, B는 분산력만 작용하므로 무극성 분자이다.
- ➡ 분자량이 클수록 분산력이 강하게 작용하므로 분자량은 A < B이다.
- C는 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하므로 극성 분자이다.
- 분자 간 힘의 크기가 클수록 끓는점이 높다.
- ➡ 분자 간 힘이 A < B < C이므로 끓는점이 A < B < C이다.

11 **모범 답안** 분자량이 비슷할 때, 분자의 쌍극자 모멘트가 클수록 쌍극자·쌍극자 힘이 더 커지므로 끓는점이 높아진다.

채점 기준	배점(%)
쌍극자 모멘트, 쌍극자·쌍극자 힘으로 끓는점이 다른 까닭을 옳게 서술한 경우	100
쌍극자 모멘트에 따른 끓는점의 변화만 서술한 경우	50

12 **모범 답안** (1) (가)

(2) (나), (다), (라)

(3) (가)~(라)는 분자량의 차이로 인한 분산력의 크기 차이, 극성의 크기 차이로 인한 쌍극자·쌍극자 힘의 크기 차이, 수소 결합의 유무 등 분자 간 상호 작용의 종류와 크기가 다르기 때문에 끓는점이 다르다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가)를 쓴 경우	10
(2)	(나), (다), (라)를 모두 쓴 경우	30
(3)	끓는점이 다른 까닭을 분자 간 상호 작용으로 옳게 서술한 경우	60
	끓는점이 다른 까닭을 분자 간 상호 작용으로 서술했지만 작은 오류가 포함된 경우	40

04 고체의 성질

탐구 리포트 | p.036 |

01 ③ 02 ②

01 ㄷ. (가)는 이온 결정이므로 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만 액체 상태와 수용액 상태에서는 전하를 띠는 입자인 이온들이 이동할 수 있어 전기 전도성이 있고, (나)는 금속 결정으로 고체 상태와 액체 상태에서 모두 전하를 운반하는 자유 전자가 있어 전기 전도성이 있다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 염화 나트륨(NaCl)으로 이온 결정이다.

ㄴ. (나)는 구리(Cu)로 구성 입자가 금속의 양이온과 자유 전자인 금속 결정이다.

02 용액의 전기 전도성은 용액에서 전하를 띤 입자가 있는지 여부에 의해 결정된다. 소금(NaCl)은 물에 녹아 이온을 생성하고 이들 이온이 이동하면서 전류를 전달할 수 있는 반면, 설탕은 물에 녹아 중성을 띠는 분자 상태로 존재하므로 설탕물은 전류가 흐르지 않는다.

내신 기초 문제 | p.038 |

01 ③ 02 ② 03 ⑤ 04 ① 05 ⑤

01 ㄱ. 결정성 고체는 구성 입자들이 규칙적인 배열을 이루고 있는 고체이고, 비결정성 고체는 구성 입자들이 불규칙적으로 배열되어 있는 고체이다. 따라서 결정성 고체와 비결정성 고체는 구성 입자 배열의 규칙성 여부로 구분한다.

ㄷ. 금속 결정은 자유 전자를 가지므로 외부에서 힘을 가해도 자유 전자가 이동하여 결합이 유지된다.

오답 피하기

ㄴ. 이온 결정은 단단하지만, 외부 충격을 가하면 이온 층이 밀리면서 같은 전하를 띠는 이온끼리 만나 반발력이 생기므로 쉽게 부스러진다.

02 물질 A는 이온 결정, B는 금속 결정의 모형이고, C는 공유 결정 중에서 다이아몬드이다.

ㄴ. 금속 결정은 고체 상태에서 전기 전도성이 있다.

오답 피하기

ㄱ. 이온 결정은 힘을 가하면 쉽게 부서진다.

ㄷ. 공유 결정은 결정을 이루는 입자들이 연속적으로 공유 결합한 거대 결정으로 매우 단단하다.

03 금속 결합은 결합력이 강하며, 원자 배열이 바뀌어도 결합이 유지된다. 이런 까닭으로 금, 구리, 철 같은 금속은 가공과 변형이 용이하다. 반면 양이온과 음이온이 연속적으로 결합하여 이루어진 이온 결합은 결합력이 강하여 녹는점이나 끓는점이 매우 높지만, 외부에서 가하는 충격에는 약하여 쉽게 부서진다.

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

ㄱ. (가)는 액체 상태 및 수용액 상태에서 전기 전도성이 있다.

오답 피하기

ㄴ. (나)는 원자들이 공유 결합으로 매우 강하게 결합하고 있어 1 atm에서 승화성이 없다.

ㄷ. (가)에서 (−)전하를 띠는 입자는 음이온이고, (다)에서 (−)전하를 띠는 입자는 자유 전자이다.

05 NaCl은 금속과 비금속 원소로 구성되어 있다. Cu는 금속 원소, H_2O은 비금속 원소로만 구성되어 있다.

ㄴ. A는 Cu이다. 금속 결정은 연성과 전성이 크다.

ㄷ. B는 H_2O이다. 물은 분자 사이에 수소 결합을 한다.

내신 실전 문제 | p.039~041 |

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

01 ㄷ. C는 염화 나트륨으로 결정성 고체이다.

오답 피하기

ㄱ. A는 유리로 비결정성 고체이다.

ㄴ. B는 플라스틱으로 비결정성 고체이다.

02 ㄱ. (가)는 기본 입자 사이에 작용하는 힘의 크기가 일정하므로 녹는점이 일정한 결정성 고체이다.

ㄷ. (가)와 (나)를 구성하는 원소는 Si와 O로 동일하다.

오답 피하기

ㄴ. (나)는 기본 입자 사이에 작용하는 힘의 크기가 일정하지 않은 비결정성 고체이다. 따라서 녹는점이 일정하지 않다.

03 금속 결합은 금속 양이온과 자유 전자 간의 강한 정전기적 인력으로 이루어져 있어서, 금속 고체는 열전도도와 전기 전도도가 크고, 녹는점이 높은 편이다.

04 ㄷ. NaCl과 MgO은 이온 결정이다. 이온 결정은 양이온과 음이온이 이온 결합을 하여 규칙적으로 배열된 결정이다.

오답 피하기

ㄱ. 단단하지만 외부 충격에 의해 쉽게 부스러진다. 연성과 전성이 큰 것은 금속 결정의 성질이다.

ㄴ. 고체 상태에서는 전기 전도성이 없고, 액체 상태나 수용액 상태에서는 전기 전도성이 있다.

05 (가)는 이온 결정으로 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만 액체 상태에서는 전기 전도성이 있다. (나)는 공유 결정으로 녹는점이 매우 높고, (다)는 금속 결정으로 뽑힘성(연성)과 펴짐성(전성)이 있다.

06 ㄴ. 분자 결정은 다른 결정에 비해 분자 사이의 인력이 약하므로 녹는점이 낮다. CO_2, I_2은 1 atm에서 승화성이 있다.

오답 피하기

ㄱ. CO_2, I_2의 분자는 모두 공유 결합으로 이루어지며, 이들 분자들이 분자 간 인력에 의해 분자 결정을 이룬다.

ㄷ. 분자 결정은 고체와 액체 상태에서 전기 전도성이 없다.

07 ㄱ. 다이아몬드와 흑연은 탄소 원자들이 연속적으로 공유 결합을 하여 연결된 공유 결정이다.

ㄴ. 다이아몬드는 한 탄소 원자가 다른 탄소 원자 4개와, 흑연은 한 탄소 원자가 다른 탄소 원자 3개와 결합한다.

오답 피하기

ㄷ. 흑연은 고체 상태에서 전기 전도성이 있지만 다이아몬드는 고체 상태에서 전기 전도성이 없다.

08 ㄱ. A는 고체 상태와 액체 상태에서 모두 전기 전도성이 있으므로 금속 결정이다.

ㄷ. C는 결정을 구성하는 입자들이 분자 간 힘에 의해 배열하고 있다.

오답 피하기

ㄴ. B는 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만 액체 상태에서는 전기 전도성이 있으므로 이온 결정이다. 이온 결정은 힘을 가할 때 쉽게 깨진다.

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

ㄴ. (나)는 금속 결정으로 자유 전자가 있어 전기 전도성과 열전도성이 크다.

오답 피하기

ㄱ. A~C는 각각 금속 원소, 비금속 원소, 비금속 원소이다.

ㄷ. (다)는 공유 결합으로 이루어진 분자 사이의 인력에 의해 이루어진 분자 결정으로 전기 전도성이 없다.

10 ㄱ. 분자 결정은 대체로 녹는점이 낮고, 승화성이 있는 물질도 있다.

ㄴ. (나)는 이온 결정으로 힘을 가하면 이온 층이 밀릴 때 같은 전하를 띤 이온 사이에 반발력이 작용하여 쉽게 깨진다.

ㄷ. (다) 금속 결정은 자유 전자가 있어 전기 전도성과 열전도성이 크다.

11 모범 답안 (1) 공유 결합

(2) (가)와 (나)는 탄소 원자들이 연속적으로 공유 결합을 하여 3차원 구조를 이루므로 녹는점이 매우 높고 매우 단단하다.

(3) 일반적으로 공유 결정은 전기 전도성이 없다. (가) 다이아몬드는 전기 전도성이 없다. 하지만 (나) 흑연은 한 탄소 원자가 층상 구조 내에서 3개의 다른 탄소와 결합하는데, 이때 남은 전자가 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 전기 전도성이 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	공유 결합을 쓴 경우	20
(2)	녹는점이 높고 단단하다는 것을 결정 형태와 관련지어 옳게 서술한 경우	40
	녹는점이 높고 단단한 까닭을 대체로 옳게 서술한 경우	20
(3)	(가)와 (나)의 전기 전도성 차이를 흑연의 자유 전자와 관련지어 옳게 서술한 경우	40
	(가)와 (나)의 전기 전도성 차이만 옳게 서술한 경우	20

12 모범 답안 (1) (가) 분자 결정, (나) 금속 결정

(2) 아이오딘(I_2)은 분자 결정으로 전류를 흘려줄 때 자유롭게 이동할 수 있는 전하를 띠는 입자가 없어서 전기 전도성이 없다. 반면, (나) 칼륨(K)은 금속 결정으로 자유 전자가 있어 전류를 흘려줄 때 자유 전자가 이동하면서 전하를 운반하므로 전기 전도성이 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가) 분자 결정, (나) 금속 결정이라고 모두 옳게 쓴 경우	40
	(가)와 (나) 중 하나만 옳게 쓴 경우	20
(2)	(가)와 (나)의 고체 상태일 때의 전기 전도성을 근거와 함께 모두 옳게 서술한 경우	60
	(가)와 (나) 중 하나만 고체 상태일 때의 전기 전도성을 근거와 함께 옳게 서술한 경우	30

단원 마무리 문제

| p.044~047 |

01 ① **02** 해설 참조 **03** ③ **04** ③
05 해설 참조 **06** ② **07** ⑤ **08** ④ **09** ③
10 ② **11** ④ **12** ③ **13** 해설 참조 **14** ⑤
15 ③

01 $PV=nRT$이므로 $V \propto \frac{T}{P}$이다.

ㄱ. 같은 온도(300 K)일 때 $V \propto \frac{1}{P}$ (보일 법칙)이므로 (가)는 1 atm, V_1이고 (나)는 3 atm, $V_2=\frac{V_1}{3}$이므로 $V_1=3V_2$이다.

ㄴ. 같은 압력(1 atm)일 때 $V \propto T$이므로 $V_3=2V_1$이다.

ㄷ. $P=3$ atm, $T=600$ K일 때 압력이 같은 (나)와 비교하면 $\frac{V_4}{V_2}=\frac{600}{300}=2$, $V_4=2V_2=2\times\frac{V_1}{3}=\frac{2}{3}V_1$이므로 $V_4 \neq V_2$이다.

[다른 풀이] V_4는 V_1에 비해 압력은 3배, 온도는 2배이므로 $V_4=\frac{2}{3}V_1$이다.

02 모범 답안 (1) 피스톤에 올리는 추의 개수가 늘어날수록 기체의 부피는 감소한다. 이와 관련된 기체 법칙은 보일 법칙이다.

(2) (나). 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에만 비례하는데, (나)는 가열을 통해 온도가 높아지는 과정이기 때문이다. (가)는 온도가 일정하므로 운동 에너지는 변하지 않는다.

채점 기준		배점(%)
(1)	부피 변화(감소)와 법칙의 명칭(보일 법칙)을 모두 정확히 쓴 경우	40
	부피 변화(감소)와 법칙의 명칭(보일 법칙) 중 하나만 정확히 쓴 경우	20
(2)	과정 (나)를 선택하고, '운동 에너지는 절대 온도에 비례한다'는 근거를 제시한 경우	60
	(나)를 썼지만 근거 설명이 부족하거나 쓰지 않은 경우	30

03 ㄱ, ㄴ. 이상 기체에서 PV는 온도에 비례한다.

A와 B는 PV 값이 같으므로 온도가 같다.

C는 PV 값이 더 크므로 온도가 더 높다.

오답 피하기

ㄷ. A, B의 PV 값이 같고 $P_AV_B=P_BV_B=1$이므로 P_B가 2일 때 $V_B=\frac{1}{2}$이다. 이때 $V_A=2V_B$이다.

04 ㄱ. 일정한 압력에서, 일정량의 기체의 부피가 $T_1<T_2$이므로 온도는 $T_1<T_2$이다.

ㄷ. A, B, C의 질량이 같으므로 부피가 가장 작은 C의 밀도가 가장 크다.

오답 피하기

ㄴ. B와 C는 압력은 같지만, 온도가 높은 B의 부피가 더 크다. 일정량의 기체가 더 큰 부피를 차지하므로 분자 간 거리는 B가 더 멀다.

05 모범 답안 (1) • 기체 A의 질량(w): 100.00 g − 99.68 g = 0.32 g

• 절대 온도(T): 27 ℃ = 300 K

(2) • 수식: $n=\frac{w}{M}$이므로, $PV=\frac{w}{M}RT$, $M=\frac{wRT}{PV}$이다.

• 계산

$$M=\frac{0.32\ \text{g}\times 0.08\ \text{atm}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})\times 300\ \text{K}}{1\ \text{atm}\times 0.24\ \text{L}}=32$$

따라서 분자량은 32이다.

(3) • 판단: 실제보다 커진다.

• 까닭: $M=\frac{wRT}{PV}$에서 분모의 부피(V) 값이 실제보다 작은 값으로 대입되기 때문에 측정값을 이용하여 계산한 분자량(M)은 실제보다 크게 계산된다.

채점 기준		배점(%)
(1)	질량과 절대 온도를 모두 정확히 구한 경우	20
	질량과 절대 온도 중 하나만 정확히 구한 경우	10
(2)	수식과 계산 과정을 모두 옳게 제시한 경우	40
	수식이 옳고, 계산 과정에서는 사소한 오류가 일부 포함된 경우	35
	수식을 옳게 제시했지만, 계산 과정을 제시하지 못한 경우	20
(3)	판단이 옳고, 근거를 들어 정확하게 서술한 경우	40
	판단은 옳지만, 근거 설명이 미흡한 경우	25

06 (가)와 (나)에서 기체의 양(mol)과 부피가 같으므로 분자 간 평균 거리가 같고, 물질의 종류가 같고 양(mol)도 같으므로 질량도 같다. 부피와 질량이 같으므로 밀도가 같다.

07 (가) 각 기체의 양(mol)

H_2: 4 g ÷ 2 g/mol = 2 mol

He: 2 g ÷ 4 g/mol = 0.5 mol

CH_4: 8 g ÷ 16 g/mol = 0.5 mol

따라서 전체 기체의 양(mol)은 3 mol이다.

ㄴ. '부분 압력 = 몰분율 × 전체 압력'이므로 H_2의 부분 압력은 $H_2=\frac{2}{3}\times 3=2$ atm이다.

ㄷ. CH_4을 추가하면 기체의 전체 양(mol)이 증가하고 He의 양(mol)은 그대로이므로 He의 몰분율이 감소하여 부분 압력이 감소한다.

오답 피하기

ㄱ. He의 몰분율은 $\text{He}=\frac{0.5}{3}=\frac{1}{6}$이다.

08 ㄱ. (가) 분자는 구성 원자 사이에 전기음성도 차가 없어 전하 분포가 균일하므로 무극성 분자이다. 반면 (나) 분자는 구성 원자 사이에 전기음성도 차가 있으므로 극성 분자이다.

ㄷ. (가)는 분산력만 작용하고, (나)는 쌍극자·쌍극자 힘과 분산력이 작용한다. 따라서 (가)보다 (나)의 분자 간 힘이 더 크다.

오답 피하기

ㄴ. 분산력은 분자의 극성과 관계없이 모든 분자에서 나타나는 분자 간 힘이므로 (가)와 (나)에서 모두 작용한다.

09 HCl은 극성 분자로 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하고, H_2O는 O—H 결합으로 인해 수소 결합이 작용한다. 분산력은 4가지 분자에서 모두 작용하는 힘이다.

ㄱ. CH_4은 SiH_4보다 분자량이 작아 분산력이 더 약하므로 끓는점이 더 낮다. 따라서 $a < -112$이다.

ㄴ. HCl은 극성 분자이므로 분자 간에 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다.

오답 피하기

ㄷ. 수소 결합은 H_2O에만 해당된다.

10 25 ℃에서 액체 A와 B를 각각 진공 용기에 넣으면, 증발이 일어나 평형 상태에 도달하게 된다. 이때 액체 위의 기체 압력은 해당 물질의 증기 압력이며, 이는 물질의 종류에 따라 다르게 나타난다. (가)에서 액체 A 쪽으로 수은 기둥이 올라갔으므로 증기 압력은 액체 B가 액체 A보다 크다.

(나)의 그래프는 온도에 따른 액체 A와 B의 증기 압력 변화를 나타낸 것으로, 같은 온도에서 곡선이 위에 있는 물질이 증기 압력이 더 크다. 그래프에서 X가 Y보다 위에 있으므로 X의 증기 압력이 Y보다 크다. 증기 압력이 클수록 쉽게 기화되므로 분자 간 인력은 Y가 X보다 더 크다. 또 끓는점은 액체의 증기 압력이 외부 압력(보통 1 atm)과 같아지는 온도이므로, 증기 압력이 더 큰 X가 더 낮은 온도에서 끓는다. 따라서 끓는점은 Y가 X보다 높다.

ㄴ. 끓는점은 A가 B보다 높다.

오답 피하기

ㄱ. (나)에서 온도가 일정할 때 증기 압력이 큰 X는 액체 B이다.

ㄷ. 분자 간 인력이 작은 액체일수록 같은 온도에서 대체로 증기 압력이 크다. 따라서 분자 간 힘은 A > B이다.

11 ㄱ. A는 입자 배열이 불규칙하고 녹는점이 일정하지 않으며 유리 제품에 이용되므로 유리(비결정성 고체)이다.

ㄷ. C는 규칙적인 배열과 높은 녹는점(800.7 ℃)을 가지며 염화 나트륨에 해당한다. 염화 나트륨은 이온 결합 물질이다.

오답 피하기

ㄴ. B는 불규칙한 배열과 일정하지 않은 녹는점을 가지며, 이용 분야의 정보로부터 플라스틱임을 알 수 있다. 플라스틱은 공유 결합 물질로, 고체 상태에서 전기 전도성이 없다. 하지만 제시된 정보만으로 전기 전도성을 판단하기는 어렵다.

