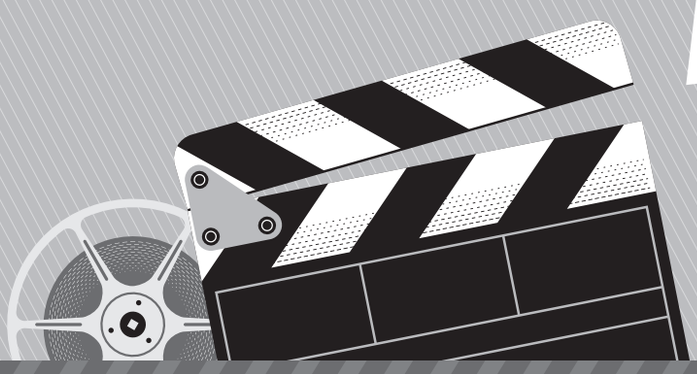
EBS 수능완성 화학 Ⅱ

정답과 해설



Ⅰ. 다양한 모습의 물질

THEME 01

기체

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 8쪽

정답 ②

정답맞히기 ㄴ. AH_4는 무극성 분자이고 BH_3보다 분자량도 작으므로 기준 끓는점은 BH_3보다 낮아야 한다. 따라서 $y<-87.7$이다.

오답피하기 ㄱ. H_2D와 H_2C는 16족 원소의 수소 화합물이고 H_2D의 끓는점이 H_2C에 비해 매우 높은 것으로 보아 D는 2주기 원소인 O이고 C는 3주기 원소인 S이다. 따라서 H_2D의 분자량은 H_2C보다 작아서 $x<17$이다.

ㄷ. BH_3는 3주기 15족 원소의 수소 화합물인 PH_3이므로 액체 상태에서 분자 사이에 수소 결합이 존재하지 않는다.

테마별 수능 필수유제 본문 9~11쪽

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

01 분자 간 힘

해설 | 분자의 쌍극자 모멘트가 0인 분자는 무극성 분자, 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 아닌 분자는 극성 분자이다.

정답맞히기 ㄴ. 극성 분자는 분자의 쌍극자 모멘트가 0보다 크다. (나)와 (다)는 분자의 쌍극자 모멘트가 0보다 크므로 극성 분자이다.

ㄷ. (나)와 (다) 중 분자량이 작은 (다)가 (나)보다 기준 끓는점이 높은 이유는 (다)가 수소 결합을 하는 분자이기 때문이다.

오답피하기 ㄱ. 액체 상태에서 분산력은 극성, 무극성 분자 모두에게서 작용하는 힘이므로 3가지 분자 모두 분산력이 작용한다.

02 할로젠화 수소의 분자 간 힘

해설 | 할로젠화 수소의 분자 사이의 인력은 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘, 수소 결합을 모두 고려한다.

정답맞히기 ㄴ. HA는 분자량이 가장 작은데 기준 끓는점은 가장 높다. 그 이유는 HA 분자 사이에 수소 결합을 이루기 때문이다. 따라서 A는 플루오린(F)이므로 전기 음성도는 B(Cl)보다 크다.

ㄷ. 기준 끓는점은 HC가 HB보다 높으므로 액체 상태에서 분자 사이에 작용하는 힘은 HC가 HB보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 분자량이 HD가 HA보다 크므로 액체 상태에서 분산력은 HD가 HA보다 크다.

03 기체의 성질

해설 | 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피와 압력은 반비례하므로 보일 법칙이 적용되고, 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피와 절대 온도는 비례하므로 샤를 법칙이 적용된다.

정답맞히기 ㄱ. 대기압이 1기압이므로 추 1개의 압력은 0.5기압이다. 따라서 a는 $2(=1.5+0.5)$이다.

ㄴ. 보일 법칙($P_1V_1=P_2V_2$)에 따라 $1.5\times1=2\times b$이므로 b는 0.75이다.

ㄷ. 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피와 절대 온도가 비례하는 샤를 법칙$\left(\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}\right)$에 따라 $\frac{0.75}{300}=\frac{1}{T}$이므로 T는 400이다.

04 기체의 온도와 부피

해설 | 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례하며, 기체의 온도가 1℃ 상승할 때마다 0℃ 때 부피의 $\frac{1}{273}$씩 증가한다.

정답맞히기 ㄱ. 기체의 온도가 1℃ 상승할 때마다 0℃ 때 부피의 $\frac{1}{273}$씩 증가하므로 100℃일 때 부피 $V_2=V_1+\left(\frac{1}{273}V_1\times100\right)=\frac{373}{273}V_1$이다.

ㄴ. 온도가 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례한다. 1기압, 0℃일 때 X(g) 1몰의 부피가 V_1 L이므로 0.5기압, 0℃일 때 X(g) 1몰의 부피는 $2V_1$ L이다.

오답피하기 ㄷ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 기체의 몰수가 일정할 때 절대 온도(T)에 따른 기체의 부피(V) 그래프에서의 ㉠의 기울기$\left(\frac{nR}{P}\right)$는 기체의 압력과 반비례한다. 따라서 ㉠의 기울기는 2기압일 때가 1기압일 때보다 작다.

05 부분 압력 법칙

해설 | 혼합 기체의 전체 압력은 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같으며, 성분 기체의 몰 분율은 성분 기체의 몰수를 전체 기체의 몰수로 나눈 값이다.

정답맞히기 ㄱ. (다)에서 X의 몰 분율$=\frac{\text{X의 몰수}}{\text{X의 몰수}+\text{Y의 몰수}}=\frac{8}{8+4}=\frac{2}{3}$이다.

ㄴ. Y의 분자 수는 (나)에서와 (다)에서가 같고, (다)에서의 부피가 (나)에서의 2배이므로 단위 부피당 Y 분자 수는 (나)에서가 (다)에서의 2배이다.

오답피하기 ㄷ. 보일 법칙에 의해 X의 압력은 (가)에서가 (다)에서의 2배이고, Y의 압력도 (나)에서가 (다)에서의 2배이므로 (다)에서 혼합 기체의 전체 압력은 (가)에서와 (나)에서의 압력을 합한 값의 $\frac{1}{2}$배이다.

06 이상 기체 방정식

해설 | 기체의 몰수는 $\frac{PV}{T}$에 비례한다. 몰수 비는 X : Y $=\frac{1\times2}{200}:\frac{2\times3}{400}=2:3$이다.

정답맞히기 ㄱ. 기체의 분자 수는 $\frac{PV}{T}$에 비례한다. 혼합 전 기체 X와 혼합 후 혼합 기체의 몰수 비로부터 혼합 기체의 압력을 구할 수 있다. 혼합 기체의 압력을 P기압이라고 하면, 기체의 몰수 비는

$X(g)$: 혼합 기체 $=2:5=\frac{1\times2}{200}:\frac{P\times5}{300}$이므로 $P=1.5$이다.

ㄴ. 혼합 전과 후 성분 기체의 몰수는 변하지 않는다. 용기 (가)와 (나)에 $X(g)$와 $Y(g)$가 균일하게 혼합되므로 Y의 몰 분율은 $\frac{3}{5}$이다.

ㄷ. 용기 (가)와 (나)에는 $X(g)$와 $Y(g)$가 균일하게 혼합되어 있으므로 용기 (가)와 (나)에 들어 있는 X의 분자 수는 용기의 부피에 비례한다. 따라서 X의 분자 수 비는 (가) : (나) $=2:3$이다.

07 기체의 성질

해설 | (나)에서 콕 a를 열게 되면 기체 HCl와 NH_3는 다음과 같이 반응하여 고체 물질 NH_4Cl을 만든다.

$HCl(g)+NH_3(g)\longrightarrow NH_4Cl(s)$

따라서 반응 몰수 비는 $HCl(g):NH_3(g)=1:1$이다.

(다)에서 남아 있는 기체는 어떤 한 기체만 남아 있게 되므로 남아 있는 기체가 처음 넣었을 때 과량으로 들어 있는 기체임을 알 수 있다. (다)에 남아 있는 기체의 압력과 부피의 곱이 (가)의 $HCl(g)$의 압력과 부피의 곱보다 크므로 $HCl(g)$가 반응 과정에서 모두 소모되고 (다)에는 $NH_3(g)$만 남아 있는 것이다.

정답맞히기 ㄴ. (다)에서 남아 있는 기체는 $NH_3(g)$이므로 $NH_3(g)$가 과량으로 들어 있음을 알 수 있다. (나)에서는 (다)의 아래 용기에서의 압력과 같고 부피는 2 L가 추가되고, $HCl(g)$와 반응한 $NH_3(g)$의 몰수를 더하면 압력과 부피의 곱은 (2기압×3 L)+(2기압×2 L)+(2기압×2 L)=x기압×3 L이다. 따라서 x는 $\frac{14}{3}$이다.

오답피하기 ㄱ. (다)에서 남아 있는 기체의 몰수(압력×부피에 비례)가 (가)에서의 $HCl(g)$의 몰수보다 크므로 (다)에 남아 있는 기체는 $NH_3(g)$임을 알 수 있다. 따라서 Y는 NH_3이다.

ㄷ. (나)에서는 $HCl(g)$가 모두 반응하고 $NH_3(g)$만 남아 있다. 온도와 압력이 일정할 때 기체의 부피 비는 몰수 비에 해당하므로 위쪽과 아래쪽 용기에 존재하는 기체의 몰수 비는 2 : 3이다.

08 기체의 확산

해설 | $X(g)$와 $Y(g)$가 들어 있는 실린더는 1기압으로 압력이 같고, 부피 비가 1 : 2이므로 몰수 비는 1 : 2이다. $X(g)$와 $Y(g)$가 반응하여 물질이 생성되는 지점인 P까지의 거리 비는 확산 속도 비와 같고, 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례한다.

정답맞히기 ㄱ. 온도가 일정하므로 실린더에 들어 있는 기체의 분자 수 비는 압력과 부피의 곱의 비로 나타낼 수 있으므로 분자 수 비는 X : Y $=1:2$이다.

오답피하기 ㄴ. 각 기체의 질량을 분자량(M_X, M_Y)으로 나누면 분자 수 비를 나타낼 수 있으므로 $\frac{1}{M_X}:\frac{8}{M_Y}=1:2$가 되어 $M_X:M_Y=1:4$이다.

ㄷ. $a:b$는 같은 시간 동안 $X(g)$와 $Y(g)$가 이동한 거리의 비이다. 같은 시간 동안 기체가 이동한 거리는 속도에 비례하고 분자의 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례한다. 따라서 $a:b=\frac{1}{1}:\frac{1}{\sqrt{4}}=2:1$이다.

09 이상 기체 방정식

해설 | 이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 온도가 일정할 때 $P\propto n$이다. 따라서 몰수 비는 (가) : (나) : (다) $=4:1:1$이다. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 $n=\frac{w}{M}$이므로 $PV=\frac{w}{M}RT$이다. 따라서 $PM=\frac{w}{V}RT$이며, $d=\frac{w}{V}$이므로 $PM=dRT$이다.

정답맞히기 ㄴ. 온도가 일정할 때 기체 분자의 평균 운동 속력은 분자량의 제곱근에 반비례한다. 따라서 분자량은 A_2가 AB보다 작으므로 기체 분자의 평균 운동 속력은 (가)에서가 (다)에서보다 크다.

오답피하기 ㄱ. $PM=dRT$이므로 온도가 일정할 때 밀도는 압력과 분자량의 곱에 비례한다. 따라서 기체의 밀도 비는 (가) : (나) $=2\times14:1\times16=7:4$이다.

ㄷ. (나)와 (다)는 온도, 압력, 부피가 같으므로 분자의 몰수가 같다. 따라서 분자량이 더 작은 AB가 평균 운동 속력이 더 크므로 단위 시간당 용기 벽에 충돌하는 기체 분자 수는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

10 보일·샤를 법칙

해설 | 이상 기체 방정식 $PV=nRT=\frac{w}{M}RT$에서 기체의 몰수는 $\frac{PV}{T}$에 비례하고 기체의 질량이 같을 때 몰수는 분자량에 반비례한다. 따라서 같은 질량의 기체 A~C의 [압력×부피], 절대 온도, 몰수, 분자량의 상댓값은 다음과 같다.

기체	압력×부피	절대 온도	몰수	분자량
A	2	1	2	1
B	1	1	1	2
C	3	3	1	2

정답맞히기 ㄴ. 기체의 몰수(n)는 $\frac{PV}{T}$에 비례하므로 몰수 비는 B : C $=\frac{b}{a}:\frac{3b}{3a}=1:1$이다.

ㄷ. 같은 온도 a K에서 PV값의 비는 A : B $=2:1$이므로 같은 압력에서 부피 비는 A : B $=2:1$이다. 밀도 $=\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$이고, 질량은 A와 B가 같으므로 밀도는 부피에 반비례한다. 따라서 같은 온도와 압력에서 기체의 밀도 비는 A : B $=1:2$이므로 기체의 밀도는 B가 A의 2배이다.

오답피하기 ㄱ. 기체의 질량이 같을 때 분자량은 몰수에 반비례한다. 몰수는 $\frac{PV}{T}$에 비례하므로 몰수 비는 A : C $=\frac{2b}{a}:\frac{3b}{3a}=2:1$이다. 따라서 분자량 비는 A : C $=1:2$이므로 분자량은 C가 A의 2배이다.

11 기체의 성질

해설 | 강철 용기는 부피가 변하지 않으므로 온도를 높이면 압력이 증가하고, 실린더는 압력이 변하지 않으므로 온도를 높이면 부피가 증가한다.

정답맞히기 ㄴ. 온도를 $2T$ K으로 높여 주면 (가)에서는 부피가 일정하므로 압력이 2배로 되어 1기압이 되고, (나)에서는 부피가 2배로 되면서 압력은 1기압으로 일정하게 유지된다. 따라서 온도가 $2T$ K일 때 기체의 압력은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄷ. 온도를 $3T$ K으로 높여 주면 (가)에서는 부피가 5 L로 일정하게 유지되지만, (나)에서는 압력이 1기압으로 유지되므로 부피가 3배인 15 L가 된다. $Ne(g)$의 몰수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 질량도 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. 따라서 기체의 밀도는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 기체의 온도(T)가 일정할 때 압력과 부피의 곱(PV)은 몰수(n)에 비례한다. 같은 온도에서 기체의 몰수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 압력과 부피의 곱(PV)도 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. 따라서 (가)에서 $Ne(g)$의 압력은 0.5기압이다.

12 보일 법칙

해설 | 온도(T)가 일정할 때 압력과 부피의 곱(PV)은 몰수(n)에 비례하므로 몰수 비는 $He(g):Ne(g)=4:3$이다. (나)에서 고정 장치를 풀면 $He(g)$과 $Ne(g)$의 압력이 같아지므로 부피(V)는 몰수(n)에 비례한다. 따라서 부피 비는 $He(g):Ne(g)=4:3$이 되므로 $He(g)$, $Ne(g)$의 부피는 각각 $\frac{20}{7}$ L, $\frac{15}{7}$ L이다. (다)에서 $Ne(g)$의 일부를 빼내어 1기압으로 만들면 $He(g)$의 압력도 1기압이 된다. $He(g)$의 몰수는 변함없으므로 일정한 온도에서 PV는 일정하다. 처음 $He(g)$의 PV는 4(기압·L)이므로 $4=1\times V_{He}$이고, $V_{He}=4$ L이다. 따라서 $Ne(g)$의 부피는 1 L이다.

정답맞히기 ㄱ. (나)에서 고정 장치를 풀면 기체의 부피 비는 $He(g):Ne(g)=4:3$이 되므로 $He(g)$의 부피는 $\frac{20}{7}$ L이다. (가)와 (나)에서 $He(g)$의 온도와 몰수가 일정하므로 PV는 일정하다. 따라서 $2\times2=P_{He}\times\frac{20}{7}$이므로 $P_{He}=1.4$기압이다.

ㄴ. 온도(T)가 일정할 때 PV는 n에 비례하므로 (가)에서 $Ne(g)$의 몰수를 $3n$몰이라고 하면, (나)에서도 $Ne(g)$의 몰수는 $3n$몰이다. (다)에서 $Ne(g)$의 일부를 빼내었을 때 부피 비는 $He(g):Ne(g)=4:1$이고, $He(g)$의 몰수가 $4n$몰이므로 $Ne(g)$의 몰수는 n몰이다. 따라서 $Ne(g)$의 분자 수 비는 (나):(다)=3:1이다.

ㄷ. $He(g)$의 부피는 (나)에서 $\frac{20}{7}$ L이고, (다)에서 4 L이므로 $He(g)$의 부피 비는 (나):(다)$=\frac{20}{7}:4=5:7$이다.

테마별 수능 심화문제 본문 12~14쪽

13 ③ 14 ② 15 ③ 16 ③ 17 ⑤ 18 ①

13 이상 기체 방정식

해설 | 이상 기체 방정식을 변형한 식 $PM=dRT$에서 분자량(M)은 $\frac{dT}{P}$에 비례한다. 따라서 분자량 비는 A : B : C : D $=\frac{3\times100}{1}:\frac{2\times200}{1}:\frac{2\times100}{2}:\frac{1\times200}{2}=3:4:1:1$이다.

정답맞히기 ㄱ. 분자량은 $\frac{dT}{P}$에 비례하므로 분자량의 비는 A : D $=\frac{3\times100}{1}:\frac{1\times200}{2}=3:1$이다.

ㄷ. $PM=dRT$에서 온도와 압력이 같을 때 밀도는 분자량에 비례한다. 따라서 200 K, 2기압에서 밀도 비는 B : C $=4:1$이다.

오답피하기 ㄴ. 평균 운동 속력은 절대 온도의 제곱근에 비례하고, 분자량의 제곱근에 반비례한다. 따라서 A~D의 평균 운동 속력의 상댓값은 각각 $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{2}{4}}=\sqrt{\frac{1}{2}}$, $\sqrt{\frac{1}{1}}$, $\sqrt{\frac{2}{1}}$이므로 분자의 평균 운동 속력은 D가 가장 크다.

14 기체의 성질

해설 | 일정한 부피에서 일정량의 기체의 압력은 절대 온도에 비례하며, 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다.

정답맞히기 ㄴ. (가)에서 기체의 부피와 밀도가 같으므로 A에서와 B에서의 질량은 같다. 온도 t℃에서 $He(g)$의 밀도가 A에서가 B에서보다 큰 것은 기체의 부피가 B에서가 A에서보다 크기 때문이다. 따라서 단위 부피당 기체 분자 수는 밀도가 큰 A에서가 B에서보다 크다.

오답피하기 ㄱ. (가)에서 A, B에는 같은 기체가 들어 있고, 기체의 온도와 밀도가 같으므로 기체의 압력은 실린더 외부의 압력과 같다. A에서는 일정한 부피에서 온도를 높였으므로 기체 분자의 운동 에너지와 운동 속력이 빨라져 기체의 압력이 증가한다. 그러나 B에서는 온도를 높이면 기체의 부피가 증가하므로 압력이 일정하게 유지된다. 따라서 기체의 압력은 A에서가 B에서보다 크다.

ㄷ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. 기체의 온도가 같으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 A에서와 B에서가 같다.

15 기체 분자의 평균 운동 속력

해설 | 분자의 평균 운동 속력은 $B(T_1)>A(T_2)>A(T_1)$이므로 분자량은 A가 B보다 크다. $A(T_1)$와 $A(T_2)$는 서로 다른 온도에서 분자 운동 속력에 따른 기체 A의 분자 수의 분포를 나타내므로 T_2가 T_1보다 높다. 같은 기체일 경우 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 운동 속력이 크고, 서로 다른 기체일 경우 온도가 일정할 때 분자량이 작을수록 평균 운동 속력이 크다.

정답맞히기 ㄱ. 온도가 같으면 기체 분자의 평균 운동 속력은 분자량의

제곱근에 반비례한다. T_1에서 평균 운동 속력은 B가 A의 2배이므로 평균 운동 속력 비는 $v_A : v_B = 1 : 2 = \frac{1}{\sqrt{M_A}} : \frac{1}{\sqrt{M_B}}$에서 분자량 비는 $M_A : M_B = 4 : 1$이다.

ㄷ. T_1에서 A, B의 평균 운동 속력은 각각 v_1, $2v_1$로 B가 A의 2배이므로 T_2에서도 평균 운동 속력은 B가 A의 2배이다.

오답피하기 ㄴ. T_2가 T_1보다 높으므로 분자의 평균 에너지는 T_2에서의 A가 T_1에서의 B보다 크다.

16 부분 압력 법칙

해설 | 온도가 일정할 때 압력과 부피의 곱은 기체의 몰수에 비례하는 것을 이용하여 전체 기체의 몰수와 A의 몰 분율을 구할 수 있다. 서로 다른 압력의 혼합 기체에서 부분 압력이 같은 기체의 압력을 미지수로 나타내고 이를 통하여 콕을 연 이후의 몰 분율로 나타낼 수 있는지를 확인한다.

정답맞히기 콕을 열기 전 B의 부분 압력을 x기압이라고 하고, 두 용기의 부피를 각각 1 L라고 하면 혼합 후 A의 몰 분율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$\frac{\text{A의 몰수(몰)}}{\text{전체 기체의 몰수}} = \frac{(3-x)+(2-x)}{(3-x)+x+(2-x)+x} = \frac{5-2x}{5} = \frac{2}{5}$이므로 $x = 1.5$이다. 따라서 콕을 열기 전 용기 (가)에서 A 1.5기압, B 1.5기압, (나)에서 A 0.5기압, B 1.5기압이다. 콕을 열기 전 (가)에서 B의 몰 분율은 0.5이고, (나)에서 B의 몰 분율은 0.75이므로 B의 몰 분율의 비는 (가) : (나) = 2 : 3이다.

17 기체의 성질

해설 | 온도가 일정한 상태에서 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례한다. 따라서 A(g)와 B(g)의 몰수 비는 2 : 1이다. 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도가 2배가 되면 샤를 법칙에 따라 2배가 된다.

정답맞히기 ㄱ. 일정한 온도에서 기체의 분자 수는 압력과 부피의 곱에 비례하므로 (가)에서 A(g)와 B(g)의 몰수 비는 2 : 1이다.

ㄴ. (가)에서 A(g)와 B(g)의 몰수를 각각 $2n$, n이라고 하면 화학 반응식 $2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$에 따라 생성된 C($g$)의 몰수는 $2n$이 된다. 따라서 C(g)의 부피는 1기압에서 2 L가 되어야 하므로 강철 용기의 부피 1 L, 실린더 내 부피 1 L에 C(g)가 존재하게 된다.

ㄷ. (나)에서 기체 C의 전체 부피는 2 L이고, 실린더 내 기체의 부피는 1 L이다. 샤를 법칙에 따라 절대 온도가 2배 증가하면 기체의 부피는 2배가 되므로 (다)에서 기체 C의 전체 부피는 4 L이고, 실린더 내 기체의 부피는 3 L가 된다.

18 보일 법칙과 샤를 법칙

해설 | 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피의 관계는 보일 법칙으로 설명할 수 있고, 일정한 압력에서 일정량의 기체의 온도와 부피의 관계는 샤를 법칙으로 설명할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 이상 기체 방정식 $PV = nRT$에서 $n = \frac{w}{M}$이므로 $PV = \frac{w}{M}RT$이고, $M = \frac{wRT}{PV}$이다. B에서 1기압, 6 L, 300 K이고 기체 X의 질량은 5 g이므로 X의 분자량은

$M = \frac{wRT}{PV} = \frac{5\text{ g} \times 0.08\text{기압·L/몰·K} \times 300\text{ K}}{1\text{기압} \times 6\text{ L}} = 20(\text{g/몰})$이다.

오답피하기 ㄴ. C → D 과정은 일정한 압력에서 일정량의 기체 X의 온도와 부피가 비례하므로 샤를 법칙으로 설명할 수 있다.

B → C 과정은 기체의 압력이 달라지므로 샤를 법칙으로 설명할 수 없다.

ㄷ. A~D의 온도는 각각 300 K, 300 K, 900 K, 450 K이므로 A~D 중 온도는 C에서가 가장 높다.

THEME 02

액체와 고체

달은 골 문제로 유형 익히기 본문 17쪽

정답 ②

정답맞히기 ㄷ. 분자 사이의 평균 거리는 부피가 클수록, 즉 밀도가 작을수록 멀어진다. 따라서 분자 사이의 평균 거리는 A > B > C이다.

오답피하기 ㄱ. 0℃ 얼음이 녹아 0℃ 물이 될 때 얼음의 결정 구조를 이루는 수소 결합(결합 b)의 일부가 끊어져서 부피는 감소하고 밀도는 증가한다.

ㄴ. A에서 B로 변할 때는 상태 변화가 일어나면서 수소 결합(결합 b)의 일부가 끊어지고, B에서 C로 변할 때는 온도가 높아짐에 따라 물 분자의 운동이 활발해져서 수소 결합의 일부가 끊어진다. 따라서 분자 1개당 결합 b의 평균 개수는 A > B > C이다.

테마별 수능 필수유제 본문 18~19쪽

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

01 3가지 결정의 성질

해설 | 액체 상태에서 전기 전도성이 있는 물질은 이온 결정인 염화 나트륨(NaCl)이다. 구성 원자 간 공유 결합을 형성하는 물질은 분자 결정인 얼음(H_2O)과 원자 결정인 석영(SiO_2)이다.

정답맞히기 ㄴ. (나)는 H_2O과 SiO_2이므로 구성 원자 간 공유 결합을 형성한다.

오답피하기 ㄱ. (가)는 NaCl이다. NaCl 결정은 양이온 Na^+과 음이온 Cl^-이 전기적 인력으로 결합되어 이루어진 결정이므로 이온 결정이다.

ㄷ. (나)인 H_2O과 SiO_2은 모두 결정성 고체로 결정을 구성하는 입자 간 인력이 일정하므로 녹는점이 일정하다.

02 물의 비열과 상태 변화 에너지

해설 | 일정량의 H_2O을 일정한 열원으로 가열할 때 시간에 따른 온도를 나타낸 그래프에서 경사 구간은 고체, 액체, 기체 중 1가지 상태인 H_2O의 온도가 변하는 구간이고, 수평 구간은 상태가 변하는 구간이다. 각 상태에 해당하는 H_2O의 비열은 경사 구간의 기울기로부터 비교할 수 있고, 상태 변화에 필요한 에너지는 수평 구간의 길이로부터 비교할 수 있다.

정답맞히기 ㄷ. 얼음의 비열은 얼음 1 g을 1℃ 높이는 데 필요한 에너지이므로 $\frac{a\times10^3\,\mathrm{J}}{5\,\mathrm{g}\times20^\circ\mathrm{C}}=10a\,\mathrm{J/g\cdot^\circ C}$이다.

오답피하기 ㄱ. 0℃에서의 수평 구간의 길이는 얼음에서 물로 상태 변화할 때 필요한 열인 융해열의 크기에 비례하고, 100℃에서의 수평 구간의 길이는 물에서 수증기로 상태 변화할 때 필요한 열인 기화열의 크기에 비례한다. 따라서 기화열이 융해열보다 크다.

ㄴ. A에서는 0℃ 얼음이 존재하고, B에서는 0℃ 물이 존재한다. 1기압에서 같은 질량의 얼음은 물보다 부피가 크므로 밀도는 A에서가 B에서보다 작다.

03 물의 수소 결합과 표면 장력

해설 | 표면 장력은 액체가 표면적을 최소화하려는 힘을 말하며, 표면 장력이 클수록 액체 방울의 모양이 구형에 가깝다.

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 물과 에탄올의 온도를 높이면 물과 에탄올의 표면 장력은 감소하여 두 액체 방울은 더 넓게 퍼지게 된다.

ㄷ. (나)에서 물방울의 모양이 둥근 것은 물의 표면 장력이 크기 때문이다. 물은 분자 간의 수소 결합 때문에 다른 물질에 비해 분자 사이의 인력이 크므로 표면 장력이 크다. 따라서 물방울의 모양이 둥근 것은 수소 결합인 결합 A와 관련이 있다.

오답피하기 ㄱ. 물이 증발하여 수증기가 되는 것은 상태 변화이므로 물이 증발할 때 분자 간 인력인 결합 A가 끊어지고, 분자 내 결합인 결합 B는 끊어지지 않는다.

04 금속 결정과 이온 결정

해설 | (가)는 M의 금속 결정이고, (나)는 M의 염화물의 이온 결정이다. 금속 결정은 양전하를 띠는 금속 양이온과 음전하를 띠는 자유 전자로 구성되어 있고, 이온 결정은 양이온과 음이온이 전기적 인력으로 결합되어 이루어진 결정이다. A는 자유 전자, B는 금속 양이온, C는 음이온이다.

정답맞히기 ㄴ. 이온 결합 물질에 힘을 가하면 이온의 층이 밀리면서 두 층의 경계면에서 같은 전하를 띤 이온들 사이의 반발력이 작용하여 쉽게 부스러진다.

오답피하기 ㄱ. A는 자유 전자이고, C는 음이온이다.

ㄷ. 전압을 걸어 주면 자유 전자(A)는 (+)극 쪽으로 이동하지만, 금속 양이온(B)은 (−)극 쪽으로 이동하지 않는다.

05 모세관 현상

해설 | 가설을 검증하기 위해서는 가설에서 제안한 조건을 제외한 나머지 실험 기구나 상황은 동일해야 한다.

정답맞히기 [가설]에서 온도가 높아지면 유리 모세관 속 수면의 높이가 낮아지는 조건이 필요하므로 25℃보다 높은 온도의 물이 필요하다.

오답피하기 온도 조건 이외에 다른 실험 조건과 실험 기구들은 모두 같아야 한다.

06 물질의 상태

해설 | 두 물질은 모두 고체 상태에서 열을 흡수하여 기체 상태로 된 것을 나타낸 것이고, 이 중 A는 3가지 상태를 모두 거치는 가열 곡선을 나타낸 것이다.

정답맞히기 ㄱ. 고체 상태일 때 온도가 상승하는 구간에서 직선의 기울기는 A>B이다. 직선의 기울기는 물질의 질량과 비열이 작을수록 큰데 두 물질의 질량이 같으므로 비열은 B(s)가 A(s)보다 크다.

ㄴ. 1기압에서 고체 상태의 B를 가열하였을 때 액체 상태를 거치지 않고 기체 상태로 변하였으므로 B는 승화성 물질이다.

ㄷ. 고체를 기체로 만드는 데 걸리는 시간이 A가 B보다 크므로 같은 질량의 고체를 기체로 만드는 데 필요한 열량은 A가 B보다 크다.

07 고체의 결정 구조

해설 | (가)는 체심입방격자 구조인 금속 결합 물질이고, (나)는 양이온이 단위세포의 중심에 있고, 음이온이 단위세포의 꼭짓점에 위치하여 결합한 이온 결합 물질이다.

정답맞히기 ㄴ. (나)에는 Cl^-이 8개의 꼭짓점에 위치하므로 Cl^-은 단위세포에 1개가 포함되어 있는 것이다. 따라서 단위세포 중심에 1개가 포함된 A 이온도 +1의 전하를 갖게 되어 화학식은 ACl이 된다.

ㄷ. (가)의 Na 원자에 가장 인접한 Na 원자의 수는 8이고, (나)의 A 이온에 가장 인접한 Cl^-의 수도 8이다.

오답피하기 ㄱ. (가)의 단위세포에는 중심에 Na 원자 1개, 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$의 Na 원자 8개가 있다. 따라서 (가)의 단위세포에는 Na 원자가 2개 있다.

08 결정성 고체와 비결정성 고체

해설 | X는 고체를 구성하는 산소(O)와 규소(Si) 원자의 배열이 규칙적인 결정성 고체이고, Y는 고체를 구성하는 산소(O)와 규소(Si) 원자의 배열이 불규칙적인 비결정성 고체이다. (나)에서 녹는점이 t℃로 일정하므로 (나)는 결정성 고체의 온도에 따른 부피를 나타낸 것이다.

정답맞히기 ㄱ. X는 입자의 배열이 규칙적인 결정성 고체이다.

ㄷ. X와 Y에서 구성 원자들은 모두 공유 결합을 하고 있다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 녹는점이 일정하므로 (나)는 결정성 고체인 X의 온도에 따른 부피를 나타낸 것이다.

테마별 수능 심화문제 본문 20~21쪽

09 ④ 10 ⑤ 11 ⑤ 12 ②

09 액체의 표면 장력

해설 | 일반적으로 액체의 분자 간 인력이 클수록 표면 장력이 크다. 물은 분자 간 수소 결합을 하기 때문에 분자량이 비슷한 다른 물질보다 분자 간 인력이 강하여 표면 장력이 크다.

정답맞히기 ④ 에탄올의 온도를 T_1에서 T_2로 높이면 분자 간 인력이 약해지므로 표면 장력도 작아진다. 따라서 T_2인 에탄올을 플라스틱판에 떨어뜨리면 액체 방울의 모양이 더 넓게 퍼진다.

오답피하기 ① 온도가 높을수록 표면 장력이 작아지므로 온도는 $T_2 > T_1$이다.

② 실험 Ⅱ에서 물이 에탄올보다 표면 장력이 큰 것으로 보아 분자 간 인력은 물이 에탄올보다 크다.

③ 물보다 분자 간 인력이 작은 에탄올을 물에 넣어 혼합하면 물의 분자 간 인력이 약해진다.

⑤ 물과 유리판 사이의 부착력이 물과 플라스틱 사이의 부착력보다 크므로 실험 I 에서 플라스틱 판 대신 유리판을 사용하면 물방울이 더 넓게 퍼진다.

10 액체의 냉각 곡선

해설 | 냉각 곡선 중 액체 상태에서 직선의 기울기의 절댓값이 작을수록 비열이 크다. 또한 온도가 일정한 구간이 상태가 변하는 구간이며, 이 구간의 길이가 길수록 상태가 변화할 때 필요한 열량(J/g)이 크다는 것을 의미한다.

정답맞히기 ㄱ. 액체에서 고체로 상태가 변하되는 구간이 B가 A보다 크므로 B에서 상태 변화에 의해 방출되는 열이 더 많다. 따라서 융해열(J/g)은 B가 A보다 크다.

ㄴ. 액체의 비열(J/g·℃)은 액체 구간에서 직선의 기울기의 절댓값이 작을수록 크다. 따라서 직선의 기울기의 절댓값이 작은 A가 B보다 비열이 크다.

ㄷ. 그래프에서 T_2℃의 고체가 융해되기 시작하는 시간까지 도달하는 데 걸리는 시간과 융해되는 데 걸리는 시간이 모두 B가 A보다 크므로 T_2℃, 10 g인 물질 A(s), B(s)를 동일한 열원으로 각각 가열할 때 모두 액체가 되는 데 걸리는 시간은 B(s) > A(s)이다.

11 결정의 종류와 성질

해설 | (가)는 금속 결정으로 면심입방격자 구조이다. (나)는 분자 결정이고, (다)는 이온 결정이다.

정답맞히기 ⑤ (가)는 금속 결정으로 금속 양이온과 자유 전자 사이의 전기적 인력에 의해 금속 결합을 이룬다. (나)는 분자를 구성하는 C와 O는 공유 결합을 하고 있으며, 결정을 구성하는 분자 간에는 분산력이 작용하고 있다.

오답피하기 ① (가)는 꼭짓점과 면의 중심에 입자가 위치하므로 면심입방격자 구조이다.

② (나)는 CO_2 분자 사이의 약한 인력에 의해 규칙적으로 배열되어 이루어져 있으므로 분자 결정이다.

③ (다)의 Cl^-도 (가)와 같은 면심입방격자 구조이다. 단위세포에 포함된 Cl^- 수는 다음과 같다.

단위세포에 포함된 Cl^- 수 $=\frac{1}{8}$(꼭짓점에 있는 Cl^-)$\times 8+\frac{1}{2}$(면에 있는 Cl^-)$\times 6=4$

④ 금속 결정과 이온 결정은 모두 액체 상태에서 전기 전도성이 있다.

12 금속의 결정 구조

해설 | 금속 결정의 결정격자 구조에서 결정의 특징을 나타내는 가장 작은 단위 구조를 단위세포라고 하고, 주어진 그림에서 금속 결정의 단위세포는 차례로 단순입방격자 구조, 체심입방격자 구조, 면심입방격자 구조이다.

정답맞히기 ㄴ. 주어진 금속 결정의 단위세포는 모두 정육면체이므로 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}=\frac{\text{단위 세포의 질량}}{(\text{단위 세포 한 변의 길이})^3}$이고, 단위세포의 질량은 단위세포에 들어 있는 원자 수와 단위세포에 들어 있는 원자의 원자량(상댓값)의 곱이다. 따라서 단위세포의 밀도 비는

$$\text{A}:\text{C}=\frac{\left(\frac{1}{8}\times 8\right)\times 4}{2^3}:\frac{\left(\frac{1}{8}\times 8+1\right)\times 1}{1^3}=1:4\text{이다.}$$

오답피하기 ㄱ. 단위세포에 들어 있는 원자 수는 단순입방격자 구조인 A에서 1이고, 면심입방격자 구조인 B에서 4이다. 원자량 비는 A : B = 4 : 2이다. 따라서 단위세포에 들어 있는 원자의 질량 비는 A : B = 1 : 2이므로 단위세포에 들어 있는 원자의 질량은 B가 A보다 크다.

ㄷ. 한 입자를 둘러싸고 있는 가장 인접한 입자의 수는 B와 C가 각각 12, 8이므로 입자 수 비는 B : C = 3 : 2이다.

THEME 03

용해와 용액

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 24쪽

정답 ④

정답맞히기 ㄱ. 10% A(aq) 50 g에는 A가 5 g 녹아 있다. 따라서 용매의 질량은 45 g이며 용액의 몰랄 농도 $=\frac{0.05\text{몰}}{\frac{45}{1000}\text{ kg}}=\frac{10}{9}m$이므로 몰랄 농도는 (가)가 (나)보다 크다.

ㄷ. A의 질량은 (가)에서 5 g, (다)에서 50 g(=1 M×0.5 L×100 g/몰)이 들어 있다.

오답피하기 ㄴ. (나)에 녹아 있는 용질은 0.2몰$\left(=\frac{(5+15)\text{ g}}{100\text{ g/몰}}\right)$이므로 (나)에서 용매의 질량은 200 g$\left(=\frac{0.2\text{몰}}{1\ m}\right)$이다. 따라서 (가) → (나)에서 첨가한 증류수의 질량(x g)은 155 g(=200 g − 45 g)이다.

(다)에서 용질의 몰수 = 1몰/L × 0.5 L = 0.5몰, 즉 50 g이므로 (나) → (다)에서 첨가한 A의 질량(y g)은 30 g(=50 g − 20 g)이다.

따라서 $\frac{x}{y}=\frac{155}{30}=\frac{31}{6}$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 25~27쪽

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

01 용매화

해설 | (가)는 이온 상태로 수화되어 있으므로 전해질 수용액이고, (나)는 분자 상태로 수화되어 있으므로 비전해질 수용액이다.

정답맞히기 ㄱ. (가)의 용질 A는 물에 녹아 이온을 생성하므로 전해질이다.

오답피하기 ㄴ. (나)의 용질 B는 물에 녹아 이온을 생성하지 않으므로 이온 결합 물질이 아니다.

ㄷ. (가)에서 이온 모형 1개를 1몰이라고 하면 양이온과 음이온이 각각 2몰이 들어 있으므로 용질 A는 2몰이다. (나)에서는 분자 모형이 4개이므로 용질 B는 4몰이다. 따라서 용질의 몰수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

02 퍼센트 농도를 몰랄 농도로 환산

해설 | 퍼센트 농도(%)$=\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times 100$의 관계를 이용하여, 퍼센트 농도로 제시된 수용액에서 용액, 용매, 용질의 질량을 각각 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 4% 용액은 용액 100 g에 용질 4 g이 녹아 있는 용액이므로 용매의 질량$=100-4=96$(g)이다. 따라서 $x=96$이다.

ㄴ. 용질의 분자량을 M이라고 하면 (가)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{4}{M}\text{몰}}{\frac{96}{1000}\text{ kg}}$

$=\frac{125}{3M}\ m$이고, (나)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{4}{M}\text{몰}}{\frac{100}{1000}\text{ kg}}=\frac{40}{M}\ m$이므로 몰랄 농도는 (가)가 (나)보다 크다.

오답피하기 ㄷ. 온도를 25℃에서 50℃로 높여도 용질과 용액의 질량은 변하지 않으므로 (나)의 퍼센트 농도는 변하지 않는다.

03 용액의 농도

해설 | 용질의 질량과 용매의 질량이 모두 같은 3가지 수용액에서 용질의 몰수는 몰랄 농도에 비례하고 용질의 분자량에 반비례한다.

정답맞히기 ㄱ. (가)~(다)에서 용질의 질량이 모두 같고, 물의 질량도 모두 같으므로 퍼센트 농도는 모두 같다.

ㄴ. 용질의 질량은 모두 같은데 용질의 몰수는 (나)>(가)>(다)이므로 분자량은 C>A>B이다.

ㄷ. 물의 질량은 모두 같은데 용질의 몰수는 (나)>(가)>(다)이므로 몰랄 농도는 (나)>(가)>(다)이다.

04 몰 농도를 몰랄 농도와 퍼센트 농도로 환산

해설 | 몰 농도를 몰랄 농도나 퍼센트 농도로 환산할 때에는 용액의 밀도를 이용해서 용액의 부피를 용액의 질량으로 바꾸는 과정이 필요하다.

- 몰 농도(M)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용액의 부피(L)}}$
- 용액의 부피(L)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{몰 농도(몰/L)}}$

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 용액의 질량은 dx g이고, 용질의 질량은 5 g이므로 용매의 질량은 $(dx-5)$ g이다. 따라서 수용액의 몰랄 농도$=\frac{0.05\text{몰}}{\frac{dx-5}{1000}\text{ kg}}=\frac{50}{dx-5}\ m$이다.

오답피하기 ㄱ. A 5 g의 몰수$=\frac{5\text{ g}}{100\text{ g/몰}}=0.05$몰이다. 0.1 M A 수용액에 A가 0.05몰 들어 있으므로 용액의 부피(L)$=\frac{0.05\text{몰}}{0.1\text{몰/L}}$

$=0.5$ L이다. 따라서 $x=500$이다.

ㄷ. (나)에서 수용액의 퍼센트 농도$=\frac{5\text{ g}}{dx\text{ g}}\times 100=\frac{500}{dx}$%이다.

05 농도의 환산

해설 | a m X 수용액은 물 1 kg에 X가 a몰 녹아 있는 수용액이다.

정답맞히기 ㄱ. X 수용액 1 L의 질량은

X 수용액의 밀도×X 수용액의 부피$=\frac{d\text{ g}}{\text{mL}}\times 1\text{ L}$

$=\frac{1000d\text{ g}}{\text{L}}\times 1\text{ L}=1000d$ g이다. 따라서 $A=1000d$이다.

ㄴ. X 수용액 1 L에 녹아 있는 X의 몰수는

$\frac{\text{물 1000 g에 녹아 있는 X의 몰수}}{\text{물 1000 g+물 1000 g에 녹아 있는 X의 질량}}\times$X 수용액 1 L의 질량$=\frac{a\text{몰}}{1000\text{ g}+aM\text{ g}}\times 1000d\text{ g}=\frac{1000ad}{1000+aM}$몰이다. 따라서 $B=\frac{1000ad}{1000+aM}$이다.

ㄷ. X 수용액의 몰 농도는

$\frac{\text{X 수용액 1 L에 녹아 있는 X의 몰수}}{\text{X 수용액의 부피}}=\frac{\frac{1000ad}{1000+aM}\text{몰}}{1\text{ L}}$

$=\frac{1000ad}{1000+aM}$ M이다. 따라서 $C=\frac{1000ad}{1000+aM}$이다.

06 온도에 따른 용액의 농도 비교

해설 | 퍼센트 농도와 몰랄 농도는 온도가 변해도 변하지 않지만, 몰 농도는 온도가 높아지면 용액의 부피가 증가하기 때문에 감소한다.

정답맞히기 ㄱ. 포도당의 분자량을 M이라고 하면

몰랄 농도(m)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$이므로 (가)에서 몰랄 농도는 $\frac{\frac{90}{M}\text{몰}}{\frac{100}{1000}\text{kg}}=\frac{900}{M}$몰/kg이고, (나)에서도 몰랄 농도는 $\frac{\frac{45}{M}\text{몰}}{\frac{50}{1000}\text{kg}}$

$=\frac{900}{M}$몰/kg이므로 몰랄 농도는 (가)와 (나)가 같다.

ㄴ. 퍼센트 농도(%)$=\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times 100$이며, (가)와 (나)에서

퍼센트 농도$=\frac{90\text{ g}}{(100+90)\text{ g}}\times100=\frac{45\text{ g}}{(50+45)\text{ g}}\times100=\frac{900}{19}\%$로 같다.

오답피하기 〉 ㄷ. (가)와 (나)는 퍼센트 농도와 몰랄 농도가 같지만 온도가 (나)가 (가)보다 높아 용액의 부피가 (나)>(가)이므로 몰 농도는 (가)가 (나)보다 크다.

07 용액의 농도

해설 | 용액을 혼합할 경우 혼합 용액에 들어 있는 용질의 질량은 혼합 전 각 용액에 들어 있는 용질의 질량의 합과 같다.

정답맞히기 〉 1.5 M 설탕물 1 L를 만들기 위해서는 설탕 1.5몰이 있어야 한다. 따라서 (가)~(다)에 녹아 있는 설탕의 몰수 합이 1.5몰이 되어야 한다.

(가) 50% 설탕물 342 g에 녹아 있는 설탕의 몰수는 $342\text{ g}\times\frac{50}{100}\times\frac{1}{342\text{ g/몰}}=0.5$몰이다.

(나) 2 m 설탕물 x g에 녹아 있는 설탕의 몰수를 y몰이라고 할 때 $[1000\text{ g}+(2\text{몰}\times342\text{ g/몰})]:2\text{몰}=x\text{ g}:y$몰이므로

$y=2\text{몰}\times\frac{x\text{ g}}{2\text{몰}\times342\text{ g/몰}+1000\text{ g}}=\frac{x}{842}$몰이다.

(다) 4 M 설탕물 125 mL에 녹아 있는 설탕의 몰수는 $(4\text{몰/L})\times0.125\text{ L}=0.5$몰이다.

따라서 설탕의 총 몰수는 $0.5+\frac{x}{842}+0.5=1.5$이므로 $x=421$이다.

08 퍼센트 농도와 몰 농도

해설 | • 퍼센트 농도(%)$=\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times100$

• 몰 농도(M)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용액의 부피(L)}}$

• 몰랄 농도(m)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$

정답맞히기 〉 ㄷ. (가)와 (나)에서 용질의 질량이 같은데 용매의 질량이 (나)가 (가)보다 크므로 몰랄 농도는 (가)가 (나)보다 크다. 따라서 기준 끓는점은 (가)가 (나)보다 높다.

오답피하기 〉 ㄱ. (가)는 4% NaOH 수용액 100 g이므로 용질의 질량은 4 g, 용매의 질량은 96 g이다.

몰랄 농도(m)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}=\frac{\frac{4\text{ g}}{40\text{ g/몰}}}{0.096\text{ kg}}$으로 1 m보다 크다.

ㄴ. (가)에서 용매의 질량은 96 g이다. (나)에서 용액의 질량은 103 g이고, 이 중 NaOH의 질량이 4 g이므로 (나)에서 용매의 질량은 99 g이다. 그러므로 용매의 질량은 (가)가 (나)보다 작다.

09 퍼센트 농도를 몰 농도로 환산

정답맞히기 〉 ㄱ. 0.1 M 황산 수용액 1 L를 만드는 데 필요한 황산의 질량 x(g)를 구하면 x=황산의 몰수×황산의 분자량=($H_2SO_4(aq)$의 몰 농도×0.1 M $H_2SO_4(aq)$의 부피×98(g/몰)=(0.1몰/L×1 L)×98(g/몰)=9.8(g)이다. 따라서 x는 9.8이다.

ㄴ. 0.1 M 황산 수용액 1 L를 만드는 데 필요한 98% 황산의 질량 y(g)는 $y=\frac{98\%\text{ 황산 }100\text{ g}}{\text{황산 }98\text{ g}}\times$황산 9.8 g=10(g)이다.

따라서 y는 10이다.

ㄷ. 98% 황산의 밀도 d(g/mL)를 이용하여 98% 황산 10 g의 부피 z(mL)를 구하면 $z=\frac{1}{d}\times y=\frac{1\text{ mL}}{d\text{ g}}\times10\text{ g}=\frac{10}{d}$(mL)이다.

따라서 $z=\frac{10}{d}$이다.

10 몰랄 농도

정답맞히기 〉 ㄱ. 포화 수용액에서 물 100 g에 용질 27 g이 녹아 있고, 용질 X의 분자량이 M이므로 몰수(몰)$=\frac{\text{질량(g)}}{\text{분자량(g/몰)}}=\frac{27}{M}$(몰)이다.

ㄴ. 용매 1 kg에 녹아 있는 용질 X의 몰수는 b몰이므로 X(aq)의 몰랄 농도는 $\frac{b\text{(몰)}}{1\text{(kg)}}$인데, 물 0.1 kg에 녹아 있는 용질 X의 몰수가 a몰이므로 $b=10a$이다.

ㄷ. 몰랄 농도(m)는 용매 1 kg에 녹인 용질의 몰수(몰)를 나타낸 농도이고, 질량이나 몰수는 온도나 압력의 영향을 받지 않으므로 수용액의 온도가 변하더라도 몰랄 농도는 일정하다.

11 몰랄 농도와 몰 농도를 퍼센트 농도로 환산

해설 | (가) 1 m A(aq)은 용매 1000 g에 용질 1몰(100 g)이 녹아 있으므로 용액 1100 g에 용질 100 g이 녹아 있다.

퍼센트 농도(%)$=\frac{100}{1100}\times100=\frac{100}{11}$(%)

(나) 1 M A(aq)은 용액 1 L에 용질 1몰(100 g)이 녹아 있다. 밀도가 1.05 g/mL이므로 용액 1 L는 1050 g이다.

퍼센트 농도(%)$=\frac{100}{1050}\times100=\frac{200}{21}$(%)

정답맞히기 〉 ㄱ. (가)에서 1 m A(aq)은 $\frac{100}{11}$%이고, (나)에서 1 M A(aq)은 $\frac{200}{21}$%이다. 따라서 퍼센트 농도는 (나)가 (가)보다 크다.

ㄴ. A의 몰 분율$=\frac{\text{A의 몰수}}{\text{용매의 몰수+A의 몰수}}$이다.

1 m인 (가)는 용질 100 g이 용매 1000 g에 녹아 있는 용액이고, 1 M인 (나)는 용질 100 g이 용매 950 g에 녹아 있는 용액이다. 따라서 A의 몰 분율은 용매의 질량이 작은 (나)가 (가)보다 크다.

ㄷ. (가)에서 용액 1100 g에 용질 100 g이 녹아 있으므로 용액 100 g에 녹아 있는 용질의 질량$=\frac{100\times100}{1100}=\frac{100}{11}$ g이고, (나)에서 용액 1050 g에 용질 100 g이 녹아 있으므로 용액 105 g에 용질 10 g이 녹아 있다. 따라서 A의 질량은 (나)가 (가)보다 크다.

12 용액의 농도

해설 | 몰 농도(M)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용액의 부피(L)}}$이고, 퍼센트 농도(%)$=\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times100$(%)이며, 용질의 몰 분율$=\frac{n_{\text{용질}}}{n_{\text{용질}}+n_{\text{용매}}}$이다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 용액의 부피는 $\frac{\text{용액의 질량(g)}}{\text{용액의 밀도(g/mL)}}=\frac{(107+3)\text{g}}{1.1\text{ g/mL}}=100\text{ mL}$이다.

몰 농도(M)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용액의 부피(L)}}=\frac{\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용질의 분자량(g/몰)}}}{\frac{\text{용액의 부피(mL)}}{1000\text{ mL/L}}}$이고, 이 식에 몰 농도(0.5 M), 용액의 부피(100 mL), 용질의 질량(3 g)을 대입하여 정리하면 $0.5\text{ M}=\frac{\frac{3\text{ g}}{\text{용질의 분자량(g/몰)}}}{\frac{100\text{ mL}}{1000\text{ mL/L}}}$이다.

따라서 용질 A의 분자량은 60이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 용액의 질량은 110 g으로 같고, 용질의 질량은 (나)가 (가)의 2배이므로 퍼센트 농도는 (나)가 (가)의 2배이다.

오답피하기 ㄷ. 용매의 몰수는 (나)와 (다)가 같고 용질의 몰수는 (다)가 (나)의 2배이다. 용질의 몰 분율$=\frac{n_{\text{용질}}}{n_{\text{용질}}+n_{\text{용매}}}$이므로 (나)에서 용질 A의 몰수를 x라고 하면 A의 몰 분율 비는 (나) : (다)$=\frac{x}{x+n_{\text{용매}}}:\frac{2x}{2x+n_{\text{용매}}}$이므로 (다)가 (나)의 2배보다 작다.

테마별 수능 심화문제 본문 28~29쪽

13 ① 14 ① 15 ③ 16 ④

13 용해

해설 | 용해가 일어날 때 용질 입자가 용매 입자에 둘러싸여 안정한 상태를 이루는 현상을 용매화라고 한다.

정답맞히기 ㄱ. 화합물 X(s)가 물에 용해될 때 X를 구성하고 있는 입자인 A, B가 각각 수화되므로 A, B는 이온이다. 따라서 X는 A와 B 사이의 전기적 인력에 의해 결합한 이온 결합 물질이다.

오답피하기 ㄴ. 용해될 때 A는 물 분자의 부분적인 양전하를 띤 수소 원자에 둘러싸이므로 (−)전하를 띤 입자(음이온)이고, B는 물 분자의 부분적인 음전하를 띤 산소 원자에 둘러싸이므로 (+)전하를 띤 입자(양이온)이다.

ㄷ. T K에서 X(s)가 물에 자발적으로 용해되므로 이 과정에서 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 작다.

14 ppm 농도와 퍼센트 농도 비교

해설 | ppm 농도는 용액 10^6 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)을, 퍼센트 농도는 용액 100 g에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 농도이다.

정답맞히기 ㄱ. 지하수 50 g에 나트륨 2.5×10^{-2} mg($=2.5\times10^{-5}$ g)이 녹아 있으므로 지하수 속 나트륨의 ppm 농도는 $\frac{2.5\times10^{-5}}{50}\times10^6=0.5$ ppm이다.

오답피하기 ㄴ. 지하수 속 칼륨의 퍼센트 농도가 0.0001%이므로 지하수 50 g에 칼륨 5×10^{-5} g($=\frac{0.0001\times50}{100}$ g)이 녹아 있다. 나트륨 2.5×10^{-5} g은 $\frac{2.5\times10^{-5}\text{ g}}{23\text{ g/몰}}=\frac{2.5\times10^{-5}}{23}$몰이며, 칼륨 5×10^{-5} g은 $\frac{5\times10^{-5}\text{ g}}{39\text{ g/몰}}=\frac{5\times10^{-5}}{39}$몰이므로 지하수 50 g(=50 mL) 속에 녹아 있는 몰수가 칼륨이 나트륨의 2배보다 작으므로 몰 농도도 칼륨이 나트륨의 2배보다 작다.

ㄷ. 지하수 50 g에 납 1.5×10^{-5} g이 녹아 있으므로 지하수 1 kg(=1000 g)에는 $\frac{1.5\times10^{-5}\times1000}{50}=3\times10^{-4}$ g(=0.3 mg)이 녹아 있다. 따라서 지하수 속 납의 양은 먹는 물의 수질 기준을 초과하였다.

15 용액의 농도

해설 | 퍼센트 농도(%)$=\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times100$(%)이고, 몰랄 농도($m$)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$이다. 몰 농도(M)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용액의 부피(L)}}$이고, 용질의 몰 분율$=\frac{n_{\text{용질}}}{n_{\text{용질}}+n_{\text{용매}}}$이다.

정답맞히기 ㄷ. 용매 1 kg에 녹아 있는 용질의 몰수를 알고 있고, 용매의 분자량을 이용해 용매 1 kg의 몰수를 계산할 수 있으므로 용매의 몰수와 용질의 몰수를 이용하여 용질의 몰 분율을 계산할 수 있다.

오답피하기 ㄱ. 용매 1 kg에 녹아 있는 용질의 몰수만 알고 용질의 화학식량은 모르기 때문에 용질의 질량을 구할 수 없다. 따라서 용액의 퍼센트 농도를 계산할 수 없다.

ㄴ. 용매 1 kg에 녹아 있는 용질의 질량을 알 수 없으므로 용액의 질량을 구할 수 없다. 따라서 용액의 밀도를 알아도 용액의 부피를 계산할 수 없어 용액의 몰 농도를 계산할 수 없다.

16 몰랄 농도를 몰 농도와 퍼센트 농도로 환산

해설 | 용액의 밀도를 이용하여 몰랄 농도를 몰 농도로 환산하고, 물을 첨가하여 용액을 희석했을 때의 퍼센트 농도를 구한다.

정답맞히기 ㄱ. 수용액 1 L(=1000 mL)의 질량은 d g/mL$\times$1000 mL$=1000d$ g이다.

ㄷ. 0.5 m X 수용액 1 L의 질량이 $1000d$ g이고 용질의 질량이 b g이므로 용액 100 mL의 질량은 $100d$ g이고 용질의 질량이 $0.1b$ g이다. 따라서 이 수용액 100 mL에 물 100 g을 첨가한 수용액의 퍼센트 농도(%)$=\frac{0.1b\text{ g}}{(100d+100)\text{ g}}\times100=\frac{b}{10d+10}$%이다.

오답피하기 ㄴ. 0.5 m X 수용액은 용매 1000 g에 용질 0.5몰(=50 g)이 녹아 있다. 수용액 1 L의 질량이 $1000d$ g이므로 수용액 1 L 속에 들어 있는 X의 질량$=\frac{50\times1000d}{1050}=\frac{1000d}{21}$ g이다. 따라서 이 수용액의 몰 농도는 $\frac{10d}{21}$ M이다.