12 ㄱ. NaCl은 대표적인 이온 결합 물질로, 양이온(Na^+)과 음이온(Cl^-)이 정전기적 인력에 의해 규칙적으로 배열된 결정 구조를 가진다.

ㄷ. 이온 결정은 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만, 가열하여 녹이거나 물에 녹이면 이온이 자유롭게 이동할 수 있어 전기 전도성이 나타난다.

오답 피하기

ㄴ. 이온 결정은 고체 상태에서 전기 전도성이 없다.

13 모범 답안 (1) (가)는 모든 원자가 공유 결합으로 연결된 그물 구조를 이루고 있기 때문에 녹는점이 높고 매우 단단하다.

(2) (가)와 (다)는 전기 전도성이 있고, (나)는 없다. (다)는 금속 결정으로 자유 전자가 전하를 운반하며, (가)는 흑연으로 자유 전자가 있어 전기 전도성이 있다. 반면 (나)는 분자 결정으로 자유롭게 이동할 수 있는 전하를 띤 입자가 없어서 전기 전도성이 없다.

채점 기준		배점(%)
(1)	'공유 결합'과 '연속적(그물 구조)'이라는 용어를 포함하여 공유 결정의 성질을 정확히 설명한 경우	50
	'공유 결합'과 '결합이 강해서'라는 내용을 포함하여 공유 결정의 성질을 설명한 경우	25
(2)	세 물질의 전도성 유무를 모두 옳게 비교하고, 그 근거(자유 전자 유무 등)를 정확히 서술한 경우	50
	전기 전도성 유무의 판단은 옳게 했지만, 근거가 부족하거나 한 가지 물질에 대한 설명이 누락된 경우	25

14 A: 녹는점이 매우 높고(1538 ℃), 고체와 액체 모두에서 전기 전도성이 있으므로 금속 결정이다.

B: 고체에서는 전기 전도성이 없고, 액체에서 전도성이 있으므로 이온 결정이다.

C: 녹는점이 상대적으로 낮고(113 ℃), 전기 전도성이 없으므로 분자 결정이다.

ㄱ. A(금속 결정)는 자유 전자가 있어 전기 전도성이 있다.

ㄴ. B(이온 결정)는 물에 녹으면 이온이 자유롭게 이동하여 전기 전도성이 나타난다.

ㄷ. C는 분자 결정이어서 녹는점이 낮다.

15 ㄱ. (가)는 이온 결정이다. 이온 결정은 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만 물에 녹이면 이온이 자유롭게 이동하여 전기 전도성이 나타난다.

ㄴ. (나)는 원자들이 공유 결합으로 연결된 공유 결정으로, 결합이 매우 강하여 녹는점이 매우 높다.

ㄷ. 공유 결정은 일반적으로 자유 전자가 없어 고체 상태에서 전기 전도성이 없다(흑연 제외).

II 용액의 성질

01 물의 구조와 성질

내신 기초 문제 | p.054 |

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ① 04 ③ 05 ②

01 ㄱ. 물은 2개의 수소 원자와 1개의 산소 원자가 공유 결합을 하고 결합각이 104.5°인 굽은 형 구조이다.

ㄷ. 전기음성도가 큰 산소 원자가 부분적인 음전하(δ^-), 수소 원자가 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다.

오답 피하기

ㄴ. 물 분자는 극성 분자이므로 극성 물질을 잘 녹인다.

02 ① 물이 얼 때 수소 결합으로 인해 물 분자들이 육각형 배열을 이루면서 분자 사이에 공간이 생기고 밀도가 감소하여 물 위에 얼음이 뜬다.

② 물은 수소 결합 때문에 표면 장력이 커서 소금쟁이가 수면 위를 떠다닐 수 있다.

③ 물 분자 사이의 수소 결합을 끊는 데 많은 에너지가 필요하므로 물의 비열이 커서 지구 평균 기온과 사람의 체온이 일정하게 유지된다.

④ 물은 수소 결합을 하므로 응집력과 부착력이 커 모세관 현상이 일어난다.

오답 피하기

⑤ 물이 극성 물질이나 이온 결합 물질을 잘 녹이는 이유는 극성 분자이기 때문이다.

03 표면 장력은 액체가 표면에서 그 표면적을 최소화하려는 힘으로, 표면 장력이 생기는 까닭은 액체 표면의 분자가 내부로만 힘을 받으면서 표면적이 최소화되기 때문이다. 표면 장력이 클수록 액체 방울의 모양은 더 둥글다.

04 ㄱ. 물이 얼면 부피가 증가하면서 밀도가 감소하여 물 위에 얼음이 뜬다.

ㄴ. 물이 액체에서 고체가 되면 분자 간에 더 많은 수소 결합을 한다.

오답 피하기

ㄷ. 물이 얼 때 수소 결합으로 물 분자들이 육각형 배열을 이루면서 분자 사이에 공간이 생기고 부피가 증가한다.

05 (가) 물은 다른 액체에 비해 표면 장력이 커서 밀도가 물보다 높은 클립을 물 위에 띄울 수 있다.

(나) 물은 질량이 비슷한 다른 물질에 비해 비열이 커서 온도 변화량이 작다.

내신 실전 문제 | p.055~057 |

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

01 결합 A는 수소 결합, 결합 B는 공유 결합이다.

ㄴ. 물이 얼면 물 분자 간 수소 결합으로 인해 부피가 커져 밀도가 작아진다.

ㄷ. 물 분자 1개는 최대 4개의 다른 물 분자와 수소 결합을 할 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 물의 온도가 높아지면 수소 결합 수가 감소한다.

02 (가)는 물의 구조이고, (나)는 얼음의 구조이다. 물이 얼면 수소 결합 수가 증가하므로 부피가 증가하고 밀도가 감소한다. 같은 질량일 때 물의 부피가 얼음의 부피보다 작으므로 단위 부피당 분자 수는 물이 얼음보다 크다.

03 물 분자는 전기음성도가 큰 산소 원자가 수소 원자와 결합하고 있어 산소 원자는 부분적인 음전하를 띠고 수소 원자는 부분적인 양전하를 띤다. 물은 고체 상태일 때 수소 결합에 의해 빈 공간이 많은 육각형 고리 형태의 배열을 한다.

04 수화는 물 분자가 극성 물질이나 이온 결정을 둘러싸면서 용질이 물에 녹는 과정이다. 물의 수소 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를 띠므로, 극성 물질의 부분적인 음전하(δ^-)를 향한다.

05 ㄱ, ㄹ. 표면 장력은 액체가 표면적을 최소화하려는 힘이다. 물은 수소 결합을 하므로 표면 장력이 매우 크다.

ㄴ, ㄷ. 모세관 현상은 액체가 가는 유리관이나 미세한 틈에서 이동하는 현상이다. 물은 수소 결합을 하므로 응집력과 부착력이 커 모세관 현상이 잘 일어난다.

06 ㄱ. 0 ℃는 물의 녹는점이다. 이때 수소 결합이 일부 끊어져 육각형의 빈 공간이 채워지며 부피가 감소한다.

오답 피하기

ㄴ. 4 ℃에서 물 1 g의 부피가 가장 작다. 밀도는 부피에 반비례하므로 4 ℃에서 밀도가 가장 크고, 분자 사이의 평균 거리는 가장 가깝다.

ㄷ. 온도가 높아질수록 수소 결합 수는 감소한다.

07 ㄴ. 결합 X는 수소 결합이다. 물이 얼 때 수소 결합의 수가 증가하므로, 결합 X의 수는 A일 때가 B일 때보다 많다.
ㄷ. 물질의 질량이 같을 때 밀도가 클수록 부피가 작다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 얼음의 모형이다. 따라서 (나)에서 A일 때 물 분자의 모형은 (가)와 같다.

08 액체의 온도가 높을수록 표면 장력이 작아지고, 액체 방울이 더 넓게 퍼진다. 또한 물은 수소 결합으로 인해 표면 장력이 다른 물질에 비해 매우 크다.

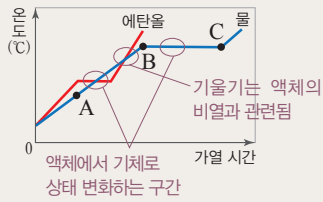
09 ㄱ. A는 물 분자 사이의 응집력, B는 물 분자와 유리 사이의 부착력이다.
ㄴ. 물은 수소 결합을 하므로 응집력과 부착력이 커서 모세관 현상이 나타난다.

오답 피하기

ㄷ. 수은과 유리 사이에 작용하는 부착력은 수은 분자 사이에 작용하는 응집력보다 작다. 따라서 유리관을 타고 수은이 내려간다.

10 물은 수소 결합을 하므로 분자 간 힘이 매우 강하여 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 녹는점과 끓는점이 높다. 또한, 물 분자 사이의 수소 결합을 끊는 데 많은 에너지가 필요하므로 물의 비열은 수소 결합을 하지 않는 물질에 비해 대체로 크다.

문제 속 자료



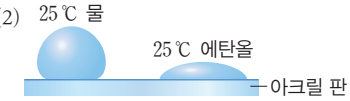
- 물의 가열 곡선에서 BC 구간에서는 물이 수증기로 상태가 변한다.
- 물의 가열 곡선에서 AB 구간에서의 기울기는 가열 시간(가해 준 열에너지)당 온도 증가를 나타낸다. 비열은 일정 질량의 물질의 온도를 1 ℃ 높이기 위해 가해 준 열에너지이므로 기울기가 완만할수록 비열이 크다. 따라서 비열의 크기는 물 > 에탄올이다.

11 **모범 답안** (1) A: 수소 결합, B: 공유 결합, 결합의 크기: A < B
(2) (가)에서 0 ℃ 물이 얼 때 밀도가 감소한다. 물은 얼 때 수소 결합인 결합 A의 수가 증가하면서 물 분자들이 분자 사이에 빈 공간이 있는 육각형 모양으로 배열하여 부피가 커지기 때문이다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	결합 A와 결합 B의 이름과 결합의 크기를 올바르게 비교한 경우	40
	결합 A와 결합 B의 이름과 결합의 크기 비교 중 한 가지만 올바르게 쓴 경우	20
(2)	수소 결합과 관련지어 0 ℃ 물이 얼 때 밀도 변화를 서술한 경우	60
	단순히 0 ℃ 물이 얼 때 밀도 변화만을 서술한 경우	20

12 **모범 답안** (1) 액체의 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 표면 장력이 커서 아크릴 판 위에 떨어뜨린 액체 방울의 모양은 동그랗다.

(2)



	채점 기준	배점(%)
(1)	분자 간 힘과 표면 장력을 관련지어 액체 방울의 모양에 대해 서술한 경우	50
	표면 장력과 관련지어 액체 방울의 모양에 대해 서술한 경우	30
(2)	실험 결과를 그림으로 올바르게 나타낸 경우	50

02 묽은 용액의 성질

탐구 리포트 | p.060~061 |

01 ③ **02** ③ **03** ③ **04** ⑤

01 ㄱ, ㄴ. 외부 압력이 760 mmHg이므로 증기 압력이 760 mmHg가 되는 100 ℃일 때 물이 끓는다.

오답 피하기

ㄷ. 외부 압력이 커질수록 액체는 더 큰 증기 압력을 가해 주어야 끓게 되므로 끓는점이 높아진다.

02 용액의 증기 압력이 외부 압력과 같아져야 끓는다. 일정한 온도에서 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매보다 증기 압력이 작으므로, 용액의 끓는점은 순수한 용매의 끓는점보다 높아진다.

03 ㄱ. 어는점 내림은 $\Delta T_f = K_f \times m$로 계산할 수 있다. A의 분자량을 M_A라고 하면,

$$1.86\ ℃ = 1.86\ ℃ \cdot kg/mol \times \frac{\frac{6\ g}{M_A\ g/mol}}{0.1\ kg}$$

이므로 $M_A = 60$이다.

ㄷ. (나)의 어는점 내림은 $1.86\ ℃\cdot kg/mol \times \frac{\frac{18\ g}{60\ g/mol}}{0.2\ kg} = 2.79\ ℃$이므로, x는 $-2.79\ ℃$이다.

오답 피하기

ㄴ. 수용액의 끓는점 오름은 수용액의 몰랄 농도에 비례하므로, 끓는점은 (나)가 (가)보다 높다.

04 ㄱ. 같은 양의 증류수에 (다)에 녹아 있는 설탕의 양이 더 많으므로 용액의 농도는 (나)<(다)이다.

ㄴ. 어는점 내림은 용액의 농도와 비례하므로 (다)의 어는점이 가장 낮다.

ㄷ. 끓는점 오름은 용액의 농도와 비례하므로 용액의 농도가 진할수록 끓는점 오름이 크다.

세미나 기출 문제 | p.063 |

01 ① 02 ④

01 ㄱ. 어는점 내림은 $\Delta T_f = K_f \times m$이고, 몰랄 농도는 용질의 질량에 비례한다. A 수용액에서 용질의 질량이 10 g일 때 어는점 내림은 a이므로 용질의 질량이 30 g일 때 어는점 내림은 $b = 3a$이다. 따라서 $a : b = 1 : 3$이다.

오답 피하기

ㄴ. 용질의 질량과 용매의 질량이 같을 때 수용액의 몰랄 농도는 용질의 분자량에 반비례한다. 용질의 질량이 30 g일 때 A 수용액의 어는점 내림은 B 수용액의 3배이므로 분자량은 B가 A의 3배이다.

ㄷ. 용액의 농도가 높을수록 끓는점 오름이 커지므로 끓는점은 A 수용액이 B 수용액보다 높다.

02 ㄴ. A의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{10\ g}{60\ g/mol}}{\frac{250}{1000}\ kg} = \frac{2}{3}\ m$이므로, 끓는점 오름은 $0.51\ ℃/m \times \frac{2}{3}\ m = 0.34\ ℃$이다. 따라서 끓는점 오름은 0.34 ℃이다.

ㄷ. 끓는점 오름은 용질의 몰랄 농도에 비례하므로, A(s) 10 g을 더 녹이면 몰랄 농도가 2배가 되고, 끓는점은 $100 + 0.34 \times 2 = 100.68\ (℃)$이다.

오답 피하기

ㄱ. A(aq)의 퍼센트 농도는 $\frac{10\ g}{(250+10)\ g} \times 100\ \% = \frac{50}{13}\ \%$이다.

문제 속 자료

퍼센트 농도를 몰랄 농도로 환산하기

- a % 용액의 화학식량을 M_w라고 할 때

① 용매의 질량(kg) $= \frac{\text{용액의 질량(g)} - \text{용질의 질량(g)}}{1000(g/kg)} = \frac{(100-a)}{1000}(kg)$

② 용질의 양(mol) $= \frac{\text{용질의 질량}}{\text{용질의 화학식량}} = \frac{a}{M_w}(mol)$

③ a % 용액의 몰랄 농도(m) $= \frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}} = \frac{1000a}{(100-a)M_w}(mol/kg)$

내신 기초 문제 | p.064 |

01 ④ 02 ⑤ 03 ① 04 ③ 05 ①

01 비전해질, 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액에서는 용액의 표면에 있는 용매 입자의 수가 순수한 용매보다 감소하여 증기 압력이 낮아진다. 용액의 증기 압력 내림은 용질 입자의 종류나 성질과는 관계없다. 용액의 증기 압력은 절대 온도와 용매의 몰분율에 비례한다.

02 용액의 농도가 진할수록 증기 압력이 낮으며, 농도가 진할수록 증기 압력이 대기압과 같아질 때까지 더 많이 가열해야 하므로 끓는점이 높아진다.

03 용질 A의 분자량을 M이라고 하면 A 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{18\ g}{M\ g/mol}}{0.2\ kg} = \frac{90}{M}\ m$이다. 1 atm에서 물의 끓는점은 100 ℃이고 물의 몰랄 오름 상수는 $0.51\ ℃/m$이므로 끓는점 오름은 $\Delta T_b = K_b \times m = 0.51\ ℃/m \times \frac{90}{M}\ m = 0.51\ ℃$이다. 따라서 M은 90이다.

04 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 끓는점 오름은 용질의 종류와 관계없이 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다. 몰랄 농도는 $\frac{0.5\ mol}{0.5\ kg} = 1\ m$이다. 용질 Y는 비휘발성, 비전해질 용질이므로 $2.53\ ℃ = K_b \times m = x\ ℃/m \times 1\ m$이다. 따라서 x는 $2.53\ ℃/m$이다.

05 어는점 내림은 몰랄 내림 상수(K_f)와 몰랄 농도(m)의 곱이다. 이때 몰랄 농도가 동일하므로 몰랄 내림 상수가 클수록 어는점 내림은 크다. 따라서 어는점 내림은 에탄올<벤젠<사이클로헥산 순이다.

내신 실전 문제

| p.065~067 |

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

01 ㄴ. 용액의 농도가 진할수록 증기 압력 내림이 크므로 수은 기둥의 높이 차도 커진다.

오답 피하기

ㄱ. 수은 기둥이 A 수용액 쪽으로 올라갔으므로 물이 A 수용액보다 증기 압력이 크다.

ㄷ. 증기 압력 내림은 용매의 증기 압력과 용질의 몰분율에 비례하므로 용질의 농도가 일정하면 증기 압력 내림도 일정하다.

02 라울 법칙에 의해 171 mmHg$=X_{물}\times 172$ mmHg이므로 $X_{물}=\frac{n_{물}}{n_{물}+n_{설탕}}=\frac{171}{172}$이다. 물과 설탕의 질량을 각각 $m_{물}$, $m_{설탕}$으로 놓고, 물과 설탕의 분자량을 각각 대입하면 $\frac{m_{설탕}}{342}=\frac{1}{171}\times\frac{m_{물}}{18}$이고, $m_{설탕}=\frac{1}{9}m_{물}$이다. 따라서 퍼센트 농도는 $\frac{1}{9+1}\times 100\,\%=10\,\%$이다.

03 증기 압력 내림은 용질의 몰분율에 비례한다. 수용액 (가)는 용질이 $\frac{18\text{ g}}{180\text{ g/mol}}=0.1$ mol, 수용액 (나)는 용질이 $\frac{12\text{ g}}{60\text{ g/mol}}=0.2$ mol, 수용액 (다)는 용질이 $\frac{9\text{ g}}{180\text{ g/mol}}+\frac{6\text{ g}}{60\text{ g/mol}}=0.15$ mol 녹아 있다. 용매인 물의 양이 모두 같으므로 용질의 몰분율은 (나)>(다)>(가)이다. 따라서 수용액의 증기 압력 내림은 (나)>(다)>(가)이고 수용액의 증기 압력은 (가)>(다)>(나)이다.

04 ㄱ. X 수용액은 물의 끓는점인 100 ℃보다 높은 온도에서 끓기 시작한다.

ㄴ. 100 ℃에서 증기 압력 내림은 0.2 atm이고, 용액의 증기 압력 내림은 용질의 몰분율에 비례하므로, $0.2=1\times X_{용질}$에서 용질의 몰분율 $X_{용질}=0.2$이다.

ㄷ. 물의 양(mol)은 $\frac{72\text{ g}}{18\text{ g/mol}}=4$ mol이다. 용질의 양(mol)을 x라고 하면 용질의 몰분율 $0.2=\frac{x}{4+x}$이고, $x=1$ mol이다. X a g이 1 mol이므로 X의 분자량은 a이다.