THEME 04

묽은 용액의 성질

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 31쪽

정답 ②

해설 | 용액에서 용질의 몰수를 $n_{용질}$, 용매의 몰수를 $n_{용매}$라고 하면 용질의 몰 분율 $X_{용질}=\frac{n_{용질}}{n_{용매}+n_{용질}}$이고, 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$\Delta T_b=K_b\times m$(K_b : 몰랄 오름 상수)

정답맞히기 ㄷ. X(aq)을 가열하여 끓은 후 물의 질량이 50 g이 되면 몰랄 농도가 2배가 되므로 수용액의 끓는점 오름도 2배인 $2\Delta T_1$이 된다.

오답피하기 ㄱ. 용매의 질량이 같은 용액에서 용질의 종류에 관계없이 용질의 몰수가 2배가 되면 용질의 몰 분율은 2배가 되지 않는다. 그런데 용질의 몰 분율이 Y(aq)이 X(aq)의 2배이므로 용질의 몰수는 Y(aq)이 X(aq)의 2배보다 크다.

ㄴ. X(aq)과 Y(aq)에서 용매의 질량이 같고, 용질의 몰수는 Y(aq)이 X(aq)의 2배보다 크다. 따라서 몰랄 농도는 Y(aq)이 X(aq)의 2배보다 크고, $\Delta T_2>2\Delta T_1$이다.

테마별 수능 필수유제

본문 32~33쪽

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

01 어는점 내림을 이용한 용질의 분자량 구하기

해설 | 용액의 어는점 내림(ΔT_f)은 몰랄 농도(m)에 비례하므로 다음 식이 성립한다.

정답맞히기 $\Delta T_f=K_f\times m$ (K_f : 몰랄 내림 상수)

$0.93=1.86\times m$이고, $m=\frac{1}{2}$이다. X의 분자량을 M이라고 하면 (가) 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{w}{M}\text{몰}}{0.5\text{ kg}}=\frac{1}{2}\ m$이고, $M=4w$이므로 X의 분자량은 $4w$이다.

02 용매의 증기 압력과 용액의 증기 압력 내림

해설 | 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮다.

증기 압력 내림(ΔP)=용매의 증기 압력($P_{용매}$)−용액의 증기 압력($P_{용액}$)

정답맞히기 ㄴ. 25℃에서 (가)의 증기 압력은 (나)의 증기 압력(B의 증기 압력)보다 크고, A의 증기 압력은 (가)의 증기 압력보다 크므로 A의 증기 압력은 B의 증기 압력보다 크다.

ㄷ. (나)에 X를 녹이면 (나)의 증기 압력이 작아지므로 h_1과 h_2 모두 커진다.

오답피하기 ㄱ. 25℃에서 (나)의 증기 압력은 $(760-h_2)$ mmHg이고, (가)의 증기 압력은 (나)의 증기 압력$+h_1$ mmHg이다. 따라서 (가)의 증기 압력은 $(760+h_1-h_2)$ mmHg이다.

03 끓는점 오름

해설 | 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다. $\Delta T_b=m\times K_b$ (K_b는 몰랄 오름 상수)

정답맞히기 ㄷ. 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다. (나)에서 끓는점 오름은 2.6℃이고, (가)는 1.3℃이므로 용액의 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 2배이다. 또한 (가)와 (나)에서 용질의 몰수는 변하지 않으므로 용매 A의 질량은 (나)가 (가)의 $\frac{1}{2}$배인 50 g이다.

오답피하기 ㄱ. (가)와 (나)에서 용액은 모두 끓는점에 도달하였으므로 용액의 증기 압력은 모두 대기압과 같다.

ㄴ. 용액의 몰랄 농도(m)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$이므로 X 용액의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{6.4}{128}\text{몰}}{0.1\text{ kg}}=0.5\ m$이다. 따라서 끓는점 오름 $\Delta T_b=m\times K_b$
$=0.5\times 2.6=1.3$℃이다.

X 용액의 끓는점은 81.4℃이고, 용매 A의 기준 끓는점을 T_b℃라고 하면 81.4℃$-T_b$℃$=1.3$℃이므로 T_b℃는 80.1℃이다.

04 농도가 다른 수용액의 증기 압력 내림

해설 | 라울 법칙에 의하면 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력($P_{용액}$)은 용질의 종류에 관계없이 용매의 몰 분율($X_{용매}$)에 비례한다.

$P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}$

정답맞히기 ㄱ. 묽은 용액의 증기 압력은 용매의 몰 분율에 비례한다. 증기 압력은 (나)가 (가)보다 크므로 용매의 몰 분율은 (나)가 (가)보다 크다.

ㄴ. 18% 포도당 수용액은 용액 100 g당 포도당이 18 g 녹아 있다. 즉, 물 82 g에 포도당이 18 g 녹아 있으므로 몰랄 농도는 $\frac{\frac{18}{180}\text{몰}}{0.082\text{ kg}}=\frac{100}{82}\ m$로 1 m보다 크다. 따라서 용질의 몰 분율은 18% 포도당 수용액이 1 m 포도당 수용액보다 크므로 (가)는 18% 포도당 수용액이다.

ㄷ. 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 몰랄 농도(m)에 비례하므로 끓는점은 (가)가 (나)보다 높다.

05 증기 압력 내림

해설 | 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮아진다. 같은 온도에서 증기 압력은 (가)가 (나)보다 크므로 (가)는 물이고, (나)는 설탕 수용액이다.

정답맞히기 ㄱ. 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매보다 더 높은 온도에서 끓는다. 따라서 1기압에서의 끓는점은 설탕이 물에 녹아 있는 (나)가 (가)보다 높다.

ㄴ. 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력($P_{용액}$)은 용매의 몰 분율($X_{용매}$)에 비례한다. $P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}$

t_1℃에서 $32=P_1\times X_{용매}$이고, t_2℃에서 $P_1=50\times X_{용매}$이다. 이때 $X_{용매}$는 일정하므로 $\frac{32}{P_1}=\frac{P_1}{50}$이고 $P_1=40$이다.

ㄷ. 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{용질}$)에 비례한다. $\Delta P=P_{용매}\times X_{용질}$

따라서 t_1℃에서 설탕 수용액 중 설탕의 몰 분율은 다음과 같다.

$\Delta P=P_1-32=40-32=8$이므로 $X_{용질}=\frac{\Delta P}{P_{용매}}=\frac{8}{40}=\frac{1}{5}$

06 수용액의 증기 압력 내림

해설 | 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력($P_{용액}$)은 용질의 종류에 관계없이 용매의 몰 분율($X_{용매}$)에 비례한다.

정답맞히기 ㄴ. 25℃에서 물의 증기 압력은 24 mmHg이고, 요소 수용액의 증기 압력은 22.8 mmHg이므로 요소 수용액에 대해 다음 식이 성립한다.

$P_{용액}=P_{물}\times X_{물}$, $22.8=24\times X_{물}$이고, $X_{물}=\frac{22.8}{24}=0.95$이다.

또한 요소 수용액에서 요소의 몰수는 $\frac{30}{60}=0.5$몰이므로 물의 몰수를 n몰이라고 하면 $X_{물}=\frac{n}{n+0.5}=0.95$이고, $n=9.5$이므로 물의 질량은 $9.5\times 18=171$ g이다.

오답피하기 ㄱ. 일정 온도에서 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮다. 따라서 X는 물이다.

ㄷ. 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{용질}$)에 비례한다. $\Delta P=P_{용매}\times X_{용질}$

(가)의 요소 수용액 중 요소의 몰 분율은 $\frac{0.5}{9.5+0.5}=\frac{1}{20}$이므로 $\Delta P=24\times\frac{1}{20}=1.2$ mmHg이고, h는 1.2 mm이다. (가)의 요소 수용액에 요소 30 g을 더 녹이면 요소의 몰수는 0.5몰의 2배인 1몰이 되지만, $X_{용질}=\frac{1}{9.5+1}=\frac{2}{21}<\frac{2}{20}$이므로 요소의 몰 분율은 2배가 되지 않는다. 따라서 h는 1.2 mm의 2배가 되지 않는다.

07 어는점 내림과 용액의 총괄성

해설 | 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 어는점 내림은 용질의 종류와 관계없이 용질의 입자 수에만 비례하는데, 이러한 성질을 묽은 용액의 총괄성이라고 한다. 용액의 어는점 내림(ΔT_f)은 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$\Delta T_f=K_f\times m$ (K_f : 몰랄 내림 상수)

정답맞히기 ㄱ. (가)와 (나)에서 어는점 내림(ΔT_f)이 k℃로 같으므로 (가)와 (나)에서 수용액의 몰랄 농도는 같다.

오답피하기 ㄴ. 용질의 질량이 a g일 때, 어는점 내림은 Y 수용액이 X 수용액의 3배이므로 몰랄 농도도 Y 수용액이 X 수용액의 3배이다.

용액의 몰랄 농도(m)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}=\frac{\frac{\text{용질의 질량}}{\text{용질의 분자량}}\text{(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$이므로 용매와 용질의 질량이 같을 때, 몰랄 농도는 용질의 분자량에 반비례한다. 따라서 분자량은 X가 Y의 3배이다.

ㄷ. (나)에서 $\Delta T_f=K_f\times m$이므로 $k=k\times m$이고, 몰랄 농도는 1 m이므로 용매 100 g에 녹아 있는 용질 X의 몰수는 0.1몰이다.

(다)에서 $\Delta T_f=K_f\times m$이므로 $3k=k\times m$이고, 몰랄 농도는 3 m이므로 용매 100 g에 녹아 있는 용질 Y의 몰수는 0.3몰이다.

따라서 (나)와 (다)를 혼합한 용액은 용매 200 g에 용질의 총 몰수는 0.4몰이고, 혼합 용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.4\text{몰}}{0.2\text{ kg}}=2$ m이다. 혼합 용액의 $\Delta T_f=K_f\times m=k\times 2=2k$℃이므로 어는점은 $-2k$℃이다.

08 삼투압을 이용한 용질의 분자량 구하기

해설 | 반투막을 사이에 두고 농도가 서로 다른 용액이 있을 때 용매 분자는 반투막을 통해 농도가 진한 용액 쪽으로 이동한다. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(π)은 용액의 몰 농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다. $\pi=CRT$

정답맞히기 ㄱ. 온도가 높을수록 물 분자의 운동이 활발해지므로 수면의 높이 차(h)는 커진다.

ㄴ. 삼투압(π)이 0.01기압이므로 $\pi=CRT=\frac{n}{V}RT=\frac{w}{MV}RT$에서 분자량 $M=\frac{wRT}{\pi V}=\frac{1\times 0.082\times 300}{0.01\times 0.1}=24600$이다.

오답피하기 ㄷ. 용액의 농도와 온도가 같으면 부피가 변해도 삼투압은 변하지 않으므로 수면의 높이 차(h)는 변하지 않는다.

테마별 수능 심화문제 본문 34~36쪽

09 ③ 10 ④ 11 ③ 12 ④ 13 ⑤ 14 ③

09 용액의 총괄성

해설 | 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 증기 압력 내림, 어는점 내림은 용질의 종류와 관계없이 용질의 입자 수에만 비례한다. 묽은 용액의 어는점 내림(ΔT_f)은 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다. $\Delta T_f=K_f\times m$ (K_f : 몰랄 내림 상수)

또한 라울 법칙에 의하면 묽은 용액의 증기 압력($P_{용액}$)은 용매의 몰 분율($X_{용매}$)에 비례한다. $P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}$

정답맞히기 ㄱ. 용액의 어는점 내림 비가 (가) : (나) = 3 : 5이므로 몰랄 농도의 비도 (가) : (나) = 3 : 5이다.

ㄷ. (가)와 (나)의 용액을 혼합하면 용매의 질량은 180 g, 용질 X의 질량은 $4a$ g, Y의 질량은 $2b$ g이 된다.

따라서 $P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}=P\times\dfrac{n_{물}}{n_{물}+n_X+n_Y}$

$=P\times\dfrac{\dfrac{180}{18}}{\dfrac{180}{18}+\dfrac{4a}{M_X}+\dfrac{2b}{M_Y}}=P\times\dfrac{10}{10+4\times0.09+2\times0.18}$

$=P\times\dfrac{10}{10.72}=\dfrac{125}{134}P$이다.

오답피하기 ㄴ. $\Delta T_f=K_f\times m$이고, X와 Y의 화학식량을 각각 M_X, M_Y라고 하면 용액 (가)에서 $\dfrac{\dfrac{a}{M_X}+\dfrac{b}{M_Y}}{0.09}=3$, (나)에서 $\dfrac{\dfrac{3a}{M_X}+\dfrac{b}{M_Y}}{0.09}=5$이다. 이를 계산하면 $\dfrac{a}{M_X}=0.09$, $\dfrac{b}{M_Y}=0.18$이다.

(다)에서 $\Delta T_f=\dfrac{\dfrac{a}{M_X}+\dfrac{2b}{M_Y}}{0.09}k=\dfrac{0.09+2\times0.18}{0.09}k=5k$이므로, (다)의 기준 어는점은 $-5k$℃이다.

10 용액의 끓는점 오름

해설 | 일정 질량의 용매에 녹이는 용질의 질량을 증가시키면 용액의 몰랄 농도가 커지고 용액의 끓는점도 높아진다. 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$\Delta T_b=K_b\times m$ (K_b는 몰랄 오름 상수)

정답맞히기 ㄴ. 몰랄 오름 상수(K_b)가 클수록 용질의 질량에 따른 끓는점 그래프에서 기울기가 크므로 몰랄 오름 상수는 용매 X가 Y보다 크다. 용질 A의 질량이 같으면 몰랄 농도(m)가 같으므로 끓는점 오름(ΔT_b)은 몰랄 오름 상수가 큰 (가)가 (나)보다 크다.

ㄷ. 용질의 질량이 w g일 때, (가)의 몰랄 농도(m)는 $\dfrac{\dfrac{w}{M}\text{몰}}{0.1\text{ kg}}=\dfrac{10w}{M}$이므로 용매 X의 몰랄 오름 상수($K_b$)는 $K_b=\dfrac{\Delta T_b}{m}=\dfrac{(T_2-T_1)}{\dfrac{10w}{M}}=\dfrac{M(T_2-T_1)}{10w}$℃/$m$이다.

오답피하기 ㄱ. 용매 X의 끓는점은 T_1℃이므로 T_1℃에서 X의 증기 압력은 1기압이고, 용매 Y의 끓는점은 T_1℃보다 높으므로 증기 압력은 1기압보다 작다. 따라서 T_1℃에서의 증기 압력은 X가 Y보다 크다.

11 용매가 다른 두 용액의 증기 압력 내림

해설 | 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮아진다.

정답맞히기 ㄱ. 증기 압력은 B(l) > X 용액 > A(l)이다. A(l)의 증기 압력은 $35h$ mmHg이므로, X 용액의 증기 압력은 $38h$ mmHg, B(l)의 증기 압력은 $40h$ mmHg이다.

ㄷ. 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{용질}$)에 비례한다. $\Delta P=P_{용매}\times X_{용질}$

X 용액은 B(l)보다 증기 압력이 $2h$ mmHg만큼 작으므로

$2h$ mmHg $=40h$ mmHg $\times X_{용질X}$, $X_{용질X}=\dfrac{1}{20}$이므로 X 용액에서 용질 X의 몰 분율은 $\dfrac{1}{20}$이다.

오답피하기 ㄴ. X 용액에서 용매가 A라고 한다면, X 용액의 증기 압력은 A(l)보다 작아야 한다. 그런데 X 용액의 증기 압력이 A(l)보다 크므로 X 용액에서 용매는 B이다.

12 용매가 다른 두 용액의 증기 압력 내림

해설 | 일정량의 용매에 녹이는 용질의 질량을 증가시키면 용질의 몰 분율은 증가하고, 용매의 몰 분율은 감소한다. 이때 묽은 용액의 증기 압력($P_{용액}$)은 용매의 몰 분율($X_{용매}$)에 비례한다.

정답맞히기 ㄴ. 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{용질}$)에 비례한다. $\Delta P=P_{용매}\times X_{용질}$

용질의 질량이 w g일 때 (가)에서 $X_{용질}=\dfrac{\Delta P}{P_{용매}}=\dfrac{a}{96a}=\dfrac{1}{96}$이고, (나)에서 $X_{용질}=\dfrac{\Delta P}{P_{용매}}=\dfrac{3a}{98a}=\dfrac{3}{98}$이다. 따라서 용질의 질량이 w일 때 용질의 몰 분율은 (나)가 (가)보다 크다.

ㄷ. 묽은 용액의 증기 압력($P_{용액}$)은 용매의 몰 분율($X_{용매}$)에 비례한다. 그러므로 용매의 질량을 m g, A와 B의 분자량을 각각 M_A, M_B, 용질 C w g의 몰수를 n_C라고 하면, (가)에서 다음 식이 성립한다. $P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}$

$95a=96a\times\dfrac{\dfrac{m}{M_A}}{\dfrac{m}{M_A}+n_C}$, $n_C=\dfrac{m}{95M_A}$ … ①

또한 용질 C의 질량이 w g일 때 (나)에서 $P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}$이다.

$95a=98a\times\dfrac{\dfrac{m}{M_B}}{\dfrac{m}{M_B}+n_C}$, $n_C=\dfrac{3m}{95M_B}$ … ②

①과 ②에서 n_C는 같으므로 $\dfrac{m}{95M_A}=\dfrac{3m}{95M_B}$, $M_B=3M_A$이고, 분자량은 B가 A의 3배이다.

오답피하기 ㄱ. C의 질량이 0일 때 (가)의 증기 압력이 $96a$이므로 순수한 용매 A의 증기 압력은 $96a$이다. C의 질량이 0일 때 (나)의 증기 압력이 $98a$이므로 순수한 용매 B의 증기 압력은 $98a$이다. 따라서 용매의 증기 압력은 B가 A보다 크다.

13 삼투압

해설 | 반투막을 사이에 두고 농도가 서로 다른 용액이 있을 때 용매 분자가 반투막을 통해 농도가 진한 용액 쪽으로 이동하는 현상을 삼투라고 하고, 삼투 현상을 막기 위해 농도가 진한 용액 쪽에 가해 주어야 하는 최소한의 압력을 삼투압이라고 한다. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(π)은 용액의 몰 농도(C)와

절대 온도(T)에 비례한다. $\pi = CRT$ (반트호프 법칙)

정답맞히기 ㄱ. (다)에서 삼투압은 B 수용액이 A 수용액의 3배이므로 일정량의 용액에 녹아 있는 용질의 입자 수의 비(몰 농도)도 B 수용액이 A 수용액의 3배이다.

$\pi = CRT = \frac{n}{V}RT = \frac{w}{MV}RT$에서 분자량 $M = \frac{wRT}{\pi V}$이다.

A 수용액과 B 수용액은 온도, 용질의 질량(w), 용액의 부피(V)가 같으므로 B 수용액의 삼투압이 A 수용액의 3배이면 분자량은 B가 A의 $\frac{1}{3}$배이다. 즉 분자량은 A가 B의 3배이다.

ㄴ. 묽은 용액의 증기 압력($P_{용액}$)은 용매의 몰 분율($X_{용매}$)에 비례한다. $P_{용액} = P_{용매} \times X_{용매}$

A 수용액과 B 수용액에서 용매의 몰수는 같고, 용질의 몰수는 B가 A의 3배이다. 따라서 용매의 몰 분율은 A 수용액이 B 수용액보다 크고, 증기 압력도 A 수용액이 B 수용액보다 크다.

ㄷ. 용매는 반투막을 통해 이동하지만 용질은 이동하지 못한다. 따라서 (가)와 (다)에서 B 수용액에 들어 있는 용질 B의 입자 수는 같고, 부피가 같으므로 (가)와 (다)에서 B 수용액의 몰 농도는 같다.

14 물의 증기 압력 구하기

해설 | 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮아진다.

정답맞히기 ㄱ. t℃에서 물의 증기 압력을 P_1 mmHg라고 하면 (가)의 증기 압력은 $(P_1 - 3h)$ mmHg, (나)의 증기 압력은 $(P_1 - 5h)$ mmHg이다. 따라서 증기 압력은 (가)가 (나)보다 크다.

ㄷ. 물 1000 g의 몰수를 $n_{물}$, 물의 증기 압력을 P_1 mmHg, A의 분자량을 M_A라고 하면 (가)에 대하여 라울 법칙이 성립한다.

$$\Delta P = P_{용매} \times X_{용질},\ 3h\ \text{mmHg} = P_1\ \text{mmHg} \times \frac{\frac{w}{M_A}}{n_{물} + \frac{w}{M_A}}$$

이 식을 정리하면 $n_{물} = \left(\frac{P_1}{3h} - 1\right) \times \frac{w}{M_A}$이다. … ①

(나)에 대해서도 라울 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$\Delta P = P_{용매} \times X_{용질},\ 5h\ \text{mmHg} = P_1\ \text{mmHg} \times \frac{\frac{2w}{M_A}}{n_{물} + \frac{2w}{M_A}}$$

이 식을 정리하면 $n_{물} = \left(\frac{P_1}{5h} - 1\right) \times \frac{2w}{M_A}$이다. … ②

①과 ②에서 물의 몰수는 같으므로

$\left(\frac{P_1}{3h} - 1\right) \times \frac{w}{M_A} = \left(\frac{P_1}{5h} - 1\right) \times \frac{2w}{M_A}$이고, $P_1 = 15h$이다.

따라서 t℃에서 물의 증기 압력은 $15h$ mmHg이다.

오답피하기 ㄴ. 라울 법칙에 의하면 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{용질}$)에 비례한다. $\Delta P = P_{용매} \times X_{용질}$

(가)에서 증기 압력 내림은 $3h$ mmHg, (나)에서 증기 압력 내림은 $5h$ mmHg이므로 용질의 몰 분율은 (나)가 (가)의 2배보다 작다.

Ⅱ. 물질 변화와 에너지

THEME 05

반응열과 엔탈피

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 38쪽

정답 ③

해설 | $SO(g)$, $SO_2(g)$, $SO_3(g)$의 표준 생성 엔탈피를 나타내는 화학 반응식과 이때의 표준 생성 엔탈피를 $\Delta H_1 \sim \Delta H_3$를 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$S(s, 사방황) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow SO(g)$ $\quad -\frac{\Delta H_1}{2}$

$S(s, 사방황) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$ $\quad -\frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2}$

$S(s, 사방황) + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow SO_3(g)$ $\quad -\frac{\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3}{2}$

정답맞히기 ㄱ. $\Delta H_1 < 0$이므로 $SO(g)$의 표준 생성 엔탈피 $-\frac{\Delta H_1}{2}$는 (+)이다. $\Delta H_2 > \Delta H_3 > 0$이므로 $-\frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} > -\frac{\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3}{2}$이고, 표준 생성 엔탈피는 $SO_2(g)$가 $SO_3(g)$보다 크다.

ㄷ. $S(s, 사방황) + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow SO_3(g)$ 반응에서 $SO_3(g)$의 생성 엔탈피가 $-\frac{\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3}{2}$이므로 $SO_3(g)$의 분해 엔탈피는 $\frac{\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3}{2}$이다.

오답피하기 ㄴ. 연소 엔탈피는 물질 1몰이 완전 연소하여 가장 안정한 생성물이 될 때의 반응 엔탈피이다. S의 연소로 생성될 수 있는 물질인 $SO(g)$, $SO_2(g)$, $SO_3(g)$ 중 $SO(g)$의 표준 생성 엔탈피가 가장 크므로 $SO(g)$은 가장 안정한 생성물이 아니다. 따라서 $S(s, 사방황)$의 연소 엔탈피는 $-\frac{\Delta H_1}{2}$이 아니다.

테마별 수능 필수유제 본문 39~40쪽

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

01 발열, 흡열 반응의 엔탈피 변화(ΔH)

해설 | 반응이 진행될 때 엔탈피(H)가 감소하는 (가)는 발열 반응이고, 엔탈피(H)가 증가하는 (나)는 흡열 반응이다.

정답맞히기 ㄱ. 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피(H)에서 반응물의 엔탈피(H)를 뺀 값이므로 (가)의 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 작다.

오답피하기 ㄴ. (나)는 흡열 반응이므로 (나)가 일어날 때 열을 흡수한다.

ㄷ. (나)는 반응이 진행되었을 때 엔탈피가 증가했으므로 반응물의 엔탈피가 생성물보다 작다.

02 손난로와 냉각 팩에서 엔탈피 변화

해설 | 손난로는 철가루가 산화될 때 발생하는 열을 이용한 것이고, 냉각 팩은 $NH_4NO_3(s)$이 물에 녹을 때 열을 흡수하여 주위의 온도를 낮추는 현상을 이용한다.

정답맞히기 ㄱ. 손난로는 철이 산화되는 반응을 이용한 것이므로 철이 산화되는 반응은 발열 반응이다.

ㄴ. 용해 엔탈피는 물질 1몰이 다량의 물에 용해될 때 흡수하거나 방출하는 열량이다. $NH_4NO_3(s)$이 물에 녹을 때 열을 흡수하므로 $NH_4NO_3(s)$의 용해 엔탈피는 0보다 크다.

오답피하기 ㄷ. 반응이 진행될 때 손난로는 열을 방출하므로 엔탈피는 생성물이 반응물보다 작다. 냉각 팩은 손난로와 반대로 열을 흡수하므로 엔탈피는 생성물이 반응물보다 크다. 따라서 반응이 진행될 때 엔탈피가 감소하는 것은 손난로이다.

03 분해 엔탈피와 중화 엔탈피

해설 | 분해 엔탈피는 물질 1몰이 가장 안정한 원소로 분해될 때 방출하거나 흡수하는 열량으로 표준 생성 엔탈피와 크기가 같고 부호는 반대이다. 중화 엔탈피는 산과 염기가 중화되어 물 1몰이 생성될 때 방출하는 열량이다.

정답맞히기 ㄴ. b kJ은 중화 반응의 반응 엔탈피이므로 중화열이 발생하는 발열 반응이다. 따라서 엔탈피 변화(ΔH)는 0보다 작다.

오답피하기 ㄱ. 분해 엔탈피는 가장 안정한 원소로 분해될 때 출입하는 열량이므로 $NaCl(s) \longrightarrow Na(s)+\frac{1}{2}Cl_2(g)$ 반응의 엔탈피 변화이다. 따라서 $NaCl(s)$의 분해 엔탈피(ΔH)는 a kJ/몰과 같지 않다.

ㄷ. (나)는 발열 반응이므로 엔탈피의 총합은 반응물이 생성물보다 크다.

04 물과 수증기의 표준 생성 엔탈피(ΔH)

해설 | (가)는 $H_2(g)$와 $O_2(g)$로부터 수증기가 생성되는 반응이고, (나)는 물이 $H_2(g)$와 $O_2(g)$로 분해되는 반응이다. (가)는 반응 엔탈피(ΔH)가 0보다 작으므로 발열 반응이고, (나)는 반응 엔탈피(ΔH)가 0보다 크므로 흡열 반응이다.

정답맞히기 ㄱ. 반응 엔탈피가 0보다 작은 (가)는 발열 반응이므로, 열은 계에서 주위로 이동한다.

ㄴ. (나)에서 $2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2(g)+O_2(g)$ 반응의 $\Delta H=572$ kJ이므로 $2H_2(g)+O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ 반응의 $\Delta H=-572$ kJ이고, $H_2O(l)$의 표준 생성 엔탈피는 $\Delta H=\frac{-572}{2}=-286$(kJ/몰)이다.

ㄷ. (가) $2H_2(g)+O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$ 반응의 $\Delta H=-484$ kJ이므로 $H_2O(g)$의 표준 생성 엔탈피는 $\Delta H=\frac{-484}{2}=-242$(kJ/몰)이다. $H_2O(l)$의 표준 생성 엔탈피는 -286 kJ/몰이고, $H_2O(g)$의 표준 생성 엔탈피는 -242 kJ/몰이므로 $H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g)$ 반응의 엔탈피 변화에 해당하는 $H_2O(l)$의 기화 엔탈피는 $H_2O(g)$의 표준 생성 엔탈피에서 $H_2O(l)$의 표준 생성 엔탈피를 뺀 값인 44 kJ/몰이다.

05 탄소(C)를 포함한 물질의 엔탈피(H) 변화

해설 | 생성 엔탈피는 물질 1몰이 가장 안정한 원소로부터 생성될 때 흡수하거나 방출하는 열량이고, 연소 엔탈피는 물질 1몰이 완전 연소하여 가장 안정한 생성물이 될 때 방출하는 열량이다.

정답맞히기 ㄴ. 흑연의 완전 연소 반응식은 $C(s, \text{흑연})+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$이고, 이 반응의 엔탈피 변화가 흑연의 연소 엔탈피이다. 흑연의 연소 반응은 발열 반응이므로 흑연의 연소 엔탈피(ΔH)는 $-(b+c)$ kJ/몰이다.

ㄷ. $CO(g)$의 표준 생성 엔탈피(ΔH)는 가장 안정한 원소인 $C(s, \text{흑연})$과 $O_2(g)$로부터 $CO(g)$가 생성될 때의 엔탈피 변화이다. $C(s, \text{흑연})+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 $-b$ kJ이고, $CO(g)$의 표준 생성 엔탈피(ΔH)는 $-b$ kJ/몰이다.

오답피하기 ㄱ. 가장 안정한 원소의 표준 생성 엔탈피는 0이고, 그림에서 흑연의 엔탈피가 다이아몬드보다 낮으므로 탄소(C)의 가장 안정한 원소는 $C(s, \text{흑연})$이다. 따라서 흑연의 표준 생성 엔탈피(ΔH)는 0이고 다이아몬드의 표준 생성 엔탈피는 $C(s, \text{흑연}) \longrightarrow C(s, \text{다이아몬드})$의 엔탈피 변화와 같고, $\Delta H=a$ kJ/몰이다.

06 스타이로폼 열량계를 이용한 용해 엔탈피(ΔH)의 측정

해설 | 용액이 얻은 열량(J)은 용액의 비열(J/g·℃)×용액의 질량(g)×용액의 온도 변화(℃)로 구할 수 있다.

정답맞히기 용액 100 g의 온도가 20℃에서 35℃로 15℃ 상승했고, 용액 1 g을 1℃ 높이는 데 필요한 열량인 용액의 비열은 4.2 J/g·℃이므로 용액이 얻은 열량은 4.2 J/g·℃×100 g×15℃=6300 J=6.3 kJ이다. 실험에 사용한 $CaCl_2(s)$는 10 g이고 $CaCl_2$의 화학식량은 110이므로 $CaCl_2$의 몰수는 $\frac{10\text{ g}}{110\text{ g/몰}}=\frac{1}{11}$몰이다. $CaCl_2$ $\frac{1}{11}$몰이 용해될 때 6.3 kJ의 열이 발생했으므로 1몰이 용해될 때는 6.3 kJ×11=69.3 kJ의 열이 발생한다. 발열 반응의 엔탈피 변화는 (−)이므로, 이 실험에서 구한 $CaCl_2(s)$의 용해 엔탈피(ΔH)는 −69.3 kJ/몰이다.

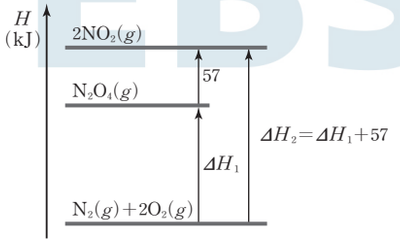
07 N_2O_4 분해 반응의 엔탈피 변화(ΔH)

해설 | 반응이 진행될 때 엔탈피가 증가했으므로 $N_2O_4(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ 반응은 흡열 반응이고 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 크다. 표준 생성 엔탈피는 25℃, 1기압에서 물질 1몰이 가장 안정한 원소로부터 생성될 때 흡수하거나 방출하는 열량이므로, $N_2O_4(g)$의 표준 생성 엔탈피는 $N_2(g)+2O_2(g) \longrightarrow N_2O_4(g)$ 반응에서의 반응 엔탈피(ΔH)이다.

정답맞히기 ㄴ. $N_2O_4(g)$의 표준 생성 엔탈피가 0보다 크다고 하였으므로, $N_2(g)+2O_2(g) \longrightarrow N_2O_4(g)$ 반응에서의 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 크다. 또 $N_2O_4(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ 반응이 진행될 때 엔탈피가 증가했으므로 $N_2(g)+2O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$의 엔탈피 변화($\Delta H$)는 0보다 크다.

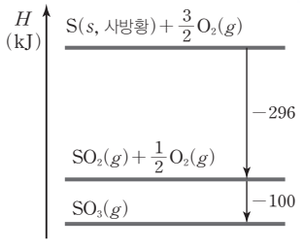
오답피하기 ㄱ. $N_2O_4(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ 반응은 흡열 반응이므로, $2NO_2(g) \longrightarrow N_2O_4(g)$ 반응은 발열 반응이고 반응이 일어날 때 열에너지를 방출한다.

ㄷ. $N_2O_4(g)$의 표준 생성 엔탈피를 $N_2(g)+2O_2(g) \longrightarrow N_2O_4(g)$ ΔH_1이라고 하고, $N_2(g)+2O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$의 반응 엔탈피를 ΔH_2라고 하면 $\Delta H_2=\Delta H_1+57$이다. 표준 생성 엔탈피는 물질 1몰이 가장 안정한 원소로부터 생성될 때 흡수하거나 방출하는 열량이므로 $NO_2(g)$의 표준 생성 엔탈피는 $\frac{\Delta H_2}{2}=\frac{\Delta H_1+57}{2}$이다. 따라서 $NO_2(g)$의 표준 생성 엔탈피가 $N_2O_4(g)$의 표준 생성 엔탈피보다 28.5 kJ/몰 큰 것은 아니다.



08 열화학 반응식의 표현 방법

해설 | 열화학 반응식은 화학 반응이 일어날 때 출입하는 열을 표시한 화학 반응식으로, 물질의 상태와 반응열을 함께 나타낸다. 예를 들어 $S(s, 사방황)+O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)+296$ kJ에서 황과 산소가 반응하여 1몰의 이산화 황 기체가 생성될 때 296 kJ의 열이 발생한다는 것을 알 수 있다. 이것을 엔탈피 변화로 나타내면 $S(s, 사방황)+O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$ $\Delta H=-296$ kJ이 된다.



정답맞히기 ㄱ. ㉢ $SO_3(g)+H_2O(l) \longrightarrow H_2SO_4(aq)+a$ kJ에서 $a>0$이므로 a kJ의 열이 발생했고, 발열 반응이다.

ㄴ. 그림은 반응 ㉠과 ㉡에서 엔탈피 관계를 나타낸 것이다. $SO_3(g)$의 표준 생성 엔탈피(ΔH)는 황과 산소가 반응하여 1몰의 삼산화 황 기체가 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 $S(s, 사방황)+\frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow SO_3(g)$ 반응의 ΔH이고, $\Delta H=-296+(-100)=-396$ (kJ/몰)이다.

ㄷ. $S(s, 사방황)$ 1몰이 연소된 후 물에 녹아 $H_2SO_4(aq)$이 되는 반응은 $S(s, 사방황)+\frac{3}{2}O_2(g)+H_2O(l) \longrightarrow H_2SO_4(aq)$이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H=-296+\left(-\frac{200}{2}\right)+(-a)=-(396+a)$ kJ이다. 따라서 $(396+a)$ kJ의 에너지를 방출한다.

테마별 수능 심화문제 본문 41~42쪽

09 ⑤ 10 ③ 11 ② 12 ⑤

09 표준 생성 엔탈피와 연소 엔탈피

해설 | 표준 생성 엔탈피는 25℃, 1기압에서 물질 1몰이 가장 안정한 원소로부터 생성될 때 출입하는 에너지이다. 25℃, 1기압에서 수소(H), 탄소(C), 산소(O)의 가장 안정한 원소는 각각 $H_2(g)$, $C(s, 흑연)$, $O_2(g)$이고, $H_2(g)$, $C(s, 흑연)$ 각각 1몰이 완전 연소할 때의 열화학 반응식은 다음과 같다.

$H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ ΔH_1

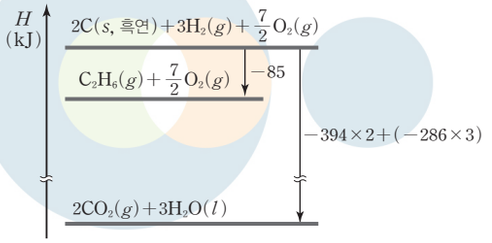
$C(s, 흑연)+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ ΔH_2

$\Delta H_1=H_2(g)$의 연소 엔탈피$=H_2O(l)$의 표준 생성 엔탈피

$\Delta H_2=C(s, 흑연)$의 연소 엔탈피$=CO_2(g)$의 표준 생성 엔탈피

정답맞히기 ㄴ. 분해 엔탈피는 물질 1몰이 가장 안정한 원소로 분해될 때 출입하는 에너지로 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호는 반대이다. 따라서 $C_2H_6(g)$의 분해 엔탈피는 85 kJ/몰, $C_2H_4(g)$의 분해 엔탈피는 −52 kJ/몰이고, 분해 엔탈피는 $C_2H_6(g)$이 $C_2H_4(g)$보다 크다.

ㄷ. $C_2H_6(g)$의 연소 엔탈피는 $C_2H_6(g)+\frac{7}{2}O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)+3H_2O(l)$ 반응의 반응 엔탈피이고, 이때 각 물질의 엔탈피는 그림과 같이 나타낼 수 있다.



$C_2H_6(g)+\frac{7}{2}O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)+3H_2O(l)$ 반응의 엔탈피 변화 $\Delta H=(-394\times2)+(-286\times3)-(-85)=-1561$(kJ)이고 $C_2H_6(g)$의 연소 엔탈피는 −1561 kJ/몰이다.

오답피하기 ㄱ. 25℃, 1기압에서 $H_2(g)$의 연소 엔탈피는 $H_2O(l)$의 표준 생성 엔탈피와 같으므로 −286 kJ/몰이고, $C(s, 흑연)$의 연소 엔탈피는 $CO_2(g)$의 표준 생성 엔탈피와 같으므로 −394 kJ/몰이다. H_2의 분자량은 2이고 C의 화학식량은 12이므로, $H_2(g)$와 $C(s, 흑연)$ 각각 1 g이 연소될 때 방출하는 에너지는 $H_2(g)$: $C(s, 흑연)=\frac{286}{2}:\frac{394}{12}$로 $H_2(g)$가 $C(s, 흑연)$보다 크다.

10 통열량계와 연소열의 측정

해설 | 열용량이란 물질의 온도를 1℃ 높이는 데 필요한 열량으로 단위는 J/℃이다. 통열량계를 사용하여 반응열을 측정할 경우, 물의 비열과 물을 제외한 통열량계만의 열용량을 각각 알거나 물을 포함한 통열량계의 열용량을 알아야 한다. 즉 발생한 열에너지=(물의 비열×물의 질량×온도 변화)+(통열량계만의 열용량×온도 변화) 또는 (물을 포함한 통열량계의 열용량×온도 변화)로부터 구할 수 있다.

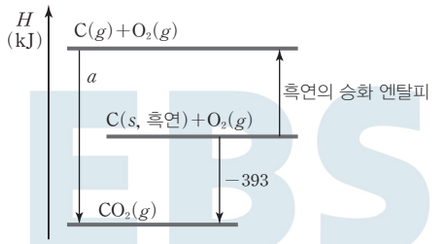
정답맞히기 ㄱ. 물의 비열에 물의 질량과 온도 변화를 곱하여 물이 얻은 열량을 구할 수 있다.
ㄷ. 실험에서는 C(*s*, 흑연) 1.0 g을 완전 연소시켰을 때 발생하는 열량을 측정하였으므로, C(*s*, 흑연) 1몰이 완전 연소할 때 발생하는 열량을 구하려면 C의 원자량을 곱해야 한다.
ㄹ. 물뿐 아니라 통열량계도 에너지를 흡수하므로 C(*s*, 흑연)의 연소 반응에서 방출된 에너지를 계산하기 위해서는 통열량계의 열용량도 알아야 한다.

오답피하기 ㄴ. 물이 흡수한 에너지는 (물의 비열×물의 질량×온도 변화)로부터 계산할 수 있으므로 물의 분자량은 필요한 자료가 아니다.

11 연소 엔탈피

해설 | 연소 엔탈피를 나타내는 열화학 반응식은 다음과 같다.

(가) $C(s, 흑연)+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\Delta H=-393$ kJ
(나) $C(g)+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\Delta H=a$ kJ
(다) $H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ $\Delta H=-286$ kJ
(라) $CH_4(g)+2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)+2H_2O(l)$ $\Delta H=-890$ kJ



정답맞히기 ㄷ. $CH_4(g)$의 표준 생성 엔탈피는 $C(s, 흑연)+2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g)$의 반응 엔탈피와 같고, (가)+(다)×2−(라)와 같다.

(가) : $C(s, 흑연)+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\Delta H=-393$ kJ
(다)×2 : $2H_2(g)+O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ $\Delta H=-286\times2$ kJ
−(라) : $CO_2(g)+2H_2O(l) \longrightarrow CH_4(g)+2O_2(g)$ $\Delta H=890$ kJ

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

오답피하기 ㄱ. 흑연의 승화 엔탈피는 $C(s, 흑연) \longrightarrow C(g)$의 반응 엔탈피로 고체의 결합을 끊어야 하므로 0보다 크다. $C(g)+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$의 반응 엔탈피는 −(393+C(*s*, 흑연)의 승화 엔탈피)와 같다.
ㄴ. −(*a*+393) kJ/몰은 위 그림에서 알 수 있듯이 흑연의 승화 엔탈피이다. 결합 에너지는 기체 상태에서 두 원자 간의 공유 결합을 끊는 데 필요한 에너지이므로 고체가 기체가 될 때 흡수하는 에너지인 승화 엔탈피와 같지 않다.

12 표준 생성 엔탈피

정답맞히기 학생 A : 인산(H_3PO_4)이 용해될 때의 엔탈피 변화는 $H_3PO_4(l) \longrightarrow H_3PO_4(aq)$ 반응의 엔탈피 변화이고 ΔH=생성물의 엔탈피−반응물의 엔탈피=−20(kJ/몰)이다. 따라서 인산(H_3PO_4)의 용해는 발열 반응이고 인산을 물에 녹일 때 수용액의 온도는 올라간다.
학생 B : 인이 완전 연소하면 $P_4O_{10}(s)$이 되므로 붉은인의 완전 연소 반응식은 $4P(s, 붉은인)+5O_2(g) \longrightarrow P_4O_{10}(s)$이고 $O_2(g)$의 표준 생성 엔탈피는 0이므로, 붉은인의 연소 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H=-2980-(-18\times4)=-2908$(kJ)이다. 연소 엔탈피는 물질 1몰이 완전 연소할 때 열량이므로 P(*s*, 붉은인)의 연소 엔탈피는 $\Delta H=\frac{-2908\text{ kJ}}{4\text{몰}}=-727$ kJ/몰이다.
학생 C : 인의 완전 연소 반응식은 $4P(s)+5O_2(g) \longrightarrow P_4O_{10}(s)$이다. P(*s*, 흰인)은 표준 생성 엔탈피가 0이므로 흰인의 연소 반응의 엔탈피 변화는 $\Delta H=-2980$ kJ이고, P(*s*, 붉은인)은 표준 생성 엔탈피가 −18 kJ이므로 붉은인의 연소 반응의 엔탈피 변화는 $\Delta H=-2980-(-18\times4)=-2908$ kJ이다. 따라서 $P_4O_{10}(s)$ 1몰이 생성될 때 흰인이 붉은인보다 72 kJ의 에너지를 더 방출한다.

THEME 06

헤스 법칙과 에너지 보존, 결합 에너지

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 44쪽

정답 ③

정답맞히기 $CH_4(g)$의 연소 엔탈피와 $H_2O(l)$의 표준 생성 엔탈피를 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.

$CH_4(g)+2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)+2H_2O(l)$ $\Delta H=-890$ kJ … ①
$H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ $\Delta H=-286$ kJ … ②

결합 에너지는 기체 상태의 두 물질을 구성하는 원자 간의 공유 결합을 끊는 데 필요한 에너지이므로 액체인 물의 엔탈피 변화는 결합 에너지를 사용하여 계산할 수 없다. 따라서 두 반응식에서 물을 없애기 위해 ①−2×②를 한다.

$CH_4(g)+O_2(g) \longrightarrow 2H_2(g)+CO_2(g)$ $\Delta H=-890-(-286\times2)=-318$ kJ

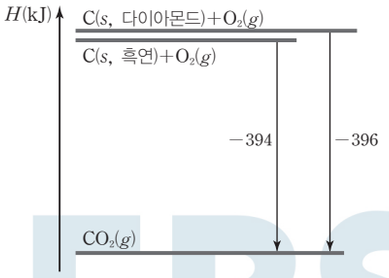
반응 엔탈피는 [반응물의 결합 에너지 합−생성물의 결합 에너지 합]이므로 O=O의 결합 에너지를 *x*라고 하면, $(410\times4)+x-(436\times2+800\times2)=-318$이다. 이를 풀면 $x=514$(kJ/몰)이다.

테마별 수능 필수유제 본문 45~46쪽

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

01 흑연과 다이아몬드의 연소

해설 | 흑연과 다이아몬드의 연소 반응에서 엔탈피 변화는 그림과 같다.



정답맞히기 ㄱ. 흑연 1몰이 완전 연소할 때 394 kJ의 에너지가 발생하고, 흑연 6 g은 $\frac{6\text{ g}}{12\text{ g/몰}}=0.5$몰이므로 흑연 6 g이 완전 연소할 때 $\frac{394}{2}=197(\text{kJ})$의 에너지를 방출한다.

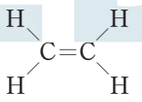
ㄴ. 흑연의 엔탈피가 다이아몬드의 엔탈피보다 낮으므로, 생성 엔탈피는 흑연이 다이아몬드보다 작다. 1기압에서 탄소(C)의 가장 안정한 원소는 흑연이고, 흑연의 생성 엔탈피는 0이다.

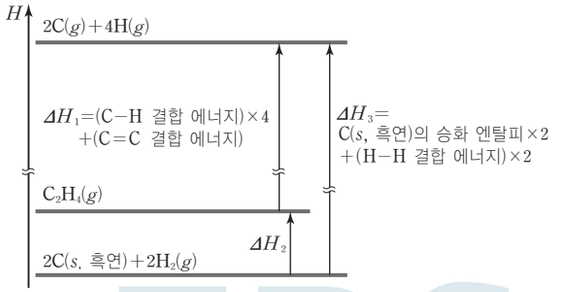
오답피하기 ㄷ. C(s, 다이아몬드) ⟶ C(s, 흑연) 반응의 $\Delta H=-2$ kJ이다.

02 결합 에너지와 생성 엔탈피

해설 | 흑연의 승화 엔탈피의 열화학 반응식과 $C_2H_4(g)$의 구조식, 결합 에너지와 생성 엔탈피의 관계는 그림과 같다.

- 열화학 반응식 : C(s, 흑연) ⟶ C(g) $\Delta H=716$ kJ
- $C_2H_4(g)$의 구조식 :





정답맞히기 $C_2H_4(g)$의 표준 생성 엔탈피는 2C(s, 흑연)+2$H_2(g)$ ⟶ $C_2H_4(g)$ 반응의 엔탈피 변화(ΔH_2)이고, $\Delta H_2=\Delta H_3-\Delta H_1=[(716\times2)+(436\times2)]-[(410\times4)+610]=54(\text{kJ/몰})$이다.

03 헤스 법칙

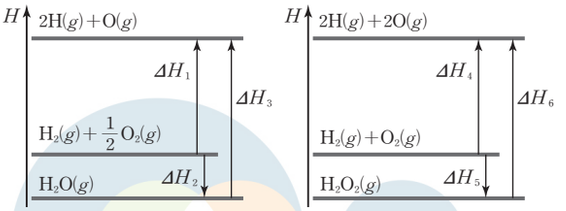
정답맞히기 ㄷ. 헤스 법칙에 의하면 반응물과 생성물이 같으면 화학 반응이 일어나는 동안의 엔탈피 변화는 반응 경로에 관계없이 항상 일정하다. (나) NaOH(s) 0.4 g을 녹인 후 (다) 1 M HCl(aq) 10 mL를 넣었을 때 용액이 얻은 열량의 합은 NaOH(s) 0.4 g과 1 M HCl(aq) 10 mL를 동시에 넣어 녹인 (라)에서 용액이 얻은 열량과 같다. 따라서 $Q_3=Q_1+Q_2$가 성립한다.

오답피하기 ㄱ. NaOH(s) 0.4 g은 $\frac{0.4\text{ g}}{40\text{ g/몰}}=0.01$몰이므로 (나)에서 용액이 얻은 열량($Q_1$)은 NaOH($s$) 1몰이 물에 녹을 때 열량 변화의 0.01배이다. NaOH(s)의 용해는 발열 과정이므로 용해 엔탈피(ΔH)는 $-100Q_1$ kJ/몰이다.

ㄴ. 중화 엔탈피는 산의 수소 이온 1몰과 염기의 수산화 이온 1몰이 반응하여 물 1몰이 생성될 때의 반응 엔탈피이다. (라)에서 NaOH(s) 0.4 g과 1 M HCl(aq) 10 mL를 동시에 넣었을 때 용액이 얻은 열량(Q_3)은 중화 반응이 일어날 때의 엔탈피 변화뿐 아니라 NaOH(s) 0.4 g이 물에 용해될 때의 엔탈피 변화를 포함하므로 중화 엔탈피(ΔH)는 $-100Q_3$ kJ/몰이 아니다. (다)에서 NaOH(aq)에 HCl(aq)을 넣었을 때의 엔탈피 변화가 중화에 의한 엔탈피 변화에 해당하며, 반응한 NaOH과 HCl의 몰수가 각각 0.01몰이므로 중화 엔탈피(ΔH)는 $-100Q_2$ kJ/몰이다.

04 표준 생성 엔탈피와 결합 에너지

정답맞히기 표준 생성 엔탈피와 결합 에너지의 에너지 관계를 나타내면 그림과 같다.



표준 생성 엔탈피를 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.

$\frac{1}{2}H_2(g)\longrightarrow H(g)\ \Delta H=218$ kJ

$\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow O(g)\ \Delta H=249$ kJ

$H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow H_2O(g)\ \Delta H=-242$ kJ

$H_2(g)+O_2(g)\longrightarrow H_2O_2(g)\quad \Delta H=-136$ kJ

$\Delta H_1=$($H(g)$의 표준 생성 엔탈피)$\times2+$($O(g)$의 표준 생성 엔탈피)$=(218\times2)+249=685(\text{kJ})$

$\Delta H_2=H_2O(g)$의 표준 생성 엔탈피$=-242(\text{kJ})$

$\Delta H_3=\Delta H_1-\Delta H_2=685-(-242)=927(\text{kJ})=$(H−O의 결합 에너지$\times2$)

$\Delta H_4=$($H(g)$의 표준 생성 엔탈피)$\times2+$($O(g)$의 표준 생성 엔탈피)$\times2=(218\times2)+(249\times2)=934(\text{kJ})$

$\Delta H_5=H_2O_2(g)$의 표준 생성 엔탈피$=-136(\text{kJ})$

$\Delta H_6=\Delta H_4-\Delta H_5=934-(-136)=1070(\text{kJ})=$(H−O의 결합 에너지$\times2$)+(O−O의 결합 에너지)$=927+$(O−O의 결합 에너지)

$\therefore$(O−O의 결합 에너지)$=1070-927=143(\text{kJ/몰})$

05 엔탈피 변화

정답맞히기 ㄱ. $H_2(g)$ 1몰의 결합을 끊는 데 필요한 에너지는 $H_2(g)$ ⟶ 2$H(g)$ 반응의 반응 엔탈피이다. 그림에서 $N_2(g)+3H_2(g)$ ⟶ $N_2(g)+6H(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H=a+b$(kJ)이므로 $H_2(g)$ ⟶ 2$H(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 $\frac{a+b}{3}$ kJ이다.

ㄷ. $2NH_3(g) \longrightarrow 2N(g)+6H(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 (N−H)의 결합 에너지의 6배이며, H−H와 N≡N의 결합 에너지와 $NH_3(g)$의 표준 생성 엔탈피로 나타낼 수 있다.

$N_2(g) \longrightarrow 2N(g)$ $\Delta H=b$ kJ

$3H_2(g) \longrightarrow 6H(g)$ $\Delta H=(a+b)$ kJ

$2NH_3(g) \longrightarrow N_2(g)+3H_2(g)$ $\Delta H=c$ kJ

위 세 반응식을 모두 더하면 $2NH_3(g) \longrightarrow 2N(g)+6H(g)$이고, 이 반응의 반응 엔탈피는 $(a+2b+c)$ kJ이다. 따라서 N−H의 결합 에너지는 $\frac{a+2b+c}{6}$ kJ/몰이다.

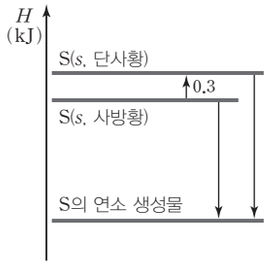
오답피하기 ㄴ. $N(g)$의 표준 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}N_2(g) \longrightarrow N(g)$ 반응의 반응 엔탈피이다. $N_2(g)+3H_2(g) \longrightarrow 2N(g)+3H_2(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 b(kJ)이므로 $\frac{1}{2}N_2(g) \longrightarrow N(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 $\frac{b}{2}$ kJ이다.

06 표준 생성 엔탈피

정답맞히기 ㄱ. 25℃에서 사방황의 표준 생성 엔탈피가 0이므로 25℃, 1기압에서 황(S)의 동소체 중 S(s, 사방황)이 가장 안정하다.

ㄴ. O=O의 결합 에너지는 $O_2(g)$ 1몰의 결합을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이므로 $O_2(g) \longrightarrow 2O(g)$ 반응의 반응 엔탈피와 같고 500 kJ/몰이다.

오답피하기 ㄷ. 연소 엔탈피는 어떤 물질이 완전 연소하여 가장 안정한 생성물이 될 때의 반응 엔탈피이므로, 동소체인 S(s, 사방황)과 S(s, 단사황)이 완전 연소하여 생성된 생성물은 같다. 또 연소 반응은 발열 반응이므로 엔탈피 변화는 0보다 작고, [S(s, 사방황)의 연소 엔탈피−S(s, 단사황)의 연소 엔탈피]는 0.3 kJ/몰이다.



07 과산화 수소(H_2O_2)수의 분해

해설 | 과산화 수소(H_2O_2)수에 촉매인 아이오딘화 칼륨(KI)을 넣었을 때 발생하는 기포는 산소 기체이고, 남은 액체는 물이다. 화학 반응식은 $H_2O_2(aq) \longrightarrow H_2O(l)+\frac{1}{2}O_2(g)$이다.

정답맞히기 $H_2O_2(aq) \longrightarrow H_2O(l)+\frac{1}{2}O_2(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 다음의 열화학 반응식을 이용하면 $\frac{1}{2}\times$①−②−③과 같다. 반응 엔탈피는 −95 kJ이다.

$2H_2(g)+O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ $\Delta H=-572$ kJ … ①

$H_2(g)+O_2(g) \longrightarrow H_2O_2(l)$ $\Delta H=-188$ kJ … ②

$H_2O_2(l) \longrightarrow H_2O_2(aq)$ $\Delta H=-3$ kJ … ③

따라서 H_2O_2 1몰이 반응했을 때 엔탈피 변화는 −95 kJ이다.

08 엔탈피와 반응 엔탈피

해설 | 동소체는 성분 원소는 같지만 구조가 달라 서로 다른 특징을 갖는 원소이다. 엔탈피가 낮으면 대체로 더 안정한 상태이므로, 25℃, 1기압에서 산소의 동소체 중 가장 안정한 물질은 $O_2(g)$이다.

정답맞히기 ㄱ. 반응의 엔탈피 변화는 (생성물의 엔탈피−반응물의 엔탈피)이므로 $O_2(g)+O(g) \longrightarrow O_3(g)$ 반응의 엔탈피 변화는 [$O_3(g)$의 엔탈피−($O_2(g)$의 엔탈피+$O(g)$의 엔탈피)]이다.

따라서 $\Delta H_1=[b-(a+c)]$ kJ이다.

ㄷ. $O_3(g)+O(g) \longrightarrow 2O_2(g)$ 반응의 엔탈피 변화 $\Delta H_2=$[$O_2(g)$의 엔탈피×2−($O_3(g)$의 엔탈피+$O(g)$의 엔탈피)]=[$2a-(b+c)$] kJ이다. 분해 엔탈피는 물질 1몰이 가장 안정한 원소로 분해될 때의 엔탈피 변화이므로, 1기압에서 $O_3(g)$의 분해 엔탈피는 $O_3(g) \longrightarrow \frac{3}{2}O_2(g)$ 반응의 반응 엔탈피이고 $\left(\frac{3}{2}a-b\right)$ kJ이다.

$O(g)$의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow O(g)$ 반응의 반응 엔탈피이고 $\left(c-\frac{1}{2}a\right)$ kJ이다. 따라서 [($O_3(g)$의 분해 엔탈피)−($O(g)$의 생성 엔탈피)]=$\left[\left(\frac{3}{2}a-b\right)-\left(c-\frac{1}{2}a\right)\right]=2a-b-c$(kJ)이므로 ΔH_2와 같다.

오답피하기 ㄴ. O=O의 결합 에너지는 $O_2(g) \longrightarrow 2O(g)$ 반응의 엔탈피 변화이므로 [$O(g)$의 엔탈피×2−$O_2(g)$의 엔탈피]=$(2c-a)$ kJ/몰이다.

테마별 수능 심화문제 본문 47~48쪽

09 ⑤ 10 ① 11 ③ 12 ①

09 철의 산화와 제련 반응의 엔탈피 변화

해설 | 이산화 탄소 기체의 생성 엔탈피는 반응 $C(s, 흑연)+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$의 반응 엔탈피이다. 헤스 법칙에 따라 열화학 반응식을 적절히 가감하여 이 반응식을 완성할 수 있다.

정답맞히기 (가)~(라)에서 (라)에만 $CO_2(g)$가 존재한다. (라)에서 $CO_2(g)$의 생성 엔탈피에 관련되지 않은 $Fe_2O_3(s)$, $CO(g)$, $Fe(s)$을 없애기 위해서 (가)$+\frac{1}{2}\times$(나)$+\frac{3}{2}\times$(다)+(라)를 하여 식을 다시 쓰면 다음과 같다.

(가) $2Fe(s)+O_2(g) \longrightarrow 2FeO(s)$ ΔH_1

$\frac{1}{2}\times$(나) $2FeO(s)+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow Fe_2O_3(s)$ $\frac{1}{2}\Delta H_2$

$\frac{3}{2}\times$(다) $3C(s, 흑연)+\frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow 3CO(g)$ $\frac{3}{2}\Delta H_3$

(라) $Fe_2O_3(s)+3CO(g) \longrightarrow 2Fe(s)+3CO_2(g)$ ΔH_4

$3C(s, 흑연)+3O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g)$

$\Delta H_1+\frac{1}{2}\Delta H_2+\frac{3}{2}\Delta H_3+\Delta H_4$

따라서 $C(s, 흑연)+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 $\frac{2\Delta H_1+\Delta H_2+3\Delta H_3+2\Delta H_4}{6}$이다.

10 수소와 산소의 반응 엔탈피와 헤스 법칙

해설 | 화학 반응이 일어나는 동안 방출하거나 흡수하는 열량은 처음 물질과 나중 물질의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 항상 일정하다.

정답맞히기 ㄱ. 헤스 법칙에 의하면 ΔH_3은 $-\Delta H_1+\Delta H_2$와 같으므로 $-(-136)+(-242)=-106$ kJ이다.

오답피하기 ㄴ. 25℃, 1기압에서 $H_2(g)$의 연소 엔탈피는 $H_2(g)$ 1몰이 완전 연소하여 가장 안정한 생성물인 $H_2O(l)$을 생성할 때의 반응 엔탈피이므로 $H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ 반응의 반응 엔탈피와 같다. $H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(g)$ 반응과 비교하면, $H_2O(l)$의 엔탈피가 $H_2O(g)$보다 작으므로 $H_2(g)$의 연소 엔탈피는 연소 생성물이 $H_2O(g)$인 반응의 반응 엔탈피인 $\Delta H_2=-242$ kJ보다 작다.

ㄷ. 기체 반응에서 반응물의 결합이 끊어질 때 흡수하는 에너지와 생성물의 결합이 형성될 때 방출하는 에너지의 차가 반응 엔탈피이다. $2H_2O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)+O_2(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 ΔH_3의 2배이므로 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값은 $-106\times2=-212$(kJ)이다.

11 금속 이온과 금속의 반응

해설 | $Ag^+(aq)$에 금속 Cu를 넣은 후 반응이 진행되었을 때 $Ag(s)$이 얻어졌고 $Cu^{2+}(aq)$이 생성되었으므로 $2Ag^+(aq)+Cu(s) \longrightarrow 2Ag(s)+Cu^{2+}(aq)$ 반응이 진행되었다.

정답맞히기 ㄱ, ㄴ. 화학 반응의 반응 엔탈피는 반응물과 생성물의 생성 엔탈피로부터 얻을 수 있다. $Ag(s) \longrightarrow Ag^+(aq)+e^-$ $\Delta H=105$ kJ이고 $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq)+2e^-$ $\Delta H=65$ kJ이므로 $2Ag^+(aq)+Cu(s) \longrightarrow 2Ag(s)+Cu^{2+}(aq)$ 반응의 반응 엔탈피는 $-2\times105+65=-145$(kJ)이고, 발열 반응이므로 반응이 진행되면 주위로 열을 방출한다.

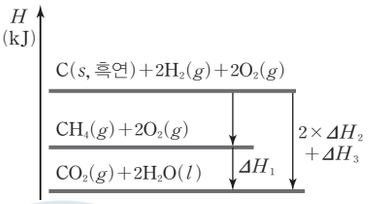
오답피하기 ㄷ. 표준 전지 전위가 0보다 큰 반응은 자발적이고, 자유 에너지 변화가 (−)값을 갖는다. 25℃, 1기압에서 $2Ag^+(aq)+Cu(s) \longrightarrow 2Ag(s)+Cu^{2+}(aq)$ 반응이 자발적으로 진행되므로 이 반응의 자유 에너지 변화는 (−)값을, 표준 전지 전위는 (+)값을 갖는다. 따라서 이 반응의 역반응인 $2Ag(s)+Cu^{2+}(aq) \longrightarrow 2Ag^+(aq)+Cu(s)$ 반응은 비자발적이고 자유 에너지 변화는 (+)값을 갖고, 표준 전지 전위는 0보다 작다.

12 생성 엔탈피와 결합 에너지

해설 | 생성 엔탈피는 어떤 물질 1몰이 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이고, 결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 원자 간의 공유 결합 1몰을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다.

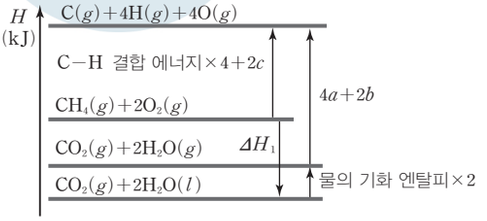
정답맞히기 ㄱ. ΔH_1~ΔH_3은 각각 $CH_4(g)$, $H_2(g)$, C(s, 흑연)이 완전 연소될 때의 반응 엔탈피이다. 연소 반응은 발열 반응이므로 ΔH_1~ΔH_3은 모두 0보다 작다.

오답피하기 ㄴ. $CH_4(g)$의 생성 엔탈피는 C(s, 흑연)$+2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g)$ 반응의 반응 엔탈피이다.



그림에서 $[CH_4(g)$의 생성 엔탈피$+\Delta H_1]=[2\Delta H_2+\Delta H_3]$이므로 $CH_4(g)$의 생성 엔탈피$=(2\Delta H_2+\Delta H_3-\Delta H_1)$ kJ/몰이다.

ㄷ. 그림에서 $[C-H$의 결합 에너지$\times4+2c]-\Delta H_1=[(4a+2b)+$물의 기화 엔탈피$\times2]$이다. 따라서 C−H의 결합 에너지는 $\left[\left(a+\frac{1}{2}b-\frac{1}{2}c\right)+\frac{1}{4}(\Delta H_1+$물의 기화 엔탈피$\times2)\right]$ kJ/몰이다.



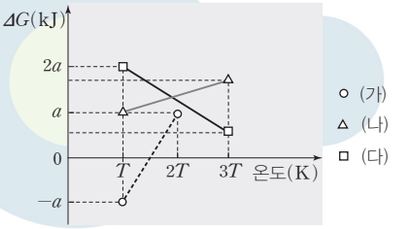
THEME 07

반응의 자발성

대표 문제로 유형 익히기 본문 51쪽

정답 ①

해설 | 그래프에서 반응 (가)~(다)의 두 점을 연결한 직선을 그리면 다음과 같다.



정답맞히기 ㄴ. 그래프에서 $-\Delta S$는 기울기이고 $|\Delta S|$는 기울기의 절댓값이므로 기울어진 정도가 가장 큰 (가)의 $|\Delta S|$가 가장 크다.

오답피하기 ㄱ. 그래프에서 ΔH는 y절편이고 흡열 반응은 ΔH가 (+)이므로, 흡열 반응은 y절편이 (+)인 (나)와 (다) 2가지이다.

ㄷ. $\Delta G<0$인 반응은 자발적이고 $\Delta G>0$인 반응은 비자발적이다. 따라서 온도에 관계없이 항상 비자발적인 반응은 ΔG의 값이 항상 (+)인 (나) 1가지이다.

테마별 수능 필수유제 본문 52~53쪽

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

01 반응의 자발성과 자유 에너지

정답맞히기 모든 반응은 전체 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다. 즉 $\Delta S_{전체}=\Delta S_{계}+\Delta S_{주위}$이며 $\Delta S_{전체}$가 0보다 큰 반응은 자발적이다. 계가 열을 방출하면(계의 엔탈피 변화가 0보다 작으면) 주위의 온도가 올라가고 분자의 움직임이 빨라지므로 주위의 엔트로피는 증가한다. 또 초기 온도가 낮을 때 열에 의한 엔트로피의 증가는 더 크게 나타나므로 주위의 엔트로피 변화는 −(계의 엔탈피 변화)에 비례하고 절대 온도에 반비례한다. 따라서 $\Delta S_{전체}=\Delta S_{계}-\frac{\Delta H_{계}}{T}$이다.

02 탄산수소 나트륨의 열분해

해설 | (가)에서는 설탕이 융해되는 반응이, (나)에서는 탄산수소 나트륨이 열분해되어 기체가 발생하는 반응이, (다)에서는 설탕 과자가 응고되는 반응이 일어난다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 설탕이 융해될 때 에너지를 흡수하므로 반응의 엔탈피 변화는 0보다 크다.
ㄴ. (나)에서 고체 탄산수소 나트륨이 분해되어 기포가 발생하므로 반응의 엔트로피 변화는 0보다 크다.

오답피하기 ㄷ. (다)에서 설탕 과자의 응고는 자발적으로 일어나므로 전체 엔트로피 변화는 0보다 크다.

03 고립계, 닫힌계, 열린계

해설 | 고립계에서는 계와 주위 사이에 물질과 에너지의 이동이 모두 없고, 닫힌계에서는 물질은 이동하지 못하지만 에너지는 이동할 수 있으며, 열린계에서는 물질과 에너지가 모두 이동할 수 있다.

정답맞히기 ⑤ 주위의 엔트로피가 증가하는 것은 계에서 주위로 에너지가 이동할 수 있는 (나)와 (다) 2가지이다.

오답피하기 ① (가)는 고립계로 계와 주위 사이에 에너지의 이동이 없으므로 계의 에너지는 변하지 않는다.
② (나)는 닫힌계로 에너지가 이동할 수 있으므로 에너지는 온도가 높은 계에서 주위로 이동하고, 주위의 온도는 높아진다.
③ 계와 주위 사이의 물질이 이동할 수 있는 것은 열린계인 (다)뿐이므로 계의 질량이 감소하는 것은 (다)이다.
④ 주위와 계의 에너지의 합은 언제나 일정하다. 이것이 열역학 제1법칙인 에너지 보존의 법칙이다.

04 기체 발생 반응

해설 | 염산과 아연이 반응하면 수소 기체가 발생한다.
$2H^+(aq)+Zn(s)\longrightarrow H_2(g)+Zn^{2+}(aq)$

정답맞히기 ㄱ. 반응이 진행될 때 온도가 올라갔으므로 이 반응은 발열 반응이고, 반응 엔탈피는 0보다 작다.
ㄴ. 기체는 가장 무질서한 상태이므로 반응이 진행될 때 기체가 발생하면 계의 엔트로피는 증가한다.
ㄷ. 20℃에서 아연과 염산의 반응이 자발적으로 일어났으므로 자유 에너지 변화는 0보다 작다. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S<0$에서 $T=293\text{ K}$, $\Delta S>0$이므로 $\frac{\text{반응 엔탈피}(\Delta H)}{\text{반응 엔트로피}(\Delta S)}<293\text{ K}$이다.

05 닫힌계에서 계와 주위의 엔트로피 변화

해설 | 닫힌계는 계와 주위 사이에 에너지는 이동할 수 있으나 물질은 이동할 수 없는 계이다.

정답맞히기 ㄱ. 반응 엔탈피가 0보다 작은 반응은 발열 반응으로 주위로 에너지가 이동하므로 주위의 엔트로피는 증가하고, 주위의 엔트로피 변화는 0보다 크다. 따라서 (가)의 반응 엔탈피는 0보다 작다.
ㄷ. (나)가 일어날 때 계의 ΔS는 0보다 크다. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 ΔS가 (+)이므로 자유 에너지 변화(ΔG)는 온도가 높을수록 감소한다.

오답피하기 ㄴ. 모든 반응은 전체 엔트로피가 증가하는 방향으로 일어나므로, 계와 주위의 엔트로피가 모두 증가하는 반응은 온도와 관계없이 자발적이다. 반면 계와 주위의 엔트로피가 모두 감소하는 반응은 온도와 관계없이 비자발적이다. 따라서 온도에 따라 자발성 여부가 결정되는 반응은 (나) 1가지이다.

06 온도에 따른 자유 에너지 변화

정답맞히기 ㄱ. 반응은 자유 에너지 변화가 0보다 작을 때 자발적이다. T K에서 ΔG가 0보다 작은 반응은 (다) 1가지이므로 자발적인 반응은 1가지이다.
ㄴ. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 온도가 0에 가까이 갈 때의 ΔG가 반응 엔탈피가 되므로 그림에서 반응 엔탈피가 가장 큰 반응은 (가)이다.
ㄷ. 반응의 엔트로피 변화(ΔS)는 온도와 자유 에너지 변화(ΔG)의 그래프에서 기울기와 관련된다. 반응의 엔트로피 변화가 양의 값을 가지려면 그래프에서 기울기가 음의 값을 가져야 하므로 (가)와 (다) 2가지이다.

07 화학 반응식과 에너지

정답맞히기 ㄱ. (나)는 산소 기체의 분해 반응이므로 흡열 반응이고 ΔH_2는 (+)이다. (다)는 오존이 가장 안정한 동소체인 산소 기체가 되는 반응이므로 발열 반응이고 ΔH_3은 (−)이다. (나)와 (다)를 더한 반응은 $2O_3(g)\longrightarrow 2O(g)+2O_2(g)$ $\Delta H=\Delta H_2+\Delta H_3$인데 $|\Delta H_2|$는 $|\Delta H_3|$보다 크므로 이 반응의 반응 엔탈피는 (+)이다. 따라서 $O_2(g)+O(g)\longrightarrow O_3(g)$ 반응의 반응 엔탈피 ΔH_1은 0보다 작다.
ㄴ. (나)와 (다)는 모두 기체 분자 수가 증가하는 반응으로 엔트로피가 증가하고, ΔH_2는 (+)이고 ΔH_3는 (−)이다. 따라서 $\frac{\Delta H_2}{\Delta S_2}$는 (+), $\frac{\Delta H_3}{\Delta S_3}$은 (−)이고 $\frac{\Delta H_2}{\Delta S_2}$는 $\frac{\Delta H_3}{\Delta S_3}$보다 크다.
ㄷ. 자발성은 자유 에너지 변화로 판단할 수 있다. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 반응 엔탈피($\Delta H$)와 반응 엔트로피($\Delta S$)의 부호는 표와 같다.

반응	(가)	(나)	(다)
ΔH	−	+	−
ΔS	−	+	+

(가)와 (나)는 온도에 따라 ΔG의 부호가 결정되므로 온도에 따라 자발성이 결정되고, (다)는 ΔG가 항상 (−)이므로 온도와 관계없이 자발적이다. 온도에 따라 자발성이 결정되는 반응은 (가)와 (나) 2가지이다.

08 기체 반응에 따른 엔트로피 변화와 자유 에너지

해설 | $A(g)$와 $B(g)$의 표준 생성 엔탈피가 0이므로 $A(g)+3B(g) \longrightarrow 2C(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 −92 kJ이다.

정답맞히기 ㄱ. $A(g)+3B(g) \longrightarrow 2C(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 0보다 작으므로 발열 반응이고, 주위의 엔트로피는 증가한다. 따라서 주위의 엔트로피는 (가)가 (나)보다 작다.

ㄴ. 주위의 엔트로피 변화량($|\Delta S_{주위}|$)은 계의 엔탈피 변화량을 온도로 나눈 값($\left|\frac{\Delta H_{계}}{T}\right|$)이므로 엔탈피 변화량이 일정할 때 온도가 높을수록 감소한다.

오답피하기 ㄷ. 자유 에너지는 평형 상태에서 가장 작은 값을 가지므로 자유 에너지는 초기 상태인 (가)가 평형 상태인 (나)보다 크다.

테마별 수능 심화문제 본문 54~56쪽

09 ⑤ 10 ④ 11 ④ 12 ② 13 ⑤ 14 ⑤

09 상태 변화와 열의 이동

해설 | 얼음 → 물 → 수증기가 되는 반응은 흡열 반응이고 엔탈피 변화는 0보다 크다. 엔트로피 역시 얼음 → 물 → 수증기가 될수록 증가한다.

정답맞히기 ㄱ. 수증기가 물이 되는 과정은 발열 과정이므로 주위의 엔트로피 변화는 0보다 크고, 기체가 액체가 되는 과정이므로 계의 엔트로피 변화는 0보다 작다. 따라서 (가)에서 계의 엔트로피 변화는 주위의 엔트로피 변화보다 작다.

ㄴ. 1기압에서 물의 끓는점은 100℃이므로 90℃에서 수증기가 물이 되는 반응 I 은 자발적으로 일어난다. 따라서 90℃에서 반응 I 의 자유 에너지 변화는 0보다 작다.

ㄷ. 1기압에서 물의 어는점은 0℃이므로 −10℃, 1기압에서는 물이 얼음이 되는 반응이 자발적으로 일어난다.

10 용해 과정의 엔탈피 변화

해설 | 화학 반응이 일어날 때 화학 결합이 끊어진 후 새로운 결합이 형성되는 것처럼, 용해가 일어날 때 용매와 용질이 각각 분리된 후 용질이 용매에 의해 둘러싸이는 것으로 생각할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 용질은 25℃에서 용매에 자발적으로 용해되므로 반응의 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 작다.

ㄷ. 자유 에너지 변화 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 $\Delta H>0$이고 $\Delta G<0$이므로 25℃에서 $\Delta S>0$이다. 따라서 50℃에서의 ΔG는 25℃에서의 ΔG보다 더 작은 값을 갖는다.

오답피하기 ㄴ. 그림에서 용질이 용해되는 과정은 흡열 반응이고 용해 반응의 엔탈피 변화(ΔH)는 0보다 크다. 또 용질은 25℃에서 용매에 자발적으로 용해되므로 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 작다. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 $\Delta H>0$이고 $\Delta G<0$이므로 ΔS는 0보다 크다. 반응의 ΔS는 (가) 과정의 ΔS와 (나) 과정의 ΔS의 합인데, (가)의 ΔS는 (+)이고 (나)의 ΔS는 (−)이므로 반응의 ΔS가 (+)이려면 ΔS의 절댓값은 (가)가 (나)보다 크다. 따라서 엔트로피 변화의 크기($|\Delta S|$)는 (나)가 (가)보다 작다.

11 ΔH와 $T\Delta S$ 그래프

해설 | $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$이므로 $\Delta G=0$인 평형 상태일 때 $\Delta H=T\Delta S$이고, $\Delta H<T\Delta S$일 때 $\Delta G<0$이다.

정답맞히기 ㄱ. (다)는 $\Delta H=T\Delta S$이므로 $\Delta G=0$인 평형 상태이고, 정반응 속도와 역반응 속도가 같다.

ㄷ. 생성물의 자유 에너지가 반응물보다 큰 반응은 반응의 자유 에너지 변화가 0보다 큰 반응이다. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S>0$, $\Delta H>T\Delta S$이므로 $\Delta H=T\Delta S$인 대각선의 아랫 부분에 해당하는 반응인 (라) 1가지이다.

오답피하기 ㄴ. 온도와 무관하게 자발적인 반응은 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$가 항상 0보다 작아야 하므로 ΔH는 (−)이고 ΔS는 (+)이다. 절대 온도 T는 항상 0보다 크므로 ΔH가 (−)이고 ΔS가 (+)인 반응은 그림의 2사분면에 속하는 (가) 1가지이다.

12 ΔH와 $T\Delta S$의 크기

해설 | (가)는 흑연의 연소 반응으로 발열 반응이고 반응 엔탈피(ΔH)는 (−)이다. (나)는 물의 분해 반응으로 에너지를 흡수하는 흡열 반응으로 반응 엔탈피(ΔH)는 (+)이고, 기체가 발생하므로 반응의 엔트로피 변화(ΔS)는 (+)이다.

정답맞히기 ㄴ. T K, 1기압에서 흑연의 완전 연소 반응인 (가)의 ΔH는 0보다 작으므로 ΔH_2에 해당한다. 따라서 $T\Delta S$는 (−)이고 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S<0$이므로 T K, 1기압에서 흑연의 완전 연소 반응은 자발적으로 일어난다.

오답피하기 ㄱ. 흑연의 연소 반응인 (가)의 반응 엔탈피는 (−)이므로 ΔH_2이다.

ㄷ. (나)의 반응 엔탈피(ΔH)는 (+)인 ΔH_1이므로 반응 엔트로피(ΔS)는 ΔS_1이고 (+)이다. T K에서 자유 에너지 변화 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$는 양수이지만 온도가 높아지면 ΔG는 음수가 될 수 있으므로 모든 온도에서 비자발적인 것은 아니다.

13 상평형과 자유 에너지

해설 | 2가지 상이 함께 존재하는 상평형 상태에서 자유 에너지 변화(ΔG)는 0이다.

정답맞히기 ㄱ. 고체가 액체로 되는 반응보다 고체가 기체로 되는 반응의 엔트로피 변화가 더 크므로 엔트로피 변화의 크기($|\Delta S|$)는 $CO_2(s) \longrightarrow CO_2(g)$ 반응이 $H_2O(s) \longrightarrow H_2O(l)$ 반응보다 크다.

ㄴ. (가)와 (나) 모두 상평형 상태이므로 자유 에너지 변화의 크기($|\Delta G|$)는 0으로 같다.

ㄷ. (가)에서 얼음과 물이 평형을 이루고 있으므로 물의 어는점이다. 물의 어는점에서 물이 수증기가 되는 반응은 비자발적이고 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 크다. 따라서 1몰의 자유 에너지(G)는 $H_2O(g)$가 $H_2O(l)$보다 크다.

14 일상생활에서의 반응의 자발성

정답맞히기 ㄱ. 염산과 수산화 나트륨이 반응하여 물이 생성되는 중화 반응은 발열 반응이고 엔탈피 변화(ΔH)는 0보다 작다. $\Delta S_{주위} = -\frac{\Delta H_{계}}{T}$이므로 발열 반응에서 주위의 엔트로피는 증가하고, 주위의 온도가 낮을 때가 온도가 높을 때보다 주위의 엔트로피는 더 크게 증가한다. 따라서 온도가 높으면 주위의 엔트로피 변화($\Delta S_{주위}$) 값은 감소한다.

ㄴ. 반투막을 사이로 농도가 낮은 쪽에서 농도가 높은 쪽으로 물 분자가 이동하는 현상이 자발적으로 일어나기 때문에 전체 엔트로피는 증가한다.

ㄷ. (가)~(다)는 모두 자발적인 반응이므로 자유 에너지 변화는 0보다 작다.

Ⅲ. 화학 평형

THEME 08

화학 평형과 평형 상수

핵심 골 문제로 유형 익히기 본문 58쪽

정답 ⑤

해설 | 화학 반응식과 몰 분율로부터 (가)에서 남아 있는 $A(g)$의 몰수를 구하고 평형 상태에서 남아 있는 $A(g)$의 몰수로부터 평형 상수를 구한다.

정답맞히기 $A(g)$의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$인 (가)에서 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

	$2A(g)$	+ $B(g)$	$\rightleftarrows$ $2C(g)$
반응 전(몰)	4	3	0
반응(몰)	$-2x$	$-x$	$+2x$
반응 후(몰)	$4-2x$	$3-x$	$2x$

$A(g)$의 몰 분율 $= \frac{4-2x}{(4-2x)+(3-x)+2x} = \frac{1}{3}$이므로

$x=1$이 되어 (가)에서 $A(g)$의 몰수는 $4-2x=2$(몰)이다.

평형 상태에서 $A(g)$는 1몰이므로 평형 상태에서 각 물질의 몰수는

	$2A(g)$	+ $B(g)$	$\rightleftarrows$ $2C(g)$
반응 전(몰)	4	3	0
반응(몰)	-3	-1.5	$+3$
반응 후(몰)	1	1.5	3

평형 상수 $K = \frac{3^2}{1^2 \times 1.5} = 6$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 59~60쪽

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

01 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도

해설 | $A(g)$의 초기 농도가 1 M이고 $A(g)$ $2a$몰이 분해되면 $B(g)$와 $C(g)$가 각각 a몰씩 생성된다.

정답맞히기 반응 $2A(g) \rightleftarrows B(g)+C(g)$의 평형 상수($K$)는 $\frac{[B][C]}{[A]^2} = \frac{a^2}{(1-2a)^2} = 4$가 되어 $a = \frac{2}{5}$ 또는 $\frac{2}{3}$이나, 평형 상태에서 $A(g)$가 존재하므로 $a = \frac{2}{5}$이다.

따라서 $\frac{B(g)\text{의 몰수}}{A(g)\text{의 몰수}} = \frac{\frac{2}{5}}{\left(1-2\times\frac{2}{5}\right)} = 2$이다.

다른 풀이 평형 상태에서 [B]=[C]이므로 $K = \frac{[B][C]}{[A]^2} = \frac{[B]^2}{[A]^2} = 4$에서 $\frac{[B]}{[A]} = 2$이고, 1 L의 용기에서 기체의 몰수 비는 몰 농도의 비와 같으므로 $\frac{B(g)\text{의 몰수}}{A(g)\text{의 몰수}} = 2$이다.

02 화학 평형 상태

해설 | 화학 반응식 $xA(g) \rightleftarrows B(g)+3C(g)$로부터 x몰의 $A(g)$가 분해되면 1몰의 $B(g)$와 3몰의 $C(g)$가 생성됨을 알 수 있다. 그림을 보면 반응물인 $A(g)$가 0.4몰 분해되어 $B(g)$ 0.2몰과 $C(g)$ 0.6몰이 생성되었음을 알 수 있다.

정답맞히기 ② 평형 상수는 $\frac{[B][C]^3}{[A]^2} = \frac{0.2\times0.6^3}{0.2^2} = 1.08$이다.

오답피하기 ① 그림을 보면 $A(g)$가 0.4몰 분해되어 $B(g)$ 0.2몰과 $C(g)$ 0.6몰이 생성되었으므로 반응 계수 비는 $A(g):B(g):C(g) = 2:1:3$이 되어 $x=2$이다.

③ (가)는 정반응이 우세하게 진행되므로 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 작다. 따라서 $\frac{\text{반응 지수}(Q)}{\text{평형 상수}(K)} < 1$이다.

④ (나)는 평형 상태이므로 정반응의 자유 에너지 변화 $\Delta G=0$이다.

⑤ 온도가 같으면 평형 상수는 변하지 않는다.

03 평형 상수와 물질의 농도

해설 | 반응 전 A(g)는 3몰, B(g)는 1몰이므로 반응 전 A(g)의 몰 분율은 0.75이고 평형 상태에서는 0.4이므로 정반응이 우세하게 진행된다. 반응한 A(g)를 a몰, 생성된 B(g)를 $2a$몰이라고 하면,

	A(g) $\rightleftarrows$	2B(g)
반응 전(몰)	3	1
반응(몰)	$-a$	$+2a$
반응 후(몰)	$(3-a)$	$(1+2a)$

평형 상태에서 A(g)의 몰 분율이 0.4이므로 $\frac{3-a}{3-a+1+2a}=0.4$이고 $a=1$이다.

정답맞히기 ㄴ. 평형 상수 $K=\frac{[B]^2}{[A]}=\frac{3^2}{2}=4.5$이다.

오답피하기 ㄱ. 평형 상태에서 A(g)는 2몰, B(g)는 3몰이므로 전체 기체의 몰수는 5몰이다.

ㄷ. 평형 상태에 도달하기까지 정반응이 우세하게 진행되므로 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작다.

04 평형 상태와 자유 에너지 변화

해설 | a에서는 평형 상태이므로 자유 에너지 변화 $\Delta G=0$이고, b에서는 정반응의 자유 에너지 변화 $\Delta G>0$이므로 정반응은 비자발적이다.

정답맞히기 ㄱ. a에서 자유 에너지 변화 $\Delta G=0$이므로 평형 상태로 정반응 속도와 역반응 속도는 같다.

ㄴ. b에서는 정반응의 자유 에너지 변화 $\Delta G>0$이므로 역반응이 자발적이다.

오답피하기 ㄷ. b에서는 역반응이 자발적이므로 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 크다.

05 반응의 진행에 따른 기체의 부피 변화

해설 | 화학 반응이 일어날 때 전체 질량은 변하지 않으므로 실린더 속 기체의 밀도가 감소하였다면 기체의 전체 부피가 증가했음을 의미한다.

정답맞히기 ㄱ. 온도를 400 K으로 높이면 부피는 약 1.3배 증가하여 밀도는 약 4가 되어야 하지만 3이므로 부피가 더 크게 증가한 것으로 보아 정반응이 우세하게 진행되었다. 평형 Ⅰ보다 평형 Ⅱ에서 온도가 더 높으므로 정반응은 온도가 높을수록 우세하게 진행되는 흡열 반응이다. 따라서 반응 엔탈피(ΔH)는 $x>0$이다.

오답피하기 ㄴ. 평형 Ⅰ보다 평형 Ⅱ에서 기체의 부피가 증가했으므로 정반응이 우세하게 진행되어 평형 Ⅱ에서 생성물 농도가 더 크다. 따라서 $K_1<K_2$이다.

ㄷ. 평형 Ⅱ에서 생성물이 더 많이 생성되었으므로 A(g)의 몰 분율은 평형 Ⅰ에서 더 크다.

06 기체 반응과 평형 상태

해설 | 그림을 보면 반응한 X(g), Y(g)와 생성된 Z(g)의 몰수 비는 X(g):Y(g):Z(g)=1:3:2이다.

정답맞히기 ㄴ. 평형 상수(K)는 $\frac{[Z]^2}{[X][Y]^3}=\frac{3^2}{2\times1^3}=4.5$이다.

ㄷ. 같은 온도에서 1 L 용기에 X(g), Y(g), Z(g)를 각각 1몰씩 넣으면 반응 지수(Q)는 $\frac{[Z]^2}{[X][Y]^3}=\frac{1^2}{1\times1^3}=1$이고, 이것은 평형 상수 $K=4.5$보다 작으므로 정반응이 우세하게 진행된다.

오답피하기 ㄱ. 반응한 물질과 생성된 물질의 몰수 비가 X(g):Y(g):Z(g)=1:3:2이므로 계수 $a=1$, $b=3$이고, $3a=b$이다.

07 평형에 도달하기까지의 변화

해설 | 실험 (가)~(다)는 온도가 일정하고 초기 농도만 다르므로 반응 지수(Q)에 따라 각각 정반응 혹은 역반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달하며 평형 상수는 모두 같다.

정답맞히기 ③ (다)에서 반응 지수(Q)는 $\frac{[C]^2}{[A]^2[B]}=\frac{2^2}{1^2\times1}=4$이고, 이것은 평형 상수 $K=4$와 같다.

오답피하기 ① (가)에서 반응 지수(Q)는 $\frac{[C]^2}{[A]^2[B]}=\frac{2^2}{2^2\times1}=1$이고, 이것은 평형 상수 $K=4$보다 작으므로 평형에 도달하기까지 정반응이 우세하게 진행된다.

② (나)에서 반응 지수(Q)는 $\frac{[C]^2}{[A]^2[B]}=\frac{3^2}{1^2\times1}=9$이고, 이것은 평형 상수 $K=4$보다 크므로 역반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달한다. 따라서 평형에 도달하기까지 C(g)의 농도가 감소한다.

④ 초기 반응 지수(Q)는 (가)에서 1, (나)에서 9, (다)에서 4이므로 반응 지수가 가장 큰 것은 (나)이다.

⑤ (가)에서 초기에 B의 몰 분율은 0.2이고 정반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달하므로 평형 상태에서 B의 몰 분율은 0.2보다 작다. (나)에서도 초기에 B의 몰 분율은 0.2이지만 역반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달하므로 평형 상태에서 B의 몰 분율은 0.2보다 크다. 따라서 평형 상태에 도달했을 때 B의 몰 분율은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

08 화학 평형 상태

해설 | 반응이 진행될 때 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

	2A(g)	+	B(g)	$\rightleftarrows$	2C(g)
반응 전(몰)	0.9		0.3		0
반응(몰)	-0.4		-0.2		$+0.4$
반응 후(몰)	0.5($=a$)		0.1($=b$)		0.4

정답맞히기 ㄱ. (나)에서 B(g)의 몰 분율은 $\frac{0.1}{0.5+0.1+0.4}=0.1$이다.

오답피하기 ㄴ. 일정한 온도에서 압력(P)은 $\frac{n(\text{몰수})}{V(\text{부피})}$에 비례한다. (가)에서의 A($g$)의 압력을 P_1, (나)에서 A(g)의 압력을 P_2라고 한다면 (가)와 (나)에서 A(g)의 압력 비는 $P_1:P_2=\frac{0.9\text{몰}}{1\text{ L}}:\frac{0.5\text{몰}}{2\text{ L}}$이므로 $P_1=\frac{0.9}{0.25}P_2$이고, P_1은 P_2의 3배보다 크다.

ㄷ. $K=\frac{[C]^2}{[A]^2[B]}=\frac{\left(\frac{0.4}{2}\right)^2}{\left(\frac{0.5}{2}\right)^2\times\left(\frac{0.1}{2}\right)}=12.8$이고, 이것은 5보다 크다.

테마별 수능 심화문제 본문 61~62쪽

09 ② 10 ① 11 ⑤ 12 ①

09 화학 평형 상태와 평형 상수

해설 | 실린더에 A(g)만 1몰 넣고 B(g)가 생성되어 평형에 도달했으므로 평형에 도달하기까지 정반응이 우세하게 진행되었음을 알 수 있다.

정답맞히기 ㄷ. 반응한 A(g)를 $2a$몰이라고 하면 B(g) a몰이 생성되었으므로 $1-2a+a=\frac{5}{6}$에서 $a=\frac{1}{6}$이 되어 평형 상태에서 A(g)는 $\frac{2}{3}$몰, B(g)는 $\frac{1}{6}$몰이다. 따라서 평형 상태에서 A(g)의 몰 분율은 $\frac{4}{5}$이다.

오답피하기 ㄱ. A(g)로부터 B(g)가 생성되면서 평형에 도달하므로 정반응이 우세하게 진행되며 정반응의 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 작다.

ㄴ. 평형 상수(K)는 $\frac{[\mathrm{B}]}{[\mathrm{A}]^2}=\frac{\frac{1}{6}}{\left(\frac{2}{3}\right)^2}=\frac{3}{8}$이다.

10 반응 지수와 평형 상수

해설 | 반응 $\mathrm{A}(g)+\mathrm{B}(g) \rightleftarrows 2\mathrm{C}(g)$은 반응 전과 후에 기체의 전체 몰수가 일정하므로 평형 상태에 도달한 후에도 용기 내 압력은 변하지 않는다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 용기의 부피를 V L라고 하면 반응 지수(Q)는 $\frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{A}][\mathrm{B}]}=\frac{\left(\frac{0.1}{V}\right)^2}{\left(\frac{0.3}{V}\right)\times\left(\frac{0.3}{V}\right)}=\frac{1}{9}$이고, 이것은 평형 상수($K$)보다 작으므로 평형에 도달하기까지 정반응이 역반응보다 우세하게 진행된다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 반응 지수(Q)는 $\frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{A}][\mathrm{B}]}=\frac{\left(\frac{1}{V}\right)^2}{\left(\frac{0.2}{V}\right)\times\left(\frac{0.2}{V}\right)}$ $=25$이므로 평형 상수(K)보다 커서 역반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달한다. 반응 전 A(g)와 B(g)의 몰수가 0.2몰로 서로 같고 평형에 도달하기까지 생성된 A(g)와 B(g)의 몰수도 같으므로 평형 상태에서 A(g)의 몰수를 a라고 하면 B(g)도 a몰이다. 평형 상태에서 C(g)의 몰수를 c라고 하고 용기의 부피를 V L라고 하면 평형 상수(K)는 $\frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{A}][\mathrm{B}]}=\frac{\left(\frac{c}{V}\right)^2}{\left(\frac{a}{V}\right)^2}=\frac{9}{4}$이고, $\frac{c}{a}=\frac{3}{2}$가 되어 각 기체의 몰수 비는 A(g):B(g):C(g)$=2:2:3$이다. 따라서 평형 상태에서 A(g)의 몰 분율은 $\frac{2}{7}$이고, 0.25보다 크다.

ㄷ. 반응물의 계수 합과 생성물의 계수가 같으므로 (가)와 (나)에서 반응이 진행되는 동안 압력은 일정하게 유지된다. (가)와 (나)에서 용기의 부피는 서로 같고 (가)에 들어 있는 기체의 전체 몰수는 0.7몰, (나)에 들어 있는 기체의 전체 몰수는 1.4몰이므로 기체의 압력은 (가)가 (나)의 $\frac{1}{2}$배이다.

11 화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 양

해설 | 반응 전 A(g)의 몰수가 $4N$이므로 반응물과 생성물의 몰수는 아래와 같다.

	$2\mathrm{A}(g)$	$\rightleftarrows$	$2\mathrm{B}(g)+\mathrm{C}(g)$	
반응 전(몰)	$4N$		0	0
반응(몰)	$-2x$		$+2x$	$+x$
반응 후(몰)	$4N-2x$		$2x$	x

반응 후 A(g)와 B(g)의 몰수가 같다고 했으므로 $4N-2x=2x$가 되어 $x=N$이다.

정답맞히기 ㄱ. A(g)의 초기 몰수가 $4N$일 때 $2N$만큼 반응하여 평형에 도달하므로 생성된 C(g)의 몰수는 N몰이다.

ㄴ. 평형 상태에서 A(g), B(g)는 각각 $2N$몰, C(g)는 N몰이므로 전체 몰수는 $5N$몰이다. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 $n=\frac{PV}{RT}$이므로 초기 A(g)의 몰수는 $\frac{2\times2}{RT}=\frac{4}{RT}$몰이고 평형 상태에서 C($g$)는 $\frac{1}{RT}$몰이다. 용기의 부피가 5 L이므로 C(g)의 부분 압력은 $P=\frac{nRT}{V}=\frac{\frac{1}{RT}RT}{5}=0.2$(기압)이다.

ㄷ. 평형 상수 $K=\frac{[\mathrm{B}]^2[\mathrm{C}]}{[\mathrm{A}]^2}=\frac{\left(\frac{2}{RT}\times\frac{1}{5}\right)^2\times\left(\frac{1}{RT}\times\frac{1}{5}\right)}{\left(\frac{2}{RT}\times\frac{1}{5}\right)^2}=\frac{1}{5RT}$이다.

12 화학 평형 상태

해설 | 용기 내에서 3가지 기체는 평형을 이루고 있으므로 평형 상수 $K=\frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{A}][\mathrm{B}]}=\frac{\left(\frac{2}{V}\right)^2}{\left(\frac{2}{V}\right)\times\left(\frac{1}{V}\right)}=2$이다.

정답맞히기 ㄱ. 실린더 내에서도 3가지 기체가 평형을 이루고 있고 온도가 같으므로 평형 상수도 같다. 따라서 실린더 내 기체에 대하여 $\frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{A}][\mathrm{B}]}=\frac{\left(\frac{4}{V}\right)^2}{\left(\frac{2}{V}\right)\times\left(\frac{x}{V}\right)}=2$가 되어 $x=4$이다.

오답피하기 ㄴ. 콕을 열기 전 용기 내 기체의 몰수는 5몰이고 V L에서 1기압이다. 실린더 내 기체는 용기 내 기체와 온도와 부피가 같고 기체의 전체 몰수가 10몰로 2배이므로 압력은 2기압이다. 고정 장치를 제거하고 콕을 열면 내부 압력은 모두 대기압과 같은 1기압이 되므로 실린더 내 기체의 부피는 $2V$ L가 된다. 따라서 전체 기체의 부피는 $3V$ L이다.

ㄷ. 고정 장치를 제거하고 콕을 열면 A(g)는 4몰, B(g)는 5몰, C(g)는 6몰이므로 C(g)의 몰 분율은 0.4이다. 반응 전 반응물의 계수 합과 생성물의 계수가 같으므로 반응이 진행되어도 전체 부피는 변하지 않는다. 반응 지수는 $Q=\frac{[\mathrm{C}]^2}{[\mathrm{A}][\mathrm{B}]}=\frac{\left(\frac{6}{3V}\right)^2}{\left(\frac{4}{3V}\right)\times\left(\frac{5}{3V}\right)}$ $=1.8$이고, 이것은 평형 상수보다 작으므로 정반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달한다. 따라서 새로운 평형 상태에서 C의 몰 분율은 0.4보다 크다.

THEME 09

화학 평형 이동

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 64쪽

정답 ①

해설 | 외부 압력이 달라도 온도가 같으면 평형 상수는 같고, A(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$인 평형 상태에서 부피를 V라고 하면 $PV=nRT$에서 $\frac{n}{V}=\frac{P}{RT}$를 이용하여 외부 압력을 구한다.

정답맞히기 외부 압력이 3기압일 때 A(g), B(g)의 처음 몰수를 각각 n몰이라고 하면 평형 상태에서 각 물질의 몰수는

$$A(g) + B(g) \rightleftarrows C(g)$$

반응 전(몰)	n	n	0
반응(몰)	$-x$	$-x$	$+x$
반응 후(몰)	$n-x$	$n-x$	x

$x=\frac{1}{2}n$몰이 되어 A(g), B(g), C(g) 모두 $\frac{1}{2}n$몰이다.

A(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$인 평형 상태에서 각 물질의 몰수는

$$A(g) + B(g) \rightleftarrows C(g)$$

반응 전(몰)	n	n	0
반응(몰)	$-x'$	$-x'$	$+x'$
반응 후(몰)	$n-x'$	$n-x'$	x'

$x'=\frac{2}{3}n$이 되어 A(g), B(g)는 $\frac{1}{3}n$몰, C(g)는 $\frac{2}{3}n$몰이다. 압력이 변해도 온도가 일정하므로 평형 상수(K)도 일정하다. 외부 압력이 3기압일 때 A(g), B(g), C(g)의 부분 압력은 각각 1기압이고 $PV=nRT$에서 $\frac{n}{V}=\frac{P}{RT}=\frac{1}{RT}$이므로 각 기체의 몰 농도는 $\frac{1}{RT}$이다. 따라서 평형 상수는 $K=\frac{\frac{1}{RT}}{\frac{1}{RT}\times\frac{1}{RT}}=RT$이다.

A(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{4}$인 평형 상태에서 전체 압력을 P라고 하면 A(g), B(g)의 부분 압력은 $\frac{1}{4}P$이고 C(g)의 부분 압력은 $\frac{1}{2}P$이므로 $K=\frac{\frac{1}{2}P}{\frac{1}{4}P\times\frac{1}{4}P}\times RT$이고, 이것은 외부 압력이 3기압일 때의 평형 상수와 같으므로 RT가 되어야 한다. 따라서 $P=8$(기압)이다.

테마별 수능 필수유제

본문 65~66쪽

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

01 농도에 의한 평형 이동

해설 | 반응 전과 후 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

$$A(g) \rightleftarrows 2B(g)$$

반응 전(몰)	6	
반응(몰)	$-x$	$+2x$
반응 후(몰)	$6-x$	$2x$

평형 상태에서 A(g)와 B(g)의 몰수가 같으므로 $6-x=2x$가 되어 $x=2$이다. 따라서 평형 상태에서 A(g)는 4몰, B(g)도 4몰이다.

정답맞히기 ㄴ. 평형 상수 $K=\frac{[B]^2}{[A]}=\frac{4^2}{4}=4$이다.

오답피하기 ㄱ. 평형 상태에서 A(g)는 4몰, B(g)는 4몰이다.
ㄷ. 평형 상수는 온도에 의해서만 값이 변하므로 각 물질의 농도에 변화를 주어도 평형 상수는 변하지 않는다.

02 농도와 온도에 의한 평형 이동

해설 | 그림을 보면 평형 Ⅰ일 때 시간 t_1에서 용기의 부피를 감소시켜 각 물질의 농도가 모두 일시적으로 크게 증가하였고 평형 Ⅱ에 도달하였다가 시간 t_2에서 온도에 변화를 주어 평형이 이동하여 다시 새로운 평형 Ⅲ에 도달한 것을 알 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 시간 t_1에서 용기의 부피를 감소시켜 각 물질의 농도가 모두 일시적으로 크게 증가한 후 변화를 보면 (가)는 농도가 약간 증가하면서 평형에 도달하고 (나)와 (다)는 약간씩 감소하면서 평형에 도달하는 것을 알 수 있다. $aX(g)+bY(g) \rightleftarrows cZ(g)$에서 반응물은 X($g$)와 Y($g$) 2가지이고 생성물은 Z($g$) 1가지이므로 (가)는 Z($g$)이고 (나)와 (다)는 각각 X($g$)와 Y($g$) 중 하나이다. 평형 상태에 있는 계에 압력을 가하면 기체 분자 수를 감소시키는 방향으로 평형이 이동하는데, 이 반응에서는 용기의 부피가 감소하여 압력이 높아졌을 때 X(g)와 Y(g)의 농도가 감소하면서 Z(g)의 농도가 증가하여 평형에 도달하므로 X(g)와 Y(g)의 계수 합 $a+b$보다 Z(g)의 계수 c가 더 작다.
ㄴ. 이 반응은 정반응이 발열 반응($\Delta H<0$)이므로 시간 t_2에서 온도에 변화를 주었을 때 X(g)와 Y(g)의 농도는 증가하고 Z(g)의 농도가 감소하는 쪽으로 평형이 이동했으므로 t_2에서 온도를 높였음을 알 수 있다.

오답피하기 ㄷ. 평형 Ⅰ과 Ⅱ는 온도가 일정하므로 평형 상수(K)는 같다.

03 온도와 농도에 의한 평형 이동

해설 | A(g) 4몰과 B(g) 2몰을 넣고 반응시켜 평형 상태에서 A(g), B(g)가 각각 1몰, C(g)가 2몰이 되었으므로 C(g)의 계수를 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 반응이 평형에 도달했을 때 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

$$3A(g)+B(g) \rightleftarrows cC(g)$$

반응 전(몰)	4	2	
반응(몰)	$-3x$	$-x$	$+cx$
반응 후(몰)	1	1	2

위 식을 풀면 $x=1$, $c=2$이다.

오답피하기 ㄴ. 온도를 높이면 흡열 반응이 우세하게 진행된다. 이 반응은 정반응이 발열 반응이므로 역반응이 우세하게 진행되어 C(g)의 몰수가 감소하면서 평형 상태에 도달한다.

ㄷ. 평형 상태에서 A(g), B(g)는 각각 1몰, C(g)는 2몰이므로 농도로 정의되는 평형 상수 $K=\frac{[C]^2}{[A]^3[B]}=\frac{2^2}{1^3\times1}=4$이다. 여기에 B($g$)와 C($g$)를 각각 1몰씩 첨가하면 반응 지수 $Q=\frac{[C]^2}{[A]^3[B]}=\frac{3^2}{1^3\times2}=4.5$이고, 이것은 평형 상수($K$)보다 크므로 역반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

04 온도와 농도에 의한 평형 이동

해설 | 용기 (가)와 (나)에서의 평형 상수(K)가 다르므로 두 용기 내 물질의 온도는 서로 다름을 알 수 있으며, (가)와 (나)에서 각 물질의 농도와 평형 상수를 알고 있으므로 평형 상수식에 대입하여 x, y를 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 이 반응의 평형 상수식은 $K=\frac{[C]^2}{[A]^x[B]^y}$이다. (가)에서 $K=\frac{2^2}{2^x\times1^y}=1$이므로 $x=2$이고, (나)에서 $K=\frac{4^2}{2^2\times2^y}=2$이므로 $y=1$이다. 따라서 $x>y$이다.

ㄴ. 정반응이 발열 반응이므로 온도가 높을수록 흡열 반응인 역반응이 우세하게 진행되어 평형 상수가 작다. 따라서 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

ㄷ. 용기 (가)에 A(g)와 C(g)를 각각 1몰씩 첨가하면 반응 지수는 $Q=\frac{3^2}{3^2\times1}=1$이고, 이것은 평형 상수와 같으므로 평형은 이동하지 않는다.

05 온도와 압력에 의한 평형 이동

해설 | 평형 상태에 있는 계의 온도를 높이면 흡열 반응이, 압력을 높이면 분자 수를 감소시키는 방향으로 반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형 상태에 도달한다.

정답맞히기 ㄱ. 정반응은 자발적인 반응이므로 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 작다.

ㄷ. 부피를 감소시켜 압력을 2배로 하면 기체 분자 수가 감소하는 반응이 우세해지므로 정반응이 우세하게 진행된다. 내부 압력이 $2P$기압으로 되면 부피가 $\frac{1}{2}$로 되어야 하지만, 정반응이 우세하게 진행되어 기체 분자 수가 더 감소하므로 부피는 $\frac{1}{2}$인 1.5 L보다 작다.

오답피하기 ㄴ. 온도를 높이면 흡열 반응이 우세하게 진행되므로 역반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형에 도달하고 평형 상수는 작아진다.

06 농도 변화에 의한 평형 이동

해설 | (가)와 (나)는 각각 평형 상태이고 온도가 같으므로 평형 상수도 같다.

정답맞히기 (가)에서 용기의 부피를 V, 평형 상태에서 B의 몰수를 b라고 하면, 평형 상수 $K=\frac{[C]^2}{[A][B]}=\frac{\left(\frac{2}{V}\right)^2}{\left(\frac{2}{V}\right)\times\left(\frac{b}{V}\right)}=1$이고, 이것을 풀면 $b=2$(몰)이다. B(g) x몰을 첨가한 후에는 정반응이 우세하게 진행되므로 평형에 도달하기까지 반응한 A(g)와 B(g)를 각각 a몰, 생성된 C(g)의 몰수를 $2a$몰이라고 하면 새로운 평형 상태에서 C(g)는 3몰이므로, 새로운 평형 상태 (나)에서 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

	A(g)	+	B(g)	⇌	2C(g)
반응 전(몰)	2		$2+x$		2
반응(몰)	$-a$		$-a$		$+2a$
반응 후(몰)	$(2-a)$		$(2+x-a)$		$2+2a$

C(g)의 몰수가 $2+2a=3$이므로 $a=0.5$이다. 따라서 A(g)는 1.5몰이고, 평형 상수 $K=\frac{[C]^2}{[A][B]}=\frac{\left(\frac{3}{V}\right)^2}{\left(\frac{1.5}{V}\right)\times\left(\frac{1.5+x}{V}\right)}=1$이므로 $x=4.5$이다.

07 농도와 온도 변화에 의한 평형 이동

해설 | 이 반응은 X(g) 1분자가 분해되어 2분자의 Y(g)가 생성되는 반응이고, $\Delta H>0$이므로 정반응이 흡열 반응이다.

정답맞히기 ㄱ. 그래프를 보면 t_1에서 X와 Y 중 한 가지를 첨가한 후 혼합 기체의 총 몰수가 점차 증가하면서 평형 Ⅰ에 도달하므로 정반응이 우세하게 진행되었음을 알 수 있다. 따라서 t_1에서 첨가한 것은 X(g)이다.

ㄷ. 평형 Ⅰ에서 역반응이 우세하게 진행되어 평형 Ⅱ에 도달했으므로 평형 상수는 Ⅰ에서가 더 크다.

오답피하기 ㄴ. 그래프를 보면 t_2에서 온도가 변화된 후 혼합 기체의 총 몰수가 감소하면서 평형 Ⅱ에 도달하므로 역반응이 우세하게 진행된 것이다. 역반응은 발열 반응이므로 t_2에서 온도를 낮추었음을 알 수 있다.

08 부피 변화에 의한 평형 이동

해설 | He(g)은 이 반응의 반응물 혹은 생성물이 아니지만 용기의 전체 부피를 증가시키므로 반응물과 생성물의 몰 농도가 변화되어 평형이 이동한다.

정답맞히기 ㄱ. He(g)이 첨가되어 용기의 부피가 증가하면 A(g), B(g)의 부분 압력이 감소하므로 분자 수를 증가시키는 방향인 역반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형에 도달한다. 따라서 새로운 평형 상태에서의 부피는 처음 기체의 부피 합인 2 L보다 크다.

ㄴ. (나)는 (가)에서 역반응이 우세하게 진행되어 평형에 도달한 상태이므로 $\frac{\text{A}(g)\text{의 몰수}}{\text{B}(g)\text{의 몰수}}$는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. (가)와 (나)는 온도가 같은 상태이므로 평형 상수는 서로 같다.

테마별 수능 심화문제 본문 67~69쪽

09 ② 10 ④ 11 ⑤ 12 ① 13 ④
14 ⑤

09 온도에 의한 평형 이동

해설 | 온도가 다르면 평형 상수도 다르므로 처음 상태에서의 몰수로부터 각 평형 상태에서 기체의 몰수를 구한다.

정답맞히기 T_1 K의 평형 상태에서 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

	$2A(g)$	$+$	$B(g)$	$\rightleftarrows$	$2C(g)$
반응 전(몰)	0.4		0.2		0.2
반응(몰)	$-2x$		$-x$		$+2x$
반응 후(몰)	0.2		$(0.2-x)$		$(0.2+2x)$

$0.4-2x=0.2$에서 $x=0.1$이고, 평형 상수는

$K=\frac{[C]^2}{[A]^2[B]}=\frac{0.4^2}{0.2^2\times0.1}=40$이다. 같은 방법으로 $2T_1$ K에서 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

	$2A(g)$	$+$	$B(g)$	$\rightleftarrows$	$2C(g)$
반응 전(몰)	0.4		0.2		0.2
반응(몰)	$-2x$		$-x$		$+2x$
반응 후(몰)	$(0.4-2x)$		$(0.2-x)$		$(0.2+2x)$

$0.2+2x=0.3$에서 $x=0.05$이고, 평형 상수는

$K=\frac{[C]^2}{[A]^2[B]}=\frac{0.3^2}{0.3^2\times0.15}=\frac{20}{3}$이다. 따라서 평형 상수의 비 (가) : (나)$=40:\frac{20}{3}=6:1$이다.

10 농도 변화에 의한 평형 이동과 부분 압력

해설 | 초기 상태에서 반응물의 몰수가 각각 1몰이므로 처음 평형 상태에서 각 물질의 몰수를 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄴ. 이 반응은 반응 전과 후에 기체의 총 몰수 변화가 없으므로 정반응과 역반응 중 어느 반응이 일어나도 기체의 총 몰수 변화가 없다. 따라서 용기 내 압력 비는 (가) : (다)$=2:3$이다.

ㄷ. (나)에서 $I_2(g)$를 첨가하였으므로 정반응이 우세하게 진행되어 (다)가 된다. 정반응이 진행되면 반응물인 $H_2(g)$는 소모되므로 부분 압력은 감소한다.

오답피하기 ㄱ. 초기 상태에서 반응물의 몰수가 각각 1몰이므로 반응에서 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

	$H_2(g)$	$+$	$I_2(g)$	$\rightleftarrows$	$2HI(g)$
반응 전(몰)	1		1		
반응(몰)	$-x$		$-x$		$+2x$
반응 후(몰)	$(1-x)$		$(1-x)$		$2x$

평형 상수 $K=64$이므로 평형 상수식에 대입하면 $K=\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}=\frac{\left(\frac{2x}{V}\right)^2}{\left(\frac{1-x}{V}\right)^2}=64$에서 $x=0.8$이 된다. 따라서 (나)에서 H_2와 I_2은 각각 0.2몰, HI는 1.6몰이고 HI의 몰 분율은 $\frac{1.6}{0.2+0.2+1.6}=0.8$이다.

11 농도에 의한 평형 이동

해설 | 이 반응은 NO_2 분자 2개가 1분자의 N_2O_4로 되는 반응으로 기체의 총 분자 수가 감소하여 엔트로피가 감소하는 반응이고 정반응이 발열 반응이다.

정답맞히기 ㄱ. N_2O_4의 몰 분율이 a보다 작을 때는 평형 상태에 도달하기 전 정반응이 우세하게 자발적으로 진행되고 있으므로 $\Delta G<0$이다.

ㄴ. 평형 상태에서 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

	$2NO_2(g)$	$\rightleftarrows$	$N_2O_4(g)$
반응 전(몰)	1		0
반응(몰)	$-2x$		$+x$
반응 후(몰)	$1-2x$		x

평형 상태에서 $N_2O_4(g)$의 몰 분율은 0.5보다 작아 $\frac{x}{1-x}<0.5$이므로 $x<\frac{1}{3}$이다.

ㄷ. 이 반응은 $\Delta H<0$이므로 온도를 높이면 역반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형 상태에 도달하고 평형 상태에서 $N_2O_4(g)$의 몰 분율은 작아진다.

12 온도에 의한 평형 이동

해설 | 이 반응은 흡열 반응이므로 온도가 높아지면 평형 상수가 증가한다.

정답맞히기 ㄱ. 흡열 반응으로 온도가 높아지면 정반응이 우세하게 진행되는데 T_1보다 T_2에서 Y의 몰 분율이 큰 것으로 보아 온도는 $T_1<T_2$이다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 각 물질의 몰수를 구하면 다음과 같다.

	$X(g)$	$\rightleftarrows$	$Y(g)$	$+$	$Z(g)$
반응 전(몰)	$3n$		n		
반응(몰)	$-x$		$+x$		$+x$
반응 후(몰)	$3n-x$		$n+x$		x

(나)에서 몰수 비 X : Y$=1:1$이므로 $(3n-x):(n+x)=1:1$이고, 이것을 풀면 $x=n$이 되어 (나)에서 $X(g)$, $Y(g)$, $Z(g)$는 각각 $2n$, $2n$, n몰이다.

(가)와 (나)는 온도, 부피가 같으므로 용기 내 압력의 비는 분자 수 비와 같아서 (가) : (나)$=(3n+n):(2n+2n+n)=4:5$이다.

ㄷ. (다)에서 각 물질의 몰수를 구하면 다음과 같다.

	$X(g)$	$\rightleftarrows$	$Y(g)$	$+$	$Z(g)$
반응 전(몰)	$2n$		$2n$		n
반응(몰)	$-x$		$+x$		$+x$
반응 후(몰)	$2n-x$		$2n+x$		$n+x$

(다)에서 몰수 비 X : Y$=1:3$이므로 $(2n-x):(2n+x)=1:3$이고, 이것을 풀면 $x=n$이 되어 (다)에서 $X(g)$, $Y(g)$, $Z(g)$는 각각 n, $3n$, $2n$몰이다. 따라서 $X(g)$의 몰수 비는 (나) : (다)$=2n:n=2:1$이다.