05 ㄱ. 용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 따라서 그래프로부터 몰랄 농도비는 (가) : (나)$=1:3$이다. 이때 녹아 있는 용질의 질량비는 (가) : (나)$=2:3$이므로, A와 B의 화학식량은 $M_A:M_B=2:1$이다.

오답 피하기

ㄴ, ㄷ. 몰랄 오름 상수는 용질의 종류와 관계없이 용매의 종류에 따라 다른 값을 가진다.

06 1 atm에서 물의 끓는점은 100 ℃이며, 물의 몰랄 오름 상수(K_b)는 0.52 ℃/m이므로 A의 몰랄 농도는 $\frac{\Delta T_b}{K_b}=\frac{0.13\text{ ℃}}{0.52\text{ ℃}/m}=0.25\,m$이고, B의 몰랄 농도는 $\frac{\Delta T_b}{K_b}=\frac{0.39\text{ ℃}}{0.52\text{ ℃}/m}=0.75\,m$이다. 따라서 $a+b=1$이다.

07 ㄱ. $\Delta T_b=K_b\times m$이므로, t_1에서 X의 몰랄 농도를 x라고 하면 0.26 ℃$=0.52$ ℃/$m\times x$이고, $x=0.5\,m$이다.

ㄷ. t_2는 끓는점 오름이 0.52 ℃/m이고, t_1은 끓는점 오름이 0.26 ℃/m이다. 따라서 끓는점 오름은 t_2가 t_1의 2배이다. 용매의 질량은 t_1이 t_2의 2배이고, t_1에서 용매의 질량이 100 g이므로 t_2에서 용매의 질량은 50 g이다. 즉, 증발한 물의 질량은 50 g이다.

오답 피하기

ㄴ. 용액의 끓는점은 t_2에서가 t_1에서보다 높다. 따라서 용질의 몰분율은 t_2에서가 t_1에서보다 크다.

08 ㄱ. 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 끓는점은 Y 수용액이 가장 높으므로 Y 수용액의 몰랄 농도가 가장 크다.

ㄴ. X와 Z의 몰랄 농도는 동일한데 용질의 질량이 다르므로 X와 Z의 분자량은 서로 다르다.

ㄷ. Y 수용액의 끓는점 오름이 Z 수용액의 끓는점 오름의 2배이므로 몰랄 농도도 Y 수용액이 Z 수용액의 2배이다. 용매의 질량은 동일하므로, 용질의 몰비는 Y : Z$=2:1$이다.

09 ㉠의 온도는 A의 어는점이고, A가 얼기 시작하면 농도가 진해지므로 어는점이 계속 낮아진다. A 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{5.7\text{ g}}{M\text{ g/mol}}}{0.1\text{ kg}}=\frac{1}{6}m$이다. 따라서 A의 분자량 M은 342이다.

10 ㄱ. (가)와 (나)의 어는점 내림이 같으므로 몰랄 농도도 같다.

ㄴ, ㄷ. (가)와 (나)의 몰랄 농도가 같고, 용매의 질량비가 2 : 3이므로 (가)와 (나)에 녹아 있는 용질의 몰비는 2 : 3이다. 용질의 질량비가 2 : 3이므로 $x=13.5$이다.

11 모범 답안 (1) $\Delta T_f=K_f\times m$이고 A에서 어는점 내림이 0.62 ℃이므로 몰랄 농도는 $\frac{0.62\text{ ℃}}{1.86\text{ ℃}/m}=\frac{1}{3}m$이다. 라울 법칙에 의해 B($aq$)에서 물의 몰분율은 $\frac{1000}{1003}$이므로 물이 1000 g

있다고 하면 물의 양은 $\frac{1000}{18}$ mol, 용질의 양을 n이라고 하면 $\frac{n}{n+\frac{1000}{18}}=\frac{3}{1003}$, $n=\frac{1}{6}$ mol이다.

이때 B(aq)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{1}{6}\text{ mol}}{1\text{ kg}}=\frac{1}{6}m$이다. 따라서 몰랄 농도는 A($aq$)이 B($aq$)보다 크다.

(2) $x=\frac{1000}{1006}P$, $y=-0.31$

해설

A에서 물이 100 g이라고 하면 물의 양은 $\frac{50}{9}$ mol이고, 몰랄 농도가 $\frac{0.62\text{ ℃}/m}{1.86\text{ ℃}/m}=\frac{1}{3}m$이므로 용질 A의 양을 n이라고 할 때 $\frac{1}{3}=\frac{n}{0.1}$, $n=\frac{1}{30}$이다.

따라서 물의 몰분율$=\frac{\frac{50}{9}\text{ mol}}{(\frac{50}{9}+\frac{1}{30})\text{ mol}}=\frac{1000}{1006}$이고, 증기 압력은 $\frac{1000}{1006}P$이다. B의 몰랄 농도는 $\frac{1}{6}m$이므로 어는점 내림은 $\frac{1}{6}m\times1.86\text{ ℃}/m=0.31\text{ ℃}$이다. 따라서 B 수용액의 어는점은 −0.31 ℃이다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	어는점 내림과 증기 압력 자료를 통해 A와 B의 몰랄 농도를 정확히 계산하고 비교한 경우	60
	A와 B 중 한 용액의 몰랄 농도만 구하거나, 계산 과정 없이 농도를 비교한 경우	20
(2)	x, y 값을 정확히 계산한 경우	40
	x, y 값 중 한 가지만 정확히 계산한 경우	20

12 모범 답안 (1) (가): 10 % A(aq), (나): 5 % A(aq)

(2) 물의 증기 압력이 180 mmHg일 때 (가) 용액의 증기 압력 내림은 6 mmHg이다. 이때 (가) 용액에서 용질의 몰분율은 $\frac{6\text{ mmHg}}{180\text{ mmHg}}=\frac{1}{30}$이다. (가)를 물 29 g에 용질 1 g을 녹인 용액이라고 가정하면,

$10\,\%=\frac{1\text{ mol}\times a\text{ g/mol}}{29\text{ mol}\times18\text{ g/mol}+1\text{ mol}\times a\text{ g/mol}}\times100\,\%$, $a=58$이다.

해설

물의 증기 압력이 같을 때 증기 압력 내림이 클수록 용액의 농도가 진하므로 (가)가 (나)보다 농도가 진하다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가), (나)에 해당하는 용액을 모두 올바르게 쓴 경우	40
(2)	A의 분자량을 구하고, 풀이 과정을 서술한 경우	60
	풀이 과정 없이 A의 분자량만 올바르게 구한 경우	20

03 삼투 현상

세미나 기출 문제 | p.071 |

Q1 1,192R atm **Q2** 해수 → 담수

Q1 $\pi=CRT$이므로 $\frac{2\text{ mol}}{0.5\text{ L}}\times R\times(25+273)\text{ K}=1{,}192R\text{ atm}$이다.

Q2 역삼투는 농도가 진한 쪽에서 농도가 묽은 쪽으로 용매가 이동하는 현상이다.

내신 기초 문제 | p.072 |

01 ④ **02** ⑤ **03** ① **04** ⑤ **05** ①

01 판트호프 법칙에 의하면 $\pi=CRT=\frac{w}{MV}RT$이므로 용액의 몰농도와 절대 온도에 비례한다.

02 오답 피하기

ㄱ. 바닷물에 설탕을 녹이면 용액의 증기 압력이 낮아지는데, 이는 삼투압과는 관련이 없다.

03 판트호프 법칙에 의하면 $\pi=CRT$이다. 따라서 삼투압은 $0.1\text{ M}\times0.08\text{ L}\cdot\text{atm}/(\text{mol}\cdot\text{K})\times(273+27)\text{ K}=2.4\text{ atm}$이다.

04 ㄱ. 바닷물을 마시면 세포 안의 물이 세포 밖으로 이동하므로 탈수가 일어난다.

ㄷ. 용질의 종류와 관계없이 삼투 현상이 일어난다.

오답 피하기

ㄴ. 물은 농도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동한다. (나)에서 물은 배추의 밖으로 빠져나온다.

05 ㄱ. 삼투압은 $\pi=CRT$로 절대 온도에 비례한다. 따라서 온도가 높아지면 h는 커진다.

오답 피하기

ㄴ. h가 커졌으므로 물은 A에서 B로 이동했다. 즉, B의 농도는 A보다 높다.

ㄷ. 충분한 시간이 지난 후 평형 상태가 되면 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 용매 분자와 농도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동하는 용매 분자의 양이 같아진다.

내신 실전 문제

| p.073~075 |

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

01 ㄱ, ㄴ. 반투막을 통과하여 설탕물 쪽으로 이동하는 물 분자 수가 반투막을 통과하여 물 쪽으로 이동하는 물 분자 수보다 커서 물의 수면은 낮아지고 설탕물의 수면은 높아진다.

ㄷ. 삼투압은 양쪽의 수면을 같게 하기 위해 수면이 높아진 설탕물 쪽에 가하는 압력이다.

02 학생 C: 해수와 담수 사이에 반투막을 두면 담수에서 해수로 물이 이동한다. 해수에 삼투압보다 더 큰 압력을 가하면 물 분자가 담수 쪽으로 이동하는 해수 담수화가 일어난다.

03 오답 피하기

ㄱ. 삼투압은 용질의 종류와는 관계없이 용질의 농도에만 비례한다.

ㄷ. 바닷물이 강물보다 잘 얼지 않는 현상은 어는점 내림으로 설명할 수 있다.

04 ㄱ. 용액에서 용매 분자가 A 수용액에서 B 수용액으로 이동하는 것으로 보아 용액의 농도는 A 수용액 < B 수용액이다. 따라서 용액 속 용질 입자 수는 A 수용액 < B 수용액이다.

오답 피하기

ㄴ. (다)에서 용액에 압력을 가했을 때 용액의 높이가 왼쪽으로 더 높아진 것으로 보아 두 용액의 삼투압 차이는 P atm보다 작다.

ㄷ. 반투막을 경계로 이동하는 것은 용질 입자가 아니라 용매 분자이다.

05 ㄴ. 용액 속의 용매 분자는 반투막인 셀로판 종이를 통과하여 용매 쪽으로 이동할 수 있다. 그러나 단위 시간 동안 용매에서 용액 쪽으로 이동하는 용매 분자 수가 용액에서 용매 쪽으로 이동하는 용매 분자 수보다 많다.

ㄷ. 용액의 삼투압은 일정 온도에서 용액의 몰농도에 비례한다.

오답 피하기

ㄱ. 설탕 분자는 셀로판 종이와 같은 반투막을 통과하지 못한다.

06 ㄱ. 액면의 높이가 같으므로 외부 압력이 삼투압의 크기와 같다.

ㄴ, ㄷ. 삼투압은 몰농도에 비례하므로 몰농도는 B(aq)이 A(aq)의 2배이다.

07 ㄱ. $\pi = CRT$이고, X의 분자량을 M이라고 하면,

$0.32\ \text{atm} = \dfrac{0.24\ \text{g}}{M\ \text{g/mol} \times 0.1\ \text{L}} \times 0.08\ \text{L·atm/(mol·K)} \times 300\ \text{K}$이고, $M = 180$이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 수용액의 부피와 온도는 동일하고 삼투압비가 1 : 2이므로 X의 질량비는 1 : 2이다. 따라서 ㉠은 0.48이다.

오답 피하기

ㄷ. (나)와 (다)에서 X의 질량은 동일하고 수용액의 부피비가 1 : 2, 온도비가 2 : 1이므로 삼투압비는 4 : 1이다. 따라서 ㉡은 0.16이다.

08 ㄴ. 수용액 속에 녹아 있는 용질 입자가 많을수록 수용액의 삼투압이 커지므로 용질의 몰분율이 클수록 용액의 액면의 높이 차가 커진다.

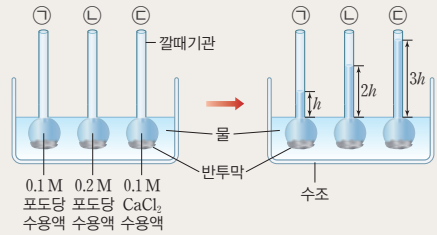
오답 피하기

ㄱ. 반투막을 경계로 용매 분자만 통과하고 수화된 용질 분자는 통과하지 않는다.

ㄷ. 반투막을 통과한 물 분자가 많아 바깥쪽 수면보다 수용액의 액면이 높을수록 반투막에 가해지는 수용액의 압력이 크다.

문제 속 자료

비전해질과 전해질 수용액의 농도와 삼투압의 크기



- ㉠과 ㉡의 비교: 농도가 진할수록 삼투압이 크다.
- ㉠과 ㉢의 비교: 농도가 같더라도 ㉢의 전해질은 이온화되어 입자 수가 3배가 된다. 즉 전해질 수용액은 비전해질 수용액보다 삼투압이 크다.
- 삼투압의 크기: 0.1 M 포도당 수용액 < 0.2 M 포도당 수용액 < 0.1 M $CaCl_2$ 수용액

09 용액의 증기 압력은 용질의 종류와 관계없이 용질의 입자 수에만 영향을 받고, 용액의 삼투압은 몰농도와 절대 온도에 비례한다.

10 용액의 어는점은 순수한 용매보다 낮다. 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압은 용질의 종류에 관계없이 용질의 입자 수에만 비례한다.

11 어는점 내림과 끓는점 오름, 삼투압은 용질의 입자 수에 비례한다.

12 모범 답안 (1) X의 분자량을 M이라고 할 때, $\pi = CRT$이므로 $\frac{3.8}{760}\,\text{atm} = \frac{\frac{2\,g}{M}}{0.1\,L} \times R \times (27+273)\,K$이다. 따라서 $M = 12{,}000R$이다.

(2) 0.01 atm, 삼투압은 몰농도에 비례하므로 용질의 양(mol)에도 비례한다. X의 질량이 2배가 되었으므로 X의 양(mol)도 2배가 되고, 삼투압도 2배가 된다.

채점 기준		배점(%)
(1)	판트호프 법칙을 제시하고, 분자량을 R에 관한 식으로 정확히 계산한 경우	40
	판트호프 법칙을 제시하고, 분자량 계산은 틀린 경우	20
(2)	삼투압을 구하고, 용질의 질량이 2배가 되었으므로 삼투압이 2배가 됨을 서술한 경우	60
	삼투압을 구하고, 그 까닭은 서술하지 못한 경우	30

13 모범 답안 (1) 4.0 mmHg

(2) $a < b$, 몰분율이 a일 때 삼투압은 4.0 mmHg이고 몰분율이 b일 때 삼투압은 792.0 mmHg − 760.0 mmHg = 32.0 mmHg이다. 온도가 일정하고 용매가 같을 때 몰분율과 삼투압은 비례하므로 몰분율은 b가 a보다 크다.

해설

대기압이 760.0 mmHg이므로 h가 0이 되도록 가해 준 압력은 764.0 mmHg − 760.0 mmHg = 4.0 mmHg이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	A 수용액의 삼투압을 올바르게 구한 경우	40
(2)	몰분율의 크기를 올바르게 비교하고, 몰분율과 삼투압이 비례함을 서술한 경우	60
	몰분율의 크기만을 올바르게 비교한 경우	20

단원 마무리 문제

| p.078~081 |

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

01 오답 피하기

ㄴ. 수소 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를, 산소 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띤다.

ㄷ. 물은 극성 분자이므로 이온 결합 물질을 잘 녹인다.

02 ㄴ. 수소 원자와 산소 원자 사이의 공유 결합(결합 A)이 물 분자 사이의 수소 결합(결합 B)보다 결합의 세기가 세다.

ㄷ. 물이 분자량이 비슷한 다른 물질보다 끓는점이 높은 것은 결합 B에 의해 분자 간 인력이 크기 때문이다.

오답 피하기

ㄱ. 물이 기화되어 수증기로 될 때 물 분자 사이의 수소 결합인 결합 B가 끊어진다.

03 ㄱ. 물 1 g의 부피는 4 ℃에서 가장 작으므로 물 분자 간 평균 거리는 4 ℃에서 가장 짧다.

ㄴ. 얼음의 온도가 높아질수록 부피가 증가하므로 분자 간 평균 거리는 멀어진다.

ㄷ. 물이 얼음이 될 때 수소 결합의 수가 증가하며 육각형 구조를 이루기 때문에 부피가 증가한다.

04 ㄷ. 응집력은 수은이 물보다 크므로 유리관에 물방울과 수은 방울을 각각 떨어뜨리면 수은이 더 둥글다.

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 유리관 내부의 액면이 수조의 액면보다 높은 것으로 보아 부착력이 응집력보다 크다.

ㄴ. 수은은 수소 결합을 하지 않는다.

05 ㄴ. 분자 사이에 작용하는 인력이 클수록 표면 장력과 응집력이 크므로 액체 B가 액체 A보다 입자 간의 인력이 크다.

ㄷ. 수건에 물이 잘 흡수되는 현상은 물의 모세관 현상이므로 액체 A에서 나타난 현상으로 설명할 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 온도가 높을수록 액체 분자 간 인력이 작아지므로 표면 장력이 감소한다.

06 ① 소금쟁이가 물 위에 떠 있는 것은 물의 표면 장력 때문이다.

오답 피하기

② 소금이 기름보다 물에 잘 녹는 것은 물이 극성 물질이기 때문에 이온 결합 물질인 소금을 잘 녹이기 때문이다.

③ 비열은 물이 모래보다 크므로 해안 지역에서 낮에는 모래가 물보다 온도가 더 올라가서 해풍이 분다.

④ 물이 기화할 때 주위로부터 열을 빼앗아가므로 분수 옆에 있으면 시원하게 느껴진다.

⑤ 식물에 비료를 너무 많이 주면 삼투 현상으로 인해 수분이 빠져나와 식물이 말라 죽는다.

07 모범 답안 (1) A

(2) 액체 방울의 모양은 더 넓적해진다. 온도가 높을수록 분자 간 인력이 작아지므로 표면 장력이 작아지기 때문이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	표면 장력이 가장 큰 물질로 A를 쓴 경우	40
(2)	액체 방울 A~C의 모양을 올바르게 예측하고, 그 까닭을 분자 간 인력 및 표면 장력과 연관지어 서술한 경우	60
	액체 방울 A~C의 모양만을 올바르게 예측한 경우	20

08 ㄴ. 물의 양(mol)은 $\frac{18\text{ g}}{18\text{ g/mol}}=1\text{ mol}$이다. 물의 몰분율이 0.8이므로 $0.8=\frac{1\text{ mol}}{(1+\frac{x}{180})\text{ mol}}$, $x=45$이다.

ㄷ. 포도당 수용액은 순수한 용매인 물의 끓는점인 100 ℃보다 높은 온도에서 끓기 시작한다.

오답 피하기

ㄱ. 증기 압력 내림은 용질의 몰분율에 비례하므로 $0.2\text{ atm}=1\text{ atm}\times X_{\text{용질}}$, $X_{\text{용질}}=0.2$이다. 물의 몰분율은 $(1-X_{\text{용질}})$이므로 0.8이다.

09 끓는점 오름은 $\Delta T_b=K_b\times m$이므로 $\Delta T_b=a\text{ ℃}/m\times\frac{12\text{ g}}{60\text{ g/mol}}{0.4\text{ kg}}=0.5a\text{ ℃}$이다. 따라서 요소 수용액의 끓는점은 $(100+0.5a)$ ℃이다.

10 A 수용액의 끓는점 오름이 0.255 ℃이므로 A 수용액의 몰랄 농도는 0.255 ℃ ÷ 0.51 ℃/m = 0.5 m이다. B 수용액의 어는점 내림은 0.93 ℃이므로 B 수용액의 몰랄 농도는 0.93 ℃ ÷ 1.86 ℃/m = 0.5 m이다. 용매의 질량이 100 g으로 동일하므로 A와 B의 양(mol)은 동일한데, A와 B의 질량비가 1 : 3이므로 분자량비는 1 : 3이다. 이때 A 수용액과 B 수용액의 몰랄 농도가 같으므로 두 수용액을 혼합하여도 몰랄 농도는 0.5 m이다.

11 ㄴ. (가)와 (나)에서 B 6 g의 ΔT_f는 a, A 2 g의 ΔT_f는 a이다. 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례하므로 물 100 g에 A 2 g이 녹은 수용액과 물 100 g에 B 6 g이 녹은 수용액의 몰랄 농도는 같다. 따라서 분자량은 B가 A의 3배이다.

오답 피하기

ㄱ. 어는점 내림은 용질의 양(mol)에 비례하므로 여러 가지 용질이 혼합된 경우 용질 질량의 합이 크다고 어는점 내림이 항상 크지는 않다.

ㄷ. B 12 g의 ΔT_f는 $2a$이므로 (다)에서 C 6 g의 ΔT_f는 $3a$이다. 따라서 x는 $a+3a=4a$이다.

12 ㄱ. 순수한 용매의 증기 압력이 가장 크다.

ㄷ. (나)의 어는점 내림은 5.50 ℃ − 2.94 ℃ = 2.56 ℃이다. K_f가 5.12 ℃/m이므로 몰랄 농도는 0.5 m이다. 따라서 X의 분자량은 128이다.

오답 피하기

ㄴ. (다) 용액의 어는점 내림은 7.68 ℃이므로 (나) 용액의 어는점 내림의 3배이다. 즉, (다) 용액의 몰랄 농도가 (나) 용액의 3배이고, 용질의 질량도 3배가 되어야 한다. 따라서 용질의 질량 a는 6.4 g × 3 = 19.2 g이다.

13 ㄷ. 삼투압은 절대 온도에 비례하므로 온도가 높아지면 h는 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. 설탕 입자는 반투막을 통과하지 못하므로 물에 설탕이 녹아 있지 않다.

ㄴ. 반투막은 용질 입자는 통과시키지 않고, 용매 입자는 통과시킨다.

14 ㄱ. 삼투압은 용액의 몰농도에 비례하므로 A와 B의 분자량을 각각 M_A, M_B라고 하면 $1:2=\frac{0.01}{M_A}:\frac{0.04}{M_B}$, $M_B=2M_A$이므로 분자량은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 삼투압은 용질의 양(mol)에 비례하므로 용질의 질량에도 비례한다. 따라서 A의 질량이 2배가 되었으므로 삼투압도 2배인 0.08 atm이 된다.

ㄷ. 물이 반투막을 통하여 깔때기관 안으로 들어가므로 A 수용액과 B 수용액의 몰농도는 감소한다.

15 ㄱ. 물은 양쪽 방향으로 모두 이동하지만, A 수용액에서 B 수용액 쪽으로 이동하는 물의 입자 수가 더 많아 삼투 현상이 일어난다.

ㄴ. 양쪽의 액면을 같게 하기 위해 농도가 높은 쪽에 가해 준 압력이 삼투압이므로 두 수용액의 삼투압 차는 P atm이다.

오답 피하기

ㄷ. (나)에서 B 수용액 쪽의 액면이 더 높으므로 B 수용액이 A 수용액보다 농도가 높다.

16 모범 답안 (1) (가)와 (나)의 삼투압은 $8P$로 동일하다. A와 B의 분자량을 각각 M_A, M_B라고 할 때 $\frac{\frac{w}{M_A}+\frac{w}{M_B}}{V}RT_1=\frac{\frac{2w}{M_A}+\frac{w}{M_B}}{V}RT_1$이므로 $M_A=2\times M_B$이다. 따라서 A와 B의 분자량비는 2 : 1이다.

(2) (나)와 (다)를 이용하면,

$5\times\frac{\frac{2w}{M_A}+\frac{w}{M_B}}{V}RT_1=4\times\frac{\frac{2w}{M_A}+\frac{3w}{M_B}}{2V}RT_2$이고,

$M_A=2\times M_B$를 대입해 주면 $\frac{T_2}{T_1}=\frac{5}{4}$이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	A와 B의 분자량비를 구하고, 풀이 과정을 올바르게 서술한 경우	40
	A와 B의 분자량비만 제시한 경우	20
(2)	$\frac{T_2}{T_1}$를 구하고, 풀이 과정을 올바르게 서술한 경우	60
	$\frac{T_2}{T_1}$만 제시한 경우	30

III 화학 변화의 자발성

01 화학 반응과 엔탈피

세미나 기출 문제 | p.089 |

01 ② 02 (1) 463.5 (2) 약하다

01 ㄷ. 결합 에너지는 기체 상태의 물질에서 결합을 끊는 데 필요한 에너지이므로 결합 에너지를 이용하여 반응 엔탈피를 구하려면 반응물과 생성물이 모두 기체 상태이어야 하고, 모든 결합의 결합 에너지를 알아야 한다.

오답 피하기

ㄱ. 반응물과 생성물의 분자량과 질량을 알고 있다면 반응물과 생성물의 양(mol)을 알 수 있지만 반응 엔탈피를 알 수는 없다.

ㄴ. 결합 에너지는 기체 상태의 물질에서 결합을 끊는 데 필요한 에너지로 정의하고 있다.

02 (1) 반응 엔탈피(ΔH)

$=\{2\times(\mathrm{H-H}$의 결합 에너지$)+(\mathrm{O=O}$의 결합 에너지$)\}$

$-4\times(\mathrm{H-O}$의 결합 에너지$)$

$=(2\times436+498)-4x=-484\ (\mathrm{kJ})$,

$x=463.5\ (\mathrm{kJ})$

(2) 결합의 세기가 강할수록 결합 에너지가 크다. 따라서 결합의 세기는 O=O가 H−H보다 강하다.

내신 기초 문제 | p.090 |

01 ③ 02 ② 03 ④ 04 ③ 05 ④

01 ㄱ. 물질의 상태가 달라지면 반응 엔탈피도 달라지므로 열화학 반응식에는 물질의 상태를 함께 표시해야 한다.

ㄷ. 열화학 반응식에 온도와 압력이 표시되어 있지 않을 때에는 25 ℃, 1 atm이다.

오답 피하기

ㄴ. 반응 엔탈피는 물질의 양에 비례하므로 계수가 달라지면 반응 엔탈피의 크기도 달라진다.

02 ㄴ. 엔탈피가 증가하는 흡열 반응이므로 $\Delta H>0$이다.

오답 피하기

ㄱ. 엔탈피가 증가하는 반응은 흡열 반응이다.

ㄷ. 흡열 반응으로 반응이 일어나는 동안 주위의 온도가 내려간다.

03 열화학 반응식을 통해 반응물의 엔탈피 합과 생성물의 엔탈피 합의 차이는 알 수 있지만, 반응물과 생성물 각각의 엔탈피는 알 수 없다. 또, 열화학 반응식을 통해 반응물과 생성물의 종류와 상태를 알 수 있다.

04 ㄷ. NO 60 g은 2 mol이므로 NO(g) 60 g이 완전 연소하면 114.2 kJ의 열을 방출한다.

오답 피하기

ㄱ. $\Delta H<0$이므로 발열 반응이고, 엔탈피 합은 반응물이 생성물보다 크다.

ㄴ. NO(g) 2 mol이 완전 연소할 때 반응 엔탈피가 −114.2 kJ/mol이므로 NO(g)의 연소 엔탈피는 −57.1 kJ/mol(=−114.2 kJ/mol÷2)이다.

05 ㄱ. 결합 에너지가 클수록 결합의 세기가 세다.

ㄷ. 같은 원자 사이의 결합에서 두 원자 사이의 결합 수가 늘어날수록 결합 에너지가 커진다. C=C의 결합 에너지는 C−C의 결합 에너지보다 크므로 $x>350$이다.

오답 피하기

ㄴ. 결합 에너지가 클수록 결합의 세기가 세므로 결합의 세기는 C−C<H−Cl이다.

내신 실전 문제 | p.091~093 |

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

01 ㄴ. 반응 엔탈피는 Y(g)와 Z(g)의 엔탈피 합에서 X(g)의 엔탈피를 뺀 값이다.

ㄷ. 역반응의 반응 엔탈피는 정반응의 반응 엔탈피와 절댓값은 같고 부호만 반대가 되므로 역반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H=-a$이다.

오답 피하기

ㄱ. 흡열 반응이므로 $\Delta H>0$이다. 따라서 a는 0보다 크다.

02 ㄱ. 용액의 온도가 높아졌으므로 NaOH(s)의 용해 과정에서 열을 방출한 것이다.

ㄴ. 용액의 비열이 4.2 J/(g·℃)이므로 용액이 얻은 열량은

$Q=cm\Delta t=4.2\ \mathrm{J/(g\cdot ℃)}\times 100\ \mathrm{g}\times 9\ ℃=3780\ \mathrm{J}$
$=3.78\ \mathrm{kJ}$이다.
ㄷ. 열량계와 외부 사이에 열 출입이 없으므로 NaOH(s)이 용해될 때 방출한 열량은 열량계 속 용액이 얻은 열량과 같다.

03 ㄱ. 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피보다 작으므로 흡열 반응이다.
ㄷ. 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아진다.

오답 피하기
ㄴ. 반응 엔탈피 자료를 통해 각 물질의 정확한 엔탈피 값을 알 수는 없다.

04 반응 엔탈피(ΔH)는 물질의 양(mol)에 비례한다. 문제의 화학 반응식의 계수는 주어진 열화학 반응식의 계수의 2배이므로 반응 엔탈피(ΔH)도 2배가 된다. 따라서 반응 엔탈피(ΔH)는 -571.6 kJ이다.

05 주어진 열화학 반응식에 따르면 질소(N_2) 기체 1 mol이 산소(O_2) 기체 1 mol과 반응하여 2 mol의 일산화 질소(NO)를 생성할 때 180.6 kJ의 열을 흡수한다.

06 ㄱ. (가)와 (나)는 둘 다 탄소(C) 원자가 공유 결합하여 결정을 이룬 것으로 공유 결정이다. (가)는 흑연, (나)는 다이아몬드의 결정 구조 모형이다.
ㄷ. 고체 상태의 물질이 기체 상태로 되려면 열을 흡수한다. 즉 C(s, 다이아몬드)의 엔탈피가 C(s, 흑연)보다 크므로 고체 상태의 두 물질이 각각 승화하여 기체 상태로 될 때 반응 엔탈피(ΔH)는 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 크다.

오답 피하기
ㄴ. 엔탈피(H)는 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 작으므로 표준 생성 엔탈피는 C(s, 다이아몬드)가 C(s, 흑연)보다 크다.

07 이 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H=2\times$(H−H의 결합 에너지)+(O=O의 결합 에너지)$-4\times$(O−H의 결합 에너지)
$=2\times 436+498-4\times 463=-482$ (kJ)이다. 발열 반응이므로 '반응물의 엔탈피 합>생성물의 엔탈피 합'이고, 주위의 온도가 높아진다.

08 ㄱ, ㄴ. 안정한 화학 결합을 끊어 원소가 되므로 에너지를 흡수해야 한다. 따라서 반응 엔탈피는 0보다 크다.

오답 피하기
ㄷ. 반응 엔탈피는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값이다.

09 반응 엔탈피(ΔH)는 반응물의 결합 에너지의 합에서 생성물의 결합 에너지의 합을 뺀 값과 같으므로,
$\Delta H=\{$(H−H 결합 에너지)+(F−F 결합 에너지)$\}$
$-2\times$(H−F 결합 에너지)$=(436+x)-2\times 566$
$=-537$ (kJ)이다. 따라서 $x=159$이다.

10 ㄷ. $2H_2(g)+O_2(g)\longrightarrow 2H_2O(g)\quad \Delta H=-484\ \mathrm{kJ}$
$\Delta H=$(반응물의 결합 에너지 합)−(생성물의 결합 에너지 합)
$=\{2\times$(H−H 결합 에너지)+(O=O 결합 에너지)$\}$
$-\{4\times$(O−H 결합 에너지)$\}$
$=(872\ \mathrm{kJ}+498\ \mathrm{kJ})-\{4\times$(O−H 결합 에너지)$\}$
$=-484$ kJ
주어진 자료에서 H−H 결합 에너지와 O=O 결합 에너지 값을 찾아 계산하여 O−H 결합 에너지를 구하면 463.5 kJ/mol이다.

오답 피하기
ㄱ. $2H_2(g)\longrightarrow 4H(g)\quad \Delta H=872$ kJ
이 반응의 ΔH는 H−H 결합 2 mol이 끊어질 때의 반응 엔탈피이므로 H−H 결합 에너지는 436(=872÷2) kJ/mol이다.
ㄴ. $O_2(g)\longrightarrow 2O(g)\quad \Delta H=498$ kJ
이 반응의 ΔH는 O=O 결합 1 mol이 끊어질 때의 반응 엔탈피이므로 O=O 결합 에너지는 498 kJ/mol이다.

11 **모범 답안** (1) H−Cl 결합
(2) 반응 엔탈피는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 빼면 된다.
$\Delta H=6$(C−H)+(C−C)+(Cl−Cl)
$-\{5$(C−H)+(C−C)+(C−Cl)+(H−Cl)$\}$
=(C−H)+(Cl−Cl)−(C−Cl)−(H−Cl)
따라서 $\Delta H=410+242-330-431=-109$ (kJ)이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	H−Cl 결합을 옳게 쓴 경우	20
(2)	과정과 답을 모두 옳게 서술한 경우	80
	과정은 옳지만, 계산 중 일부가 틀린 경우	50

12 **모범 답안** 반응 엔탈피=(반응물의 결합 에너지 합)−(생성물의 결합 에너지 합)이다. 따라서
$\Delta H=\{2\times$(H−H)+(O=O)$\}-\{2\times 2\times$(H−O)$\}$
$=(2\times 436+498)-(2\times 2\times 460)=-470$ (kJ)

채점 기준	배점(%)
과정과 답을 모두 옳게 서술한 경우	100
과정은 옳지만, 계산 중 일부가 틀린 경우	70

02 헤스 법칙

탐구 리포트 | p.096 |

01 ⑤ 02 −197 kJ

01 헤스 법칙은 반응 경로에 관계없이 반응물과 생성물의 종류와 상태가 동일하다면 엔탈피 변화가 일정하다는 법칙이다.

02 반응 엔탈피(ΔH)
$=\Delta H_2-2\Delta H_1=(-791\text{ kJ})-2\times(-297\text{ kJ})=-197\text{ kJ}$

내신 기초 문제 | p.098 |

01 ④ 02 ② 03 ③ 04 ⑤ 05 ③

01 헤스 법칙에 따라, 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로와 관계없이 총 엔탈피 변화는 같다.
왼쪽 경로: $\Delta H_1+\Delta H_2$, 오른쪽 전체: $\Delta H_4+\Delta H_3$
따라서 위쪽 반응 ΔH_3는 $\Delta H_3=(\Delta H_1+\Delta H_2)-\Delta H_4$이다.

02 생성 엔탈피는 가장 안정한 원소로부터 화합물이 생성되는 반응의 반응 엔탈피이다. 따라서
H_2O가 생성되는 단계인 $H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow H_2O(l)$
반응의 엔탈피 변화($\frac{1}{2}\Delta H_2$)가 해당한다.

03 ③ ΔH_4는 2 mol의 C_2H_2 연소에 해당한다.
따라서 1 mol 기준 연소 엔탈피는 $\frac{\Delta H_4}{2}$이다.
13 g은 0.5 mol이므로 13 g의 C_2H_2가 연소할 때 방출하는 열은 $(\frac{\Delta H_4}{2})\times0.5=\frac{1}{4}\Delta H_4$이다.

오답 피하기
① ΔH_3는 흑연과 수소로부터 $C_2H_2(g)$ 2 mol이 생성되는 반응의 반응 엔탈피이다.
② ΔH_4는 $C_2H_2(g)$ 2 mol의 연소 반응의 엔탈피이다.
④ 반응 (가)에서 $\Delta H<0$이므로 발열 반응이다.
⑤ 헤스 법칙을 이용하면 직접 측정하지 않고도 다른 경로의 엔탈피 자료를 이용해 반응 엔탈피를 구할 수 있다.

04 $\Delta H=\Delta H_f^\circ$(생성물)$-\Delta H_f^\circ$(반응물)
$=\{10\times\Delta H_f^\circ(CO_2(g))+4\times\Delta H_f^\circ(H_2O(l))\}$
$-\{\Delta H_f^\circ(C_{10}H_8(s))+12\times\Delta H_f^\circ(O_2(g))\}$
이때 $O_2(g)$는 가장 안정한 원소로 표준 생성 엔탈피가 0이다. 따라서
$-5157=\{10\times(-394)+4\times(-286)\}$
$-\{\Delta H_f^\circ(C_{10}H_8(s))+12\times0\}$
$\therefore\ \Delta H_f^\circ(C_{10}H_8(s))=73\text{ (kJ/mol)}$

05 ㄱ. $CO(g)$의 연소 반응은
$CO(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)$
이고, 이 반응의 엔탈피 변화가 ΔH_3이므로 $CO(g)$의 연소 엔탈피는 ΔH_3이다.
ㄷ. $CO(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)\quad\Delta H_3$
$\Delta H_3=\{$(C≡O 결합 에너지)$+\frac{1}{2}\times$(O=O 결합 에너지)$\}$
$-\{2\times$(C=O 결합 에너지)$\}=$(C≡O 결합 에너지)$+\frac{b}{2}-2a$
따라서 $CO(g)$의 결합 에너지$=(\Delta H_3+2a-\frac{b}{2})$ kJ/mol
이다.

오답 피하기
ㄴ. ΔH_1: C $\longrightarrow$ CO (불완전 연소)
ΔH_2: C $\longrightarrow$ CO_2 (완전 연소)
완전 연소가 더 많은 에너지를 방출하므로 $|\Delta H_1|<|\Delta H_2|$이다.

내신 실전 문제 | p.099~101 |

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

01 $CO(g)$의 결합 에너지는
$CO(g)\longrightarrow C(g)+O(g)$
반응에서 반응 엔탈피인
$\Delta H=715+247+110=1072\text{ (kJ/mol)}$이다.

02 ㄴ. 반응 엔탈피는 반응물의 양(mol)에 비례한다. 따라서 2 mol의 CaO가 모두 반응할 때의 반응 엔탈피는 제시된 자료의 2배와 같다.

오답 피하기
ㄷ. 최초 반응물과 최종 생성물의 종류와 상태, 양(mol)이 동일하면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피 총량은 같다.
따라서
$x=-189.3-(-76.9)=-112.4$이다.

03 ㄴ. $H_2(g)$의 연소 엔탈피는 다음 반응의 반응 엔탈피이다.
$H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow H_2O(l)\quad-\Delta H_1$

헤스 법칙에 의해 $-\Delta H_1=\Delta H_4-\Delta H_2-\Delta H_3$이다.