13 압력 변화에 의한 평형 이동

해설 | 이 반응은 $A(g)$ 분자 1개가 분해되어 $B(g)$와 $C(g)$가 생성

되는 반응으로 분자 수가 증가하는 반응이다. 따라서 압력 P_1과 P_2 중 압력이 더 클 때 $A(g)$의 몰 분율도 더 크다.

정답맞히기 반응 전 $B(g)$와 $C(g)$의 몰수가 같고 반응 후 생성되는 몰수 비도 1:1이므로 압력이 P_1일 때 평형 상태에서 $A(g)$의 몰 분율이 $\frac{1}{2}$이면 $B(g)$와 $C(g)$의 몰 분율은 각각 $\frac{1}{4}$이다. 용기의 부피를 알 수 없으므로 V라고 하고 $A(g)$의 부분 압력은 전체 압력에 몰 분율을 곱한 것과 같으므로 $P_A=\frac{1}{2}P_1$이라고 하면, 평형 상태에서 $A(g)$의 몰 농도는 $\frac{n}{V}=\frac{P_A}{RT}=\frac{\frac{1}{2}P_1}{RT}$이 되어 $\frac{P_1}{2RT}$이 된다.

같은 방법으로 $B(g)$와 $C(g)$의 몰 농도는 각각 $\frac{P_1}{4RT}$이 되어 평형 상수는 $K=\frac{[B][C]}{[A]}=\frac{\left(\frac{P_1}{4RT}\right)\times\left(\frac{P_1}{4RT}\right)}{\frac{P_1}{2RT}}=\frac{P_1}{8RT}$이다.

P_2일 때는 $A(g)$, $B(g)$, $C(g)$ 모두 몰 분율이 $\frac{1}{3}$이므로 같은 방법으로 평형 상수는 $K=\frac{[B][C]}{[A]}=\frac{\left(\frac{P_2}{3RT}\right)\times\left(\frac{P_2}{3RT}\right)}{\frac{P_2}{3RT}}=\frac{P_2}{3RT}$인데, P_1일 때와 P_2일 때 온도는 서로 같으므로 평형 상수도 같아서 $\frac{P_1}{8RT}=\frac{P_2}{3RT}$가 되어 $P_1 : P_2=8 : 3$이다.

14 부피와 온도 변화에 의한 평형 이동

해설 | 실린더 내 기체가 평형 상태에 있을 때 부피와 온도를 모두 변화시키면 평형이 이동하여 새로운 평형 상태에 도달한다. 그런데 부피와 온도의 변화가 있기 전과 후에 각 기체의 몰수 변화가 없으므로 부피 변화에 의한 평형 이동의 영향과 온도 변화에 의한 평형 이동의 영향이 서로 상쇄되었음을 알 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 이 반응은 발열 반응($\Delta H<0$)이므로 부피를 $\frac{1}{2}$배로 감소시키면 기체 분자 수가 감소하는 방향으로 평형이 이동하여 정반응이 우세하게 진행되어 새로운 평형에 도달하므로 (가)보다 (나)에서 $Y(g)$의 몰수가 증가했어야 하는데 그대로인 것을 보면 온도가 높아져 흡열 반응이 우세하게 진행되어 $Y(g)$의 몰수가 감소했기 때문인 것을 알 수 있다. 따라서 온도는 $T_1<T_2$이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 기체의 몰수는 서로 같고 부피는 $\frac{1}{2}$배로 되었으므로 온도 변화가 없다면 압력은 (나)에서가 (가)에서의 2배이지만, (나)의 온도가 (가)보다 높으므로 압력은 2배보다 크다.

ㄷ. (가)에서 혼합 기체의 부피를 V L라고 하면 평형 상수는 $K=\frac{\frac{b}{V}}{\left(\frac{a}{V}\right)^2}=\frac{bV}{a^2}$이고, (나)에서 혼합 기체의 부피는 $\frac{V}{2}$ L이므로 평형 상수는 $K'=\frac{b\left(\frac{2}{V}\right)}{\left(\frac{2a}{V}\right)^2}=\frac{bV}{2a^2}$이다. 따라서 평형 상수는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

THEME

10 상평형과 용해 평형

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 71쪽

정답 ④

해설 | 증기 압력은 온도가 높을수록 크고 온도가 일정하면 증기 압력도 일정하다.

정답맞히기 ㄴ. (가)와 (나)는 온도가 같으므로 (나)에서 $H_2O(g)$의 압력은 (가)에서와 같다.

ㄷ. (다)는 10℃이므로 20℃에서보다 수증기압이 낮다. 따라서 수증기 분자 수는 (다)에서가 더 작다.

오답피하기 ㄱ. 20℃에서 물의 수증기압은 1기압보다 작다.

테마별 수능 필수유제

본문 72~73쪽

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

01 상평형 그림

해설 | A, D는 고체 상태, B는 액체 상태, C는 기체 상태이다.

정답맞히기 ㄱ. A에서 B로 되는 것은 압력이 일정할 때 온도가 높아지면서 고체에서 액체로 상태 변화하는 것으로 엔탈피가 증가한다.

ㄴ. B에서 C로 되는 것은 압력이 낮아지면서 액체가 기체로 상태 변화하는 것으로 분자 간 평균 거리가 증가한다.

ㄷ. C에서 D로 되는 것은 일정 압력에서 온도가 낮아지면서 기체가 고체로 승화하는 것으로 엔트로피가 감소한다.

02 상평형 그림

해설 | P기압, t_1℃는 고체, 액체, 기체가 모두 존재하는 삼중점, 1기압 t_1℃는 액체 상태, 1기압 t_2℃는 액체와 기체가 공존하는 끓는점이다.

정답맞히기 ㄱ. 1기압, t_2℃일 때는 기체와 액체가 공존하는 끓는점, 1기압, t_1℃일 때는 온도가 더 낮은 상태로 액체 상태이므로 일정량의 물의 엔트로피는 1기압, t_2℃일 때가 더 크다.

ㄴ. 그림에서 P기압 이상일 때만 액체 상태가 가능하므로 물은 P기압 미만에서는 승화성을 가진다.

오답피하기 ㄷ. 1기압에서 t_2℃보다 높은 온도에서는 기체 상태가 안정한 상태이므로 반응 $H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g)$은 자발적으로 일어나며 자유 에너지 변화 $\Delta G<0$이다.

03 물의 상평형 그림

해설 | A는 융해 곡선 상의 점이므로 어는점, B와 C는 증기 압력 곡선 상의 점으로 끓는점, D는 기체 상태를 나타내는 점이다.

정답맞히기 ㄷ. B와 C에서는 액체 상태와 기체 상태가 평형이므로 물이 기화되는 반응의 $\Delta G=0$이다. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 $\Delta G=0$일 때 $\frac{\Delta H}{\Delta S}=T$이므로 온도가 높은 C에서가 B에서보다 크다.

오답피하기 ㄱ. A는 융해 곡선 상의 점으로 녹는점이며 반응 $H_2O(s) \longrightarrow H_2O(l)$의 $\Delta G=0$이다. 따라서 $\Delta G=\Delta H-T_1\Delta S$에서 물이 융해되는 반응의 $\Delta G=0$이므로 $\Delta H=T_1\Delta S$이다.

ㄴ. D는 기체 상태가 가장 안정한 영역의 점으로 반응 $H_2O(g) \longrightarrow H_2O(l)$은 비자발적이다.

04 상평형

해설 | 주어진 자료에 따르면 1기압에서 물질 A의 어는점은 200 K, 끓는점은 240 K이며, 190 K에서 액체 상태가 존재하지 않는다.

정답맞히기 ㄱ. 190 K에서는 기체와 고체만 존재하므로 삼중점의 온도는 190 K보다 높다.

ㄷ. 1기압에서 어는점은 200 K, 끓는점은 240 K이므로 230 K에서는 액체 상태가 가장 안정하다.

오답피하기 ㄴ. 0.03기압, 240 K에서 가장 안정한 상태는 기체 상태이므로 기체가 액체로 상태 변화하는 액화 과정은 비자발적이다. 따라서 액화 과정의 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 크다.

05 고체의 용해도

해설 | 고체 A는 83℃에서 물 100 g에 대한 용해도가 180이므로 수용액이 280 g일 때 용질의 질량이 180 g이다. 83℃의 고체 A의 포화 수용액 210 g에서 용질인 고체 A의 질량은 280 g : 180 g = 210 g : x g으로 구하면 135 g이며, 용매인 물의 질량은 210 g − 135 g = 75 g이다.

정답맞히기 ㄱ. 포화 용액이므로 용질인 A(s)의 용해 속도와 석출 속도는 같다.

오답피하기 ㄴ. 퍼센트 농도는 $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times 100=\frac{135}{210}\times 100 \fallingdotseq 64.3(\%)$이다.

ㄷ. 그래프를 보면 용액의 온도가 25℃일 때 물 100 g에 대한 고체 A의 용해도는 40이므로, 75 g에 최대로 녹을 수 있는 고체 A의 질량은 30 g이다. 83℃에서 녹아 있던 용질은 135 g이므로 온도를 25℃로 낮추면 석출되는 A(s)는 135 − 30 = 105(g)이다.

06 기체와 고체의 용해도 곡선

해설 | 기체 A는 온도가 높을수록 용해도가 감소하고 고체 B는 온도가 높을수록 용해도가 증가한다.

정답맞히기 ㄴ. (가)는 용해도 곡선 상의 점으로 B(s)의 용해 속도와 석출 속도가 같다.

오답피하기 ㄱ. 반응 A(g) ⟶ A(aq)은 기체 A가 물에 용해되는 과정으로 $\Delta S<0$이다.

ㄷ. t_2℃는 t_1℃보다 높은 온도이므로 B의 용해 속도가 더 빠르다.

07 증기 압력

해설 | (가)에서 눈금 실린더를 눌러 (나)와 같이 되면 내부 압력이 증가한다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서는 눈금 실린더 내 수면의 높이가 수조의 수면 높이보다 높으므로 실린더 내부 압력은 바깥쪽인 대기압보다 작다.

ㄷ. 온도가 일정하므로 (가)와 (나)에서 수증기압은 서로 같다. 그러나 (나)가 (가)보다 기체의 부피가 더 작으므로 수증기압이 같다면 (나)보다 (가)에 포함된 수증기 분자 수가 더 크다.

오답피하기 ㄴ. (가)에서는 눈금 실린더 내 기체의 압력이 1기압보다 작고 (나)에서는 눈금 실린더 내 기체의 압력이 1기압이므로 (가)에서 (나)로 되면서 내부 압력이 증가한다. 따라서 (나)가 (가)보다 내부 기체의 부피가 더 작다.

08 고체의 용해도 곡선

해설 | 용해도 곡선을 보면 t_1℃에서 물 100 g에 KNO_3이 30 g까지 녹을 수 있고 t_2℃에서는 60 g까지 녹을 수 있다.

정답맞히기 ㄷ. 수용액의 온도를 t_2℃로 높이면 물 50 g에 KNO_3이 30 g까지 녹을 수 있으므로 10 g은 녹지 않고 가라앉는다.

오답피하기 ㄱ. t_1℃에서 물 100 g에 KNO_3이 30 g까지 녹을 수 있으므로 물 50 g에는 15 g까지 녹을 수 있다. 따라서 40 g을 넣고 충분히 녹여 주어도 40 − 15 = 25(g)이 녹지 않고 가라앉는다.

ㄴ. t_1℃ 물 80 g을 더 넣으면 물의 전체 질량이 130 g이 되므로 최대로 녹는 KNO_3의 질량은 100 g : 30 g = 130 g : x g으로 구할 수 있으며 $x=39$(g)이다. 따라서 용질 40 g 중 1 g이 녹지 않고 남는다.

테마별 수능 심화문제 본문 74~76쪽

09 ① 10 ④ 11 ① 12 ② 13 ① 14 ①

09 액체의 증기 압력

해설 | 같은 온도에서 액체 A의 증기 압력이 B의 증기 압력보다 h_2 mmHg만큼 크다.

정답맞히기 ㄱ. 25℃에서 A는 증기가 나타내는 압력이 진공보다 h_1 mmHg만큼 크므로 A의 증기 압력은 h_1 mmHg이다.

오답피하기 ㄴ. A와 B 중에 A의 증기 압력이 더 크므로 25℃에서 A의 분자 간 인력이 B의 분자 간 인력보다 작다.

ㄷ. 25℃에서 B의 증기 압력은 A보다 h_2 mmHg만큼 작고 A의 증기 압력은 h_1 mmHg이므로 B의 증기 압력은 (h_1-h_2) mmHg이다.

10 상평형 그림과 액체와 기체의 상평형

해설 | (나)의 상태는 (가)의 증기 압력 곡선 상의 점으로 끓는점이다.

정답맞히기 ㄴ. t_1℃, P_1기압은 삼중점으로 반응 $H_2O(s) \longrightarrow H_2O(l)$은 평형 상태이다. 따라서 정반응의 자유 에너지 변화(ΔG)는 0이다.
ㄷ. (나)에서 평형 상태를 유지하면서 온도를 높이면 $H_2O(g)$의 압력은 증가한다.

오답피하기 ㄱ. P_1은 삼중점에서의 압력으로 물은 삼중점의 압력이 1기압보다 낮아 $P_1 < 1$이다.

11 기체의 용해도

해설 | (가)에서 실린더 내 $N_2(g)$와 $H_2O(g)$ 혼합 기체의 압력은 1기압이고 (나)에서는 2기압이다.

정답맞히기 ㄱ. 수증기의 부분 압력, 즉 수증기압은 온도에 비례한다. (가)와 (나)에서 온도는 25℃로 서로 같으므로 수증기의 부분 압력도 (가)와 (나)가 같다.

오답피하기 ㄴ. (가)와 (나)는 온도가 같으므로 수증기의 부분 압력이 서로 같지만 실린더 내 기체의 부피가 다르므로 기체 분자 수도 다르다. (가)보다 (나)에서 기체의 부피가 작으므로 수증기 분자 수는 (나)가 더 작다.
ㄷ. 물에 녹아 있는 N_2의 몰수는 실린더 내 N_2의 부분 압력에 비례하는데 25℃에서 수증기의 부분 압력을 h mmHg라고 할 때, (가)에서 N_2의 부분 압력은 $(760-h)$ mmHg이고, (나)에서 N_2의 부분 압력은 $(1520-h)$ mmHg이므로 (나)가 (가)의 2배보다 크고 녹아 있는 N_2의 몰수는 (나)가 (가)의 2배보다 크다.

12 고체의 용해도

해설 | 일정한 온도에서 물 100 g에 대한 고체의 용해도가 20이라면 수용액 120 g에 고체 20 g이 녹아 있는 것이다.

정답맞히기 온도 t_1℃에서 물 100 g에 대한 A의 용해도가 20이므로 수용액이 120 g이라면 A 20 g이 녹아 있는 것이다. 그러므로 수용액이 100 g이라면 녹아 있는 A는 120 g : 20 g = 100 g : x g에서 $x = \frac{50}{3}$ g이고 물의 질량은 $100 - \frac{50}{3} = \frac{250}{3}$ g이다. 같은 방법으로 온도 t_3℃에서는 240 g : 140 g = 100 g : y g이고 $y = \frac{175}{3}$(g)이 되며 물의 질량은 $100 - \frac{175}{3} = \frac{125}{3}$ g이다. t_2℃의 혼합 용액은 용질 $\frac{50}{3} + \frac{175}{3} = 75$ g과 물 $\frac{250}{3} + \frac{125}{3} = 125$ g이 혼합된 것인데, t_2℃에서는 물 100 g에 A 50 g만 녹을 수 있으므로 물 125 g에는 A가 62.5 g밖에 녹을 수 없다. 따라서 75 − 62.5 = 12.5 g이 석출된다.

13 기체의 용해도

해설 | 실린더 내 $X(g)$와 $H_2O(g)$ 혼합 기체의 압력이 1기압이라면 $X(g)$의 부분 압력은 1기압보다 작고 물에 녹아 있는 $X(g)$의 질량은 1기압에서 물 1 L에 대한 용해도보다 작다.

정답맞히기 온도 t_1℃에서 $X(g)$의 부분 압력은 $(760-b)$ mmHg이므로 물에 녹아 있는 $X(g)$의 질량은 $\frac{(760-b)}{760} \times 3a$(g)이다. 온도 t_2℃에서 $X(g)$의 부분 압력은 $(760-2b)$ mmHg이므로 물에 녹아 있는 $X(g)$의 질량은 $\frac{(760-2b)}{760} \times 2a$(g)이다. 질량 차를 구하면 $\frac{a(760+b)}{760}$(g)이다.

14 증기 압력

해설 | (나)에서 수은에 아무 액체도 넣지 않았을 때 수은 기둥의 높이는 760 mm이고, 액체를 넣으면 그 액체가 일부 기화되어 증기 압력을 나타내며 (증기 압력 + 수은 기둥이 누르는 압력)이 대기압과 같아야 하므로 액체의 증기 압력에 해당하는 만큼 수은 기둥의 높이가 낮아진다.

정답맞히기 ㄱ. 기준 끓는점은 증기 압력이 대기압과 같아지는 온도이므로 A의 기준 끓는점이 더 낮다.

오답피하기 ㄴ. 20℃에서 A의 증기 압력은 440 mmHg이므로 (나)에 액체 A 방울을 넣으면 $440 + h = 760$이므로 $h = 320$ mm가 된다.
ㄷ. 20℃에서 B의 증기 압력은 A보다 작으므로 (나)에 액체 B 방울을 넣으면 높이 차 h는 액체 A를 넣었을 때보다 크다.

THEME 11

산 염기의 정의 및 세기

담은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 78쪽

정답 ⑤

정답맞히기 'OH⁻의 몰수 = [OH⁻] × 수용액의 부피'이며, (가)와 (나)에서 OH⁻의 몰수가 같으므로 [OH⁻]는 (가)가 (나)의 10배이다. A^-, B^-의 몰 농도를 각각 C_{A^-}(= 0.1 M), C_{B^-}(= 1 M), 약염기 A^-, B^-의 이온화 상수를 각각 $K_{b(A^-)}$, $K_{b(B^-)}$라고 하면, $[OH^-] = \sqrt{C \times K_b}$이므로 $\sqrt{C_{A^-} \times K_{b(A^-)}} \times 10 = \sqrt{C_{B^-} \times K_{b(B^-)}} \times 100 \rightarrow C_{A^-} \times K_{b(A^-)} = C_{B^-} \times K_{b(B^-)} \times 100 \rightarrow 0.1 \times K_{b(A^-)} = 1 \times K_{b(B^-)} \times 100 \rightarrow K_{b(A^-)} = 1000 \times K_{b(B^-)}$이다. HA, HB의 몰 농도를 각각 C_{HA}(= 1 M), C_{HB}(= 0.1 M), 약산 HA, HB의 이온화 상수를 각각 $K_{a(HA)}$, $K_{a(HB)}$, 1 M $HA(aq)$에서 HA의 이온화도를 α_{HA}, 0.1 M $HB(aq)$에서 HB의 이온화도를 α_{HB}라고 할 때, $K_{b(A^-)} = \frac{K_w}{K_{a(HA)}}$, $K_{b(B^-)} = \frac{K_w}{K_{a(HB)}}$이므로 $K_{b(A^-)} = 1000 \times K_{b(B^-)} \rightarrow \frac{K_w}{K_{a(HA)}} = 1000 \times \frac{K_w}{K_{a(HB)}} \rightarrow K_{a(HB)} = 1000 \times K_{a(HA)} \rightarrow C_{HB}\alpha_{HB}^2 = 1000 \times C_{HA}\alpha_{HA}^2 \rightarrow 0.1 \times \alpha_{HB}^2 = 1000 \times 1 \times \alpha_{HA}^2 \rightarrow \left(\frac{\alpha_{HB}}{\alpha_{HA}}\right)^2 = 10^4 \rightarrow \frac{\alpha_{HB}}{\alpha_{HA}} = 10^2$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 79~80쪽

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

01 약산의 이온화도(α)와 이온의 몰수

정답맞히기 (가)와 (나)에 들어 있는 이온의 종류는 H_3O^+과 A^-이고 [H_3O^+ 의 수=A^-의 수]이다. (가)와 (나)에 각각 들어 있는 전체 이온 수가 같으므로 H_3O^+의 이온 수도 같다. (가)에서 $[H_3O^+]=C\alpha=\sqrt{C\times K_a}=\sqrt{0.1\times1\times10^{-7}}=1\times10^{-4}$ M이고 (나)에서 $[H_3O^+]=\sqrt{0.05\times1\times10^{-7}}=\sqrt{0.5}\times10^{-4}$ M이다. 또한 이온 수는 [용액의 몰농도×용액의 부피]이므로 $1\times10^{-4}\text{ M}\times x\text{ mL}=\sqrt{0.5}\times10^{-4}\text{ M}\times y\text{ mL}$이고, $\frac{y}{x}=\sqrt{2}$이다.

02 2가 산의 단계별 이온화 반응

정답맞히기 ㄱ. H_2A의 K_a가 매우 작으므로 H_2A는 약산이며 역반응이 우세한 상태에서 평형을 이룬다. 따라서 대부분의 H_2A는 이온화되지 않은 상태로 존재하므로 수용액에 가장 많이 존재하는 입자는 H_2A이다.

ㄴ. K_a가 클수록 산의 세기가 강하고 그 짝염기의 세기는 약하다. 따라서 H_2A는 HA^-보다 산의 세기가 강하고 HA^-의 짝염기인 A^{2-}은 H_2A의 짝염기인 HA^-보다 염기의 세기가 강하다.

오답피하기 ㄷ. 1단계 이온화 반응에 의해 생성된 HA^-과 H_3O^+의 수가 같고 2단계 이온화 반응에 의해 생성된 A^{2-}과 H_3O^+의 수가 같다. 하지만 2단계 이온화 반응에서 HA^-이 이온화되므로 H_3O^+ 수는 HA^- 수와 A^{2-} 수를 합한 값보다 크다.

03 짝산과 짝염기

정답맞히기 ㄷ. (가)에서 HCO_3^-은 H_2CO_3의 짝염기로 작용하고, (나)에서 HCO_3^-은 CO_3^{2-}의 짝산으로 작용한다.

오답피하기 ㄱ. (가)에서 HCO_3^-이 H^+을 얻으면 H_2CO_3이 되므로 HCO_3^-의 짝산은 H_2CO_3이고, H_2CO_3의 짝염기는 HCO_3^-이다.

ㄴ. (나)에서 HCO_3^-은 산으로 작용하여 H^+을 잃으면 CO_3^{2-}이 되므로 HCO_3^-의 짝염기는 CO_3^{2-}이고, CO_3^{2-}의 짝산은 HCO_3^-이다.

04 입자 수와 이온화도(α)

정답맞히기 ㄱ. 넣어 준 용질 HA의 몰수가 0.1몰인데 수용액에 존재하는 입자의 몰수가 0.15몰이 되려면 넣어 준 용질 HA의 절반이 이온화되어 H_3O^+과 A^- 각각 0.05몰이 생성되고 HA 0.05몰은 이온화되지 않아야 한다. 따라서 HA의 이온화도는 0.5이다.

ㄷ. 넣어 준 용질 BOH의 몰수가 0.01몰이므로 수용액에 존재하는 입자의 몰수가 0.02몰이 되려면 넣어 준 BOH가 모두 이온화되어 B^+과 OH^-이 각각 0.01몰씩 생성되어야 하므로 BOH의 이온화도(α)는 1이다. 따라서 $[OH^-]=C\alpha=\frac{0.01\text{몰}}{0.1\text{ L}}\times1=0.1$ M이고 $pOH=-\log[OH^-]=1$이므로 pH는 13이다.

오답피하기 ㄴ. (나)는 (가)에 비해 HA의 농도가 작으므로 이온화도(α)는 증가한다. 따라서 x는 0.015보다 크다.

05 이온화도(α)와 농도

정답맞히기 ㄱ. 0.02 M HB(aq)에서 HB의 이온화도(α)는 0.5이므로 $[H_3O^+]=C\alpha=0.02\times0.5=0.01$ M이다. (나)와 (다)에서 HA(aq)과 HB(aq)의 pH가 같고, HA의 이온화도(α)는 농도와 관계없이 1이므로 HA(aq)의 농도는 0.01 M이다.

오답피하기 ㄴ. (나)에 물을 첨가하면 HA(aq)의 농도가 감소한다. 하지만 HA의 이온화도(α)는 농도에 관계없이 1이므로 HA가 모두 이온화되어 H_3O^+(aq)의 농도는 감소하나 H_3O^+ 수는 변하지 않는다.

ㄷ. (다)에서 물을 증발시키면 HB(aq)의 농도가 증가하고 이온화도(α)는 감소한다. 하지만 온도가 같으므로 HB의 이온화 상수(K_a)는 같다.

06 물의 자동 이온화 반응과 pH

정답맞히기 ㄱ. 온도가 높을수록($t_1>t_2>t_3$) 물의 이온곱 상수(K_w)가 커지므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 물의 자동 이온화 반응은 흡열 반응이다.

ㄷ. t_2℃의 물에 묽은 HCl(aq)을 소량 첨가하면 HCl은 강산이므로 모두 이온화되어 $[H_3O^+]$가 증가한다. 따라서 물의 자동 이온화 반응은 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

오답피하기 ㄴ. $pH=-\log[H_3O^+]$인데 온도가 높을수록($t_1>t_2>t_3$) $[H_3O^+]$가 커진다. 따라서 물의 pH는 t_1℃에서 가장 작고, t_3℃에서 가장 크다.

07 이온화 모형과 이온화도

정답맞히기 ㄱ. 이온화도=$\frac{\text{이온화된 전해질의 몰수}}{\text{용해된 전해질의 몰수}}$이므로 용해된 HA의 입자 수를 $2x$, 용해된 HB의 입자 수를 x라고 할 때 HA의 이온화도는 $\frac{4}{2x}$, HB의 이온화도는 $\frac{4}{x}$이다. 따라서 이온화도는 HB가 HA의 2배이다.

오답피하기 ㄴ. (가)에 들어 있는 HA의 입자 수는 용해된 HA의 입자 수에서 이온화된 HA의 입자 수를 뺀 값이므로 $(2x-4)$이다. (나)에 들어 있는 HB의 입자 수는 용해된 HB의 입자 수에서 이온화된 HB의 입자 수를 뺀 값이므로 $(x-4)$이다. 따라서 (가)에 들어 있는 HA 입자 수$(2x-4)$는 (나)에 들어 있는 HB 입자 수의 2배$(2x-8)$보다 크다.

ㄷ. HA의 처음 농도를 $2C$, 이온화도를 α라고 할 때 HA의 이온화 상수(K_a)는 $\frac{2C\alpha^2}{1-\alpha}$이고, HB의 처음 농도는 C, 이온화도는 2α이므로 HB의 이온화 상수(K_a)는 $\frac{C(2\alpha)^2}{1-2\alpha}$이다. HB의 K_a가 HA의 K_a의 2배가 되려면 $\frac{4C\alpha^2}{1-\alpha}=\frac{C(2\alpha)^2}{1-2\alpha}$식이 성립해야 하는데, 식을 풀면 등식이 성립하지 않으므로 모순이다. 따라서 이온화 상수(K_a)는 HB가 HA의 2배가 아니다.

08 약산의 혼합 용액

정답맞히기 HA(aq)에서 몰 농도(C)가 0.1 M일 때 pH가 3이므로 $[H_3O^+]=C\alpha=10^{-3}$ M이고 이온화도(α)는 10^{-2}이므로 HA는 약산이다. 따라서 HA의 이온화 상수 $K_a=C\alpha^2=0.1\times(10^{-2})^2=1\times10^{-5}$이다.

HB(aq)에서 몰 농도(C')가 0.1 M일 때 pH가 5이므로 $[H_3O^+]=C'\alpha'=10^{-5}$ M이고 이온화도(α')는 10^{-4}이므로 HB는 약산이다. 따라서 HB의 이온화 상수 $K_a'=C'\alpha'^2=0.1\times(10^{-4})^2=1\times10^{-9}$이다.

HA(aq)과 HB(aq)의 이온화 반응식과 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.

$HA(aq)+H_2O(l)\rightleftarrows H_3O^+(aq)+A^-(aq)$

$$K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}=1\times10^{-5}$$

$HB(aq)+H_2O(l)\rightleftarrows H_3O^+(aq)+B^-(aq)$

$$K_a'=\frac{[H_3O^+][B^-]}{[HB]}=1\times10^{-9}$$

두 수용액을 모두 혼합한 용액에서 $[H_3O^+]$는 같다. 또한 HA와 HB는 약산이므로 [HA]와 [HB]는 거의 0.05 M로 같다. 따라서 $\frac{K_a'}{K_a}=\frac{\frac{[H_3O^+][B^-]}{[HB]}}{\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}}=\frac{[B^-]}{[A^-]}=\frac{1\times10^{-9}}{1\times10^{-5}}=10^{-4}$이다.

테마별 수능 심화문제 본문 81~83쪽

09 ② 10 ⑤ 11 ④ 12 ③ 13 ⑤ 14 ①

09 산 수용액의 입자 수와 이온화도(α)

해설 | (가)와 (나)에서 공통적으로 3종류의 입자가 존재하고 그 비율이 같으므로 용해된 HA와 HB 0.02몰 중에서 절반에 해당하는 0.01몰의 HA와 HB가 이온화되어 H^+과 A^- 또는 B^-이 0.01몰씩 생성되었다.

정답맞히기 ㄴ. HB(aq)에서 몰 농도(C)는 0.2 M이고, 이온화도(α)는 0.5이다. 따라서 HB(aq)의 $pH=-\log[H_3O^+]=-\log(C\alpha)=-\log(0.2\times0.5)=-\log10^{-1}=1$이다.

오답피하기 ㄱ. 용해된 HA 0.02몰 중 절반에 해당하는 0.01몰의 HA가 이온화되었으므로 HA의 이온화도(α)는 0.5이다.

ㄷ. HB는 이온화도(α)가 0.5이므로 약산의 경우 가능한 $K_a=C\alpha^2$으로 계산할 수 없고 $K_a=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$으로 계산한다. 따라서 $K_a=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}=\frac{0.2\times0.5^2}{1-0.5}=0.1$이다.

10 산과 염기의 이온화 상수

정답맞히기 ㄴ. $NH_3(aq)$에서 $[OH^-]=\sqrt{C\cdot K_b}=\sqrt{0.05\times2\times10^{-5}}=10^{-3}$이므로 pOH=3이고, pH=11이다.

HCN(aq)에서 $[H_3O^+]=\sqrt{C\cdot K_a}=\sqrt{0.05\times5.0\times10^{-10}}=5.0\times10^{-6}$이므로 $pH=6-\log5$이고, $pOH=8+\log5$이다. 따라서 0.05 M $NH_3(aq)$의 pH는 0.05 M HCN(aq)의 pOH보다 크다.

ㄷ. HCN의 $K_a=\frac{[CN^-][H_3O^+]}{[HCN]}$이고, NH_3의 $K_b=\frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$이므로 주어진 반응의 평형 상수는 $K=\frac{[NH_3][HCN]}{[NH_4^+][CN^-]}=\frac{K_w}{K_a\times K_b}=\frac{1.0\times10^{-14}}{5.0\times10^{-10}\times2.0\times10^{-5}}=1$이다.

따라서 $[HCN]=\frac{[NH_4^+][CN^-]}{[NH_3]}$이다.

오답피하기 ㄱ. NH_3의 짝산인 NH_4^+의 이온화 상수는 $K_a=\frac{K_w}{K_b}=\frac{1.0\times10^{-14}}{2.0\times10^{-5}}=5.0\times10^{-10}$이다. 따라서 HCN와 이온화 상수가 같으므로 산의 세기는 NH_4^+과 HCN가 같다.

11 약염기의 농도와 이온화도(α)

정답맞히기 ㄱ. $[A^+]$는 (가)가 (나)의 3배이고 $[A^+]=\sqrt{C\times K_b}$이며 K_b는 일정하므로 C는 (가)가 (나)의 9배이다. 물에 녹인 AOH의 질량이 동일하므로 수용액의 부피는 (나)가 (가)의 9배이고 ㉠은 90이다.

ㄷ. OH^-의 몰수는 A^+의 몰수와 같고 (나)에서 pOH는 4이므로 $x=1\times10^{-4}$ M이다. 몰수는 몰 농도(M)에 부피(V)를 곱하여 계산하므로 (가)에서 OH^-의 몰수는 $3x$ M$\times$0.01 L$=3\times1\times10^{-4}$ M$\times$0.01 L$=3\times10^{-6}$몰이다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 pH가 10이므로 pOH=4이고, $[OH^-]=10^{-4}$ M이다. $[OH^-]=[A^+]$이고 $[A^+]$는 (가)가 (나)의 3배이므로 (가)에서 $[OH^-]=3\times10^{-4}$ M이다. 따라서 $pOH=4-\log3$이고, $pH=10+\log3$이므로 ㉡은 11보다 작다.

12 H_3O^+의 농도와 이온화 상수

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 HA의 $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}=[H_3O^+]=y$이므로 $[HA]=[A^-]$이다. 따라서 이온화도(x)는 0.5이다.

ㄴ. (가)에서 x는 0.5이므로 $[H_3O^+]=C\alpha=0.5$ M이다. (나)는 (가)보다 pH가 1만큼 크므로 $[H_3O^+]=C\alpha=0.05$ M이다. (가)와 (나)의 온도가 같으므로 이온화 상수(K_a)도 0.5로 같다. 따라서 (나)에서 $K_a=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}=0.5$에 $\alpha=$㉠과 $C\alpha=0.05$를 대입하면 $\frac{0.05\times㉠}{1-㉠}=0.5$이고, ㉠은 $\frac{10}{11}$이다.

오답피하기 ㄷ. (나)에서 $K_a=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}=0.5$에 $C=$㉡과 이온화도(α)$=\frac{10}{11}$을 대입하면 $\frac{㉡\times\left(\frac{10}{11}\right)^2}{1-\frac{10}{11}}=0.5$이므로 ㉡은 $\frac{11}{200}$이다.

13 약산의 몰 농도와 이온화 상수

해설 | HA의 이온화 상수(K_a)와 A^-의 이온화 상수(K_b)는 온도가 일정하면 농도와 관계없이 일정하다. 약산의 경우 $[H_3O^+]=C\alpha=\sqrt{C\times K_a}$이고, $\alpha=\sqrt{\frac{K_a}{C}}$이다.

정답맞히기 ㄱ. H_3O^+의 몰 농도 $[H_3O^+]=\sqrt{C\times K_a}$이고 K_a는 일정하므로 C가 0.01 M로 감소하면 $[H_3O^+]$는 $\frac{1}{10}$배로 감소한다. 따라서 (가)는 Ⅱ에 속한다.

ㄴ. 약산의 경우 용액의 농도가 묽을수록 이온화도(α)가 증가하고 $pH=-\log[H_3O^+]$이므로 $[H_3O^+]$가 $\frac{1}{10}$배로 감소하면 pH는 1만큼 증가한다. 따라서 (나)와 (다)는 Ⅰ에 속한다.

HA의 K_a와 A^-의 K_b는 온도가 일정하면 농도와 관계없이 일정하므로 (라)와 (마)는 Ⅲ에 속한다. 따라서 Ⅰ과 Ⅲ에 속하는 자료는 2개씩으로 같다.

ㄷ. HA의 이온화 반응은 발열 반응이므로 온도를 30℃로 올렸을 때 역반응이 우세해져 HA의 이온화도(α)가 감소하고 HA의 이온화 상수(K_a)와 $[H_3O^+]$가 감소한다. 따라서 A^-의 이온화 상수(K_b)는 증가하고 pH도 증가한다. 그러므로 온도를 30℃로 올렸을 때 그 값이 감소하는 자료는 3가지((가), (나), (라))이다.

14 H_3O^+의 농도와 이온화도(α)

정답맞히기 ㄱ. 약산의 경우 이온화도 $\alpha=\sqrt{\frac{K_a}{C}}$인데 (가)와 (나)의 온도가 같으므로 이온화 상수(K_a)는 같다. 즉 α는 HA(aq)의 농도(C)의 제곱근에 반비례한다. 따라서 이온화도(α)는 (가)가 (나)의 4배이므로 HA(aq)의 농도는 (나)가 (가)의 16배이고 ㉠은 1.6이다.

오답피하기 ㄴ. (가)에서 $pH=-\log[H_3O^+]=-\log(C\alpha)=-\log(0.1x)=y$이다. (나)에서 $pH=-\log[H_3O^+]=-\log(C\alpha)=-\log(1.6\times\frac{x}{4})=-\log(0.4x)=-\log(0.1x\times4)=-\log(0.1x)-\log4=y-\log4$이다.

ㄷ. A^-의 몰 농도는 H_3O^+의 몰 농도와 같고 몰수는 몰 농도(M)에 부피(V)를 곱하여 계산한다. 따라서 A^-의 몰수는 (가)에서 $0.1x\ M\times0.1\ L=0.01x$몰, (나)에서 $0.4x\ M\times0.05\ L=0.02x$몰이므로 A^-의 몰수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

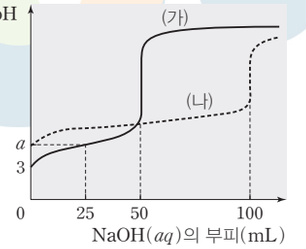
THEME 12

중화 반응과 염 수용액

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 86쪽

정답 ③

해설 | 중화 적정 곡선 (가)에서 산(aq)의 몰 농도는 0.1 M, (나)에서 산(aq)의 몰 농도는 0.2 M이다. 만약 HA(aq)의 초기 몰 농도가 0.2 M라면 산의 세기는 HA가 HB보다 강하므로 $[H_3O^+]$($=C\alpha$)도 크고 pH는 작아야 하므로 그림과 일치하지 않는다. 따라서 (가)는 HA(aq), (나)는 HB(aq)의 중화 적정 곡선이다.



정답맞히기 ㄱ. HA(aq)의 중화 적정 곡선은 (가)이므로 적정 전 HA(aq)의 몰 농도를 x M라고 할 때 중화 반응의 양적 관계에 의해 $x\ M\times50\ mL=0.1\ M\times50\ mL$이고 $x=0.1$이다. 따라서 적정 전 HA(aq)의 몰 농도는 0.1 M이다.

ㄴ. 적정 전 HA(aq)의 pH가 3이므로 $[H_3O^+]=10^{-3}$ M이고 이온화도(α)는 0.01이다. 그러므로 25℃에서 HA의 이온화 상수 $K_a=C\alpha^2=0.1\times0.01^2=1\times10^{-5}$이다. NaOH($aq$) 25 mL를 넣은 지점은 중화점의 절반에 해당하므로 $[HA]=[A^-]$이다. 따라서 $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}=[H_3O^+]=10^{-5}$이고 a는 5이다.

오답피하기 ㄷ. (나)의 중화 적정 곡선에서 적정 전 HB(aq)의 pH는 5이므로 $[H_3O^+]=C\alpha=10^{-5}$ M에서 이온화도(α)는 5×10^{-5}이다. 따라서 HB의 이온화 상수 $K_a=C\alpha^2=0.2\times(5\times10^{-5})^2=5\times10^{-10}$이고, $\frac{\text{HB의 이온화 상수}(K_a)}{\text{HA의 이온화 상수}(K_a)}=\frac{5\times10^{-10}}{1\times10^{-5}}=5\times10^{-5}$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 87~88쪽

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

01 공통 이온 효과

정답맞히기 ㄴ. $HA(aq)+H_2O(l)\rightleftarrows A^-(aq)+H_3O^+(aq)$의 이온화 평형에서 NaA($s$)를 넣으면 공통 이온인 A^-의 농도가 증가하므로 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 $[H_3O^+]$가 감소한다. 따라서 혼합 용액의 pH는 증가한다.

ㄷ. HA(aq)의 $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$이다. a의 수용액에 NaA($s$)를

넣으면 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 $[H_3O^+]$가 감소하는데 K_a는 일정하므로 $\frac{[A^-]}{[HA]}$는 증가한다.

오답피하기 ㄱ. a의 수용액에 $NaA(s)$를 넣더라도 온도가 변하지 않으므로 HA의 이온화 상수(K_a)는 변하지 않는다.

02 염 수용액의 pH

정답맞히기 ㄱ. ACl과 BCl의 이온화도는 1이므로 Cl^-의 몰수는 용액의 몰 농도와 부피를 곱한 값과 같다. 따라서 (가)와 (나)에서 몰 농도와 부피를 곱한 값이 같으므로 Cl^-의 몰수는 같다.

ㄴ. Cl^-은 강산의 짝염기이므로 가수 분해되지 않으나 A^+과 B^+은 약염기의 짝산이므로 가수 분해되어 산성을 나타낸다. (가)와 (나)에서 모두 pH가 5이므로 $[H_3O^+]=1\times10^{-5}$ M인데 $[H_3O^+]=\sqrt{C\times K_a}$이므로 C가 클수록 K_a는 작다. C는 (나)가 (가)의 2배이므로 K_a는 (가)의 A^+이 (나)의 B^+의 2배이다. 따라서 염기의 이온화 상수(K_b)는 BOH가 AOH의 2배이다.

오답피하기 ㄷ. (나)에서 C가 0.2 M이고 pH가 5이므로 $[H_3O^+]=1\times10^{-5}\,M=\sqrt{C\times K_a}$에서 B^+의 K_a는 5×10^{-10}이다. 따라서 BOH의 $K_b=\frac{K_w}{K_a}=2\times10^{-5}$이고 0.1 M BOH($aq$)에서 $[OH^-]=\sqrt{C\times K_b}=\sqrt{0.1\times2\times10^{-5}}=\sqrt{2}\times10^{-3}$ M이다. 따라서 pOH$=3-\log\sqrt{2}$이므로 pH$=11+\log\sqrt{2}$이다.

03 강염기와 약염기로 중화시킬 때의 pH 곡선

정답맞히기 ㄱ. (나)는 강산과 강염기가 중화 반응했을 때의 중화점이므로 가수 분해되는 이온이 없다. 따라서 중성이므로 25℃에서 pH는 7이다.

ㄴ. 0.1 M HX(aq) 50 mL를 중화시키기 위해 필요한 NaOH(aq)의 부피는 100 mL이므로 NaOH(aq)의 몰 농도는 0.05 M이고, 0.1 M HX(aq) 50 mL를 중화시키기 위해 필요한 $NH_3(aq)$의 부피는 50 mL이므로 $NH_3(aq)$의 몰 농도는 0.1 M이다.

오답피하기 ㄷ. 적정 전 0.1 M HX(aq)의 pH가 1이므로 HX는 이온화도(α)가 1인 강산이다. 따라서 NaOH(aq)과 $NH_3(aq)$으로 적정했을 때 중화점에서 X^-은 가수 분해되지 않으므로 몰수는 같다. 하지만 중화점에서 용액의 전체 부피는 NaOH(aq)으로 적정할 때가 $NH_3(aq)$으로 적정할 때보다 크므로 $[X^-]$는 (가)>(나)이다.

04 중화 적정 과정에서의 pH

정답맞히기 1.0 M HA(aq)의 pH가 2이므로 $[H_3O^+]=C\alpha=1.0\times\alpha=0.01$ M이고 α는 0.01이다. 따라서 HA는 약산이므로 HA의 이온화 상수 $K_a=C\alpha^2=1.0\times0.01^2=1\times10^{-4}$이다.

x M NaOH(aq)을 10 mL 넣었을 때 pH가 3이므로 $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}=\frac{10^{-3}\times[A^-]}{[HA]}=1\times10^{-4}$이고, $10\times[A^-]=[HA]$이므로 중화점의 $\frac{1}{11}$에 해당하는 지점이다. 그러므로 중화점까지 필요한 NaOH(aq)의 부피는 110 mL이고 중화 반응의 양적 관계에 의해 $1.0\times100=x\times110$에서 x는 $\frac{10}{11}$이다.

05 중화 적정 곡선과 지시약

정답맞히기 ㄱ. 약염기 XOH(aq)을 강산 HCl(aq)으로 적정하므로 중화점에서 약염기의 짝산인 X^+이 가수 분해되어 산성을 나타낸다. 따라서 중화 적정 곡선은 중화점에서 pH가 7보다 작은 (나)와 같은 형태를 갖는다.

오답피하기 ㄴ. 중화점에서의 pH가 7보다 작으므로 산성에서 변색 범위를 나타내는 지시약 A를 사용해야 중화점을 정확하게 찾을 수 있다.

ㄷ. 0.2 M의 XOH(aq) 100 mL를 모두 중화시키기 위해 필요한 0.1 M HCl(aq)의 부피(x)는 200 mL이다.

$0.2\times100=0.1\times x$, $x=200$

06 공통 이온 효과

정답맞히기 ㄱ. 물 100 mL를 넣어도 온도가 25℃로 일정하므로 HA(aq)의 이온화 상수(K_a)는 같다. 물을 넣으면 용액의 농도가 묽어지면서 이온화도(α)가 증가하므로 $\frac{[A^-]}{[HA]}$는 증가한다. $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$에서 K_a가 일정하기 위해서는 $[H_3O^+]$는 감소해야 한다. 따라서 pH는 증가한다.

ㄴ. $NaA(s)$ 0.1몰을 넣으면 $[A^-]$가 커지므로 $HA(aq)+H_2O(l)\rightleftarrows A^-(aq)+H_3O^+(aq)$ 반응의 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 $[H_3O^+]$는 감소하고 pH는 증가한다.

ㄷ. 1 M HA(aq) 100 mL에 0.5 M HA(aq) 200 mL를 넣으면 혼합 용액의 몰 농도는 $\frac{2}{3}$ M이다. 온도가 25℃로 일정하므로 HA(aq)의 K_a는 같다. 용액의 농도가 처음 농도에 비해 묽어지면서 이온화도가 증가하므로 $\frac{[A^-]}{[HA]}$는 증가한다. $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$에서 K_a가 일정하기 위해서는 $[H_3O^+]$는 감소해야 한다. 따라서 pH는 증가한다.

07 약산과 강염기의 중화 반응

정답맞히기 ㄱ. BOH의 이온화도(α)가 1이므로 전체 입자 수가 0.1몰이라면 BOH(aq)에는 B^+과 OH^-이 각각 0.05몰씩 들어 있다. 그러므로 이온화되기 전 BOH의 몰수는 0.05몰이고, 몰 농도(x)는 0.5 M이다.

이온화되기 전 0.5 M HA(aq) 100 mL에 들어 있는 HA의 몰수는 0.05몰이다. 이 중 0.01몰의 HA가 이온화되어 H_3O^+, A^- 각각 0.01몰이 생성되어 전체 입자 수가 0.06몰이 되므로 x M HA(aq)에서 HA의 이온화도 $\alpha=\frac{0.01}{0.05}=0.2$이다.

ㄴ. HA의 이온화 상수 $K_a=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}=\frac{0.5\times0.2^2}{1-0.2}=0.025$이다.

다른 풀이 HA의 이온화 상수 $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}=\frac{0.1\times0.1}{0.4}=0.025$이다.

ㄷ. 두 수용액의 몰 농도와 부피가 같으므로 혼합하면 완전히 중화된다.

08 약산의 농도에 따른 이온화도

정답맞히기 ㄱ. CH_3COOH의 K_a는 온도가 일정하면 변하지 않으므로 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄴ. $[H_3O^+]=\sqrt{C\times K_a}$이며 K_a는 일정하므로 C(CH_3COOH의 몰 농도)가 클수록 $[H_3O^+]$가 크다. 따라서 C는 (가)에서가 (나)에서의 10배이므로 $[H_3O^+]$는 (가)에서가 (나)에서의 $\sqrt{10}$배이다. H_3O^+의 몰수=(몰 농도×부피)이고 부피는 (나)에서가 (가)에서의 10배이므로 H_3O^+의 몰수는 (나)에서가 (가)에서의 $\sqrt{10}$배이다.

ㄷ. 0.1 M $NaOH(aq)$으로 적정한 중화점에서 Na^+은 가수 분해되지 않지만 CH_3COO^-은 가수 분해($CH_3COO^-+H_2O\rightleftarrows CH_3COOH+OH^-$)되어 염기성을 나타낸다. 중화점에서의 $[CH_3COO^-]$를 C라고 할 때 $[OH^-]=\sqrt{C\times K_b}$이며 CH_3COO^-의 K_b는 일정하므로 C가 클수록 $[OH^-]$가 크고 pH는 크다. 따라서 (가)에서의 C(0.05 M)가 (나)에서의 C($\frac{1}{110}$ M)보다 크므로 pH는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

테마별 수능 심화문제 본문 89~91쪽

09 ⑤ 10 ① 11 ③ 12 ① 13 ① 14 ③

09 강산과 약염기의 중화 반응

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 pH가 10이므로 $BOH(aq)$이 $HCl(aq)$에 비해 과량이고, $[OH^-]=1\times10^{-4}$ M이다. $K_b=\frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}=\frac{[B^+]}{[BOH]}\times1\times10^{-4}=1\times10^{-5}$이고 $[B^+]\times10=[BOH]$이므로 중화점의 $\frac{1}{11}$지점에 해당한다. 따라서 중화점까지 필요한 $HCl(aq)$의 부피는 220 mL이므로 중화 반응의 양적 관계식에 의해 $0.1\times220=x\times10$에서 x는 2.2이다.

ㄷ. (나)에 $HCl(aq)$ 200 mL를 추가하면 중화점에 도달한다. 중화점에서 강산의 음이온인 Cl^-은 가수 분해되지 않지만 약염기의 양이온인 B^+은 가수 분해($B^++H_2O\rightleftarrows BOH+H^+$)되어 농도가 낮아지기 때문에 $[B^+]<[Cl^-]$이다.

오답피하기 ㄱ. 혼합 용액 (가)는 중화점의 절반에 해당하는 지점이므로 $[BOH]=[B^+]$이고 pH는 9이므로 pOH는 5이고 $[OH^-]=1\times10^{-5}$ M이다. 따라서 BOH의 이온화 상수 $K_b=\frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}=[OH^-]=1\times10^{-5}$이다.

10 중화 적정 실험

정답맞히기 ㄱ. 1가 산과 1가 염기를 사용하는 중화 적정의 양적 관계식은 (산(aq)의 몰 농도×산(aq)의 부피)=(염기(aq)의 몰 농도×염기(aq)의 부피)이다. x mL의 식초를 사용하였으며, 소모된 $NaOH(aq)$의 몰 농도는 y M, 부피는 (V_2-V_1) mL이므로 식초 속 아세트산의 몰 농도는 $\frac{y}{x}(V_2-V_1)$ M이다.

오답피하기 ㄴ. (가)의 ㉠은 식초 속 아세트산의 농도를 묽히는 과정으로 식초 속 아세트산의 몰수는 변하지 않는다. 따라서 소모되는 $NaOH(aq)$의 부피도 변하지 않으므로 V_2는 (라)에서 측정한 값과 같다.

ㄷ. V_1을 정확한 값보다 작게 읽으면 소모된 $NaOH(aq)$의 부피 (V_2-V_1)는 정확한 값보다 크게 되므로 식초 속 아세트산의 농도는 실젯값보다 크게 측정된다.

11 공통 이온 효과

정답맞히기 ㄱ. 온도가 일정하므로 HA의 K_a는 모두 같다. (가)와 (나)에서 $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$는 일정하고 $[A^-]$가 증가하므로 $\frac{[H_3O^+]}{[HA]}$는 감소한다. 따라서 $\frac{[HA]}{[H_3O^+]}$는 모두 증가한다.

ㄴ. $HA(aq)+H_2O(l)\rightleftarrows H_3O^+(aq)+A^-(aq)$ 반응이 평형일 때 pH=3이므로 $[H_3O^+]=[A^-]=0.001$ M이다. (가)에서 첨가된 A^-은 0.01몰이므로 평형은 왼쪽으로 이동한다.

(나)의 과정을 $NaA(s)$ 0.01몰을 넣고 추가로 물을 약 100 mL를 넣었다고 분리해서 생각하면 $NaA(s)$ 0.01몰을 넣은 과정까지는 (가)와 같다. 이후에 물 100 mL를 넣어도 온도가 일정하므로 $HA(aq)$의 이온화 상수(K_a)는 같다. 약산의 경우 이온화도(α)는 용액의 농도가 묽을수록 증가하므로 $\frac{[A^-]}{[HA]}$는 전체 용액의 부피가 큰 (나)가 (가)보다 크다.

오답피하기 ㄷ. 이온화도(α)는 (나)가 (가)보다 크므로 $\frac{[A^-]}{[HA]}$는 (나)가 (가)보다 크다. 온도가 일정하므로 K_a는 일정한데 $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$이므로 $\frac{[A^-]}{[HA]}$가 큰 (나)가 (가)보다 $[H_3O^+]$는 작아야 한다. 따라서 pH는 (나)>(가)이다.

12 중화 적정 곡선과 pH

해설 | $HA(aq)$ 100 mL를 중화시키기 위해 0.1 M $NaOH(aq)$ 100 mL가 필요하므로 $HA(aq)$은 0.1 M이다. $NaOH(aq)$을 50 mL 넣은 지점에서 pH=5이고, $[HA]=[A^-]$이므로 $HA(aq)$의 $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}=[H_3O^+]=1\times10^{-5}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 약산 0.1 M $HA(aq)$의 $K_a=C\alpha^2=1\times10^{-5}$이므로 이온화도($\alpha$)는 0.01이다. 따라서 적정 전 0.1 M $HA(aq)$에서 $[H_3O^+]=C\alpha=0.1\times0.01=10^{-3}$ M이고, pH=3이다.

오답피하기 ㄴ. A^-의 이온화 상수 $K_b=\frac{K_w}{K_a}=1\times10^{-9}$이고 중화점에서 $[A^-]=0.05$ M이다. 따라서 중화점에서 $[OH^-]=\sqrt{C\times K_b}=$

$\sqrt{0.05\times1\times10^{-9}}=\sqrt{0.5}\times10^{-5}$ M이므로 pOH=5−log$\sqrt{0.5}$이고, pH=9+log$\sqrt{0.5}$이다.

ㄷ. 넣어 준 0.1 M NaOH(aq) 150 mL에는 0.015몰의 OH^-이 들어 있다. 이 중 0.01몰은 H^+과 만나 중화되었고 0.005몰의 OH^-이 남아 있다. A^-의 가수 분해에 의해 생성된 OH^-의 몰수는 매우 작으므로 무시할 수 있다. 전체 부피는 0.25 L이므로 $[OH^-]=\frac{0.005몰}{0.25\ L}$=0.02 M이고, $[H_3O^+]=5\times10^{-13}$ M이며, pH=13−log5이다.

13 중화 적정 곡선

정답맞히기 ㄴ. y M AOH(aq) 100 mL에 0.2 M HCl(aq) 25 mL를 넣었을 때가 중화점이므로 농도는 0.2 M HCl(aq)이 y M AOH(aq)의 4배이다. 따라서 y=0.05이므로 $x:y$=4 : 1이다.

오답피하기 ㄱ. x M HCl(aq)을 0.1 M NaOH(aq)으로 적정할 때 $[Cl^-]$ 비가 적정 전 : 중화점=3 : 1이므로 중화점까지 넣어 준 0.1 M NaOH(aq)의 부피는 x M HCl(aq)의 2배이고 농도는 x M HCl(aq)이 0.1 M NaOH(aq)의 2배이다. 따라서 x=0.2이고 pH=1−log2이므로 1보다 작다.

ㄷ. 0.05 M AOH(aq)을 적정하기 전 pH가 11이므로 $[OH^-]=\sqrt{C\times K_b}=\sqrt{0.05\times K_b}=1\times10^{-3}$ M에서 AOH의 $K_b=2\times10^{-5}$이다. HCl(aq) 10 mL를 넣었을 때는 중화점의 $\frac{2}{5}$에 해당하는 지점이므로 $\frac{[A^+]}{[AOH]}=\frac{2}{3}$이다. 따라서 $K_b=\frac{[A^+][OH^-]}{[AOH]}=\frac{2}{3}\times[OH^-]=2\times10^{-5}$이므로 $[OH^-]=3\times10^{-5}$ M이고 $[H_3O^+]=\frac{1}{3}\times10^{-9}$ M이며, pH=9−log$\frac{1}{3}$=9+log3=a>9이다.

14 중화점의 이동

해설 | 적정 전 0.1 M HA(aq)의 pH가 3이므로 이온화도(α)는 0.01이고, HA의 이온화 상수 $K_a=C\alpha^2=0.1\times0.01^2=1\times10^{-5}$이며 A^-의 이온화 상수 $K_b=\frac{K_w}{K_a}=1\times10^{-9}$이다. 중화점에서 $[A^-]$=0.05 M이고 $[OH^-]=\sqrt{C\times K_b}=\sqrt{0.5}\times10^{-5}$ M이다. 따라서 pOH=5−log$\sqrt{0.5}$이고, pH=9+log$\sqrt{0.5}$이다.

정답맞히기 ㄱ. HA(aq)의 부피를 50 mL에서 150 mL로 바꾸면 중화점까지 필요한 NaOH(aq)의 부피는 150 mL이므로 a는 오른쪽으로 이동한다. 또한 중화점에서 $[A^-]$=0.05 M이고, $[OH^-]=\sqrt{C\times K_b}=\sqrt{0.5}\times10^{-5}$ M이다. 따라서 pOH=5−log$\sqrt{0.5}$이고, pH=9+log$\sqrt{0.5}$이므로 a는 위 아래로는 이동하지 않는다.

ㄷ. 0.1 M NaOH(aq)을 0.2 M NH_3(aq)으로 바꾸면 중화점까지 필요한 NH_3(aq)의 부피는 25 mL이므로 a는 왼쪽으로 이동한다. 또한 약산을 약염기로 중화 적정하므로 a의 pH는 약 7 정도이고 약산을 강염기로 중화 적정할 때에 비해 a의 pH는 아래로 이동한다.