ㄷ. $H_2O(g) \longrightarrow 2H(g) + O(g) \quad \Delta H_3$

ΔH_3은 O−H 결합 2 mol이 끊어질 때 흡수하는 에너지이므로 O−H 결합 에너지는 $\frac{1}{2}\Delta H_3$이다.

오답 피하기

ㄱ. 반응물 $H_2O(l)$이 생성물 $2H(g) + O(g)$로 되는 반응에서 반응 경로가 다르더라도 반응 엔탈피는 같다.

따라서 $\Delta H_1+\Delta H_4=\Delta H_2+\Delta H_3$이다.

04 ㄱ. $C(g) + 2H(g) + O(g) \longrightarrow C(g) + H_2O(g)$에서 H_2O이 형성될 때 O−H 결합이 2개 생성된다.

$a=2\times$(O−H 결합 에너지)$=2\times463=926$ (kJ)이다.

ㄷ. $c=2\times$(O−H 결합 에너지)$-${(H−H 결합 에너지)$+$(C=O 결합 에너지)$\}=(2\times463)-(1072+436)$

$=926-1508=-582$ (kJ)이다.

오답 피하기

ㄴ. $C(g) + 2H(g) + O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2(g)$

생성되는 결합은 C=O 1개, H−H 1개이다. 따라서

b=(H−H 결합 에너지+C=O 결합 에너지)

$=1072+436=1508$ (kJ)이다.

05 ㄴ. $H_2(g)$와 $O_2(g)$로부터 $H_2O(g)$가 생성되는 반응은 발열 반응이므로 생성물의 결합 에너지 합이 반응물의 결합 에너지 합보다 크다.

오답 피하기

ㄱ. 결합 에너지는 공유 결합 1 mol을 끊는 데 필요한 에너지이다. 따라서 H−H 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.

ㄷ. $H_2O(g)$ 1 mol이 응축될 때 방출되는 열에너지는 44 kJ이다.

06 ㄱ. 물질이 안정할수록 엔탈피(H)는 작다.

ㄴ. 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로가 달라도 총 엔탈피는 같다.

ㄷ. $H_2O(l)$이 $H_2O(g)$보다 안정하므로 $H_2O(g)$의 엔탈피가 $H_2O(l)$의 엔탈피보다 크다.

07 ㄱ. 다음 반응은 $CH_4(g)$의 생성 반응이다.

$C(s, 흑연) + 2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g) \quad \Delta H=-75$ kJ

이 반응의 역반응을 쓰면 다음과 같다.

$CH_4(g) \longrightarrow C(s, 흑연) + 2H_2(g) \quad \Delta H=+75$ kJ

따라서 CH_4의 분해 엔탈피는 75 kJ/mol이다.

ㄴ, ㄷ. 수소와 산소로부터 물이 생성되는 주어진 반응은

$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l) \quad \Delta H=-572$ kJ

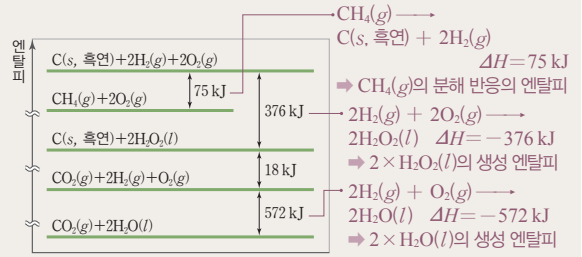
이고, 이를 1 mol 기준으로 다시 쓰면

$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l) \quad \Delta H=-286$ kJ

이다. 따라서 물의 생성 엔탈피는 음수이다. 생성 엔탈피가 음수이므로 생성물이 반응물보다 안정하다.

문제 속 자료

반응 엔탈피



08 제시된 2개의 열화학 반응식을 더하면

$2NO(g) + 2O_3(g) \longrightarrow 2NO_2(g) + 2O_2(g)$

이다. 구하고자 하는 열화학 반응식에서보다 계수가 모두 2배이므로 $\frac{\Delta H_1+\Delta H_2}{2}$이다.

09 ㄷ. $2S(s, 사방황) + 2O_2(g) \longrightarrow 2SO_2(g) \quad \Delta H=(b-a)$ kJ

따라서 $SO_2(g)$ 1 mol의 생성 엔탈피는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$S(s, 사방황) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g) \quad \Delta H=\frac{1}{2}(b-a)$ kJ

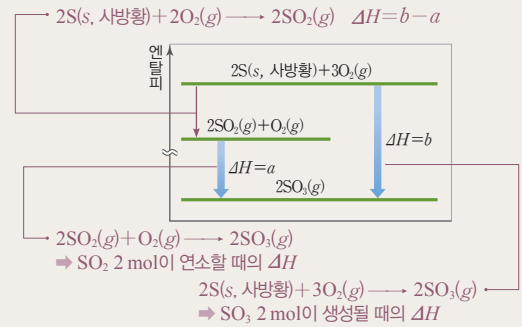
오답 피하기

ㄱ. $SO_2(g)$ 2 mol이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피가 a kJ이므로 $SO_2(g)$의 연소 엔탈피는 $\frac{1}{2}a$ kJ/mol이다.

ㄴ. $SO_3(g)$ 2 mol이 가장 안정한 성분 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피가 b kJ이므로 $SO_3(g)$의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}b$ kJ/mol이다.

문제 속 자료

$SO_2(g)$, $SO_3(g)$의 생성 엔탈피 구하기



10 표준 생성 엔탈피는 가장 안정한 원소로부터 화합물 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피이다.

ㄱ. 제시된 자료에서

$N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO(g)$ ΔH_1 …… ①

이므로 NO 2 mol이 생성될 때의 엔탈피 변화가 ΔH_1이다.

따라서 $\Delta H_1 = 2\Delta H_f^\circ(NO)$이다.

ㄴ. 제시된 자료에서

$N_2(g) + 2O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ ΔH_3 …… ②

이므로 NO_2 2 mol이 생성될 때의 엔탈피 변화가 ΔH_3이다.

따라서 $\Delta H_3 = 2\Delta H_f^\circ(NO_2)$이다.

ㄷ. 반응식 $2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ …… ③

를 만들기 위해, 식 ②에서 식 ①을 빼면 식 ③이 되며, 이때의 반응 엔탈피(ΔH_2)는

ΔH_2 = (생성물의 표준 생성 엔탈피 합) − (반응물의 표준 생성 엔탈피 합) = $2\Delta H_f^\circ(NO_2) - 2\Delta H_f^\circ(NO)$

11 모범 답안 (1) ΔH_1, C(s, 흑연)이 $O_2(g)$와 반응하여 $CO_2(g)$가 생성되는 반응은 탄소의 완전 연소이며, 이 반응의 엔탈피 변화가 ΔH_1로 주어져 있기 때문이다.

(2) $-\Delta H_2$

(3) ㉠ $C(s, 흑연) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2(g)$ ΔH_4

㉡ $CO_2(g) \longrightarrow CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$ $-\Delta H_2$

㉢ 식 (가)와, (나)의 역반응, (다)의 역반응을 더하고, 화살표 왼쪽과 오른쪽에 공통으로 포함된 물질을 지운다.

㉣ $\Delta H_4 = \Delta H_1 + (-\Delta H_2) + (-\Delta H_3)$

채점 기준		배점(%)
(1)	ΔH_1을 쓰고, 흑연의 연소 반응의 엔탈피가 ΔH_1인 까닭을 적절하게 서술한 경우	20
	ΔH_1만 쓴 경우	
(2)	$-\Delta H_2$라고 정확히 쓴 경우	20
(3)	• ㉠~㉣에 예시 답안과 통하는 적절한 내용을 서술한 경우 • ㉠~㉣ 중 각 1가지에 대해 옳게 서술할 때마다 15점 처리	60

03 화학 변화의 자발성

세미나 기출 문제 | p.107 |

Q1 (1) 증가 (2) 감소 Q2 (1) 자발적 (2) 비자발적

Q1 화학 반응에서 입자 수가 증가하면 엔트로피가 증가한다.

Q2 같은 온도·압력에서 기체의 양이 증가하면 엔트로피가 증가한다.

내신 기초 문제 | p.108~109 |

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

01 ② 25 ℃에서 물 → 얼음인 변화는 저절로 일어나지 않는다. 이때는 외부 냉각이 필요하다.

오답 피하기

① 25 ℃에서 얼음이 녹는 변화는 자발적이다.

③ 25 ℃에서 요오드의 승화는 자발적이다.

④ 연소 반응은 큰 에너지를 방출하므로 자발적이다.

⑤ 중화 반응은 엔탈피가 크게 감소할 뿐만 아니라 발열 반응이며, 일반적으로 자발적이다.

02 향수 입자가 저절로 확산되는 것은 확산 과정에서 입자들이 더 넓은 공간으로 퍼지면서 입자 배열의 경우의 수가 증가하여 엔트로피가 증가하기 때문이다.

03 ㄱ. 얼음 → 물: 분자 운동이 활발해지므로 엔트로피가 증가한다.

ㄴ. 물 → 수증기: 분자 운동이 매우 활발해지므로 엔트로피가 증가한다.

오답 피하기

ㄷ. 수증기 → 물: 기체 상태에서 액체 상태로 되면 분자 배열의 무질서도가 크게 감소하므로 엔트로피가 감소한다.

04 ㄴ. (나) 서로 다른 기체가 섞이면 가능한 입자 배열 수가 증가하여 엔트로피가 증가한다.

ㄷ. (다) 승화(고체 → 기체) 과정은 무질서도가 감소하는 ($\Delta S < 0$) 변화이다.

오답 피하기

ㄱ. (가) 승화(고체 → 기체): 고체에서 기체로 상태가 변하면 입자 배열이 매우 자유로워지고 차지하는 부피가 급격히 증가하므로 계의 엔트로피는 증가한다($\Delta S_{계} > 0$).

05 ② 기체가 생성되어 엔트로피가 증가한다.

오답 피하기

① 반응 전후에 기체 입자 수가 감소하므로 엔트로피가 감소한다.

③, ④ 반응 전과 후에 기체의 양(mol)이 감소하므로 엔트로피가 감소한다.

⑤ 기체에서 고체로의 승화가 일어날 때 분자 배열의 무질서도가 크게 감소하므로 엔트로피가 감소한다.

06 엔트로피는 입자 운동의 활발한 정도와 가능한 배열 수가 클수록 증가한다. 각 상태의 엔트로피 크기는 기체 > 액체

> 고체이므로 기체 → 고체의 과정이 엔트로피 감소 경향이 가장 크다.

(가) 상태에 따른 엔트로피(S) 크기는 $S_{기체} \gg S_{액체} > S_{고체}$이다. 기체는 입자 사이의 거리가 멀고 가능한 입자 배열 수가 압도적으로 크기 때문에 엔트로피가 가장 크다.

(나) 엔트로피 변화(ΔS)의 판단

- 증가(+): 융해, 기화, 승화(고체 → 기체)의 상태 변화(입자 운동이 활발해짐)
- 감소(−): 액화, 응고, 승화(기체 → 고체)의 상태 변화(입자 운동이 둔해짐)

(다) 결론: 기체와 고체 사이의 직접적인 상태 변화가 일어날 때 엔트로피의 변화 폭(절댓값)이 가장 크다.

07 ㄱ. $2H_2O_2(aq) \longrightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$

기체가 생성(O_2 발생)되어 엔트로피가 증가하며, 엔탈피가 감소하므로 자발적이다.

ㄴ. $CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

기체가 생성(CO_2)되어 계의 엔트로피는 증가하고, 엔탈피가 증가하므로 주위로부터 열을 흡수하는 흡열 반응이다.

오답 피하기

ㄷ. $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

반응 전과 후에 기체의 양(mol)이 감소하므로 엔트로피가 감소하는 반응이다.

08 자발성을 결정하는 두 가지 요인은 에너지의 안정화($\Delta H < 0$)와 무질서도의 증가($\Delta S_{계} > 0$)이다. 주어진 자료에서 엔탈피가 증가하므로 에너지 측면에서는 비자발적이지만, 엔트로피가 증가하므로 무질서도 측면에서는 자발적 요인을 가진다. 이때 엔트로피(ΔS)의 영향력은 온도와 관련되는 형태로 나타난다. 즉 온도가 높을수록 자발적 요인인 엔트로피의 영향력이 커져 전체 반응이 자발적으로 진행될 가능성이 높아진다. 흡열 반응이면서 엔트로피가 증가하는 반응(예 얼음의 융해)은 고온에서 자발적이다.

09 $NH_4Cl(s) \longrightarrow NH_3(g) + HCl(g)$ 반응에서, 반응물은 고체이고 생성물은 기체이므로 입자 배열의 무질서도가 크게 증가하여 엔트로피가 증가한다.

10 각 반응의 엔탈피(ΔH)와 엔트로피(ΔS) 부호를 분석하여 자발성을 판단한다.

(가) $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ $\Delta H < 0$

- 발열: 에너지 측면에서 자발적이다.
- $\Delta S < 0$ (감소): 기체 분자 수가 줄어들고 액체가 생성되므로 무질서도는 감소한다.
- 판단: 발열 반응이므로 저온에서 엔탈피의 영향력이 커져 자발적으로 일어난다.

(나) $CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$ $\Delta H > 0$

- 흡열: 에너지 측면에서 비자발적이다.
- $\Delta S > 0$ (증가): 고체에서 기체가 생성되므로 무질서도는 증가한다.
- 판단: 고온에서 무질서도의 영향력이 커져 자발적으로 반응이 진행된다.

(다) $NH_4Cl(s) \longrightarrow NH_3(g) + HCl(g)$ $\Delta H > 0$

- 흡열: 에너지 측면에서 비자발적이다.
- $\Delta S > 0$ (증가): 고체가 기체 두 분자로 분해되므로 엔트로피가 크게 증가한다.
- 판단: 고온에서 자발적이다.

세 반응 모두 온도 조건이 적절하다면 모두 자발적으로 반응이 일어날 수 있다.

내신 실전 문제

| p.110~113 |

01 ①	02 ④	03 ③	04 ⑤	05 ④	06 ⑤
07 ⑤	08 ③	09 ⑤	10 ⑤	11 ①	12 ③
13 ①	14 ③	15 ~ 16 해설 참조			

01 발열 반응은 계에서 주위로 열이 방출된다. 이 열은 다양한 형태의 에너지로 전환되지만, 총 에너지는 보존된다.

02 ㄱ, ㄷ. 연소는 발열 반응, 얼음의 융해는 물리 변화이다.

ㄴ. 얼음이 녹는 변화는 흡열 과정이므로 (나)의 $\Delta H > 0$이다.

03 ㄱ. 열은 항상 고온인 물체에서 저온인 물체로 흐른다. 저온에서 고온으로 열을 보내려면 냉장고처럼 외부에서 일을 해 주어야 한다.

ㄴ. 액체보다 기체 상태일 때 입자 배열이 훨씬 불규칙하고 자유롭다. 따라서 증발은 엔트로피가 증가하는 과정이다.

오답 피하기

ㄷ. 순수한 물과 고체 설탕이 섞여 수용액이 되면, 입자들이 존재할 수 있는 배열의 가짓수가 많아져 엔트로피가 증가한다.

04 ㄱ. 고체에서 기체로 변하는 승화 과정은 입자들이 훨씬 자유롭게 움직이게 되어 무질서도(엔트로피)가 증가한다.

ㄴ. 서로 다른 종류의 기체가 섞이는 과정은 가능한 입자 배열 수가 증가하는 과정이므로 엔트로피가 증가한다.

ㄷ. 분자 수가 감소하는 변화이므로 계 전체의 무질서도가 감소하므로 엔트로피가 감소하는 주된 원인이 된다.

05 ㄱ. (가) 고체 → 액체: 엔트로피가 증가하는 변화이다.
ㄷ. (다) 고체 → 고체 + 기체: 엔트로피가 증가하는 변화이다.

오답 피하기

ㄴ. (나) 액체 → 기체: 엔트로피가 증가하는 변화이다.

06 ㄱ. (가), (나): 반응을 통해 기체가 생성되어 입자 운동이 자유로워지고 가능한 입자 배열 수가 증가하므로 엔트로피가 증가한다.
ㄷ. (라): 기체에서 액체로 되었으므로 계의 엔트로피는 크게 감소한다. 이 반응은 연소 반응으로 발열 반응이고 주위의 엔트로피는 증가하지만 계의 엔트로피는 감소한다.

오답 피하기

ㄴ. (다): 고체($CaCO_3$)가 분해되어 고체(CaO)와 기체(CO_2)가 되므로 무질서도(엔트로피)가 증가한다.

07 ㄱ. 입자가 좁은 공간에 규칙적으로 배열된 상태보다 넓은 공간에 퍼진 상태가 더 무질서하므로 엔트로피는 증가한다.
ㄴ. 입자들이 가질 수 있는 위치와 속도의 조합(배열 상태의 가짓수)은 공간이 넓고 자유로운 기체 상태에서 훨씬 많다.
ㄷ. 승화(고체 → 기체)는 에너지를 흡수하는 과정이지만, 고체가 기체로 변하면서 엔트로피가 크게 증가하므로 일정한 온도 이상에서는 자발적으로 일어난다.

08 ㄱ. (가) 수용액에서의 용해: 규칙적인 배열의 고체 염인 질산 암모늄(NH_4NO_3)이 물에 녹아 자유로운 이온(NH_4^+, NO_3^-) 상태가 되면, 입자가 존재할 수 있는 공간과 배열의 경우의 수가 늘어나 엔트로피가 증가한다.
ㄴ. (나) 승화(고체 → 기체): 고체가 기체로 변하는 과정이다. 기체는 액체나 고체에 비해 엔트로피가 압도적으로 크기 때문에 이 반응에서 엔트로피는 매우 크게 증가한다.

오답 피하기

ㄷ. (다) 반응 과정에서 기체 상태의 분자 수가 줄어들면 계의 무질서도가 줄어들어 엔트로피는 감소한다.

09 ㄱ. 기체의 양(mol)이 증가하는 반응은 (가)와 (나)의 2가지이다.
ㄴ. (다) 반응은 기체 3 mol이 2 mol로 되어 기체의 양(mol)이 감소하므로 무질서도가 감소하여 계의 엔트로피가 감소한다.
ㄷ. 입자 수가 많아질수록 입자들이 배열할 수 있는 경우의 수가 커져 엔트로피가 증가한다.

10 ㄴ. (나): 반응 전과 후에 기체의 양(mol)이 절반으로 감소하므로 엔트로피가 감소한다.
ㄷ. (다): 기체 → 고체의 변화에서 엔트로피는 감소한다.

오답 피하기

ㄱ. (가): 반응 전과 후의 기체의 몰비가 1 : 2로 기체의 양(mol)이 증가한다. 따라서 엔트로피가 증가한다.

11 ㄱ. (가)와 (나) 모두 규칙적으로 배열하고 있던 고체 물질이 수용액에서 이온들로 나뉘는 과정이므로 무질서도가 증가한다. 따라서 두 반응 모두 $\Delta S_{계} > 0$으로 부호가 같다.

오답 피하기

ㄴ. (가)는 흡열 반응($\Delta H > 0$)이므로 주위로부터 열을 흡수한다. 따라서 주위의 엔트로피($\Delta S_{주위}$)는 감소한다. 이 반응이 자발적인 것은 계의 엔트로피 증가 효과가 매우 크기 때문이다.
ㄷ. 실온(25 ℃)에서 물이 어는 것은 비자발적 변화이다.

12 ㄱ. (가)는 고체가 분해되어 두 종류의 기체가 생성된다. 기체 생성은 입자 배열의 무질서도를 크게 증가시키므로 엔트로피가 증가한다.
ㄴ. (나)는 반응물과 생성물이 모두 기체이지만 몰비가 반응물 : 생성물 = 3 : 2로 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다.

오답 피하기

ㄷ. (다)는 고체와 기체 반응물로부터 고체가 생성되므로 계의 엔트로피가 감소한다. 한편, 이 반응은 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 에너지 측면에서는 자발적이다. 즉 엔탈피가 감소하므로 주위의 엔트로피는 증가한다($\Delta S_{주위} > 0$). 이 반응은 온도가 충분히 낮을 때 자발적이며, 온도가 높으면 비자발적인 반응이 된다.

13
- 서희: 고립계에서 엔트로피가 증가하는 반응은 주위의 영향을 받지 않으므로, 항상 자발적이다.
- 감찬: 닫힌계에서 발열 반응($\Delta H < 0$)이 자발적일 때, 계의 엔트로피 변화($\Delta S_{계}$)는 양(+)일 수도 있고 음(−)일 수도 있다. 주위의 엔트로피($\Delta S_{주위}$)는 항상 양(+)이므로, 두 변화의 부호가 항상 반대인 것은 아니다. 계의 엔트로피 변화가 음(−)이어도 주위의 엔트로피 변화의 크기가 계의 엔트로피 감소 크기보다 크면 자발적일 수 있다.
- 은수: 열린계에서 $\Delta H > 0$, $\Delta S_{계} < 0$이면 모든 온도에서 비자발적이다.

14 ㄱ. 고체인 탄산 칼슘이 분해되면 기체인 이산화 탄소가 생성되므로 무질서도가 크게 증가하여 $\Delta S_{계} > 0$이다.
ㄴ, ㄷ. (나)의 수소의 연소 반응에서 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다. 이 반응은 발열 반응이며, 계에서 방출된 열이 주위로 전달되므로 주위의 엔트로피는 증가한다.

15 모범 답안 $\Delta S_{계} < 0$. 반응 전 기체 분자 수(4 mol)보다 반응 후 기체 분자 수(2 mol)가 작아 가능한 입자 배열의 경우의 수가 줄어들기 때문이다.

해설 반응의 전과 후에 기체 분자 수가 감소하면 입자 배열의 경우의 수가 감소한다.

채점 기준	배점(%)
$\Delta S_{계} < 0$ 또는 $\Delta S_{계}$의 부호가 음(−)의 값을 가진다고 쓰고, 기체 분자 수가 감소하여 입자 배열의 경우의 수가 줄어들기 때문인 점을 옳게 서술한 경우	100
$\Delta S_{계} < 0$ 또는 $\Delta S_{계}$의 부호가 음(−)의 값을 가진다는 것만 정확히 쓴 경우	40

16 모범 답안 (1) (가): 반응물에는 기체가 없으나 생성물에서 기체(CO_2) 1 mol이 생성되어 기체의 양(mol)이 증가한다.

(나): 반응물 기체는 총 4 mol이나 생성물 기체는 2 mol로, 기체의 양(mol)이 감소한다.

(2) (가) 엔트로피 증가: 고체보다 입자의 운동이 훨씬 자유롭고 무질서도가 큰 기체 상태의 입자가 생성되어 계의 엔트로피가 증가한다.

(나) 엔트로피 감소: 무질서도가 매우 큰 기체 상태 입자의 총 양(mol)이 4 mol에서 2 mol로 감소함에 따라, 입자가 존재할 수 있는 배열의 가짓수(경우의 수)가 줄어들어 엔트로피가 감소한다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가), (나)의 기체의 양(mol) 증감을 정확히 비교한 경우(각 15%)	30
(2)	(가) 증가, (나) 감소를 모두 정확히 쓴 경우(각 15%)	30
	(가): 기체 상태가 고체 상태보다 무질서도가 크다는 것을 정확히 서술한 경우	20
	(나): 기체 입자 수의 감소가 무질서도를 낮춘다는 점을 정확히 서술한 경우	20

단원 마무리 문제 | p.116~119 |

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

01 엔탈피란 일정한 온도와 압력에서 어떤 물질이 갖는 에너지의 양으로, 직접적으로 측정할 수는 없다. 화학 반응이 일어나면 원자들의 조합과 배열에 변화가 생기므로 엔탈피가 변하게 되며, 이 차이만큼 열을 흡수하거나 방출하게 된다.

02 ㄴ. 반응 엔탈피 = (생성물의 엔탈피) − (반응물의 엔탈피)이므로 반응 엔탈피가 +44 kJ이면 생성물인 수증기가 물보다 엔탈피가 더 큼을 알 수 있다.

ㄷ. 역반응의 엔탈피 변화 = −(정반응의 엔탈피 변화)이므로 −44 kJ이다.

오답 피하기

ㄱ. 엔탈피 변화가 +44 kJ이므로 물의 기화는 흡열 과정이다.

03 모범 답안 • 부호: $\Delta S_{계} < 0$(감소).

• 이유: 공기 중에 퍼져 있던 기체 상태의 물 분자들이 액체 상태로 변하면서 입자 사이의 거리가 가까워지고 입자 운동이 더 둔해져 가능한 입자 배열 수가 감소하기 때문이다.

해설 상태 변화의 방향은 엔트로피 판단의 핵심이 된다. 수증기가 응결하는 과정은 무질서도가 크게 감소하는 변화이므로 액화가 일어날 때 엔트로피가 감소한다.

채점 기준	배점(%)
$\Delta S_{계} < 0$ 또는 $\Delta S_{계}$의 부호가 음(−)의 값을 가진다는 것을 정확히 쓴 경우	50
기체 → 액체 변화에 따른 무질서도(또는 규칙성) 변화를 입자 수준에서 정확히 서술한 경우	50

04 실온에서 얼음이 녹는 과정과 나무가 연소하는 과정은 둘 다 엔트로피가 증가하는 자발적 변화이다.

05 ㄱ. 생성물의 결합 에너지 합이 732 kJ/mol이므로 HBr(g) 1 mol의 결합 에너지는 366 kJ이다.

ㄴ. H_2의 결합 에너지는 436 kJ이고, Br_2의 결합 에너지는 193 kJ이므로 H_2의 결합 에너지는 Br_2의 결합 에너지의 2배보다 크다. (436 kJ > 193 kJ × 2)

ㄷ. $H_2(g) + Br_2(g) \longrightarrow 2HBr(g)$의 엔탈피 변화($\Delta H$)는 193 + 436 − 732 = −103 (kJ)이며, HBr(g) 1 mol의 생성 엔탈피는 −103 ÷ 2 (kJ/mol)이다.

06 ㄱ. 생성 엔탈피는 성분 원소로부터 물질 1 mol이 생성될 때의 엔탈피 변화이다. (가)는 C와 O_2로부터 CO_2 1 mol이 생성되는 반응이므로 $CO_2(g)$의 생성열을 나타내는 반응이며, 생성 엔탈피는 −394 kJ/mol이다.

오답 피하기

ㄴ. (나)의 역반응은 $H_2O(l)$ 2 mol이 분해되는 반응이므로 1 mol이 분해될 때의 반응 엔탈피는

$\Delta H = +\frac{572}{2} = +286$ (kJ/mol)이다.

ㄷ. 헤스 법칙에 따라 메테인의 생성 엔탈피 $\Delta H_f = \Delta H_{(가)} + \Delta H_{(나)} - \Delta H_{(다)} = -394 + (-572) - (-890)$
$= -76$ (kJ/mol)이다.

07 ㄴ. 흑연의 승화 엔탈피는 C(흑연, s) ⟶ C(g) 반응의 엔탈피 변화이므로 $b - 0 = b$ (kJ/mol)이다.

ㄷ. H(g)의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}H_2(g) \longrightarrow H(g)$ 반응의 ΔH

이므로, H_2 1 mol의 결합 에너지($H_2(g) \longrightarrow 2H(g)$)는 그 2배인 $2 \times 217 = 434$ (kJ/mol)이다.

오답 피하기

ㄱ. 생성물의 C(s, 흑연)은 생성 엔탈피가 0이다. 따라서 $a = (2 \times 0 + 2 \times 217) - 227 = 207$이다.

08 ④ 결합 차수가 증가할수록 결합 에너지는 커진다.

오답 피하기

① 결합 차수가 증가할수록 원자 간 인력이 강해져 결합 길이는 짧아진다.

② 결합 에너지는 C−C(348)<C≡C(839)이므로 단일 결합이 삼중 결합보다 작다.

③ 결합 에너지는 H−F(565)>H−Cl(431)이므로 H−F 결합이 H−Cl 결합보다 강하다.

⑤ 결합 에너지는 C−C(348)<H−F(565)이므로 H−F 결합이 C−C 결합보다 강하다.

09 ㄱ. 메탄올: $CH_3OH(l) + 1.5O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$

에탄올: $C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$

즉 메탄올은 1.5 mol의 O_2가 필요하고 에탄올은 3 mol의 O_2가 필요하므로 1 mol 연소에 에탄올이 산소를 더 많이 소모한다.

ㄴ. 몰질량은 동일하고(46 g/mol), 1 mol당 연소열은 에탄올 1367 kJ/mol, 다이메틸 에터 1460 kJ/mol이므로 다이메틸 에터가 더 크다.

ㄷ. 연소 생성물인 $CO_2(g)$와 $H_2O(l)$의 표준 생성 엔탈피 값을 알면 주어진 자료를 활용하고 헤스 법칙을 적용하여 다이메틸 에터의 생성열 (가)를 구할 수 있다.

$CH_3OCH_3(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$

반응에서 ΔH=(생성물의 표준 생성 엔탈피 합)−(반응물의 표준 생성 엔탈피 합)이므로

$-1460 = \{2 \times (-394) + 3 \times (-286)\} - (가)$,

$-1460 = (-788 - 858) - (가)$,

(가)$= -186$ (kJ/mol)이다.

10 모범 답안 (1) 반응물과 생성물의 종류와 물질의 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 엔탈피 변화는 같다. 따라서 전체 반응의 엔탈피 변화 ΔH는 두 단계 반응의 엔탈피 합과 같다. $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$이다.

(2) 직접 측정하기 어려운 전체 반응의 엔탈피를, 측정 가능한 두 단계의 반응으로 나누어 각각의 엔탈피 변화를 구한 후 이를 합하여 전체 반응의 엔탈피를 계산하기 위함이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	헤스 법칙 정의를 언급하고(경로에 무관, 상태 함수 등), 관계식 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$를 정확히 제시한 경우	50
	헤스 법칙 정의와 관계식 중 하나만 제시한 경우	25
(2)	직접 측정이 어려운 반응(격렬한 반응 등), 측정 가능한 단계를 통해 간접적으로 계산할 수 있음의 2가지 내용을 포함하여 옳게 설명한 경우	50
	내용을 알고 설명했으나, 내용이 미흡한 경우	25

11 ㄴ. 생성 엔탈피는 가장 안정한 성분 원소(C, O_2) 물질로부터 물질 1 mol이 생성될 때의 값이므로 ΔH_1이 맞다.

오답 피하기

ㄱ. 식 (가)+식 (나)=식 (다)이므로 $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$이다.

ㄷ. $Ca(s) + C(s, 흑연) + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow CaCO_3(s)$ 반응의 반응 엔탈피가 $CaCO_3(s)$의 표준 생성 엔탈피이므로 $CaCO_3(s)$의 표준 생성 엔탈피는 ΔH_3가 아니다.

12 $H_2O(l)$의 표준 증발 엔탈피(kJ/mol)는 $H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g)$ 반응의 엔탈피(ΔH)이다.

물의 증발 반응의 열화학 반응식을 완성시키기 위해서는 반응물에 물($H_2O(l)$), 생성물에 수증기($H_2O(g)$)만 필요하며, 그 외의 물질은 필요없다. 물을 포함한 반응은 (나)뿐이므로 (나)의 역반응($\Delta H = -b$)이 필요하다. 다음으로, 물의 증발 과정에서 필요 없는 CH_4, $2O_2$, CO_2를 제거해 주어야 한다. (가)와 (다) 반응을 더하면($a+c$), CH_4, $2O_2$, CO_2가 제거된다. (가)를 더할 때 생기는 HCHO는 (다)를 더하면 제거된다.

① (가): $CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow HCHO(g) + H_2O(g)$ $\Delta H^\circ = a$

② −(나): $CO_2(g) + 2H_2O(l) \longrightarrow CH_4(g) + 2O_2(g)$ $\Delta H^\circ = -b$

③ (다): $HCHO(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$ $\Delta H^\circ = c$

즉 위 식을 모두 더하여 완성된 식은 2 mol의 물이 2 mol의 수증기가 되는 반응이다.

$2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2O(g)$ $\Delta H = a - b + c$

따라서 1 mol의 표준 증발 엔탈피$= \frac{1}{2}(a - b + c)$이다.

13 ㄱ. 반응 엔탈피는 반응 경로에 상관없이 반응물과 생성물의 종류 및 상태가 같으면 그 변화량이 일정하다.

ㄴ. (가) 식: $CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow HCHO(g) + H_2O(g)$

(다) 식: $HCHO(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$

이 두 식을 더하면,

$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$

가 되며, 이는 (나) 식과 같다. 따라서 엔탈피의 합도

$\Delta H_{(나)} = \Delta H_{(가)} + \Delta H_{(다)}$, 즉 $b = a + c$가 성립한다.

오답 피하기

ㄷ. 제시된 반응($CO_2(g) + H_2O(g) \longrightarrow HCHO(g) + O_2(g)$)은 (다) 반응의 역반응이다. 역반응의 엔탈피 변화는 정반응과 크기는 같고 부호만 반대이므로 $\Delta H° = -c$ kJ/mol이다.

14 엔트로피(S)는 반응 과정에서 기체 양(mol)이 증가하거나 상태 변화를 통해 입자의 운동 범위가 넓어질 때 증가한다.

ㄱ. $CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

고체인 탄산 칼슘이 분해되어 이산화 탄소 기체가 생성되므로 계의 무질서도가 크게 증가한다.

ㄴ. $2H_2O_2(l) \longrightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$

액체인 과산화 수소가 분해되어 산소 기체가 생성되면서 입자 운동이 자유로워지고 가능한 입자 배열 수가 증가하여 엔트로피가 증가한다.

오답 피하기

ㄷ. $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

반응을 통해 전체 기체의 양(mol)이 감소하므로 계의 가능한 입자 배열 수가 감소하여 엔트로피가 감소한다.

15 ㄱ. 기체의 양(mol)이 증가하는 반응은 입자 수가 늘어나 계의 무질서도가 커지므로 일반적으로 엔트로피가 증가한다.

ㄷ. 서로 다른 두 기체가 섞이면 입자들이 차지하는 공간 내 분포가 더 다양해지고 무질서해져 엔트로피가 증가한다.

오답 피하기

ㄴ. 물이 기화할 때는 입자의 운동 범위가 넓어지고 배열이 불규칙해지므로 엔트로피가 증가한다.

16 모범 답안 (1) • 계의 엔트로피($\Delta S_{계}$)는 증가한다.

• 이유: 고체 상태의 질산 암모늄이 물에 녹아 이온으로 분리되면서 입자 수가 늘어나고, 입자들이 액체 속에 고르게 퍼져 가능한 입자 배열 수가 증가하기 때문이다.

(2) 질산 암모늄의 용해는 흡열 과정($\Delta H > 0$)으로 엔탈피 측면에서 비자발적 요인이지만, 용해 과정에서 계의 엔트로피가 크게 증가($\Delta S_{계} > 0$)하여 전체(계+주위) 엔트로피가 증가하므로 자발적으로 일어난다.

채점 기준		배점(%)
(1)	엔트로피 변화를 '증가'로 판단하고, 판단의 근거로 이온화로 인한 입자 수 증가 또는 무질서도 증가를 언급함.	50
	엔트로피 변화를 '증가'로 판단했지만 적절한 근거를 제시하지 못함.	25
(2)	흡열 반응임에도 자발적인 이유로 '엔트로피 증가'를 근거로 제시하고 엔트로피 증가 효과가 엔탈피의 불리함을 극복(또는 더 큼)한다고 설명함.	50
	흡열 반응임에도 자발적인 이유로 '엔트로피 증가'를 제시했지만 그 이유를 제시하지 못함.	25

Ⅳ 반응 속도

01 화학 반응 속도와 1차 반응의 반감기

탐구 리포트 | p.126 |

01 ③ 02 ④

01 ㄷ. 평균 반응 속도가 가장 느린 구간은 생성된 $H_2(g)$의 부피가 가장 적은 구간인 40 s~50 s이다.

오답 피하기

ㄱ. 50 s 이후에도 수소 기체가 더 발생할 수 있으므로 반응이 끝났다고 단정할 수 없다.

ㄴ. 시간이 지날수록 10 s 동안에 발생한 수소 기체의 부피 변화량이 감소하므로 반응 속도가 감소한다.

02 이 실험은 일정 시간 동안에 발생하는 수소 기체의 부피를 측정하여 반응 속도를 구하기 위한 것이다. 따라서 부피를 측정하기 위한 주사기와 시간을 측정하기 위한 초시계가 필요하다. 이 실험에서 반응 속도를 구하기 위해 묽은 염산의 농도나 마그네슘의 질량을 알 필요는 없다.

내신 기초 문제 | p.128~129 |

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

01 화학 반응 속도에서 반응물이나 생성물이 기체이면 부피 변화나 압력 변화를, 고체이면 질량 변화를 측정하여 나타낸다. 또한, 용액과 같은 혼합물인 경우에는 주로 몰농도를 사용하여 나타낸다.

02 ㄱ. 반응이 일어나는 전체 시간 동안 반응물 A의 농도 감소량은 6 M, B의 감소량은 2 M, 생성물 C의 증가량은 4 M이므로 반응의 계수비는 A : B : C = 3 : 1 : 2이다. 따라서 반응식은 $3A + B \longrightarrow 2C$이다.

ㄴ. 반응의 계수비는 A : B = 3 : 1이므로 A의 감소 속도는 B의 감소 속도의 3배이다.

오답 피하기

ㄷ. 0~120 min 동안 이 반응의 평균 반응 속도는 B의 감소 속도와 같으므로 $-\frac{(0.1-0.3)\text{ M}}{(120-0)\text{ min}} = \frac{1}{600}$ M/min이다.

03 과일이 익는 현상과 철의 부식은 상대적으로 느린 반응이고, 야광 팔찌를 꺾으면 빛이 나는 현상과 수소 기체의 연소는 상대적으로 빠른 반응이다.

04 ㄴ. 실험 Ⅰ과 Ⅱ에서 A의 반응 차수가 1이고, 실험 Ⅱ와 Ⅲ에서 B의 반응 차수가 1임을 알 수 있으므로 반응 속도식은 $v=k[A][B]$이다.

오답 피하기

ㄱ. 실험 Ⅰ의 결과값을 반응 속도식에 대입하면 $1\times10^{-2}\,M/s=k\times1\times10^{-1}\,M\times1\times10^{-1}\,M$이므로 $k=1\,M^{-1}\,s^{-1}$이다.

ㄷ. B와 C의 반응 속도 사이에는 $-\frac{\Delta[B]}{2\Delta t}=\frac{\Delta[C]}{\Delta t}$의 관계가 있다. 따라서 B의 감소 속도가 C의 생성 속도의 2배이다.