오답피하기 ㄴ. HA(aq)의 농도를 0.1 M에서 0.15 M로 바꾸면 중화점까지 필요한 NaOH(aq)의 부피가 75 mL이므로 a는 오른쪽으로 이동한다. 또한 중화점에서 전체 부피가 125 mL이므로 $[A^-]$=0.06 M이고 $[OH^-]=\sqrt{C\times K_b}=\sqrt{0.06\times1\times10^{-9}}=\sqrt{0.6}\times10^{-5}$ M이다. 따라서 pOH=5−log$\sqrt{0.6}$이고, pH=9+log$\sqrt{0.6}$이므로 a는 위로 이동한다.

THEME 13

산화 환원의 정의와 화학 전지

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 94쪽

정답 ①

해설 | 화학 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어나고, 전자는 도선을 따라 (−)극에서 (+)극으로 이동한다. 반쪽 반응의 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작을수록 산화되기 쉽다.

정답맞히기 ㄴ. (−)극에서는 $Fe(s)\longrightarrow Fe^{2+}(aq)+2e^-$ 반응이 일어나고, (+)극에서는 MnO_4^-이 환원되어 Mn^{2+}이 되는 반응의 표준 환원 전위가 가장 크므로 $MnO_4^-(aq)+8H^++5e^-\longrightarrow Mn^{2+}(aq)+4H_2O(l)$ 반응이 일어난다. 또한 표준 전지 전위($E^\circ_{전지}$)는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 전지 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 빼서 구한다. 따라서 $E^\circ_{전지}$=+1.51−(−0.45)=+1.96 V이다.

오답피하기 ㄱ. $Fe^{2+}(aq)+2e^-\longrightarrow Fe(s)$의 E°=−0.45 V로 산화가 가능한 반응 중 표준 환원 전위가 가장 작으므로 (−)극에서는 다음과 같이 Fe이 산화되어 Fe^{2+}이 생성되는 반응이 일어난다.

$Fe(s)\longrightarrow Fe^{2+}(aq)+2e^-$

ㄷ. (+)극에서 반응이 진행되면 MnO_4^-이 환원되어 Mn^{2+}이 되는 반응이 일어나므로 $[MnO_4^-]$는 감소하고, $[Mn^{2+}]$는 증가하므로 $\frac{[Mn^{2+}]}{[MnO_4^-]}$>1이다.

테마별 수능 필수유제 본문 95~96쪽

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

01 금속의 산화 환원 반응

해설 | 이온화 경향이 큰 금속일수록 금속 이온이 금속이 될 때 표준 환원 전위가 작다. 또한 표준 환원 전위가 큰 금속일수록 금속 이온이 금속으로 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작은 금속일수록 산화되기 쉽다.

정답맞히기 ㄱ. C의 이온이 C^{2+}이라고 하면, 실험 Ⅰ과 실험 Ⅱ에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

[실험 Ⅰ] $B(s)+ASO_4(aq) \longrightarrow BSO_4(aq)+A(s)$

[실험 Ⅱ] $C(s)+BSO_4(aq) \longrightarrow CSO_4(aq)+B(s)$

실험 Ⅰ에서 B는 산화되고, A^{2+}은 환원되므로 금속 이온이 금속이 될 때 표준 환원 전위는 A가 B보다 크다. 실험 Ⅱ에서 C는 산화되고, B^{2+}은 환원되므로 금속 이온이 금속이 될 때 표준 환원 전위는 B가 C보다 크다. 따라서 반쪽 전지에서 금속 이온이 금속이 될 때 표준 환원 전위는 A > B > C이다.

ㄴ. 산화제는 자신은 환원되면서 다른 물질을 산화시키는 물질이고, 환원제는 자신은 산화되면서 다른 물질을 환원시키는 물질이다. 실험 Ⅱ에서 C는 산화되므로 환원제로 작용한다.

ㄷ. 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽다. 표준 환원 전위는 A가 C보다 크므로 $ASO_4(aq)$에 C를 넣어 반응시키면 A^{2+}은 환원되고, C는 산화된다.

02 볼타 전지

해설 | 화학 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어나고, 전자는 도선을 따라 (−)극에서 (+)극으로 이동한다.

정답맞히기 ㄱ. 전지에서 A가 산화되어 전자가 도선을 따라 A에서 B로 이동하므로 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 B가 A보다 크다. 따라서 b가 a보다 크다.

ㄴ. 화학 전지의 두 전극에서 일어나는 반쪽 반응과 전체 반응은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}&(-)\text{극 : } A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-\\&(+)\text{극 : } 2H^+(aq)+2e^- \longrightarrow H_2(g)\\\hline&\text{전체 반응 : } A(s)+2H^+(aq) \longrightarrow A^{2+}(aq)+H_2(g)\end{aligned}$$

전지에서 반응이 진행될 때 수용액 속 H^+ 2개가 감소하면서 A^{2+} 1개가 증가한다. A^{2+}의 질량이 H^+ 질량의 2배보다 크므로 수용액의 밀도는 증가한다.

오답피하기 ㄷ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$) = 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위 − 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위이다. 환원 반응이 일어나는 전극에서 일어나는 반응은 $2H^+(aq)+2e^- \longrightarrow H_2(g)$이므로 반쪽 전지의 표준 환원 전위는 0이고, 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위는 a V이므로 표준 전지 전위 $E^\circ_{\text{전지}} = 0-a = -a$ V이다.

03 다니엘 전지

해설 | 화학 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어나고, 전자는 도선을 따라 (−)극에서 (+)극으로 이동한다. 염다리는 이온의 이동 통로가 되어 양쪽 수용액이 전기적으로 중성을 유지하도록 한다.

정답맞히기 ㄱ. 표준 환원 전위가 작은 A가 산화되므로 전자는 도선을 따라 A에서 B로 이동한다.

오답피하기 ㄴ. 화학 전지의 두 전극에서 일어나는 반쪽 반응과 전체 반응은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}&(-)\text{극 : } A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-\\&(+)\text{극 : } 2B^+(aq)+2e^- \longrightarrow 2B(s)\\\hline&\text{전체 반응 : } A(s)+2B^+(aq) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2B(s)\end{aligned}$$

화학 반응식에서 계수의 비는 반응 몰수의 비와 같으므로 A 1몰이 녹아 들어갈 때 B 2몰이 석출된다. 이때 (−)극에서 금속 A는 산화되므로 전극의 질량이 감소하고, (+)극에서 B^+은 환원되어 금속 B가 되므로 전극의 질량이 증가한다. 또한 원자량은 B > A이므로 두 전극의 질량의 합은 증가한다.

ㄷ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 이동하는 전자의 몰수에 관계없이 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 빼서 구한다.

따라서 $E^\circ_{\text{전지}} = +0.80-(-2.37) = +3.17$ V이다.

04 표준 환원 전위

해설 | 25℃에서 반쪽 전지의 이온 농도가 1 M이고, 기체의 압력이 1기압일 때 표준 수소 전극을 (−)극으로 하여 얻은 다른 반쪽 전지의 전위를 표준 환원 전위라고 한다. 표준 환원 전위가 (+)값이면 H^+보다 환원되기 쉽고, (−)값이면 H^+보다 환원되기 어렵다.

정답맞히기 ㄱ. 표준 환원 전위가 클수록 금속 이온이 금속으로 환원되기 쉬우므로 A~C 중 가장 산화되기 쉬운 금속은 A이다.

ㄴ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 뺀 값으로 구한다. 따라서 A와 B의 반쪽 전지로 전지를 구성하면 B 쪽은 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지이고, A 쪽은 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지이므로 전지의 표준 전지 전위

$E^\circ_{\text{전지}} = -0.45-(-0.76) = +0.31$ V이다.

ㄷ. 화학 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어난다. 반쪽 반응의 표준 환원 전위가 작으면 금속이 산화되기 쉬우므로 (−)극이 되고, 표준 환원 전위가 크면 (+)극이 된다. 따라서 B와 C를 $H_2SO_4(aq)$에 넣고 도선으로 연결하면 표준 환원 전위가 작은 B가 (−)극이 되고, 표준 환원 전위가 큰 C는 (+)극이 된다.

05 수소 · 산소 연료 전지

해설 | 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어난다. 수소 · 산소 연료 전지의 전해질은 KOH 수용액이며 (−)극에서는 H_2가 산화되고, (+)극에서는 O_2가 환원된다.

정답맞히기 ㄱ. 그림에서 전극 A에 H_2가 공급되어 (가)의 역반응이 일어나므로 H_2는 OH^-과 반응하여 전자를 내놓고 산화된다.

오답피하기 ㄴ. 전극 A에서는 산화 반응이 일어나고, 전극 B에서는

환원 반응이 일어나므로 전극 A는 (−)극, 전극 B는 (+)극이다. 수소·산소 연료 전지의 두 전극에서 일어나는 반쪽 반응과 전체 반응은 다음과 같다.

$$(-)\text{극}: 2H_2(g)+4OH^-(aq) \longrightarrow 4H_2O(l)+4e^-$$
$$(+)\text{극}: O_2(g)+2H_2O(l)+4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$$
$$\text{전체 반응}: 2H_2(g)+O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$$

따라서 OH^-의 수는 변하지 않고, $H_2O(l)$이 생성되므로 OH^-의 농도는 감소한다.

ㄷ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 뺀 값으로 구한다. 따라서 수소·산소 연료 전지의 표준 전지 전위 $E^\circ_{\text{전지}}=+0.40-x=+1.23$ V이고, $x=-0.83$이다.

06 메탄올 연료 전지

해설 | 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어난다. 메탄올 연료 전지의 (−)극에서는 CH_3OH이 산화되고, (+)극에서는 O_2가 환원된다.

정답맞히기 ㄱ. 전극 A에서는 CH_3OH이 H_2O과 반응하여 CO_2가 생성된다. 즉 $CO_2(g)+6H^+(aq)+6e^- \longrightarrow CH_3OH(aq)+H_2O(l)$의 역반응이 일어나서 CH_3OH이 전자를 잃으므로 전극 A에서는 산화 반응이 일어난다.

ㄴ. 전극 B에서는 O_2가 환원되어 H_2O이 생성되는 환원 반응이 일어난다. 따라서 전극 A는 산화 전극이고, B는 환원 전극이므로 표준 환원 전위는 b가 a보다 크다.

오답피하기 ㄷ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 이동하는 전자의 몰수에 관계없이 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 뺀 값으로 구한다. 따라서 메탄올 연료 전지의 표준 전지 전위 $E^\circ_{\text{전지}}=(b-a)$ V이다.

07 자유 에너지 변화와 화학 반응의 자발성

해설 | 화학 반응에서 자유 에너지 변화 $\Delta G^\circ<0$인 반응은 자발적이고, $\Delta G^\circ>0$인 반응은 비자발적이다.

정답맞히기 ㄷ. 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 B>C이므로 B가 산화되고 C^{2+}이 환원되는 반응인 $B(s)+C^{2+}(aq) \longrightarrow B^{2+}(aq)+C(s)$ 반응은 비자발적이고, 자유 에너지 변화(ΔG°)는 0보다 크다.

오답피하기 ㄱ. (나)에서 $\Delta G^\circ>0$이므로 (나)는 비자발적이고, (나)의 역반응인 $A^{2+}(aq)+C(s) \longrightarrow A(s)+C^{2+}(aq)$ 반응이 자발적이다. 따라서 A가 산화되고 C^{2+}이 환원되는 반응은 비자발적이다.

ㄴ. 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽다. (가)에서 $A(s)+B^{2+}(aq) \longrightarrow A^{2+}(aq)+B(s)$ 반응이 자발적이고, B^{2+}이 환원되므로 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 B가 A보다 크다. (나)는 역반응인 $A^{2+}(aq)+C(s) \longrightarrow A(s)+C^{2+}(aq)$ 반응이 자발적이고, A^{2+}이 환원되므로 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 A가 C보다 크다. 따라서 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 B>A>C이다.

08 니켈–카드뮴 전지

해설 | 화학 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어나고, 전자는 도선을 따라 (−)극에서 (+)극으로 이동한다.

정답맞히기 ㄴ. 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위가 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위보다 크다. 따라서 a는 b보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 전체 반응식에서 Cd은 산화되고, Ni^{3+}은 환원된다. 따라서 (−)극에서 $Cd(s) \longrightarrow Cd^{2+}(aq)+2e^-$ 반응이 일어나고, (+)극에서는 $Ni^{3+}(aq)+e^- \longrightarrow Ni^{2+}(aq)$ 반응이 일어난다.

ㄷ. 표준 전지 전위는 이동하는 전자의 몰수에 관계없이 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위로부터 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 빼서 구한다. 따라서 표준 전지 전위는 $(a-b)$ V이다.

테마별 수능 심화문제 본문 97~98쪽

09 ④ 10 ③ 11 ④ 12 ⑤

09 볼타 전지와 다니엘 전지

해설 | (가)는 금속 A와 B를 전해질인 묽은 황산에 담그고 도선으로 두 금속을 연결한 볼타 전지이다. (나)는 금속 A를 ASO_4 수용액에, 금속 B를 BSO_4 수용액에 담근 후 두 전해질 수용액을 염다리로 연결하고, 도선으로 두 금속을 연결한 다니엘 전지이다. 화학 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어나고, 전자는 도선을 따라 (−)극에서 (+)극으로 이동한다.

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 A가 B보다 작으므로 A는 산화되고, BSO_4 수용액의 B^{2+}은 환원된다. (나)의 두 전극에서 일어나는 반쪽 반응과 전체 반응은 다음과 같다.

$$(-)\text{극}: A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-$$
$$(+)\text{극}: B^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow B(s)$$
$$\text{전체 반응}: A(s)+B^{2+}(aq) \longrightarrow A^{2+}(aq)+B(s)$$

(나)에서 반응이 진행됨에 따라 A^{2+}이 생성되므로 $A^{2+}(aq)$의 농도는 1 M보다 커지고, B^{2+}이 소모되므로 $B^{2+}(aq)$ 농도는 1 M보다 작아진다. 따라서 일정 시간이 지난 후 $A^{2+}(aq)$의 농도는 $B^{2+}(aq)$의 농도보다 크다.

ㄷ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 빼서 구한다. 따라서 (가)에서 $E^\circ_{\text{전지}}=0-(-0.76)=+0.76$ V이고, (나)에서 $E^\circ_{\text{전지}}=+0.34-(-0.76)=+1.10$ V이다. 따라서 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 (나)가 (가)보다 크다.

오답피하기 ㄱ. (가)에서 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 A가 B보다 작으므로 A는 산화되고, 전해질의 H^+은 환원된다. (가)의 두 전극에서 일어나는 반쪽 반응과 전체 반응은 다음과 같다.

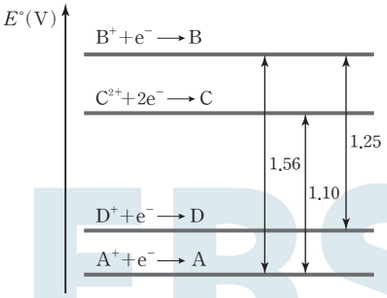
(−)극 : $A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-$
(+)극 : $2H^+(aq)+2e^- \longrightarrow H_2(g)$
전체 반응 : $A(s)+2H^+(aq) \longrightarrow A^{2+}(aq)+H_2(g)$

따라서 (가)에서 H^+ 2개가 감소할 때 A^{2+} 1개가 생성되므로 수용액 속의 전체 이온 수는 감소한다.

10 화학 전지와 표준 전지 전위

해설 | 화학 전지의 산화 전극에서는 산화 반응이, 환원 전극에서는 환원 반응이 일어난다. 표준 환원 전위가 큰 금속이 환원 전극이 되고, 표준 환원 전위가 작은 금속이 산화 전극이 된다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 B가 A보다 1.56 V만큼 크다. (나)에서 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 C가 A보다 1.10 V만큼 크다. (다)에서 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 B가 D보다 1.25 V만큼 크다. A와 D의 이온이 각각 A^+, D^+이라고 하면, 반쪽 반응의 표준 환원 전위의 상대적 크기는 다음과 같다.



따라서 반쪽 반응의 표준 환원 전위(E°)는 B가 가장 크다.

ㄷ. 표준 전지 전위($E^\circ_{전지}$)는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위와 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위의 차와 같다. $C(s)+2B^+(aq) \longrightarrow C^{2+}(aq)+2B(s)$ 반응에서 C는 산화되고, B^+은 환원되므로 표준 전지 전위 $E^\circ_{전지}=1.56-1.10=0.46$ V이다.

오답피하기 ㄴ. A와 D의 반쪽 전지로 전지를 구성하면 표준 환원 전위는 D가 A보다 크므로 D는 환원 전극이 되고, A는 산화 전극이 된다. 따라서 전자는 도선을 따라 A에서 D로 이동한다.

11 화학 전지와 표준 환원 전위

해설 | 화학 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어나고, 전자는 도선을 따라 (−)극에서 (+)극으로 이동한다. 반쪽 반응의 표준 환원 전위가 클수록 금속 이온이 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작을수록 금속이 산화되기 쉽다. Fe 전극에서는 산화 반응이 일어나므로 Fe 전극은 (−)극이 되고, Pt 전극에서는 환원 반응이 일어나므로 Pt 전극은 (+)극이 된다.

정답맞히기 ㄴ. (−)극에서는 Fe과 H_2O 중에서 Fe이 산화되기 쉬우므로 $Fe(s) \longrightarrow Fe^{2+}(aq)+2e^-$ 반응이 일어나고, (+)극에서는 Fe^{3+}이 환원되어 Fe^{2+}이 되는 반응의 표준 환원 전위가 가장 크므로 $Fe^{3+}(aq)+e^- \longrightarrow Fe^{2+}(aq)$ 반응이 일어난다. 두 전극에서 일어나는 반쪽 반응과 전체 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $Fe(s) \longrightarrow Fe^{2+}(aq)+2e^-$
(+)극 : $2Fe^{3+}(aq)+2e^- \longrightarrow 2Fe^{2+}(aq)$
전체 반응 : $Fe(s)+2Fe^{3+}(aq) \longrightarrow 3Fe^{2+}(aq)$

ㄷ. Fe을 전극으로 사용한 반쪽 전지에서는 Fe이 산화되어 Fe^{2+}이 증가하므로 양이온 수가 증가하는데, 염다리에 들어 있는 Cl^-이 왼쪽으로 이동하여 수용액이 전기적으로 중성을 유지하도록 한다.

오답피하기 ㄱ. Pt 전극에서는 수용액에 존재하는 이온과 H_2O 중 Fe^{3+}이 환원되어 Fe^{2+}이 되는 반응의 표준 환원 전위가 가장 크므로 $Fe^{3+}(aq)+e^- \longrightarrow Fe^{2+}(aq)$ 반응이 일어난다. 따라서 Pt 전극에서 $Fe(s)$이 석출되지 않는다.

12 전지 전위와 자유 에너지 변화

해설 | 표준 전지 전위($E^\circ_{전지}$)와 자유 에너지 변화(ΔG°)의 관계는 다음과 같다.

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ_{전지}$$

(n : 전지 반응에서 이동하는 전자의 몰수, F : 패러데이 상수)

$E^\circ_{전지}>0$이면 $\Delta G^\circ<0$이므로 전지 반응이 자발적으로 일어나고, $E^\circ_{전지}<0$이면 $\Delta G^\circ>0$이므로 전지 반응은 비자발적이다.

정답맞히기 ㄱ. 화학 반응에서 자유 에너지 변화 $\Delta G^\circ<0$인 반응은 자발적이고, $\Delta G^\circ>0$인 반응은 비자발적이다. (가)와 (나)에서 일어나는 반응은 모두 $\Delta G^\circ<0$이므로 자발적이다.

ㄴ. 반쪽 반응의 표준 환원 전위가 클수록 금속 이온이 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작을수록 금속이 산화되기 쉽다. (가)에서 A는 산화되고, B^{2+}은 환원되므로 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위(E°)는 B가 A보다 크다. (나)에서 B는 산화되고, C^{2+}은 환원되므로 표준 환원 전위(E°)는 C가 B보다 크다. 따라서 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위(E°)는 C>B>A이다.

ㄷ. 표준 전지 전위는 $E^\circ_{전지}=-\dfrac{\Delta G^\circ}{nF}$이다. (가)와 (나)에서 각각 전자 2몰이 이동하므로 (가)에서 $E^\circ_{전지}=\dfrac{a}{2F}$이고, (나)에서 $E^\circ_{전지}=\dfrac{2a}{2F}$이다. 따라서 표준 전지 전위($E^\circ_{전지}$)는 (나)가 (가)의 2배이다.

THEME 14

전기 분해

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 100쪽

정답 ①

해설 | 전극 A가 (+)극이므로 A에서는 산화 반응이, 전극 B는 (−)극이므로 B에서는 환원 반응이 일어난다. 전극 D는 (−)극이므로 D에서는 환원 반응이, 전극 C는 (+)극이므로 C에서는 산화 반응이 일어난다. 전극 A~D에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

- 전극 A : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$
- 전극 B : $2H_2O(l)+2e^- \longrightarrow H_2(g)+2OH^-(aq)$
- 전극 C : $2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(g)+2e^-$

• 전극 D : $Cu^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Cu(s)$

정답맞히기 ㄱ. 전극 A에서 전자 4몰($4F$)이 이동할 때 $O_2(g)$ 1몰이 생성되므로 $O_2(g)$ 0.05몰이 발생하기 위해서 흘려준 전하량을 xF라고 하면 $4F$: 1몰 = xF : 0.05몰이 성립한다. 따라서 x는 0.2이고, $0.2F$의 전하량은 $0.2\times96500=19300$ C이다.

오답피하기 ㄴ. 전극 B에서는 H_2O이 환원되어 $H_2(g)$가 발생한다.
ㄷ. 전극 A에서 $0.2F$의 전하량에 의해 $O_2(g)$ 0.05몰이 생성될 때 전극 C에서는 $0.2F$의 전하량에 의해 $Cl_2(g)$ 0.1몰이 생성된다. 따라서 생성된 물질의 몰수는 전극 C에서가 A에서의 2배이다.

테마별 수능 필수유제 본문 101~102쪽

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

01 황산 구리($CuSO_4$) 수용액의 전기 분해

해설 | 전기 에너지를 이용하여 비자발적인 산화 환원 반응을 일으키는 과정을 전기 분해라고 한다. 전해질 수용액에 전류를 흘려주면 양이온은 (−)극으로, 음이온은 (+)극으로 이동하여 (−)극에서는 환원 반응이, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. $CuSO_4$ 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 Cu^{2+}이 환원되어 금속 Cu가 석출되고, (+)극에서는 SO_4^{2-}이 H_2O보다 산화되기 어려우므로 H_2O이 산화되어 산소 기체가 발생한다. (−)극과 (+)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $2Cu^{2+}(aq)+4e^- \longrightarrow 2Cu(s)$
(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$
전체 반응 : $2Cu^{2+}(aq)+2H_2O(l) \longrightarrow 2Cu(s)+O_2(g)+4H^+(aq)$

정답맞히기 ㄱ. 산소 기체는 (+)극에서 발생한다.
ㄴ. Q_1의 전하량을 흘려주었을 때 생성된 기체의 부피가 1.2 L이므로 기체의 몰수는 0.05몰이다. (+)극에서 $4F$의 전하량을 흘려줄 때 산소 기체 1몰이 생성되므로 Q_1은 다음과 같이 구할 수 있다.
4×96500 C : 1몰 = Q_1 : 0.05몰, $Q_1=0.2\times96500$ C
따라서 Q_1은 $0.2F$에 해당한다.
또한 (−)극에서 $2F$의 전하량을 흘려줄 때 Cu 1몰(64 g)이 생성되므로 $0.2F$의 전하량에 의해서는 0.1몰(6.4 g)이 석출된다.

오답피하기 ㄷ. (−)극에서는 $2F$의 전하량을 흘려주면 Cu 1몰이 생성되고, (+)극에서는 $4F$의 전하량을 흘려주면 O_2 1몰이 생성되므로 같은 전하량에 의해서 생성된 물질의 몰수 비는 (+)극 : (−)극 $=\frac{1몰}{4F}:\frac{1몰}{2F}=1:2$이다.

02 아이오딘화 칼륨(KI) 수용액의 전기 분해

해설 | 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 환원 반응이, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. KI 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 K^+의 표준 환원 전위가 H_2O보다 작아서 환원되기 어려우므로 H_2O이 환원되어 수소 기체가 발생하고, (+)극에서는 H_2O보다 산화되기 쉬운 I^-이 산화되어 I_2이 생성된다. (−)극과 (+)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $2H_2O(l)+2e^- \longrightarrow H_2(g)+2OH^-(aq)$
(+)극 : $2I^-(aq) \longrightarrow I_2(s)+2e^-$
전체 반응 : $2I^-(aq)+2H_2O(l) \longrightarrow I_2(s)+H_2(g)+2OH^-(aq)$

정답맞히기 ㄱ. (+)극에서 $2F$의 전하량을 흘려줄 때 I_2 1몰이 생성되므로 I_2 0.1몰이 생성되기 위해서는 $0.2F$의 전하량을 흘려주어야 한다.

오답피하기 ㄴ. (−)극에서는 $2F$의 전하량을 흘려줄 때 H_2 1몰이 생성되므로 $0.2F$의 전하량을 흘려주면 H_2 0.1몰이 생성된다.
ㄷ. 전체 반응식에서 I^- 2몰이 감소할 때 OH^- 2몰이 증가한다. 따라서 전기 분해하는 과정에서 수용액에 들어 있는 전체 이온 수는 변하지 않는다.

03 C 전극과 Cu 전극을 사용한 황산 구리($CuSO_4$) 수용액의 전기 분해

해설 | (가)의 (+)극에서는 기체가 발생하였으므로 H_2O이 산화되었고, (나)의 (+)극에서는 질량이 감소하였으므로 전극으로 사용된 Cu가 산화되었음을 알 수 있다.
(가)에서 (−)극과 (+)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $2Cu^{2+}(aq)+4e^- \longrightarrow 2Cu(s)$
(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$
전체 반응 : $2Cu^{2+}(aq)+2H_2O(l) \longrightarrow 2Cu(s)+O_2(g)+4H^+(aq)$

(나)에서 (−)극과 (+)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.
(−)극 : $Cu^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Cu(s)$
(+)극 : $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq)+2e^-$

정답맞히기 ㄱ. (나)의 (+)극에서는 Cu가 SO_4^{2-} 및 H_2O보다 산화되기 쉬워 Cu가 산화된다.
ㄴ. (가)에서는 H^+이 생성되었으므로 t초 후 수용액의 pH가 처음보다 감소하고, (나)에서는 수용액의 pH가 처음과 같다. 따라서 t초 후 수용액의 pH는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
ㄷ. (가)에서는 (−)극에서 Cu^{2+}이 환원되므로 Cu^{2+}의 수가 감소하고, (나)에서는 (−)극에서 소모되는 Cu^{2+}의 수와 (+)극에서 생성되는 Cu^{2+}의 수가 같으므로 Cu^{2+}의 수는 변하지 않는다. 따라서 t초 후 Cu^{2+}의 몰수는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

04 수용액의 전기 분해

해설 | 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 환원 반응, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. (나)에서 금속이 석출되므로 (나)는 (−)극이며, A^+이 환원된다. 전극 (가)~(라)에서 일어나는 반응은 다음과 같다.
(가) 산화 전극 (+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$
(나) 환원 전극 (−)극 : $A^+(aq)+e^- \longrightarrow A(s)$
(다) 산화 전극 (+)극 : $2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(g)+2e^-$

(라) 환원 전극 (−)극 : $2H_2O(l)+2e^- \longrightarrow 2OH^-(aq)+H_2(g)$

정답맞히기 ㄴ. 환원 전극인 (나)에서는 A^+과 H_2O이 환원될 수 있는데, A^+이 H_2O보다 환원되기 쉽기 때문에 A^+이 환원되어 A가 석출된다. 또 다른 환원 전극인 (라)에서도 B^{2+}과 H_2O이 환원될 수 있는데, H_2O이 B^{2+}보다 환원되기 쉽기 때문에 H_2O이 환원되어 수소 기체가 발생한다. 따라서 환원되기 쉬운 정도는 $A^+ > H_2O > B^{2+}$이고, 금속 이온이 금속이 될 때 표준 환원 전위는 A가 B보다 크다.

ㄷ. (가)에서는 $4F$의 전하량을 흘려주면 O_2 기체 1몰이 생성되고, (라)에서는 $2F$의 전하량을 흘려주면 H_2 1몰이 생성된다. 같은 전하량에 의해서 생성된 분자의 몰수 비는 (가) : (라) $= \frac{1몰}{4F} : \frac{1몰}{2F} =$ 1 : 2이다. 따라서 발생하는 기체 분자 수는 (라)에서가 (가)에서의 2배이다.

오답피하기 ㄱ. (나)가 환원 반응이 일어나는 (−)극이므로 (가)는 산화 반응이 일어나는 (+)극이다.

05 패러데이 법칙

해설 | 수용액 (가)와 (나)를 전기 분해하면 (−)극에서는 환원 반응이, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. 또한 $1F = 96500$ C/몰이므로 전기 분해할 때 흘려준 전하량 9650 C은 $0.1F$이다.

정답맞히기 ㄱ. 수용액 (가)를 전기 분해하면 (−)극에서는 $X^+(aq)+e^- \longrightarrow X(s)$ 반응이, 수용액 (나)를 전기 분해하면 (−)극에서는 $Y^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Y(s)$ 반응이 일어난다.

오답피하기 ㄴ. (가)의 (+)극에서는 물이 산화되어 산소 기체가 발생한다. $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$

$4F$의 전하량을 흘려주면 $O_2(g)$ 1몰이 생성되므로 $0.1F$의 전하량을 흘려주었을 때 생성되는 O_2의 몰수를 x몰이라고 하면

$4F$: 1몰 $= 0.1F$: x몰이 되어 $x = \frac{1}{40}$이다.

ㄷ. 9650 C($0.1F$)의 전하량을 흘려주면 X 0.1몰이 석출되므로 X 1몰의 질량은 $10a$ g이고, X의 원자량은 $10a$이다. 또한 9650 C ($0.1F$)의 전하량을 흘려주면 Y $\frac{1}{20}$몰(b g)이 석출되므로 Y 1몰의 질량은 $20b$ g이고, Y의 원자량은 $20b$이다. 따라서 원자량의 비 X : Y $= a : 2b$이다.

06 전기 분해에서의 양적 관계

해설 | 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 환원 반응이, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. Ag^+과 Cu^{2+}이 녹아 있는 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 금속 이온이 금속이 될 때 표준 환원 전위는 Ag이 Cu보다 크므로 Ag^+이 먼저 환원되고, Cu^{2+}이 나중에 환원된다. (+)극에서는 H_2O이 산화되어 산소 기체가 발생한다.

정답맞히기 ㄴ. (−)극에서는 $Ag^+(aq)+e^- \longrightarrow Ag(s)$ 반응이 먼저 일어나고, $0.1F$의 전하량에 의해서 Ag 0.1몰(10.8 g)이 석출된다. Ag^+이 모두 환원되고 $Cu^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Cu(s)$ 반응이 일어나는데, 나머지 $0.1F$ 전하량에 의해 Cu $\frac{1}{20}$몰(3.2 g)이 석출된다. 따라서 (−)극에서는 석출되는 금속의 질량은 14 g이다.

오답피하기 ㄱ. (+)극에서는 $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$ 반응이 일어난다. $4F$의 전하량을 흘려주면 $O_2(g)$ 1몰이 생성되므로 $O_2(g)$가 0.05몰이 생성되기 위해 흘려준 전하량 xF는 다음 식에서 구할 수 있다. $4F$: 1몰 $= xF$: 0.05몰, $x = 0.2$

ㄷ. (+)극에서 H_2O이 산화될 때 H^+이 생성되므로 (+)극에 페놀프탈레인 수용액을 떨어뜨려도 수용액의 색은 변하지 않는다.

07 황산 구리($CuSO_4$) 수용액의 전기 분해와 양적 관계

해설 | $CuSO_4$ 수용액을 전기 분해할 때 (−)극과 (+)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $2Cu^{2+}(aq)+4e^- \longrightarrow 2Cu(s)$

(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$

전체 반응 : $2Cu^{2+}(aq)+2H_2O(l) \longrightarrow 2Cu(s)+O_2(g)+4H^+(aq)$

정답맞히기 전자 4몰이 이동할 때 (−)극에서는 Cu^{2+}이 환원되어 Cu 2몰이 생성되고, (+)극에서는 H_2O이 산화되어 O_2 1몰이 생성된다. 따라서 (+)극에서 생성된 물질의 질량 : (−)극에서 생성된 물질의 질량 비는 32 g : 2 × 64 g = 1 : 4이다.

08 구리의 제련

해설 | 순수한 구리를 얻기 위해 불순물을 포함한 Cu를 전기 분해하면 전극 (가)에서는 Cu와 A가 산화되어 이온이 되고, 전극 (나)에서는 Cu^{2+}이 환원되어 금속으로 석출된다.

전극 (가)와 (나)에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(가) : $A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-$

$Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq)+2e^-$

(나) : $Cu^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Cu(s)$

정답맞히기 ㄱ. (가)에서는 산화 반응이, (나)에서는 환원 반응이 일어나므로 전자는 도선을 따라 (가)에서 (나)로 이동한다.

ㄴ. (가)에서 A와 Cu는 산화되고 B는 산화되지 않으므로 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 B가 가장 크다. 또한 (나)에서 Cu^{2+}은 환원되지만 A^{2+}은 환원되지 않으므로 금속 이온이 금속이 되는 반쪽 반응의 표준 환원 전위는 Cu가 A보다 크다. 따라서 금속 이온이 금속이 될 때 표준 환원 전위는 B > Cu > A이고, 표준 환원 전위 값은 $b > 0.34 > a$이다.

ㄷ. 표준 전지 전위($E°_{전지}$)와 자유 에너지 변화($\Delta G°$)의 부호는 서로 반대이고, 표준 전지 전위($E°_{전지}$)는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 빼서 구한다.

따라서 $A(s)+B^{2+}(aq) \longrightarrow A^{2+}(aq)+B(s)$ 반응의 $E°_{전지} = b-a > 0$이므로 $\Delta G° < 0$이고, 자발적 반응이다.

테마별 수능 심화문제 본문 103~104쪽

09 ② 10 ② 11 ⑤ 12 ⑤

09 수용액의 전기 분해와 표준 환원 전위

해설 | (가)에서 전극 A가 (+)극이므로 A에서는 산화 반응이, 전극 B는 (−)극이므로 B에서는 환원 반응이 일어난다. (나)에서 전극 D는 (−)극이므로 D에서는 환원 반응이, 전극 C는 (+)극이므로 C에서는 산화 반응이 일어난다.

• 전극 A ➡ 산화 전극

(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$

• 전극 B ➡ 환원 전극

(−)극 : $X^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow X(s)$

• 전극 C ➡ 산화 전극

(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$

• 전극 D ➡ 환원 전극

(−)극 : $2H_2O(l)+2e^- \longrightarrow H_2(g)+2OH^-(aq)$

정답맞히기 ㄷ. 환원 전극인 B에서 X^{2+}과 H_2O이 환원될 수 있는데, X^{2+}이 환원되었으므로 표준 환원 전위는 X가 H_2O보다 크다. 또 다른 환원 전극인 D에서도 Y^+과 H_2O이 환원될 수 있는데, H_2O이 환원되었으므로 표준 환원 전위는 H_2O이 Y보다 크다. 따라서 금속 이온이 금속이 될 때 표준 환원 전위는 X가 Y보다 크므로 표준 환원 전위 값도 $x>y$이다.

오답피하기 ㄱ. 전기 분해할 때 흘려준 전하량(Q)은 전류(I)와 시간(t)의 곱과 같으므로 $Q=0.1\ A\times 9650초=965\ C$이다. 또한 $1F$의 전하량은 96500 C/몰이므로 965 C은 $0.01F$이다. $0.01F$의 전하량을 흘려주면 전극 D에서 $H_2(g)$ 0.005몰이 생성된다. 25℃, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 24 L이므로 기체 0.005몰의 부피는 $0.005\times 24\times 1000\ mL=120\ mL$이다.

ㄴ. (가)의 전극 A에서 H_2O이 산화되어 H^+이 생성되므로 (가)에서 수용액의 pH는 감소한다.

10 전기 분해에서의 양적 관계

해설 | 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 환원 반응이, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. $XNO_3(aq)$을 전기 분해하면 (−)극에서는 X^+과 H_2O 중에서 X^+의 표준 환원 전위가 더 크므로 X^+이 환원되어 X가 석출되고, (+)극에서는 H_2O이 산화되어 O_2가 생성된다. $YCl_2(aq)$을 전기 분해하면 (−)극에서는 Y^{2+}과 H_2O 중에서 Y^{2+}의 표준 환원 전위가 더 크므로 Y^{2+}이 환원되어 Y가 석출되고, (+)극에서는 Cl^-이 산화되어 Cl_2가 생성된다.

$XNO_3(aq)$을 전기 분해할 때 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $X^+(aq)+e^- \longrightarrow X(s)$

(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$

$YCl_2(aq)$을 전기 분해할 때 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $Y^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow Y(s)$

(+)극 : $2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(g)+2e^-$

따라서 같은 전하량을 흘려주었을 때 생성되는 물질의 몰수 비는 $X : O_2 : Y : Cl_2=\frac{1몰}{1F} : \frac{1몰}{4F} : \frac{1몰}{2F} : \frac{1몰}{2F}=4 : 1 : 2 : 2$이므로 A는 O_2, B는 Y, C는 X이다.

정답맞히기 ㄴ. C는 X^+이 환원되어 생성되므로 (−)극에서 생성된다.

오답피하기 ㄱ. A는 O_2 기체이다.

ㄷ. B는 Y, C는 X이므로 XNO_3는 B와 C의 화합물이 아니다.

11 전기 분해에서의 양적 관계

해설 | 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 환원 반응이, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. 전기 분해할 때 흘려준 전하량(Q)은 전류(I)와 시간(t)의 곱과 같으므로 일정량의 전류를 흘려주었을 때 흘려준 전하량은 구간 Ⅱ가 Ⅰ의 2배이고, 석출된 금속의 수는 구간 Ⅰ과 Ⅱ에서 0.1몰로 같다. 또한 A^+ 0.1몰이 금속 A로 석출되기 위해서는 $0.1F$의 전하량을 흘려주어야 하고, B^{2+} 0.1몰이 금속 B로 석출되기 위해서는 $0.2F$의 전하량을 흘려주어야 하므로 구간 Ⅰ에서는 A가, 구간 Ⅱ에서는 B가 석출된다.

구간 Ⅰ의 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $A^+(aq)+e^- \longrightarrow A(s)$

(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$

구간 Ⅱ의 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $B^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow B(s)$

(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$

정답맞히기 ㄱ. 구간 Ⅰ에서는 양이온의 전하가 +1인 A^+이 A로 석출되고, 구간 Ⅱ에서는 양이온의 전하가 +2인 B^{2+}이 B로 석출된다.

ㄴ. 수용액에 전류를 흘려줄 때 구간 Ⅰ에서 A가 먼저 석출되므로 금속 이온이 금속으로 될 때 표준 환원 전위는 A가 B보다 크다. 즉 a는 b보다 크다.

ㄷ. 수용액을 전기 분해할 때 구간 Ⅰ에서는 $0.1F$, 구간 Ⅱ에서는 $0.2F$의 전하량을 흘려주어야 한다. 따라서 구간 Ⅰ과 Ⅱ에서 총 $0.3F$의 전하량을 흘려주었을 때 (+)극에서 발생한 $O_2(g)$의 몰수를 x몰이라고 하면, $4F : 1몰=0.3F : x몰$, $x=\frac{3}{40}$이다.

따라서 처음 0~$3t$초 동안 (+)극에서 발생한 $O_2(g)$의 몰수는 $\frac{3}{40}$몰이다.

12 수용액의 전기 분해에 의한 기체의 생성

해설 | 수용액을 전기 분해하면 (−)극에서는 환원 반응이, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. $Na_2SO_4(aq)$을 전기 분해하면 (−)극에서는 Na^+이 H_2O보다 환원되기 어려우므로 H_2O이 환원되어 H_2 기체가, (+)극에서는 SO_4^{2-}이 H_2O보다 산화되기 어려우므로 H_2O이 산화되어 O_2 기체가 발생한다.

(−)극과 (+)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $4H_2O(l)+4e^- \longrightarrow 2H_2(g)+4OH^-(aq)$ ➡ 환원 반응

(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow 4H^+(aq)+O_2(g)+4e^-$ ➡ 산화 반응

전체 반응 : $2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2(g)+O_2(g)$

$CuSO_4(aq)$을 전기 분해하면 (−)극에서는 Cu^{2+}이 환원되어 금속 Cu가 석출되고, (+)극에서는 SO_4^{2-}이 H_2O보다 산화되기 어려우므로 H_2O이 산화되어 O_2 기체가 발생한다.

(−)극과 (+)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(−)극 : $2Cu^{2+}(aq)+4e^- \longrightarrow 2Cu(s)$ ➡ 환원 반응
(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$ ➡ 산화 반응
전체 반응 : $2Cu^{2+}(aq)+2H_2O(l) \longrightarrow 2Cu(s)+O_2(g)+4H^+(aq)$

정답맞히기 ㄱ. 용기 Ⅰ의 (−)극에서 일어나는 반쪽 반응의 표준 환원 전위와 (+)극에서 일어나는 반쪽 반응의 표준 산화 전위를 더하면 전체 반응의 표준 전지 전위($E°_{전지}$)를 구할 수 있다.

(−)극 : $4H_2O(l)+4e^- \longrightarrow 2H_2(g)+4OH^-(aq)$ $E°=-0.83\ V$
(+)극 : $2H_2O(l) \longrightarrow 4H^+(aq)+O_2(g)+4e^-$ $E°=-1.23\ V$
전체 반응 : $2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2(g)+O_2(g)$
$E°_{전지}=-0.83-1.23=-2.06\ V$

$E°_{전지}<0$이므로 전체 반응은 비자발적이고, 이 반응이 자발적이기 위해서는 2.06 V보다 큰 전압을 걸어주어야 한다.

ㄴ. 용기 Ⅰ에서 H^+과 OH^-이 같은 양 생성되어 서로 중화되므로 수용액의 액성은 중성이고, 용기 Ⅱ에서는 (+)극에서 H^+이 생성되므로 수용액의 액성은 산성이다. 따라서 t초 후 수용액의 pH는 용기 Ⅰ에서가 용기 Ⅱ에서보다 크다.

ㄷ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 기체의 압력 $P=\frac{nRT}{V}$이다. 용기 Ⅰ과 Ⅱ에서 기체의 부피(V), 온도(T)가 같으므로 기체의 압력(P)은 생성된 기체의 몰수(n)에 비례한다. 용기 Ⅰ의 (+)극에서는 $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$ 반응이 일어나므로 t초 동안 O_2 기체 0.5몰이 생성되기 위해서는 $2F$의 전하량을 흘려주어야 한다. 이때 용기 Ⅰ의 (−)극에서는 1몰의 H_2 기체가 발생하므로 용기 Ⅰ에서 발생하는 기체의 총 몰수는 1.5몰이다. 용기 Ⅱ에서는 $2F$의 전하량을 흘려줄 때 (+)극에서만 O_2 기체 0.5몰이 생성된다. 따라서 발생하는 기체의 몰수는 용기 Ⅰ에서가 용기 Ⅱ에서보다 1몰만큼 더 크므로 t초 후 기체의 압력은 용기 Ⅰ에서가 용기 Ⅱ에서보다 $P=\frac{nRT}{V}=\frac{298R}{V}$만큼 크다.

Ⅳ. 화학 반응 속도

THEME 15

반응 속도의 정의와 반응 속도식

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 106쪽

정답 ①

해설 | 생성된 $Y(g)$의 몰 농도 변화는 0~2초에서가 2~4초에서의 2배이므로 $X(g)$의 반감기는 2초이다. 6초일 때 [Y]=3.5 M이고 $Y(g)$의 몰 분율$=\frac{[Y]}{[X]+[Y]+[Z]}=\frac{7}{12}$이므로 [X]+[Z]=2.5 M이다. $z\geq2$이면 6초일 때 [Z]의 최솟값이 3.5 M이므로 [X]+[Z]=2.5 M가 될 수 없다. 따라서 $z=1$이고, 6초일 때 [Z]=1.75 M, [X]=0.75 M이다.

정답맞히기 ㄱ. 6초일 때 $X(g)$의 농도가 0.75 M이고, $X(g)$의 반감기가 2초이므로 X의 초기 농도는 $0.75\times2^3=6$ M이다.

오답피하기 ㄴ. 0~6초에서 소모된 $X(g)$의 농도 6−0.75=5.25 M는 생성된 $Y(g)$의 농도(3.5 M)의 1.5배이므로 $x=3$이다. 따라서 $x+z=4$이다.

ㄷ. $3X(g) \longrightarrow 2Y(g)+Z(g)$ 반응의 양적 관계는 다음과 같으므로 $Y(g)$의 몰 분율은 $\frac{2n}{6}$이다.

	$3X(g)$	$\longrightarrow$	$2Y(g)$	+	$Z(g)$
반응 전(M)	6				
반응(M)	$-3n$		$+2n$		$+n$
반응 후(M)	$6-3n$		$2n$		n

반응 후 t초일 때 $Y(g)$의 몰 분율은 $\frac{1}{2}$이므로 $\frac{2n}{6}=\frac{1}{2}$에서 $n=1.5$이다. 따라서 t초일 때 [X]=1.5 M이고, $t=4$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 107~108쪽

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

01 반응 차수

해설 | 반응 속도식에서 반응 차수를 알 수 있고, 화학 반응의 반응 속도 상수는 온도에 따라 달라진다.

정답맞히기 ㄴ. 단위 시간당 생성되는 기체의 몰수 비는 화학 반응식의 계수 비와 같으므로 단위 시간당 생성되는 기체의 몰수는 $NO_2(g)$가 $Cl_2(g)$의 2배이다.

오답피하기 ㄱ. 반응 속도식으로부터 전체 반응 차수는 1이다.

ㄷ. 온도가 일정하므로 $NO_2Cl(g)$의 초기 농도와 관계없이 반응 속도 상수는 일정하다.

02 반응 속도식

해설 | 반응 속도는 반응물의 초기 농도에 의해 달라지며, 화학 반응의 반응 차수는 실험을 통해 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 실험 Ⅰ의 X의 초기 농도를 2배로 하여 실험 Ⅲ을 수행했을 때 초기 반응 속도가 2배 빨라지므로 이 반응은 X에 대한 1차 반응이다.

오답피하기 ㄴ. 실험 Ⅰ의 Y의 초기 농도를 4배로 하여 실험 Ⅱ를 수행했을 때 초기 반응 속도가 같으므로 이 반응은 Y에 대한 0차 반응이다.

ㄷ. 반응 속도 상수는 온도에 따라 달라지므로 온도가 t ℃로 같은 실험 Ⅰ~Ⅲ에서 반응 속도 상수는 모두 같다.

03 0차 반응과 1차 반응

해설 | 0차 반응은 반응물의 농도와 관계없이 반응 속도가 일정하고, 1차 반응은 반응물의 농도와 관계없이 반감기가 일정하다.

정답맞히기 철수 : 반응 속도식이 $v=k_1$인 반응 $P(g) \longrightarrow Q(g)$는 0차 반응이다. 0차 반응은 시간에 따른 반응 속도가 일정하므로 평균 반응 속도는 순간 반응 속도와 같다.

오답피하기 영희 : 1차 반응은 $A(g)$의 초기 농도에 관계없이 $A(g)$의 반감기가 일정하다.
민주 : $X(g) \longrightarrow Y(g)$ 반응에서 $Y(g)$의 생성 속도가 일정하면 반응 속도식은 $v=k_2$이다.

04 1차 반응

해설 | 0~1분과 1~2분에서 생성된 B의 농도가 각각 0.2 M, 0.1 M이므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응임을 알 수 있다. 1차 반응은 반응물의 농도와 반응 속도가 비례한다.

정답맞히기 ⑤ 0.2 M에 해당하는 압력이 1기압이므로, 3분일 때 B의 농도 0.35 M에 해당하는 압력은 1.75기압이다.

오답피하기 ① B의 농도가 1분과 2분에서 각각 0.2 M, 0.3 M이므로 A의 반감기는 1분이다. 따라서 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다.
② A의 초기 농도를 a M라고 하면, 0~1분에서 반응한 A의 농도는 $\frac{a}{2}$ M이다. 0~1분에서 생성된 B의 농도가 0.2 M이므로 $\frac{a}{2}\times2=0.2$에서 $a=0.2$이다.
③ 반감기가 1분이므로 3분일 때 A의 농도는 $0.2\times\left(\frac{1}{2}\right)^3=0.025$ M이다. 따라서 B의 농도(x)는 $(0.2-0.025)\times2=0.35$ M이다.
④ 평균 반응 속도는 0~1분에서가 $\frac{0.2-0}{1}=0.2$ M/분이고, 1~2분에서가 $\frac{0.3-0.2}{1}=0.1$ M/분이므로 평균 반응 속도는 0~1분에서가 1~2분에서의 2배이다.

05 입자 모형과 반응 차수

해설 | 입자 모형으로부터 소모된 A의 수와 생성된 B의 수를 통해 화학 반응식의 계수 비는 $a:b=2:1$이고, 일정 시간 동안 일정한 양의 반응물이 소모되므로 A에 대한 0차 반응이다.

정답맞히기 ㄴ. 이 반응은 0차 반응이므로 $2x$초일 때 A와 B의 모형은 각각 4개, 2개이고, 분자 수 비는 A : B=2 : 1이다.

오답피하기 ㄱ. ○(A) 2개가 소모될 때 ■(B) 1개가 생성되므로 $a:b=2:1$이고, $a=2b$이다.
ㄷ. 0차 반응이므로 x초일 때와 $3x$초일 때의 순간 반응 속도는 같다.

06 1차 반응의 반응 속도 상수

해설 | 1차 반응에서 반응물의 초기 농도에 따른 초기 반응 속도 그래프의 기울기는 반응 속도 상수이다. k_2가 k_1보다 크므로 ㉠은 (나)이고, ㉡은 (가)임을 알 수 있다.

정답맞히기 ㄴ. (가)와 (나)는 모두 1차 반응이고 반응 속도 상수는 k_2가 k_1보다 크므로 반응물의 초기 농도가 같을 때, 반응 속도는 ㉠이 ㉡보다 크다. 따라서 반감기는 ㉠이 ㉡보다 짧다.
ㄷ. 반응물의 초기 농도가 같을 때 초기 반응 속도는 ㉠이 ㉡의 2배이므로, $k_1:k_2=a:2a=1:2$이다.

오답피하기 ㄱ. ㉠은 (나)에 해당된다.

07 화학 반응에서 반응 속도

해설 | $H_2(g)$가 생성되면 시간에 따라 삼각 플라스크에 들어 있는 물질의 질량이 점점 감소하므로 0초와 t초에서 질량 변화를 측정하면 0~t초에서 $H_2(g)$의 평균 생성 속도(g/초)를 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 반응 전 반응물과 삼각 플라스크의 총 질량은 (120 g+반응 전 Mg의 질량)이므로 (가)에서 Mg의 질량을 측정해야 한다.
ㄷ. [(120 g+반응 전 Mg의 질량)−(나)에서 용액과 삼각 플라스크의 질량 합]으로 0~t초에서 질량 변화를 측정할 수 있다. 따라서 (나)에서 용액과 삼각 플라스크의 질량 합을 측정해야 한다.

오답피하기 ㄴ. $HCl(aq)$은 충분한 양이므로 반응 전 $HCl(aq)$의 부피는 0~t초에서 $H_2(g)$의 평균 생성 속도를 구하기 위해 반드시 측정해야 하는 값이 아니다.

08 반응 속도와 화학 반응식

해설 | 시간에 따른 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 변화하는 반응은 0차 반응이고, 화학 반응식의 계수 비는 A : B=1 : 1이므로 A의 초기 몰 농도는 0.9 M이다.

정답맞히기 이 반응은 0차 반응이므로 임의의 시간에서 [C]=x일 때 [A]=0.9−2x, [B]=2x이다. A와 C의 몰 농도가 같아질 때 C의 몰 농도(x)는 $0.9-2x=x$에서 $x=0.3$이다. 따라서 B의 몰 농도($2x$)가 0.6 M일 때 [A]=[C]이므로 A와 C의 몰 농도가 같아지는 데 걸린 시간은 $\frac{2}{3}t$초이다.

테마별 수능 심화문제 본문 109~110쪽

09 ④ 10 ⑤ 11 ④ 12 ③

09 반응 차수

해설 | 1차 반응은 반응물의 농도와 반응 속도가 비례하는 반응으로 반감기가 일정하다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 반응 시간에 따른 A의 몰 농도는 표와 같다.

반응 시간(초)	0	1	2
[A](M)	1	0.5	0.25

(가)에서 반감기는 1초로 일정하므로 $A(g) \longrightarrow B(g)$ 반응은 1차 반응이고, (나)에서 $X(g)$의 초기 농도와 초기 반응 속도가 비례하므로 $X(g) \longrightarrow Y(g)$ 반응은 1차 반응이다.
ㄴ. 반응 $A(g) \longrightarrow B(g)$와 $X(g) \longrightarrow Y(g)$가 모두 1차 반응이고, 반응 시간에 따른 반응 속도가 감소하므로 생성물의 생성 속도는 감소한다.

오답피하기 ㄷ. (나)에서 X의 농도가 1 M일 때의 초기 반응 속도는

0.5 M/초이고, (가)에서 $A(g) \longrightarrow B(g)$ 반응이 일어날 때 0~1초에서 평균 반응 속도가 0.5 M/초이다. 따라서 A의 농도가 1 M일 때의 초기 반응 속도는 0.5 M/초보다 크다.

10 기체의 몰수에 따른 반응 차수

해설 | (가)에서 반응이 완결되었을 때 몰수는 0초일 때의 $\frac{1}{2}$배이므로 $x=2$이고, (나)에서 반응이 완결되었을 때 몰수는 0초일 때의 2배이므로 $y=1$이다.

정답맞히기 ㄱ. (가)와 (나)에서 반응 시간에 따른 기체 X~Z의 몰 농도는 표와 같다. (가)에서는 0차 반응이 일어나고, (나)에서는 반감기가 $0.5t$초인 1차 반응이 일어나므로 $x+n=3$이다.

실험	기체	몰 농도($\times 10^{-3}$ M)		
		0	t초	$2t$초
(가)	X	18	14	10
	Z	0	2	4
(나)	Y	16	4	1
	Z	0	24	30

ㄴ. (나)에서 $Y(g) \longrightarrow 2Z(g)$의 반감기가 $0.5t$초이므로 $0.5t$초일 때, Y와 Z의 몰 농도는 각각 8×10^{-3} M, 16×10^{-3} M이다. 따라서 Z의 몰 분율은 $\frac{16}{8+16}=\frac{2}{3}$이다.

ㄷ. (가)에서 $2X(g) \longrightarrow Z(g)$는 0차 반응이므로 반응 속도는 항상 k_1이고, (나)에서 $Y(g) \longrightarrow 2Z(g)$의 반응 속도식은 $v=k_2[Y]$이므로 $2t$초일 때 $v=k_2\times1\times10^{-3}=\frac{k_2}{1000}$이다.

따라서 $2t$초일 때 순간 반응 속도 비는 (가) : (나) $=k_1:\frac{k_2}{1000}=1000k_1:k_2$이다.

11 화학 반응식과 반응물과 생성물의 농도

해설 | 강철 용기에 넣어 준 A의 초기 몰수가 a일 때 A가 x몰 소모되면 B는 $0.5x$몰 증가하므로 임의의 시간에서 $\frac{[B]}{[A]}=\frac{0.5x}{a-x}$이다. 반응 $2t$분 후 $\frac{[B]}{[A]}=\frac{0.5x}{a-x}=0.5$이므로 $x=0.5a$이고, 반응 $4t$분 후 $\frac{[B]}{[A]}=\frac{0.5x}{a-x}=1.5$이므로 $x=0.75a$이다.

정답맞히기 $2t$분 후 남은 반응물의 몰수가 초기 몰수의 $\frac{1}{2}$, $4t$분 후 남은 반응물의 몰수가 $2t$분에서의 $\frac{1}{2}$이므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다. 따라서 $m=1$이다. A의 반감기는 $2t$분이므로 t분일 때 A의 몰수가 n이라면 $5t$분일 때 A의 몰수는 $n\times\left(\frac{1}{2}\right)^2=\frac{n}{4}$이다. 따라서 $m\times\frac{t\text{분일 때 [A]}}{5t\text{분일 때 [A]}}=1\times4=4$이다.

12 초기 농도와 반응 속도식

해설 | 반응 속도식이 $v=k[A]^2[B]$이므로 A에 대한 2차 반응이고, B에 대한 1차 반응이다. 3차 반응에서 반응 속도 상수의 단위는 $L^2/몰^2\cdot$초이다.

정답맞히기 ㄱ. $2A(g)+B(g) \longrightarrow 2C(g)$ 반응의 반응 속도식은 $v=k[A]^2[B]$이므로 실험 Ⅰ로부터 $k=\frac{0.03}{(0.1)^2\times0.3}=10(L^2/몰^2\cdot$초)이다.

ㄷ. 실험 Ⅱ와 Ⅲ에서 초기 반응 속도(M/초)는 각각 kx^2y, ky^2x이므로 $kx^2y:ky^2x=1:2$에서 $2x=y$이다. 실험 Ⅱ의 반응 속도식 0.02 M/초 $=(10\ L^2/몰^2\cdot초)\times(x\ M)^2\times2x$ M에서 $x=0.1$이다. 따라서 $A(g)$ 0.2몰과 $B(g)$ 0.6몰을 부피가 1 L인 강철 용기에 넣고 반응시키면 초기 반응 속도는 Ⅰ의 8($=2^2\times2$)배이므로 초기 반응 속도는 0.24 M/초이다. 따라서 초기 반응 속도는 Ⅲ의 6배이다.

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

THEME 16

반응 속도에 영향을 주는 요인

대표 문제로 유형 익히기 본문 112쪽

정답 ④

해설 | T_1에서 $X(g)$를 0.4 M, 0.9 M의 초기 농도로 반응시킬 때 t초 후 $X(g)$의 농도가 각각 0.1 M, 0.6 M이므로 초기 농도에 관계없이 t초 동안 0.3 M의 $X(g)$가 반응한다. 따라서 $X(g) \longrightarrow 2Y(g)$ 반응은 0차 반응이다.