05 실험 Ⅰ과 Ⅱ에서 A(g)의 초기 농도가 3배일 때, 반응 속도도 3배이다. 반응 속도가 반응물의 농도에 비례하므로 $m=1$인 1차 반응이다.

06 ㄱ. 반응 속도식이 $v=k[A]$이므로 이 반응은 1차 반응이다. 1차 반응은 반감기가 일정하므로 이 반응의 반감기는 5 s이다. 따라서 $x=0.25$이다.

오답 피하기

ㄴ. 5 s는 반감기가 1번 지난 상태이므로 $y=1.00$이다.

ㄷ. 반응 속도 상수는 온도에만 영향을 받으므로 일정하다.

07 ㄷ. 온도가 일정하면 반응 속도 상수와 평형 상수 값이 일정하다. 1차 반응일 경우 온도가 일정하면 반감기가 일정하다.

오답 피하기

ㄱ. 1차 반응의 반감기는 반응물의 초기 농도와 관계없이 일정하다.

ㄴ. $v=-\frac{\Delta[A]}{\Delta t}=\frac{1}{2}\frac{\Delta[B]}{\Delta t}$이므로 A($g$)의 감소 속도는 B($g$)의 생성 속도의 $\frac{1}{2}$이다.

08 1차 반응의 반응 속도는 반응물의 농도에 비례하고 그래프의 기울기는 반응 속도 상수이다.

내신 실전 문제

| p.130~133 |

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

01 ㄱ. 화학 반응식을 완성하면 $HCl(aq)+NaHCO_3(s)\longrightarrow NaCl(aq)+H_2O(l)+CO_2(g)$이다.

ㄷ. t_3 이후에는 기체 X의 부피가 증가하지 않으므로 NaCl도 더 이상 생성되지 않는다.

오답 피하기

ㄴ. 순간 반응 속도는 접선의 기울기이고, 0초일 때 순간 반응 속도가 초기 반응 속도이므로 초기 반응 속도가 가장 빠르다.

02 ㄱ. 증발하는 수증기가 솜에 응축되기 때문에 반응 용기 전체의 질량 변화는 빠져나간 이산화 탄소 기체의 질량과 같다.

ㄴ. 초시계와 전자저울을 이용하여 일정한 시간 간격으로 질량 변화를 측정하면 반응 속도를 구할 수 있다.

ㄷ. 일정 시간 동안 발생하는 이산화 탄소 기체의 부피는 시간이 지남에 따라 점점 감소한다.

문제 속 **자료**

발생한 기체의 질량 측정을 통한 반응 속도 구하기

- 탄산 칼슘과 묽은 염산의 반응에서 일정 시간 동안 발생하는 이산화 탄소의 질량을 측정하여 반응 속도를 구할 수 있다.



$CaCO_3(s)+2HCl(aq)\longrightarrow CaCl_2(aq)+H_2O(l)+CO_2(g)$

- 발생한 이산화 탄소 기체가 삼각 플라스크를 빠져나가면 빠져나간 이산화 탄소의 질량만큼 삼각 플라스크의 전체 질량은 감소한다. 즉, 감소한 질량은 발생한 이산화 탄소 기체의 질량과 같다. 따라서 일정한 시간 간격으로 질량 변화를 측정하면 반응의 속도를 구할 수 있다.
- 이때 물의 증발로 인해 물이 함께 빠져나갈 수 있으므로 삼각 플라스크 입구를 솜으로 막아 수증기가 빠져나가지 못하도록 한다. 이산화 탄소는 솜에서 응축되지 않는다.

03 ㄱ. 0 s~80 s 사이의 평균 반응 속도는 $\frac{\text{발생한 기체의 부피}}{\text{반응 시간}}=\frac{(47-0)\,mL}{(80-0)\,s}=\frac{47}{80}\,mL/s$이다.

ㄴ. 수소의 발생 속도는 일정 시간 동안의 농도 변화량으로 알 수 있다. 시간이 지날수록 수소의 발생 속도는 점점 감소한다.

오답 피하기

ㄷ. 평균 반응 속도가 가장 빠른 구간은 기체가 가장 많이 발생한 0 s~10 s 구간이다.

04 ㄱ. t_1에서 A가 2 M 감소할 동안 B는 1 M 증가하였으므로 $a:b=2:1$이다.

ㄴ, ㄷ. 한 점에서의 접선의 기울기의 절댓값은 순간 반응

속도를 나타내며, 반응 시간이 0일 때 기울기는 초기 반응 속도이다. 시간이 지날수록 접선의 기울기의 절댓값은 감소한다.

05 실험 I과 II를 비교하면 [A]가 2.0×10^{-2} M으로 일정할 때 [B]를 2배로 하면 초기 반응 속도가 2배 빨라지고, 실험 I과 III을 비교하면 [B]가 5.0×10^{-3} M으로 일정할 때 [A]를 2배로 하면 초기 반응 속도가 4배 빨라진다. 따라서 이 반응의 반응 속도식은 $v=k[\mathrm{A}]^2[\mathrm{B}]$이고 반응 속도 상수는 $k=\dfrac{v}{[\mathrm{A}]^2[\mathrm{B}]}$이다. 실험 I의 값을 넣어 k를 구하면

$$k=\frac{5.0\times10^{-6}\,\mathrm{M/s}}{(2.0\times10^{-2}\,\mathrm{M})^2\times(5.0\times10^{-3}\,\mathrm{M})}=2.5\,\mathrm{M^{-2}\cdot s^{-1}}$$

이다.

06 ㄱ, ㄴ. 실험 I과 II를 비교하면 [A]가 0.2 M로 일정하고 [B]가 다른데, 초기 반응 속도는 같다. 실험 I과 III을 비교하면 [B]가 일정할 때 [A]를 3배로 하면 초기 반응 속도가 3배이다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[\mathrm{A}]$이다.

ㄷ. 반응 속도 상수는 온도에만 영향을 받는다.

07 실험 I과 II를 비교하면 [A]가 일정할 때 [B]를 2배로 하면 반응 속도가 2배 빨라지고, II와 III을 비교하면 [B]가 일정할 때 [A]를 2배로 하면 반응 속도가 4배 빨라진다. 따라서 이 반응의 반응 속도식은 $v=k[\mathrm{A}]^2[\mathrm{B}]$이므로 3차 반응이다. 실험 III과 IV를 비교하면 [A]가 일정한데 반응 속도가 $\frac{1}{2}$배로 감소했으므로 [B]가 $\frac{1}{2}$로 감소한 0.1 M($=x$)이다.

실험 II에서 [B]가 0.3 M이면 초기 반응 속도는 3배가 된다.

08 실험 I과 II를 비교하면 [B]가 일정할 때 [A]를 2배로 하면 반응 속도가 2배 빨라지고, II와 III을 비교하면 [A]가 일정할 때 [B]를 2배로 하면 반응 속도가 4배 빨라진다. 따라서 이 반응의 반응 속도식은 $v=k[\mathrm{A}][\mathrm{B}]^2$이므로, 3차 반응이다. 3차 반응에서 반응 속도 상수의 단위는 $\mathrm{M^{-2}\cdot s^{-1}}$이다.

09 A가 0.10 M에서 0.05 M로 감소하는 데 걸리는 시간이 1 min, 0.05 M에서 0.025 M로 감소하는 데 걸리는 시간이 1 min으로 일정하므로 반감기는 1 min이고, 이 반응은 1차 반응이다. 반응이 진행될수록 그래프의 접선 기울기가 감소하므로 A의 감소 속도도 점점 느려진다.

10 ㄱ. A와 B의 반응 계수비가 1 : 2이므로 B가 생성되는 속도는 A가 감소하는 속도의 2배이다.

오답 피하기

ㄴ. 이 반응은 반감기가 1 min인 1차 반응이다. 따라서 4 min이 지났을 때는 반감기가 4번 지났을 때이므로 A의 농도는 0.075 M이다.

ㄷ. 2 min일 때 A는 0.3 M, B는 1.8 M 존재한다. 따라서 B의 몰분율은 $\dfrac{1.8\,\mathrm{M}}{(0.3+1.8)\,\mathrm{M}}=\dfrac{6}{7}$이다.

11 A(g)의 초기 농도와 초기 반응 속도가 비례하므로 이 반응은 1차 반응이다. 1차 반응에서 반감기는 일정하며, 반응 속도식은 $v=k[\mathrm{A}]$이다. 반응 속도는 반응 시간이 지날수록 느려진다.

12 t min에서 B의 농도가 0.5 M이므로 A의 농도는 1.0 M이고, $2t$ min에서 B의 농도가 0.75 M이므로 A의 농도는 0.5 M이다. 이때 A의 반감기가 t min으로 일정한 1차 반응임을 알 수 있다. $2t$ min일 때 A의 몰분율은 $\dfrac{0.5\,\mathrm{M}}{(0.5+0.75+0.75)\,\mathrm{M}}=0.25$이다.

13 ㄴ. 반감기가 일정하므로 이 반응은 1차 반응이다.

오답 피하기

ㄱ. 800 s마다 과산화 수소의 농도가 절반으로 감소하므로 반감기는 800 s이다.

ㄷ. 1차 반응이므로 반응 속도는 H_2O_2의 농도에 비례한다.

14 ㄱ, ㄴ. 반감기가 2 min으로 일정하므로, 이 반응은 1차 반응이다.

오답 피하기

ㄷ. 6 min일 때 반감기가 3번 지났으므로, A의 농도 x는 0.25 M이다. 이때 C의 농도는 $\frac{1}{2}\times(2.0-0.25)\,\mathrm{M}=0.875\,\mathrm{M}$이다.

따라서 C(g)의 몰분율은 $\dfrac{0.875\,\mathrm{M}}{(0.25+0.875+0.875)\,\mathrm{M}}\fallingdotseq0.44$이다.

15 **모범 답안** (1) $a:b=1:1$

(2) 시간이 지날 때 반응물 A는 11개 → 7개 → 4개 → 2개 → 1개로 농도가 감소하고, 생성물 B는 0개 → 4개 → 7개 → 9개 → 10개로 농도가 증가한다. 시간 t_4부터 A와 B는 각각 1개와 10개로 더 이상 변화가 없다. 따라서 구간별 반응 속도는 0~t_4까지 점점 감소하다가 t_4 이후에는 0이다.

해설

구간 t_1에서 반응물 A가 4개 감소하면 B가 4개 생성된다. 따라서 A와 B의 계수비는 1 : 1이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	계수비 $a:b$를 올바르게 구한 경우	40
(2)	입자 수 변화를 근거로 시간에 따라 반응 속도가 감소함을 서술한 경우	60
	반응 속도가 감소한다는 결론만 서술한 경우	20

16 모범 답안 (1) 1 : 3 : 2

(2) A: $\frac{1}{30}$ M/min, B: $\frac{1}{10}$ M/min, C: $\frac{1}{15}$ M/min

(3) 그래프에서 접선의 기울기를 구하면 순간 반응 속도를 알 수 있다. 시간이 지날수록 그래프의 기울기의 절댓값이 감소하므로 반응 속도도 시간이 지날수록 감소한다.

해설

(1) 0~120 min 동안 [A]는 2 M, [B]는 6 M, [C]는 4 M 변화했으므로 화학 반응식의 계수비 $a : b : c = 1 : 3 : 2$이다.

(2) A: $-\frac{(1-2)\,\mathrm{M}}{30\,\mathrm{min}} = \frac{1}{30}\,\mathrm{M/min}$,

B: $-\frac{(3-6)\,\mathrm{M}}{30\,\mathrm{min}} = \frac{1}{10}\,\mathrm{M/min}$,

C: $\frac{(2-0)\,\mathrm{M}}{30\,\mathrm{min}} = \frac{1}{15}\,\mathrm{M/min}$

채점 기준		배점(%)
(1)	계수비 $a : b : c$를 올바르게 구한 경우	20
(2)	0~30 min 사이의 A~C의 평균 반응 속도를 올바르게 구한 경우	30
(3)	반응 속도가 시간이 지날수록 감소함을 근거를 들어 서술한 경우	50
	반응 속도가 시간이 지날수록 감소한다는 결론만 서술한 경우	20

02 유효 충돌과 활성화 에너지

세미나 기출 문제 | p.137 |

01 ② 02 ④

01 ㄴ. 역반응의 활성화 에너지는 (184 − 9.4) kJ = 174.6 kJ이다.

오답 피하기

ㄱ. 반응물이 가진 에너지보다 생성물이 가진 에너지가 크므로 반응이 진행되면 에너지 차만큼 열을 흡수한다. 따라서 정반응은 흡열 반응이다.

ㄷ. 반응 엔탈피는 (정반응의 활성화 에너지 − 역반응의 활성화 에너지)이므로 (184 − 174.6) kJ = 9.4 kJ이다.

02 ㄴ. (나)는 정반응의 활성화 에너지로, 화학 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지이다.

ㄷ. (다)는 반응 엔탈피로, 활성화 에너지의 크기와는 무관하다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 활성화 상태로, 에너지가 가장 높은 불안정한 상태이다.

내신 기초 문제 | p.138 |

01 ③ 02 ① 03 ② 04 ⑤

01 유효 충돌은 반응을 일으키기에 충분한 에너지를 가진 입자들이 반응에 적합한 방향으로 충돌하여 화학 반응이 일어나는 충돌이다.

02 ㄱ. 활성화 에너지는 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지이다. 활성화 에너지가 클수록 이 에너지 장벽을 넘는 입자의 비율이 감소하여 반응이 일어나기 어렵다.

오답 피하기

ㄴ, ㄷ. 반응을 일으키기에 충분한 에너지를 가진 입자들이 반응에 적합한 방향으로 충돌하면 유효 충돌이 일어날 수 있다.

03 ㄴ. 화학 반응의 중간 단계의 화합물은 반응물도 아니고 생성물도 아닌 매우 불안정한 활성화 상태로, 반응물과 활성화 상태의 에너지 차가 활성화 에너지이다.

오답 피하기

ㄱ. 화학 반응이 일어나는 데 필요한 최소 에너지를 활성화 에너지라고 한다.

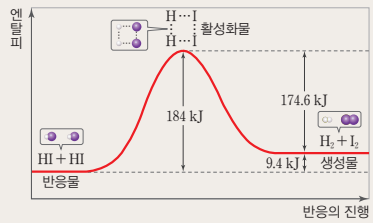
ㄷ. 활성화 상태에 있는 불안정한 화합물인 활성화물은 다시 반응물이 될 수도 있고, 생성물이 될 수도 있다.

04 ㄱ. 생성물의 엔탈피 합이 반응물의 엔탈피보다 크므로 흡열 반응이다.

ㄴ. HI 분자들이 충분한 에너지를 가지고 서로 적합한 방향으로 충돌하면, 활성화 상태에서 H−I 결합이 점차 끊어지고 H−H 결합과 I−I 결합이 새롭게 형성되어 활성화물이 만들어진다.

ㄷ. 이 반응은 흡열 반응으로, 역반응의 활성화 에너지는 정반응의 활성화 에너지에서 반응 엔탈피를 뺀 값과 같다.

문제 속 자료



- 정반응의 활성화 에너지: 정반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지 → 184 kJ
- 역반응의 활성화 에너지: 역반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지 → 174.6 kJ
- 활성화 상태: 정반응의 활성화 에너지만큼의 에너지를 가진 분자가 반응물의 입자 사이의 결합이 반쯤 끊어짐과 동시에 생성물의 입자 사이의 결합이 반쯤 형성된 상태
- 활성화물: 활성화 상태에 있는 불안정한 화합물

내신 실전 문제

| p.139~141 |

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

01 반응을 일으키기에 충분한 에너지를 가진 입자들이 반응에 적합한 방향으로 충돌할 때 유효 충돌이 일어난다. (가)와 (나)는 충돌 방향이 적합하지 않았고, (다)는 충돌이 너무 약해서 반응이 일어나지 않았다.

02 오답 피하기

ㄱ. 모든 충돌이 유효 충돌인 것이 아니며, 적합한 방향으로 충분한 에너지를 가진 입자가 충돌하여야 반응이 일어난다.

03 충돌 속도가 충분히 크고 충돌 방향이 적합해야 화학 반응이 일어난다.

04 엔탈피 변화는 정반응의 활성화 에너지에서 역반응의 활성화 에너지를 뺀 값이다. 따라서 엔탈피 변화 $\Delta H = 235.2\ \text{kJ} - 428.4\ \text{kJ} = -193.2\ \text{kJ}$이다.

05 화학 반응에서 에너지가 가장 높은 불안정한 상태는 활성화 상태이다. (가)는 활성화 상태에 있는 불안정한 화합물인 활성화물이다.

06 ㄱ. 반응 엔탈피는 생성물의 엔탈피에서 반응물의 엔탈피를 뺀 값이다.

오답 피하기

ㄴ. 활성화 에너지가 커지면 반응 속도는 느려진다.

ㄷ. 이 반응에서는 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 크다.

07 ㄱ. 정반응의 반응 엔탈피는 $-Q\ \text{kJ}$로 발열 반응이다.

ㄴ. 역반응의 활성화 에너지는 정반응의 활성화 에너지와 반응 엔탈피를 합한 값이므로 $(E_a + Q)\ \text{kJ}$이다.

오답 피하기

ㄷ. 활성화 에너지는 온도의 영향을 받지 않는다.

08 활성화 에너지가 커지면 반응 가능한 분자 수가 감소하여 반응 속도가 느려진다. 반응 엔탈피는 활성화 에너지와 관련이 없다.

09 오답 피하기

ㄴ. 이 반응은 발열 반응이므로 반응이 진행되면 주위의 온도가 높아진다.

10 ㄱ. 엔탈피 변화는 생성물의 엔탈피에서 반응물의 엔탈피를 뺀 값이므로, 엔탈피 변화는 $-c$이다.

오답 피하기

ㄴ. 활성화 에너지 값은 온도와 관계없이 일정하다.

11 ㄱ. (가)는 활성화 상태로 반응물에 비해 불안정한 상태이다.

ㄷ. 반응 엔탈피(ΔH)는 (다)이므로 2 mol의 $H_2O(g)$가 생성될 때 (다) 만큼의 열이 발생한다.

오답 피하기

ㄴ. 정반응의 활성화 에너지는 (나)이다.

12 모범 답안 (1) 입자들이 적절한 방향으로 충돌해야 한다, 입자들이 활성화 에너지 이상의 에너지를 가져야 한다.

(2) 온도가 증가하면 입자의 평균 운동 에너지가 증가하고, 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 입자의 수가 증가하여 유효 충돌수가 증가한다. 따라서 반응 속도가 증가한다.

채점 기준		배점(%)
(1)	유효 충돌이 일어나기 위한 조건 2가지를 올바르게 서술한 경우	40
	유효 충돌이 일어나기 위한 조건 중 1가지만 올바르게 서술한 경우	20
(2)	온도가 증가할 때 반응 속도가 증가하는 까닭을 활성화 에너지와 관련지어 설명한 경우	60

13 모범 답안 (1) 반응 엔탈피는 정반응의 활성화 에너지에서 역반응의 활성화 에너지를 뺀 값이다. 그래프에서 역반응의 활성화 에너지가 정반응보다 크므로 반응 과정에서 에너지가 방출되고, $\Delta H < 0$이다.

(2) 반응 엔탈피 $\Delta H = -a\ \text{kJ} = (4x - 9x)\ \text{kJ} = -5x\ \text{kJ}$이므로 $x = \frac{a}{5}$이다. 정반응의 활성화 에너지는 $4x$이므로 $\frac{4}{5}a$로 나타낼 수 있다.

채점 기준		배점(%)
(1)	엔탈피 변화의 부호를 올바르게 판단하고, 그 까닭을 서술한 경우	50
	엔탈피 변화의 부호에 대한 판단만 옳은 경우	20
(2)	정반응의 활성화 에너지를 구하고, 풀이 과정을 쓴 경우	50
	풀이 과정 없이 정반응의 활성화 에너지만 구한 경우	20

03 반응 속도에 영향을 미치는 요인

탐구 리포트

| p.145~146 |

01 ② 02 ① 03 ④ 04 ③

01 제시된 그림은 고체의 표면적을 크게 하여 반응 속도를 증가시키는 예를 나타낸 것이다.

02 ㄱ. 온도가 높을수록, 표면적이 클수록 반응 속도가 빠르다.

오답 피하기

ㄴ. 활성화 에너지는 온도, 표면적, 반응물의 농도와 무관하다.

ㄷ. 실험 Ⅱ와 Ⅲ의 온도가 같으므로 반응 속도 상수의 값도 같다.

03 반응 속도가 초기 농도에 비례하므로 이 반응은 1차 반응이다. 1차 반응에서 반응 속도는 초기 농도와 반응 속도 상수에 비례하며, 온도가 높을수록 반응 속도가 빠르다.

04 온도가 증가하면 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자가 많아지므로 반응에 참여할 수 있는 분자 수가 많아진다. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아지므로 반응에 참여할 수 있는 분자 수가 증가한다.

05 ㄴ. 온도가 높아질수록 반응물의 충돌 횟수가 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. 활성화 에너지는 온도의 영향을 받지 않는다.

ㄷ. 온도와 반응 속도의 관계는 충돌 횟수와 활성화 에너지로 설명할 수 있다.

06 활성화 에너지는 온도와는 관련이 없고, 정촉매를 사용하면 감소한다. 활성화 에너지가 감소하면 반응 가능한 분자 수가 커지므로 반응 속도가 빨라진다.

07 ㄱ. 정반응의 활성화 에너지가 감소하였으므로 (가)에서 넣어 준 촉매는 정촉매이다.

오답 피하기

ㄴ. 촉매를 사용할 때 반응 엔탈피 값은 변하지 않는다.

ㄷ. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 감소하므로 역반응의 활성화 에너지는 (가)＜(나)이다.

08 촉매는 화학 반응 과정에서 자신은 소모되지 않으면서 반응 속도를 변화시킨다. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아져 반응 속도가 빨라지고, 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 커져 반응 속도가 느려진다.

내신 기초 문제

| p.148~149 |

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

01 ㄱ. (가)의 충돌 횟수는 1×1＝1이다.

ㄴ. 충돌 횟수는 (나)는 2, (다)는 4, (라)는 6이므로 (라)의 충돌 횟수가 가장 크다.

ㄷ. 입자의 충돌 횟수가 클수록 반응 속도가 빨라지므로 반응 속도는 (나)＜(다)＜(라)이다.

02 ㄷ. 일산화 탄소 중독 환자를 고압 산소를 이용하여 치료하는 것은 농도가 반응 속도에 영향을 미치는 현상이다.

오답 피하기

ㄱ, ㄴ. 상하기 쉬운 음식물을 냉장고에 보관하는 것과 압력밥솥에서 밥을 하는 것은 온도가 반응 속도에 영향을 미치는 현상이다.

03 온도가 높아지면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가하여 활성화 에너지 이상을 가지는 분자의 수가 많아진다. 결과적으로 반응 속도는 증가한다.

04 온도가 높아질수록 분자의 평균 운동 에너지는 증가한다. 운동 에너지가 큰 분자 수는 T_2에서가 T_1에서보다 크므로 반응 속도도 T_2에서가 T_1에서보다 빠르다.

내신 실전 문제

| p.150~153 |

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

01 ㄴ, ㄷ. 기체의 압력이 높을수록, 농도가 진할수록 입자 사이의 충돌수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

오답 피하기

ㄱ. 고체 물질은 입자가 고울수록 입자 간의 접촉 면적이 증가하여 표면에서 입자들의 충돌수가 많아져 반응 속도가 빨라진다.

02 ㄱ. 반감기가 10 s로 일정하므로 이 반응은 1차 반응이다.

ㄴ. 30 s일 때 반감기가 3번 지났으므로 $4.0\ \mathrm{M} \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 0.5\ \mathrm{M}$이다.

ㄷ. 농도가 진할수록 반응 속도가 빠르므로 A가 B보다 반응 속도가 빠르다.

03 고체의 표면적이 증가하면 입자 사이의 충돌수가 증가하여 반응 속도가 증가한다. 자동차에 촉매 변환 장치를 사용하는 것은 촉매가 반응 속도에 영향을 주는 현상이다.

문제 속 자료

고체 입자의 표면적



(가) (나)

- 한 변의 길이가 a인 정육면체 모양의 고체 입자의 표면적은 다음과 같다.
- (가) 표면적: $(a \times a) \times 6 = 6a^2$
- (나) 표면적: $(\frac{a}{2} \times \frac{a}{2}) \times 6 \times 8 = \frac{6}{4}a^2 \times 8 = 12a^2$

04 ㄱ, ㄴ. 농도가 증가하면 입자 사이의 충돌수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

ㄷ. 조각 상태일 때보다 가루 상태일 때 표면적이 더 커서 반응 속도가 더 빠르다.

05 ㄱ. 농도는 단위 부피당 입자 수에 비례한다.

ㄴ. 농도가 진할수록 반응 속도가 빠르다.

오답 피하기

ㄷ. 단위 부피당 입자 수가 많을수록 충돌하는 데 걸리는 시간은 짧아진다.

06 T_1에서 T_2로 변할 때 활성화 에너지는 일정하고, 평균 분자 운동 에너지가 커졌으므로 온도를 높여 준 것으로 유추할 수 있다. 온도가 높을수록 활성화 에너지보다 운동 에너지가 큰 분자 수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

07 ㄱ. 온도가 높을수록 평균 분자 운동 에너지가 크므로 온도는 $T_2 > T_1$이다.

오답 피하기

ㄴ. 온도가 높아지면 반응 속도 상수는 대체로 증가한다.

ㄷ. 온도가 높아지면 전체 분자의 충돌수가 증가한다.

08 온도를 높이면 분자의 에너지 분포가 A에서 B로 변한다. 풀무질을 하면 공기의 압력이 증가하여 반응 속도가 빨리진다. 염산에 대리석을 넣으면 쉽게 녹는 것은 산성비보다 염산의 산성도가 더 크기 때문이다.

09 ㄱ. 온도가 높아질수록 반응 속도가 빠르기 때문에 90 °C, 100 °C, 110 °C의 곡선은 각각 (가), (나), (다)이다.

ㄷ. 온도가 높아질수록 활성화 에너지보다 운동 에너지가 큰 분자 수가 많아지므로 유효 충돌의 수도 증가한다.

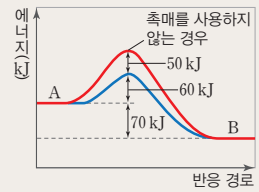
오답 피하기

ㄴ. 활성화 에너지는 온도에 관계없이 일정하다.

10 ㄱ. 반응 엔탈피는 정반응의 활성화 에너지에서 역반응의 활성화 에너지를 뺀 값이므로 −70 kJ이다.

ㄴ. 정촉매는 정반응과 역반응의 활성화 에너지를 낮추어 준다.

문제 속 자료



- 촉매를 사용하지 않을 때: 정반응의 활성화 에너지는 50+60=110 (kJ)이고, 역반응의 활성화 에너지는 50+60+70=180 (kJ)이다. 엔탈피 변화(ΔH)는 −70 kJ이다.
- 정촉매를 사용할 때: 정반응의 활성화 에너지는 60 kJ이고, 역반응의 활성화 에너지는 60+70=130 (kJ)이다. 엔탈피 변화(ΔH)는 −70 kJ이다.

11 오답 피하기

ㄱ. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 낮아지고, 반응 엔탈피는 변함이 없다.

ㄴ. 온도를 높여 주면 분자들의 평균 운동 에너지가 커진다.

12 (가)에서 (나)로 변할 때 활성화 에너지가 감소했으므로 정촉매를 넣어 준 것으로 유추할 수 있다. 정촉매를 넣어 주면 반응 엔탈피는 변함이 없고, 반응 속도는 빨라진다.

13 ㄱ. 촉매 X(s)를 사용하였을 때 초기 반응 속도가 증가하였으므로 X(s)는 정촉매이다.

오답 피하기

ㄴ. 분자의 평균 운동 에너지는 온도와 관련 있다.

ㄷ. X(s)는 정촉매, Y(s)는 부촉매이므로 활성화 에너지 크기는 (나)<(가)<(다)이다.

14 오답 피하기

ㄱ. E_3는 반응 엔탈피로, 촉매를 사용해도 변하지 않는다.

ㄴ. 활성화 상태는 결합이 완전히 끊어지지 않은 상태로 이 과정을 거치면 화학 반응이 일어난다. E_1은 결합 에너지이며, 활성화 에너지는 결합 에너지보다 작다.

15 모범 답안 (1) $T_1 < T_2$

(2) T_2에서 평균 운동 에너지가 T_1에서보다 크므로 온도는 $T_2 > T_1$이다. 온도가 높을수록 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 X 분자 수가 많고, 반응 속도가 빠르다. 따라서 T_2에서의 반응 속도가 T_1에서보다 빠르다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	부등호를 이용하여 T_1과 T_2에서의 평균 운동 에너지를 올바르게 비교한 경우	40
(2)	온도가 높을수록 활성화 에너지 이상의 분자 수가 많아짐을 근거로 들어 반응 속도는 T_2에서가 T_1에서보다 빠르다는 것을 서술한 경우	60
	반응 속도는 T_2에서가 T_1에서보다 빠르다는 것만 서술한 경우	30

16 모범 답안 (1) 금속 A, 금속 A는 화학 반응에 관여하였으나 양에는 변화가 없으며 전체 화학 반응식에도 나타나지 않았으므로 촉매 작용을 하였다.

(2) 정촉매를 사용하면 반응의 활성화 에너지가 감소한다. 활성화 에너지가 낮아지면 반응할 수 있는 입자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	금속 A가 촉매임을 쓰고, 그 까닭을 서술한 경우	60
	금속 A가 촉매인 것만 쓴 경우	30
(2)	정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 감소하여 반응할 수 있는 입자 수가 증가함을 서술한 경우	40

단원 마무리 문제

| p.156~159 |

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

01 ㄴ. 10 s~20 s 사이의 평균 반응 속도는

$\frac{(37-21)\,\text{mL}}{(20-10)\,\text{s}}=1.6\,\text{mL/s}$이다.

ㄷ. 반응이 진행될수록 일정 시간 동안에 발생하는 이산화 탄소의 부피는 점점 작아지므로 반응 속도 또한 점점 느려진다.

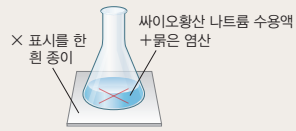
오답 피하기

ㄱ. 탄산 칼슘이 모두 반응할 때 발생하는 이산화 탄소의 부피가 74 mL이고 탄산 칼슘의 절반이 반응하면 37 mL의 이산화 탄소가 발생하므로 탄산 칼슘의 양이 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간은 20 s이다.

02 × 표시가 보이지 않게 된 시점 이후에도 반응물이 남아 있다면 반응이 더 진행된다.

문제 속 자료

앙금 생성 반응의 빠르기 구하기



- 싸이오황산 나트륨 수용액과 묽은 염산을 섞은 다음 삼각 플라스크 밑의 × 표시가 사라질 때까지 시간을 측정하면 반응의 빠르기를 구할 수 있다. 즉, 반응의 빠르기는 × 표시가 보이지 않을 때까지 걸린 시간으로 나타낼 수 있다.
- × 표시가 보이지 않는 시점을 일관되게 정해야 생성된 황(S)의 농도가 일정한 것으로 간주할 수 있다.

03 ㄴ. 30 min 후의 농도 변화량과 30 min에서 60 min 사이의 농도 변화량을 비교해 보면, A는 각각 1.0 M, 0.5 M, B는 각각 3.0 M, 1.5 M, C는 각각 2.0 M, 1.0 M이다. 따라서 시간이 지날수록 일정 시간 동안 농도의 변화량이 작아지므로 반응 속도가 점점 느려진다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 초기 농도 6.0 M 중에서 반응하고 남은 농도가 1.5 M일 때의 농도 변화량이므로 4.5 M이다.

ㄷ. 평균 반응 속도는 농도의 변화량에 비례한다. 30 min 후의 농도 변화량은 A, B, C가 각각 1.0 M, 3.0 M, 2.0 M이므로 0~30 min 사이의 평균 반응 속도비 A : B : C = 1 : 3 : 2이다.

04 ㄱ. NO와 CO_2의 계수비가 1 : 1이므로 두 물질의 생성 속도는 같다.

ㄴ. t s에서 순간 반응 속도는

$\frac{(0.025-0.01)\,\text{M}}{(50-0)\,\text{s}}=3.0\times10^{-4}\,\text{M}\cdot\text{s}^{-1}$이다.

ㄷ. 순간 반응 속도는 접선의 기울기, 평균 반응 속도는 두 점을 연결하는 직선의 기울기와 같다. 50 s에서의 기울기가 50 s~150 s에서의 기울기보다 크므로 50 s에서의 순간 반응 속도가 50 s~150 s에서의 평균 반응 속도보다 빠르다.

05 모범 답안 실험 (가)와 (나)에서 $[NH_4^+]$는 일정하고 $[NO_2^-]$가 2배로 증가할 때 반응 속도가 2배가 되었으므로 NO_2^-에 대하여 1차 반응이다. 실험 (나)와 (다)에서 $[NO_2^-]$는 일정하고 $[NH_4^+]$가 2배로 증가할 때 반응 속도가 2배가 되었으므로 NH_4^+에 대하여 1차 반응이다. 따라서 전체 반응 차수는 1 + 1 = 2이다.

채점 기준	배점(%)
전체 반응 차수를 올바르게 구하고, 풀이 과정을 서술한 경우	100
전체 반응 차수만을 올바르게 구한 경우	40

06 ㄱ. 주어진 반응 속도식이 $v=k[A]$이므로 이 반응은 1차 반응이다.

ㄴ. 온도와 부피가 일정하므로 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례한다. 초기 A(g)의 양(mol)을 $4n$ mol이라고 하면 t일 때 A(g)의 양(mol)은 $2n$ mol, B(g)의 양(mol)은 $2n$ mol, C(g)의 양(mol)은 n mol이다. 따라서 t일 때 A(g)의 몰분율은 $\frac{2n}{2n+2n+n}=\frac{2}{5}$이다.

오답 피하기

ㄷ. 이 반응의 반감기는 t이므로 $3t$일 때 A(g)의 부분 압력은 $2t$일 때의 절반인 0.5이다.

07 ㄴ. $0\sim2t$ 동안 A(g)의 평균 반응 속도$=\frac{0.6\text{ M}}{2t}$이고, $t\sim2t$ 동안 A(g)의 평균 반응 속도$=\frac{0.2\text{ M}}{t}$이므로 $\frac{t\sim2t\text{ 동안 A}(g)\text{의 평균 반응 속도}}{0\sim2t\text{ 동안 A}(g)\text{의 평균 반응 속도}}=\frac{2}{3}$이다.

오답 피하기

ㄱ. 순간 반응 속도는 그래프에서 접선의 기울기로 구할 수 있다. t와 $2t$에서 접선의 기울기는 다르므로 순간 반응 속도도 다르다.

ㄷ. 1차 반응일 경우 온도가 일정하면 반응물의 초기 농도와 관계없이 반감기가 일정하다.

08 화학 반응이 일어나기 위해서는 분자들이 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충돌해야 하고, 분자를 구성하는 원자들 사이의 결합을 끊을 때 필요한 에너지를 가지고 충돌해야 한다. 즉, 유효 충돌을 해야 한다.

09 ㄱ. (가)는 화학 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지인 활성화 에너지이다.

ㄴ. 정반응의 활성화 에너지 (가)의 값이 커지면 역반응의 활성화 에너지 (나)의 값도 커진다.

ㄷ. 반응물이 가진 에너지보다 생성물이 가진 에너지가 더 크므로 반응이 진행될 때 반응열 (다)가 흡수된다.

10 활성화 에너지는 온도와는 관계없다. 이 반응에서 역반응의 활성화 에너지는 E_a', 정반응의 활성화 에너지는 E_a이고, $E_a'>E_a$이다.

11 단위 부피 속에 들어 있는 입자 수는 (가)<(나)이고, 농도는 단위 부피당 입자 수에 비례하므로 (가)<(나)이다. 단위 부피 속에 들어 있는 입자 수가 많을수록 충돌하는 데 걸리는 시간은 짧아지고, 반응 속도가 빨라진다.

12 이 반응은 반응 속도가 [KIO_3]에 비례하는 1차 반응이다. 반응 속도가 빠를수록 용액의 색이 청람색으로 변하는 데 걸린 시간이 짧으므로 실험 Ⅰ의 반응 속도가 가장 빠르다. 이 실험을 통해 반응물의 농도가 반응 속도에 미치는 영향을 알 수 있다.

13 모범 답안 (1) $T_1<T_2$

(2) 온도가 높아지면 분자의 평균 운동 에너지가 증가하므로 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다. 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수는 $T_1<T_2$이므로 반응 속도는 $T_1<T_2$이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	부등호를 이용하여 T_1과 T_2의 온도를 올바르게 비교한 경우	40
(2)	온도가 높을수록 활성화 에너지 이상의 분자 수가 많아짐을 근거로 들어 T_2에서의 반응 속도가 T_1에서보다 빠르다는 것을 서술한 경우	60
	T_2에서의 반응 속도가 T_1에서보다 빠르다는 것만 서술한 경우	30

14 ㄱ. 온도가 높아지면 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

오답 피하기

ㄴ. 전체 분자의 충돌수는 온도가 높아지면 증가한다.

ㄷ. 활성화 에너지는 온도와 관계없이 일정하다.

15 모범 답안 (1) 정촉매: A, B, C, 부촉매: D

(2) 정촉매를 첨가하면 활성화 에너지가 감소하여 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 분자의 수가 증가하므로 유효 충돌수가 증가하고, 반응 속도가 빨라진다. 반면, 부촉매를 첨가하면 활성화 에너지가 증가하여 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 분자의 수가 감소하므로 유효 충돌수가 감소하고, 반응 속도가 느려진다.

채점 기준		배점(%)
(1)	정촉매와 부촉매를 올바르게 구분하여 쓴 경우	40
(2)	정촉매와 부촉매가 반응 속도에 미치는 영향을 활성화 에너지와 관련지어 서술한 경우	60
	정촉매와 부촉매가 반응 속도에 미치는 영향 중 한 가지만을 활성화 에너지와 관련지어 서술한 경우	30

16 ㄴ. 정촉매를 첨가하면 활성화 에너지가 감소하고, 부촉매를 첨가하면 활성화 에너지가 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. 촉매를 첨가해도 반응 엔탈피 값은 변하지 않는다.

ㄷ. 부촉매를 첨가하면 정반응과 역반응의 속도가 모두 느려진다.

memo