정답맞히기 ㄱ. T_1에서 t초 동안 $X(g)$ 0.3 M가 감소하므로 $x=0.8-0.3=0.5$이고, T_2에서 t초 동안 $X(g)$ 0.2 M가 감소하므로 $y=0.9-0.2=0.7$이다.

ㄷ. T_2에서 1 L의 강철 용기에 $X(g)$ 1.4몰을 넣은 후 반응 시간이 $3t$초일 때 $X(g)$의 농도는 $1.4-(3\times0.2)=0.8$ M이므로 생성된 $Y(g)$의 농도는 $(1.4-0.8)\times2=1.2$ M이다.

오답피하기 ㄴ. T_1에서가 T_2에서보다 $X(g)$의 농도가 t초 동안 더 크게 감소한다. t초 동안 감소하는 $X(g)$의 농도 비는 $T_1:T_2=3:2$이므로 반응 속도 비는 $T_1:T_2=3:2$이다.

따라서 $\frac{T_2\text{에서 반응 속도 상수}}{T_1\text{에서 반응 속도 상수}}=\frac{2}{3}$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 113~114쪽

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

01 온도와 반응 속도

해설 | 온도가 높아지면 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 많아지므로 반응 속도가 증가하고, 초기 농도가 크면 유효 충돌 수가 커지므로 반응 속도는 증가한다.

정답맞히기 A(g)의 초기 농도는 (가)>(나)이므로 (나)에서의 초기 농도는 1 M보다 작다. 한편, 초기 반응 속도는 (가)<(나)이므로 (나)에서의 온도는 25℃보다 높다.

02 온도에 따른 반응 속도와 생성물의 양

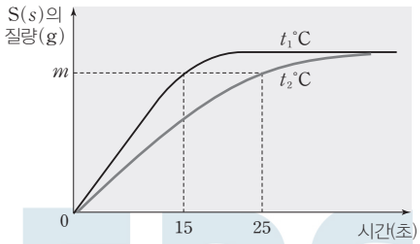
해설 | 온도가 높을수록 반응 속도가 증가하므로 ×표시가 보이지 않을 때까지 걸린 시간이 짧아진다.

정답맞히기 ④ 15초일 때, S(s)의 질량은 t_1℃에서가 t_2℃에서보다 크므로 0~15초에서 평균 반응 속도는 t_1℃에서가 t_2℃에서보다 크다.

오답피하기 ① ×표시가 보이지 않을 때까지 걸린 시간이 t_1℃에서가 t_2℃에서보다 짧으므로 $t_1 > t_2$이다.

② 온도가 높을수록 반응 속도가 증가하지만 활성화 에너지는 온도에 관계없이 일정하다.

③ ×표시가 보이지 않을 때 생성된 S(s)의 질량을 m g이라고 하면, t_1℃와 t_2℃에서 반응 시간에 따른 S(s)의 질량은 그림과 같으므로 초기 반응 속도는 t_1℃에서가 t_2℃에서보다 크다.



⑤ 반응물의 농도가 높아지면 반응 속도가 증가하므로 ×표시가 보이지 않을 때까지 걸린 시간은 25초보다 짧아진다.

03 반응 속도에 영향을 주는 요인

해설 | $CaCO_3(s)$의 표면적이 클수록 반응물 사이의 접촉 면적이 증가하여 유효 충돌 수가 증가하므로 반응 속도는 빨라진다. HCl(aq)의 몰 농도가 클수록 유효 충돌 수가 증가하므로 반응 속도는 빨라진다. 온도가 높을수록 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 반응 속도는 빨라진다.

정답맞히기 ㄷ. 온도만 다른 실험 Ⅲ과 Ⅳ를 비교하면, 초기 반응 속도가 Ⅲ > Ⅳ이므로 $t_2 > t_1$이다.

오답피하기 ㄱ. $CaCO_3(s)$의 표면적만 다른 실험 Ⅱ와 Ⅳ를 비교하면, 초기 반응 속도가 Ⅳ > Ⅱ이므로 $b > a$이다.

ㄴ. HCl(aq)의 몰 농도만 다른 실험 Ⅰ과 Ⅳ를 비교하면, 초기 반응 속도가 Ⅰ > Ⅳ이므로 $n > m$이다.

04 온도에 따른 분자 운동 에너지

해설 | 활성화 에너지는 반응물들이 충돌하여 반응을 일으키는 데 필요한 최소한의 에너지이다. 온도가 높을수록 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 크다.

정답맞히기 ㄱ. 온도가 높을수록 평균 운동 에너지가 증가하므로 $T_2 > T_1$이다.

오답피하기 ㄴ. 활성화 에너지는 촉매에 의해서만 변화하므로 T_1 K과 T_2 K에서 반응 A(g) ⟶ B(g)의 활성화 에너지는 같다.

ㄷ. 온도에 의해 반응 속도 상수는 변한다. 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 증가하므로 반응 속도 상수는 T_1 K에서가 T_2 K에서보다 작다.

05 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자

해설 | N은 초기 상태에서 반응 X(g) ⟶ Y(g)의 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 X의 몰수이므로 $\frac{N}{\text{X의 초기 몰수}}$이 클수록 초기 반응 속도가 크다.

정답맞히기 ㄷ. $\frac{N}{\text{X의 초기 몰수}}$은 Ⅰ에서 $\frac{1}{3}$이고, Ⅲ에서 $\frac{1}{4}$이므로 초기 반응 속도는 Ⅰ이 Ⅲ보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 초기 반응 속도가 Ⅰ이 Ⅲ보다 크므로 온도는 T_1이 T_2보다 높다.

ㄴ. Ⅰ과 Ⅱ에서 온도가 같으므로 반응 속도 상수는 같다.

06 온도가 다른 1차 반응에서의 반응 속도

해설 | A의 초기 농도에 따른 초기 반응 속도 차가 일정하게 증가하므로 A의 초기 농도와 초기 반응 속도가 비례함을 알 수 있다. 따라서 A에 대한 1차 반응이고, T_1과 T_2에서 반응 속도식은 각각 $v = k$[A], $v = 3k$[A]이다.

정답맞히기 ㄴ. T_1과 T_2에서 반응 속도 상수는 각각 k, $3k$이므로, A의 초기 농도가 0.2 M일 때, T_1에서의 초기 반응 속도를 a M/초라고 하면, T_2에서 초기 반응 속도는 $3a$ M/초이다. 따라서 $3a - a = 0.08$이고, $a = 0.04$(M/초)이다.

오답피하기 ㄱ. A에 대한 1차 반응이다.

ㄷ. $k = \frac{v}{[\text{A}]} = \frac{0.04\ \text{M/초}}{0.2\ \text{M}} = 0.2$초$^{-1}$이다.

07 0차 반응과 반응 속도 상수

해설 | 반응 속도가 반응물의 농도와 관계없이 일정한 반응은 0차 반응이고, 반응 속도가 반응물의 농도에 비례하는 반응은 1차 반응이다.

정답맞히기 ㄱ. 반응 시간에 따라 전체 기체의 몰수가 일정하게 증가하므로 0차 반응이다.

ㄴ. T_1에서 반응 전 A(g)의 몰수는 1몰이다. 반응이 완결되었을 때 전체 기체의 몰수가 2몰이므로 $b + c = 4$이다.

ㄷ. 반응 속도 상수(k)는 T_1에서가 T_2에서의 3배이고, 0차 반응이므로 T_1과 T_2에서 반응 속도 비는 3 : 1이다.

따라서 $(1.5 - 1) : (1.5 - x) = 3 : 1$에서 $x = \frac{4}{3}$이다.

08 온도가 다른 1차 반응에서의 반감기

해설 | 화학 반응의 반응 속도식이 $v = k$[A]이므로 1차 반응이고, 1차 반응의 반감기는 반응물의 초기 농도와 관계없이 일정하다.

정답맞히기 반응 전과 후의 분자 수가 같으므로 $a = b$이고, (가)에서 A의 몰수는 $2t$초일 때가 0초일 때의 $\frac{1}{2}$배이므로 (가)에서 A의 반감기

는 $2t$초이다. (나)에서 A의 몰수는 $3t$초일 때가 0초일 때의 $\frac{1}{4}$배이므로 (나)에서 A의 반감기는 $1.5t$초이다.

따라서 $\frac{a}{b}\times\frac{\text{(가)에서 A의 반감기}}{\text{(나)에서 A의 반감기}}=1\times\frac{2}{1.5}=\frac{4}{3}$이다.

테마별 수능 심화문제 본문 115~116쪽

09 ④ 10 ③ 11 ① 12 ⑤

09 표면적과 반응 속도

해설 | 고체의 표면적이 클수록 반응물 사이의 접촉 면적이 증가하여 유효 충돌 수가 증가하므로 반응 속도는 빨라진다.

정답맞히기 ㄴ. 반응 시간에 따른 초기 반응 속도는 B>C>A이다. Mg 조각 1개의 부피가 작을수록 표면적이 크므로 비커 A에 들어 있는 Mg 조각 1개의 부피가 가장 크고, 비커 B에 들어 있는 Mg 조각 1개의 부피가 가장 작다. 따라서 $a>c>b$이다.

ㄷ. 충분한 양의 HCl(aq)과 반응한 Mg의 질량이 A~C에서 모두 10 g이므로 반응이 완결되었을 때 생성된 기체의 부피는 모두 같다.

오답피하기 ㄱ. 표면적이 클수록 반응 속도가 빠르므로 '단위 질량당 Mg의 표면적이 클수록 반응 속도가 빨라진다.'가 ㉠으로 적절하다.

10 온도에 따른 반감기의 변화

해설 | 기체의 압력은 몰수와 온도에 각각 비례하고, 초기 농도와 관계없이 반감기가 일정한 반응은 1차 반응이며, 1차 반응에서 온도가 높을수록 반감기는 짧아진다.

정답맞히기 ㄱ. T_1 K과 T_2 K에서 반감기는 각각 4분과 2분이므로 T_1 K에서 8분일 때 X의 몰수를 n이라고 하면, 강철 용기에 넣어 준 X의 몰수는 T_1 K에서 $4n$이고, T_2 K에서 n이다. T_1 K과 T_2 K에서 X(g)의 초기 부분 압력 비는 2 : 1이므로 온도 비는 $T_1 : T_2=\frac{2}{4n}:\frac{1}{n}=1:2$이다.

ㄴ. 반응 시간에 따른 X와 Y의 몰수는 표와 같다.

반응 시간(분)		0	2	4	6	8
T_1 K에서의 몰수(몰)	X	$4n$		$2n$		n
	Y	0		n		$\frac{3}{2}n$
T_2 K에서의 몰수(몰)	X	n	$\frac{n}{2}$	$\frac{n}{4}$	$\frac{n}{8}$	$\frac{n}{16}$
	Y	0	$\frac{n}{4}$	$\frac{3}{8}n$	$\frac{7}{16}n$	$\frac{15}{32}n$

따라서 4분일 때 $\frac{T_1\text{ K에서의 [X]}}{T_2\text{ K에서의 [Y]}}=\frac{2n}{\frac{3}{8}n}=\frac{16}{3}$이다.

오답피하기 ㄷ. k_1과 k_2를 각각 T_1 K과 T_2 K에서의 반응 속도 상수라고 하면, T_1 K과 T_2 K에서 반응 속도식은 각각 $v=k_1$[X], $v=k_2$[X]이고 $T_1<T_2$이므로 $k_1<k_2$이다. 따라서 8분일 때, T_1 K과 T_2 K에서 Y의 생성 속도 비는 $(k_1\times n):\left(k_2\times\frac{n}{16}\right)=16k_1:k_2$이다. $k_1<k_2$이므로 Y의 생성 속도는 T_1 K에서가 T_2 K에서의 16배보다 작다.

11 반응물, 생성물의 농도 변화와 온도

해설 | A의 초기 농도는 온도 T_1과 T_2에서 1 M로 같으므로 온도가 높을수록 반응 속도가 빠르다.

정답맞히기 ㄱ. 초기 반응 속도는 T_1에서가 T_2에서보다 크므로 온도는 T_1이 T_2보다 높다.

오답피하기 ㄴ. t_1초일 때 [B]는 T_1에서가 T_2에서보다 크므로 [A]는 T_1에서가 T_2에서보다 작다.

ㄷ. T_1이 T_2보다 높으므로 t_2초일 때 [C]는 T_1에서가 T_2에서보다 크다.

12 반응 속도 상수와 온도

해설 | 1차 반응의 반감기는 초기 농도와 관계없이 일정하고, 1차 반응의 반응 속도는 반응 속도 상수와 반응물의 농도에 비례한다. 온도가 다르면 반응 속도 상수가 다르므로 2초일 때, T_1과 T_2에서 순간 반응 속도는 반응 속도 상수와 A의 몰 농도를 모두 고려해야 한다.

정답맞히기 T_2에서 A(g)의 반감기는 1초이므로 T_2에서 강철 용기에 들어 있는 A(g)의 초기 몰 농도는 n M$\times 2^2=4n$ M이다. 반응 시작 후 2초일 때 T_2에서의 [A]는 n M이므로 [B]는 $3n$ M이다. 2초일 때, T_2에서 $\frac{\text{A의 질량}}{\text{B의 질량}}=\frac{3}{5}$이므로 분자량 비는 A:B$=\frac{3}{n}:\frac{5}{3n}$ $=9:5$이다. 2초일 때, T_1에서 $\frac{\text{A의 질량}}{\text{B의 질량}}=\frac{9}{5}$이고, 분자량 비는 A:B$=9:5$이므로 A와 B의 몰수 비는 A : B$=1:1$이다. [A]$=$[B]$=3n$ M이고, T_1에서 반응 전 A(g)의 몰 농도는 $3n+3n=6n$ M이므로 A(g)의 반감기는 2초이다. T_1과 T_2에서 초기 반응 속도 비는 3 : 4이므로 반응 속도 상수 비는 $\frac{3}{6n}:\frac{4}{4n}$ $=1:2$이다. $\frac{v_2}{v_1}=\frac{2\times n}{1\times 3n}=\frac{2}{3}$이므로 $t\times\frac{v_2}{v_1}=2\times\frac{2}{3}=\frac{4}{3}$이다.

THEME 17

촉매와 반응 속도

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 118쪽

정답 ⑤

해설 | A의 초기 몰수는 (가)에서 $2n+3n\times 2=8n$, (나)에서 $6n+n\times 2=8n$, (다)에서 $4n+2n\times 2=8n$이다. (가)~(다)에서 A의 초기 몰수가 $8n$으로 모두 같기 때문에 0~t초에서 생성된 B의 몰수가 클수록 초기 반응 속도는 크므로, 초기 반응 속도는 (가)>(다)>(나)이다. 한편, $T_2>T_1$이고 실험 Ⅰ에만 부촉매를 첨가하였으므로 실험 Ⅰ~Ⅲ의 초기 반응 속도는 Ⅲ>Ⅱ>Ⅰ이다. 따라서 실험 Ⅰ은 (나), 실험 Ⅱ는 (다), 실험 Ⅲ은 (가)에 해당한다.

정답맞히기 ㄴ. 부촉매를 첨가한 실험 Ⅰ은 (나)에 해당하므로 반응의 활성화 에너지가 가장 큰 것은 (나)이고, (가)와 (다)에는 촉매를 첨가하지 않았으므로 활성화 에너지는 서로 같다.
ㄷ. (가)와 (다)에서 A의 초기 몰수와 t초 후 몰수는 표와 같으므로 A의 반감기는 (가)에서 $0.5t$초, (다)에서 t초이다.

		(가)	(다)
A의 몰수	초기	$8n$	$8n$
	t초 후	$2n$	$4n$

따라서 $2t$초일 때 (가)에서 A의 몰수는 $0.5n$, B의 몰수는 $\frac{8n-0.5n}{2}=3.75n$이고, (다)에서 A의 몰수는 $2n$, B의 몰수는 $\frac{8n-2n}{2}=3n$이다. 따라서 $\frac{\text{(가)에서 B}(g)\text{의 몰수}}{\text{(다)에서 B}(g)\text{의 몰수}}=\frac{3.75}{3}<\frac{4}{3}$이다.

오답피하기 ㄱ. (가)의 온도는 T_2 K이고, (나)의 온도는 T_1 K이므로 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.

테마별 수능 필수유제 본문 119쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ①

01 암모니아 생성 반응에서의 정촉매

해설 | $N_2(g)$와 $H_2(g)$를 반응시킬 때 정촉매 X를 넣어 주면 $NH_3(g)$의 생성 속도가 증가한다. 정촉매는 반응의 활성화 에너지를 낮추므로 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수를 증가시켜 반응 속도를 크게 한다.

정답맞히기 ⑤ X는 반응 속도를 증가시키지만 반응 엔탈피는 변화시키지 않으므로 25℃, 1기압에서의 $NH_3(g)$의 생성 엔탈피는 촉매 여부와 무관하다.

오답피하기 ① $N_2(g)$와 $H_2(g)$가 직접 충돌하여 $NH_3(g)$를 생성하는 느린 반응을 $N_2(g)$와 $H_2(g)$가 정촉매 X 표면에서 반응하여 $NH_3(g)$를 생성하는 빠른 반응으로 반응 경로를 변화시킨다.
② X는 활성화 에너지를 낮추는 물질이다.
③ X는 초기 반응 속도를 증가시킨다.
④ X는 반응 속도를 크게 하는 정촉매이므로 반응 속도 상수를 증가시킨다.

02 촉매와 반응 속도 상수

해설 | 활성화 에너지가 작을수록 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 커지므로 반응 속도가 증가한다.

정답맞히기 ㄴ. 반응 엔탈피는 일정하므로 역반응의 활성화 에너지는 (가)가 (나)보다 크다.
ㄷ. 반응 속도가 클수록 단위 시간당 감소하는 A의 몰수가 크므로, A(g)가 0.05몰이 될 때까지 걸린 시간은 (나)가 (가)보다 짧다.

오답피하기 ㄱ. (나)가 (가)보다 정반응의 활성화 에너지가 작으므로 초기 반응 속도는 (나)가 (가)보다 크다.

03 촉매와 활성화 에너지

해설 | 촉매는 화학 반응에서 활성화 에너지의 크기를 변화시켜 반응 속도를 변화시키는 물질이다. 정촉매는 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 크게 하고, 부촉매는 활성화 에너지를 증가시켜 반응 속도를 작게 한다.

정답맞히기 ㄱ. $E_2>E_1$이므로 Y는 부촉매이다.
ㄴ. X는 정촉매이므로 정반응의 활성화 에너지를 낮춘다. 따라서 촉매를 넣지 않았을 때 A(g) ⟶ B(g) 반응의 활성화 에너지는 E_1보다 크다.

오답피하기 ㄷ. 활성화 에너지는 온도에 의해 변하지 않으므로 $2T$ K에서 A(g)와 X를 넣고 반응시킬 때 활성화 에너지는 E_1이다.

04 촉매와 반응 속도

해설 | 촉매를 사용한 반응에서 초기 반응 속도가 증가했으므로 (나)에서 사용한 촉매는 정촉매이다. 정촉매를 사용하면 평형에 도달하는 시간이 짧아지고, 평형에서 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 증가하지만, 생성물의 양은 변하지 않는다.

정답맞히기 ㄱ. 정촉매는 활성화 에너지를 감소시키므로 활성화 에너지는 (가)가 (나)보다 크다.

오답피하기 ㄴ. 촉매를 사용한 반응은 (나)이므로 t_2초일 때 역반응 속도는 (나)가 (가)보다 크다.
ㄷ. (가)에서 온도가 일정하므로 반응 속도 상수는 t_1초와 t_2초에서 같다.

테마별 수능 심화문제 본문 120~121쪽

05 ④ 06 ① 07 ③ 08 ④

05 효소와 기질의 반응

해설 | 효소는 반응 속도가 최대인 최적 온도와 최적 pH를 갖는다. 효소 X와 기질 S의 반응은 기질 S에 대한 1차 반응이므로 초기 반응 속도는 기질 S의 초기 농도(M)에 비례한다.

정답맞히기 기질 S의 초기 농도가 0.1 M이고, pH 5, 30℃에서 초기 반응 속도가 v이므로 조건 ①~⑤로 초기 반응 속도를 구하면 표와 같다. 따라서 ①~⑤ 중 가장 적절한 것은 ④이다.

조건	[S](M)	pH	온도(℃)	초기 반응 속도
①	0.2	5	40	$2v$보다 작음
②	0.2	8	30	$2v$보다 큼
③	0.3	5	30	$3v$
④	0.3	5	40	$3v$보다 작음
⑤	0.3	8	30	$3v$보다 큼

06 부촉매와 반응 속도

해설 | 실험 Ⅱ와 Ⅲ의 강철 용기에는 촉매를 넣지 않았으므로 반응 시작 후 t초일 때 $\frac{[B]}{[A]}$를 비교하면 온도를 비교할 수 있다. $\frac{[B]}{[A]}$는 Ⅲ

에서가 Ⅱ에서보다 크므로 Ⅱ와 Ⅲ의 온도는 각각 300 K, 400 K이다. 실험 Ⅰ에서만 X를 사용하였고, Ⅰ과 Ⅱ에서 $\frac{[B]}{[A]}=2$로 같으므로 Ⅰ의 온도가 300 K이면 모순이다. 따라서 Ⅰ의 온도는 400 K이다.

정답맞히기 ㄴ. Ⅰ과 Ⅲ의 온도는 모두 400 K으로 같지만, t초일 때 $\frac{[B]}{[A]}$는 Ⅲ에서가 Ⅰ에서보다 크므로 X는 부촉매이다.

오답피하기 ㄱ. 온도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 높다.

ㄷ. A(g)의 초기 몰수를 n, 반응한 A(g)의 몰수를 x라고 하면, 실험 Ⅱ에서 $\frac{[B]}{[A]}=\frac{2x}{n-x}=2$에서 $x=0.5n$이고, Ⅱ에서 A의 몰 분율은 $\frac{0.5n}{0.5n+n}=\frac{1}{3}$이다. 실험 Ⅲ에서 $\frac{[B]}{[A]}=\frac{2x}{n-x}=6$에서 $x=0.75n$이고, Ⅲ에서 B의 몰 분율은 $\frac{1.5n}{0.25n+1.5n}=\frac{6}{7}$이다.

따라서 $\frac{\text{Ⅱ에서 A의 몰 분율}}{\text{Ⅲ에서 B의 몰 분율}}=\frac{7}{18}$이다.

07 정촉매와 반응 속도

해설 | 강철 용기에서 온도가 일정한 기체의 압력은 기체의 몰수에 비례한다. 전체 기체의 압력이 증가하는 반응이므로 생성물의 계수 합이 반응물의 계수보다 크다. 따라서 a는 1 또는 2이다.

정답맞히기 ㄱ. t_3에서 전체 기체의 압력이 3기압이고, 초기 상태에서 A(g)의 압력이 1기압이므로 $a=1$이다.

ㄷ. 반응 시간에 따른 전체 기체의 압력이 일정하게 증가하므로 0차 반응이다. 0차 반응의 반응 속도는 반응 시간에 따른 전체 기체의 압력 그래프의 기울기에 비례한다. t_1과 t_2에서 반응 속도 상수를 각각 k_1과 k_2라고 하면, t_1과 t_2에서 반응 속도식은 각각 $v_1=k_1$과 $v_2=k_2$이고, $\frac{k_1}{k_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\frac{1.5-1}{t_1}}{\frac{3-2.5}{t_3-t_2}}=\frac{t_3-t_2}{t_1}$이다.

오답피하기 ㄴ. t_1과 t_2 사이에서 반응 속도가 증가했으므로 고체 촉매는 정촉매이다. 따라서 활성화 에너지는 t_2일 때가 t_1일 때보다 작다.

08 촉매에 의한 반응 속도 변화

해설 | 반응 차수가 0이면 반응 시간에 따른 반응 속도가 일정하다. t분일 때 생성된 B의 몰수가 1.2이면 $2t$분일 때 생성된 B의 몰수가 2.4이어야 하므로 모순이다. 따라서 이 반응의 반응 차수(m)는 1이다. $b=1$이면 t분일 때 C의 몰수는 $2t$분일 때 C의 몰수보다 크므로 모순이고, $b\geq3$이면 $2t$분일 때 B의 몰수는 $3t$분일 때 B의 몰수보다 크므로 모순이다. 따라서 $b=2$이다. 반응 시간에 따른 B와 C의 몰수는 표와 같으므로 A의 반감기는 t분이다.

반응 시간(분)		t	$2t$	$3t$
몰수(몰)	B(g)	1.2	1.8	2.2
	C(g)	0.6	0.9	1.1

정답맞히기 ㄴ. 촉매 X를 넣지 않았다면 $3t$분일 때 B의 몰수는 2.1이다. X를 넣은 후 $3t$분일 때 B의 몰수는 2.1보다 크므로 X는 정촉매이다.

ㄷ. A(g)의 초기 몰수를 n이라고 하면, t분일 때 A(g)의 몰수는 $\frac{n}{2}$이다. 0~t분에서 반응한 A(g)의 몰수는 $\frac{n}{2}$이고, 생성된 C(g)의 몰수는 0.6이므로 $\frac{n}{2}:0.6=2:1$에서 $n=2.4$이다.

오답피하기 ㄱ. $m+b=1+2=3$이다.

Ⅴ. 인류 복지와 화학

THEME 18

의약품과 녹색 화학

핵심 문제로 유형 익히기 본문 123쪽

정답 ③

정답맞히기 ㄱ. (가)의 $2H_2O \longrightarrow A_2+4H^++4e^-$ 반응식에서 반응 전후의 원자의 종류와 수는 변하지 않으므로 A_2는 O_2이다. (나)의 (+)극에서는 물이 전자를 잃는 산화 반응($2H_2O \longrightarrow O_2+4H^++4e^-$)이 진행되므로 X_2는 O_2이다. 따라서 A와 X는 모두 산소(O)로 같은 원소이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서는 모두 물(H_2O)이 분해되어 수소(H_2)와 산소(O_2)가 생성되므로 산화 환원 반응이 일어난다.

$2H_2O \longrightarrow 2H_2+O_2$

오답피하기 ㄷ. 물을 분해하는 과정은 흡열 반응이므로 에너지가 필요한데 (가)의 광분해 장치에서는 빛에너지를 이용하고, (나)의 전기 분해 장치에서는 전기 에너지를 이용한다. 따라서 화학 반응을 일으키기 위해 (가)와 (나)에서 모두 빛에너지가 필요한 것은 아니다.

테마별 수능 필수유제 본문 124쪽

01 ③ 02 ③ 03 ① 04 ⑤

01 효소 반응 저해 원리

정답맞히기 ㄱ. (가)는 효소(B)의 활성 부위에 기질(A)이 결합해 생성물이 분리되는 과정이므로 효소·기질 반응이다.

ㄴ. 효소와 결합해 생성물이 분리되는 A는 기질이다. B는 효소, C는 저해제이다.

오답피하기 ㄷ. 저해제(C)는 효소(B)의 활성 부위에 기질(A) 대신 결합하므로 기질(A)의 분해 반응을 방해한다.

02 물의 광분해 장치

정답맞히기 ㄱ. 물의 광분해 장치에서는 태양에서 오는 빛을 이용해 물을 수소와 산소로 분해하므로 빛에너지가 화학 에너지로 전환된다.

ㄴ. 광촉매 전극에서는 물이 산소 기체와 수소 이온으로 분해($2H_2O \longrightarrow O_2+4H^++4e^-$)되면서 전자를 잃는다. 따라서 산화 반응이 일어난다.

오답피하기 ㄷ. 광촉매 전극의 산화 반응과 백금 전극의 환원 반응을 더하면 물의 분해($2H_2O \longrightarrow 2H_2+O_2$) 반응식이 얻어지며 광촉매 전극에서 생성되는 O_2와 백금 전극에서 생성되는 H_2의 몰수 비는 1 : 2이다.

03 수소 자동차

해설 | (가)는 배기가스의 주성분이 물이므로 수소(H_2)이다.

정답맞히기 ㄱ. 수소를 얻기 위해서는 물 또는 메테인(CH_4)을 분해해야 하는데 공유 결합을 끊는 과정이므로 에너지가 필요하다.

오답피하기 ㄴ. 수소는 분자량이 작아 분산력이 크게 작용하기 어렵고, 무극성 분자로 쌍극자·쌍극자 힘이나 수소 결합 등이 작용하지 않는다. 따라서 분자 간 인력이 약해 녹는점, 끓는점이 매우 낮으므로 1기압, 상온에서 기체 상태로 존재한다.

ㄷ. 수소를 충전할 수 있는 충전소는 휘발유를 채울 수 있는 일반 주유소에 비해 그 수가 현저히 적어 사용에 불편함이 있다.

04 녹색 화학의 원리

정답맞히기 ㄱ. 복분해 반응 원리를 적용한 예로서 복분해 반응은 치환기의 위치가 서로 바뀌는 반응이므로 사용한 원료가 최종 생산물에 모두 들어가게 된다. 따라서 원자 경제성이 좋은 예이다.

ㄴ. 물의 전기 분해 반응에서는 상당히 많은 양의 전기 에너지가 필요하나 광분해 반응에서는 엽록소를 대신하여 광촉매나 반도체성 광전극을 이용해 물을 분해하므로 전기 분해 반응에 비해 에너지가 덜 소모된다. 따라서 에너지 효율 설계의 예이다.

ㄷ. 옥수수 전분을 이용해 만든 고분자 플라스틱(PLA)은 미생물에 의해 100% 생분해되므로 분해 가능 설계의 예이다.

테마별 수능 심화문제 본문 125~126쪽

05 ③ 06 ③ 07 ⑤ 08 ③

05 신약 개발 과정과 효소 반응

정답맞히기 ㄱ. 대부분의 질병은 효소의 작용과 관련이 있기 때문에 효소 활성 부위의 3차원적 구조를 조사한다. 따라서 효소에 해당하는 것은 (나)의 B이다.

ㄴ. 임상 시험 단계에서 인체에 대한 부작용 및 독성 등을 자세히 조사한다.

오답피하기 ㄷ. 기질(A)은 효소(B)의 활성 부위에 결합하여 효소 기질 반응을 일으킨다. 효소의 작용을 억제하는 역할을 하는 물질은 저해제이다.

06 살리실산과 아스피린

정답맞히기 ㄱ. 버드나무 껍질에서 추출한 살리실산은 천연 의약품이므로 대량 생산이 어려우나, 아스피린은 합성 의약품이므로 공장에서 대량 생산이 가능하다.

ㄴ. 살리실산은 복용 시 구토, 설사, 위장 장애 등의 부작용이 있었으나 아스피린은 이와 같은 단점을 개선하기 위해 개발한 의약품이다.

오답피하기 ㄷ. 살리실산과 아스피린은 모두 지속적으로 복용해도 내성을 갖는 변형균이 생기지 않는다. 지속적으로 복용했을 때 내성 변형균이 생기는 약은 항생제이다.

07 물의 전기 분해와 연료 전지

정답맞히기 ㄴ. (나)에서는 수소(H_2)와 산소(O_2)가 반응해 최종 생성물로 물을 생성하므로 최종 생성물은 환경 오염을 일으키지 않는다.

ㄷ. (나)의 (−)극에서는 B를 넣는데 (가)의 (−)극에서 생성된 B는 물이 전자를 얻어 생성($2H_2O+2e^- \longrightarrow 2OH^-+H_2$)된 $H_2(g)$이다.

(나)의 (+)극에서는 A를 넣는데 (가)의 (+)극에서 생성된 A는 물이 전자를 잃어 생성($2H_2O \longrightarrow O_2+4H^++4e^-$)된 $O_2(g)$이다.

따라서 (나)의 $2H_2(g)+O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ 반응에서 기체의 반응 몰수 비는 $A : B = O_2 : H_2 = 1 : 2$이다.

오답피하기 ㄱ. (가)의 (−)극에서는 물이 전자를 얻는 환원 반응($2H_2O+2e^- \longrightarrow 2OH^-+H_2$)이, (나)의 (−)극에서는 수소가 전자를 잃는 산화 반응($H_2 \longrightarrow 2H^++2e^-$)이 일어난다.

08 녹색 화학의 원리

정답맞히기 ㄱ. 복분해 반응은 탄소와 탄소 사이의 2중 결합에서 치환기의 위치가 서로 바뀌는 반응이므로 사용한 원료가 최종 생산물에 모두 들어가게 된다. 따라서 원료 사용의 경제성(E)이 좋다.

ㄴ. 촉매는 화학 반응의 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 빠르게 한다. 따라서 에너지를 적게 사용하는 공정의 개발(C)에 해당한다.

오답피하기 ㄷ. 촉매의 종류에는 정촉매와 부촉매가 있으나 녹색 화학의 원리에 적절한 촉매는 화학 반응 속도를 빠르게 하는 정촉매이다. 따라서 화학 반응의 완결 시간이 줄게 된다.

실전 모의고사

실전 모의고사 1회

본문 128~132쪽

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

01 물의 상태에 따른 분자 배열

해설 | (가)는 액체 상태의 분자 배열이고, (나)는 고체 상태의 분자 배열이다.

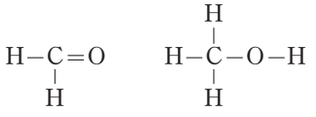
정답맞히기 ㄴ. 물이 얼음이 될 때 물 분자가 규칙적으로 배열하므로 단위 질량당 수소 결합 수가 증가한다.

오답피하기 ㄱ. (나)는 물 분자가 수소 결합에 의해 육각형 고리 형태의 독특한 배열을 이루면서 빈 공간이 생기므로 부피가 (가)보다 크다. 밀도는 $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$이고 상태가 변해도 질량은 일정하므로 밀도는 (가)가 (나)보다 크다.

ㄷ. 물의 비열이 큰 것은 수소 결합이 있어 물 분자 사이에 인력이 크기 때문이다. ㉠ 결합은 공유 결합이다.

02 분자 사이의 인력

해설 | 분자 사이의 인력에는 모든 분자 사이에 작용하는 분산력, 극성 분자 사이에 작용하는 쌍극자·쌍극자 힘, F, O, N에 결합한 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 수소 결합 등이 있다. 다음은 (나)와 (라)의 구조식이다.



(나)

(라)

정답맞히기 ㄱ. 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하는 것은 극성 분자인 (나), (라) 2가지이다.

ㄴ. (가)와 (다)는 모두 무극성 분자로 분자 사이의 인력은 분산력만 존재한다. 따라서 (다)의 기준 끓는점이 (가)보다 높은 주요 원인은 분산력 차이 때문이다.

ㄷ. (나)와 (라)는 모두 분자량이 유사한 극성 분자인데 (라)의 기준 끓는점이 (나)보다 크게 높은 것은 (라)가 수소 결합을 하기 때문이다.

03 엔트로피와 자발성

정답맞히기 ㄱ. 전체 엔트로피가 증가하는 변화는 자발적으로 일어나고, 고립계에서 전체 엔트로피는 계의 엔트로피와 같다. 콕을 열어 두면 (가)는 자발적으로 (나)가 되므로 계의 엔트로피는 (나)가 (가)보다 크다.

오답피하기 ㄴ. (가)가 (나)로 되는 변화는 자발적이고 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 작다.

ㄷ. 엔트로피가 감소하는 변화는 비자발적이므로, 온도를 낮추어도 (나)가 (가)로 되는 변화는 자발적으로 일어날 수 없다.

04 온도와 자발성

해설 | 자유 에너지 변화 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$로부터 온도와 자발성과의 관계를 알 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. (가)는 물이 얼음이 되는 반응이므로 0℃ 미만에서 자발적이고, 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 작다.

ㄷ. (나)에서 Fe의 산화는 발열 반응이므로 Fe이 산화될 때 주위의 엔트로피는 증가한다.

오답피하기 ㄴ. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$이고 ΔG가 0보다 작을 때 자발적이므로 반응이 자발적이기 위해서 엔트로피 변화(ΔS)는 큰 값이어야 한다. 따라서 특정 값보다 작을 때 자발적일 수는 없다. 계산해 보면 25℃, 표준 상태에서 $-826\ \text{kJ}-(298\ \text{K}\times\Delta S)<0$이므로 $\Delta S>-\frac{826}{298}(\text{kJ/K})$이다.

05 평형 상수의 정의

해설 | 화학 평형 상태는 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 동적 평형 상태이므로 농도 변화가 없는 t_2는 평형 상태이다. A의 농도는 4 M에서 3 M로, B의 농도는 2.5 M에서 2 M로 감소했고, C는 0에서 1 M로 증가했다. 반응 계수 비는 반응 몰수 비와 같으므로 A, B, C의 반응 계수 비 $a:b:c=1:0.5:1=2:1:2$이고, 반응식을 완성하면 $2\text{A}(g)+\text{B}(g)\rightleftarrows 2\text{C}(g)$이다.

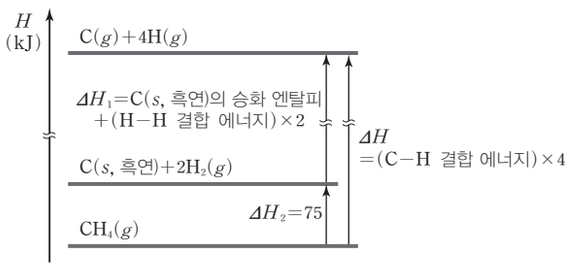
정답맞히기 ㄱ. 반응물을 넣은 상태에서 평형에 도달했으므로 평형에 도달하기 전인 t_1에서는 정반응 속도가 역반응 속도보다 크고, 시간이 지날수록 반응물이 감소하고 생성물이 증가하므로 정반응 속도는 감소하고 역반응 속도는 증가하여 평형 상태인 t_2에서는 정반응 속도와 역반응 속도가 같아진다. 따라서 역반응 속도는 t_1에서가 t_2에서보다 작다.

ㄷ. 반응 지수(Q)는 평형 상수식에 반응물과 생성물의 현재 농도(M)를 대입하여 구한 값으로 화학 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다. $Q=\frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}]^2[\text{B}]}$에서 $Q=\frac{2^2}{2^2\times 2}=\frac{1}{2}$이므로 Q는 K보다 크다.

오답피하기 ㄴ. 평형 상수(K)는 평형 상태에서 반응물의 농도 곱과 생성물의 농도 곱의 비로 나타낸다. $K=\frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}]^2[\text{B}]}=\frac{1^2}{3^2\times 2}=\frac{1}{18}$이다.

06 표준 생성 엔탈피와 결합 에너지

해설 | 반응 경로와 에너지 관계는 다음과 같다.



정답맞히기 ㄴ. 그림에서 (C−H의 결합 에너지)×4=[C(*s*, 흑연)의 승화 엔탈피+(H−H의 결합 에너지)×2]+75이므로 (C−H의 결합 에너지)$=\frac{717+436\times2+75}{4}=416$(kJ/몰)이다. H−H의 결합 에너지는 $H_2(g)\longrightarrow 2H(g)$ $\Delta H=436$ kJ과 같으므로 C−H의 결합 에너지는 H−H의 결합 에너지보다 20 kJ/몰 작다.

ㄷ. C(*s*, 흑연) 1몰과 $H_2(g)$ 2몰이 각각 완전 연소될 때의 열화학 반응식은 다음과 같다.

$C(s, 흑연)+O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)$ ΔH_a

$2H_2(g)+O_2(g)\longrightarrow 2H_2O(l)$ ΔH_b

위의 두 식을 더하면 $C(s, 흑연)+2H_2(g)+2O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)+2H_2O(l)$ $\Delta H_a+\Delta H_b$이다.

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

$CH_4(g)+2O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)+2H_2O(l)$ $\Delta H=-890$ kJ

위의 두 식을 더하면 역시 $C(s, 흑연)+2H_2(g)+2O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)+2H_2O(l)$가 얻어지고, 이때의 ΔH는 (−890−75) kJ이므로 $\Delta H_a+\Delta H_b=(-890-75)$ kJ이다.

C(*s*, 흑연) 1몰과 $H_2(g)$ 2몰이 완전 연소될 때 발생하는 열량의 총합(890+75)은 $CH_4(g)$ 1몰이 완전 연소될 때 발생하는 열량(890)보다 75 kJ 크다.

오답피하기 ㄱ. C(*g*)와 H(*g*)의 표준 생성 엔탈피(ΔH)는 각각 C(*s*, 흑연)과 $H_2(g)$에서 C(*g*)와 H(*g*)가 1몰 생성될 때의 반응 엔탈피이다. 따라서 C(*g*)의 생성 엔탈피는 $C(s, 흑연)\longrightarrow C(g)$ $\Delta H=717$ kJ이고, H(*g*)의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}H_2(g)\longrightarrow H(g)$ $\Delta H=\frac{436}{2}$ kJ=218 kJ이므로 표준 생성 엔탈피(ΔH)는 C(*g*)가 H(*g*)보다 499 kJ/몰 크다.

07 촉매와 반응 속도

해설 | 과산화 수소(H_2O_2)가 분해되면 산소 기체가 발생하고 물이 남는다. 발생하는 기포는 산소 기체이며 기포 발생 속도는 실험 Ⅲ > 실험 Ⅰ > 실험 Ⅱ 순이므로, 실험 Ⅲ에서 넣어 준 아이오딘화 칼륨은 정촉매이고 실험 Ⅱ에서 넣어 준 인산은 부촉매이다.

정답맞히기 ㄴ. 활성화 에너지를 넘는 에너지를 가진 분자 수가 많을수록 반응 속도가 빨라지므로 활성화 에너지를 넘는 에너지를 가진 분자 수는 실험 Ⅲ이 가장 크고, 실험 Ⅱ가 가장 작다.

오답피하기 ㄱ. 정촉매는 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 빠르게 하는 물질이므로 활성화 에너지는 실험 Ⅲ이 Ⅰ보다 작다.

ㄷ. 반응 엔탈피는 반응물과 생성물이 같으면 변하지 않으므로 실험 Ⅰ~Ⅲ에서 모두 같다.

08 어는점 내림과 증기 압력 내림

해설 | 물의 몰랄 내림 상수가 1.86℃/*m*이고 물의 어는점이 0℃이므로, 어는점이 −0.31℃인 수용액 (가)의 농도는 $\frac{0.31}{1.86}=\frac{1}{6}$ *m*이고 어는점이 −0.93℃인 수용액 (나)의 농도는 0.5 *m*이다. 몰랄 농도는 $\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$이므로 $\frac{1}{6}=\frac{x}{0.3}$에서 (가)에 포함된 용질의 몰수는 0.05몰이다.

정답맞히기 ㄴ. 라울 법칙에서 용액의 증기 압력은 용매의 몰 분율에 비례하는데, 용매의 몰 분율은 $\frac{\text{용매의 몰수}}{\text{용매의 몰수+용질의 몰수}}=\frac{10}{10+0.09}=\frac{10}{10.09}$이므로 (나)의 증기 압력은 $\frac{1000}{1009}P$이다.

ㄷ. (가)에서 용질 0.05몰이 3.1 g이므로 1몰의 질량은 62 g임을 알 수 있다. −2℃에서 에틸렌 글리콜 수용액이 얼지 않으려면 어는점이 −2℃보다 낮아야 한다. 이때 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{2}{1.86}$ *m*, 즉 물 1 kg에 포함된 에틸렌 글리콜은 $\frac{2}{1.86}$몰이고, 질량은 $\frac{2}{1.86}$몰×62 g/몰$=\frac{200}{3}$ g이다. 따라서 에틸렌 글리콜 수용액 1 kg에 포함된 에틸렌 글리콜의 질량 *x*는 $\left(1000+\frac{200}{3}\right):\frac{200}{3}=1000:x$이고, $x=62.5$(g)이다. 따라서 에틸렌 글리콜 62.5 g이 포함된 수용액 1 kg의 어는점은 −2℃이고, 이 수용액이 얼지 않기 위해서는 수용액에 포함된 에틸렌 글리콜이 62.5 g보다 많아야 한다.

오답피하기 ㄱ. (나)에서 $0.5=\frac{x}{0.18}$이므로 (나)에 포함된 용질의 몰수는 0.09몰이다. 용질인 에틸렌 글리콜 0.05몰이 3.1 g이므로 0.09몰은 5.58 g이다. 따라서 ㉠은 5.58이다.

09 중화 적정 과정

해설 | 약산을 강염기로 적정할 때 중화점은 염의 가수 분해에 의해 pH가 7보다 크다. 다음은 중화 반응과 염의 가수 분해를 나타낸 화학 반응식이다.

$HA(aq)+NaOH(aq)\longrightarrow NaA(aq)+H_2O(l)$

$A^-(aq)+H_2O(l)\rightleftarrows HA(aq)+OH^-(aq)$

정답맞히기 ㄱ. 중화 반응을 위해 정확한 몰 농도의 수용액을 만들기 위해서는 부피 플라스크를 사용한다.

ㄷ. 과정 (가)에서 NaOH(*aq*)의 몰 농도는 $\frac{\text{용질의 몰수}}{\text{용액의 부피(L)}}=\frac{\frac{2}{40}}{0.1}=0.5$(M)이다. (나)에서 (가) 수용액 10 mL를 취한 후 물을 추가하여 100 mL로 만들었으므로 (가) 수용액은 10배 희석되었고 몰 농도는 0.05 M이다. 적정에 사용된 NaOH(*aq*)의 부피는 20 mL이므로 HA(*aq*)의 몰 농도를 *x*라고 하면 0.05 M×20 mL=*x* M×10 mL, $x=0.1$이다.

오답피하기 ㄴ. 약산과 강염기의 중화 반응으로 중화점에서 pH는 7보다 크므로 변색 범위가 pH 4~6인 지시약을 사용하는 것은 적절하지 않다.

10 몰 농도와 퍼센트 농도

해설 | 몰 농도는 용액 1 L에 포함된 용질의 몰수이고, 퍼센트 농도는 용질의 질량(g)을 용액의 질량(g)으로 나눈 값이다. 퍼센트 농도를 몰 농도로 환산하기 위해서는 용액 1 L에 포함된 용질의 질량을 계산한 뒤 몰수를 구한다.

정답맞히기 (나)의 수용액 24 mL로 중화되는 HCl(aq) 10 mL의 농도는 다음과 같이 구할 수 있다. $0.05\ \mathrm{M}\times0.024\ \mathrm{L}=x\ \mathrm{M}\times0.010\ \mathrm{L}$, $x=0.12$이다. 진한 염산 36.5% 1000 mL는 1200 g(1.2 g/mL×1000 mL)이므로 진한 염산 1 L에 포함된 HCl의 몰수는 $\dfrac{1200\ \mathrm{g/L}\times\dfrac{36.5\ \mathrm{g}}{100\ \mathrm{g}}}{36.5\ \mathrm{g/몰}}=12$몰/L이고 진한 염산의 몰 농도는 12 M이다. 진한 염산의 부피를 y mL라고 하면, $0.12\ \mathrm{M}\times0.010\ \mathrm{L}=12\ \mathrm{M}\times\dfrac{y\ \mathrm{mL}}{1000\ \mathrm{mL}}$가 된다. 따라서 $y=0.1$이다.

11 연소 엔탈피

정답맞히기 ㄱ. 1 g이 완전 연소할 때 발생하는 열량은 C(s, 흑연)이 33 kJ이고 $CH_4(g)$이 55 kJ이다. 화학식량은 C(s, 흑연)과 $CH_4(g)$이 각각 12와 16이므로 1몰이 완전 연소할 때 발생하는 열량은 C(s, 흑연)과 $CH_4(g)$이 각각 33×12 kJ, 55×16 kJ이다. 따라서 C(s, 흑연)과 $CH_4(g)$의 연소 엔탈피는 각각 -33×12 kJ/몰과 -55×16 kJ/몰이고, 연소 엔탈피는 $CH_4(g)$가 C(s, 흑연)보다 작다.

ㄴ. 1기압에서 $H_2(g)$의 연소 엔탈피는 $H_2O(l)$의 표준 생성 엔탈피와 같고, C(s, 흑연)의 연소 엔탈피는 $CO_2(g)$의 표준 생성 엔탈피와 같다. H_2의 연소 엔탈피는 -143×2 kJ/몰이므로 표준 생성 엔탈피는 $CO_2(g)$가 $H_2O(l)$보다 작다.

ㄷ. $CH_4(g)$의 분해 엔탈피는 $CH_4(g)\longrightarrow C(s,\text{ 흑연})+2H_2(g)$ 반응의 엔탈피 변화이다. 3가지 물질의 연소 반응을 열화학 반응식으로 쓰면 다음과 같다.

$H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow H_2O(l)\qquad \Delta H=-286\ \mathrm{kJ}\ \cdots①$

$C(s,\text{ 흑연})+O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)\qquad \Delta H=-396\ \mathrm{kJ}\ \cdots②$

$CH_4(g)+2O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)+2H_2O(l)\qquad \Delta H=-880\ \mathrm{kJ}\ \cdots③$

③−①×2−②를 하면 $CH_4(g)\longrightarrow C(s,\text{ 흑연})+2H_2(g)$이고, 이때 엔탈피 변화는 88 kJ이다. 따라서 $CH_4(g)$의 분해 엔탈피는 88 kJ/몰이다.

12 반응 속도와 농도, 온도

해설 | 실린더는 압력이 일정하게 유지되고, 강철 용기는 부피가 일정하게 유지된다. 농도와 반응 속도, 온도와 반응 속도의 관계를 알아보기 위해서는 독립 변인인 농도, 온도를 제외한 다른 조건은 일정하게 유지되어야 한다. 이를 통제 변인이라고 한다.

정답맞히기 농도와 반응 속도의 관계를 알아보기 위해서는 온도가 변하지 않고 농도만 변화될 때의 반응 속도를 측정해야 하는데 실린더에서는 압력이 일정하게 유지되므로 단위 부피당 입자 수가 동일하게 유지된다. 따라서 농도만 변화시키려면 일정한 온도의 강철 용기에 서로 다른 몰수의 기체를 넣어 준 (라) v_4와 (마) v_5를 비교해야 한다. 또 온도와 반응 속도의 관계를 알아보기 위해서는 농도는 일정한 상태에서 온도만을 변화시켜야 하므로 강철 용기에 기체 A의 몰수는 같고 온도는 다르게 한 (라) v_4와 (바) v_6을 비교해야 한다. 실린더에서는 온도가 다르면 부피가 변하므로 농도를 일정하게 유지하고 온도만 변화시킬 수 없다.

13 물의 전기 분해

해설 | 물의 전기 분해에서 환원 반쪽 반응과 산화 반쪽 반응의 전자 수를 맞추어 빼주면 다음과 같다. 표준 환원 전위는 화학 반응의 몰수가 변해도 변하지 않는다.

$$\begin{array}{rll} & [2H_2O(l)+2e^-\longrightarrow H_2(g)+2OH^-(aq)]\times2 & E^\circ=-0.83\ \mathrm{V} \\ -) & O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-\longrightarrow 2H_2O(l) & E^\circ=+1.23\ \mathrm{V} \\ \hline & 2H_2O(l)\longrightarrow 2H_2(g)+O_2(g) & E^\circ=-2.06\ \mathrm{V} \end{array}$$

정답맞히기 ㄱ. 위 반응식에서 산화 환원 반응의 전자 수를 맞추어 계산하면, 물이 분해될 때의 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 −2.06 V이다.

오답피하기 ㄴ. 위 반응식에서 수소 기체 1몰이 생성되기 위해서는 2몰의 전자가 흘러야 함을 알 수 있다. t분 동안 60 mL의 수소 기체가 발생하였는데 25℃, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 24 L이므로 t분 동안 발생한 수소 기체의 몰수는 $\dfrac{60\ \mathrm{mL}}{24000\ \mathrm{mL/몰}}=\dfrac{1}{400}$몰이고, 이때 흐른 전자의 몰수는 $\dfrac{1}{400}$몰$\times2=\dfrac{1}{200}$몰$=5\times10^{-3}$몰이다.

ㄷ. 1F는 전자 1몰의 전하량이다. 4몰의 전자가 흘렀을 때 산소 기체 1몰이 발생하므로, 1몰의 전자가 흘렀을 때 발생하는 산소 기체는 0.25몰이다.

14 기체 분자 운동론과 확산 속도 법칙

해설 | 기체 분자의 평균 운동 에너지는 온도에 비례하고, 확산 속도는 같은 온도에서 분자량의 제곱근에 반비례한다. 따라서 확산 속도는 온도의 제곱근에 비례하고 분자량의 제곱근에 반비례한다.

$v\propto\sqrt{T}$, $\dfrac{v_1}{v_2}=\sqrt{\dfrac{m_2}{m_1}}$

정답맞히기 ㄴ. 헬륨과 산소 기체의 분자량의 제곱근의 비는 $1:2\sqrt{2}$이고, 온도의 제곱근의 비는 $1:\sqrt{2}$이므로 확산 속도 비는 1 : 2이다. 따라서 확산 속도는 B에 해당하는 기체가 A에 해당하는 기체의 2배이다.

오답피하기 ㄱ. 헬륨과 산소 기체의 분자량의 제곱근의 비는 $\sqrt{4}:\sqrt{32}=1:2\sqrt{2}$이고, 온도의 제곱근의 비는 $1:\sqrt{2}$이므로 확산 속도는 T K의 헬륨이 $2T$ K의 산소 기체보다 빠르다. 따라서 평균 분자 운동 속력이 더 빠른 B가 T K에서 He(g)의 분자 운동 속력 분포 곡선이다.

ㄷ. 콕을 열었다 닫은 후 용기 내 부피가 2 L가 되었다면 초기 상태(3 L, 2기압)와 콕을 열었다 닫은 후(2 L, 2기압)의 입자 수를 각각 $6N$, $4N$이라고 할 수 있다. 같은 온도에서 기체의 확산 속도 비는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 $He:O_2=2\sqrt{2}:1$이고, 콕을 열었다 닫은 후 빠져나간 입자 수는 $2N$이므로, 빠져나간 입자 수는 He(g)이 $\dfrac{2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}+1}\times2N$, $O_2(g)$가 $\dfrac{1}{2\sqrt{2}+1}\times2N$이다. 초기에 넣어 준 He($g$)과 $O_2(g)$가 각각 $3N$이므로 남아 있는 He(g)과 $O_2(g)$의 몰수 비는 $He(g):O_2(g)=(3N-\dfrac{2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}+1}\times2N):(3N-\dfrac{1}{2\sqrt{2}+1}\times2N)=(3+2\sqrt{2}):(1+6\sqrt{2})$이다.

15 산의 이온화 상수

해설 | 농도가 C M이고 이온화도가 α인 산 HA가 이온화될 때의 반응식과 산의 이온화 상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$HA(aq)+H_2O(l) \rightleftarrows A^-(aq)+H_3O^+(aq)$

$K_a=\frac{C\alpha\times C\alpha}{C(1-\alpha)}=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$

HA가 약산이어서 α가 1보다 매우 작다면 $1-\alpha \fallingdotseq 1$과 같다. 하지만 α가 1보다 매우 작지 않다면 이를 무시하지 않고 계산해야 한다.

정답맞히기 ㄱ. 산의 이온화 상수(K_a)가 클수록 수용액에서 정반응이 우세한 평형을 이루므로 강한 산이고, 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하다. 따라서 짝염기의 세기가 가장 큰 것은 산의 이온화 상수(K_a)가 가장 작은 C_6H_5OH이다.

ㄴ. $C_6H_5OH(aq)$의 이온화 평형식과 산의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.

$C_6H_5OH(aq)+H_2O(l) \rightleftarrows C_6H_5O^-(aq)+H_3O^+(aq)$

$K_a=\frac{[C_6H_5O^-][H_3O^+]}{[C_6H_5OH]}=\frac{(0.1\times\alpha)^2}{0.1\times(1-\alpha)}=1.6\times10^{-10}$

약산의 이온화도(α)는 매우 작으므로 $1-\alpha \fallingdotseq 1$이고 $(0.1\times\alpha)^2=16\times10^{-12}$이다. 0.1 M의 $C_6H_5OH(aq)$의 pH$=-\log[H_3O^+]=-\log(0.1\times\alpha)=-\log(4\times10^{-6})=6-\log4$이므로 5보다 크고 6보다 작다. 25℃에서 물의 이온화 상수가 1.0×10^{-14}이므로 pH+pOH=14이고, 0.1 M의 $C_6H_5OH(aq)$의 pOH는 8보다 크고 9보다 작다.

오답피하기 ㄷ. 이온화도(α)가 0.2인 $CH_3COOH(aq)$의 이온화 평형식과 산의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.

$CH_3COOH(aq)+H_2O(l) \rightleftarrows CH_3COO^-(aq)+H_3O^+(aq)$

$K_a=\frac{[CH_3COO^-][H_3O^+]}{[CH_3COOH]}=\frac{(C\times0.2)^2}{C(1-0.2)}=\frac{0.2\times0.2\times C}{0.8}=1.8\times10^{-5}$, $C=3.6\times10^{-4}$ M이다. 이 경우 이온화도 $\alpha=0.2$로 1에 비해 무시할 만큼 작지 않으므로 $1-\alpha\neq1$이다.

16 메탄올의 연소 엔탈피 측정

해설 | 메탄올이 연소될 때의 연소 반응식은 다음과 같다.

$2CH_3OH(l)+3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)+4H_2O(l)$

물이 얻은 열량=물의 비열(J/g·℃)×물의 질량(g)×물의 온도 변화(℃)이다.

정답맞히기 ㄱ. 물이 얻은 열량은 4.2 J/g·℃×100 g×(65−25)℃=16800 J=16.8 kJ이다.

ㄴ. 물질 1몰이 연소할 때의 엔탈피 변화가 연소 엔탈피이다. 연소된 메탄올의 질량은 1.6 g이고 물이 얻은 열량은 16.8 (kJ)이므로, 메탄올 32 g이 연소할 때 발생하는 열량은 16.8×20=336(kJ)이고 연소 엔탈피는 −336 kJ/몰이다.

ㄷ. 다음 ㉠~㉢은 각각 $CH_3OH(l)$의 생성 엔탈피(ΔH)와 $CO_2(g)$의 생성 엔탈피, $H_2O(l)$의 생성 엔탈피를 나타내는 열화학 반응식이다.

㉠ $C(s,\ 흑연)+2H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CH_3OH(l)\ \Delta H_1$

㉡ $C(s,\ 흑연)+O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)\ \Delta H_2$

㉢ $H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)\ \Delta H_3$

ΔH_1과 $[\Delta H_2+2\times\Delta H_3]$의 크기를 비교해야 하므로 ㉠−[㉡+2×㉢]을 하면, $CO_2(g)+2H_2O(l) \longrightarrow CH_3OH(l)+\frac{3}{2}O_2(g)$이고, 이 반응의 역반응은 메탄올의 연소 반응이므로 발열 반응이고 이 반응은 흡열 반응이다. 따라서 이 반응의 엔탈피 변화는 0보다 크고 ΔH_1은 $[\Delta H_2+2\times\Delta H_3]$보다 크다.

17 화학 전지

해설 | (가)는 볼타 전지이고, (나)는 다니엘 전지이다. 수소 이온의 표준 환원 전위는 0 V이므로 (가)에서 A는 산화되고 수소 이온은 환원된다. (나)에서는 B 이온의 표준 환원 전위가 A 이온보다 크므로 B 이온은 환원되고 금속 A는 산화된다. 각 전지에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(가) (−)극: 산화 반응 $A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-$ $E^\circ=0.76$ V

(+)극: 환원 반응 $2H^+(aq)+2e^- \longrightarrow H_2(g)$ $E^\circ=0$ V

(나) (−)극: 산화 반응 $A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-$ $E^\circ=0.76$ V

(+)극: 환원 반응 $B^+(aq)+e^- \longrightarrow B(s)$ $E^\circ=0.80$ V

정답맞히기 ㄷ. (나)에서 BNO_3 수용액을 CSO_4 수용액으로 바꾸면 (+)극의 환원 반응이 $C^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow C(s)$로 변하므로 표준 전지 전위는 1.56 V에서 1.10 V로 감소한다. 전지 전위가 클수록 반응의 자유 에너지 변화(ΔG°)는 작아지므로, BNO_3 수용액을 CSO_4 수용액으로 바꾸면 전지 반응의 자유 에너지 변화(ΔG°)는 증가한다.

오답피하기 ㄱ. 표준 전지 전위($E^\circ_{전지}$)는 (환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위)−(산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위)이므로, (가)의 표준 전지 전위($E^\circ_{전지}$)는 0.76 V이고 (나)의 표준 전지 전위는 1.56 V이다. 따라서 표준 전지 전위는 (나)가 (가)보다 크다.

ㄴ. (가)에서 B를 C로 바꾸어도 수소 이온이 전자를 얻는 환원 반응은 변하지 않으므로 표준 전지 전위는 변하지 않는다.

18 1차 반응

해설 | 강철 용기에 $A(g)$와 $B(g)$를 넣고 반응시켰을 때, 반응물 3분자가 반응하여 생성물 2분자가 생성되므로 반응이 진행될수록 용기 내 압력은 감소한다. 압력은 0~4분 사이에 4, 4~8분 사이에 2, 8~12분 사이에 1만큼 감소했고, 강철 용기에서 부피 변화가 없으므로 압력은 농도에 비례한다.

시간(분)	0	4	8	12
실험 Ⅰ	24	20	18	17
압력의 변화	4 감소	2 감소	1 감소	

정답맞히기 ㄱ. 이 반응은 반응물의 농도가 감소함에 따라 반응 속도가 비례하여 감소한 것으로, 반응 속도가 반응물의 농도에 정비례하여 감소하는 1차 반응이고 반감기는 4분으로 일정하다.

ㄴ. $2A(g)+B(g) \longrightarrow 2C(g)$ 반응은 반감기가 4분인 1차 반응이므로, 4분 후에 A 또는 B의 압력이 반으로 줄어들어야 한다. 4분 후 압력의 변화는 다음과 같다.

	$2A(g)$	+ $B(g)$	$\longrightarrow$ $2C(g)$
초기 압력	a	b	0
0~4분	$-2x$	$-x$	$+2x$
4분 후 압력	$a-2x$	$b-x$	$+2x$

실험 Ⅰ에서 A와 B의 압력의 합이 24이고 4분 후에 20이 되었으므로, $a+b=24$, $a-2x+b-x+2x=a+b-x=24-x=20$이고 $x=4$이다. 4분 후에 A 또는 B의 압력이 반으로 줄어들어야 하는데 $x=4$이므로, a와 b는 각각 16과 8이다. 따라서 시간에 따른 $A(g)$와 $B(g)$의 압력은 다음과 같고 시간이 지나도 $A(g)$와 $B(g)$의 농도 비는 2 : 1로 일정하다.

시간(분)		0	4	8	12
실험 Ⅰ	합	24	20	18	17
	$A(g)$	16	8	4	2
	$B(g)$	8	4	2	1

오답피하기 ㄷ. 반감기는 농도에 관계없이 일정하므로 $2A(g)+B(g) \longrightarrow 2C(g)$의 반감기는 4분이고, $a+b=20$, $a-2x+b-x+2x=a+b-x=20-x=16$이고 $x=4$이다. 4분 후에 A 또는 B의 압력이 반으로 줄어들어야 하는데 $x=4$이므로, A에 대한 1차 반응이라면 a와 b는 각각 16과 4이고, B에 대한 1차 반응이라면 a와 b는 각각 12와 8이다. 만약 $a=16$, $b=4$이라면 4분 후 A의 압력은 8이 되고 B의 압력은 0이 되므로 반응은 더 이상 진행되지 않는다. 따라서 이 반응은 B에 대한 1차 반응이고 $a=12$, $b=8$이다. 시간에 따른 A와 B의 압력은 다음과 같고 ㉠=14이다.

시간(분)		0	4	8	12
실험 Ⅱ	합	20	16	14	14
	$A(g)$	12	4	0	0
	$B(g)$	8	4	2	2

19 평형 상수와 온도와 평형 이동

해설 | (가)에서 용기 내 압력이 P_1기압이므로 $A(g)$ 0.2몰과 $B(g)$ 0.7몰을 넣은 왼쪽 용기와 $B(g)$ 0.1몰과 $C(g)$ 0.4몰을 넣은 오른쪽 용기의 압력이 P_1기압으로 같다. 같은 온도와 압력에서 부피 비는 몰수 비와 같으므로 2 L의 용기에서 피스톤 왼쪽과 오른쪽의 부피는 각각 $\frac{9}{7}$ L, $\frac{5}{7}$ L이므로, T_1 K, P_1기압에서 0.1몰에 해당하는 부피는 $\frac{1}{7}$ L이다. (나)에서도 초기 몰수가 같으므로 초기 상태 T_2 K, P_2기압에서 0.1몰에 해당하는 부피는 $\frac{1}{7}$ L이다.

정답맞히기 ㄴ. 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g)$	+ $3B(g)$	$\rightleftarrows$ $2C(g)$
초기(몰)	0.2	0.7	0
반응(몰)	$-x$	$-3x$	$+2x$
평형(몰)	$0.2-x$	$0.7-3x$	$+2x$

온도와 압력이 같은 T_1 K, P_1기압의 평형 상태에서 실린더 왼쪽의 부피가 1 L이므로 총 몰수는 0.7몰이다. 따라서 $0.2-x+0.7-3x+2x=0.9-2x=0.7$, $x=0.1$(몰)이고, 평형 상태에서 [A]=0.1 M, [B]=0.4 M, [C]=0.2 M이므로

평형 상수 $K=\frac{[C]^2}{[A][B]^3}=\frac{0.2^2}{0.1\times0.4^3}=6.25$이다.

ㄷ. (나)에서도 T_2 K에서 평형 상태의 압력($\frac{8}{7}P_2$기압)이 초기 압력(P_2기압)의 $\frac{8}{7}$배이므로, 전체 분자 수는 평형 상태에서가 초기 상태에서의 $\frac{8}{7}$배이다. 따라서 $0.2-x+0.7-3x+2x=0.7\times\frac{8}{7}$, $x=0.05$(몰)이다. 평형 상태에서 피스톤의 왼쪽과 오른쪽에서 A, B, C의 몰수는 같고, 각각 0.15몰, 0.55몰, 0.1몰이므로 ㉠에 존재하는 C의 몰 분율은 0.125이다.

오답피하기 ㄱ. (가)와 (나)에서 초기 상태에 넣어 준 물질의 몰수는 동일한데, 평형 상태에 도달했을 때 (가)는 압력의 변화가 없었고 (나)는 압력이 증가했다. 따라서 평형 상수는 (나)가 (가)보다 작고 $\Delta H<0$이므로 $T_1<T_2$이다.

20 기체의 용해도와 물의 증기 압력

정답맞히기 ㄱ. 1기압, 15℃에서 물 1 L에 녹는 $O_2(g)$와 $N_2(g)$의 몰수 비가 2 : 1이므로 같은 몰수의 $O_2(g)$와 $N_2(g)$를 넣고 평형에 도달한 상태에서 물에 녹은 기체의 몰수 비는 $O_2 : N_2=2 : 1$이다.

ㄴ. 수증기압은 온도에 의해서만 변하므로 외부 압력이 2기압이 되어도 수증기압은 변하지 않는다. 따라서 $P=2$기압일 때 $O_2(g)$의 압력은 $P=1$기압일 때의 2배보다 크고 물에 용해되는 $O_2(g)$의 몰수는 $P=1$기압일 때의 2배보다 크다.

ㄷ. 압력이 같을 때 온도가 25℃가 되면 물에 용해되는 $N_2(g)$의 질량은 $\frac{1.2a}{1.4a}=\frac{6}{7}$배 감소하는데, 온도가 증가하면 수증기압이 증가하므로 $N_2(g)$의 부분 압력은 감소하고 물에 용해되는 $N_2(g)$의 질량은 15℃의 $\frac{6}{7}$배보다 작다.

실전 모의고사 2회

본문 133~137쪽

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

01 반응열과 에너지 보존

정답맞히기 가스의 연소 과정에서 발생한 열이 물에게 전달되어 물의 온도가 올라가고 물이 기화되어 수증기가 발생하므로 물의 엔탈피는 증가한다. 하지만 가스 연료의 화학 에너지가 열에너지, 빛에너지 및 일에너지 형태로 전환되고 에너지는 새롭게 생성되거나 소멸되지 않으므로 전체(계+주위)의 에너지는 항상 보존된다.

02 기체의 분출 속도

정답맞히기 (나)에서의 분출 시간이 (가)에서의 분출 시간보다 4배 크므로 (나)에서 사용한 기체 X의 분자량이 (가)에서 사용한 기체 H_2의 분자량보다 16배 크다. 따라서 X의 분자량은 32이다. 또한 (다)에서 사용한 기체는 X이고 온도는 (나)에서보다 4배 높으므로 (다)에서의 분출 시간은 (나)에서보다 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 ㉡은 $2t$이다.

03 신약 개발 과정

정답맞히기 A. 분자 모델링 과정에서는 컴퓨터 프로그램 등을 통해 복잡한 작업을 대신할 수 있다.

C. 신약이 개발되고 임상 시험까지 마치면 판매되기 전 정부 기관(식약처)으로부터 허가를 받아야 한다.

오답피하기 B. 동물 실험과는 별개로 사람을 대상으로 한 임상 시험은 생략 불가능한 단계이다.

04 자유 에너지와 평형 상수

정답맞히기 (가)와 (나)에서 온도가 같으므로 평형 상수는 일정하다. 따라서 $K_{(가)}=K_{(나)}$이다. 자발적인 반응의 방향은 자유 에너지(G)가 감소($\Delta G<0$)하는 방향이다. 따라서 (가)에서는 정반응, (나)에서는 역반응이 자발적이다.

05 삼투압

해설 | 삼투 현상에서 용매의 이동이 일어나는 이유는 반투막을 통과하여 순수한 용매에서 용액 쪽으로 이동하는 용매 분자가 용액에서 순수한 용매 쪽으로 이동하는 용매 분자보다 많기 때문이다.

정답맞히기 수용액의 농도가 묽을수록 용매가 이동할 때 용질의 방해를 적게 받으며, 수용액의 높이가 높을수록 반투막에 가해지는 압력이 커서 반투막을 통해 순수한 용매 쪽으로 이동하는 용매 분자가 많다. 따라서 시간이 지남에 따라 왼쪽 물의 높이가 낮아지므로 단위 시간당 A 방향으로 이동하는 물 분자 수는 점점 감소한다. 설탕 수용액은 높이가 높아지면서 농도가 묽어지므로 B 방향으로 단위 시간당 이동하는 물 분자 수는 점차 증가한다. 또한 양쪽 수용액의 높이가 더 이상 변하지 않으면 평형에 도달한 것이므로 단위 시간당 A 방향으로 이동하는 물 분자 수와 B 방향으로 이동하는 물 분자 수는 같다.

06 분자 사이의 인력

정답맞히기 액체 상태에서 분자 사이에 작용하는 인력은 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘, 수소 결합이다. 분산력은 극성 분자와 무극성 분자 모두에 작용하므로 주어진 5가지 분자 모두에 작용한다. 쌍극자·쌍극자 힘은 극성 분자 사이에 작용하므로 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 아닌 4가지 분자(HF, HCl, H_2O, HCHO)에 작용한다. 수소 결합은 극성 분자 중 F, O, N와 결합한 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 사이에 작용하므로 2가지 분자(HF, H_2O)에 작용한다.

07 화학 반응식과 평형 상수

정답맞히기 (가)에서 온도가 일정하게 유지될 때 평형 상수(K)는 일정하다. $K=\frac{[B]^b}{[A]}$에서 [A]와 [B]가 정비례하므로 $b=1$이다. (나)에서 온도가 증가함에 따라 평형 상수(K)가 감소하므로 역반응이 우세하게 진행된다. 르샤틀리에 원리에 의하면 평형 이동은 변화를 상쇄하려는 방향으로 반응이 우세하게 진행되므로 정반응은 발열 반응($\Delta H<0$)이다.

08 액체의 증기 압력

정답맞히기 ㄱ. 온도가 높을수록 액체 표면에서 증발하는 분자 수가 커져 증기 압력이 커진다. 따라서 X(l)의 온도를 30℃에서 50℃로 높이면 수은 기둥의 높이 차는 h_1보다 커진다.

ㄴ. Y(l)에 비휘발성 용질을 녹이면 용액 표면에서 증발할 수 있는 입자 수가 감소하므로 증기 압력 내림이 나타난다. 따라서 수은 기둥의 높이 차는 h_1보다 커진다.

오답피하기 ㄷ. 액체의 양과 증기 압력의 크기는 관계가 없으므로 왼쪽 용기에 X(l)를 10 mL 더 넣더라도 수은 기둥의 높이 차는 h_1과 같다.

09 용액의 농도

정답맞히기 ㄴ. H_2O의 질량은 용액의 질량(2400 g)에서 용질 H_2SO_4의 질량($196a$ g)을 뺀 값이므로 $(2400-196a)$ g이다.

ㄷ. 몰랄 농도는 용질의 몰수(몰)를 용매의 질량(kg)으로 나눈 값이므로 $H_2SO_4(aq)$의 몰랄 농도는 $\frac{2a}{\frac{2400-196a}{1000}}=\frac{500a}{600-49a}$ m이다.

오답피하기 ㄱ. $H_2SO_4(aq)$의 밀도가 1.2 g/mL이므로 2 L의 질량은 2400 g이다. H_2SO_4의 몰 농도가 a M이므로 2 L에 들어 있는 몰수는 $2a$몰($196a$ g)이고, 퍼센트 농도는 $\frac{196a}{2400}\times100=\frac{49a}{6}(\%)$ $>8a(\%)$이다.

10 금속 결정 단위세포 모형

정답맞히기 (가)는 면심입방 구조, (나)는 체심입방 구조이다. 단위세포당 원자 수는 (가)에서 $4\left(=\frac{1}{8}\times8+\frac{1}{2}\times6\right)$이고,

(나)에서 $2\left(=\frac{1}{8}\times8+\frac{1}{1}\times1\right)$이다. 따라서 $2=㉠\times x(4)$이므로 ㉠은 $\frac{1}{2}$이다.

한 원자에 가장 인접한 원자 수는 (가)에서 12, (나)에서 8이다. 따라서 $8=㉡\times y(12)$이므로 ㉡은 $\frac{2}{3}$이다.

꼭짓점에 위치한 원자가 하나의 단위세포에 포함된 비율은 (가)와 (나)에서 모두 $\frac{1}{8}$이다. 따라서 $\frac{1}{8}=㉢\times z\left(\frac{1}{8}\right)$이므로 ㉢은 1이다.

그러므로 $\frac{㉠\times㉡}{㉢}=\frac{\frac{1}{2}\times\frac{2}{3}}{1}=\frac{1}{3}$이다.

11 생성 엔탈피와 헤스 법칙

정답맞히기 ㄱ. C(s, 흑연) ⟶ C(s, 다이아몬드)의 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 생성 엔탈피(1.9 kJ/몰)에서 반응물의 생성 엔탈피(0 kJ/몰)를 뺀 값이므로 1.9 kJ이다. 따라서 흡열 반응이 일어나므로 주위의 엔트로피는 감소한다.

ㄷ. $O_3(g)$의 생성 엔탈피가 143 kJ/몰이므로 $3O_2(g) \longrightarrow 2O_3(g)$은 흡열 반응($\Delta H>0$)이다. 또한 3개의 기체 분자가 모여 2개의 기체 분자가 되면서 기체의 몰수가 감소하는 반응이므로 엔트로피는 감소($\Delta S<0$)한다. 따라서 이 반응은 $\Delta H>0$, $\Delta S<0$이므로 모든 온도에서 비자발적이다.

오답피하기 ㄴ. C(s, 다이아몬드)+$O_2(g)$ ⟶ $CO_2(g)$의 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 생성 엔탈피(−393.5 kJ/몰)에서 반응물의 생성 엔탈피 합(1.9 kJ/몰+0 kJ/몰)을 뺀 값이므로 −395.4 kJ이다.

12 활성화 에너지와 반응 엔탈피(ΔH)

해설 | 정반응의 활성화 에너지를 E_a, 역반응의 활성화 에너지를 E_a', 반응 엔탈피를 ΔH라고 할 때 $E_a'=E_a-\Delta H$이다.

정답맞히기 ㄴ. 발열 반응에서는 E_a'가 E_a보다 크고, 흡열 반응에서는 E_a가 E_a'보다 크다. 따라서 $10<a<30$이면 (가)와 (다)는 정반응이 발열 반응이고, (나)는 정반응이 흡열 반응이다.

ㄷ. $E_{a(나)}'=E_{a(나)}-\Delta H_{(나)}$이고 $E_{a(다)}'=E_{a(다)}-\Delta H_{(다)}$이다. $\Delta H_{(나)}=-\Delta H_{(다)}$이면 $E_{a(나)}-E_{a(나)}'=E_{a(다)}'-E_{a(다)}$이고, a kJ−10 kJ=90 kJ−a kJ이므로 a=50이다.

오답피하기 ㄱ. 역반응의 활성화 에너지는 정반응의 활성화 에너지에서 ΔH를 뺀 값과 같으므로 $E_{a(나)}'=E_{a(나)}-\Delta H_{(나)}$이고 $E_{a(다)}'=E_{a(다)}-\Delta H_{(다)}$이다. $E_{a(나)}$와 $E_{a(다)}$가 같으므로 $E_{a(나)}'+\Delta H_{(나)}=E_{a(다)}'+\Delta H_{(다)}$이다.

따라서 $\Delta H_{(다)}=E_{a(나)}'+\Delta H_{(나)}-E_{a(다)}'$=10 kJ+$\Delta H_{(나)}$−90 kJ이므로 $\Delta H_{(다)}$는 $\Delta H_{(나)}$보다 80 kJ 작다.

13 반응 엔탈피와 반응의 자발성

정답맞히기 ㄱ. 그림에서 y절편은 ΔH에 해당하므로 (가)와 (다)는 $\Delta H>0$이고, (나)와 (라)는 $\Delta H<0$이다. 따라서 반응이 진행됨에 따라 주위의 엔탈피가 증가하는 반응은 발열 반응($\Delta H<0$)이므로 (나)와 (라) 2가지이다.

ㄷ. $A_2(g)+3B_2(g) \longrightarrow 2AB_3(g)$의 반응 엔탈피($\Delta H$)는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값에 해당하므로 ΔH=(A≡A의 결합 에너지+B−B의 결합 에너지×3)−(A−B의 결합 에너지×2×3)=(945+436×3)−(390×2×3)=−87(kJ)이다. 또한 전체 기체의 몰수 비가 반응 전 : 반응 후=4 : 2=2 : 1이므로 $\Delta S<0$인 반응이다. 따라서 y절편이 (−)이고 직선의 기울기가 (+)인 (나)에 해당한다.

오답피하기 ㄴ. 모든 온도에서 자발적인 반응은 $\Delta H<0$이고, $\Delta S>0$인 반응이다. $\Delta S>0$인 반응은 직선의 기울기($-\Delta S$)가 (−)이다. 따라서 이에 해당하는 반응은 (라) 1가지이다. (나)의 경우 직선의 기울기가 (+)이므로 고온에서는 비자발적인 반응이다.

14 기체의 압력과 반응 속도

정답맞히기 ㄴ. t~$2t$에서의 압력 감소량 1.5기압은 $2t$~$3t$에서의 압력 감소량인 0.375기압의 4배에 해당한다. 반감기는 일정하므로 0~t에서의 압력 감소량은 t~$2t$에서의 압력 감소량의 4배인 6기압이다. 따라서 반감기는 0.5t이고 A(g), B(g)의 압력을 각각 P_A, P_B, 전체 기체의 압력을 P_T라고 할 때 각 기체의 압력을 정리하면 다음과 같다.

시간	0	0.5t	t	1.5t	2t	2.5t	3t
P_A(기압)	16	8	4	2	1	0.5	0.25
P_B(기압)	0	4	6	7	7.5	7.75	7.875
P_T(기압)	16	12	10	9	8.5	8.25	8.125

ㄷ. 2t에서 B(g)의 부분 압력은 7.5기압이다.

오답피하기 ㄱ. 온도와 부피가 일정하므로 기체의 압력은 기체의 몰수에 비례한다. 반감기가 t라고 가정하면 t~$2t$에서의 압력 감소량(기체의 몰수 감소량)은 $2t$~$3t$에서의 압력 감소량의 2배여야 하는데 주어진 상황과 일치하지 않는다. 따라서 반감기는 t가 아니다.

15 표준 환원 전위와 전기 분해

정답맞히기 ㄱ. 반응 초기에 (−)극에서는 표준 환원 전위가 가장 큰 환원 반응이 먼저 일어난다($B^+(aq)+e^- \longrightarrow B(s)$). (+)극에서는 A와 H_2O 중 표준 환원 전위가 작은 A의 산화 반응($A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-$)이 일어난다. 따라서 감소한 이온 수가 증가한 이온 수보다 크므로 수용액 속의 총 이온 수는 감소한다.

오답피하기 ㄴ. 전자 2몰에 해당하는 전하량이 흐를 때 (−)극에서는 B^+ 0.5몰이 먼저 환원되면서 전자 0.5몰에 해당하는 전하량이 필요하다($B^+(aq)+e^- \longrightarrow B(s)$). (+)극에서 A의 산화 반응이 일어나면서 계속 A^{2+}이 생성되므로 B^+이 모두 환원된 이후에는 A^{2+}의 환원 반응이 일어난다. 따라서 (−)극에서는 기체가 생성되지 않는다.

ㄷ. (+) 전극을 A 대신 Pt으로 바꾸면 A의 산화 반응 대신 물의 산화 반응($2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$)이 진행되므로 수용액 속의 A^{2+} 수는 0.5몰이다. 따라서 (−)극에서는 B(s)와 A(s)가 각각 0.5몰씩 생성되고 이후에는 물의 환원 반응($2H_2O(l)+2e^- \longrightarrow H_2(g)+2OH^-(aq)$)이 일어나므로 전기 분해가 끝난 후 (−)극의 질량은 A 전극과 Pt 전극을 사용할 때가 서로 다르다.

16 약산의 이온화 상수와 이온화도

정답맞히기 ③ (나)의 pH=3이므로 $[H_3O^+]=1\times10^{-3}$ M이고 $\frac{[X^-]}{[HX]}=1$이므로 $K_a=\frac{[H_3O^+][X^-]}{[HX]}=[H_3O^+]=1\times10^{-3}$이다.

(가)에서 $\frac{[X^-]}{[HX]}=9$이므로 $K_a=\frac{[H_3O^+][X^-]}{[HX]}=1\times10^{-3}$이고 $[H_3O^+]=\frac{1}{9}\times10^{-3}$ M이다. 따라서 $pH=-\log(\frac{1}{9}\times10^{-3})=3+\log9<4$이다.

오답피하기 ① 온도가 같으므로 HX의 이온화 상수(K_a)는 (가)~(다)가 모두 같다.

② 이온화도(α)$=\frac{\text{이온화된 전해질의 몰수}}{\text{용해된 전해질의 몰수}}$이므로 $\frac{[X^-]}{[HX]}=\frac{1}{9}$인 (다)에서 α는 $\frac{1}{9+1}=\frac{1}{10}$이다.

④ (가)에서 HX의 이온화도 $\alpha=0.9$이고, 이온화 상수 $K_a=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}=\frac{C\times0.9^2}{1-0.9}=10^{-3}$이므로 $C=\frac{10^{-4}}{0.81}$ M이다. (나)에서 HX의 이온화도 $\alpha=0.5$이고, 이온화 상수 $K_a=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}=\frac{C\times0.5^2}{1-0.5}=10^{-3}$이므로 $C=2\times10^{-3}$ M이다. 따라서 HX(aq)의 초기 몰 농도는 (가)<(나)이다.

⑤ $[X^-]=C\alpha$이므로 (가)에서 $[X^-]=\frac{10^{-4}}{0.81}\times0.9=\frac{1}{9}\times10^{-3}$ M이다. (다)에서 HX의 이온화도 $\alpha=0.1$이고, 이온화 상수 $K_a=\frac{C\alpha^2}{1-\alpha}=\frac{C\times0.1^2}{1-0.1}=10^{-3}$이므로 $C=9\times10^{-2}$ M이고 $[X^-]=9\times10^{-2}\times0.1=9\times10^{-3}$ M이다. 따라서 $[X^-]$는 (가)<(다)이다.

17 용액의 끓는점 오름과 어는점 내림

정답맞히기 ㄱ. 녹인 용질의 질량을 x, A의 화학식량을 M_A, B의 화학식량을 M_B라고 가정한다.
(가)의 끓는점이 $(100+a)$℃이므로 $\Delta T_b=K_b\times m$이고 a℃$=a$℃/$m\times m$에서 몰랄 농도는 1 m이다. 그러므로 1 $m=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}=\frac{\frac{x}{M_A}}{0.1\text{ kg}}$이고 $M_A=10x$이다.

(나)의 어는점이 $-\frac{2}{3}b$℃이므로 $\Delta T_f=K_f\times m$이고 $\frac{2}{3}b$℃$=b$℃/$m\times m$에서 몰랄 농도는 $\frac{2}{3}m$이다.

그러므로 $\frac{2}{3}m=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}=\frac{\frac{x}{M_B}}{0.3\text{ kg}}$이고 $M_B=5x$이다.
따라서 $M_A:M_B=10x:5x=2:1$이다.

ㄴ. (가)와 (나)를 섞은 혼합 용액의 끓는점 오름은 용질의 종류와 상관없이 용질의 총 몰수에 비례한다. 그러므로 용매의 질량은 0.4 kg이고 용질의 몰수는 A가 0.1몰($\frac{x}{10x}$), B가 0.2몰($\frac{x}{5x}$)이므로 혼합 용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.3\text{몰}}{0.4\text{ kg}}=\frac{3}{4}m$이고 끓는점은 $(100+\frac{3}{4}a)$℃이다.

오답피하기 ㄷ. (가)에서 처음 용액의 질량은 $(100+x)$ g이다. 물을 첨가해 용액의 질량이 2배가 되면 용질의 질량은 x g, 물의 질량은 $(200+x)$ g이며, 용액의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{x}{10x}}{\frac{200+x}{1000}}=\frac{100}{200+x}$이다.
용액의 어는점이 $-\frac{1}{2}b$℃가 되려면 용액의 몰랄 농도는 0.5 m가 되어야 하는데 $\frac{100}{200+x}\neq0.5$이므로 용액의 어는점은 $-\frac{1}{2}b$℃보다 높다.

18 평형 이동과 평형 상수

정답맞히기 반응한 A(g)의 몰수를 a몰이라고 하면 평형 Ⅰ까지의 양적 관계는 다음과 같다.

	A(g) +	B(g) ⟷	2C(g)
반응 전(몰)	3	1.5	0
반응(몰)	$-a$	$-a$	$+2a$
반응 후(몰)	$3-a$	$1.5-a$	$2a$

평형 Ⅰ에서 A(g)와 C(g)의 몰수가 같으므로 $3-a=2a$이고 $a=1$이며 $x=2$이다. 반응 전후 기체의 몰수가 같으므로 농도로 정의되는 평형 상수는 몰수로 정의될 수 있고,
평형 상수 $K=\frac{[C]^2}{[A][B]}=\frac{2^2}{2\times0.5}=4$이다.

평형 Ⅰ에 C(g) 3몰을 추가로 넣었을 때 평형 Ⅱ까지의 양적 관계는 다음과 같다.

	A(g) +	B(g) ⟷	2C(g)
반응 전(몰)	2	0.5	5
반응(몰)	$+b$	$+b$	$-2b$
반응 후(몰)	$2+b$	$0.5+b$	$5-2b$

평형 Ⅰ과 평형 Ⅱ에서 온도가 같으므로 평형 상수(K)는 같다. 그러므로 평형 상수 $K=\frac{(5-2b)^2}{(2+b)\times(0.5+b)}=4$이고, 방정식을 풀면 $b=0.7$이며 $y=1.2$이다. 따라서 $x\times y=2\times1.2=2.4$이다.

19 엔탈피와 엔트로피 및 자유 에너지

정답맞히기 ㄴ. T_2 K과 T_3 K은 $\Delta S_{\text{전체}}=0$인 지점이고 기화 과정에서 $\Delta G=0$이므로 두 액체의 끓는점에 해당한다. (가)에서 끓는점은 A(l)가 B(l)보다 높으므로 $T_1=T_3$이다.

오답피하기 ㄱ. 두 반응은 모두 기화되는 과정이므로 흡열 반응이다. (가)에서 같은 몰수의 A(l)와 B(l)를 가열할 때 A(l)가 기화되는 과정에서가 B(l)가 기화되는 과정에서보다 가한 열량이 크다. 따라서 $\Delta H_1>\Delta H_2$이다.

ㄷ. ㉠은 B(l), ㉡은 A(l)의 기화 과정에 해당하고 T_2 K과 T_3 K에서 $\Delta S_{\text{전체}}=0$이므로 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S=0$이다.
따라서 $\Delta H_1-T_3\Delta S_1=\Delta H_2-T_2\Delta S_2$이고, $\Delta H_1>\Delta H_2>0$이므로 $T_3\Delta S_1>T_2\Delta S_2$이며 $\frac{T_3}{T_2}>\frac{\Delta S_2}{\Delta S_1}$이다.

20 약산과 강염기의 중화 반응

정답맞히기 HA(aq)과 NaOH(aq)을 혼합하면 중화 반응이 일어나서 A^-(aq)과 물이 생성된다. 반응 후 HA(aq)의 몰수는 혼합한 NaOH(aq)의 몰수만큼 감소하고, A^-(aq)의 몰수는 혼합한 NaOH(aq)의 몰수와 같다.
(가)에서 0.1 M HA(aq) 100 mL와 x M NaOH(aq) 50 mL를 혼합하였을 때, $\frac{[A^-]}{[HA]}=\frac{1}{4}$이므로 다음 식이 성립한다.

$\frac{[A^-]}{[HA]}=\frac{x\times50}{0.1\times100-x\times50}=\frac{1}{4}$이므로 $x=\frac{1}{25}$이다.
또한 혼합 용액 (가)의 pH는 4이므로 약산 HA(aq)의 이온화 상수

$K_a=\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}=\frac{[A^-]}{[HA]}\times[H_3O^+]=\frac{1}{4}\times1.0\times10^{-4}=2.5\times10^{-5}$이다.

(가)와 (나)에서 온도가 같으므로 HA(aq)의 이온화 상수(K_a)는 같다. (나)에서 y M HA(aq) 50 mL와 x M NaOH(aq) 50 mL를 혼합하였을 때, pH는 5이므로 HA(aq)의 이온화 상수 $K_a=\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}=\frac{[A^-]\times1.0\times10^{-5}}{[HA]}=2.5\times10^{-5}$이고, $\frac{[A^-]}{[HA]}=2.5$이다. $\frac{[A^-]}{[HA]}=\frac{x\times50}{y\times50-x\times50}=\frac{2}{y\times50-2}=2.5$이고, $y=\frac{7}{125}$이므로 $\frac{y}{x}=\frac{\frac{7}{125}}{\frac{1}{25}}=\frac{7}{5}=1.4$이다.

실전 모의고사 3회

본문 138~142쪽

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

01 분자 간 인력

해설 | 4가지 수소 화합물은 16족 원소의 수소 화합물이므로 모두 극성 분자이고, 이 중 분자 간 수소 결합을 할 수 있는 분자는 H_2O 1가지이다.

정답맞히기 ㄱ. 4가지 분자 중 분자량이 가장 작은 물이 끓는점이 가장 높다. 따라서 H_2O이 액체 상태에서 수소 결합이 존재한다.

오답피하기 ㄴ. 분산력은 모든 분자가 가지고 있는 분자 간 힘으로 분자량이 클수록 분산력이 크므로 5주기 16족 원소와 결합한 수소 화합물인 H_2Te의 분산력이 가장 크다.

ㄷ. 기준 끓는점은 $H_2S<H_2Se$이다. 16족 원소의 수소 화합물인 두 분자는 쌍극자·쌍극자 힘이 존재하지만 분자의 극성이 더 큰 H_2S의 끓는점이 더 낮으므로 이는 주요 요인이 아니다. 분자량이 큰 H_2Se의 기준 끓는점이 더 높으므로 분산력이 기준 끓는점 차이의 주요 원인임을 알 수 있다.

02 기체의 성질

해설 | 그래프의 x축이 $\frac{1}{\text{압력}}$이므로 X(g)의 압력은 A, B, C에서 각각 1기압, $\frac{1}{2}$기압, $\frac{1}{4}$기압이다.

정답맞히기 ㄱ. 같은 온도에서 기체의 몰수는 기체의 압력과 부피의 곱(PV)에 비례하므로 A~C에서 X(g)의 몰수 비는 A:B:C=1×1:$\frac{1}{2}$×2:$\frac{1}{4}$×2=2:2:1이다. 따라서 X(g) 분자 수는 A=B>C이다.

ㄷ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. A~C에서의 온도가 모두 t℃로 같으므로 A~C에서 X(g)의 평균 운동 에너지는 모두 같다.

오답피하기 ㄴ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 $n=\frac{w}{M}$이고, $d=\frac{w}{V}$이므로 $d=\frac{PM}{RT}$이다. A~C에서 기체는 X로 같고, 온도는 t℃로 같으므로 A~C에서 X(g)의 밀도 비는 A~C에서의 X(g)의 압력 비이다. 따라서 A~C에서 X(g)의 밀도 비는 A:B:C=1:$\frac{1}{2}$:$\frac{1}{4}$=4:2:1이므로 A>B>C이다.

03 고체 결정의 성질

정답맞히기 ㄱ. (가), (나)는 각각 원자들의 공유 결합으로 형성된 분자들이 분자 간의 약한 인력에 의해 규칙적으로 배열되어 이루어진 결정이므로 분자 결정이다.

ㄴ. (가), (나)는 각각 얼음($H_2O(s)$), 드라이아이스($CO_2(s)$)로 고체를 이루고 있는 분자들이 규칙적으로 배열된 결정성 고체이므로 (가), (나) 모두 분자 간 인력의 크기가 일정하다. 따라서 녹는점이 일정하다.

오답피하기 ㄷ. (가)와 (나)는 각각 원자들의 공유 결합으로 형성된 분자들이 분자 간 약한 인력에 의해 규칙적으로 배열되어 이루어진 분자 결정이다. 따라서 고체, 액체 상태에서 전기 전도성이 없다.

04 화학 전지와 전기 분해

해설 | 화학 전지에서는 (−)극에서 산화 반응, (+)극에서 환원 반응이 일어나고, 전기 분해에서는 (−)극에서 환원 반응, (+)극에서 산화 반응이 일어난다.

정답맞히기 ㄱ. (가)의 화학 전지에서는 두 반쪽 반응 중 표준 환원 전위($E°$)가 큰 쪽에서 환원 반응이 일어나고, 작은 쪽에서 산화 반응이 일어난다. 화학 전지의 구성을 볼 때, 산화 반응이 일어나는 (−)극에서는 금속판의 질량이 감소하고, 환원 반응이 일어나는 금속판에서는 $H_2O(l)$이 대신 환원되지 않는 한 질량이 증가한다. (가)에서 전극 Y의 질량이 증가하였으므로 X는 (−)극, Y는 (+)극이다. 따라서 표준 환원 전위($E°$)는 b가 a보다 크다.

ㄴ. (가)에서 일어나는 산화 환원 반응의 전체 화학 반응식은 $X(s)+2Y^+(aq)\longrightarrow X^{2+}(aq)+2Y(s)$이다. 따라서 전류가 흐르면 감소하는 X와 생성되는 Y의 몰수 비는 1:2이고, 원자량은 Y가 X보다 크므로 단위 시간당 질량 변화량은 전극 Y가 전극 X보다 크다.

오답피하기 ㄷ. (나)는 전기 분해 장치로 (−)극에서는 환원 반응이 일어나고, (+)극에서는 산화 반응이 일어난다. 이때 전극 X의 질량이 증가하였으므로 수용액 속의 Y^+이 환원되었음을 알 수 있다. 따라서 (가)에서 금속 X는 산화되지만 (나)에서 금속 X는 반응하지 않는다.

05 모세관 현상

해설 | 액체 속에 모세관을 넣었을 때 모세관 내의 액체 면이 외부의 액체 면보다 높아지거나 낮아지는 현상을 모세관 현상이라고 한다. (가)에서는 물과 유리관 사이의 부착력이 물의 응집력보다 크기 때문

에 수면의 모양은 아래로 볼록하고 수면은 위로 올라간다. (나)에서는 수은의 응집력이 유리관과 수은 사이의 부착력보다 크기 때문에 수은면의 모양은 위로 볼록하고, 수은 면은 아래로 내려간다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에 물보다 표면 장력이 작은 에탄올을 첨가하면 에탄올이 물 분자 사이의 인력을 감소시키므로 물 분자 사이의 응집력이 약해진다. 따라서 h는 작아진다.

ㄴ. (가)에서 유리관의 안지름이 더 작은 유리관을 사용하면 같은 높이에 해당하는 물의 양이 작아 중력이 작아지므로 부착력에 의한 수면의 상승이 더 많이 일어난다. 따라서 유리관의 안지름이 작은 유리관을 사용하면 h는 커진다.

ㄷ. (나)에서는 수은의 응집력이 유리관과 수은 사이의 부착력보다 크다. 따라서 수은 사이의 인력이 유리관과 수은 사이의 인력보다 크다.

06 몰 농도를 퍼센트 농도와 몰랄 농도로 환산

해설 | 용액에 녹아 있는 용질의 몰수는 용액의 몰 농도와 용액의 부피의 곱으로부터 또는 용액에 녹아 있는 용질의 질량을 화학식량으로 나누어 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 용질의 몰수(몰)=용액의 몰 농도(몰/L)×용액의 부피(L)이므로 (가)~(다)에서 용질의 몰수(몰)는 각각 $2ab$, $6ab$, $2ab$이다. 따라서 용질의 몰수는 (나)에서가 (가)에서의 3배이므로 화학식량은 A가 B의 3배이다.

ㄴ. 퍼센트 농도(%)$=\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times 100$이며 수용액의 밀도는 1 g/mL이므로 (가)와 (나)에서 용액의 질량 비는 1 : 3이고, 용질의 질량이 같으므로 퍼센트 농도는 (가)가 (나)의 3배이다.

오답피하기 ㄷ. (가)와 (다)에서 용질의 몰수가 같으므로 몰랄 농도가 (가)가 (다)의 2배가 되려면 용매의 질량이 (다)가 (가)의 2배가 되어야 한다. 하지만 용질의 질량이 같고, 용액의 질량은 (다)가 (가)의 2배이므로 몰랄 농도는 (가)가 (다)의 2배보다 크다.

07 용액의 농도와 총괄성

해설 | 퍼센트 농도(%)$=\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times 100$, 몰랄 농도($m$)$=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$, 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)$=\frac{n_{\text{용질}}}{n_{\text{용질}}+n_{\text{용매}}}$

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 어는점 내림(ΔT_f)과 끓는점 오름(ΔT_b)은 용매의 몰랄 내림 상수(K_f) 또는 몰랄 오름 상수(K_b)와 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다.

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

또한 용액의 증기 압력($P_{\text{용액}}$)은 용매의 몰 분율($X_{\text{용매}}$)에 비례한다.

$P_{\text{용액}}=P_{\text{용매}}\times X_{\text{용매}}$

(가) 0.5 m 포도당 수용액은 물 1000 g에 용질인 포도당이 0.5몰 녹아 있는 용액이고, (나) 3% 요소 수용액은 물 970 g에 용질인 요소가 30 g(=0.5몰) 녹아 있으므로 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)과 몰랄 농도(m) 모두 (나)가 (가)보다 크다.

정답맞히기 ㄴ. 몰랄 농도(m)는 (나)가 (가)보다 크므로 끓는점 오름($\Delta T_b=K_b\times m$)도 (나)가 (가)보다 크다.

ㄷ. 몰랄 농도는 (나)가 (가)보다 크므로 어는점 내림($\Delta T_f=K_f\times m$)도 (나)가 (가)보다 크다. 따라서 기준 어는점은 (가)가 (나)보다 높다.

오답피하기 ㄱ. 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)은 (나)가 (가)보다 크므로 용매의 몰 분율($X_{\text{용매}}$)은 (가)가 (나)보다 크다. 따라서 용액의 증기 압력($P_{\text{용액}}=P_{\text{용매}}\times X_{\text{용매}}$)은 (가)가 (나)보다 크다.

08 반응 엔탈피

해설 | 기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합)−(생성물의 결합 에너지 총합)이다. 생성 엔탈피는 물질 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다.

정답맞히기 ㄴ. ΔH_2는 $CO_2(g)+2H_2O(g)\longrightarrow CH_4(g)+2O_2(g)$의 반응 엔탈피이므로 (반응물의 결합 에너지 총합)−(생성물의 결합 에너지 총합)$=-4a+2b+4c-2d$이다.

오답피하기 ㄱ. ΔH_1은 $CH_4(g)+2O_2(g)\longrightarrow C(g)+4H(g)+4O(g)$의 반응 엔탈피이므로 $\Delta H_1=4a+2d$로 $a=\frac{1}{4}(\Delta H_1-2d)$이다.

ㄷ. 25℃, 1기압에서 탄소의 동소체 중 가장 안정한 물질은 C(s, 흑연)이므로 $CO_2(g)$의 생성 엔탈피는 C(s, 흑연)$+O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)$의 반응 엔탈피이다. 하지만 $(-2b+d)$ kJ은 $C(g)+O_2(g)\longrightarrow CO_2(g)$의 반응 엔탈피이므로 $CO_2(g)$의 생성 엔탈피가 아니다.

09 온도에 따른 ΔG의 변화

해설 | $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 $y=\Delta G$, $x=T$라고 놓으면 $y=-\Delta Sx+\Delta H$이므로 ΔH는 y절편이며, $-\Delta S$는 기울기이다.

정답맞히기 ㄱ. 반응 (가)는 기울기($-\Delta S$)>0이므로 반응 엔트로피(ΔS)는 0보다 작다.

ㄴ. 반응 (나)는 y절편(ΔH)>0이므로 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 크다.

오답피하기 ㄷ. T_1 K, 표준 상태에서 (가)는 $\Delta G>0$이므로 비자발적인 반응이다.

10 상평형 그림

해설 | 일정한 온도에서 증발과 응축이 평형을 이루고 있을 때 부피를 줄이면 기체의 압력이 커져서 응축 속도가 증가한다. 기체 분자의 수가 감소하여 증기 압력과 같아지면 증발과 응축이 다시 평형을 이루게 된다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 실린더 내부는 액체와 기체가 평형을 이루고 있는 상태로서 (나)의 증기 압력 곡선 위의 압력과 온도이다. 따라서 (가)에서 실린더 내부의 압력은 삼중점의 압력인 P기압보다 크다.

ㄴ. (가)의 온도가 삼중점의 온도인 t_1℃가 되면, 실린더 내부는 고체, 액체, 기체가 상평형을 이루게 된다.

오답피하기 ㄷ. (가)의 고정 장치를 제거하고 부피를 $\frac{1}{2}$배로 줄인 순간에는 기체가 들어 있는 공간이 작아져 기체의 압력이 커지지만, 증가한 기체의 압력으로 인해 증발 속도보다 응축 속도가 빨라져 점점 기

체 분자 수가 감소하여 기체의 압력이 감소하게 되는데 25℃에서의 증기 압력까지만 감소하게 되므로 평형 상태에서 내부 압력은 처음 평형 상태에서와 같다.

11 평형 상수와 화학 반응식의 계수 관계

해설 | 두 평형에서의 온도가 같으므로 평형 상수(K)는 같다. 즉 $\frac{[B]^b}{[A]^a}=K=\frac{10^b}{10^a}=\frac{5^b}{2.5^a}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 평형 Ⅰ에서 평형 상수식은 $K_{Ⅰ}=\frac{10^b}{10^a}$이고, 평형 Ⅱ에서 평형 상수식은 $K_{Ⅱ}=\frac{5^b}{2.5^a}$이다.

두 평형에서 온도가 같으므로 $K_{Ⅰ}=K_{Ⅱ}$이다. 따라서 $\frac{10^b}{10^a}=\frac{5^b}{2.5^a}$이고, $\left(\frac{10}{5}\right)^b=\left(\frac{10}{2.5}\right)^a$이다. $2^b=2^{2a}$이므로 $b=2a$이다. 즉 $\frac{b}{a}=2$이다.

오답피하기 ㄴ. 반응 계수는 가장 간단한 정수 비이므로 $a=1$, $b=2$이며, 평형 상수 $K=\frac{10^2}{10^1}=10$이다.

ㄷ. 평형 상수식에 대입하면 $K=\frac{[B]^2}{3}=10$이므로 $[B]=\sqrt{30}\,(M)$이다.

12 염 수용액의 액성

해설 | 약산의 음이온은 물과 반응해서 OH^-을 생성하고, 약염기의 양이온은 물과 반응해서 H_3O^+을 생성한다. 따라서 25℃에서 약산과 강염기의 중화 반응에 의해 생성된 염 수용액의 pH는 7보다 크고, 강산과 약염기의 중화 반응에 의해 생성된 염 수용액의 pH는 7보다 작다.

정답맞히기 ㄴ. $BOH(aq)$이 $HA(aq)$과 중화 반응하였을 때 중화점에서의 pH가 9이고, $HC(aq)$과 중화 반응하였을 때 중화점에서의 pH가 7이므로 산의 세기는 HC가 HA보다 크다.

ㄷ. $HA(aq)$과 $BOH(aq)$이 완전히 중화되었을 때 pH가 9이므로 $[H_3O^+]=1.0\times10^{-9}\,M$이고, 물의 이온곱 상수($K_w$)는 1.0×10^{-14}이므로 $[OH^-]=\frac{K_w}{[H_3O^+]}=\frac{1.0\times10^{-14}}{1.0\times10^{-9}}=1.0\times10^{-5}\,M$이다.

따라서 $\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]}=\frac{1.0\times10^{-5}}{1.0\times10^{-9}}=1.0\times10^4$이다.

오답피하기 ㄱ. $BOH(aq)$이 $HA(aq)$, $HC(aq)$과 각각 중화 반응하였을 때 중화점에서의 pH가 각각 9, 7이므로 BOH는 강염기, HA는 약산, HC는 강산이다. 또한 $DOH(aq)$이 강산인 HC의 수용액과 반응하였을 때 중화점에서의 pH가 5이므로 DOH는 약염기이다. 염기의 세기가 클수록 염기의 이온화 상수(K_b)는 크다. 따라서 K_b는 BOH가 DOH보다 크다.

13 농도 변화에 의한 평형 이동

해설 | 반응물과 생성물의 농도가 알려져 있는 (가)에서 평형 상수를 구한 다음 평형 상수를 이용하여 (나)에서 C의 몰수를 구한다.

평형 상수 $K=\frac{[C]^2}{[A][B]^2}=\frac{2^2}{1\times1^2}=4$이다.

정답맞히기 ㄴ. 곡을 열면 기체가 존재하는 공간은 3 L가 되므로 $[A]=\frac{9}{3}=3\,M$, $[B]=\frac{5}{3}\,M$, $[C]=\frac{18}{3}=6\,M$이다. 이때의 반응 지수 $Q=\frac{6^2}{3\times\left(\frac{5}{3}\right)^2}=\frac{108}{25}$이므로 반응 지수($Q$)가 평형 상수($K$)보다 크다.

오답피하기 ㄱ. (나)도 평형 상태이므로 (가)의 평형 상수를 이용하여 (나)에서 C의 몰수 x를 구할 수 있다. 이때 (나) 용기의 부피가 2 L이므로 이를 고려해야 한다.

$K=\frac{\left(\frac{x}{2}\right)^2}{4\times2^2}=4$이므로 $\left(\frac{x}{2}\right)^2=64$에서 $x=16$이다.

ㄷ. 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 크므로 평형은 역반응 쪽으로 이동하여 A의 몰수는 곡을 열기 전인 9몰보다 커지게 되며 A의 농도는 3 M보다 커진다.

14 온도 변화에 의한 평형 이동

해설 | 1몰의 $A(g)$가 반응한 T_1에서는 2몰의 $B(g)$가 생성되었고, 1몰의 $B(g)$가 생성된 T_2에서는 0.5몰의 $A(g)$가 반응한 것이다.

정답맞히기 ㄱ. T_1에서 2몰이었던 $A(g)$가 1몰 남았으므로 $A(g)$ 1몰이 반응하여 2몰의 $B(g)$가 생성되었으며, T_2에서 1몰의 $B(g)$가 생성되었으므로 2몰의 $A(g)$ 중 0.5몰이 반응하고 1.5몰이 남아 있다. 따라서 (가) : (나) = 2 : 1.5 = 4 : 3이다.

ㄷ. 온도 T_1, T_2 각각에서 평형에 도달하였을 때 전체 기체의 몰수는 각각 3몰, 2.5몰이고, 온도는 $T_1>T_2$이므로 평형 상태에서 용기 내 전체 기체의 압력은 기체 분자의 몰수가 크고, 온도가 높은 T_1에서가 T_2에서보다 크다.

오답피하기 ㄴ. 정반응은 흡열 반응($\Delta H>0$)이고, 온도 T_1, T_2에서 평형에 도달하였을 때 평형 상수(K)의 크기는 $K_{T_1}>K_{T_2}$이므로 온도는 $T_1>T_2$이다.

15 증발 응축 평형

해설 | 물을 용기에 넣어 증발과 응축이 평형에 이르기 이전에는 증발 속도가 응축 속도보다 빠르다.

정답맞히기 ㄱ. 용기에 물을 넣은 직후인 (가)에서는 수증기 분자가 거의 존재하지 않으므로 물의 증발 속도는 수증기의 응축 속도보다 빠르다.

오답피하기 ㄴ. (다)의 증발 응축 평형에 도달할 때까지 기체 분자 수가 계속 증가하므로 수증기의 압력은 (다)에서가 가장 크다.

ㄷ. 증발 속도는 액체의 종류와 온도에 의하여 결정되므로 액체의 종류와 온도가 같은 (가)~(다)에서 물의 증발 속도는 같다.

16 반응 속도 측정 방법

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 반응 속도는 시간에 따라 발생하는 기체의 부피 변화로 측정한다.

ㄴ. (나)에서 반응 속도가 빠를수록 황(S(s))이 빨리 생성되고, 황이 빨리 생성될수록 생성된 황에 의해 삼각 플라스크 아래의 ×자가 보

이지 않을 때까지 걸리는 시간이 짧아진다.
ㄷ. (가)와 (나)의 반응은 모두 자발적으로 진행되는 반응이므로 반응의 자유 에너지 변화(ΔG)는 모두 0보다 작다.

17 반응 속도와 온도, 촉매

해설 | 온도 T_1, T_2에서 A의 초기 농도는 0.8 M이며, 반응물 A의 농도가 반으로 되는 데 걸리는 시간(반감기)이 T_1, T_2에서 각각 $10t$, $5t$로 일정하므로 반응 A(g) ⟶ B(g)는 A에 대하여 1차 반응이다.

정답맞히기 ㄱ. T_1일 때보다 T_2일 때가 농도 변화 기울기가 급하므로 T_2일 때가 T_1일 때보다 반응 속도가 빠르고, 온도가 높을수록 반응 속도가 빠르므로 온도는 $T_2 > T_1$이다.
ㄴ. T_2에서는 T_1에서보다 초기 반응 속도가 2배이므로 T_1, T_2에서 반응 속도 상수(k) 비는 $k_1 : k_2 = 1 : 2$이다. a에서 A의 농도는 0.4 M, b에서 A의 농도는 0.2 M이므로 $v(T_1) = k_1[\mathrm{A}] = 0.4k_1$이고, $v(T_2) = k_2[\mathrm{A}] = 0.2k_2 = 0.2 \times (2k_1) = 0.4k_1$이다. 따라서 반응 속도는 a와 b에서 같다.

오답피하기 ㄷ. 반응물 A의 농도가 반으로 되는 데 걸리는 시간(반감기)이 온도 T_1, T_2에서 각각 $10t$, $5t$이므로 반감기의 비는 $T_1 : T_2 = 2 : 1$이다.

18 반응 속도식 구하기와 1차 반응

해설 | 반응 속도식에서 반응 차수는 화학 반응식의 계수와는 관계없으며 실험을 통해 구한다. 1차 반응은 초기 반응 속도가 반응물의 농도에 비례하며, 반감기는 일정하다. 그림에서 초기 반응 속도가 A의 농도에 비례하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이며, A의 반감기는 일정하다.

정답맞히기 ㄱ. 반응 속도가 A의 농도에 비례하므로 이 반응은 A에 대하여 1차 반응이다. 따라서 B가 충분할 때 A의 반감기는 일정하다.
ㄴ. 반응 속도식은 $v = k[\mathrm{A}]^m[\mathrm{B}]^n$에서 A의 차수인 m은 1이고, n을 구하기 위해 실험 Ⅰ과 Ⅱ를 비교하면 n이 1임을 알 수 있다. 따라서 반응 속도식은 $v = k[\mathrm{A}][\mathrm{B}]$이다.
ㄷ. 실험 Ⅰ과 Ⅲ에서 B의 농도가 같을 때 A의 농도가 3배가 되면 반응 속도식 $v = k[\mathrm{A}][\mathrm{B}]$에 의해 반응 속도도 3배가 된다. 따라서 $a = 0.6$이다.

다른 풀이 반응 속도식 $v = k[\mathrm{A}][\mathrm{B}]$에 실험 Ⅰ의 A, B의 농도와 초기 반응 속도(v)를 대입하여 반응 속도 상수(k)를 구하면 다음과 같다.

$$k = \frac{v}{[\mathrm{A}][\mathrm{B}]} = \frac{0.2\ \mathrm{M/초}}{1.0\ \mathrm{M} \times 2.0\ \mathrm{M}} = 0.1\ \mathrm{M^{-1}초^{-1}}$$

따라서 반응 속도식 $v = k[\mathrm{A}][\mathrm{B}]$에 실험 Ⅲ의 A, B의 농도를 대입하여 초기 반응 속도(v)를 구하면 다음과 같다.

$v = k[\mathrm{A}][\mathrm{B}] = 0.1\ \mathrm{M^{-1}초^{-1}} \times 3.0\ \mathrm{M} \times 2.0\ \mathrm{M} = 0.6\ \mathrm{M/초}$

따라서 $a = 0.6$이다.

19 수소 에너지

정답맞히기 물을 전기 분해하거나 광촉매를 이용한 분해로 얻을 수 있는 기체는 $\mathrm{H_2}(g)$와 $\mathrm{O_2}(g)$이고, 이 중 연료로 쓰이는 기체는 $\mathrm{H_2}(g)$이다.

20 기체의 성질

해설 | 콕 a와 b를 열고 충분한 시간이 흐른 뒤에 실린더의 부피가 3 L이므로 전체 기체의 압력과 부피는 각각 1기압, 7 L가 된다.

정답맞히기 ㄴ. 기체의 몰수는 온도가 같으면 압력과 부피의 곱에 비례한다. 따라서 기체 X~Z의 압력과 부피를 곱하여 더한 값은 전체 기체의 압력과 부피의 곱과 같다.
$(P_1 \times 2) + (1 \times 2) + (P_2 \times 2) = 1 \times 7$이므로 $2P_1 + 2P_2 = 5$이고, 혼합 후 X(g)와 Z(g)의 부분 압력 비는 처음 상태에서의 압력 비이므로 $P_1 : P_2 = 4 : 1$이다. 따라서 콕을 열기 전 X(g)의 압력은 2기압, Z(g)의 압력은 0.5기압이므로 $P_1 = 2$, $P_2 = 0.5$이다.
ㄷ. $P_2 = 0.5$이고, P_z기압은 (나)에서 Z(g)의 부분 압력이다. 콕 a와 b를 열고 충분한 시간이 지난 후 몰수 비가 X(g) : Y(g) : Z(g) $= 4 : 2 : 1$이므로 (나)에서 Z(g)의 부분 압력은 $\frac{1}{7}$기압이다. 따라서 $P_2 : P_z = \frac{1}{2} : \frac{1}{7} = 7 : 2$이다.

오답피하기 ㄱ. 기체의 몰수는 온도가 같으면 압력과 부피의 곱으로 나타낼 수 있으므로 (나)에서 기체의 몰수 비는 X(g) : Y(g) : Z(g) $= (P_1 \times 2) : (1 \times 2) : (P_2 \times 2) = (2 \times 2) : (1 \times 2) : (0.5 \times 2) = 4 : 2 : 1$이다. 따라서 (나)에서 기체 Y($g$)의 몰 분율은 $\frac{n_\mathrm{Y}}{n_\mathrm{X} + n_\mathrm{Y} + n_\mathrm{Z}} = \frac{2}{4+2+1} = \frac{2}{7}$이다.

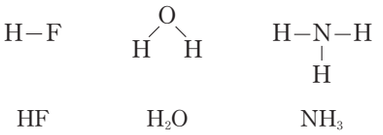
실전 모의고사 4회

본문 143~147쪽

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

01 분자 사이의 인력

해설 | 분자 사이의 힘에는 분산력, 쌍극자·쌍극자 힘, 수소 결합이 있다. 그 중에서 수소 결합은 전기 음성도가 큰 F, O, N에 직접 결합한 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 인력이다. 어떤 물질이 수소 결합을 할 수 있는지 정확히 알기 위해서는 구조식을 그려 보아야 한다. 수소 결합을 하는 대표적인 물질의 구조식은 다음과 같다.

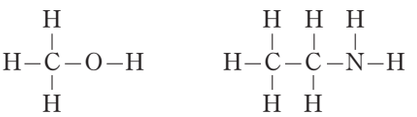


HF　　H_2O　　NH_3

정답맞히기 ㄱ. (나)는 (가)보다 분자량이 크고 분산력은 (나)가 (가)보다 크다. 또한 (가)는 무극성 분자이고, (나)는 극성 분자이므로 (나)에는 쌍극자·쌍극자 힘이 작용한다. 따라서 분자 사이의 인력은 (나)가 (가)보다 크고, 기준 끓는점은 (나)가 (가)보다 높다.

ㄴ. (다)는 기준 끓는점이 높으므로 분자 사이의 인력이 크고, (라)는 기준 끓는점이 낮으므로 분자 사이의 인력이 작다. 따라서 액체 분자 사이의 인력은 (다)가 (라)보다 크다.

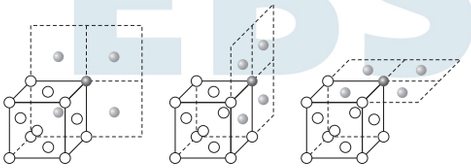
ㄷ. (다)는 H가 전기 음성도가 큰 O 원자와 (라)는 H가 전기 음성도가 큰 N 원자와 직접 결합하고 있으므로 (다)와 (라)는 각각 분자 사이에 수소 결합이 존재한다.



(다)　　(라)

02 금속의 결정 구조

해설 | 금속의 결정 구조에는 단순입방격자 구조, 체심입방격자 구조, 면심입방격자 구조가 있다. 알루미늄 결정은 면심입방격자 구조를 갖는다. 면심입방격자 구조는 단위세포의 꼭짓점에 위치한 입자를 xy, yz, zx 평면으로 각각 4개의 입자가 둘러싸고 있다.



정답맞히기 ㄱ. 단위세포의 중심에 있는 원자를 기준으로 가장 가까운 거리에 있는 원자는 정육면체의 윗면에 있는 4개의 원자, 중심 원자와 같은 면에 있는 4개의 원자, 밑면에 있는 4개의 원자이다. 따라서 한 원자와 가장 인접한 원자의 수는 12이다.

ㄷ. 가장 가까운 거리에 있는 원자 사이의 거리는 한 변의 길이가 $\frac{a}{2}$인 직각이등변삼각형의 빗변의 길이에 해당한다. 따라서 원자 사이의 최단 거리는 $\sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2}=\frac{\sqrt{2}}{2}a$이다.

오답피하기 ㄴ. 단위세포에 포함된 입자 수를 계산할 때 단위세포의 중심에 있는 입자 수는 1개, 모서리의 중심에 있는 입자 수는 $\frac{1}{4}$개이므로 Al 결정의 단위세포에 포함된 원자 수는 $1+\frac{1}{4}\times12=4$이다.

03 물의 광분해

해설 | 물의 광분해는 식물의 엽록소에서 빛에너지를 흡수하여 물질을 합성하는 것처럼 광촉매 전극에서 빛에너지를 흡수하여 물을 분해하여 수소를 얻는 장치이다.

정답맞히기 ㄴ. 광촉매 전극에서는 백금 전극으로 전자가 이동하므로 광촉매 전극에서는 산화 반응이 일어난다.

$$2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$$

오답피하기 ㄱ. $\Delta H>0$이므로 흡열 반응이고, 반응물의 엔탈피는 생성물의 엔탈피 합보다 작다.

ㄷ. 백금 전극에서는 물이 전자를 얻어 수소 기체가 발생한다.

$$2H_2O(l)+2e^- \longrightarrow 2OH^-(aq)+H_2(g)$$

04 용액의 농도

해설 | 퍼센트 농도는 용액 100 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)을, 몰랄 농도는 용매 1 kg 속에 녹아 있는 용질의 몰수를, 몰 농도는 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 몰수를 나타낸 농도이다.

$$\text{퍼센트 농도}(\%)=\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}}\times100$$

$$\text{몰랄 농도}(m)=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$$

$$\text{몰 농도(M)}=\frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용액의 부피(L)}}$$

정답맞히기 ㄴ. (나)에 녹아 있는 용질의 몰수는 몰 농도(M)와 부피(L)의 곱과 같으므로 0.12몰이다. 따라서 용질 HCl의 질량은 $0.12\times36.5=4.38$ g이다.

ㄷ. (나)에 들어 있는 용질의 몰수는 0.12몰이므로 (가)에서 취하는 x mL 속에 들어 있는 용질의 몰수도 0.12몰이어야 한다. (가) 100 g의 부피는 $\frac{100}{1.2}$ mL이고, 여기에 녹아 있는 용질의 몰수가 36.5 g, 즉 1몰이다. 따라서 다음과 같이 비례식으로 x를 구할 수 있다.

용액 $\frac{100}{1.2}$ mL : 용질 1몰 = 용액 x mL : 용질 0.12몰, $x=\frac{12}{1.2}=10$

오답피하기 ㄱ. (가)에는 용액 100 g당 용매 63.5 g, 용질 36.5 g이 녹아 있다. 따라서 몰랄 농도$(m)=\frac{\frac{36.5}{36.5}\text{몰}}{0.0635\text{ kg}}=\frac{1}{0.0635}m$이므로 10 m보다 크다.

05 표준 생성 엔탈피

해설 | 생성 엔탈피는 물질 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. 1기압에서의 생성 엔탈피를 표준 생성 엔탈피라고 한다. 표준 상태에서 기준 상태 또는 가장 안정한 원소의 표준 생성 엔탈피는 0이다.

정답맞히기 ㄱ. 화학 반응이 일어날 때 엔탈피 변화(ΔH)는 생성물의 생성 엔탈피의 합에서 반응물의 생성 엔탈피의 합을 뺀 값과 같다. 엔탈피 변화가 x kJ이므로 $x=Na_2CO_3(s)$의 $\Delta H+H_2O(l)$의 $\Delta H+CO_2(g)$의 $\Delta H-2\times NaHCO_3(s)$의 ΔH, $x=-1131+(-286)+(-394)-2\times(-951)$, $x=91$이다.

ㄴ. $NaHCO_3(s)$이 분해되어 생성물이 될 때 기체의 몰수가 증가하므로 엔트로피 변화(ΔS)는 0보다 크다.

오답피하기 ㄷ. 자유 에너지 변화 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$이고, $\Delta G<0$일 때 자발적인 반응이다. $NaHCO_3(s)$이 분해되는 반응은 $\Delta H>0$이고, $\Delta S>0$이므로 낮은 온도에서는 비자발적이고, 높은 온도에서는 자발적이다.

06 기체의 확산과 부분 압력 법칙

해설 | 온도와 압력이 같을 때 기체의 확산 속도(v)는 분자량(M)의 제곱근에 반비례한다. $v \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$

혼합 기체에서 각 성분 기체의 부분 압력(P_A)은 그 기체의 몰 분율(X_A)에 비례한다. 즉 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력(P_T)에 그 성분 기체의 몰 분율을 곱한 값과 같다.

$$P_A = P_T \times X_A = P_T \times \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

정답맞히기 ㄴ. 기체의 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 $\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$이다. 따라서 확산 속도는 B가 A의 2배이고, (나) 과정 후 용기 Ⅱ에 들어 있는 기체의 몰수도 B가 A의 2배이다. 또한 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력에 그 성분 기체의 몰 분율을 곱한 값과 같으므로 용기 Ⅱ에서 A의 부분 압력 $P_A = P_T \times X_A = 0.9 \times \frac{1}{2+1} = 0.3$기압이다.

ㄷ. (가)에서 실린더 Ⅰ에 들어 있는 A의 수를 $2n$이라고 하면, 온도, 압력, 부피가 같으므로 실린더 Ⅲ에 들어 있는 B의 수도 $2n$이다. (나) 과정에서 실린더 Ⅰ에서는 0.3기압에 해당하는 만큼 A가 용기 Ⅱ로 빠져나갔으므로 (나) 과정 후 실린더 Ⅰ에 들어 있는 A의 수는 $1.7n$이고, 실린더 Ⅲ에서 0.6기압에 해당하는 만큼 B가 용기 Ⅱ로 빠져나갔으므로 (나) 과정 후 실린더 Ⅲ에 들어 있는 B의 수는 $1.4n$이다. 또한 온도와 압력이 같을 때 기체의 부피는 기체의 분자 수에 비례하므로 (나) 과정 후 실린더 속 기체의 부피 비는 Ⅰ : Ⅲ = $1.7n : 1.4n = 17 : 14$이다.

오답피하기 ㄱ. 이상 기체 방정식 $PV = \frac{w}{M}RT$로부터 $M = \frac{wRT}{PV}$이다. 실린더 Ⅰ과 Ⅲ에서 온도, 압력, 부피가 같으므로 분자량은 질량에 비례한다. 따라서 분자량은 A가 B의 4배이다.

07 용액의 증기 압력 내림

해설 | 라울 법칙에 의하면 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력($P_{용액}$)은 용매의 몰 분율($X_{용매}$)에 비례한다.

$$P_{용액} = P_{용매} \times X_{용매}$$

또한 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{용질}$)에 비례한다. $\Delta P = P_{용매} \times X_{용질}$

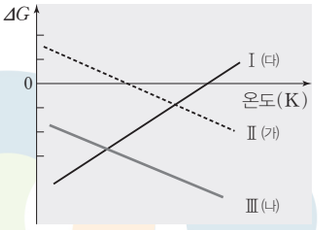
정답맞히기 ㄱ. 물의 증기 압력은 h_3 mmHg, B 수용액의 증기 압력은 $(h_3 - h_2)$ mmHg이므로 A 수용액의 증기 압력은 $(h_3 - h_2 - h_1)$ mmHg이다.

ㄴ. 묽은 용액의 증기 압력은 용매의 몰 분율에 비례한다. 증기 압력은 B 수용액이 A 수용액보다 크므로 용매의 몰 분율은 B 수용액이 A 수용액보다 크다.

오답피하기 ㄷ. $\Delta P = P_{용매} \times X_{용질}$이므로 $X_{용질} = \frac{\Delta P}{P_{용매}}$이다. 따라서 용질의 몰 분율 비는 $X_A : X_B = \frac{\Delta P_A}{P_{용매}} : \frac{\Delta P_B}{P_{용매}} = P_{용매} - P_A : P_{용매} - P_B = h_3 - (h_3 - h_2 - h_1) : h_3 - (h_3 - h_2) = h_2 + h_1 : h_2$이다.

08 반응의 자발성

해설 | 반응의 자유 에너지 변화 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$이고, $\Delta G < 0$이면 자발적인 반응이며 $\Delta G > 0$이면 비자발적인 반응이다. 그래프에서 y절편은 ΔH이고, 기울기는 $-\Delta S$이므로 Ⅰ은 (다), Ⅱ는 (가), Ⅲ은 (나)이다.



정답맞히기 ㄷ. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 0$일 때, $T = \frac{\Delta H}{\Delta S}$이다. 따라서 $\frac{\Delta H}{\Delta S}$는 $\Delta G = 0$인 온도이므로 (다)가 (가)보다 크다.

오답피하기 ㄱ. Ⅰ은 (다)이다.

ㄴ. 그래프에서 y절편의 절댓값은 Ⅰ이 가장 크므로 $|\Delta H|$는 (다)가 가장 크다.

09 강산과 약염기의 중화 적정 곡선

해설 | NH_3와 HCl의 중화 반응은 다음과 같다.

$$NH_3(aq) + HCl(aq) \longrightarrow NH_4Cl(aq)$$

정답맞히기 ㄱ. 중화점에서 HCl의 몰수(MV)와 NH_3의 몰수($M'V'$)가 같으므로 중화 반응의 양적 관계 $MV = M'V'$에 의해 $0.2\ M \times 20\ mL = M' \times 20\ mL$이고, $M' = 0.2$ M이다. 따라서 적정 전 NH_3 수용액의 농도는 0.2 M이다.

ㄴ. a는 염기 NH_3의 절반이 중화되는 지점이므로 $[NH_3] = [NH_4^+]$이다. NH_3를 물에 녹였을 때 이온화 평형과 이온화 상수(K_b)는 다음과 같다.

$$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftarrows NH_4^+(aq) + OH^-(aq),$$

$$K_a = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

a에서 $[NH_3] = [NH_4^+]$이므로 $K_b = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} = [OH^-] = 10^{-5}$이다. 따라서 혼합 용액의 pOH는 5이고, pH = 14 − pOH = 14 − 5 = 9이다.

ㄷ. 중화점인 b에서 생성된 염인 $NH_4^+Cl^-$ 중에서 약염기의 짝산인 NH_4^+이 가수 분해하여 H_3O^+이 생성되는데, 이때 이온화 평형과 이온화 상수(K_a)는 다음과 같다.

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftarrows NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

$$K_a = \frac{[NH_3][H_3O^+]}{[NH_4^+]}$$

적정 전 NH_3 수용액 20 mL의 농도가 0.2 M이고, b에서 혼합 용액의 부피가 처음의 2배가 되었으므로 NH_4^+의 농도는 0.1 M이다. 가수 분해하는 NH_4^+의 몰 농도를 x M라고 하면 평형 상태에서 각 이온의 농도는 다음과 같다.

	$NH_4^+(aq) + H_2O(l)$	$\rightleftarrows$	$NH_3(aq)$	$+ H_3O^+(aq)$
처음 농도(M)	0.1		0	0
농도 변화(M)	$-x$		x	x
평형 농도(M)	$0.1 - x$		x	x

한편 NH_4^+의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같이 구할 수 있다.

NH_3의 이온화 상수 $K_b=\frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$이고, NH_4^+의 이온화 상수 $K_a=\frac{[NH_3][H_3O^+]}{[NH_4^+]}$이므로 $K_a\times K_b=[H_3O^+][OH^-]=1\times10^{-14}=K_w$이다. 따라서 $K_a=\frac{K_w}{K_b}=\frac{1.0\times10^{-14}}{1.0\times10^{-5}}=1.0\times10^{-9}$이다.

NH_4^+의 이온화 상수 식에 평형 농도를 대입하면 다음과 같다.

$K_a=\frac{[NH_3][H_3O^+]}{[NH_4^+]}=\frac{x^2}{0.1-x}=1.0\times10^{-9}$

$x\ll0.1$이라고 가정하면, $x=1.0\times10^{-5}$이 된다. 따라서 b에서 수용액의 pH$=-\log[H_3O^+]=-\log(1.0\times10^{-5})=5$이다.

10 표준 생성 엔탈피

해설 | 생성 엔탈피는 물질 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이고, 1기압에서의 생성 엔탈피를 표준 생성 엔탈피라고 한다. 표준 상태에서 기준 상태 또는 가장 안정한 원소 물질의 표준 생성 엔탈피는 0이다.

정답맞히기 ㄱ. 결합 에너지는 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1몰을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다. $2ICl(g)\longrightarrow2Cl(g)+2I(g)$ $\Delta H=422$ kJ이므로 $ICl(g)$의 결합 에너지는 211 kJ/몰이다.

오답피하기 ㄴ. 25℃, 표준 상태에서 I_2의 가장 안정한 상태는 고체이다. $I_2(s)\longrightarrow2I(g)$ $\Delta H=212$ kJ이므로 $I(g)$ 1몰이 생성될 때의 엔탈피 변화(표준 생성 엔탈피)는 106 kJ/몰이다.

ㄷ. $Cl_2(g)+I_2(s)\longrightarrow2ICl(g)$ 반응의 엔탈피 변화 $\Delta H=62+150+243-422=33$ kJ이고, $ICl(g)$의 표준 생성 엔탈피는 16.5 kJ/몰이다.

11 헤스 법칙

해설 | 화학 반응이 일어나는 동안에 방출하거나 흡수하는 열량은 반응의 처음 물질과 나중 물질의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 항상 일정하다.

정답맞히기 ㄴ. 헤스 법칙에 의하면 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 출입하는 열이 같다. (다)의 반응은 (나)−(가)의 반응으로 구할 수 있으므로 (다)의 반응 엔탈피=(나)의 반응 엔탈피−(가)의 반응 엔탈피로 구할 수 있다.
따라서 $x=-128-(-41)=-87$이다.

오답피하기 ㄱ. 표준 생성 엔탈피는 1기압에서 물질 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 $CH_3OH(l)$의 표준 생성 엔탈피는 $C(s)+2H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow CH_3OH(l)$ 반응의 엔탈피 변화와 같다. 따라서 (나)의 반응이 일어날 때의 반응 엔탈피(−128 kJ)는 $CH_3OH(l)$의 표준 생성 엔탈피가 아니다.

ㄷ. (다)의 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이므로 압력을 높이면 정반응이 우세하게 진행된다.

12 전기 분해

해설 | 전기 분해는 전기 에너지를 이용하여 비자발적인 산화 환원 반응을 일으키는 과정이다. 전해질 수용액에 직류 전류를 흘려주면 양이온은 (−)극으로, 음이온은 (+)극으로 이동한다. 이때 (−)극에서는 전자를 얻는 환원 반응, (+)극에서는 전자를 잃는 산화 반응이 일어난다.

정답맞히기 ㄴ. (−)극에서는 $B^{2+}(aq)+2e^-\longrightarrow B(s)$ 반응이 일어난다. 즉 전자 2몰의 전하량에 해당하는 $2F$에 의해 B 1몰이 석출되므로 B 0.05몰이 석출되기 위해 필요한 전하량 xF는 $2F$:1몰$=xF$:0.05몰, $x=0.1$이다.

ㄷ. (+)극에서 NO_3^-은 산화되기 어려우므로 $H_2O(l)$이 산화되어 O_2 기체가 발생한다.

$$2H_2O(l)\longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$$

이때 H^+이 생성되므로 수용액의 pH는 감소한다.

오답피하기 ㄱ. 전해질 수용액에 전류를 흘려주면 양이온이 (−)극으로 이동한다. 이때 표준 환원 전위가 가장 큰 반응의 금속 이온이 환원되는데, B^{2+}이 환원되었으므로 b는 a보다 크다.

13 화학 평형과 자유 에너지 변화

해설 | 자유 에너지 변화 그래프에서 $\Delta G<0$이면 정반응이 자발적이고, $\Delta G>0$이면 역반응이 자발적이고, $\Delta G=0$이면 평형 상태이다. 또한 반응 지수(Q)<평형 상수(K)이면 정반응이 자발적으로 진행되고, $Q=K$이면 화학 평형 상태이며, $Q>K$이면 역반응이 자발적으로 진행된다.

정답맞히기 ㄴ. a에서 B의 몰 분율이 평형 상태에서의 값보다 크므로 역반응이 자발적으로 일어난다. 따라서 반응 지수(Q)는 평형 상수(K) 값인 1보다 크다.

ㄷ. 평형 상태에서 A는 $\frac{1}{2}$몰, B는 $\frac{1}{4}$몰이므로 A 0.5몰과 B 1몰을 첨가하면 A는 1몰, B는 $\frac{5}{4}$몰이 된다. 부피가 1 L이므로 평형 상태에서 반응 지수 $Q=\frac{[B]}{[A]^2}=\frac{\frac{5}{4}}{1^2}=\frac{5}{4}$이다. 따라서 $Q>K$이므로 역반응이 자발적으로 진행된다.

다른 풀이 평형 상태에서 A의 몰 분율은 $\frac{2}{3}$, B의 몰 분율은 $\frac{1}{3}$이다. 이때 A 0.5몰과 B 1몰을 첨가하면 B의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$보다 커진다. 따라서 $\Delta G>0$이 되어 역반응이 자발적으로 진행된다.

오답피하기 ㄱ. 평형 상태에서 A와 B의 몰수는 다음과 같이 구할 수 있다.

	A	B
처음(몰)	1	0
반응(몰)	$-2x$	$+x$
평형(몰)	$1-2x$	$+x$

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

$x=\frac{1}{4}$이다. 따라서 평형 상태에서 A는 $\frac{1}{2}$몰, B는 $\frac{1}{4}$몰이고, 부피가 1 L이므로 평형 상태에서 A의 농도는 $\frac{1}{2}$ M, B의 농도는 $\frac{1}{4}$ M이다.

이때 평형 상수 $K=\frac{[B]}{[A]^2}=\frac{\frac{1}{4}}{\left(\frac{1}{2}\right)^2}=1$이다.

14 화학 전지

해설 | 화학 전지는 자발적인 산화 환원 반응을 이용하여 화학 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 장치이다. 화학 전지의 (−)극에서는 산화 반응이, (+)극에서는 환원 반응이 일어난다. (+)극에서는 반쪽 반응의 표준 환원 전위가 큰 반응인 $B^+(aq)+e^- \longrightarrow B(s)$ 반응이 일어나고, (−)극에서는 반쪽 반응의 표준 환원 전위가 작은 $A^{2+}(aq)+2e^- \longrightarrow A(s)$ 반응의 역반응인 $A(s) \longrightarrow A^{2+}(aq)+2e^-$ 반응이 일어난다.

정답맞히기 ㄴ. 전자는 산화 반응이 일어나는 전극 A에서 환원 반응이 일어나는 전극 B로 이동한다.

ㄷ. B^+이 환원되어 B가 되므로 전극 B의 질량은 증가한다.

오답피하기 ㄱ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)=환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위($E^\circ_{\text{환원 전극}}$)−산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위($E^\circ_{\text{산화 전극}}$)이다.

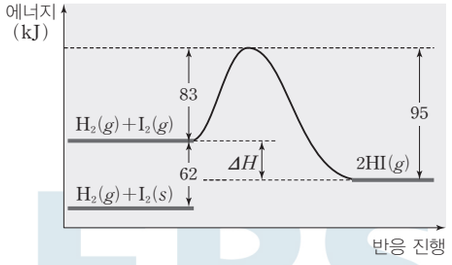
따라서 $E^\circ_{\text{전지}}=+0.80\text{ V}-a\text{ V}=1.56\text{ V}$이므로 $a=-0.76$이다.

15 활성화 에너지와 반응 엔탈피

해설 | 25℃에서 I_2의 가장 안정한 상태는 고체이므로 $I_2(g)$의 표준 생성 엔탈피는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_2(s) \longrightarrow I_2(g) \quad \Delta H=62\text{ kJ}$$

$H_2(g)$와 $I_2(s)$로부터 $2HI(g)$가 생성될 때 에너지 관계를 나타내면 다음과 같다.



정답맞히기 ㄱ. 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 작으므로 반응물의 에너지는 생성물의 에너지보다 크다.

오답피하기 ㄴ. 표준 생성 엔탈피는 1기압에서 물질 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 $HI(g)$의 표준 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}H_2(g)+\frac{1}{2}I_2(s) \rightleftharpoons HI(g)$ 반응의 엔탈피 변화와 같다. 또한 $H_2(g)+I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$의 반응 엔탈피는 정반응의 활성화 에너지에서 역반응의 활성화 에너지를 빼면 되므로 $\Delta H=83-95=-12$ kJ이다. 따라서 25℃, 1기압에서 $HI(g)$의 표준 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}(62+\Delta H)=\frac{1}{2}(62-12)=25$ kJ/몰이다.

ㄷ. 평형 상태에 있는 화학 반응에서 온도를 높이면 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동하고, 온도를 낮추면 발열 반응 쪽으로 평형이 이동한다. 정반응이 발열 반응이므로 온도를 높이면 $HI(g)$의 수득률이 낮아진다.

16 반응 속도식

해설 | 1차 반응은 반응 속도가 반응물의 농도에 비례한다. 1차 반응은 반응물의 농도가 반으로 줄어들 때까지 걸리는 시간인 반감기가 일정하다. 따라서 생성물의 농도 증가량이 $\frac{1}{2}$배씩 감소하는 데 걸린 시간도 일정하다.

정답맞히기 ㄴ. A의 초기 농도를 x M라고 하면, 3분일 때 B의 농도가 0.08 M이고, A는 0.16 M 감소하므로 A의 농도는 $(x-0.16)$ M가 된다. 이때 A의 농도는 처음 농도의 $\frac{1}{2}$배이므로 $x-0.16=\frac{1}{2}x$이고, $x=0.32$이다. 따라서 A의 초기 농도는 0.32 M이다.

오답피하기 ㄱ. 생성물인 B의 농도 증가량이 $\frac{1}{2}$배씩 감소하는 데 걸린 시간이 3분으로 일정하므로 $2A(g) \longrightarrow B(g)$ 반응은 1차 반응이고, 반응 속도식은 $v=k[A]$이다.

ㄷ. 반응 시간에 따른 A와 B의 농도는 다음과 같다.

시간(분)	0	3	6	9
A의 농도(M)	0.32	0.16	0.08	0.04
B의 농도(M)	0	0.08	0.12	0.14

6분일 때 A의 농도는 0.08 M, B의 농도는 0.12 M이므로 몰 농도는 B가 A보다 크다.

17 물의 상평형

해설 | (가)와 (나)에서 H_2O은 고체 상태로, (다)에서 H_2O은 기체 상태로 존재하며, (라)에서는 H_2O이 액체와 기체가 상평형을 이루고 있다.

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 (다)로 변화시키면 H_2O이 고체에서 기체 상태로 변하므로 엔트로피가 증가한다.

오답피하기 ㄱ. 융해 곡선의 기울기가 0보다 작으므로 H_2O의 녹는점은 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

ㄷ. (라)에서 H_2O은 액체와 기체가 상평형을 이루고 있으므로 상태 변화 반응인 $H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g)$의 자유 에너지 변화($\Delta G$)는 0이다.

18 용해 평형

해설 | 온도가 높을수록 기체의 용해도는 감소하고, 일정한 온도에서 기체의 용해도(g/L)는 그 기체의 부분 압력에 비례한다. 또한 물의 증기 압력은 온도가 높을수록 커지므로 온도는 T_2가 T_1보다 높고, (나)와 (다)는 온도가 같으므로 (다)에서 물의 증기 압력은 $4a$기압이다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 $X(g)$의 부분 압력은 $(1-a)$기압, (나)에서 $X(g)$의 부분 압력은 $(1-4a)$기압, (다)에서 $X(g)$의 부분 압력은 $(2-4a)$기압이다. (나)와 (다)는 온도가 같으므로 기체 X의 용해도는 $X(g)$의 부분 압력에 비례한다.

따라서 $(1-4a):b=(2-4a):\frac{9}{4}b$이고, $a=\frac{1}{20}$이다.

ㄴ. (가)와 (나)의 온도가 T_2로 같다고 가정하면, 기체 X의 용해도는 X(g)의 부분 압력에 비례하므로 (가)에서 X의 용해도(x)는 $\left(1-\frac{1}{20}\right):x=\left(1-\frac{4}{20}\right):b$, $x=\frac{19}{16}b$이다. 그런데 (가)의 온도가 (나)보다 낮으므로 (가)에서 기체 X의 용해도(㉠)는 $\frac{19}{16}b$보다 크다.

ㄷ. 혼합 기체에서 기체 X의 부분 압력(P_X)은 전체 압력(P_T)에 X의 몰 분율(X_X)을 곱한 값과 같다. $P_X=P_T\times X_X$

따라서 $X_X=\frac{P_X}{P_T}$이고, (가)와 (나)에서 P_T은 1기압이므로 $X_X=P_X$이다. 즉 X의 몰 분율은 X의 부분 압력과 같다. (가)에서 X의 부분 압력은 $\frac{19}{20}$기압이고, (나)에서 X의 부분 압력은 $\frac{16}{20}$기압이므로 X(g)의 몰 분율은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

19 온도와 반응 속도

해설 | 온도가 높아지면 반응 속도 상수(k)가 커지므로 반응 속도가 빨라지고 반감기는 짧아진다. T_1과 T_2에서 반응 시간에 따른 A의 농도는 다음과 같다.

시간(초)	0	5	10	15	20
T_1에서 A의 농도(M)	0.8		0.4		0.2
T_2에서 A의 농도(M)	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05

정답맞히기 ㄱ. T_1에서 반감기는 10초이고, T_2에서 반감기는 5초이다. 온도가 높을수록 반감기가 짧으므로 T_2가 T_1보다 크다.

오답피하기 ㄴ. A와 B의 반응 몰수의 비가 2:1이므로 T_2에서 시간에 따른 A와 B의 농도는 다음과 같다.

시간(초)	0	5	10	15
A의 농도(M)	0.8	0.4	0.2	0.1
B의 농도(M)	0	0.2	0.3	0.35

따라서 15초일 때, T_2에서 A의 농도는 0.1 M, B의 농도는 0.35 M이므로 [A]+[B]는 0.45 M이다.

ㄷ. $2A(g)\longrightarrow B(g)$ 반응은 1차 반응이므로 반응 속도식은 $v=k[A]$이다. 또한 반응 속도 상수(k)는 반감기에 반비례하므로 10초일 때 반응 속도 비는 $\left(\frac{1}{\text{반감기}}\times\text{농도}\right)$의 비와 같다.

$v(T_1):v(T_2)=k_1[A_1]:k_2[A_2]=\frac{1}{10}\times0.4:\frac{1}{5}\times0.2=1:1$이다.

즉 10초일 때 반응 속도는 T_1과 T_2에서 같다.

20 화학 평형과 평형의 이동

해설 | $2A(g)\rightleftarrows B(g)$ 반응의 평형 상수 $K=\frac{[B]}{[A]^2}$이다. 온도가 일정하면 평형 상수는 농도에 관계없이 일정하며, 농도(M)는 $\frac{\text{몰수(몰)}}{\text{부피(L)}}$로 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. A의 분자량을 M_A, B의 분자량을 M_B라고 하면 A 2몰이 반응하여 B 1몰이 생성되므로 B의 분자량은 A 분자량의 2배이고, $M_B=2M_A$이다.

평형 상태 Ⅰ에서 $\frac{\text{B의 질량}}{\text{A의 질량}}=\frac{1}{4}$이므로 $\frac{\text{B의 몰수}}{\text{A의 몰수}}=\frac{\frac{1}{M_B}}{\frac{4}{M_A}}=\frac{\frac{1}{2M_A}}{\frac{4}{M_A}}$

$=\frac{1}{8}$이다. 따라서 A의 몰수를 $8k$, B의 몰수를 k라고 하면, A의 몰분율은 $\frac{8k}{8k+k}=\frac{8}{9}$이다.

ㄴ. 강철 용기의 부피를 V라고 하면, 평형 상태 Ⅰ에서 평형 상수 $K_1=\frac{[B]}{[A]^2}=\frac{\frac{k}{V}}{\left(\frac{8k}{V}\right)^2}=\frac{V}{64k}$이다.

평형 상태 Ⅰ에서 반응이 진행되어 생성된 B의 몰수를 x라고 하면 평형 상태 Ⅱ에서 반응물과 생성물의 몰수는 다음과 같다.

	$2A(g)$	$\rightleftarrows$	$B(g)$
평형 Ⅰ(몰)	$8k$		k
반응(몰)	$-2x$		$+x$
평형 Ⅱ(몰)	$8k-2x$		$k+x$

평형 상태 Ⅱ에서 $\frac{\text{B의 질량}}{\text{A의 질량}}$이 1이므로 $\frac{\text{B의 몰수}}{\text{A의 몰수}}=\frac{\frac{1}{M_B}}{\frac{1}{M_A}}=\frac{\frac{1}{2M_A}}{\frac{1}{M_A}}$

$=\frac{1}{2}$이다. 즉 $\frac{k+x}{8k-2x}=\frac{1}{2}$, $x=\frac{3}{2}k$이고, 평형 상태 Ⅱ에서 A의 몰수는 $5k$, B의 몰수는 $\frac{5}{2}k$이므로

T_2에서 평형 상수 $K_2=\frac{[B]}{[A]^2}=\frac{\frac{\frac{5}{2}k}{V}}{\left(\frac{5k}{V}\right)^2}=\frac{V}{10k}$이다.

따라서 평형 상수의 비 $\frac{K_2}{K_1}=\frac{\frac{V}{10k}}{\frac{V}{64k}}=\frac{32}{5}$이다.

ㄷ. $2A(g)\rightleftarrows B(g)$ 반응의 자유 에너지 변화 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$이고, $\Delta S<0$이므로 위 반응이 평형 상태인 $\Delta G=0$에 도달하기 위해서는 $\Delta H<0$이어야 한다. 즉 정반응이 발열 반응이므로 온도가 낮을수록 평형 상수는 커진다. 평형 상수는 $K_1<K_2$이므로 온도는 $T_1>T_2$이다.

실전 모의고사 5회

본문 148~152쪽

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

01 분자 간의 힘

해설 | (가)~(다)는 분자량이 거의 비슷하지만 분자 간 힘의 종류가 달라 기준 끓는점이 다르다.

정답맞히기 ㄱ. 액체 상태에서 모든 분자 간에는 분산력이 작용한다.

ㄴ. (나)는 극성 분자이고 (가)는 무극성 분자이므로 (나) 분자 간에는 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하여 분자량이 비슷하더라도 (나)의 끓는점이 (가)보다 높다.

ㄷ. (나)와 (다)의 분자량은 비슷하지만 (다)는 분자 내에 $-OH$ 결합을 가지고 있어 분자 간에 수소 결합이 작용하고 (나)는 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하므로 (다)의 끓는점이 (나)보다 높다.

02 고체의 결정 구조

해설 | 고체 단위세포에서 꼭짓점에 해당하는 원자는 전체 원자의 $\frac{1}{8}$이, 면에 해당하는 원자는 전체 원자의 $\frac{1}{2}$이 단위세포에 포함된다.

정답맞히기 금속 A의 단위세포 1개에 포함된 A 원자 수는 $\frac{1}{8}\times8+1=2$이고, 금속 B의 단위세포 1개에 포함된 B 원자 수는 $\frac{1}{8}\times8+\frac{1}{2}\times6=4$이다. 금속 A와 B의 원자량 비는 2:3이므로 단위세포의 질량 비 A : B = (2×2) : (4×3) = 1 : 3이다.

03 용액의 농도

해설 | 2 M A 수용액 100 mL에 녹아 있는 A는 2(M)×0.1(L)=0.2몰이다.

정답맞히기 ㄱ. (다)는 2 M A 수용액 50 mL를 취하여 물만 추가한 것이므로 용질의 질량은 변하지 않았다. 따라서 (다)에 녹아 있는 용질의 질량은 2(M)×0.05(L)=0.1몰이고 A의 화학식량이 100이므로 10 g이다.

오답피하기 ㄴ. (가)는 용액의 밀도가 1.2 g/mL이고 부피는 100 mL이므로 용액의 질량은 1.2 g/mL×100 mL=120 g이고, 녹아 있는 용질의 질량은 20 g이므로 농도는 $\frac{20}{120}\times100\fallingdotseq16.7\%$이다. (나)는 2 M A 수용액 10 mL를 취하여 물만 첨가한 것이므로 녹아 있는 용질은 2(M)×0.01(L)=0.02몰이고 A의 화학식량이 100이므로 질량은 2 g이다. 용액의 질량이 100 g이므로 농도는 2%이다. 따라서 (가)의 퍼센트 농도는 (나)의 10배보다 작다.

ㄷ. 수용액 (다)의 부피는 100 mL이고 밀도는 1.1 g/mL이므로 용액의 질량은 1.1 g/mL×100 mL=110 g이다. 녹아 있는 용질은 10 g이므로 물의 질량이 100 g이다. 따라서 몰랄 농도는 $\frac{0.1\text{몰}}{0.1\text{ kg}}=1\ m$이다. (나)는 용액 100 g에 용질 2 g이 녹아 있으므로 물의 질량은 98 g이다. 따라서 몰랄 농도는 $\frac{0.02\text{몰}}{0.098\text{ kg}}\fallingdotseq0.204\ m$이므로 (다)의 몰랄 농도는 (나)의 5배보다 작다.

04 화학 평형 상태

해설 | 용기 Ⅰ의 부피를 V L라고 하면 Ⅰ에 들어 있는 혼합 기체의 반응 지수(Q)는 $\frac{[C]^2}{[A][B]}=\frac{\left(\frac{5}{V}\right)^2}{\left(\frac{5}{V}\right)\times\left(\frac{5}{V}\right)}=1$이므로 이것은 평형 상수보다 작다. 용기 Ⅱ의 부피를 V'라고 하면 Ⅱ에 들어 있는 혼합 기체의 반응 지수(Q)는 $\frac{[C]^2}{[A][B]}=\frac{\left(\frac{9}{V'}\right)^2}{\left(\frac{3}{V'}\right)\times\left(\frac{3}{V'}\right)}=9$이므로 평형 상수보다 크다.

정답맞히기 ㄱ. Ⅰ에서 반응 지수는 평형 상수보다 작으므로 평형에 도달하기까지 정반응이 우세하게 진행된다.

ㄴ. Ⅱ에서 평형에 도달했을 때 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

	$A(g)+B(g)\rightleftarrows2C(g)$		
반응 전(몰)	3	3	9
반응(몰)	$+x$	$+x$	$-2x$
반응 후(몰)	$3+x$	$3+x$	$9-2x$

평형 상수 $K=4$이므로 $\frac{(9-2x)^2}{(3+x)\times(3+x)}=4$이고, 이것을 풀면 $x=\frac{3}{4}$이므로 평형 상태에서 A(g)와 B(g)는 각각 3.75몰, C(g)는 7.5몰이다. 따라서 A(g)의 몰 분율은 $\frac{3.75}{3.75+3.75+7.5}=0.25$이다.

오답피하기 ㄷ. 평형 상태 Ⅰ에서 C(g)의 몰수는 다음과 같다.

	$A(g)+B(g)\rightleftarrows2C(g)$		
반응 전(몰)	5	5	5
반응(몰)	$-x$	$-x$	$+2x$
반응 후(몰)	$5-x$	$5-x$	$5+2x$

평형 상수 $K=4$이므로 $\frac{(5+2x)^2}{(5-x)\times(5-x)}=4$이고, 이 식을 풀면 $x=1.25$가 되어 평형 상태에서 C(g)는 7.5몰이다.

평형 상태 Ⅱ에서 C(g)는 7.5몰이므로 C(g)의 몰수는 평형 Ⅰ과 Ⅱ에서 같다.

05 화학 평형 이동

해설 | 온도가 400 K일 때보다 600 K일 때 A의 몰 농도가 큰 것으로 보아 A가 B로 되는 반응은 온도가 낮을수록 평형 상수가 크다.

정답맞히기 ㄴ. 온도가 400 K일 때보다 600 K일 때 A는 0.2 M만큼 크고 B는 0.4 M만큼 작으므로 (가)에서 (나)로 된다고 가정하면 B 0.4몰이 반응할 때 A 0.2몰이 생성된다. 그러므로 계수 비 $a:b=1:2$이고, $2a=b$이다.

ㄷ. (가)보다 (나)의 평형 상태에서 온도가 높고 A의 몰 농도도 크므로 정반응 속도는 (나)가 (가)보다 빠르다.

오답피하기 ㄱ. 온도가 낮을수록 A의 몰 농도가 작으므로 정반응은 발열 반응이다.

06 결합 에너지와 반응 엔탈피

해설 | 화학 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 반응물 결합 에너지 합에서 생성물 결합 에너지 합을 뺀 것과 같다.

정답맞히기 ㄱ. 이 반응의 반응 엔탈피 $\Delta H=x+3y-6z$이므로 $x+3y<6z$이면 $\Delta H<0$으로 이 반응은 발열 반응이다.

오답피하기 ㄴ. 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 반응 엔트로피 $\Delta S<0$이다.
ㄷ. $XY_3(g)$의 생성 엔탈피(ΔH)는 반응 엔탈피(ΔH)의 $\frac{1}{2}$이므로 $\frac{1}{2}(x+3y-6z)$ kJ/몰이다.

07 온도에 따른 자유 에너지 변화(ΔG)

해설 | 화학 반응에서 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$이므로 온도에 따른 자유 에너지 변화 그래프에서 기울기는 $-\Delta S$이고 y절편은 ΔH이다.

정답맞히기 ㄷ. $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 $\Delta G=0$일 때 평형 상태에서의 온도 $T=\frac{\Delta H}{\Delta S}$이다. $\Delta G=0$인 온도는 (나)가 더 높다.

오답피하기 ㄱ. (가)는 y절편인 $\Delta H<0$이므로 발열 반응이다.
ㄴ. (나)는 기울기인 $-\Delta S<0$이므로 $\Delta S>0$이고 엔트로피가 증가하는 반응이다.

08 기체의 용해도

해설 | 물에 대한 용해도가 작은 기체는 용해도가 그 기체의 부분 압력에 비례한다. (가)에서 (나)로 될 때 온도가 일정하므로 수증기압은 일정하고 $X(g)$의 부분 압력은 증가하므로 용해되는 분자 수는 증가한다.

정답맞히기 ㄴ. 수증기압은 온도가 일정하면 변하지 않으므로 (가)와 (나)에서 수증기압은 같다. 그런데 전체 기체의 부피는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 수증기 분자 수도 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄷ. (가)보다 (나)에서 용해된 기체 분자 수가 많으므로 (나)에서 부피는 (가)의 $\frac{1}{2}$배보다 작다.

오답피하기 ㄱ. (가)에서 $X(g)$의 부분 압력을 P_a라고 하고 수증기압을 P_{H_2O}라고 하면 $P_a+P_{H_2O}=1$(기압)이다. (나)에서 수증기압은 (가)와 같고 $X(g)$의 부분 압력이 변하므로 P_a'라고 하면 $P_a'+P_{H_2O}=2$(기압)이다. 따라서 $2P_a<P_a'$이므로 녹아 있는 $X(g)$의 질량은 (나)가 (가)의 2배보다 크다.

09 패러데이 법칙

해설 | $CuSO_4$ 수용액을 전기 분해할 때 (+)극에서 생성되는 기체는 O_2이고, NaCl 수용액을 전기 분해할 때 (+)극에서 생성되는 기체는 Cl_2, (−)극에서 생성되는 기체는 H_2이다.

정답맞히기 (가)~(다)에서 기체가 발생할 때의 화학 반응식은 각각 다음과 같다.
(가) $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g)+4H^+(aq)+4e^-$
(나) $2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(g)+2e^-$
(다) $2H_2O(l)+2e^- \longrightarrow H_2(g)+2OH^-(aq)$
전기 회로에 흘러간 전하량은 일정하므로 전자 2몰이 이동했다고 가정하면 각 전극에서 발생한 기체의 몰수는 (가)에서 0.5몰, (나)에서 1몰, (다)에서 1몰이므로 (가):(나):(다)=1:2:2이다.

10 수용액의 어는점 내림

해설 | 물의 몰랄 내림 상수는 1.86℃/m이므로 1 m 수용액의 어는점은 −1.86℃이다. 물의 어는점 내림은 $\Delta T_f=1.86\times m$이므로 (가)에서 $1.86=1.86\times m$이 되어 몰랄 농도는 1 m임을 알 수 있다. 몰랄 농도는 $\frac{\text{용질의 몰수}}{\text{용매의 질량(kg)}}$이므로 X의 분자량을 x라고 하면 $\frac{\frac{24}{x}}{0.2\text{ kg}}=1(m)$이 되어 $x=120$이다.

정답맞히기 ㄱ. (나)의 기준 어는점이 −3.72℃인 것으로 보아 몰랄 농도는 2 m이므로 Y의 분자량을 y라고 하면 $\frac{\frac{6}{120}+\frac{24}{y}}{0.1\text{ kg}}=2$가 되어 $y=160$이다. 따라서 분자량의 비 X:Y=120:160=3:4이다.
ㄴ. (다)의 몰랄 농도는 $\frac{\frac{4}{160}}{0.05\text{ kg}}=0.5\ m$이므로 기준 어는점($t$)은 −0.93℃이다.
ㄷ. (가)에 Y 32 g을 녹이면 몰랄 농도는 $\frac{\frac{24}{120}+\frac{32}{160}}{0.2\text{ kg}}=2\ m$가 되어 기준 어는점은 −3.72(℃)이다.

11 엔탈피, 엔트로피와 자유 에너지

해설 | 반응물과 생성물이 모두 기체이면서 전체 분자 수가 증가하는 반응이면 엔트로피가 증가하는 반응이며, 발열 반응이면서 엔트로피가 증가하는 반응은 항상 자발적으로 일어난다.

정답맞히기 ㄴ. (나)는 발열 반응이면서 엔트로피는 감소하는 반응이므로 $\Delta G=\Delta H-T\Delta S$에서 온도($T$)가 높을수록 ΔG가 크다.
ㄷ. (다)의 엔탈피 변화(ΔH)는 (가)−2×(나)로 구할 수 있어 $-4a-2\times(-a)=-2a$이며, 이것은 0보다 작다. 따라서 (다)는 발열 반응이며 반응 후 전체 기체 분자 수가 증가하므로 엔트로피가 증가하는 반응이다. 따라서 (다)는 25℃, 1기압에서 자발적인 반응이다.

오답피하기 ㄱ. (가)에서는 $A(g)$ 2몰과 $B(g)$ 1몰이 반응하여 $C(g)$ 2몰이 생성되므로 기체 반응물 몰수 합보다 기체 생성물 몰수 합이 작다. 따라서 엔트로피가 감소하는 반응으로 엔트로피 변화 $\Delta S<0$이다.

12 고체의 용해도

해설 | t_1℃에서 물 100 g에 최대로 녹는 X의 질량이 20 g이므로 수용액 120 g에 포함된 용질의 질량은 20 g이다.

정답맞히기 (가)에서 수용액 w g 중 $\frac{20}{120}$이 용질이고 (나)에서는 수용액 $2w$ g 중 $\frac{100}{200}$이 용질이므로 (가)와 (나)에 포함된 용질 $X(s)$와 용매인 물의 질량은 다음과 같다.

수용액	용질의 질량(g)	용매의 질량(g)
(가)	$\frac{1}{6}w$	$\frac{5}{6}w$
(나)	w	w

t_2℃에서 물 100 g에 X는 50 g이 녹을 수 있으므로 용매 $\left(\frac{5}{6}w+w\right)$ g에 녹을 수 있는 용질의 질량은 $100:50=\left(\frac{5}{6}w+w\right):x$, $x=\frac{11}{12}w$(g)이다. 수용액 (가)와 (나)에 녹아 있던 용질의 합은 $\frac{7}{6}w$이므로 석출되는 X의 질량은 $\frac{7}{6}w-\frac{11}{12}w=\frac{1}{4}w$(g)이다.

13 증기 압력 내림

해설 | 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{용질}$)에 비례하므로 용액의 증기 압력은 $P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}$로 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 용매 A의 증기 압력은 69 mmHg이고 (나)에서 용매 A $2a$ g에 용질 B 0.3몰을 녹인 용액의 증기 압력이 60 mmHg이므로 용매의 분자량을 M이라고 하고 $P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}$에 대입하면 $\frac{60}{69}=\frac{\frac{2a}{M}}{\frac{2a}{M}+0.3}$가 되어 $M=a$이다.

ㄷ. (나)와 (다)를 혼합한 용액에서 용매는 $5a$ g으로 5몰이고 용질 B는 0.6몰, 용질 C 9 g은 0.15몰이므로 용액의 증기 압력은

$P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}=69\times\frac{5}{5+0.6+0.15}=60$(mmHg)이다.

오답피하기 ㄴ. 용매 $3a$ g은 3몰이므로 용질 C의 분자량을 c라고 하면 $P_{용액}=P_{용매}\times X_{용매}=69\times\frac{3}{3+0.3+\frac{9}{c}}=60$이 되어 $c=60$이다.

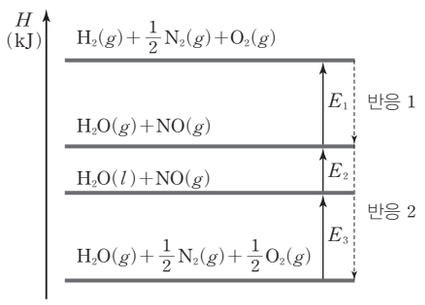
14 반응 엔탈피

해설 | 분해 엔탈피(ΔH)는 물질 1몰이 가장 안정한 상태의 원소로 분해될 때의 엔탈피 변화이고, 생성 엔탈피(ΔH)는 물질 1몰이 가장 안정한 상태의 원소로부터 생성될 때의 엔탈피 변화이다.

정답맞히기 ㄱ. $H_2O(g)$의 분해 엔탈피(ΔH)는 반응 $H_2O(g)\longrightarrow H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g)$의 엔탈피 변화로 $E_1+E_2+E_3$이다. $NO(g)$의 생성 엔탈피(ΔH)는 $\frac{1}{2}N_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\longrightarrow NO(g)$의 엔탈피 변화로 E_2+E_3이므로 $H_2O(g)$의 분해 엔탈피(ΔH)보다 작다.

ㄴ. $H_2O(l)$ 1몰을 모두 기화시키는 데 필요한 열량은 $H_2O(l)\longrightarrow H_2O(g)$의 엔탈피 변화로 E_2 kJ이다.

오답피하기 ㄷ. 반응 $2H_2(g)+2NO(g)\longrightarrow N_2(g)+2H_2O(g)$의 반응 엔탈피($\Delta H$)는 그림에서 {(반응 1의 엔탈피 변화)+(반응 2의 엔탈피 변화)×2}×2이므로 $-2E_1-4(E_2+E_3)$이다.



15 반응 속도

해설 | 이 반응의 반응 속도식은 $v=k[A]^m[B]^n$으로 나타낼 수 있으며 반응물 중 A의 초기 농도를 2배로 했을 때 초기 반응 속도도 2배로 된다면 반응 속도는 A의 농도에 비례하므로 $m=1$이다.

정답맞히기 ㄱ. 반응 속도식을 $v=k[A]^m[B]^n$라고 하면, 실험 Ⅰ과 Ⅱ에서 B의 농도를 2배로 하였을 때 초기 반응 속도가 2배로 되므로 $n=1$이고, 실험 Ⅱ와 Ⅲ에서 A의 농도를 2배로 하였을 때 초기 반응 속도가 2배로 되므로 $m=1$이다. 따라서 이 반응은 A에 대한 1차, B에 대한 1차 반응이므로 전체 반응 차수는 2이다.

ㄴ. 온도가 높으면 반응 속도 상수가 커서 반응 속도가 증가한다. 각 실험에서 온도 T_2일 때 초기 반응 속도가 T_1일 때보다 크므로 온도는 $T_2>T_1$이고 반응 속도 상수도 T_2일 때가 더 크다.

오답피하기 ㄷ. 활성화 에너지는 온도가 달라도 일정하다.

16 화학 전지

해설 | 반응 $2A(s)+B^{2+}(aq)\longrightarrow 2A^+(aq)+B(s)$의 자유 에너지 변화 $\Delta G^\circ>0$이므로 이 반응은 비자발적이다. 따라서 금속 A와 B 중 산화되기 더 쉬운 것은 A가 아니라 B이다.

정답맞히기 ㄱ. 금속 이온이 금속이 되는 반응의 환원 반응에서 표준 환원 전위가 더 클수록 환원되기 쉽다. B가 A보다 산화되기 쉬우므로 A 이온이 B 이온보다 환원되기 쉬워 표준 환원 전위는 A>B이다.

ㄴ. (−)극은 전자를 잃고 산화되는 전극이므로 A보다 B가 산화되기 쉬워 B가 (−)극이다.

ㄷ. 전지에서 반응이 일어날 때 이것은 자발적인 반응이므로 자유 에너지 변화 $\Delta G^\circ<0$이고 자유 에너지는 감소한다.

17 산과 염기

해설 | 산의 이온화 상수(K_a)와 그 짝염기의 이온화 상수(K_b)의 곱은 물의 이온곱 상수(K_w)와 같다.

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 $[OH^-]=\sqrt{K_b\times C}=\sqrt{10^{-5}\times 0.2}=\sqrt{2}\times 10^{-3}$(M)이므로 $pOH=-\log(\sqrt{2}\times 10^{-3})$가 되어 3보다 작고 pH는 11보다 크다.

오답피하기 ㄱ. $[H_3O^+]=\sqrt{K_a\times C}=\sqrt{10^{-6}\times 0.01}=1\times 10^{-4}$(M)이다.

ㄷ. A^-의 이온화 상수 $K_b=\frac{K_w}{K_a}=\frac{1\times 10^{-14}}{1\times 10^{-6}}=1\times 10^{-8}$이므로 B의 이온화 상수보다 작다.

18 중화 반응

해설 | 그림을 보면 1 M NaOH(aq)이 100 mL 들어갔을 때 완전히 중화되므로 HA(aq)의 농도도 1 M임을 알 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. $[H_3O^+]=C\alpha$이므로 $10^{-3}=1\times\alpha$가 되어 이온화도(α)는 0.001이다.

ㄷ. a는 중화점인데 약산인 HA와 강염기인 NaOH이 중화 반응하

여 생성된 염인 NaA 수용액의 액성은 염기성이므로 pH는 7보다 크다. 따라서 $[H_3O^+]<10^{-7}$ M이다.

오답피하기 ㄴ. HA(aq)의 초기 pH는 3이고 농도는 1 M이므로 $[H_3O^+]=\sqrt{C\times K_a}$에서 $10^{-3}=\sqrt{1\times K_a}$가 되어 $K_a=10^{-6}$이다. x는 NaOH(aq)이 중화점의 절반인 50 mL만큼 들어갔을 때의 pH로, 이때의 수용액은 HA가 절반만큼 중화되었으므로 $[HA]=[A^-]$이다. $K_a=\frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$에서 $[H_3O^+]=10^{-6}$이므로 $x=6$이다.

19 보일 법칙

해설 | 기체의 부피는 그 기체의 압력에 반비례하며, 온도와 부피가 일정하면 기체의 압력은 그 기체의 몰수에 비례한다.

정답맞히기 (나)에서 콕을 열기 전 부피가 3 L인 강철구 내부 압력은 1기압이다. 콕 a를 열어 평형에 도달했을 때 강철구 내부 압력이 1기압이라고 했으므로 콕을 열기 전 부피가 1 L인 강철구의 내부 압력도 1기압이다. 따라서 $x=\frac{1}{3}$이다.

온도가 일정할 때 기체의 압력과 부피는 보일 법칙에 따라 $P_1V_1+P_2V_2=P'V'$로 구할 수 있으므로, 콕 a를 연 후 각 기체의 압력은 다음과 같이 구할 수 있다.

Ar : $\frac{2}{3}\times1+\frac{1}{3}\times3=P_{Ar}\times4$ $\therefore P_{Ar}=\frac{5}{12}$

He : $\frac{1}{3}\times1+\frac{2}{3}\times3=P_{He}\times4$ $\therefore P_{He}=\frac{7}{12}$

콕 a를 닫은 후 콕 b를 열고 고정 장치를 제거하면 3 L 강철구와 실린더 내 압력은 모두 1기압으로 같아지는데 실린더 내 기체의 부피가 2 L로 되었다고 했으므로 기체의 전체 부피는 5 L가 된다. 이때 각 기체의 압력은 다음과 같이 구할 수 있다.

He : $\frac{7}{12}\times3+2\times1=P_{He}\times5$ $\therefore P_{He}=\frac{3}{4}$

Ar : $\frac{5}{12}\times3=P_{Ar}\times5$ $\therefore P_{Ar}=\frac{1}{4}$

구분	기체의 압력(기압)					
	1 L 강철구		3 L 강철구		실린더	
	He	Ar	He	Ar	He	Ar
(가) 이후	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	2	0
(나) 이후	$\frac{7}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{5}{12}$	2	0
(다) 이후	$\frac{7}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$

이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 온도(T)도 일정하고 용기 내 혼합 기체는 부피도 같으므로 $P\propto n$이다. 따라서 최종 실린더 내 기체의 몰수 비 He:Ar=3:1이다.

20 반응 속도

해설 | 10초일 때 Y(g)의 몰 분율이 $\frac{1}{3}$이므로 X(g)와 Y(g)의 몰수 비는 2:1이다. 따라서 10초일 때의 몰수는 다음과 같이 구할 수 있다.

	$2X(g)$	⟶	$Y(g)$
반응 전(몰)	3.2		0
반응(몰)	$-2n$		$+n$
반응 후(몰)	$3.2-2n$		$+n$

$3.2-2n : n=2 : 1$이므로 $x=0.8$(몰)

같은 방법으로, 이 반응에서 시간에 따른 X(g)와 Y(g)의 몰수를 구하면 다음과 같다.

시간(초)	0	10	20	30	40
X(g)의 몰수(몰)	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2
Y(g)의 몰수(몰)	0	0.8	1.2	1.4	1.5

정답맞히기 ㄱ. 1차 반응은 반감기가 일정한 것이 특징이다. X(g)의 몰수를 보면 10초마다 반으로 감소되므로 반감기가 일정하다. 따라서 이 반응은 1차 반응이다.

ㄴ. 50초일 때는 40초일 때보다 X(g)의 농도가 절반이므로 0.1몰이 되고 용기의 부피가 1 L이므로 농도는 0.1 M이다.

오답피하기 ㄷ. 40초일 때 Y(g)의 몰 분율 $x=\frac{1.5}{0.2+1.5}=\frac{15}{17}$이다.